

ANALISIS KEMAMPUAN PEMBANGKITAN
PLTS HYBRID SELAYAR 1.3 MWp



SKRIPSI

*Diajukan sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan
Pendidikan diploma empat (D4) program studi Teknik Listrik
Jurusan Teknik Elektro
Politeknik Negeri Ujung Pandang*

ALIM MUARIF

421 222 21

PROGRAM STUDI S1-TERAPAN TEKNIK LISTRIK
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
POLITEKNIK NEGERI UJUNG PANDANG
MAKASSAR

2023

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini dengan judul **Analisis Kemampuan Pembangkitan PLTS Selayar 1.3 MWp** oleh Alim Muanif NIM 42122221 dinyatakan layak untuk diseminarkan.

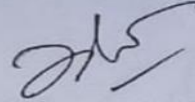
Makassar, 22 Agustus 2023

Dosen Pengarah I,



Bakhtiar, S.T., M.T.
NIP : 19700323 199603 1 002

Dosen Pengarah II,



Andarini Asri, S.T., M.T.
NIP : 19901001 201903 2 018

Mengetahui,

Koordinator Program Studi



Ahmad Rosyid Indris, S.T., M.T.
NIP : 19860404201504 1 001


HALAMAN PENERIMAAN

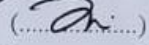
Pada hari ini, Kamis tanggal 7 September 2023, Tim Penguji Ujian Sidang Laporan Tugas Akhir telah menerima dengan baik Laporan Tugas Akhir oleh mahasiswa: Alim Muarif NIM 42122221 dengan judul “Analisis Kemampuan Pembangkitan PLTS Hybrid Selayar 1.3 MWp”.


Makassar, September 2023

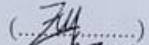
Tim Penguji Ujian Laporan Tugas Akhir:


1. Prof. Marwan, S.T., M.Eng.Sc., Ph.D.
2. Ahmad Rosyid Idris, S.T., M.T
3. Usman, S.T, M.T.
4. Zulfiana Safitri Majid, S.T., M.T.
5. Bakhtiar, S.T., M.T.
6. Andarini Asri, S.T, M.T.

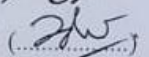
Ketua (.....) 

Sekretaris (.....) 

Anggota I (.....) 

Anggota II (.....) 

Pembimbing I (.....) 

Pembimbing II (.....) 

KATA PENGANTAR

Puji syukur kami panjatkan kehadiran Allah SWT karena berkat rahmat dan karunia-Nya, penulisan skripsi ini yang berjudul ” **Analisis Kemampuan Pembangkitan PLTS Hybrid Selayar 1.3 MWp**” dapat diselesaikan dengan baik.

Pada kesempatan ini, penulis menyampaikan penghargaan dan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Allah SWT yang telah memberikan kesehatan, kekuatan serta inspirasi kepada kami untuk menyelesaikan tugas akhir ini.
2. Kedua orangtua tercinta, juga kepada saudara-saudari kami yang telah memberikan banyak bantuan berupa dorongan moral, bantuan materi, serta tak henti-hentinya memberikan doa yang tulus kepada kami dalam menyelesaikan laporan tugas akhir ini.
3. Bapak Ir. Ilyas Mansur, M.T. selaku Direktur Politeknik Negeri Ujung Pandang.
4. Bapak Ahmad Rizal Sultan, S.T., M.T., Ph.D. selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Ujung Pandang.
5. Bapak Ahmad Rosyid Idris, S.T.,M.T. selaku Koord. Program Studi Teknik Listrik Politeknik Negeri Ujung Pandang.
6. Bakhtiar, S.T., M.T dan Ibu Andarini Asri, S.T.,M.T selaku Pembimbing II yang mana keduanya telah memberikan bimbingan, arahan, bantuan serta dorongan kepada penulis dengan penuh kesabaran.

7. Seluruh Dosen Jurusan Teknik Elektro yang selama kurun waktu 1 tahun dengan ikhlas telah mendidik dan mengajar kami.
8. Saudara-saudari kelas 4B D4 Listrik yang bersama-sama telah melalui kurun waktu 1 tahun ini dengan suka-duka yang ada dan selalu memberikan bantuan, kerjasama, motivasi dan semangat.
9. Buat semua pihak yang tidak sempat kami sebutkan satu-persatu yang berjasa dalam menyelesaikan Skripsi .

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih kurang sempurna, sehingga kami mengharapkan kritik dan saran yang sifatnya membangun untuk perbaikan di masa mendatang, akhir kata, semoga tulisan ini dapat bermanfaat sebagaimana mestinya.

Makassar, September 2023

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN.....	Error! Bookmark not defined.
HALAMAN PENERIMAAN	Error! Bookmark not defined.
KATA PENGANTAR	iv
DAFTAR ISI.....	vi
DAFTAR TABEL.....	viii
DAFTAR GAMBAR	ix
SURAT PERNYATAAN.....	Error! Bookmark not defined.
RINGKASAN	xii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Tujuan Penelitian.....	4
1.4 Ruang Lingkup Penelitian	4
1.5 Manfaat Penelitian.....	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	6
2.1 Dasar Teori.....	6
2.1.1 Pengertian Sistem Tenaga Listrik.....	6
2.1.2 Pengertian Pembangkit Listrik Tenaga Surya.....	9
2.1.2.1 Panel Surya.....	10
2.1.2.2 Solar Charge Controller.....	17
2.1.2.3 Bank Baterai	18
2.1.2.4 Inverter	20
2.1.3 Sistem Distribusi PLTS	22
2.1.3.1 Panel Distribusi DC.....	23
2.1.3.2 Panel Distribusi AC.....	23
2.1.3.3 Jaringan Distribusi PLTS.....	24
2.1.4 Pengertian Daya Listrik.....	24
2.1.4.1 Daya Aktif (P)	26
2.1.4.2 Daya Reaktif (Q)	26
2.1.4.3 Daya Semu (S)	27
2.1.5 Daya yang dibangkitkan PLTS	28
2.1.6 Final Yeald.....	28

2.1.7	Reference Yeald	29
2.1.8	Rasio Kinerja (PR)	29
2.1.9	Konfigurasi Sistem PLTS	30
2.1.9.1	Sistem PLTS Terpusat	30
2.1.9.2	Sistem PLTS yang Terhubung dengan Jaringan PLN.....	32
2.1.10	Software PVsyst (<i>Photovoltaic System</i>)	33
2.2	Penelitian Sebelumnya	34
BAB III METODE PENELITIAN		36
3.1	Tempat Waktu dan Lokasi Penelitian.....	36
3.2	Alat.....	36
3.3	Teknik Pengumpulan Data	38
3.4	Teknik Analisis Data.....	39
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....		43
4.1	Overview PLTS Hybrid Selayar.....	43
4.1.1	Layout PLTS Hybrid Selayar	43
4.1.2	Konfigurasi PLTS Hybrid Selayar	45
4.2	Data Hasil Penelitian.....	49
4.3	Analisis Data.....	51
4.3.1	Perhitungan efisiensi modul panel surya	51
4.3.2	Penghitungan Unjuk Kerja	53
4.3.3	Hasil Simulasi menggunakan aplikasi <i>PVsyst</i>	55
4.3.4	Perbandingan Simulasi <i>PVsyst</i> PLTS Selayar dan kondisi real	60
4.3.5	Persentase daya PV terhadap daya Hybrid	61
4.3.6	Tantangan PLTS Selayar	62
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN		65
5.1	Kesimpulan	65
5.2	Saran	66
DAFTAR PUSTAKA		67
LAMPIRAN.....		71

DAFTAR TABEL

Table 4.1 Data pembangkitan PLTS Selayar bulan Maret 2023	49
Table 4.2 Data distribusi beban pada pulau Selayar	50
Table 4.3 Daya dengan irradiasi tertinggi.....	52
Table 4.4 Hasil perhitungan efisiensi.....	52
Tabel 4.5 Daya total selama bulan maret.....	53
Table 4.6 Daya rata-rata selama bulan maret	53
Tabel 4.7 Hasil perhitungan unjuk kerja.....	55
Tabel 4.8 Hasil simulasi produksi energi listrik PLTS Selayar	60
Tabel 4.9 Koefisien Performa PLTS Selayar hasil simulasi.....	60
Tabel 4.10 Perbandingan produksi energi listrik PLTS Selayar.....	61
Tabel 4.11 Perbandingan Performa spesifik PLTS Selayar.....	61
Tabel 4.12 Persentase kontribusi PV terhadap daya hybrid.....	62
Tabel 4.13 Hasil simulasi dengan variasi tilt dan azimuth	64

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Skema system pemabangkitan listrik	6
Gambar 2.2 Kurva Arus-tegangan.....	11
Gambar 2.3 Struktur Panel Surya.....	13
Gambar 2.4 Hubungan seri PV.....	15
Gambar 2.5 Hubungan parallel PV.....	16
Gambar 2.6 Hubungan kombinasi PV.....	16
Gambar 2.7 Solar Charge Controller.....	17
Gambar 2.8 Bank Baterai.....	18
Gambar 2.9 Inverter Huawei SUN2000-100KTL.....	21
Gambar 2.10 Arah Aliran Arus Listrik.....	25
Gambar 2.11 Segitiga Daya.....	25
Gambar 2.12 Gambar diagram kopel langsung.....	31
Gambar 2.13 Sistem PLTS terpusat dengan baterai.....	31
Gambar 2.14 Sistem PLTS grid.....	32
Gambar 2.15 Tampilan awal software PVsyst.....	33
Gambar 3.1 Spesifikasi Laptop.....	37
Gambar 3.2 Aplikasi PVsyst.....	37
Gambar 3.3 Aplikasi Global Solar Atlas.....	38
Gambar 3.4 Flow Chart Penelitian.....	42
Gambar 4.1 Gambar Lokasi PLTS Selayar	43
Gambar 4.2 Single line diagram PLTS Hybrid Selayar.....	44

Gambar 4.3 Gambar Layout PV modul pada PLTS Selayar.....	44
Gambar 4.4 Gambar spesifikasi modul surya.....	45
Gambar 4.5 String array modul surya PLTS Selayar.....	45
Gambar 4.6 Inverter Huawei Sun2000-100KTL.....	46
Gambar 4.7 Single Line Diagram PLTS Selayar.....	47
Gambar 4.8 System Smart Hybrid.....	48
Gambar 4.9 Geographical Coordinat.....	56
Gambar 4.10 Data Meteororm 8.1.....	56
Gambar 4.11 Orientation of panel.....	57
Gambar 4.12 System configuration.....	58
Gambar 4.13 Gambar 3D PLTS Selayar.....	58
Gambar 4.14 Gambar hasil running shading.....	59
Gambar 4.15 Tombol untuk run simulation.....	59
Gambar 4.16 Shading pada PLTS Selayar	63
Gambar 4.17 Tampilan aplikasi GSA.....	64

SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini

Nama : Alim Muarif

NIM : 421 222 21

Menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa segala pernyataan skripsi ini yang berjudul Analisis Kemampuan Pembangkitan PLTS hybrid Selayar 1.3 MWp merupakan gagasan dan hasil karya saya sendiri dengan arahan komisi pembimbing, dan belum pernah diajukan dalam bentuk apapun pada perguruan tinggi dan instansi manapun. Semua data dan informasi yang digunakan telah dinyatakan secara jelas dan dapat diperiksa kebenarannya. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dalam naskah dan dicantumkan dalam skripsi ini. Jika pernyataan saya tersebut diatas tidak benar, saya siap menanggung risiko yang ditetapkan ole Politeknik Negeri Ujung Pandang.

Makassar, September 2023

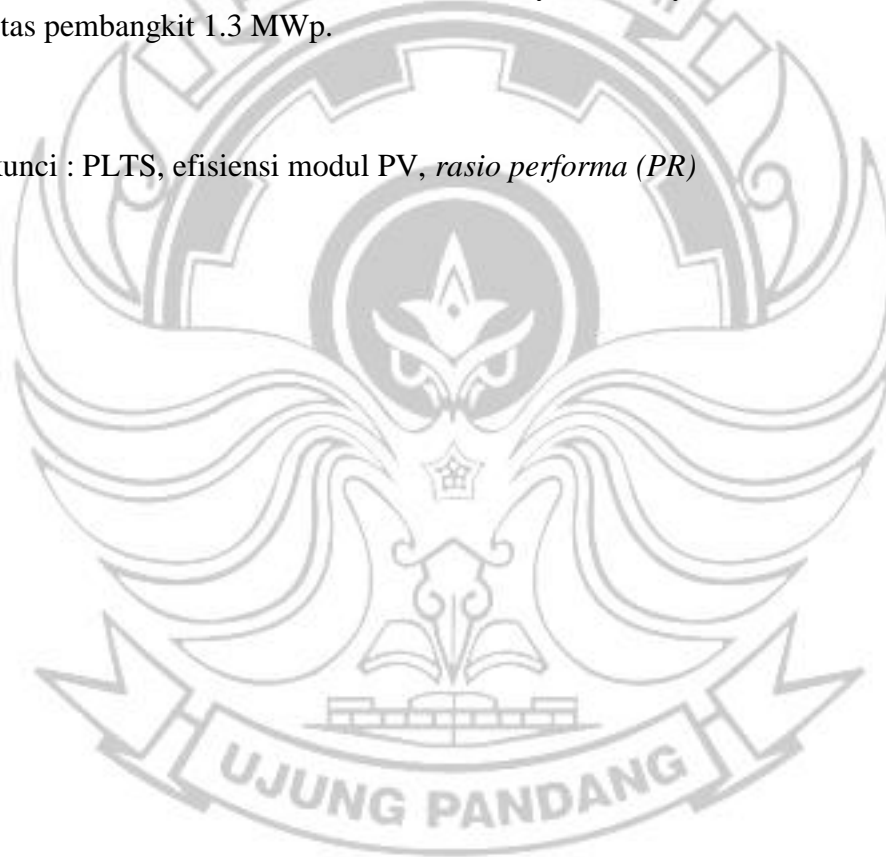


Alim Muarif

RINGKASAN

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kemampuan pembangkitan Pembangkit Listrik Tenaga Surya Hybrid. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah dengan melakukan simulasi menggunakan aplikasi PVSyst. Hasil simulasi dibandingkan dengan hasil analisis berdasarkan data yang diambil di lapangan. Parameter yang di analisis dalam penelitian ini adalah unjuk kerja, seperti : *performance Rasio* (PR), *final yield* (Yf) dan *reference yield* (Yr). Berdasarkan hasil penelitian menunjukkan hasil perhitungan efisiensi sebesar 14.44 %. Sedangkan perhitungan unjuk kerja hasil simulasi dan penelitian di lapangan sebesar : PR : 80.3 % dan 65.57%, Yf : 3.804 jam dan 4.39 jam, Yr : 5.802 jam dan 5.57 jam. Penelitian ini dilakukan di PLTS Hybrid Selayar desa Parak dengan kapasitas pembangkit 1.3 MWp.

Kata kunci : PLTS, efisiensi modul PV, *rasio performa* (PR)



BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Saat ini pemerintah Indonesia sedang berkomitmen untuk program NZE (Net Zero Emmission). Salah satu program tersebut adalah pembangunan pembangkit listrik berbasis EBT (Energi Baru Terbarukan). Indonesia memiliki target Energi Baru dan Terbarukan (EBT) sebesar 23% pada bauran energi nasional pada tahun 2025. Kebijakan ini, yang dipadukan dengan komitmen Indonesia untuk mengurangi emisi hingga 29% pada tahun 2030, merupakan upaya yang jelas menuju sistem energi yang lebih bersih dan berkelanjutan.

Pada tahun 2018, penggunaan energi baru dan energi terbarukan nasional baru mencapai 11,68% dan masih jauh dari yang ditargetkan. Untuk mencapai target tahun 2025 hingga 2050, pemerintah harus terus menggali potensi energi baru dan energi terbarukan di tingkat daerah serta terus melakukan investasi di sektor energi baru dan energi terbarukan (Setyono dkk , 2019).

Salah satu energi terbarukan yang memiliki potensi besar untuk dikembangkan di Indonesia sebagai negara tropis adalah energi dari cahaya matahari atau tenaga surya. Tenaga surya merupakan sumber energi tak terbatas, karena energi matahari merupakan energi terbesar di Bumi. Bagi negara-negara tropis seperti Indonesia, sinar matahari sangatlah mudah untuk ditemui. Rata-rata insolasi harian Indonesia berkisar antara 4,5 – 4,8 kWh/m² /hari (Ramadhan & Rangkuti, 2016), sehingga berpotensi untuk mengembangkan energi surya menjadi sumber energi terbarukan.

Sistem kelistrikan di pulau Selayar tidak terintegrasi dengan sistem kelistrikan Sulbagsel, sehingga pulau Selayar sistem kelistrikan sepenuhnya dilayani oleh PLTD. Oleh karena suplai bahan bakar berasal dari pulau Sulawesi dengan transportasi laut dan darat maka hal ini juga yang menyebabkan biaya operasional produksi energi listrik di Kepulauan Selayar cukup tinggi.

PLTS merupakan sesuatu yang masih terus dikembangkan terutama di Sulawesi Selatan. Sehingga potensi dari produksi energi listrik, unjuk kerja, dan permasalahan dalam pengoperasian PLTS ini terkait sistem dan lokasi pemasangan belum banyak diketahui.

Pemerintah melalui PT.PLN Persero adalah PLTS Hybrid Selayar 1.3 MWp. PLTS ini berada di Desa Parak, Kecamatan Bontomanai, Kabupaten Selayar, Sulawesi Selatan (Sulsel). PLTS ini dibangun di atas lahan seluas 1,46 hektare (ha) dengan kapasitas 1,3 mega wattpeak (MWp). Berdasarkan hasil wawancara awal dengan salah satu operator PLTS Hybrid Selayar, PLTS tersebut terdiri dari 3520 pv tipe monocrystalline dengan kapasitas 370Wp setiap pvnya dan dapat membangkitkan listrik beban puncak 1.3 MWp.

Namun terkadang pembangunan PLTS tidak diimbangi dengan perawatan yang baik, sehingga dapat menurunkan unjuk kerja atau performa dari PLTS. Berdasarkan IEC 61724 : *Photovoltaic system performance monitoring-guidelines for measurement, data exchange and analysis*, parameter unjuk kerja PLTS dipresentasikan dengan menghitung Final Yield (Yf), Reference Yield (Yr) dan Performance Rasio (PR) (Setiawan, I, K., Agus, 2014). Dengan demikian maka untuk dapat mengetahui kemampuan pembangkitan PLTS Selayar perlu dilakukan

analisis efisiensi modul PV dan rasio performa serta suatu simulasi terkait sistem dan lokasi pemasangan PLTS Selayar. Kemudian hasil simulasi menjadi acuan untuk analisis perbandingan terhadap kondisi real operasi PLTS Selayar, yang bertujuan agar produksi real energi listrik, kendala, dan permasalahan operasi PLTS dapat diketahui.

Dalam penelitian ini, kami melakukan analisis mendalam terhadap kemampuan pembangkitan dari PLTS Selayar 1.3 MWp. Kebaruan utama penelitian ini terletak pada simulasi menggunakan aplikasi PVSyst sesuai dengan konfigurasi system dan letak titik koordinat PLTS Selayar. Meskipun telah ada beberapa studi sebelumnya mengenai simulasi menggunakan PVSyst, namun penelitian ini membedakan diri dengan memberikan penekanan khusus pada lokasi dan sudut kemiringan tilt dan azimuth khususnya di Selayar, yang belum pernah dipelajari secara mendalam sebelumnya.

Selain itu, kebaruan lainnya adalah simulasi yang dilakukan menggabungkan aplikasi PVSyst dan Global Solar Atlas untuk menganalisis potensi energi optimum yang dihasilkan dari PLTS Selayar, dengan melakukan simulasi dengan variasi sudut *tilt* dan azimuth yang direkomendasikan dari aplikasi. Sehingga hasil simulasi dapat dibandingkan untuk hasil yang paling optimal. Sehingga menjadikan penelitian ini relevan dan memberikan kontribusi penting dalam pemahaman terkait dengan potensi energi terbarukan di daerah ini. Dengan demikian, penelitian ini diharapkan memberikan wawasan baru dalam pengembangan PLTS di Selayar dan memiliki implikasi penting dalam pengembangan sumber energi terbarukan di wilayah ini.

1.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana system kerja dan konfigurasi PLTS Hybrid Selayar dalam membangkitkan energy listrik ?
2. Bagaimana efisiensi modul PV dan unjuk kerja PLTS Hybrid Selayar ?
3. Bagaimana pebandingan hasil simulasi menggunakan aplikasi PVsyst dan kondisi real pada PLTS Hybrid Selayar 1.3 MWp ?

1.3 Tujuan Penelitian

1. Mengetahui system kerja dan konfigurasi PLTS Hybrid Selayar.
2. Menganalisis efisiensi modul PV dan unjuk kerja PLTS Hybrid Selayar ?
3. Menganalisis perbandingan hasil simulasi menggunakan aplikasi PVsyst dengan keadaan sesungguhnya pada PLTS Hybrid Selayar.

1.4 Ruang Lingkup Penelitian

Agar pembahasan menjadi teratur dan untuk mendapatkan hasil yang diharapkan maka penulis harus membuat ruang lingkup masalah yang akan dibahas.

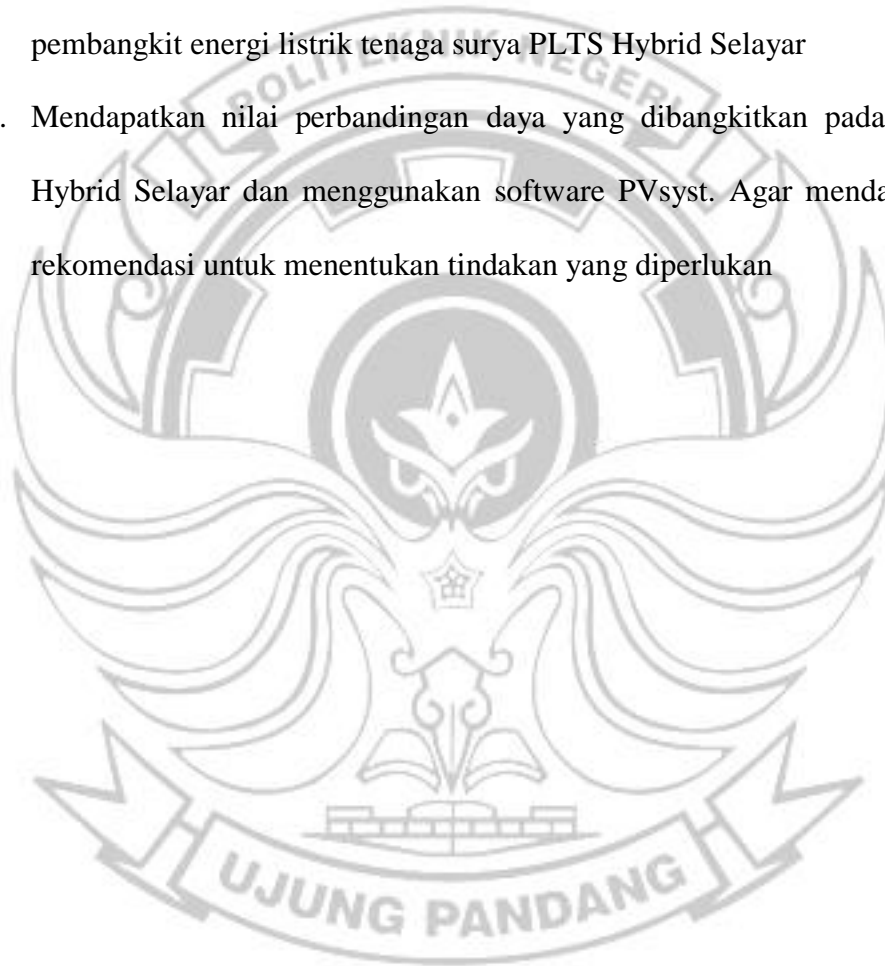
Mengenai ruang lingkup masalah pada pembahasan sebagai berikut :

1. System kerja dan konfigurasi pada PLTS Hybrid Selayar.
2. Perhitungan efisiensi modul PV dan unjuk kerja pada PLTS Hybrid Selayar.
3. Menggunakan software PVsyst sebagai pembanding.

1.5 Manfaat Penelitian

Dengan penelitian ini diharapkan dapat memperoleh manfaat antara lain:

1. Memberikan gambaran secara umum proses pembangkit listrik tenaga surya di PLTS Selayar.
2. Mendapatkan hasil analisis efisiensi modul PV dan unjuk kerja pembangkit energi listrik tenaga surya PLTS Hybrid Selayar
3. Mendapatkan nilai perbandingan daya yang dibangkitkan pada PLTS Hybrid Selayar dan menggunakan software PVSyst. Agar mendapatkan rekomendasi untuk menentukan tindakan yang diperlukan



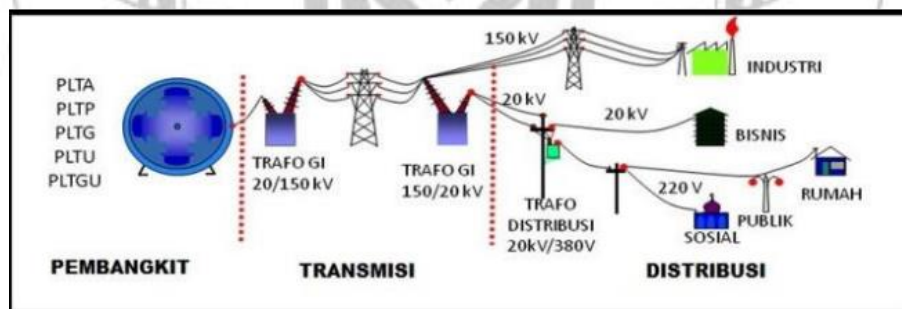
BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Dasar Teori

2.1.1 Pengertian Sistem Tenaga Listrik

Sistem Tenaga Listrik adalah sistem penyediaan tenaga listrik yang terdiri dari beberapa pembangkit atau pusat listrik terhubung satu dengan lainnya oleh jaringan transmisi dengan pusat beban atau jaringan distribusi. Sistem Tenaga Listrik terdiri atas 3 Sub-sistem:

- a) Sub-sistem Pembangkitan
- b) Sub-sistem Transmisi
- c) Sub-sistem Distribusi



Gambar 2.1 Skema Sistem tenaga listrik

(Nugroho, 2017)

- a. Sub-sistem Pembangkitan :

Sistem Pembangkitan Tenaga Listrik berfungsi membangkitkan energi listrik melalui berbagai macam pembangkit tenaga listrik (PLTA, PLTU, PLTD, PLTP, PLTG, dsb). Pada Pembangkit Tenaga Listrik ini sumber-sumber energi alam dirubah oleh penggerak mula menjadi energi mekanis yang berupa kecepatan atau putaran, selanjutnya energi mekanis tersebut diubah menjadi

energi listrik oleh generator. Proses perubahan energi primer menjadi listrik pada pembangkit adalah sebagai berikut:

- 1) Pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU): Bahan bakar yang berasal dari fosil: batubara, minyak bumi, gas alam, dipakai sebagai bahan bakar untuk memanaskan air dan menghasilkan uap untuk menggerakkan turbin uap.
- 2) Pada Pembangkit Listrik Tenaga Diesel (PLTD) atau Pembangkit Listrik Tenaga Gas (PLTG): Bahan bakar minyak atau gas alam dipakai untuk menggerakkan mesin diesel atau turbin gas.
- 3) Pada Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir (PLTN): bahan galian uranium atau thorium, menghasilkan reaksi yang mengeluarkan panas dan memproduksi uap air untuk memutar turbin uap.
- 4) Pada Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA): energi potensial air diubah menjadi energi kinetik dan selanjutnya energi mekanik memutar turbin air.
- 5) Pada Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB): Tenaga angin dipakai untuk memutar turbin.
- 6) Pada Pembangkit Listrik Tenaga Surya PLTS: Sinar matahari pada sel *photovoltaic* menghasilkan arus listrik.

b. Sub-sistem Transmisi

Sub-Sistem Transmisi berfungsi menyalurkan tenaga listrik dari pusat pembangkit ke pusat beban melalui saluran transmisi. Agar rugi-rugi energi

listrik (losses) berkurang, maka energi listrik tersebut ditransmisikan dengan saluran transmisi tegangan tinggi (150 kV) maupun tegangan ekstra tinggi (500 kV). Untuk itu sebelum ditransmisikan, tegangan listrik terlebih dahulu dinaikkan pada transformator penaik tegangan (step-up transformer). Saluran transmisi tegangan tinggi di Perusahaan Listrik Negara (PLN) kebanyakan mempunyai tegangan 66 kV, 150 kV dan 500 kV Saluran Udara Tegangan Ekstra Tinggi (SUTET). Saluran transmisi ada yang berupa saluran udara dan ada yang berupa kabel tanah, atau kabel laut. Misalnya yang menghubungkan pulau Jawa dan Madura, serta antara pulau Jawa dan Bali adalah kabel laut 150 kV.

c. Sub-sistem Distribusi

Sub-Sistem Distribusi berfungsi mendistribusikan tenaga listrik ke konsumen (pabrik, industri, perumahan dan sebagainya). Listrik yang berasal dari saluran transmisi dengan tegangan tinggi atau ekstra tinggi, pada gardu induk diubah menjadi tegangan menengah atau tegangan distribusi primer, yang selanjutnya diturunkan lagi menjadi tegangan rendah untuk konsumen. Tegangan distribusi primer yang dipakai PLN adalah 20 kV. Sedangkan tegangan rendah adalah 380/220 V.

Jaringan antara pusat listrik dengan Gardu Induk (GI) disebut jaringan transmisi. Sedangkan setelah keluar dari GI biasa disebut jaringan distribusi. Listrik yang disalurkan melalui jaringan distribusi primer maka kemudian tenaga listrik diturunkan tegangannya dalam gardu-gardu distribusi menjadi

tegangan rendah 380/220 Volt , kemudian disalurkan ke rumah-rumah pelanggan (konsumen) PLN melalui sambungan rumah.

Namun untuk Pelanggan-pelanggan dengan daya besar seperti pabrik-pabrik, listrik tidak disalurkan lewat jaringan tegangan rendah, melainkan disambung langsung pada jaringan tegangan menengah, bahkan ada pula yang disambung pada jaringan transmisi tegangan tinggi, untuk daya yang lebih besar. (Havianto, 2014)..

2.1.2 Pengertian Pembangkit Listrik Tenaga Surya

Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) adalah suatu pembangkit yang mengkonversikan energi foton dari surya menjadi energi listrik. Konversi ini terjadi pada panel surya yang terdiri dari sel-sel surya. PLTS memanfaatkan cahaya matahari untuk menghasilkan listrik *Direct Current* (DC) yang dapat diubah menjadi listrik *Alternating Current* (AC) apabila diperlukan. PLTS pada dasarnya adalah pencatu daya dan dapat dirancang untuk mencatu kebutuhan listrik dari skala kecil sampai dengan skala besar, baik secara mandiri (*stand alone*), *on grid* (terhubung dengan jaringan PLN), maupun *hybrid*.

Kelebihan dari pembangkit listrik tenaga surya dibanding dengan pembangkit listrik yang lain yaitu:

- a) Sumber energi yang melimpah dan tanpa biaya karena memanfaatkan energi matahari.
- b) Ramah lingkungan, tidak ada emisi gas dan limbah cair atau padat yang berbahaya.

- c) Sumber energi tersedia di tempat dan tidak perlu diangkut.
- d) Biaya pengoperasian dan pemeliharaan sistem PLTS yang relatif kecil.
- e) Tidak perlu pemeliharaan yang sering dan dapat dilakukan oleh operator setempat yang terlatih.

2.1.2.1 Panel Surya

Panel surya terdiri dari sejumlah sel *photovoltaic* yang saling terhubung secara seri dan diproduksi menjadi sebuah unit. Sel-sel tersebut berikutan dengan kawat busbar penghubungnya dilindungi oleh bahan pelapis atau enkapsulasi (*encapsulating material*) yang melindungi sel-sel dari kontak langsung dengan lingkungan dan kekuatan mekanik yang dapat merusak sel-sel yang tipis.

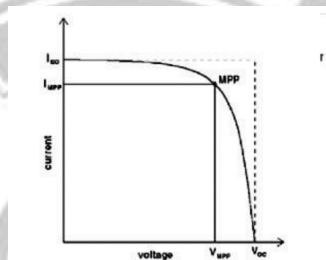
Standart Test Condition (STC) merupakan standar untuk mengukur kinerja maksimal suatu panel surya pada suatu kondisi seragam sehingga memungkinkan untuk melakukan perbandingan seragam pada panel surya baik pada produsen yang sama atau berbeda. Kondisi pengujian didefinisikan sebagai berikut:

- a) Iradiasi : 1000 W/m^2
- b) Suhu : $25 \text{ }^\circ\text{C}$
- c) Air Mass (AM) : 1.5 (ketebalan atmosfer; didaerah ekuator massa udara = 1, tetapi di Eropa 1.5)

Di Indonesia, Air Mass (AM) bernilai 1 karena berada di daerah ekuator. Waktu terbaik kinerja suatu panel surya saat cuaca cerah antara jam 10.00-14.00.

Oleh karena itu keluaran daya dari panel surya biasanya diasumsikan bekerja selama 3 sampai 4 jam/hari saja.

Kinerja kelistrikan panel surya dicirikan dengan kurva arus-tegangan (I-V). Kurva tersebut menjelaskan operasi arus dan tegangan modul *photovoltaic* pada radiasi sinar matahari dan suhu tertentu. Karena modul *photovoltaic* merupakan komponen utama dalam PLTS, kualitas modul *photovoltaic* yang baik sangatlah penting untuk mempertahankan operasional sistem.



Gambar 2. 2 Kurva Arus-Tegangan (I-V)

(Erfan, 2019)

Kurva tersebut menunjukkan bahwa pada saat arus dan tegangan berada pada titik kerja maksimal (maximum power point), maka akan menghasilkan daya keluaran yang maksimum (*PMPP*). Tegangan di Maximum Power Point (*VMPP*), lebih kecil dari tegangan rangkaian terbuka (*Voc*) dan arus saat (*IMPP*), adalah lebih rendah dari arus short circuit (*Isc*).

- Short Circuit Current (*Isc*): merupakan maksimum arus keluaran dari panel surya yang dapat dikeluarkan dibawah kondisi dengan tidak ada resistansi atau hubung singkat. *Isc* terjadi pada suatu titik dimana tegangannya adalah nol, sehingga pada saat ini, daya keluarannya adalah nol.

- Open Circuit Voltage (V_{oc}): merupakan kapasitas tegangan maksimum yang dapat dicapai pada saat tidak adanya arus atau tanpa beban. V_{oc} terjadi pada suatu titik dimana arusnya adalah nol, sehingga pada saat ini, daya keluarannya adalah nol.
- Maximum Power Point (MPP) (V_{mp} & I_{mp}): merupakan output maksimum yang dapat dihasilkan panel surya pada kondisi uji standar Standard Test Condition (STC). STC meliputi kondisi dengan radiasi sinar matahari sebesar 1000 W/m^2 , suhu modul 25°C , dan massa udara 1 ($AM - \text{air mass}$) sebesar 1.5 AM . Perhitungan nilai P_{mak} dengan rumus sebagai berikut:

$$P_{mak} = V_{oc} \times I_{sc} \times FF \dots\dots\dots(2.1)$$

Keterangan :

P_{mak} : Daya maksimum panel surya (W)

V_{oc} : Open circuit voltage (V)

I_{sc} : Short circuit current (A)

FF : Fill factor

- Fill Factor (FF): Nilai fill factor biasanya sekitar 0.7- 0.85. Semakin tinggi nilai FF suatu panel surya, maka kinerja panel surya tersebut semakin baik dan akan memiliki efisiensi panel surya yang semakin tinggi. Perhitungan nilai FF dengan rumus sebagai berikut:

$$FF = \frac{V_{mp} \times I_{mp}}{V_{oc} \times I_{sc}} \dots\dots\dots(2.2)$$

Keterangan :

FF : Fill Factor V_{mp} : Tegangan maksimum panel surya (V)

I_{mp} : Arus maksimum panel surya (A)

V_{oc} : Open circuit voltage (V)

I_{sc} : Short circuit current (A)

- Efisiensi: perbandingan dari daya maksimum panel surya dengan daya intensitas matahari (irradiance). Perhitungan efisiensi panel surya dengan rumus sebagai berikut:

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in} (I \times A)} 100\% \dots\dots\dots(2.3)$$

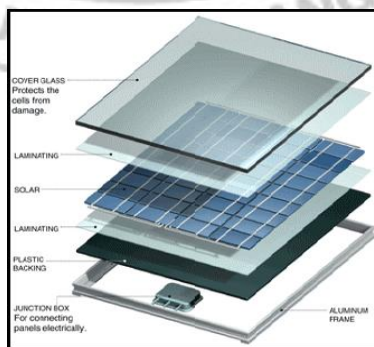
Keterangan: η : Efisiensi (%)

P_{in} : daya input intensitas matahari x luas panel (P)

I : Intensitas matahari (watt/m²)

A : Luas penampang panel surya (m²)

Struktur dari panel surya ditunjukkan pada Gambar 2.3 sebagai berikut:



Gambar 2.3 Struktur Panel Surya

(Erfan, 2019)

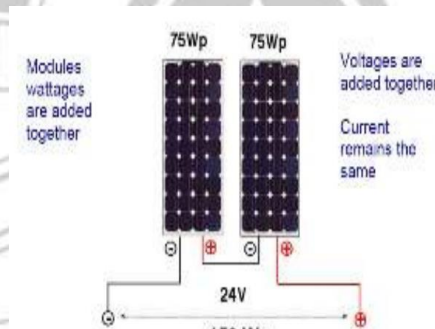
- a. Cover glass melindungi sel *photovoltaic* dari lingkungan dan memastikan kekokohan panel. Karena fungsinya tersebut, kaca pelindung mengambil proporsi tertinggi dari total berat modul *photovoltaic*.
- b. Laminasi adalah lapisan antara sel *photovoltaic* dan kaca pelindung. Laminasi digunakan untuk mencegah kerusakan mekanis pada sel *photovoltaic* dan mengisolasi tegangan dari sel *photovoltaic* dengan bagian modul lainnya. Biasanya lembaran laminasi menggunakan bahan ethylene-vinyl acetate (EVA).
- c. Sel *photovoltaic* merupakan komponen utama dari modul *photovoltaic*. Sel ini terbuat dari bahan semikonduktor yang menangkap sinar matahari dan mengubahnya menjadi listrik. Sel-sel saling terhubung secara seri untuk mendapatkan tegangan total yang lebih tinggi melalui kawat busbar. Bahan yang digunakan untuk sel *photovoltaic* umumnya adalah silikon, seperti polycrystalline dan monocrystalline.
- d. Lembar insulasi (backsheet) terbuat dari bahan plastik untuk melindungi dan secara elektrik mengisolasi sel-sel dari kelembaban dan cuaca.
- e. Bingkai atau frame biasanya terbuat dari aluminium anodized untuk menghindari korosi. Oleh karena pemasangan bingkai dilakukan di akhir proses pembuatan, bingkai memiliki fungsi untuk memastikan

kekokohan panel.

- f. Kotak penghubung (junction box) digunakan sebagai terminal penghubung antara serangkaian sel *photovoltaic* ke beban atau ke panel lainnya. Perangkat ini berisi kawat busbar dari rangkaian sel *photovoltaic*, kabel dan bypass diode.

Rangkaian panel surya secara seri

Hubungan seri suatu modul surya didapatkan dengan cara menghubungkan kutub yang berbeda yaitu negatif dengan positif seperti gambar 2.4. Hasil dari hubungan seri ini yaitu penjumlahan dari nilai tegangan dari setiap module tetapi nilai arus tetap.



Gambar 2.4 Hubungan seri PV

(Hamdani dkk., 2019)

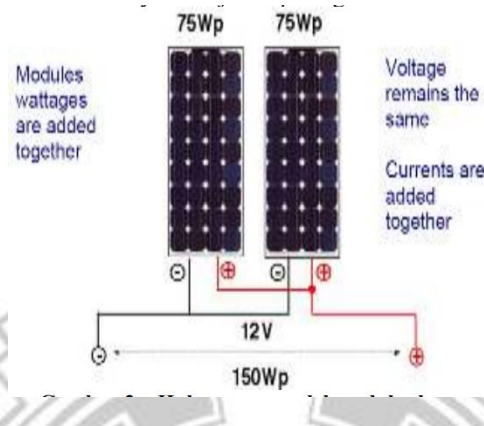
$$V_{string} = V_1 + V_2 + V_3 + \dots \dots \dots (2.4)$$

$$I_{string} = I_1 = I_2 = I_3 = I_{\dots} \dots \dots (2.5)$$

Rangkaian panel surya secara paralel

Hubungan paralel suatu modul surya didapatkan dengan cara menghubungkan kutub yang sama yaitu negatif dengan negatif dan positif dengan positif seperti

gambar 2.5 hasil dari hubungan paralel ini yaitu penjumlahan dari nilai arus dari setiap module tetapi nilai tetap tetap.



Gambar 2.5 hubungan paralel PV

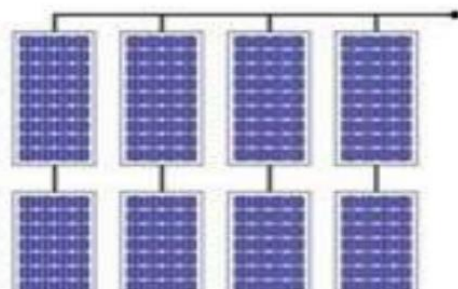
(Hamdani dkk., 2019)

$$V_{total} = V_{string1} = V_{string2} = V_{string3} = \dots \dots \dots (2.6)$$

$$I_{total} = I_{string1} + I_{string2} + I_{string3} + I_{\dots} \dots \dots (2.7)$$

Rangkaian hubungan kombinasi

Hubungan kombinasi adalah rangkaian yang menggabungkan antara rangkaian seri dan paralel. Rangkaian dapat dilihat pada gambar 2.6.



Gambar 2.6 hubungan kombinasi PV

(Sunardiyo dkk., 2022)

2.1.2.2 Solar Charge Controller

Solar charge controller (SCC) atau juga dikenal sebagai battery charge regulator (BCR) adalah komponen elektronik daya di PLTS untuk mengatur pengisian baterai dengan menggunakan modul *photovoltaic* menjadi lebih optimal.



Gambar 2.7 Solar Charge Controller
(Erfan, 2019)

Perangkat ini beroperasi dengan cara mengatur tegangan dan arus pengisian berdasarkan daya yang tersedia dari larik modul *photovoltaic* dan status pengisian baterai state of charge (SoC). Untuk mencapai arus pengisian yang lebih tinggi, beberapa SCC dapat dipasang secara paralel di bank baterai yang sama dan menggabungkan daya dari larik modul *photovoltaic*. Fungsi lain dari solar charge controller adalah sebagai berikut:

- a. Mengubah arus DC bertegangan tinggi dari larik modul *photovoltaic* ke tegangan yang lebih rendah baterai.
- b. Melindungi bank baterai dari pengisian yang berlebih dengan mengurangi arus pengisian dari larik modul *photovoltaic* di saat baterai sudah penuh. Tergantung pada teknologi baterai, pengisian baterai yang berlebihan (overcharge) dapat menyebabkan timbulnya gas dan ledakan.

- c. Memaksimalkan transfer daya dari larik modul *photovoltaic* ke baterai dengan menggunakan algoritma maximum power point tracker (MPPT).
- d. Memblokir arus balik dari bank baterai di saat radiasi sinar matahari tidak mencukupi atau di malam hari.
- e. Mengukur dan memonitor tegangan, arus, dan energi yang ditangkap dari larik modul *photovoltaic* dan mengirimkannya ke bank baterai.

2.1.2.3 Bank Baterai



Gambar 2.8 Bank Baterai

(sumber : dokumentasi pribadi)

Baterai bertindak sebagai penyimpan energi sementara untuk mengatasi perbedaan antara pasokan listrik dari modul *photovoltaic* dan permintaan listrik. Baterai digunakan dalam sistem PLTS untuk menyimpan energi yang dihasilkan oleh modul *photovoltaic* di siang hari, lalu memasok ke beban di malam hari atau saat cuaca berawan. Saat ini, baterai merupakan cara paling praktis untuk menyimpan tenaga listrik yang dihasilkan oleh rangkaian modul *photovoltaic* melalui reaksi elektrokimia. Komponen ini merupakan salah satu komponen yang penting dan sekaligus rentan dalam sistem PLTS *off-grid*.

Desain yang kurang baik atau ukuran baterai yang tidak tepat dapat mengurangi umur pakai yang diharapkan, berkurangnya energi, kerusakan, 20 hingga bahaya keselamatan pada pengguna. Baterai memiliki keterbatasan umur pakai yang bergantung pada perilaku penggunaan serta temperatur pengoperasian.

Kapasitas baterai yang diperlukan tergantung pada pola operasi PLTS. Besar kapasitas baterai juga harus mempertimbangkan seberapa banyak isi baterai akan dikeluarkan dalam sekali pengeluaran. Kapasitas baterai dinyatakan dalam Ah atau Ampere hours. Jika suatu PLTS menggunakan baterai dengan kapasitas 70 Ah dengan tegangan sekitar 12 Volt. Maka baterai tersebut memiliki kemampuan menyimpan muatan sekitar 70 Ah x 12 V atau 840 Wh. Menghitung kapasitas baterai dalam persamaan ditulis:

$$P = I \times V \times t \dots\dots\dots(2.8)$$

Keterangan :

P : Daya per jam atau (Wh)

I : Kuat arus per jam (Ah)

V : Tegangan baterai (V)

t : waktu

Jumlah muatan/energi yang dikeluarkan atau dipakai dari baterai disebut Depth of discharge (DOD). DOD dinyatakan dengan persentase dari kapasitas nominal baterai. DOD 80% artinya bahwa baterai tersebut telah melepaskan

muatannya 80% dari 100% ratingnya. Pada kondisi ini baterai tinggal memiliki muatan sekitar 20% yang disebut juga dengan *state of charge (SOC)*.

Fungsi lain dari baterai dalam pembangkit listrik tenaga surya adalah sebagai berikut:

- a) Sebagai suplai bagi beban dengan tegangan dan arus yang stabil melalui inverter baterai, juga dalam hal terjadi putusnya pasokan daya dari modul *photovoltaic*.
- b) Bertindak sebagai cadangan untuk mengatasi perbedaan antara daya yang tersedia dari modul *photovoltaic* dan permintaan dari beban.
- c) Menyediakan cadangan energi untuk digunakan di hari-hari dengan cuaca berawan atau pada kondisi darurat. Penentuan kapasitas baterai harus memperhitungkan hari-hari ketika sistem berjalan penuh tanpa pasokan daya dari modul *photovoltaic* untuk memenuhi kebutuhan listrik.
- d) Memasok daya ke komponen elektronika daya seperti solar charge controller dan inverter

2.1.2.4 Inverter

Inverter yang berdiri sendiri (*stand-alone*) adalah bagian utama dari sistem PLTS *off-grid*. Inverter bertugas untuk membentuk jaringan distribusi AC dengan mengatur tegangan dan frekuensi dalam batas yang diijinkan dan menjaga keseimbangan energi di dalam jaringan. Inverter baterai biasanya dapat digunakan secara dua arah (*bidirectional*) atau satu arah (*unidirectional*) tergantung pada konfigurasi dari sistem.

Pemilihan jenis inverter dalam merencanakan PLTS disesuaikan dengan desain PLTS yang akan dibuat. Jenis inverter untuk PLTS disesuaikan apakah PLTS on grid atau *off grid* atau *hybrid*. Inverter untuk sistem *on grid* (on grid inverter) harus memiliki kemampuan melepaskan hubungan (*islanding system*) saat



Gambar 2.9 Inverter Huawei SUN2000-100KTL

(sumber : dokumentasi pribadi)

grid kehilangan tegangan. Inverter untuk sistem PLTS *hybrid* harus mampu mengubah arus dari kedua arah yaitu dari DC ke AC dan sebaliknya dari AC ke DC. Oleh karena itu inverter ini lebih populer disebut *bi-directional* inverter.

Kelengkapan suatu inverter belum memiliki standard, sehingga produk yang satu dengan lain tidak sepenuhnya kompatibel. Ada inverter yang telah dilengkapi fungsi SCC dan atau BCC dan fungsi lainnya secara terintegrasi. Alat ini lazim disebut juga *Power Conditioner System* (PCS) atau *Power Conditioner Unit* (PCU). Dibutuhkannya SCC atau BCC tergantung dari kelengkapan inverter tersebut. Jika inverter telah dilengkapi dengan charge controller (SCC dan BCC)

dibagian internalnya, maka charge controller eksternal sangat mungkin tidak diperlukan lagi.

Fungsi lain dari inverter yaitu:

- a) Mengubah tegangan DC dari bank baterai ke jaringan listrik AC 220 VAC
- b) Melindungi bank baterai dari pengisian yang berlebihan dengan mengurangi arus pengisian (charging) ketika baterai sudah penuh. Pengisian baterai yang berlebihan dapat menyebabkan timbulnya gas atau ledakan, tergantung pada teknologi baterai.
- c) Melindungi bank baterai dari terkurasnya energi secara berlebih (deeply discharged) dengan cara menghentikan keluaran ketika kondisi penyimpanan energi pada baterai (*state of charge*) turun di bawah batas minimum. Karena inverter baterai membutuhkan baterai untuk dapat beroperasi, terkurasnya daya baterai secara berlebih dapat menyebabkan tidak beroperasinya inverter baterai atau terhentinya pasokan daya listrik ke jaringan.
- d) Memantau tegangan dan arus pengisian, serta tegangan dan arus pelepasan (*discharging*) energi ke baterai dan dari baterai. Serta tegangan dan arus keluaran AC.

2.1.3 Sistem Distribusi PLTS

Sistem distribusi daya listrik meliputi semua Jaringan Tegangan Menengah (JTM) 20 kV dan semua Jaringan Tengah Rendah (JTR) 380/220 Volt hingga ke

pelanggan. Pendistribusian daya listrik dilakukan dengan menarik kawat distribusi melalui penghantar udara.

2.1.3.1 Panel Distribusi DC

Panel distribusi DC atau dikenal juga dengan DC power distribution board (DCPDB) adalah tempat terhubungnya solar charge controller (SCC), bank baterai, dan inverter baterai. Panel ini mendistribusikan daya DC yang dikonversi dari solar charge controller ke bank baterai dan dari bank baterai ke inverter baterai. Panel distribusi DC pada umumnya terdiri dari busbar sebagai titik sambungan dan perangkat proteksi untuk melindungi bank baterai serta melindungi kabel dari SCC dan ke inverter baterai.

2.1.3.2 Panel Distribusi AC

Panel distribusi AC atau dikenal juga sebagai AC power distribution box (ACPDB) digunakan untuk membagi dan mendistribusikan daya dari inverter baterai untuk dialirkan pada beban melalui beberapa lateral penyulang atau sarana pendistribusian (sub-feeder). Panel ini adalah tempat di mana inverter baterai terhubung secara paralel untuk menggabungkan daya keluaran serta perangkat proteksi dari seluruh penyulang. Pada umumnya panel distribusi AC berisikan busbar, perangkat proteksi arus lebih, perangkat proteksi tegangan surja, serta sistem pemantauan lokal seperti KWH meter. Panel distribusi AC dapat dikonfigurasi dalam susunan satu fasa atau tiga fasa, tergantung pada kapasitas dan topologi sistem.

2.1.3.3 Jaringan Distribusi PLTS

Jaringan distribusi mengalirkan listrik dari rumah pembangkit ke rumah tangga melalui sistem tegangan rendah (TR) sistem satu fasa (220 V) atau tiga fasa (380 V). Rancangan konfigurasi garis pada dasarnya tergantung pada kapasitas PLTS off-grid dan jumlah pelanggan. Sistem konfigurasi pada PLTS off-grid umumnya menggunakan sistem radial yang mana jaringan listrik didistribusikan secara radial dari inverter baterai sebagai penyulang (feeder) utama dan dicabangkan ke beberapa saluran cabang (lateral penyulang) menuju sambungan rumah tangga yang dilayani. Komponen utama pada jaringan distribusi adalah tiang jaringan, kabel saluran udara dan kabel penopang.

2.1.4 Pengertian Daya Listrik

Usaha listrik merupakan proses dimana ketika elektron bergerak dari suatu ujung bermuatan negatif ke ujung bermuatan positif pada suatu konduktor. Daya listrik merupakan laju dari elektron mengerjakan suatu usaha listrik. Ini berarti, daya listrik merupakan kapasitas di mana suatu usaha listrik digunakan. Daya listrik diukur dalam satuan watt (W) atau kilowatt (kW). Di mana daya listrik sebesar satu watt listrik diperlukan untuk menyalurkan arus sebesar satu ampere pada tekanan listrik sebesar satu volt. Atau secara matematik persamannya dapat dituliskan pada persamaan 2.4:

$$P = V \times I \dots\dots\dots(2.9)$$

Keterangan :

P : Daya listrik (W)

V : Tegangan listrik (V)

I : Arus listrik (A)

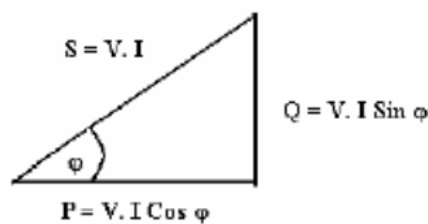
Pada rangkaian arus searah, perkalian antara tegangan dan arus memberikan nilai daya listrik yang diperlukan oleh rangkaian tersebut, di mana faktor daya tidak diperlukan dalam rangkaian ini. Dunia industri menggunakan satuan watt untuk peralatan yang mengkonsumsi listrik dalam jumlah kecil. Contoh peralatan listrik yang menggunakan satuan watt adalah seterika listrik, rice cooker, dan hair dryer.



Gambar 2.10 Arah Aliran Arus Listrik

(Erfan, 2019)

Jumlah daya listrik yang telah digunakan dalam satuan waktu tertentu lazim disebut energi listrik. Energi listrik diukur watt jam (Wh). Satuan kilowatthour (kWh) lazim digunakan untuk menghitung pemakaian energi listrik yang telah digunakan selama periode tertentu. Untuk mengukur konsumsi energi listrik



Gambar 2.11 Segitiga Daya

(Alto Belly, 2010)

digunakan alat ukur yang disebut kWh meter. Perusahaan yang bergerak di bidang energi listrik lazim menjual listrik dalam satuan kWh.

2.1.4.1 Daya Aktif (P)

Daya aktif (*Active Power*) adalah daya yang terpakai untuk melakukan energi sebenarnya, yang digunakan secara umum oleh konsumen. Satuan daya aktif adalah Watt. Adapun persamaan dalam daya aktif dibagi berdasarkan fasanya sebagai berikut:

- Daya aktif untuk 1 fasa:

$$P = V \times I \times \cos \varphi \dots\dots\dots(2.10)$$

- Daya aktif untuk 3 fasa:

$$P = \sqrt{3} \times V \times I \times \cos \varphi \dots\dots\dots(2.11)$$

Keterangan:

P : Daya aktif (W)

V : Tegangan listrik (V)

I : Arus listrik (A)

$\cos \varphi$: Faktor daya

2.1.4.2 Daya Reaktif (Q)

Daya reaktif adalah jumlah daya yang diperlukan untuk pembentukan medan magnet. Dari pembentukan medan magnet maka akan terbentuk fluks medan magnet. Contoh daya yang menimbulkan daya reaktif adalah transformator, motor,

lampu pijar dan lain – lain. Satuan daya reaktif adalah Var. Adapun persamaan dalam daya reaktif yaitu:

- Daya reaktif untuk 1 fasa

$$Q = V \times I \times \sin \varphi \dots\dots\dots(2.12)$$

- Daya reaktif untuk 3 fasa

$$Q = \sqrt{3} \times V \times I \times \sin \varphi \dots\dots\dots(2.13)$$

Keterangan:

Q : Daya Reaktif (Var)

V : Tegangan listrik (V)

I : Arus listrik (A)

$\sin \varphi$: Faktor reaktif

2.1.4.3 Daya Semu (S)

Daya Semu (*Apparent Power*) adalah daya yang dihasilkan oleh perkalian antara tegangan dan arus dalam suatu jaringan. Satuan daya semu adalah VA. Adapun persamaan dalam daya semu adalah sebagai berikut:

- Daya semu untuk 1 fasa

$$S = V \times I \dots\dots\dots(2.14)$$

- Daya semu untuk 3 fasa

$$S = \sqrt{3} \times V \times I \dots\dots\dots(2.15)$$

Keterangan:

S : Daya Semu (Va)

V : Tegangan listrik (V)

I : Arus listrik (A)

2.1.5 Daya yang dibangkitkan PLTS

Untuk menghitung potensi daya listrik yang mampu di bangkitkan oleh PLTS, maka dapat dihitung menggunakan persamaan:

$$P_{PV,Max} = \frac{H}{G_{stc}} \times P_{wp} = H \times G_{stc} \times P_{wattpeak} \dots\dots\dots(2.16)$$

Dengan: $P_{PV,Max}$ = Potensi daya listrik maksimal PV(Wp)

H = Radiasi matahari pada PV (W/m²)

G_{stc} = Radiasi PV berdasarkan stc (1000 W/ m²)

$P_{wattpeak}$ = Total kapasitas daya PLTS terpasang

2.1.6 Final Yeald

Hasil akhir atau final yield (Y_f) adalah luaran produksi energi bersih (E) yang dihasilkan secara *realtime* yang merupakan energi real hasil akhir produksi energi listrik yang sudah dikurangi oleh losses energi yang terjadi, baik losses dalam saluran maupun faktor lingkungan

$$Y_f = \frac{E_{ac}}{P_o} \dots\dots\dots(2.17)$$

Dimana : Y_f = Hasil akhir jam (jam)

E_{ac} = energi ke jaringan (kWh)

P_o = total daya PV terpasang (kWp)

2.1.7 Reference Yeald

Referensi yield (Y_R) adalah jumlah radiasi matahari yang tersedia dalam suatu wilayah. Umumnya hasil acuan dihitung dengan jumlah radiasi matahari harian dalam satuan W/m^2 dibagi dengan radiasi berdasarkan *Standard Test Condition* (STC) yang bernilai $1000 W/m^2$ (Attari dkk, 2016).

$$Y_R = \frac{H_t}{H_R} \dots \dots \dots (2.18)$$

Dengan: H_t = Radiasi pada permukaan modul PV (W/m^2)

H_R = Radiasi referensi berdasarkan STC ($1000 W/m^2$)

2.1.8 Rasio Kinerja (PR)

Rasio kinerja merupakan uraian kualitas kerja peralatan pada sistem selama beroperasi dalam kurun waktu tertentu. Bentuk umum untuk menghitung rasio kinerja (PR) yaitu energi aktual yang dihasilkan (kWh) yang dibagi dengan total radiasi matahari yang tersedia (kWh/m^2) dan total kapasitas modul PV terpasang dikalikan 100 % seperti persamaan 2-8 (Duta, 2018). Selain persamaan 2-8, juga bisa menggunakan perbandingan antara hasil akhir (Y_f) dibagi dengan hasil referensi (Attari dkk, 2016).

$$PR = \frac{\text{Actual Energi (kWh)}}{\text{Insolation (kWh/m}^2\text{) x DC Capacity (kWp)}} \times 100\% \dots \dots \dots (2.19).$$

$$PR = \frac{Y_f}{Y_r} \times 100\% \dots \dots \dots (2.20).$$

2.1.9 Konfigurasi Sistem PLTS

Secara umum, konfigurasi system pembangkit listrik tenaga surya dibagi menjadi beberapa bagian yaitu :

1. Sistem PLTS terpusat (stand-alone system)
2. Sistem PLTS yang terkoneksi dengan jaringan listrik utama (grid connected PV system)
3. Sistem PLTS tersebar (Solar Home System)

2.1.9.1 Sistem PLTS Terpusat

Sistem PLTS terpusat merupakan sistem pembangkit energi listrik yang terpusat pada suatu lokasi dan hanya mengandalkan energy matahari sebagai satu-satunya sumber energy utama dengan menggunakan rangkaian panel surya untuk menghasilkan energi listrik sesuai dengan kebutuhan. Sistem PLTS terpusat diaplikasikan untuk memasok listrik pada daerah kecil dengan pola penyebaran rumah yang terkumpul atau kawasan dengan kepadatan rumah yang cukup banyak. Umumnya sistem ini mempunyai keluaran tegangan 220 Vac (sama dengan sistem tegangan pada PLN), karena itu peralatan inverter sangat diperlukan untuk dapat mengubah arus DC menjadi AC untuk di kirim pada beban. Dan sistem ini merupakan sistem yang bersifat off grid. Sistem PLTS terpusat sendiri terdiri dari beberapa instalasi yaitu :

- a. Sistem Kopel Langsung Sistem ini merupakan sistem yang paling sederhana pada sistem PLTS terpusat. Hal ini dikarenakan output DC dan modul atau array dihubungkan secara langsung ke beban DC. Karena sistem ini tidak

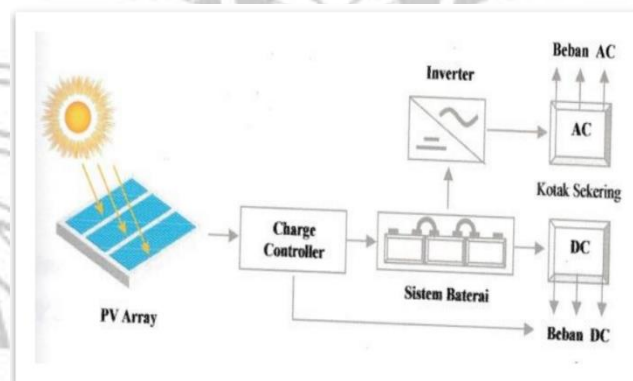
menggunakan baterai untuk menyimpan energi, maka beban hanya dapat beroperasi pada saat matahari bersinar saja. Oleh karena itu desain dari sistem ini sangat cocok untuk dioperasikan pada pompa air, kipas-kipas ventilasi dan pompa sirkulasi pada sistem pemanas air yang memanfaatkan panas matahari



Gambar 2.12 Diagram sistem kopel langsung

b. Sistem PLTS Terpusat Dengan Baterai

Pada tipe sistem ini baterai digunakan untuk menyimpan energi pada PLTS. Suplai beban DC dapat langsung diambil dari arus yang keluar dari Charge controller atau



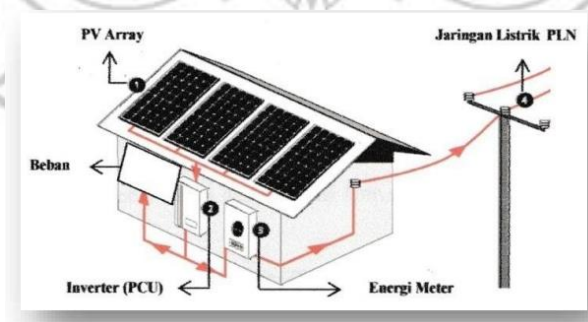
Gambar 2.13 Sistem PLTS terpusat dengan baterai

(Sampeallo. Agusthinus dkk, 2018)

arus DC yang diambil dari baterai. Sistem ini juga digunakan pada PLTS dengan skala kecil atau yang dikenal dengan istilah SHS (Solar Home System). Berikut merupakan gambar yang menunjukkan sistem PLTS terpusat dengan baterai yang mensuplai beban DC dan AC.

2.1.9.2 Sistem PLTS yang Terhubung dengan Jaringan PLN

Sistem jenis ini merupakan sistem yang dirancang untuk beroperasi secara parallel dan terinterkoneksi dengan jaringan listrik utama (PLN). Komponen terpentingnya adalah inverter yang juga disebut Power Conditioning Unit (PCU). PCU ini akan mengubah daya DC yang dihasilkan oleh PV array menjadi daya AC yang kualitas dan tegangannya sesuai dengan jaringan listrik utama. PCU akan berhenti untuk menyuplai daya secara otomatis ke jaringan ketika jaringan listrik utama itu tidak mengalir. Interface dua-arah dipasang diantara output sistem PV dan jaringan listrik utama, biasanya pada panel distribusi. Hal ini memungkinkan sistem PV untuk menyuplai kebutuhan sendiri dan sekaligus menyuplai kembali ke jaringan utama jika output sistem mengalami surplus. Di malam hari dan selama periode-periode tertentu ketika kebutuhan beban listrik lebih besar dari pada yang diperoleh dari sistem PV maka daya yang dibutuhkan tersebut didapatkan dari jaringan listrik PLN. Sistem PV yang dihubungkan ke jaringan listrik PLN membutuhkan alat pengaman guna menjamin bahwa sistem PV tidak akan terus bekerja dan mengirim daya listrik kembali ke jaringan PLN jika jaringan itu sedang

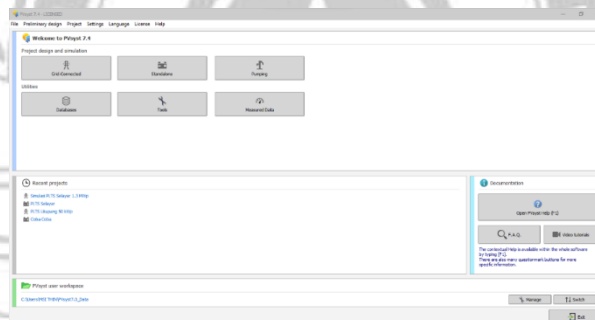


Gambar 2.14 Sistem PLTS grid
(Sampeallo. Agusthinus dkk, 2018)

dipadankan untuk keperluan perbaikan atau pemeliharaan. Sistem grid PLTS-PLN secara skematis.

2.1.10 Software PVsyst (*Photovoltaic System*)

PVsyst merupakan software yang digunakan untuk proses pembelajaran, pengukuran (*sizing*), dan analisis data dari sistem PLTS secara lengkap. *PVSYST* dikembangkan oleh Universitas Geneva, yang terbagi ke dalam sistem terinterkoneksi jaringan (*grid-connected*), sistem berdiri sendiri (*stand-alone*), sistem pompa (*pumping*), dan jaringan arus searah (*DC-grid*). *PVsyst* juga dilengkapi database dari sumber data meteorologi yang luas dan beragam, serta data komponen PLTS.



Gambar 2.15 Tampilan Awal Software PVsyst

Gambar 2.15 menunjukkan tampilan awal dari software PVSYST, dimana simulasi dari software ini dapat menentukan *Photovoltaic* (PV) modul yang digunakan dengan spesifikasi lengkap dari berbagai produsen, inverter, sudut kemiringan dari modul PV dan radiasi yang diterima oleh modul PV tersebut, shading, peletakan PV modul serta konfigurasinya, jumlah dari PV modul, jumlah inverter, dan sebagainya. Sehingga akan menghasilkan energi maksimal dan luas wilayah yang dibutuhkan.

2.2 Penelitian Sebelumnya

Dalam penyusunan skripsi ini, yang berjudul “Analisis Kemampuan Pembangkitan PLTS Hybrid Selayar 1.3 MWp” peneliti menggunakan beberapa penelitian terdahulu sebagai bahan referensi. Adapun penelitian yang menjadi bahan referensi di antaranya :

Analisis kemampuan Pembangkit Listrik Tenaga Surya Sistem 240 Volt DC di Pantai Baru Yogyakarta (Pratama, 2019). Pada penelitian ini diperoleh nilai total daya yang dibangkitkan panel surya pada hari pertama pengukuran sebesar 47.72 kWh, sedangkan pada simulasi software PVsyst sebesar 37.41 kWh dengan selisih hasil perhitungan 10.31 kWh atau 21.6%. Perhitungan total daya yang dibangkitkan panel surya hari kedua secara manual didapatkan hasil sebesar 49.47 kWh, sedangkan pada simulasi software PVsyst sebesar 37.54 kWh dengan selisih hasil perhitungan 11.93 kWh atau 24.1 %.

Selanjutnya yang menjadi referensi adalah penelitian “Analisis Unjuk Kerja Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Satu MWp Terinterkoneksi Jaringan di Kayubih Bangli” (Setiawan, I N Satya, dkk., 2014). Pada penelitian ini didapatkan nilai optimum YF (*Final Yield*) dan PR (*Performance Rasio*) PLTS Kayubih diperoleh dengan simulasi menggunakan software PVsyst, yang berdasarkan lokasi dan konfigurasi sistem terpasang, tanpa memperhatikan faktor shading sesuai lokasi PLTS. Selanjutnya hasil simulasi dibandingkan terhadap hasil produksi real energi listrik PLTS Kayubih. Potensi optimum energi listrik per tahun yang dihasilkan PLTS Kayubih dari hasil simulasi adalah 1656 MWh, dengan PR 83,6 %. Berdasarkan waktu operasi dari 15 Februari s.d. 30 September 2013 produksi real

energi listrik PLTS Kayubihi adalah 729,08 MWh, selisih 32,3% dari simulasi PVsyst sebesar 1076,94 MWh. Shading dan gangguan yang ada menurunkan produksi energi dan unjuk kerja spesifik PLTS Kayubihi yaitu YF(*Final Yield*) 3,20 jam/hari, dengan faktor kapasitas (CF) 13,34 % terhadap simulasi, yaitu YF(*Final Yield*) 4,68 jam/hari dan CF 19,53%.

Penelitian yang berkaitan juga adalah penelitian mengenai Penelitian tentang, “Unjuk Kerja Pembangkit Listrik Tenaga Surya Rooftop 158 kWp pada Kantor Gubernur Bali”(Wicaksana dkk,2019).Pemerintah Provinsi Bali bekerja sama dengan Kementerian ESDM dalam pengembangan PLTS rooftop 158 kWp yang terhubung ke jaringan PLN. Energi yang dihasilkan hingga saat ini telah mengurangi suplai energi listrik dari PLN pada area Kantor Gubernur Bali. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui potensi energi yang dihasilkan oleh PLTS 158 kWp tersebut. Produksi energi di estimasi menggunakan *HelioScope*. Data yang diperlukan antara lain lokasi PLTS, dan spesifikasi teknis PLTS. Hasil Penelitian tersebut adalah simulasi menghasilkan data energi total dalam satu tahun sebesar 249.764kWh/tahun dengan energi tertinggi terjadi pada bulan Mei sebesar 24.172kWh dan energi terendah terjadi pada bulan Januari sebesar 16.226 kWh.

BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Tempat Waktu dan Lokasi Penelitian

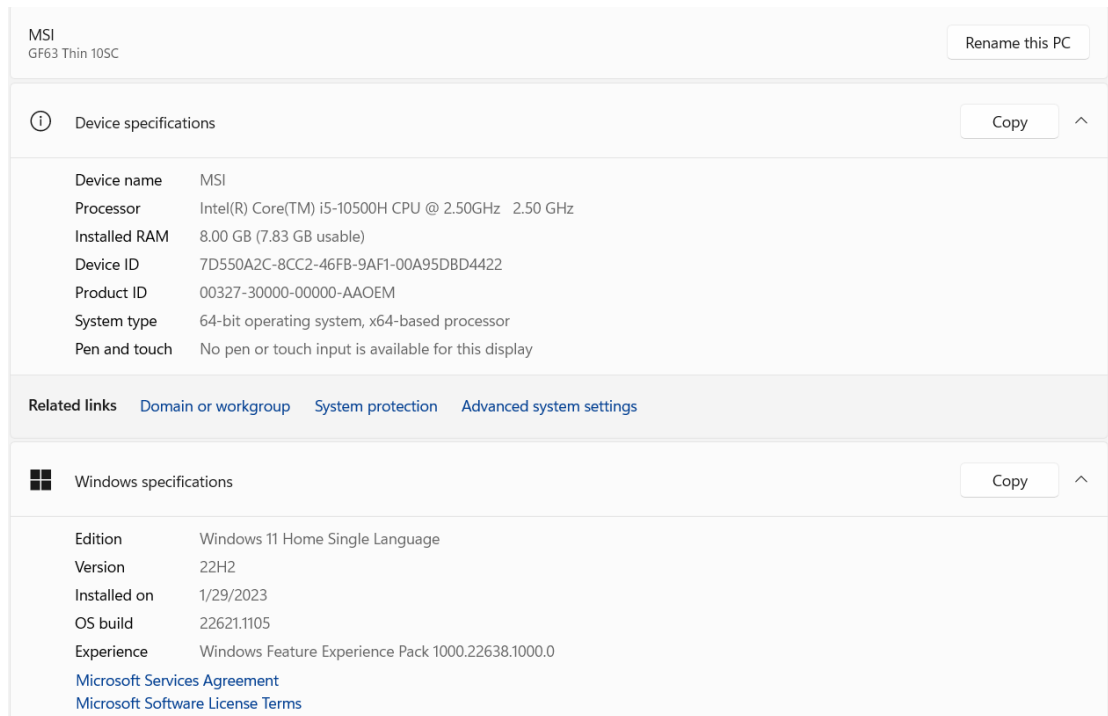
Lokasi pengambilan data analisis kemampuan pembangkitan PLTS Hybrid Selayar 1.3 MWp dilakukan dengan mengunjungi langsung dan mengambil data di site PLTS Hybrid Selayar yang terletak di desa Parak Kec. Bontomanai Kab. Selayar Provinsi Sulawesi Selatan yang secara geografis terletak pada koordinat - 6.04 LS, 120.45 BT. Waktu pembuatan dan pengerjaan analisis ini dilakukan selama 3 bulan, mulai dari bulan Mei 2023 sampai dengan Agustus 2023.

3.2 Alat

Penelitian ini menggunakan metode observasi dan data sheet sehingga tidak memerlukan bahan secara spesifik, Adapun kebutuhan alat dalam penelitian ini yaitu :

1. Komputer atau Laptop

Komputer atau laptop merupakan hardware dalam penelitian ini yang berfungsi sebagai alat untuk melakukan simulasi menggunakan aplikasi sekaligus penulisan penelitian ini. Laptop yang di gunakan dalam penelitian ini memiliki spesifikasi yang dapat dilihat pada gambar 3.1.



Gambar 3.1 Spesifikasi Laptop

2. Aplikasi PVsyst

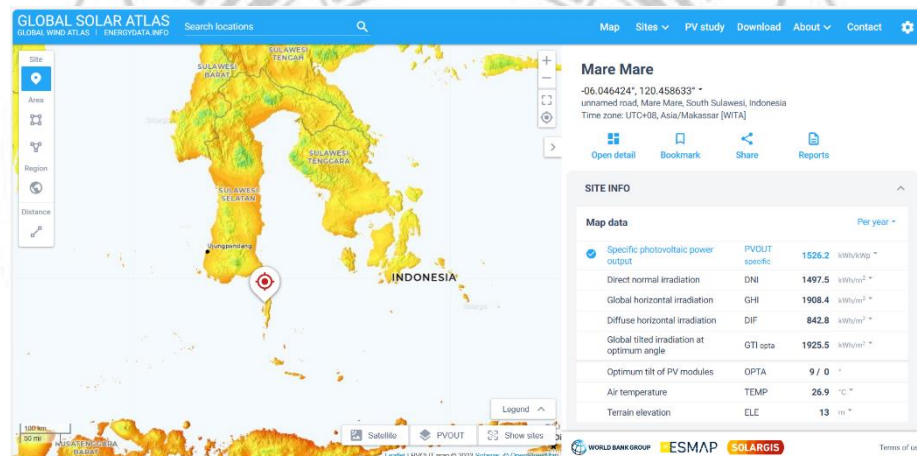
Selain itu, pada penelitian ini juga digunakan aplikasi PVsyst untuk melakukan simulasi PLTS Hybrid Selayar dengan menggunakan data teknis konfigurasi system dan lokasi geografis sesuai hasil observasi. Hal ini untuk bertujuan untuk mendapatkan hasil pembanding dengan kondisi real pada PLTS hybrid Selayar.



Gambar 3.2 Aplikasi PVsyst

3. Aplikasi Global Solar Atlas

Dari sisi internasional untuk membantu negara-negara dalam mencapai tujuan pembangunan energi baru terbarukan yang berkelanjutan, Grup Bank Dunia bermitra dengan Solargis, merilis aplikasi berbasis web bernama Global Solar Atlas (GSA) yang menyediakan akses cepat dan mudah didalam memproyeksikan potensi energi surya di suatu lokasi atau wilayah dimanapun didunia. Tidak hanya potensi berbagai macam informasi keluaran tentang PLTS dimana salah satu informasi yang dijadikan referensi dalam penelitian ini adalah tilt optimum dan energi array.



Gambar 3.3 Aplikasi Global Solar Atlas (GAS)

3.3 Teknik Pengumpulan Data

Penelitian dimulai dengan melakukan Studi literatur dimana penulis pengumpulan referensi dari buku-buku, penelitian sebelumnya dan jurnal-jurnal dari internet yang berhubungan atau yang dapat mendukung teori penyelesaian penelitian “Analisis Kemampuan Pembangkitan PLTS Hybrid Selayar 1.3 MWp”. Kemudian tahapan selanjutnya dilakukan pengambilan data-data dan observasi

langsung pada site pembangkitan PLTS Hybrid Selayar. Data-data yang diambil diantaranya :

1. Data konfigurasi teknis pada PLTS Hybrid Selayar yang terdiri dari kemiringan panel (*tilt*), azimuth dan letak titik koordinat lokasi PLTS.
2. Data pembangkitan yang meliputi data energy array, data energy ke grid dan data irradiansi selama bulan Maret 2023.

Selain data yang diambil di lapangan, peneliti juga melakukan wawancara kepada pegawai di PLTS Hybrid Selayar untuk memperoleh informasi secara lebih detail. Selanjutnya dilakukan simulasi menggunakan aplikasi *PVsyst* dengan menggunakan data teknis konfigurasi sistem dan lokasi geografi sesuai hasil identifikasi PLTS Hybrid Selayar. Kemudian akan dibandingkan dan dianalisis terhadap produksi real energi listrik dan unjuk kerja PLTS Hybrid Selayar.

3.4 Teknik Analisis Data

Analisa data dilakukan setelah pengambilan data di site PLTS Hybrid Selayar. Setelah memperoleh data-data yang diperlukan selanjutnya dilakukan perhitungan untuk mendapatkan variabel-variabel yang diteliti. Adapun variabel-variabel yang dihitung yaitu:

1. Perhitungan efisiensi panel surya yang dihitung menggunakan rumus berikut.

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in} (Ix A)} 100\% \dots\dots\dots(2.3)$$

Keterangan: η : Efisiensi (%)

P_{in} : daya input intensitas matahari x luas panel (P)

I : Intensitas matahari (watt/m²)

A : Luas penampang panel surya (m²)

2. Perhitungan unjuk kerja PLTS Hybrid Selayar 1.3 MWp

a. Final Yeald (Yf)

$$Y_f = \frac{E_{ac}}{P_o} \dots\dots\dots(2.17)$$

Dimana : Yf = Hasil akhir jam (jam)

Eac = energi ke jaringan (kWh)

Po = total daya PV terpasang (kWp)

b. Reference Yeald (Yr)

$$Y_R = \frac{H_t}{H_R} \dots\dots\dots(2.18)$$

Dengan: H_t = Radiasi pada permukaan modul PV (W/m²)

H_R = Radiasi referensi berdasarkan STC (1000 W/m²)

c. Performance Rasio (PR)

$$PR = \frac{\text{Actual Energi (kWh)}}{\text{Insolation (kWh/m}^2\text{) x DC Capacity (kWp)}} \times 100\% \dots\dots\dots(2.19).$$

$$PR = \frac{Y_f}{Y_r} \times 100\% \dots\dots\dots(2.20).$$

3. Melakukan simulasi pada aplikasi *PVsyst* berdasarkan data teknis dan konfigurasi PLTS Hybrid Selayar 1.3 MWp.

4. Melakukan perbandingan antara kondisi real dan hasil simulasi menggunakan aplikasi *PVsyst*.

5. Memasukkan letak titik koordinat PLTS Selayar pada aplikasi *Global Solar Atlas (GAS)* untuk mendapatkan rekomendasi sudut *tilt* dan azimuth. Kemudian melakukan simulasi dengan variasi azimuth dan *tilt* yang direkomendasikan aplikasi.
6. Memberikan kesimpulan dan saran.





Gambar 3.4 Flow chart penelitian

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

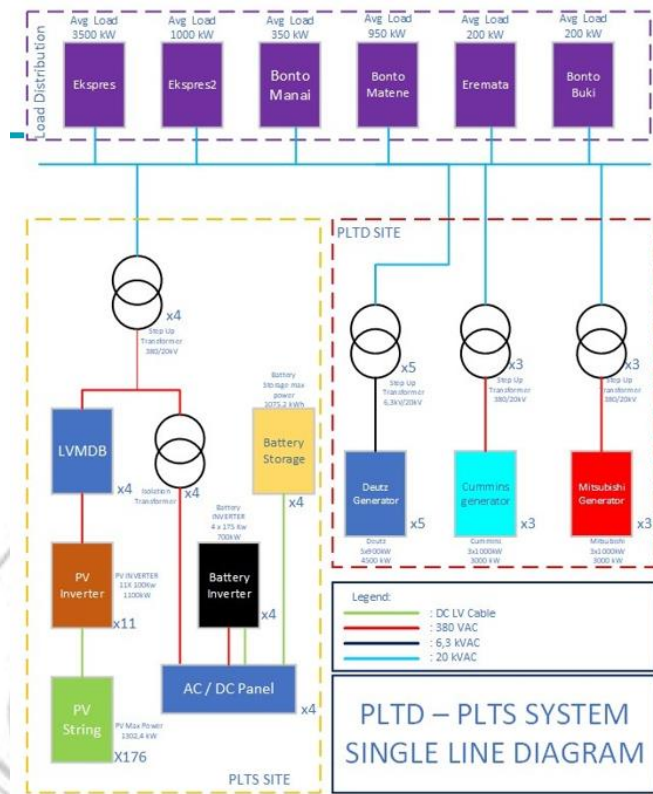
4.1 Overview PLTS Hybrid Selayar

4.1.1 Layout PLTS Hybrid Selayar



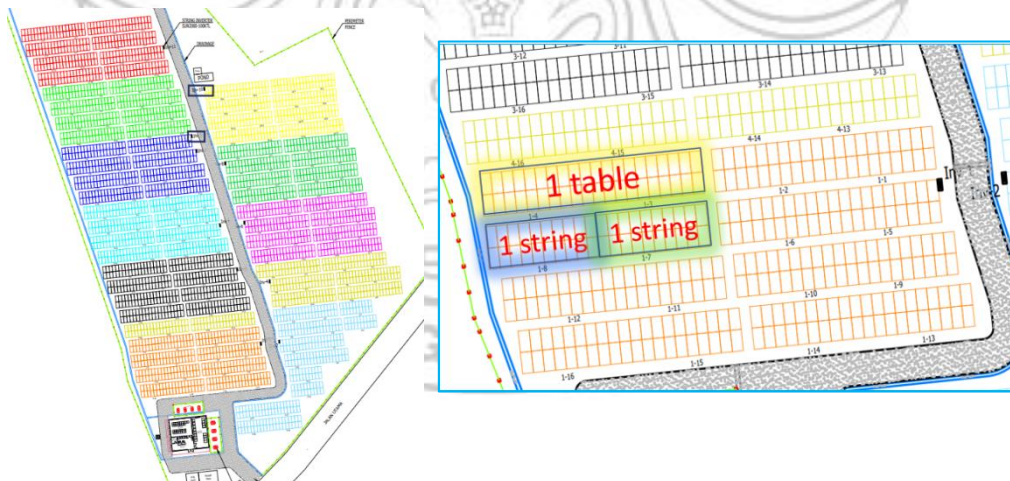
Gambar 4.1 Gambar Lokasi PLTS Selayar

Secara geografis PLTS Selayar terletak pada koordinat -6.04 LS, 120.45 BT. Gambar 4.1 menunjukkan letak PLTS Selayar tampak atas, PLTS Selayar terletak di Desa Parak, Kec. Bontomanai, Kab. Selayar dengan luas area 14.719 m². PLTS Selayar merupakan kategori PLTS skala besar (>500 kW) dengan kapasitas 1.3 MWp ditambah dengan baterai 870 kWh dan bekerja secara hybrid dengan PLTD Selayar. Single line diagram PLTS Hybrid selayar dapat dilihat pada gambar 4.2



Gambar 4.2 Single line diagram PLTS Hybrid Selayar

Gambar layout PV array PLTS surya dapat dilihat pada gambar 4.3



Gambar 4.3 Gambar Layout PV modul pada PLTS Selayar

4.1.2 Konfigurasi PLTS Hybrid Selayar

PLTS Selayar merupakan PLTS dengan konfigurasi pembangkitan daya hybrid dengan backup baterai. PLTS Selayar hybrid dengan PLTD Selayar. PLTS Selayar memiliki kapasitas daya total terpasang sebesar 1.302.400 Wp tipe *monocrystalline*. Terdiri dari 3520 buah modul surya kapasitas daya 370 Wp buatan ICA Solar. Modul terpasang pada penyangga dengan kemiringan 10° ke arah 6° utara. Spesifikasi modul surya dapat dilihat pada gambar 4.4 .



Gambar 4.4 Gambar spesifikasi modul surya

PLTS Selayar terdiri dari 11 Combiner, dimana setiap combiner terdiri 8 table, 1 table terdiri dari 2 string dan setiap stringnya terdiri dari 20 modul PV, sehingga pada PLTS ini menggunakan PV modul total sebanyak 3520 modul. Gambar string PV modul pada PLTS Selayar dapat dilihat pada gambar 4.5.



Gambar 4.5 String array modul surya PLTS Selayar

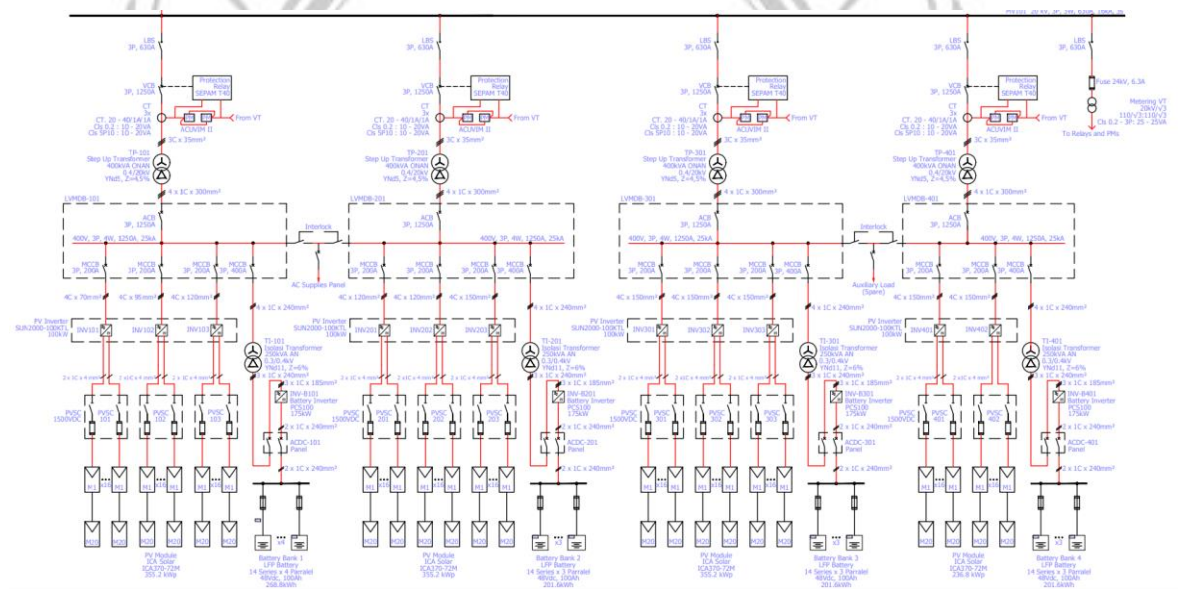
Untuk merubah daya listrik DC keluaran panel surya menjadi daya AC, dipergunakan inverter Huawei Sun2000-100KTL sebanyak 11 buah dengan kapasitas masing-masing 100 kW. Setiap input inverter berasal dari PVSC (PV String Combiner). Bentuk inverter dapat dilihat pada gambar 4.6.



Gambar 4.6 Inverter Huawei Sun2000-100KTL

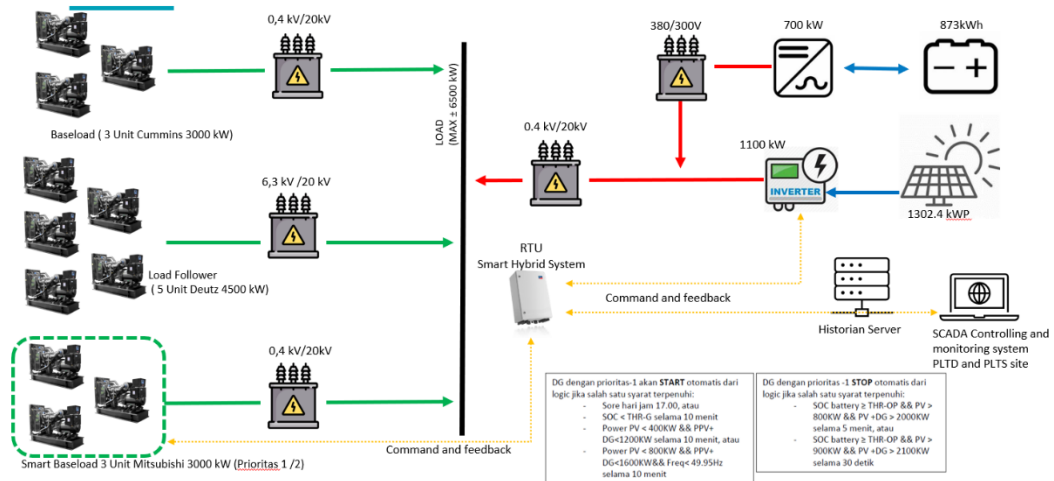
(Sumber : Dokumentasi pribadi)

Keseluruhan daya yang dibangkitkan ke grid JTM PLTS Selayar dibagi menjadi 11 bagian cluster, tiap bagian terdiri dari pv yang dirangkai secara seri 20 buah kemudian diparalel 16 buah. Tiap *cluster* PV akan membangkitkan daya DC yang kemudian diubah menjadi AC oleh inverter, lalu di alirkan ke LVMDB. Selain itu terdapat juga baterai yang akan melewati panel AC/DC yang kemudian akan melewati inverter untuk merubah tegangah menjadi AC dan akan disalurkan ke LVMDB. Output LVMDB kemudian akan dilewatkan pada trafo untuk dinaikkan tegangannya sebelum di salurkan ke grid. Gambar single line diagram lengkapnya dapat dilihat pada gambar 4.7.



Gambar 4.7 Single Line Diagram PLTS Selayar

Sistem Smart Hybrid



Gambar 4.8 System Smart Hybrid

Untuk mengatur semua konfigurasi kerja dari PLTS digunakan system smart hybrid. Gambar 4.8 menunjukkan konfigurasi dari system smart hybrid yang digunakan pada PLTS Hybrid Selayar. Pola kontrolnya adalah, Ketika pukul 06.00-17.00 yang bekerja adalah system PLTD + PLTS dan pukul 17.00-06.00 adalah PLTD sendiri. Apabila daya keluaran PV mengalami penurunan maka akan di backup oleh daya dari baterai, tetapi jika daya baterai SOC<40% dan daya dari PV<400kW maka RTU akan memerintahkan generator untuk start up. Generator posisi mode remote auto sebanyak 2 unit dengan prioritas operasi level 1 dan 2. Level 1 dimana mesin selalu beroperasi dengan spinning reserve sebesar 200 kW, level 2 dimana mesin berstatus standby/beroperasi, saat mesin standby maka mesin akan dipanggil sewaktu-waktu saat daya keluaran PV dan baterai menurun. Sementara itu daya generator Deutz dan Cummins diatur sebagai baseload secara manual.

4.2 Data Hasil Penelitian

Pengambilan data dilakukan dengan mengunjungi langsung lokasi PLTS Hybrid Selayar untuk mengambil data pembangkitan di PLTS, data yang diambil adalah data log otomatis dari system smart data logger pada PLTS. Adapun data yang dapat terekam adalah data daya pv percluster, data irradiansi matahari, dan data daya dari genset.

Data yang digunakan adalah data pada bulan Maret 2023 setiap jam dari pukul 07.00-17.00. Dari data yang diperoleh, total daya yang dibangkitkan oleh PLTS Selayar selama bulan Maret 2023 adalah sebesar 155813,48 kW atau 155,813 MW, dengan rata-rata 5.02 MW per hari. irradiansi total sebesar 179,89 kW/m² dengan rata-rata 5,80 kW/m² per hari. Data dapat ditunjukkan pada tabel 4.1 berikut ini.

Table 4.1 Data pembangkitan PLTS Selayar selama bulan Maret 2023

Waktu Opr.	Tanggal	Total Daya PV(kW)	Total Energi (kW)	irradiance (kW/m ²)
07.00-17.00	1	2711.31	2633.78	2.90
07.00-17.00	2	4755.25	4785.15	5.00
07.00-17.00	3	4185.97	4360.75	3.92
07.00-17.00	4	6163.70	6235.68	5.95
07.00-17.00	5	6194.66	6207.27	7.49
07.00-17.00	6	4856.02	5072.36	5.47
07.00-17.00	7	5026.40	4553.77	5.28
07.00-17.00	8	4256.38	4274	6.75
07.00-17.00	9	7305.40	6982.04	7.39
07.00-17.00	10	5602.41	5647.67	7.09
07.00-17.00	11	6828.05	7124.15	7.05
07.00-17.00	12	6953.10	6865.21	7.25
07.00-17.00	13	5905.13	6101.24	5.63
07.00-17.00	14	6778.25	6603.14	7.67
07.00-17.00	15	6464.74	5947.61	6.63
07.00-17.00	16	5318.50	5101	8.01
07.00-17.00	17	4590.98	3888.83	6.29

Waktu Opr.	Tanggal	Total Daya PV(kW)	Total Energi (kW)	irradiance (kW/m ²)
07.00-17.00	18	5271.82	4916.01	5.37
07.00-17.00	19	5047.05	4840.25	6.60
07.00-17.00	20	3793.60	4037.98	3.75
07.00-17.00	21	3289.14	3103.91	3.60
07.00-17.00	22	5720.51	6003.28	7.37
07.00-17.00	23	6125.52	5985.28	6.79
07.00-17.00	24	3445.45	3248.55	5.00
07.00-17.00	25	3330.34	3413.88	5.85
07.00-17.00	26	5349.23	5307.16	5.56
07.00-17.00	27	5558.51	5840.12	6.32
07.00-17.00	28	5175.93	4795.6	4.69
07.00-17.00	29	2387.56	2236.99	2.06
07.00-17.00	30	3788.07	3815.78	6.27
07.00-17.00	31	3634.51	3677.67	4.90
Total		155813.48	153606.11	179.89

Dari tabel diatas dapat dilihat data total daya PV, total energi dan total irradiansi matahari setiap hari selama bulan Maret 2023. Data tersebut merupakan akumulasi dari perekaman data tiap jam dari pukul 07.00 sampai dengan pukul 17.00 . Total daya terbesar adalah pada tanggal 9 Maret dengan total daya PV sebesar 7305.40 kW dan energi yang disalurkan sebesar 6982.04 kW. Untuk total irradiansi terbesar adalah pada tanggal 16 Maret sebesar 8.01 kW/m². Untuk data perjamnya dapat dilihat pada tabel lampiran.

Table 4.2 Data distribusi beban pada pulau Selayar

No	Wilayah	Average Load (kW)
1	Ekspres	3500
2	Ekspres 2	1000
3	Bonto Manai	350
4	Bonto Matene	950
5	Eremata	200
6	Bonto Buki	200
	Jumlah	6200 kW

Untuk data distribusi kebutuhan beban pada pulau Selayar dapat dilihat pada table 4.2 . Pada table tersebut dapat dilihat bahwa distribusi beban pada pulau Selayar terbagi menjadi enam bagian dengan total 6200 kW.

4.3 Analisis Data

4.3.1 Perhitungan efisiensi modul panel surya

Efisiensi panel surya adalah perbandingan antara daya output dengan daya input. Untuk menghitung efisiensi dari modul panel surya, dapat digunakan persamaan 2.3.

$$\eta = \frac{P_{in} (I \times A)}{P_{out}} 100\%$$

Keterangan: η : Efisiensi (%)

P_{in} : daya input intensitas matahari x luas panel(Watt)

I : Intensitas matahari (watt/m²)

A : Luas penampang panel surya (m²)

P_{out} : Daya keluaran panel surya (watt)

Untuk itu terlebih dulu menghitung luas permukaan panel surya. Berdasarkan spesifikasi panel surya yang dapat dilihat pada gambar 4.3. Berdasarkan spesifikasi tersebut maka luas permukaan panel surya adalah.

$$A = p \times l$$

$$A = 1,956 \times 0,992$$

$$A = 1,940353 \text{ m}^2 ,$$

karena jumlah panel yang digunakan adalah 3520, maka luas keseluruhan adalah
 $1,940353 \times 3520 = 6830,03 \text{ m}^2$

Sehingga Pin dapat dihitung dengan luas penampang (A) x Irradiasi (H).

Untuk contoh perhitungan menggunakan data pada pukul 07.00, pukul 12.00, dan pukul 17.00. Data yang diambil tersebut adalah data yang memiliki irradiasi terbesar selama kurung waktu 1 sampai 31Maret 2023, data tersebut mewakili data selama 31 hari pada bulan Maret. Untuk datanya dapat dilihat pada tabel 4.3 dibawah ini.

Tabel 4.3 Data dengan irradiasi tertinggi

Waktu	P Act PV (kW DC)	Irradiance (W/m ²)
19/03/2023 07:00:00.00	162.1897759	114.402696
30/03/2023 12:00:00.00	515.2032293	1377.996936
08/03/2023 17:00:00.00	247.0932156	283.8735786

Pin = Irradiance x Luas permukaan panel

Pin = 114.40 (W/m²) x 6830.03 m²

Pin = 781355,43 W

Pin = 781,35 kW

Sehingga, efisiensi yang diperoleh adalah,

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} = \frac{781,35 \text{ kW}}{4289,628 \text{ kW}} \times 100\%$$

$$\eta = 20,75 \%$$

Tabel 4.4 Hasil perhitungan efisiesi

Waktu	P Act PV (kW DC)	Irradiance (W/m ²)	Efisiensi
19/03/2023 07:00:00.00	162.1897759	114.402696	20.75700086
30/03/2023 12:00:00.00	515.2032293	1377.996936	5.474036808
08/03/2023 17:00:00.00	247.0932156	283.8735786	12.74421933

Dari tabel 4.4 diatas dapat dilihat bahwa pada saat pukul 12.00 dengan irradiasi puncak paling tertinggi diperoleh efisiensi yang lebih rendah dibandingkan efisiensi yang diperoleh pada pukul 07.00 pagi dan pukul 17.00 sore. Hal ini bisa jadi disebabkan oleh *losses* yang terjadi karena adanya peningkatan suhu pada permukaan panel surya. Untuk hasil perhitungan efisiensi seluruh data dapat dilihat pada lampiran

4.3.2 Penghitungan Unjuk Kerja

Analisis unjuk kerja yang digunakan adalah periode bulanan, yaitu data operasi pembangkitan PLTS Selayar dari tanggal 1 Maret sampai dengan 31 Maret 2023. Sebelum melakukan analisis, data yang diperoleh diolah terlebih dahulu, semua data yang terekam perjam dengan waktu operasi pukul 07.00 sampai pukul 17.00 ditotal, kemudian dibagi jumlah hari selama bulan Maret, yaitu sebanyak 31 hari. Data yang telah diolah inilah yang nantinya akan dipergunakan dalam rumus perhitungan unjuk kerja PLTS. Untuk datanya dapat dilihat pada table 4.5 dan 4.6 berikut.

Table 4.5 Daya total selama bulan Maret

P Act PV tot(MW DC)	P Act PV (MW AC)	Data Energi (MWh)	Irradiance (kW/m ²)
160,632	155,813	153,606	179,892

Table 4.6 Daya rata-rata selama bulan Maret

P Act PV tot(MW DC)	P Act PV (MW AC)	Data Energi (MWh)	Irradiance (kW/m ²)
5,181	5,026	4,955	5,802

1. Perhitungan *Final Yield* (Y_f)

Mencari nilai Y_f menggunakan rumus pada persamaan

$$Y_f = \frac{E_{ac}}{P_o}$$

Dimana : Y_f = Hasil akhir jam (jam)

E_{ac} = energi ke jaringan (MWh)

P_o = total daya PV terpasang (MWp)

E_{ac} merupakan total energi dalam satuan MWh yang disalurkan selama bulan Maret 2023 kemudian dibagi dengan 31 hari.

$$\begin{aligned} Y_f &= \frac{E_{ac}}{P_o} \\ &= \frac{4.955 (MWh)}{1.3024 (MW)} \\ &= 3.804 \text{ Jam} \end{aligned}$$

2. Perhitungan *Reference Yield* (Y_r)

Mencari *Reference Yield* dapat menggunakan rumus persamaan

$$Y_R = \frac{H_t}{H_R}$$

Dengan: H_t = Radiasi pada permukaan modul PV (W/m^2)

H_R = Radiasi referensi berdasarkan STC ($1000 W/m^2$)

H_t merupakan jumlah irradiasi matahari yang menyinari permukaan panel selama PLTS beroperasi, dalam hal ini beroperasi dari pukul 07.00 sampai dengan pukul 17.00. Data yang terekam merupakan data yang terekam perjam, data ini

kemudian ditotal selama 31 hari kemudian dibagi jumlah hari pada bulan Maret 2023. Adapun STC atau *Standart Test Condition* adalah irradiansi yang menjadi acuan.

$$Y_R = \frac{H_t}{H_R}$$

$$Y_R = \frac{5802 \text{ Wh/m}^2}{1000 \text{ W/m}^2}$$

$$= 5.802 \text{ Jam}$$

3. Perhitungan *Rasio Performance (PR)*

Untuk menghitung nilai *Rasio Performance (PR)* dapat menggunakan persamaan berikut.

$$PR = \frac{Y_f}{Y_r} \times 100\% \dots\dots\dots(2.20).$$

$$PR = \frac{3.804}{5.802} \times 100\% = 65.57 \%$$

Hasil perhitungan unjuk kerja dari PLTS dapat dilihat pada tabel 4.7

Table 4.7 Hasil perhitungan unjuk kerja

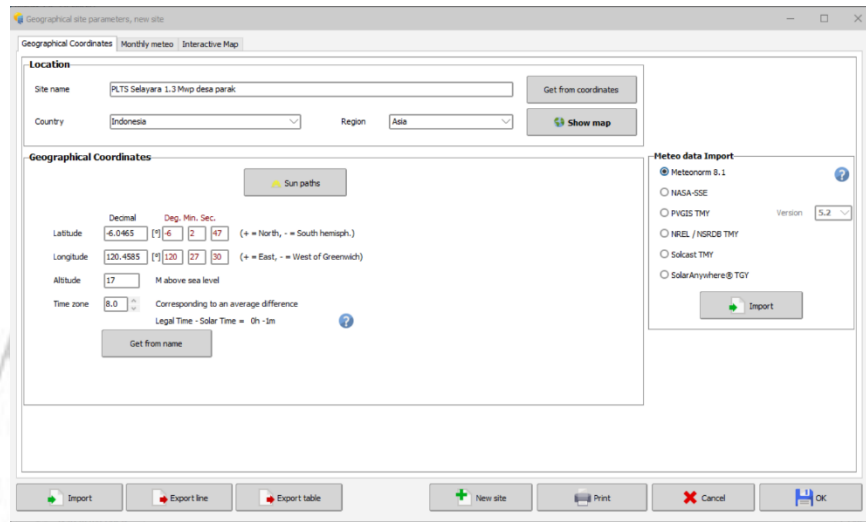
P Act PV (MW AC)	Data Energi (MWh)	Irradiance (kW/m ²)	YF (Jam)	YR (Jam)	PR (%)
155.813	153,606	179,892	3,804	5,802	65.57
5.026	4,955	5,802			

4.3.3 Hasil Simulasi menggunakan aplikasi *PVsyst*

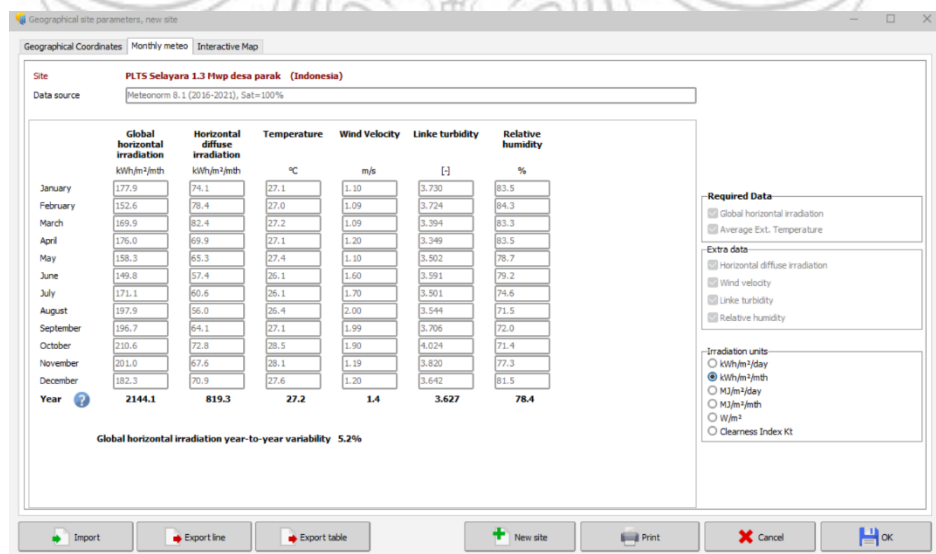
Untuk mendapatkan nilai perbandingan dengan keadaan real maka dilakukan simulasi menggunakan aplikasi *PVsyst* sesuai dengan konfigurasi pada PLTS Selayar.

Adapun langkah-langkah simulasi adalah sebagai berikut :

1. Memasukkan lokasi koordinat sesuai letak PLTS Selayar, untuk mendapatkan data *Geographical Site Parameter* dari PLTS Selayar. Dapat dilihat pada gambar 4.9 dan 4.10

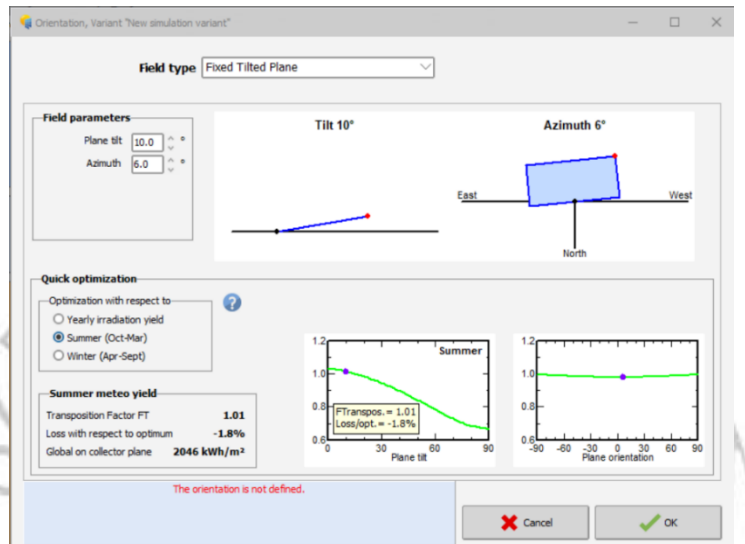


Gambar 4.9 Geographical Coordinat



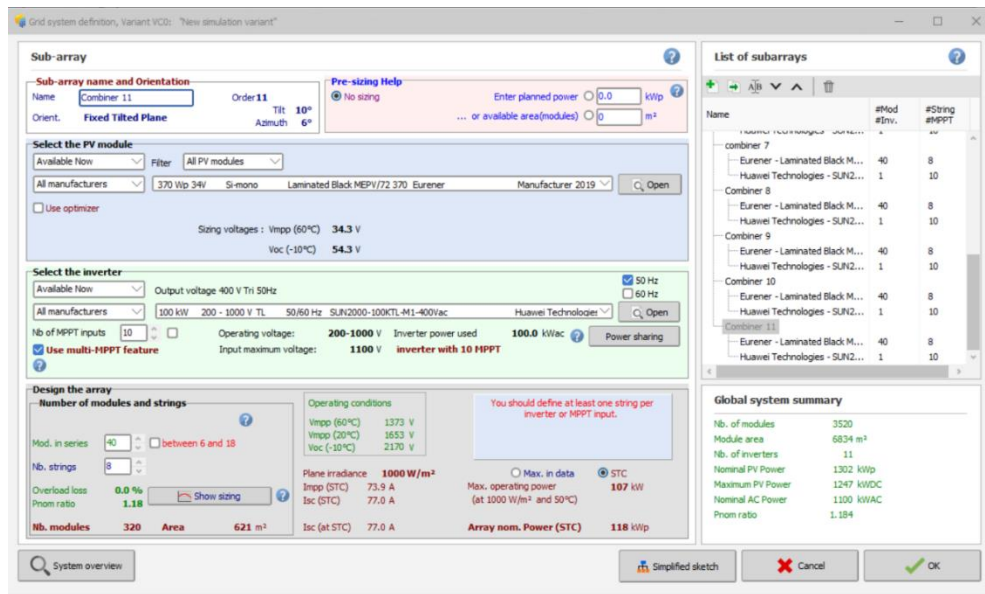
Gambar 4.10 Data Meteonorm 8.1

- Selanjutnya menentukan orientasi pada panel PLTS Selayar, yaitu Field type yang digunakan adalah *Fixed Tilted Plane*, dengan sudut kemiringan panel sebesar 10° dan Azimuth 6° . Selengkapnya dapat dilihat pada gambar 4.11.



Gambar 4.11 Orientation of panel

- Setelah koordinat dan orientasi ditentukan, selanjutnya adalah menentukan system yang digunakan, mencakup tipe inverter dan PV yang digunakan. Sistem terdiri dari 11 combiner, masing-masing combiner menggunakan inverter tipe Huawei SUN2000-100KTL, untuk model PV nya menggunakan merek lain dengan daya sama yaitu 320 Wp, dikarenakan tidak ada dalam aplikasi merek yang sama dengan yang dipakai pada PLTS Selayar. Berikut dapat dilihat pada gambar 4.12.

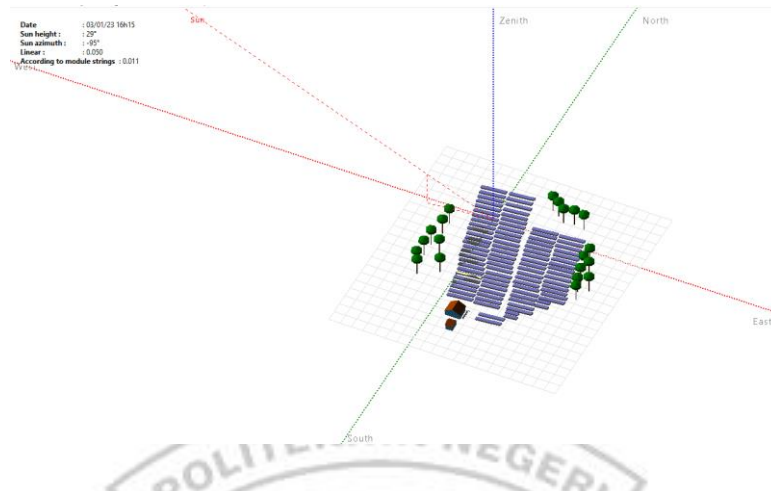


Gambar 4.12 System konfigurasi

- Setelah semua konfigurasi selesai diatur, maka selanjutnya adalah memasukkan *scene near shading*. Pada fitur ini kondisi 3D pada PLTS Selayar Digambar secara manual, seperti pepohonan dan bangunan di sekitar lokasi PLTS. Untuk gambarnya dapat dilihat pada gambar 4.13 berikut. Dan hasil *scene shading* dapat dilihat pada gambar 4.14

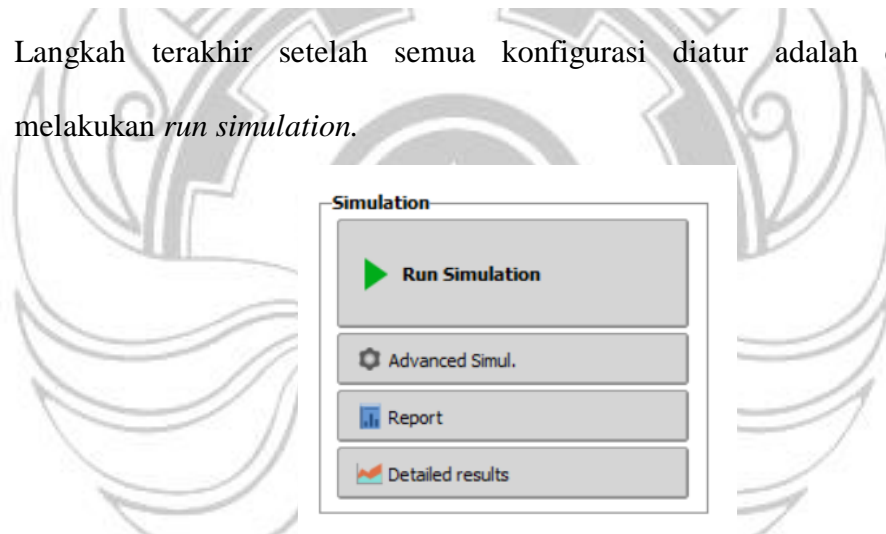


Gambar 4.13 Gambar 3D PLTS Selayar



Gambar 4.14 Gambar hasil *running shading*

5. Langkah terakhir setelah semua konfigurasi diatur adalah dengan melakukan *run simulation*.



Gambar 4.15 Tombol untuk run simulation

Dari hasil simulasi menggunakan *PVsyst* dapat diketahui bahwa pada lokasi terpasang, PLTS Selayar memiliki potensi untuk menghasilkan energi listrik sebesar 177.428 kWh pada bulan Maret, dengan rasio performance (PR) sebesar 0.803 atau 80.3 %, dengan rincian dapat dilihat pada table 4.8. Sedangkan table 4.9 menunjukkan koefisien performa pada PLTS Selayar.

Table 4.8 Hasil simulasi produksi energi listrik PLTS Selayar

	GlobInc kWh/m ²	EArray kWh	E_Grid kWh
January	167.0	178028	174881
February	148.3	158505	155722
March	169.7	180640	177428
April	182.5	194104	190535
May	168.9	180477	177253
June	162.9	175538	172443
July	185.4	199424	195888
August	209.4	223131	218943
September	200.0	211231	207208
October	206.1	216859	212753
November	189.7	200625	196946
December	169.4	179976	176785
Year	2159.3	2298538	2256783

Tabel 4.9 Koefisien performa hasil simulasi PLTS Selayar

	GlobInc kWh/m ²	Yf kWh/kWp/day	Yr kWh/m ² /day	PR ratio
January	167.0	4.33	5.39	0.804
February	148.3	4.27	5.30	0.806
March	169.7	4.39	5.47	0.803
April	182.5	4.88	6.08	0.801
May	168.9	4.39	5.45	0.806
June	162.9	4.41	5.43	0.813
July	185.4	4.85	5.98	0.811
August	209.4	5.42	6.75	0.803
September	200.0	5.30	6.67	0.796
October	206.1	5.27	6.65	0.793
November	189.7	5.04	6.32	0.797
December	169.4	4.38	5.47	0.801
Year	2159.3	4.75	5.92	0.802

4.3.4 Perbandingan Simulasi PVsyst PLTS Selayar dan kondisi real

Dari hasil perbandingan antara simulasi PVsyst dengan produksi real energi listrik PLTS Selayar selama kurun waktu 1 Maret 2023 s.d. 31 Maret 2023, dapat diketahui bahwa produksi listrik real PLTS Selayar lebih rendah dari hasil simulasi PVsyst, dengan selisih sebesar 23,822 MWh atau 12,86 %. Hasil

simulasi sebesar 17,428 MWh dengan produksi real sebesar 153,606 MWh.

Tabel 4.10 memeperlihatkan perbandingan produksi energi listrik PLTS Selayar.

Tabel 4.10 Perbandingan Produksi energi listrik PLTS Selayar

Bulan	Energi ke Grid (MWh)		Selisih	
	PVsyst	Real	MWh	%
Maret	177,428	153,606	23,822	12,86

Perbedaan juga tampak pada irradiansi matahari. Pada hasil simulasi, irradiansi matahari pada bulan Maret sebesar 169.7 kW/m², nilai ini lebih rendah dibandingkan irradiansi real pada PLTS Selayar, yaitu sebesar 179.892 kW/ m². Adanya perbedaan produksi energi listrik ini sekaligus akan mempengaruhi hasil dari unjuk kerja PLTS Selayar. Untuk dapat menghasilkan listrik pada maksimum daya terpasang, PLTS Selayar memiliki performa spesifik waktu harian selama 3.804 Jam, lebih rendah dibandingkan hasil simulasi yaitu 4.39 Jam/hari. Table 4.11 memperlihatkan performa spesifik factor PLTS Selayar.

Tabel 4.11 Perbandingan Performa spesifik PLTS Selayar

Bulan	Energi ke Grid (MWh)		YF		YR		PR (%)	
	PVsyst	Real	PVsyst	Real	PVsyst	Real	PVsyst	Real
Maret	177.428	153.606	4.39	3.804	5.47	5.802	80.3	65.57

4.3.5 Persentase daya PV terhadap daya Hybrid

Daya hybrid meupakan daya total penjumlahan dari daya yang

dibangkitkan oleh PV dengan daya yang dibangkitkan oleh Generator. Kontribusi daya dari PV terhadap daya hybrid merupakan persentase daya PV dibagi dengan total daya hybrid dengan operasi jam 07.00 s.d jam 17.00. Berikut data dapat dilihat pada table 4.12. Persentase kontribusi paling besar terdapat pada tanggal 12 Maret 2023, yaitu sebesar 14.4 %, dan paling rendah pada tanggal 1 Maret 2023, yaitu hanya sebesar 2.54 %. Untuk data tabel lengkap selama 31 hari dapat dilihat di lampiran.

Tabel 4.12 Persentase kontribusi PV terhadap daya hybrid

Waktu Opr.	Tanggal	Daya PV(kw)	Daya Generator(kW)	Total Daya Hybrid (kW)	Kontribusi PV(%)
07.00-17.00	1	2711.310821	103706.2688	106417.5797	2.547803502
07.00-17.00	12	6953.103609	41331.52232	48284.62593	14.4002433

4.3.6 Tantangan PLTS Selayar

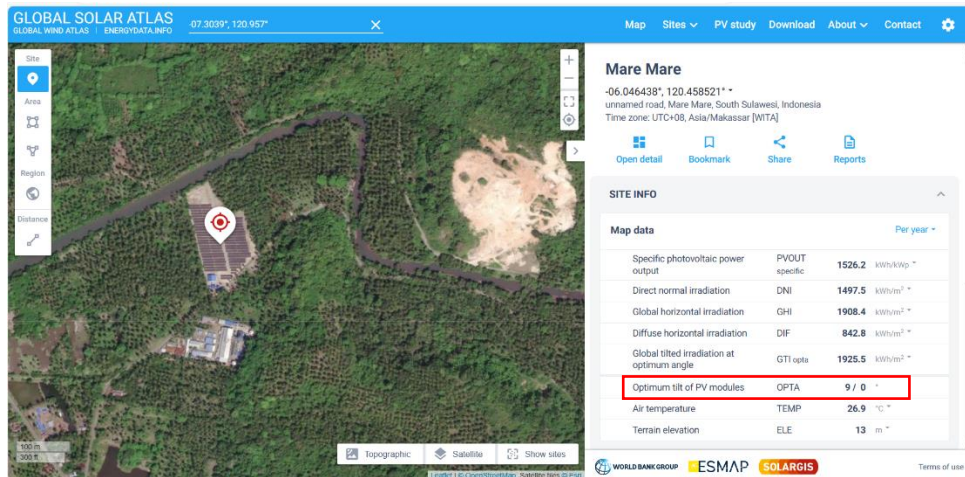
Adanya perbedaan produksi real PLTS Selayar dengan hasil simulasi disebabkan oleh beberapa factor, diantaranya *shading* dan spesifikasi modul PV yang dipergunakan dalam simulasi. Serta adanya faktor suhu juga dapat mempengaruhi produksi listrik dari PLTS, semakin tinggi suhu, maka akan menyebabkan lebih banyak *losses* yang terjadi terhadap system. *Shading* yang terjadi pada PLTS Selayar disebabkan oleh pepohonan di sekitar lokasi pemasangan modul PV. Contoh *shading* dapat dilihat pada gambar 4.15 berikut.



Gambar 4.16 Shading pada PLTS Selayar

Berdasarkan simulasi aplikasi, konfigurasi PLTS Selayar dengan *scene shading* mampu menghasilkan energi ke grid sebesar 177,428 MWh dengan *performance rasio* 80,3% pada bulan Maret, sedangkan dengan tanpa *scene shading* mampu menghasilkan energi ke grid sebesar 185,816 MWh dengan *performance rasio* 82,6 %, dalam hal ini jika PLTS Selayar beroperasi tanpa adanya *shading* maka produksi energi bisa lebih besar. Hal ini dapat dilakukan dengan melakukan penebangan terhadap pepohonan yang menyebabkan *shading*.

Dalam simulasi aplikasi *PVSyst* juga dilakukan simulasi dengan beberapa variasi sudut tilt berbeda. Menurut GSA (Global Solar Atlas) nilai optimum tilt untuk wilayah Indonesia berkisar mulai dari 0-14° (H. Gunawan & Sudiarto, 2021). Aplikasi Global Solar Atlas merupakan aplikasi berbasis web yang dapat mempermudah dalam memproyeksikan potensi energi surya sebuah wilayah. Berdasarkan titik koordinat PLTS Selayar, GSA memberikan informasi bahwa *tilt optimum* pada wilayah tersebut adalah 9° dan azimuth 0°. Gambar dari tampilan aplikasi GSA dapat dilihat pada gambar 4.16.



Gambar 4.17 Tampilan aplikasi GSA

Sehingga dilakukan variasi simulasi dengan sudut *tilt* 9°, 10°, 12° dan 14°, dengan variasi azimuth 6° dan 0°. Untuk hasil simulasi produksi listrik dalam setahun dengan variasi *tilt* dan azimuth dapat dilihat pada tabel 4.13. Dari tabel tersebut dapat dilihat bahwa hasil produksi dalam setahun yang paling optimal adalah sudut *tilt* 9° dan azimuth 0°.

Tabel 4.13 Hasil simulasi dengan variasi tilt dan azimuth

Tilt	Azimuth 0°		Azimuth 6°	
	E grid (MWh)	E array (MWh)	E grid (MWh)	E array (MWh)
9	2315.7	2358.6	2314.8	2357.8
10	2314.9	2357.9	2314	2356.9
12	2311.9	2354.8	2310.8	2353.6
14	2306.8	2349.5	2305.5	2348.2

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari penelitian Analisis Kemampuan Pembangkitan PLTS Hybrid Selayar 1.3 MWp, dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. PLTS Selayar 1.3 MWp merupakan PLTS yang bekerja secara hybrid dengan PLTD Selayar. PLTS beroperasi memproduksi energi listrik dari pukul 07.00 sampai dengan pukul 17.00. Terdiri dari 3520 lembar panel PV dengan spesifikasi 370 Wp setiap lembarnya. Menggunakan 11 inverter 100kW. PLTS Selayar juga terdapat baterai dengan kapasitas 873 kWh.
2. Dari hasil analisis data diperoleh bahwa rata-rata efisiensi modul surya selama kurun waktu operasi 1 Maret s.d. 31 Maret 2023 yaitu sebesar 14.44 %. Efisiensi paling besar diperoleh pada saat operasi pada pagi hari, kemudian mengalami penurunan efisiensi Ketika puncak irradiansi tertinggi pada pukul 12.00.
3. Energi yang dihasilkan PLTS hybrid Selayar selama Maret 2023 dengan waktu operasi jam 07.00-17.00 adalah sebesar 153,08 MWh. Dengan *Final Yield (Yf)* sebesar 3.804 Jam, *Reference Yield (Yr)* sebesar 5.802 jam, dan *Performance Rasio (PR)* sebesar 65.57 %. Dimana hasil real lebih rendah dibandingkan hasil simulasi menggunakan *PVSyst* yaitu produksi sebesar 177,428 MWh, *Final Yield (Yf)* sebesar 4.39 Jam, *Reference Yield (Yr)* sebesar 5.47 jam, dan *Performance Rasio (PR)* sebesar 80.3 %.

5.2 Saran

1. Sebaiknya untuk penelitian selanjutnya menggunakan data dalam setahun agar hasil yang diperoleh bisa lebih akurat.
2. Untuk melakukan simulasi menggunakan aplikasi sebaiknya menggunakan versi yang terbaru, agar *database* komponen yang disediakan lebih lengkap.



DAFTAR PUSTAKA

- Adrianti. (2016). Evaluasi Keandalan Pembangkit Listrik Tenaga Surya yang Terhubung ke Grid. *JURNAL NASIONAL TEKNIK ELEKTRO*, 5(2), 230–236. <https://doi.org/10.20449/jnte.v5i2.281>
- Agustina, L., Romadhani, Q., & Lorinsa, D. (2021). Energi Hijau. *Direktorat Jenderal Energi Baru Terbarukan dan Konservasi Energi*, 1–27.
- Andicha Pratama, E. (2019). *Analisis Kemampuan Pembangkit Listrik Tenaga Surya Sistem 240 Volt DC di Pantai Baru Yogyakarta* [Teknik Elektro]. Institut Sains dan Teknologi Akprind Yogyakarta.
- Aryanto, N., Jaya, A., & Hudaya, C. (2020). Pemodelan Energi Baru Terbarukan (EBT) Melalui Pendekatan Dinamis Untuk Ketahanan Energi Kabupaten Sumbawa 2017-2027. *Jurnal Tambora*, 4(2A), 123–132. <http://jurnal.uts.ac.id>
- Attari, K., Elyaakoubi, A., & Asselman, A. (2016). Performance Analysis and Investigation of a Grid-Connected Photovoltaic Installation in Morocco. *Energy Reports*, 2, 261–266. <https://doi.org/10.1016/j.egy.2016.10.004>
- Cherfa, F., Hadj Arab, A., Oussaid, R., Abdeladim, K., & Bouchakour, S. (2015). Performance analysis of the mini-grid connected photovoltaic system at Algiers. *Energy Procedia*, 83, 226–236. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2015.12.177>
- Darma, S. (2017). Analisa Perkiraan Kemampuan Daya yang Dibutuhkan Untuk Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS). *Jurnal Ampere*, 2(1), 39–53.
- Edalati, S., Ameri, M., & Iranmanesh, M. (2015). Comparative Performance Investigation of Mono- and Poly-Crystalline Silicon Photovoltaic Modules for Use in Grid-Connected Photovoltaic Systems in Dry Climates. *Applied Energy*, 160, 255–265. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2015.09.064>
- El Islamy, H. A., & Aryawan, W. D. (2018). Desain Pembangkit Listrik Tenaga Surya Apung untuk Wilayah Kepulauan Selayar, Sulawesi Selatan. *Jurnal Teknik ITS*, 7(2), 161–166.
- Gunawan, H., & Sudiarto, B. (2021). Simulasi Perbandingan Perubahan Tilt Terhadap Energi Array Pada 34 Unit PLTS Rooftop 100 kWp di Indonesia. *Citizen : Jurnal Ilmiah Multidisiplin Indonesia*, 2(1), 46–55. <https://doi.org/10.53866/jimi.v2i1.27>
- Gunawan, N. S., Kumara, I. N. S., & Irawati, R. (2019). Unjuk Kerja Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) 26,4 kWp Pada Sistem Smart Microgrid Unud. *Jurnal SPEKTRUM*, 6(3), 1–9.

- Harerurrozi, Natsir, A., & Sultan. (2019). Analisis Unjuk Kerja PLTS On-Grid di Laboratorium Energi Baru Terbarukan (EBT) Universitas Mataram. *Jurnal of Chemical and Information Modeling*, 53(99), 1689–1699.
- Jamil, I., Lucheng, H., Habib, S., Aurangzeb, M., Ahmed, E. M., & Jamil, R. (2023). Performance Evaluation of Solar Power Plants for Excess Energy Based on Energy production. *Energy Reports*, 9, 1501–1534. <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2022.12.081>
- Koerniawan, T., & Wasri Hasana, A. (2018). Kajian Sistem Kinerja PLTS Off-Grid 1 kWp di STT-PLN. *Jurnal Ilmiah Energi dan Kelistrikan STT-PLN*, 10(1), 38–44.
- Kunaifi. (2011). Desain Pembangkit Listrik Hybrid (PLTS/Diesel) Untuk Meningkatkan Pelayanan Kesehatan di Puskesmas Kecamatan Gema Kabupaten Kampar. *Jurnal Sains Teknologi dan Industri*, 10(1), 15–21.
- Marion, B., Adelstein, J., Boyle, K., Hayden, H., Hammond, B., Fletcher, T., Canada, B., Narang, D., Shugar, D., Wenger, H., Kimber, A., Mitchell, L., Rich, G., & Townsend, T. (2005). *Performance Parameters for Grid-Connected PV Systems*. www.task2.org.
- Med Yahya, A., Kader Mahmoud, A., Hassan Daher, D., Gaillard, L., Menezo, C., & Mellit, A. (2021). Performance Analysis of a 48kWp Grid-Connected Photovoltaic Plant in the Sahelian Climate Conditions of Nouakchott, Mauritania. Dalam *Preprints*. <https://doi.org/10.20944/preprints202102.0275.v1>
- Meilia Suryanti, E., & Bagus Fery Citarsa, I. (2014). Analisis Unjuk Kerja Sistem Fotovoltaik On-Grid Pada Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Gili Trawangan. *Dielektrika*, 1(2), 82–95.
- Obaid, N. M., Hashim, E. T., & Kasim, N. K. (2020). Performance Analyses of 15 kW Grid-Tied Photo Voltaic Solar System Type Under Baghdad city climate. *Journal of Engineering*, 26(4), 21–32. <https://doi.org/10.31026/j.eng.2020.04.02>
- Pratama, E. (2019). *ANALISIS KEMAMPUAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA SISTEM 240 VOLT DC DI PANTAI BARU YOGYAKARTA*
CAPABILITY ANALYSIS OF PHOTO-VOLTAIC POWER PLANT 240 VOLT DC IN PANTAI BARU YOGYAKARTA.
- Ramadhan, S. G., & Rangkuti, C. (2016). Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya Di Atap Gedung Harry Hartanto Universitas Trisakti. *Seminar Nasional Cendekiawan*.

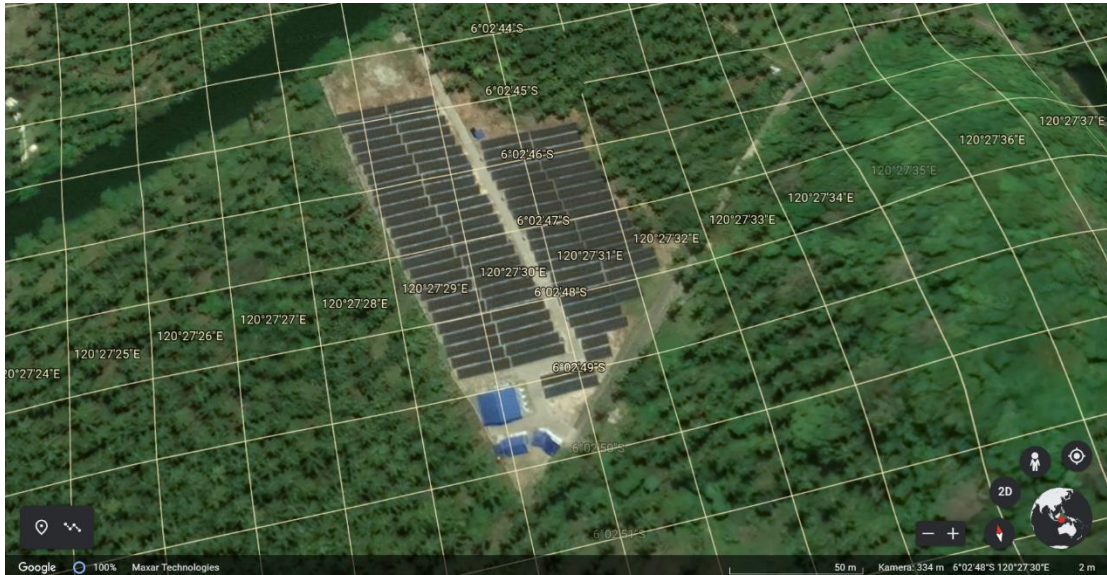
- S. Sampeallo, A., F. Galla, W., & Mbakurawang, F. (2018). Analisis Kinerja PLTS 25 kWp di Gedung Laboratorium Riset Terpadu Lahan Kering Kepulauan Undana Terhadap Variasi Beban. *Jurnal Media Elektro*, 7(1), 13–21.
- Sampeallo. Agustinus dkk. (2018). Analisis kinerja PLTS 25 kWp di gedung Laboratorium riseet. *Jurnal Media Elektro* , VII, 13–21.
- Setiawan, I. K. A., I N Satya, K., & I Wayan, S. (2014). ANALISIS UNJUK KERJA PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA (PLTS) SATU MWp TERINTERKONEKSI JARINGAN DI KAYUBIHI, BANGLI. *Teknologi Elektro*, 13(1), 27–33.
- Setiawan, I. K. A., Kumara, I. N. S., & Sukerayasa, I. W. (2014). Analisis Unjuk Kerja Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Satu MWp Terinterkoneksi Jaringan di Kayubih, Bangli. *Majalah Ilmiah Teknologi Elektro*, 13(1), 27–33.
- Sianipar, R. (2014). Dasar Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya. *JETri*, 11(2), 61–78.
- Sih Setyono, J., Hari Mardiansjah, F., & Febrina Kusumo Astuti, M. (2019). Potensi Pengembangan Energi Baru dan Terbarukan di Kota Semarang. *Jurnal Riptek*, 13(2), 177–186. <http://ripteck.semarangkota.go.id>
- Wicaksana, M. R., Kumara, I. N. S., Giriantari, I. A. D., & Irawati, R. (2019). Unjuk Kerja Pembangkit Listrik Tenaga Surya Rooftop158 kWp Pada Kantor Gubernur Bali. *Jurnal SPEKTRUM*, 6(3), 107–113.
- Wisudwati, N., & Fijra, R. (2021). Analisis Efektivitas Penggunaan Energi Baru dan Terbarukan di Provinsi Sumatera Selatan Guna Mendukung REUN 2025. *Integrasi Jurnal Ilmiah Teknik Industri*, 6(1), 1–9.

LAMPIRAN

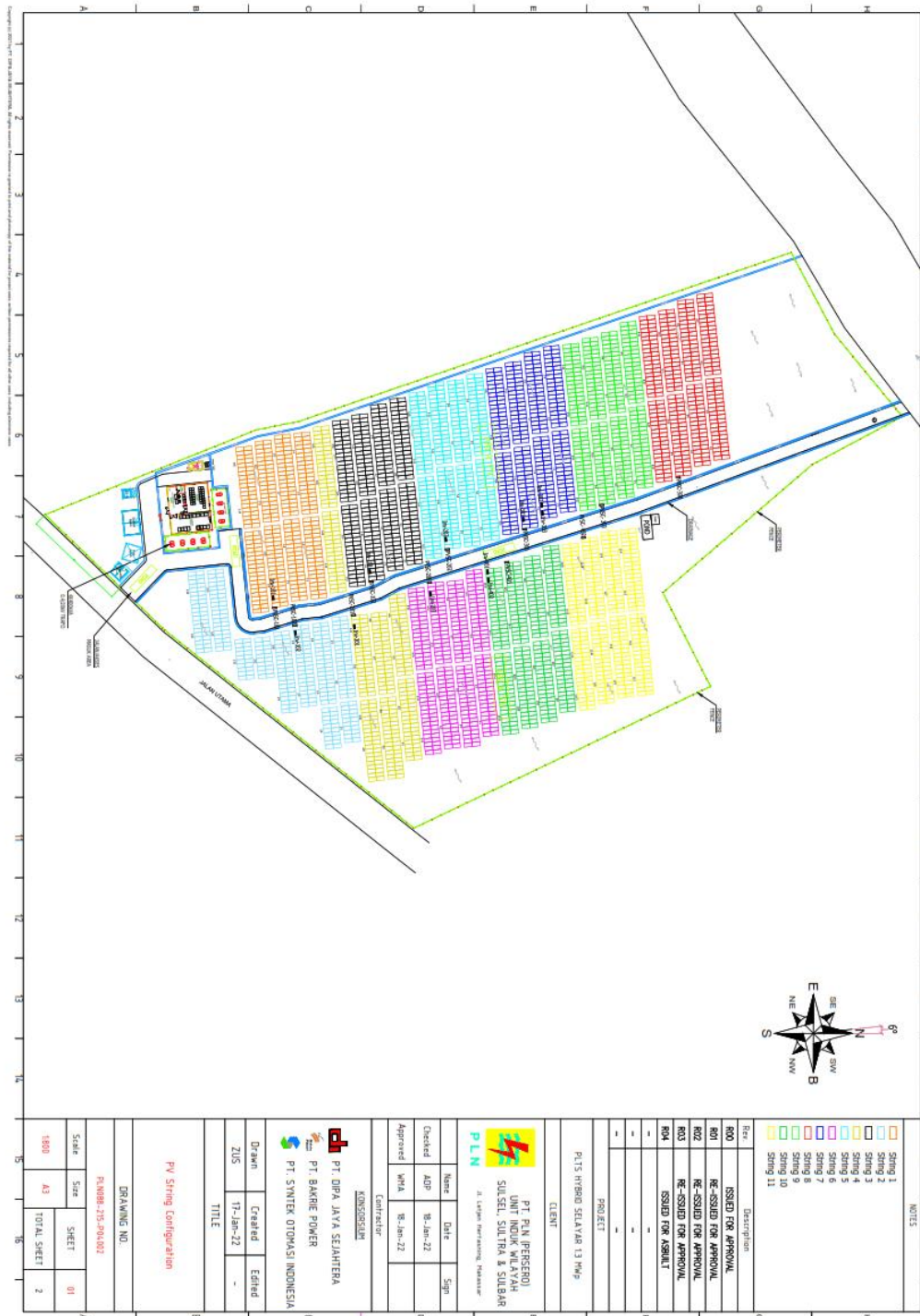


LAMPIRAN

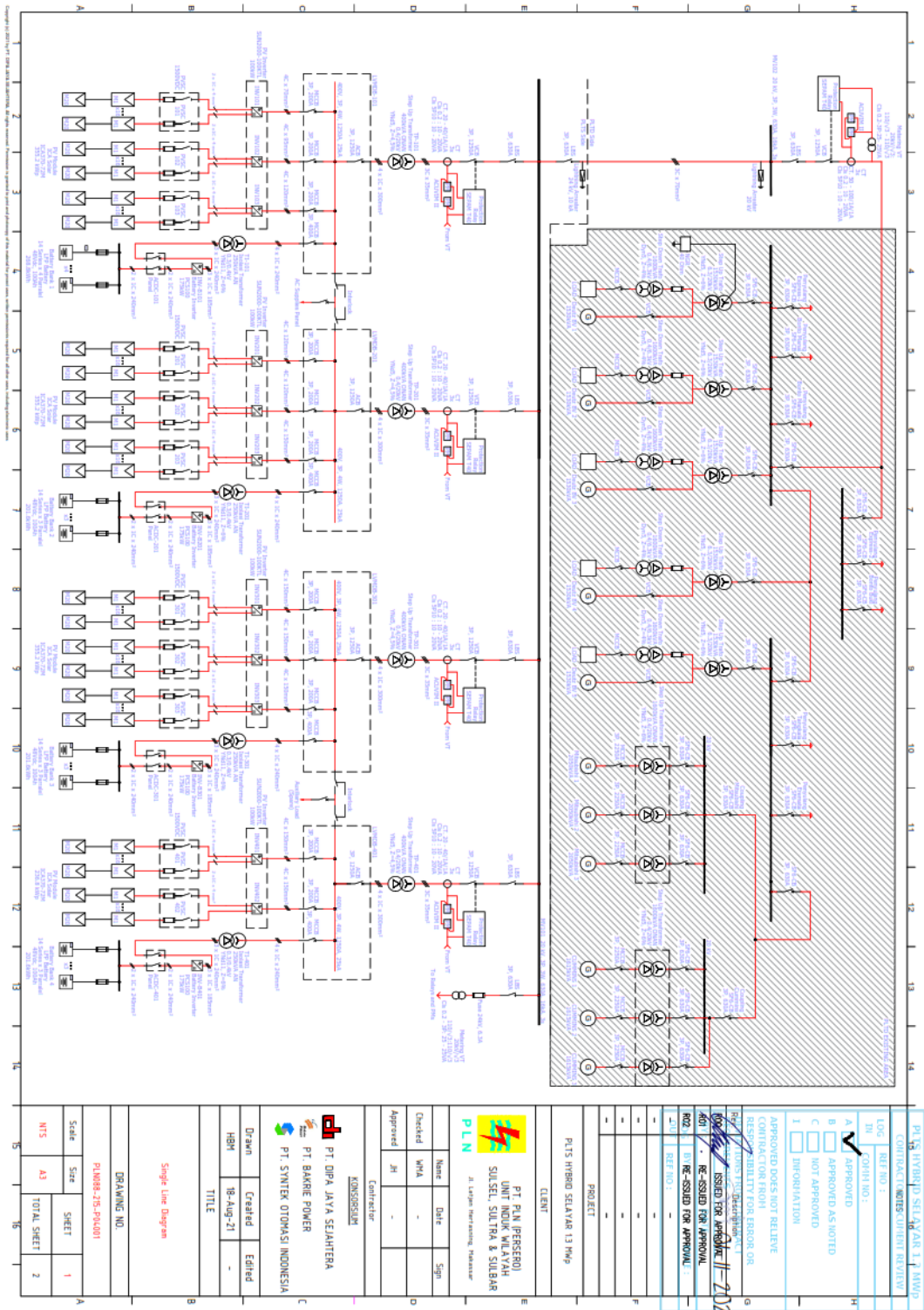
Lampiran 1 Lokasi Site PLTS Selayar dari tampilan Google Earth



Lampiran 2 Gambar Konfigurasi String PLTS Selayar



Lampiran 3 Gambar SLD Sistem PLTS Selayar



Lampiran 4 Spesifikasi Teknis pada PLTS Selayar

- Spesifikasi Teknis

PLTS Selayar dengan kapasitas 1,3 MWp terdiri dari 4 cluster keluaran dengan total PV array sebanyak 176 dengan bahan bakar menggunakan pemanfaatan sinar matahari.

- Data Peralatan Utama

A. Modul PV

Manufacture : ICA Solar
 Type : Monocrystalline
 Max Power : 370Wp
 Vmp (V) : 39.3 V
 Imp (A) : 9.41 A
 Voc (V) : 48.3 V
 Isc (A) : 9.85 A
 Dimensi (mm) : 1956*992*35mm
 Weight (kg) : 22.5 kg

B. Step Up Trafo 0.4/20kV 400kVA

Manufacture : Trafindo Prima Perkasa
 Serial Number : 211302188
 211302189
 211302190
 211302191
 Rated capacity : 400 kVA
 primary voltage : 400 V
 secondary voltage : 20000 V
 primary current : 577.35 A (connection : DELTA)
 secondary current : 11.55 A (winding connection : WYE)
 Phasa/Frekuensi : 3 Phasa/50 hz

C. Trafo Isolasi

Serial Number : 211302184
 211302185
 211302186
 211302187
 Rated capacity : 250 kVA
 primary voltage : 380 V
 secondary voltage : 300 V
 primary current : 379.84 A (connection : WYE)
 secondary current : 481.13 A (connection : DELTA)
 Phasa/Frekuensi : 3 Phasa/50 hz

D. PV Inverter

Manufacture : HUAWEI
 D.C Max Input Voltage : 1100 Vdc
 D.C Max Input Current : 10 x 26 A
 Isc : 10 x 40 A
 A.C Output Rated Power : 100 Kw
 A.C Output Nominal Voltage : 380/400 Vac
 480 Vac
 A.C Output Max. Current : 168,8 A ; 380 Vac
 160,4 A ; 400 Vac
 133,7 A ; 480 Vac
 Frekuensi : 50/60 Hz

E. Battery

Module voltage	:	48V
Rated capacity	:	100Ah
Dimension (W*D*H)	:	442*500*154 mm
Weight	:	~42kg
Power terminal	:	M8 screw



LAMPIRAN TABEL

Tabel 1 Data Penelitian

Time	P Act PV (kW DC)	P Act PV (kW AC)	Data Energi (kWh)	Irradiance (W/m ²)
01/03/2023 07:00:00.00	61.13877294	59.30460975	93.54	53.27256386
01/03/2023 08:00:00.00	130.6173208	126.6988012	220.06	107.4154179
01/03/2023 09:00:00.00	352.285903	341.7173259	418.94	290.8637091
01/03/2023 10:00:00.00	487.4099311	472.7876332	462.8	403.9169377
01/03/2023 11:00:00.00	508.3177925	493.0682588	501.59	426.4786676
01/03/2023 12:00:00.00	638.6918557	619.5311	317.53	628.0540145
01/03/2023 13:00:00.00	207.7839387	201.5504205	269.17	167.9271162
01/03/2023 14:00:00.00	291.1869203	282.4513127	265.42	232.4350742
01/03/2023 15:00:00.00	19.96958866	19.370501	28.5	284.1201523
01/03/2023 16:00:00.00	97.68536206	94.7548012	33.52	231.6608278
01/03/2023 17:00:00.00	0.078409617	0.076057329	22.71	73.50140221
02/03/2023 07:00:00.00	50.6460428	49.12666151	118.55	43.8343607
02/03/2023 08:00:00.00	214.7671268	208.324113	278.02	175.1805657
02/03/2023 09:00:00.00	515.1846635	499.7291236	566.25	485.68387
02/03/2023 10:00:00.00	571.434107	554.2910838	622.97	491.8115355
02/03/2023 11:00:00.00	669.8569971	649.7612872	705.13	813.56476
02/03/2023 12:00:00.00	720.9908453	699.3611199	719.54	677.2491482
02/03/2023 13:00:00.00	720.9737897	699.344576	660.82	1086.99356
02/03/2023 14:00:00.00	589.6280044	571.9391643	491.73	499.3266322
02/03/2023 15:00:00.00	395.7313635	383.8594226	381.27	338.7824468
02/03/2023 16:00:00.00	350.4191242	339.9065505	182.45	302.9344121
02/03/2023 17:00:00.00	102.6854423	99.60487899	58.42	85.88209269
03/03/2023 07:00:00.00	40.42499497	39.21224512	86.46	35.16076238
03/03/2023 08:00:00.00	207.7839387	201.5504205	269.17	167.9271162
03/03/2023 09:00:00.00	291.1869203	282.4513127	265.42	232.4350742
03/03/2023 10:00:00.00	327.2981468	317.4792024	420.72	255.8590838
03/03/2023 11:00:00.00	461.3581096	447.5173663	467.65	377.7996567
03/03/2023 12:00:00.00	394.7814747	382.9380304	451.64	322.9404585
03/03/2023 13:00:00.00	559.735442	542.9433788	631.84	465.7963672
03/03/2023 14:00:00.00	772.1908522	749.0251267	707.85	852.3675419
03/03/2023 15:00:00.00	669.8367027	649.7416016	618.04	666.2307815
03/03/2023 16:00:00.00	390.2014966	378.4954517	332.55	361.3811438
03/03/2023 17:00:00.00	200.636075	194.6169928	109.41	183.0414957
04/03/2023 07:00:00.00	90.5789352	87.86156714	175.11	81.11581898
04/03/2023 08:00:00.00	334.4811016	324.4466686	380	297.1440121
04/03/2023 09:00:00.00	297.1431633	288.2288684	492.38	251.2480442
04/03/2023 10:00:00.00	568.8214528	551.7568092	603.01	657.5501588

Time	P Act PV (kW DC)	P Act PV (kW AC)	Data Energi (kWh)	Irradiance (W/m ²)
04/03/2023 11:00:00.00	670.1267877	650.0229841	796.05	600.3090225
04/03/2023 12:00:00.00	936.5488062	908.452342	925.25	834.209995
04/03/2023 13:00:00.00	1001.715964	971.6644846	950.02	970.2548763
04/03/2023 14:00:00.00	980.4206037	951.0079856	879.45	917.1707912
04/03/2023 15:00:00.00	777.5643195	754.2373899	637.46	691.0213564
04/03/2023 16:00:00.00	567.7629748	550.7300855	326.36	530.2886229
04/03/2023 17:00:00.00	129.1670103	125.292	70.59	116.1968686
05/03/2023 07:00:00.00	106.6550451	103.4553938	184.93	87.80362323
05/03/2023 08:00:00.00	295.0466464	286.195247	408.95	282.5319619
05/03/2023 09:00:00.00	535.1432516	519.0889541	642.57	594.9007387
05/03/2023 10:00:00.00	753.4416139	730.8383655	745.54	784.3877255
05/03/2023 11:00:00.00	784.5733563	761.0361556	885.63	889.2484639
05/03/2023 12:00:00.00	1001.577315	971.5299955	967.4	1176.902354
05/03/2023 13:00:00.00	1011.656299	981.3066095	981.2	1040.770744
05/03/2023 14:00:00.00	1011.701344	981.350304	838.53	951.0412567
05/03/2023 15:00:00.00	852.7311767	827.1492414	510.08	833.7593058
05/03/2023 16:00:00.00	33.72313089	32.71143696	5.07	501.7710823
05/03/2023 17:00:00.00	0.000515464	0.0005	37.37	350.41501
06/03/2023 07:00:00.00	70.82044513	68.69583178	107.73	58.70552019
06/03/2023 08:00:00.00	183.4648519	177.9609064	402.12	157.7987037
06/03/2023 09:00:00.00	603.711196	585.5998601	631.53	555.710238
06/03/2023 10:00:00.00	515.139244	499.6850667	750.16	595.5628583
06/03/2023 11:00:00.00	764.3967105	741.4648092	671.28	664.54422
06/03/2023 12:00:00.00	669.85193	649.7563721	902.29	1078.141154
06/03/2023 13:00:00.00	860.6590637	834.8392918	627.65	815.4001668
06/03/2023 14:00:00.00	515.2213295	499.7646896	499.86	476.7826812
06/03/2023 15:00:00.00	515.2243521	499.7676216	299.6	819.4686245
06/03/2023 16:00:00.00	201.6289723	195.5801031	138.31	161.0097945
06/03/2023 17:00:00.00	106.0867726	102.9041694	41.83	87.82345707
07/03/2023 07:00:00.00	90.20720793	87.50099169	111.1	79.35547832
07/03/2023 08:00:00.00	165.0263601	160.0755693	328.73	142.5842895
07/03/2023 09:00:00.00	369.8407587	358.745536	91.13	314.1338277
07/03/2023 10:00:00.00	617.4128866	598.8905	385.35	724.80499
07/03/2023 11:00:00.00	751.1980928	728.66215	700.45	678.0896712
07/03/2023 12:00:00.00	771.0865573	747.9539606	740.05	706.5140499
07/03/2023 13:00:00.00	772.2093545	749.0430738	732.67	1079.69262
07/03/2023 14:00:00.00	550.6165569	534.0980602	545.19	503.1588462
07/03/2023 15:00:00.00	522.757871	507.0751348	550.88	473.045073
07/03/2023 16:00:00.00	383.338433	371.83828	285.41	351.3538571
07/03/2023 17:00:00.00	188.1609691	182.51614	82.81	225.8318319
08/03/2023 07:00:00.00	66.80062222	64.79660356	211.63	61.28175779

Time	P Act PV (kW DC)	P Act PV (kW AC)	Data Energi (kWh)	Irradiance (W/m ²)
08/03/2023 08:00:00.00	190.2298355	184.5229404	467	173.4147679
08/03/2023 09:00:00.00	545.1092898	528.7560111	552.97	606.0972221
08/03/2023 10:00:00.00	617.4956944	598.9708235	439.08	859.0318807
08/03/2023 11:00:00.00	411.6449851	399.2956355	399.34	426.6879887
08/03/2023 12:00:00.00	411.6311664	399.2822314	420.98	1007.475213
08/03/2023 13:00:00.00	462.7979752	448.914036	452.42	1069.848927
08/03/2023 14:00:00.00	462.8120856	448.9277231	423.25	961.2399439
08/03/2023 15:00:00.00	462.8208517	448.9362262	448.21	742.4102015
08/03/2023 16:00:00.00	509.5820272	494.2945664	349.92	560.6626025
08/03/2023 17:00:00.00	247.0932156	239.6804191	109.2	283.8735786
09/03/2023 07:00:00.00	73.51610328	71.31062018	161.04	64.58650847
09/03/2023 08:00:00.00	467.9924792	453.9527048	385.58	456.355769
09/03/2023 09:00:00.00	566.3648604	549.3739146	669.7	654.2315083
09/03/2023 10:00:00.00	829.582335	804.6948649	882.82	848.5240838
09/03/2023 11:00:00.00	1031.609735	1000.661443	1000.79	981.5062711
09/03/2023 12:00:00.00	1035.318135	1004.258591	1014.48	1035.690587
09/03/2023 13:00:00.00	1031.696573	1000.745676	981.36	1015.38314
09/03/2023 14:00:00.00	924.4607638	896.7269409	858.86	848.7597609
09/03/2023 15:00:00.00	808.6132578	784.3548601	613.93	730.642432
09/03/2023 16:00:00.00	528.8736228	513.0074141	318.12	496.7879027
09/03/2023 17:00:00.00	233.3082086	226.3089623	95.36	252.5328988
10/03/2023 07:00:00.00	83.40624154	80.90405429	179.02	59.52657475
10/03/2023 08:00:00.00	177.4348678	172.1118218	369.96	156.4644133
10/03/2023 09:00:00.00	566.2716031	549.283455	725.76	679.0767408
10/03/2023 10:00:00.00	875.6729859	849.4027963	766.58	885.2567909
10/03/2023 11:00:00.00	824.5352415	799.7991843	797.65	995.6417427
10/03/2023 12:00:00.00	617.5451466	599.0187922	669.56	1000.872352
10/03/2023 13:00:00.00	721.045542	699.4141757	585.28	1023.529824
10/03/2023 14:00:00.00	566.2780484	549.2897069	565.56	961.5974214
10/03/2023 15:00:00.00	718.2050233	696.6588726	578.58	670.7703976
10/03/2023 16:00:00.00	474.7398912	460.4976944	347.77	445.6026753
10/03/2023 17:00:00.00	150.5443657	146.0280347	61.95	213.3935396
11/03/2023 07:00:00.00	100.1837401	97.17822785	222.58	67.66359711
11/03/2023 08:00:00.00	157.7947125	153.0608711	453.59	141.5951282
11/03/2023 09:00:00.00	516.4648008	500.9708568	570.02	675.0828276
11/03/2023 10:00:00.00	669.8124577	649.7180839	891.54	858.6608809
11/03/2023 11:00:00.00	1030.287787	999.3791536	1041.19	980.4825228
11/03/2023 12:00:00.00	1097.957118	1065.018405	1052.44	1028.562931
11/03/2023 13:00:00.00	1063.178062	1031.28272	984.51	993.1195354
11/03/2023 14:00:00.00	947.6595338	919.2297478	861.04	887.6133023
11/03/2023 15:00:00.00	791.9925028	768.2327278	648.88	713.1548156

Time	P Act PV (kW DC)	P Act PV (kW AC)	Data Energi (kWh)	Irradiance (W/m ²)
11/03/2023 16:00:00.00	510.5124724	495.1970982	337.44	483.7435145
11/03/2023 17:00:00.00	153.3844862	148.7829516	60.92	224.2337244
12/03/2023 07:00:00.00	75.81401824	73.53959769	219.32	46.14270432
12/03/2023 08:00:00.00	422.9895292	410.2998434	471.99	407.6348547
12/03/2023 09:00:00.00	617.4570577	598.933346	712.9	667.2078115
12/03/2023 10:00:00.00	898.1352009	871.1911449	893.99	850.96503
12/03/2023 11:00:00.00	929.3031276	901.4240338	901.66	980.4101364
12/03/2023 12:00:00.00	929.2932469	901.4144494	901.93	1027.716923
12/03/2023 13:00:00.00	929.3808787	901.4994523	901.77	995.2221164
12/03/2023 14:00:00.00	929.2601141	901.3823107	860.8	886.3142133
12/03/2023 15:00:00.00	796.1415989	772.2573509	642.21	714.9525764
12/03/2023 16:00:00.00	422.3338885	409.6638718	267.11	399.861952
12/03/2023 17:00:00.00	218.03939	211.4982083	91.53	276.6355319
13/03/2023 07:00:00.00	84.07096257	81.54883369	167.91	71.57124101
13/03/2023 08:00:00.00	167.7166289	162.68513	319.96	147.8775
13/03/2023 09:00:00.00	326.6219395	316.8232813	321.49	271.4164588
13/03/2023 10:00:00.00	583.0245564	565.5338197	649.3	488.8980834
13/03/2023 11:00:00.00	532.8633608	516.8774599	857.25	422.49325
13/03/2023 12:00:00.00	929.2541872	901.3765616	967.01	1024.305909
13/03/2023 13:00:00.00	1069.461485	1037.37764	996.37	993.2052908
13/03/2023 14:00:00.00	964.480282	935.5458735	861.26	877.9533784
13/03/2023 15:00:00.00	779.9390688	756.5408968	648.19	703.1737912
13/03/2023 16:00:00.00	530.6719863	514.7518267	197.46	504.126271
13/03/2023 17:00:00.00	119.6535093	116.063904	115.04	121.7798128
14/03/2023 07:00:00.00	111.9774247	108.618102	299.61	74.81883819
14/03/2023 08:00:00.00	371.7044614	360.5533276	449.12	369.01036
14/03/2023 09:00:00.00	669.8929121	649.7961247	708.97	676.4092375
14/03/2023 10:00:00.00	844.4975403	819.1626141	715.36	987.155446
14/03/2023 11:00:00.00	772.1678489	749.0028134	956.95	1138.906923
14/03/2023 12:00:00.00	1081.138785	1048.704621	1048.87	1022.349487
14/03/2023 13:00:00.00	1079.724228	1047.332502	1042.58	1016.036347
14/03/2023 14:00:00.00	926.8261144	899.021331	669.38	1085.57148
14/03/2023 15:00:00.00	669.8153277	649.7208679	382.67	894.6603013
14/03/2023 16:00:00.00	287.6907853	279.0600617	219.83	248.7542041
14/03/2023 17:00:00.00	172.4524079	167.2788357	109.8	156.8003425
15/03/2023 07:00:00.00	70.89472093	68.7678793	222.2	45.72173646
15/03/2023 08:00:00.00	475.2658918	461.0079151	279.73	460.6641992
15/03/2023 09:00:00.00	566.3130434	549.3236521	682.98	661.8964007
15/03/2023 10:00:00.00	824.5648875	799.8279409	874.02	852.498617
15/03/2023 11:00:00.00	1030.374776	999.4635326	1019.03	969.2052916
15/03/2023 12:00:00.00	1081.420778	1048.978155	1044.75	1027.462654

Time	P Act PV (kW DC)	P Act PV (kW AC)	Data Energi (kWh)	Irradiance (W/m ²)
15/03/2023 13:00:00.00	1065.420322	1033.457713	996.14	994.2369577
15/03/2023 14:00:00.00	919.5961487	892.0082643	420.62	965.2271281
15/03/2023 15:00:00.00	138.2292907	134.0824119	159.89	117.3780617
15/03/2023 16:00:00.00	389.9974567	378.297533	203.63	410.2076894
15/03/2023 17:00:00.00	102.5997121	99.52172077	44.62	120.7899128
16/03/2023 07:00:00.00	78.8478115	76.48237715	203.71	52.91008972
16/03/2023 08:00:00.00	306.3677794	297.176746	473.89	368.4515365
16/03/2023 09:00:00.00	638.695655	619.5347854	732.39	692.9307434
16/03/2023 10:00:00.00	772.1029963	748.9399064	754.26	903.2084836
16/03/2023 11:00:00.00	720.7561102	699.1334269	437.04	1135.564615
16/03/2023 12:00:00.00	566.3032058	549.3141096	500.74	1152.7217
16/03/2023 13:00:00.00	566.3135993	549.3241913	530.65	1278.984787
16/03/2023 14:00:00.00	566.3318819	549.3419254	549.8	905.4095667
16/03/2023 15:00:00.00	566.312572	549.3231949	498.67	744.7420198
16/03/2023 16:00:00.00	554.522355	537.8866843	362.6	567.5314341
16/03/2023 17:00:00.00	146.4378331	142.0446981	57.25	212.3021993
17/03/2023 07:00:00.00	87.01567027	84.40520016	224.37	58.63010283
17/03/2023 08:00:00.00	421.2965287	408.6576329	524.64	394.7444851
17/03/2023 09:00:00.00	638.6535238	619.4939181	390.14	691.3644463
17/03/2023 10:00:00.00	360.5138	349.698386	293.96	833.8483338
17/03/2023 11:00:00.00	360.5097774	349.6944841	565.21	991.9897197
17/03/2023 12:00:00.00	1130.136835	1096.23273	531.98	1083.65156
17/03/2023 13:00:00.00	515.1820499	499.7265884	528.93	468.5885956
17/03/2023 14:00:00.00	566.3170436	549.3275323	240.65	1015.847558
17/03/2023 15:00:00.00	16.09450927	15.61167399	188.02	139.0368124
17/03/2023 16:00:00.00	484.0986417	469.5756824	329.61	441.4407499
17/03/2023 17:00:00.00	153.1518838	148.5573273	71.32	165.9088603
18/03/2023 07:00:00.00	117.8173093	114.28279	258.58	91.1155621
18/03/2023 08:00:00.00	485.1017282	470.5486764	482.76	432.7940441
18/03/2023 09:00:00.00	617.4156776	598.8932073	385.63	766.6322873
18/03/2023 10:00:00.00	438.2058301	425.0596552	376.39	401.9607474
18/03/2023 11:00:00.00	331.4025214	321.4604458	136.52	268.7921711
18/03/2023 12:00:00.00	262.4971837	254.6222682	720.63	211.0710327
18/03/2023 13:00:00.00	979.2361035	949.8590204	949.43	1033.65266
18/03/2023 14:00:00.00	979.2564793	949.8787849	622.53	1028.06044
18/03/2023 15:00:00.00	557.3372093	540.617093	617.51	441.5156348
18/03/2023 16:00:00.00	532.6716996	516.6915486	309.84	503.7066922
18/03/2023 17:00:00.00	133.925471	129.9077069	56.19	194.2379581
19/03/2023 07:00:00.00	162.1897759	157.3240826	294.2	114.402696
19/03/2023 08:00:00.00	438.6348689	425.4758229	527.54	414.624549
19/03/2023 09:00:00.00	710.6473976	689.3279757	683.6	636.18227

Time	P Act PV (kW DC)	P Act PV (kW AC)	Data Energi (kWh)	Irradiance (W/m ²)
19/03/2023 10:00:00.00	720.9878402	699.358205	702.95	1014.86383
19/03/2023 11:00:00.00	638.9568161	619.7881117	638.49	1072.13908
19/03/2023 12:00:00.00	710.0603235	688.7585138	463.85	1272.145383
19/03/2023 13:00:00.00	342.8452566	332.5598989	441.21	302.0184977
19/03/2023 14:00:00.00	617.4357618	598.912689	424.38	938.67724
19/03/2023 15:00:00.00	194.5415269	188.7052811	335.39	174.5502901
19/03/2023 16:00:00.00	503.7703732	488.657262	260.87	458.3618052
19/03/2023 17:00:00.00	163.071531	158.1793851	67.77	202.4580995
20/03/2023 07:00:00.00	69.75703907	67.6643279	99.27	63.80026279
20/03/2023 08:00:00.00	188.7760802	183.1127978	301.83	167.5387384
20/03/2023 09:00:00.00	617.4429733	598.9196841	457.32	552.2232976
20/03/2023 10:00:00.00	640.6142321	621.3958051	604.62	516.0044342
20/03/2023 11:00:00.00	229.9090859	223.0118133	195.48	198.9621429
20/03/2023 12:00:00.00	210.8280803	204.5032379	538.25	459.3437689
20/03/2023 13:00:00.00	399.6721747	387.6820095	412.65	467.8622459
20/03/2023 14:00:00.00	369.4630331	358.3791421	573.25	310.7705955
20/03/2023 15:00:00.00	450.5360839	437.0200014	540.8	359.7697523
20/03/2023 16:00:00.00	585.5035546	567.938448	236.41	520.5580032
20/03/2023 17:00:00.00	148.422252	143.9695844	78.1	129.4265098
21/03/2023 07:00:00.00	96.88125844	93.97482069	201.02	59.27324669
21/03/2023 08:00:00.00	401.504686	389.4595454	275.29	437.1890233
21/03/2023 09:00:00.00	416.6173183	404.1187988	500.78	705.0587912
21/03/2023 10:00:00.00	726.0135115	704.2331062	492.9	914.2190258
21/03/2023 11:00:00.00	304.5102138	295.3749074	116.59	258.8712472
21/03/2023 12:00:00.00	36.71072406	35.60940234	182.42	36.9263665
21/03/2023 13:00:00.00	423.4261379	410.7233538	314.36	343.2214965
21/03/2023 14:00:00.00	214.8443163	208.3989868	277.03	170.3305856
21/03/2023 15:00:00.00	295.247553	286.3901264	305.65	236.6182203
21/03/2023 16:00:00.00	301.936572	292.8784748	337.85	257.5766316
21/03/2023 17:00:00.00	173.1710796	167.9759472	100.02	185.2178502
22/03/2023 07:00:00.00	75.92369782	73.64598689	164.78	65.47641211
22/03/2023 08:00:00.00	358.684013	347.9234926	461.93	389.5439983
22/03/2023 09:00:00.00	709.3077071	688.0284758	637.33	771.2728953
22/03/2023 10:00:00.00	352.8656221	342.2796534	727.38	877.2703173
22/03/2023 11:00:00.00	772.0743594	748.9121287	749.31	994.8403876
22/03/2023 12:00:00.00	772.1587917	748.9940279	737.57	1038.127214
22/03/2023 13:00:00.00	772.1999553	749.0339566	749.42	1011.387843
22/03/2023 14:00:00.00	772.176407	749.0111148	746.93	973.0066942
22/03/2023 15:00:00.00	668.1290248	648.0851541	623.81	620.8273824
22/03/2023 16:00:00.00	500.0526873	485.0511067	347.96	499.2514769
22/03/2023 17:00:00.00	143.8658531	139.5498775	56.86	127.3235135

Time	P Act PV (kW DC)	P Act PV (kW AC)	Data Energi (kWh)	Irradiance (W/m ²)
23/03/2023 07:00:00.00	89.81806108	87.12351925	234.35	50.21812832
23/03/2023 08:00:00.00	452.7753178	439.1920583	361.78	385.3666705
23/03/2023 09:00:00.00	137.5077423	133.38251	495.67	127.2661773
23/03/2023 10:00:00.00	736.359747	714.2689545	850.9	666.5272805
23/03/2023 11:00:00.00	979.2433119	949.8660125	947.16	1044.132209
23/03/2023 12:00:00.00	979.2346409	949.8576017	933.28	1078.862889
23/03/2023 13:00:00.00	979.197732	949.8218	532.52	1092.321328
23/03/2023 14:00:00.00	617.4609248	598.937097	569.26	1037.355848
23/03/2023 15:00:00.00	612.4467673	594.0733643	589.58	558.3714067
23/03/2023 16:00:00.00	534.3238606	518.2941447	365.51	508.2642157
23/03/2023 17:00:00.00	196.5972743	190.6993561	105.27	237.9876596
24/03/2023 07:00:00.00	89.8095112	87.11522586	241.29	44.99290466
24/03/2023 08:00:00.00	457.1869701	443.471361	501.81	434.0442893
24/03/2023 09:00:00.00	535.1645887	519.1096511	386.34	685.5087256
24/03/2023 10:00:00.00	414.1413159	401.7170765	381.87	947.0896526
24/03/2023 11:00:00.00	374.8492883	363.6038097	331.07	289.94403
24/03/2023 12:00:00.00	308.16946	298.9243762	294.58	760.4113564
24/03/2023 13:00:00.00	308.157716	298.9129846	282.88	332.5527946
24/03/2023 14:00:00.00	308.1435939	298.8992861	281.91	504.1831495
24/03/2023 15:00:00.00	274.2668122	266.0388078	234.48	231.2250457
24/03/2023 16:00:00.00	308.4706808	299.2165603	245.6	563.624212
24/03/2023 17:00:00.00	173.6469161	168.4375087	66.72	203.4176656
25/03/2023 07:00:00.00	15.99593113	15.51605319	158.57	15.34237817
25/03/2023 08:00:00.00	284.2729558	275.7447671	234.37	253.1912438
25/03/2023 09:00:00.00	360.4939745	349.6791553	229.33	442.8369768
25/03/2023 10:00:00.00	0.009377381	0.009096059	268.26	869.6585109
25/03/2023 11:00:00.00	515.2153912	499.7589295	585.82	997.5434287
25/03/2023 12:00:00.00	411.6496906	399.3001999	342.2	1011.284149
25/03/2023 13:00:00.00	392.985823	381.1962483	311.41	311.0127519
25/03/2023 14:00:00.00	545.0886325	528.7359735	589.25	877.04
25/03/2023 15:00:00.00	566.3101108	549.3208075	453.46	757.3207565
25/03/2023 16:00:00.00	261.9878562	254.1282205	189.29	237.1201282
25/03/2023 17:00:00.00	79.33061166	76.95069331	51.92	75.16346026
26/03/2023 07:00:00.00	122.6429054	118.9636182	287.52	91.4673966
26/03/2023 08:00:00.00	263.5560949	255.649412	354.18	227.9379463
26/03/2023 09:00:00.00	515.1923139	499.7365445	551.9	774.5032206
26/03/2023 10:00:00.00	720.9864395	699.3568463	744.48	763.2100425
26/03/2023 11:00:00.00	844.2796514	818.9512618	739.37	769.5454226
26/03/2023 12:00:00.00	862.7428933	836.8606065	554.29	742.2464481
26/03/2023 13:00:00.00	453.9323869	440.3144153	608.84	376.5866999
26/03/2023 14:00:00.00	362.9894229	352.0997402	538.3	334.3550746

Time	P Act PV (kW DC)	P Act PV (kW AC)	Data Energi (kWh)	Irradiance (W/m ²)
26/03/2023 15:00:00.00	617.4296882	598.9067976	529.13	776.0832582
26/03/2023 16:00:00.00	575.1921657	557.9364007	310.65	540.8339941
26/03/2023 17:00:00.00	175.7247477	170.4530053	88.5	163.8128354
27/03/2023 07:00:00.00	124.8880645	121.1414226	203.44	102.6067385
27/03/2023 08:00:00.00	247.2920041	239.873244	324.05	219.97
27/03/2023 09:00:00.00	442.2498722	428.982376	561.24	380.5681357
27/03/2023 10:00:00.00	368.2818681	357.233412	517.89	328.385
27/03/2023 11:00:00.00	566.2839534	549.2954348	687.67	847.4035009
27/03/2023 12:00:00.00	875.6850921	849.4145394	815.74	1158.722455
27/03/2023 13:00:00.00	720.9601811	699.3313756	835.92	1078.362748
27/03/2023 14:00:00.00	871.4419356	845.2986775	818.61	788.162761
27/03/2023 15:00:00.00	789.0248053	765.3540612	640.06	704.1984862
27/03/2023 16:00:00.00	505.597762	490.4298291	339.3	479.2000534
27/03/2023 17:00:00.00	218.7191113	212.1575379	96.2	231.2400948
28/03/2023 07:00:00.00	127.2694217	123.4513391	156.14	101.4514057
28/03/2023 08:00:00.00	190.5866868	184.8690862	279.5	161.0483721
28/03/2023 09:00:00.00	434.5786744	421.5413142	445.39	369.4897706
28/03/2023 10:00:00.00	473.0356483	458.8445788	536.99	396.970223
28/03/2023 11:00:00.00	567.2860107	550.2674303	670.31	494.0013789
28/03/2023 12:00:00.00	908.0701098	880.8280065	634.97	866.8444772
28/03/2023 13:00:00.00	784.915869	761.368393	758.52	661.9539965
28/03/2023 14:00:00.00	664.3570012	644.4262911	564.72	579.147113
28/03/2023 15:00:00.00	813.3716489	788.9704994	498.71	749.17499
28/03/2023 16:00:00.00	252.8559587	245.27028	196.97	210.2644231
28/03/2023 17:00:00.00	119.6783002	116.0879512	53.38	103.05764
29/03/2023 07:00:00.00	14.28033103	13.8519211	33.84	25.68747416
29/03/2023 08:00:00.00	53.0945942	51.50175637	51.64	44.14949086
29/03/2023 09:00:00.00	58.16312687	56.41823306	90.2	45.93532009
29/03/2023 10:00:00.00	219.5828082	212.995324	199.42	169.256936
29/03/2023 11:00:00.00	411.673931	399.3237131	403.87	404.65
29/03/2023 12:00:00.00	410.3062828	397.9970943	389.98	333.1421647
29/03/2023 13:00:00.00	452.6281394	439.0492952	373.98	359.1817398
29/03/2023 14:00:00.00	381.5142478	370.0688203	299.04	302.6486086
29/03/2023 15:00:00.00	214.7083624	208.2671116	218.37	170.9014744
29/03/2023 16:00:00.00	153.9530928	149.3345	130.26	123.959484
29/03/2023 17:00:00.00	91.50082928	88.7558044	46.39	76.81571682
30/03/2023 07:00:00.00	125.0569504	121.3052419	180.51	94.94972963
30/03/2023 08:00:00.00	303.5670568	294.4600451	321.51	300.6837405
30/03/2023 09:00:00.00	318.6754093	309.1151471	372.69	269.8192714
30/03/2023 10:00:00.00	508.4161204	493.1636368	446.73	966.17698
30/03/2023 11:00:00.00	452.3527221	438.7821404	477.2	396.7528828

Time	P Act PV (kW DC)	P Act PV (kW AC)	Data Energi (kWh)	Irradiance (W/m ²)
30/03/2023 12:00:00.00	515.2032293	499.7471324	496.25	1377.996936
30/03/2023 13:00:00.00	515.2432999	499.7860009	477.42	1292.626277
30/03/2023 14:00:00.00	212.5056363	206.1304672	348.71	190.1107968
30/03/2023 15:00:00.00	411.6122546	399.2638869	399.34	739.9782975
30/03/2023 16:00:00.00	411.6141582	399.2657335	236.75	512.6280654
30/03/2023 17:00:00.00	130.983799	127.054285	58.67	127.1078018
31/03/2023 07:00:00.00	100.8162676	97.79177953	210.54	83.45829734
31/03/2023 08:00:00.00	254.4724529	246.8382793	215.05	225.7175644
31/03/2023 09:00:00.00	208.9697698	202.7006767	278.79	172.8586578
31/03/2023 10:00:00.00	360.5155711	349.700104	349.79	433.2605787
31/03/2023 11:00:00.00	360.5092756	349.6939974	454.85	593.102822
31/03/2023 12:00:00.00	442.854489	429.5688544	424.24	565.3802139
31/03/2023 13:00:00.00	442.8352171	429.5501606	475.56	1011.956651
31/03/2023 14:00:00.00	515.1768145	499.72151	485.41	512.0279732
31/03/2023 15:00:00.00	515.1536097	499.6990014	436.33	837.939137
31/03/2023 16:00:00.00	361.071766	350.2396131	267.78	310.7126103
31/03/2023 17:00:00.00	184.5457359	179.0093638	79.33	154.07828

Tabel 2 Hasil perhitungan efisiensi

Time	P Act PV (kW DC)	P Act PV (kW AC)	Data Energi (kWh)	Irradiance (W/m ²)	Pin (A x I)	efisiensi %
01/03/2023 07:00:00.00	61.13877294	59.30460975	93.54	53.27256386	363.8532094	16.80314241
01/03/2023 08:00:00.00	130.6173208	126.6988012	220.06	107.4154179	733.6505267	17.80375206
01/03/2023 09:00:00.00	352.285903	341.7173259	418.94	290.8637091	1986.607859	17.73303681
01/03/2023 10:00:00.00	487.4099311	472.7876332	462.8	403.9169377	2758.764802	17.66768703
01/03/2023 11:00:00.00	508.3177925	493.0682588	501.59	426.4786676	2912.862094	17.45080186
01/03/2023 12:00:00.00	638.6918557	619.5311	317.53	628.0540145	4289.62776	14.88921397
01/03/2023 13:00:00.00	207.7839387	201.5504205	269.17	167.9271162	1146.947242	18.1162595
01/03/2023 14:00:00.00	291.1869203	282.4513127	265.42	232.4350742	1587.53853	18.34203799
01/03/2023 15:00:00.00	19.96958866	19.370501	28.5	284.1201523	1940.549164	1.029068937
01/03/2023 16:00:00.00	97.68536206	94.7548012	33.52	231.6608278	1582.250404	6.173824435
01/03/2023 17:00:00.00	0.078409617	0.076057329	22.71	73.50140221	502.0167822	0.015618924
02/03/2023 07:00:00.00	50.6460428	49.12666151	118.55	43.8343607	299.3899986	16.91641105
02/03/2023 08:00:00.00	214.7671268	208.324113	278.02	175.1805657	1196.488519	17.94978584
02/03/2023 09:00:00.00	515.1846635	499.7291236	566.25	485.68387	3317.235403	15.53054279
02/03/2023 10:00:00.00	571.434107	554.2910838	622.97	491.8115355	3359.087542	17.01158722
02/03/2023 11:00:00.00	669.8569971	649.7612872	705.13	813.56476	5556.671718	12.05500399
02/03/2023 12:00:00.00	720.9908453	699.3611199	719.54	677.2491482	4625.632	15.58686133
02/03/2023 13:00:00.00	720.9737897	699.344576	660.82	1086.99356	7424.198625	9.711132826
02/03/2023 14:00:00.00	589.6280044	571.9391643	491.73	499.3266322	3410.415878	17.28903528

Time	P Act PV (kW DC)	P Act PV (kW AC)	Data Energi (kWh)	Irradiance (W/m ²)	Pin (A x I)	efisiensi %
02/03/2023 15:00:00.00	395.7313635	383.8594226	381.27	338.7824468	2313.894275	17.10239606
02/03/2023 16:00:00.00	350.4191242	339.9065505	182.45	302.9344121	2069.051122	16.93622359
02/03/2023 17:00:00.00	102.6854423	99.60487899	58.42	85.88209269	586.5772695	17.50586795
03/03/2023 07:00:00.00	40.42499497	39.21224512	86.46	35.16076238	240.1490619	16.8332929
03/03/2023 08:00:00.00	207.7839387	201.5504205	269.17	167.9271162	1146.947242	18.1162595
03/03/2023 09:00:00.00	291.1869203	282.4513127	265.42	232.4350742	1587.53853	18.34203799
03/03/2023 10:00:00.00	327.2981468	317.4792024	420.72	255.8590838	1747.525218	18.72923741
03/03/2023 11:00:00.00	461.3581096	447.5173663	467.65	377.7996567	2580.382989	17.87944315
03/03/2023 12:00:00.00	394.7814747	382.9380304	451.64	322.9404585	2205.69302	17.89829641
03/03/2023 13:00:00.00	559.735442	542.9433788	631.84	465.7963672	3181.403162	17.59398019
03/03/2023 14:00:00.00	772.1908522	749.0251267	707.85	852.3675419	5821.695882	13.26401907
03/03/2023 15:00:00.00	669.8367027	649.7416016	618.04	666.2307815	4550.376225	14.72046859
03/03/2023 16:00:00.00	390.2014966	378.4954517	332.55	361.3811438	2468.244054	15.80887011
03/03/2023 17:00:00.00	200.636075	194.6169928	109.41	183.0414957	1250.178907	16.04858904
04/03/2023 07:00:00.00	90.5789352	87.86156714	175.11	81.11581898	554.0234771	16.34929546
04/03/2023 08:00:00.00	334.4811016	324.4466686	380	297.1440121	2029.502517	16.48094047
04/03/2023 09:00:00.00	297.1431633	288.2288684	492.38	251.2480442	1716.03168	17.31571549
04/03/2023 10:00:00.00	568.8214528	551.7568092	603.01	657.5501588	4491.087311	12.66556211
04/03/2023 11:00:00.00	670.1267877	650.0229841	796.05	600.3090225	4100.128633	16.34404302
04/03/2023 12:00:00.00	936.5488062	908.452342	925.25	834.209995	5697.679292	16.43737315
04/03/2023 13:00:00.00	1001.715964	971.6644846	950.02	970.2548763	6626.869913	15.11597446
04/03/2023 14:00:00.00	980.4206037	951.0079856	879.45	917.1707912	6264.304019	15.65091031
04/03/2023 15:00:00.00	777.5643195	754.2373899	637.46	691.0213564	4719.696595	16.47487935
04/03/2023 16:00:00.00	567.7629748	550.7300855	326.36	530.2886229	3621.887203	15.67588781
04/03/2023 17:00:00.00	129.1670103	125.292	70.59	116.1968686	793.6280984	16.27550871
05/03/2023 07:00:00.00	106.6550451	103.4553938	184.93	87.80362323	599.7013807	17.78469227
05/03/2023 08:00:00.00	295.0466464	286.195247	408.95	282.5319619	1929.701776	15.28975358
05/03/2023 09:00:00.00	535.1432516	519.0889541	642.57	594.9007387	4063.189892	13.17052035
05/03/2023 10:00:00.00	753.4416139	730.8383655	745.54	784.3877255	5357.391697	14.06359021
05/03/2023 11:00:00.00	784.5733563	761.0361556	885.63	889.2484639	6073.593686	12.91777812
05/03/2023 12:00:00.00	1001.577315	971.5299955	967.4	1176.902354	8038.278387	12.46009738
05/03/2023 13:00:00.00	1011.656299	981.3066095	981.2	1040.770744	7108.495405	14.23165158
05/03/2023 14:00:00.00	1011.701344	981.350304	838.53	951.0412567	6495.640314	15.5750826
05/03/2023 15:00:00.00	852.7311767	827.1492414	510.08	833.7593058	5694.601071	14.97437952
05/03/2023 16:00:00.00	33.72313089	32.71143696	5.07	501.7710823	3427.111545	0.984010308
05/03/2023 17:00:00.00	0.000515464	0.0005	37.37	350.41501	2393.345031	2.15374E-05
06/03/2023 07:00:00.00	70.82044513	68.69583178	107.73	58.70552019	400.9604641	17.66270031
06/03/2023 08:00:00.00	183.4648519	177.9609064	402.12	157.7987037	1077.76988	17.02263677
06/03/2023 09:00:00.00	603.711196	585.5998601	631.53	555.710238	3795.517597	15.90589901
06/03/2023 10:00:00.00	515.139244	499.6850667	750.16	595.5628583	4067.712189	12.66410257
06/03/2023 11:00:00.00	764.3967105	741.4648092	671.28	664.54422	4538.856959	16.84117207

Time	P Act PV (kW DC)	P Act PV (kW AC)	Data Energi (kWh)	Irradiance (W/m ²)	Pin (A x I)	efisiensi %
06/03/2023 12:00:00.00	669.85193	649.7563721	902.29	1078.141154	7363.736425	9.096630995
06/03/2023 13:00:00.00	860.6590637	834.8392918	627.65	815.4001668	5569.207601	15.45388726
06/03/2023 14:00:00.00	515.2213295	499.7646896	499.86	476.7826812	3256.440016	15.82161277
06/03/2023 15:00:00.00	515.2243521	499.7676216	299.6	819.4686245	5596.995289	9.205374054
06/03/2023 16:00:00.00	201.6289723	195.5801031	138.31	161.0097945	1099.701727	18.33487821
06/03/2023 17:00:00.00	106.0867726	102.9041694	41.83	87.82345707	599.8368465	17.68593797
07/03/2023 07:00:00.00	90.20720793	87.50099169	111.1	79.35547832	542.0002976	16.64338716
07/03/2023 08:00:00.00	165.0263601	160.0755693	328.73	142.5842895	973.854975	16.94568127
07/03/2023 09:00:00.00	369.8407587	358.745536	91.13	314.1338277	2145.543467	17.23762601
07/03/2023 10:00:00.00	617.4128866	598.8905	385.35	724.80499	4950.439826	12.47187944
07/03/2023 11:00:00.00	751.1980928	728.66215	700.45	678.0896712	4631.372797	16.21977167
07/03/2023 12:00:00.00	771.0865573	747.9539606	740.05	706.5140499	4825.512156	15.97937239
07/03/2023 13:00:00.00	772.2093545	749.0430738	732.67	1079.69262	7374.332985	10.47158239
07/03/2023 14:00:00.00	550.6165569	534.0980602	545.19	503.1588462	3436.590014	16.02217764
07/03/2023 15:00:00.00	522.757871	507.0751348	550.88	473.045073	3230.91204	16.17988557
07/03/2023 16:00:00.00	383.338433	371.83828	285.41	351.3538571	2399.757385	15.97404952
07/03/2023 17:00:00.00	188.1609691	182.51614	82.81	225.8318319	1542.438187	12.19893093
08/03/2023 07:00:00.00	66.80062222	64.79660356	211.63	61.28175779	418.5562442	15.95977199
08/03/2023 08:00:00.00	190.2298355	184.5229404	467	173.4147679	1184.428067	16.06090237
08/03/2023 09:00:00.00	545.1092898	528.7560111	552.97	606.0972221	4139.66221	13.16796546
08/03/2023 10:00:00.00	617.4956944	598.9708235	439.08	859.0318807	5867.213516	10.52451377
08/03/2023 11:00:00.00	411.6449851	399.2956355	399.34	426.6879887	2914.291764	14.1250437
08/03/2023 12:00:00.00	411.6311664	399.2822314	420.98	1007.475213	6881.085927	5.98206694
08/03/2023 13:00:00.00	462.7979752	448.914036	452.42	1069.848927	7307.100266	6.333538043
08/03/2023 14:00:00.00	462.8120856	448.9277231	423.25	961.2399439	6565.297654	7.049369428
08/03/2023 15:00:00.00	462.8208517	448.9362262	448.21	742.4102015	5070.683948	9.127385111
08/03/2023 16:00:00.00	509.5820272	494.2945664	349.92	560.6626025	3829.342395	13.30729861
08/03/2023 17:00:00.00	247.0932156	239.6804191	109.2	283.8735786	1938.865058	12.74421933
09/03/2023 07:00:00.00	73.51610328	71.31062018	161.04	64.58650847	441.1277905	16.66548897
09/03/2023 08:00:00.00	467.9924792	453.9527048	385.58	456.355769	3116.923593	15.01456373
09/03/2023 09:00:00.00	566.3648604	549.3739146	669.7	654.2315083	4468.420828	12.67483261
09/03/2023 10:00:00.00	829.582335	804.6948649	882.82	848.5240838	5795.444948	14.31438556
09/03/2023 11:00:00.00	1031.609735	1000.661443	1000.79	981.5062711	6703.717277	15.38862235
09/03/2023 12:00:00.00	1035.318135	1004.258591	1014.48	1035.690587	7073.797781	14.63595889
09/03/2023 13:00:00.00	1031.696573	1000.745676	981.36	1015.38314	6935.097305	14.87645418
09/03/2023 14:00:00.00	924.4607638	896.7269409	858.86	848.7597609	5797.05463	15.94707697
09/03/2023 15:00:00.00	808.6132578	784.3548601	613.93	730.642432	4990.30973	16.20366874
09/03/2023 16:00:00.00	528.8736228	513.0074141	318.12	496.7879027	3393.076279	15.58684743
09/03/2023 17:00:00.00	233.3082086	226.3089623	95.36	252.5328988	1724.807275	13.5266248
10/03/2023 07:00:00.00	83.40624154	80.90405429	179.02	59.52657475	406.5682913	20.51469416
10/03/2023 08:00:00.00	177.4348678	172.1118218	369.96	156.4644133	1068.656637	16.60354333

Time	P Act PV (kW DC)	P Act PV (kW AC)	Data Energi (kWh)	Irradiance (W/m ²)	Pin (A x I)	efisiensi %
10/03/2023 09:00:00.00	566.2716031	549.283455	725.76	679.0767408	4638.114512	12.2090906
10/03/2023 10:00:00.00	875.6729859	849.4027963	766.58	885.2567909	6046.33044	14.48271798
10/03/2023 11:00:00.00	824.5352415	799.7991843	797.65	995.6417427	6800.262972	12.12504935
10/03/2023 12:00:00.00	617.5451466	599.0187922	669.56	1000.872352	6835.988188	9.033736303
10/03/2023 13:00:00.00	721.045542	699.4141757	585.28	1023.529824	6990.739407	10.31429581
10/03/2023 14:00:00.00	566.2780484	549.2897069	565.56	961.5974214	6567.739236	8.622115282
10/03/2023 15:00:00.00	718.2050233	696.6588726	578.58	670.7703976	4581.381939	15.67660223
10/03/2023 16:00:00.00	474.7398912	460.4976944	347.77	445.6026753	3043.47964	15.59858935
10/03/2023 17:00:00.00	150.5443657	146.0280347	61.95	213.3935396	1457.484278	10.32905589
11/03/2023 07:00:00.00	100.1837401	97.17822785	222.58	67.66359711	462.1443981	21.67801675
11/03/2023 08:00:00.00	157.7947125	153.0608711	453.59	141.5951282	967.0989735	16.31629407
11/03/2023 09:00:00.00	516.4648008	500.9708568	570.02	675.0828276	4610.835965	11.20110984
11/03/2023 10:00:00.00	669.8124577	649.7180839	891.54	858.6608809	5864.679576	11.42112624
11/03/2023 11:00:00.00	1030.287787	999.3791536	1041.19	980.4825228	6696.725045	15.38494981
11/03/2023 12:00:00.00	1097.957118	1065.018405	1052.44	1028.562931	7025.115676	15.62902547
11/03/2023 13:00:00.00	1063.178062	1031.28272	984.51	993.1195354	6783.03622	15.6740732
11/03/2023 14:00:00.00	947.6595338	919.2297478	861.04	887.6133023	6062.425483	15.6316896
11/03/2023 15:00:00.00	791.9925028	768.2327278	648.88	713.1548156	4870.868785	16.25977906
11/03/2023 16:00:00.00	510.5124724	495.1970982	337.44	483.7435145	3303.982716	15.45142685
11/03/2023 17:00:00.00	153.3844862	148.7829516	60.92	224.2337244	1531.523065	10.01516005
12/03/2023 07:00:00.00	75.81401824	73.53959769	219.32	46.14270432	315.1560548	24.05602465
12/03/2023 08:00:00.00	422.9895292	410.2998434	471.99	407.6348547	2784.158287	15.19272562
12/03/2023 09:00:00.00	617.4570577	598.933346	712.9	667.2078115	4557.049369	13.5494924
12/03/2023 10:00:00.00	898.1352009	871.1911449	893.99	850.96503	5812.116684	15.45280747
12/03/2023 11:00:00.00	929.3031276	901.4240338	901.66	980.4101364	6696.230644	13.87800357
12/03/2023 12:00:00.00	929.2932469	901.4144494	901.93	1027.716923	7019.337416	13.23904511
12/03/2023 13:00:00.00	929.3808787	901.4994523	901.77	995.2221164	6797.396912	13.67259983
12/03/2023 14:00:00.00	929.2601141	901.3823107	860.8	886.3142133	6053.552666	15.35065713
12/03/2023 15:00:00.00	796.1415989	772.2573509	642.21	714.9525764	4883.147545	16.30386122
12/03/2023 16:00:00.00	422.3338885	409.6638718	267.11	399.861952	2731.069128	15.46404974
12/03/2023 17:00:00.00	218.03939	211.4982083	91.53	276.6355319	1889.428982	11.53996218
13/03/2023 07:00:00.00	84.07096257	81.54883369	167.91	71.57124101	488.8337232	17.19827389
13/03/2023 08:00:00.00	167.7166289	162.68513	319.96	147.8775	1010.007761	16.60547921
13/03/2023 09:00:00.00	326.6219395	316.8232813	321.49	271.4164588	1853.782556	17.61921529
13/03/2023 10:00:00.00	583.0245564	565.5338197	649.3	488.8980834	3339.188577	17.46006681
13/03/2023 11:00:00.00	532.8633608	516.8774599	857.25	422.49325	2885.641572	18.46602731
13/03/2023 12:00:00.00	929.2541872	901.3765616	967.01	1024.305909	6996.040088	13.28257379
13/03/2023 13:00:00.00	1069.461485	1037.37764	996.37	993.2052908	6783.621932	15.76534624
13/03/2023 14:00:00.00	964.480282	935.5458735	861.26	877.9533784	5996.447913	16.08419344
13/03/2023 15:00:00.00	779.9390688	756.5408968	648.19	703.1737912	4802.698089	16.23960229
13/03/2023 16:00:00.00	530.6719863	514.7518267	197.46	504.126271	3443.197555	15.41218527

Time	P Act PV (kW DC)	P Act PV (kW AC)	Data Energi (kWh)	Irradiance (W/m ²)	Pin (A x I)	efisiensi %
13/03/2023 17:00:00.00	119.6535093	116.063904	115.04	121.7798128	831.7597751	14.38558499
14/03/2023 07:00:00.00	111.9774247	108.618102	299.61	74.81883819	511.0149094	21.91275101
14/03/2023 08:00:00.00	371.7044614	360.5533276	449.12	369.01036	2520.351829	14.74811799
14/03/2023 09:00:00.00	669.8929121	649.7961247	708.97	676.4092375	4619.895385	14.50017492
14/03/2023 10:00:00.00	844.4975403	819.1626141	715.36	987.155446	6742.301311	12.52536043
14/03/2023 11:00:00.00	772.1678489	749.0028134	956.95	1138.906923	7778.768452	9.926607967
14/03/2023 12:00:00.00	1081.138785	1048.704621	1048.87	1022.349487	6982.677668	15.48315469
14/03/2023 13:00:00.00	1079.724228	1047.332502	1042.58	1016.036347	6939.55873	15.5589753
14/03/2023 14:00:00.00	926.8261144	899.021331	669.38	1085.57148	7414.485776	12.5002076
14/03/2023 15:00:00.00	669.8153277	649.7208679	382.67	894.6603013	6110.556698	10.96160892
14/03/2023 16:00:00.00	287.6907853	279.0600617	219.83	248.7542041	1698.998677	16.93296112
14/03/2023 17:00:00.00	172.4524079	167.2788357	109.8	156.8003425	1070.951043	16.10273495
15/03/2023 07:00:00.00	70.89472093	68.7678793	222.2	45.72173646	312.2808317	22.70223265
15/03/2023 08:00:00.00	475.2658918	461.0079151	279.73	460.6641992	3146.3503	15.10530762
15/03/2023 09:00:00.00	566.3130434	549.3236521	682.98	661.8964007	4520.772274	12.52690932
15/03/2023 10:00:00.00	824.5648875	799.8279409	874.02	852.498617	5822.591129	14.16147672
15/03/2023 11:00:00.00	1030.374776	999.4635326	1019.03	969.2052916	6619.701218	15.56527617
15/03/2023 12:00:00.00	1081.420778	1048.978155	1044.75	1027.462654	7017.600749	15.41012116
15/03/2023 13:00:00.00	1065.420322	1033.457713	996.14	994.2369577	6790.668248	15.68947685
15/03/2023 14:00:00.00	919.5961487	892.0082643	420.62	965.2271281	6592.530242	13.94906227
15/03/2023 15:00:00.00	138.2292907	134.0824119	159.89	117.3780617	801.6956828	17.24211489
15/03/2023 16:00:00.00	389.9974567	378.297533	203.63	410.2076894	2801.730825	13.919876
15/03/2023 17:00:00.00	102.5997121	99.52172077	44.62	120.7899128	824.9987281	12.43634792
16/03/2023 07:00:00.00	78.8478115	76.48237715	203.71	52.91008972	361.3775001	21.81868309
16/03/2023 08:00:00.00	306.3677794	297.176746	473.89	368.4515365	2516.535048	12.17419084
16/03/2023 09:00:00.00	638.695655	619.5347854	732.39	692.9307434	4732.737766	13.49526821
16/03/2023 10:00:00.00	772.1029963	748.9399064	754.26	903.2084836	6168.941039	12.51597302
16/03/2023 11:00:00.00	720.7561102	699.1334269	437.04	1135.564615	7755.94039	9.292955773
16/03/2023 12:00:00.00	566.3032058	549.3141096	500.74	1152.7217	7873.123789	7.192865512
16/03/2023 13:00:00.00	566.3135993	549.3241913	530.65	1278.984787	8735.504466	6.482895195
16/03/2023 14:00:00.00	566.3318819	549.3419254	549.8	905.4095667	6183.974503	9.158056547
16/03/2023 15:00:00.00	566.312572	549.3231949	498.67	744.7420198	5086.610338	11.13339797
16/03/2023 16:00:00.00	554.522355	537.8866843	362.6	567.5314341	3876.256721	14.30561479
16/03/2023 17:00:00.00	146.4378331	142.0446981	57.25	212.3021993	1450.03039	10.09894924
17/03/2023 07:00:00.00	87.01567027	84.40520016	224.37	58.63010283	400.4453612	21.72972363
17/03/2023 08:00:00.00	421.2965287	408.6576329	524.64	394.7444851	2696.116676	15.62604959
17/03/2023 09:00:00.00	638.6535238	619.4939181	390.14	691.3644463	4722.039909	13.52494973
17/03/2023 10:00:00.00	360.5138	349.698386	293.96	833.8483338	5695.209136	6.330123993
17/03/2023 11:00:00.00	360.5097774	349.6944841	565.21	991.9897197	6775.319545	5.320926564
17/03/2023 12:00:00.00	1130.136835	1096.23273	531.98	1083.65156	7401.372664	15.26928701
17/03/2023 13:00:00.00	515.1820499	499.7265884	528.93	468.5885956	3200.474166	16.09705385

Time	P Act PV (kW DC)	P Act PV (kW AC)	Data Energi (kWh)	Irradiance (W/m ²)	Pin (A x I)	efisiensi %
17/03/2023 14:00:00.00	566.3170436	549.3275323	240.65	1015.847558	6938.269298	8.16222345
17/03/2023 15:00:00.00	16.09450927	15.61167399	188.02	139.0368124	949.6256	1.69482681
17/03/2023 16:00:00.00	484.0986417	469.5756824	329.61	441.4407499	3015.053565	16.05605444
17/03/2023 17:00:00.00	153.1518838	148.5573273	71.32	165.9088603	1133.162493	13.51543885
18/03/2023 07:00:00.00	117.8173093	114.28279	258.58	91.1155621	622.3220226	18.93188815
18/03/2023 08:00:00.00	485.1017282	470.5486764	482.76	432.7940441	2955.996305	16.4107691
18/03/2023 09:00:00.00	617.4156776	598.8932073	385.63	766.6322873	5236.121521	11.7914696
18/03/2023 10:00:00.00	438.2058301	425.0596552	376.39	401.9607474	2745.403964	15.96143358
18/03/2023 11:00:00.00	331.4025214	321.4604458	136.52	268.7921711	1835.858593	18.05163659
18/03/2023 12:00:00.00	262.4971837	254.6222682	720.63	211.0710327	1441.621486	18.20846778
18/03/2023 13:00:00.00	979.2361035	949.8590204	949.43	1033.65266	7059.878674	13.87043813
18/03/2023 14:00:00.00	979.2564793	949.8787849	622.53	1028.06044	7021.683647	13.9461777
18/03/2023 15:00:00.00	557.3372093	540.617093	617.51	441.5156348	3015.565031	18.48201592
18/03/2023 16:00:00.00	532.6716996	516.6915486	309.84	503.7066922	3440.331819	15.48314894
18/03/2023 17:00:00.00	133.925471	129.9077069	56.19	194.2379581	1326.651081	10.09500335
19/03/2023 07:00:00.00	162.1897759	157.3240826	294.2	114.402696	781.3738455	20.75700086
19/03/2023 08:00:00.00	438.6348689	425.4758229	527.54	414.624549	2831.898109	15.48907666
19/03/2023 09:00:00.00	710.6473976	689.3279757	683.6	636.18227	4345.14399	16.35497924
19/03/2023 10:00:00.00	720.9878402	699.358205	702.95	1014.86383	6931.550403	10.40153787
19/03/2023 11:00:00.00	638.9568161	619.7881117	638.49	1072.13908	7322.742081	8.725649615
19/03/2023 12:00:00.00	710.0603235	688.7585138	463.85	1272.145383	8688.791129	8.172141705
19/03/2023 13:00:00.00	342.8452566	332.5598989	441.21	302.0184977	2062.7954	16.62041987
19/03/2023 14:00:00.00	617.4357618	598.912689	424.38	938.67724	6411.19371	9.630589712
19/03/2023 15:00:00.00	194.5415269	188.7052811	335.39	174.5502901	1192.183718	16.31808286
19/03/2023 16:00:00.00	503.7703732	488.657262	260.87	458.3618052	3130.62488	16.09168752
19/03/2023 17:00:00.00	163.071531	158.1793851	67.77	202.4580995	1382.794894	11.79289364
20/03/2023 07:00:00.00	69.75703907	67.6643279	99.27	63.80026279	435.7577089	16.00821687
20/03/2023 08:00:00.00	188.7760802	183.1127978	301.83	167.5387384	1144.294609	16.49715717
20/03/2023 09:00:00.00	617.4429733	598.9196841	457.32	552.2232976	3771.701689	16.37040848
20/03/2023 10:00:00.00	640.6142321	621.3958051	604.62	516.0044342	3524.325766	18.17693013
20/03/2023 11:00:00.00	229.9090859	223.0118133	195.48	198.9621429	1358.917405	16.91854745
20/03/2023 12:00:00.00	210.8280803	204.5032379	538.25	459.3437689	3137.331722	6.71998051
20/03/2023 13:00:00.00	399.6721747	387.6820095	412.65	467.8622459	3195.513175	12.50729234
20/03/2023 14:00:00.00	369.4630331	358.3791421	573.25	310.7705955	2122.57249	17.40637998
20/03/2023 15:00:00.00	450.5360839	437.0200014	540.8	359.7697523	2457.238201	18.33505941
20/03/2023 16:00:00.00	585.5035546	567.938448	236.41	520.5580032	3555.426779	16.46788392
20/03/2023 17:00:00.00	148.422252	143.9695844	78.1	129.4265098	883.9869448	16.79009547
21/03/2023 07:00:00.00	96.88125844	93.97482069	201.02	59.27324669	404.8380531	23.93086759
21/03/2023 08:00:00.00	401.504686	389.4595454	275.29	437.1890233	2986.014145	13.44617495
21/03/2023 09:00:00.00	416.6173183	404.1187988	500.78	705.0587912	4815.572696	8.651459434
21/03/2023 10:00:00.00	726.0135115	704.2331062	492.9	914.2190258	6244.143373	11.62711149

Time	P Act PV (kW DC)	P Act PV (kW AC)	Data Energi (kWh)	Irradiance (W/m ²)	Pin (A x I)	efisiensi %
21/03/2023 11:00:00.00	304.5102138	295.3749074	116.59	258.8712472	1768.098384	17.22247
21/03/2023 12:00:00.00	36.71072406	35.60940234	182.42	36.9263665	252.208191	14.55572236
21/03/2023 13:00:00.00	423.4261379	410.7233538	314.36	343.2214965	2344.213118	18.06261277
21/03/2023 14:00:00.00	214.8443163	208.3989868	277.03	170.3305856	1163.36301	18.4675217
21/03/2023 15:00:00.00	295.247553	286.3901264	305.65	236.6182203	1616.109543	18.26903097
21/03/2023 16:00:00.00	301.936572	292.8784748	337.85	257.5766316	1759.256121	17.16274102
21/03/2023 17:00:00.00	173.1710796	167.9759472	100.02	185.2178502	1265.043474	13.68894297
22/03/2023 07:00:00.00	75.92369782	73.64598689	164.78	65.47641211	447.205859	16.97734864
22/03/2023 08:00:00.00	358.684013	347.9234926	461.93	389.5439983	2660.597195	13.48133471
22/03/2023 09:00:00.00	709.3077071	688.0284758	637.33	771.2728953	5267.817013	13.46492684
22/03/2023 10:00:00.00	352.8656221	342.2796534	727.38	877.2703173	5991.782585	5.889159312
22/03/2023 11:00:00.00	772.0743594	748.9121287	749.31	994.8403876	6794.789693	11.36274108
22/03/2023 12:00:00.00	772.1587917	748.9940279	737.57	1038.127214	7090.440017	10.89013925
22/03/2023 13:00:00.00	772.1999553	749.0339566	749.42	1011.387843	6907.809312	11.17865188
22/03/2023 14:00:00.00	772.176407	749.0111148	746.93	973.0066942	6645.664912	11.6192498
22/03/2023 15:00:00.00	668.1290248	648.0851541	623.81	620.8273824	4240.269647	15.75675795
22/03/2023 16:00:00.00	500.0526873	485.0511067	347.96	499.2514769	3409.902565	14.6647207
22/03/2023 17:00:00.00	143.8658531	139.5498775	56.86	127.3235135	869.623417	16.54346586
23/03/2023 07:00:00.00	89.81806108	87.12351925	234.35	50.21812832	342.991323	26.1866861
23/03/2023 08:00:00.00	452.7753178	439.1920583	361.78	385.3666705	2632.065921	17.2022788
23/03/2023 09:00:00.00	137.5077423	133.38251	495.67	127.2661773	869.2318093	15.81945585
23/03/2023 10:00:00.00	736.359747	714.2689545	850.9	666.5272805	4552.401322	16.17519403
23/03/2023 11:00:00.00	979.2433119	949.8660125	947.16	1044.132209	7131.454314	13.731327
23/03/2023 12:00:00.00	979.2346409	949.8576017	933.28	1078.862889	7368.665897	13.2891714
23/03/2023 13:00:00.00	979.197732	949.8218	532.52	1092.321328	7460.587438	13.12494144
23/03/2023 14:00:00.00	617.4609248	598.937097	569.26	1037.355848	7085.171563	8.714833781
23/03/2023 15:00:00.00	612.4467673	594.0733643	589.58	558.3714067	3813.693459	16.05915037
23/03/2023 16:00:00.00	534.3238606	518.2941447	365.51	508.2642157	3471.459841	15.39190672
23/03/2023 17:00:00.00	196.5972743	190.6993561	105.27	237.9876596	1625.462855	12.09484878
24/03/2023 07:00:00.00	89.8095112	87.11522586	241.29	44.99290466	307.3028886	29.22507875
24/03/2023 08:00:00.00	457.1869701	443.471361	501.81	434.0442893	2964.535517	15.42187528
24/03/2023 09:00:00.00	535.1645887	519.1096511	386.34	685.5087256	4682.045161	11.43014581
24/03/2023 10:00:00.00	414.1413159	401.7170765	381.87	947.0896526	6468.65074	6.402282835
24/03/2023 11:00:00.00	374.8492883	363.6038097	331.07	289.94403	1980.326423	18.92866165
24/03/2023 12:00:00.00	308.16946	298.9243762	294.58	760.4113564	5193.632376	5.93360172
24/03/2023 13:00:00.00	308.157716	298.9129846	282.88	332.5527946	2271.345563	13.56718771
24/03/2023 14:00:00.00	308.1435939	298.8992861	281.91	504.1831495	3443.586037	8.9483344
24/03/2023 15:00:00.00	274.2668122	266.0388078	234.48	231.2250457	1579.273999	17.36663888
24/03/2023 16:00:00.00	308.4706808	299.2165603	245.6	563.624212	3849.570277	8.013119869
24/03/2023 17:00:00.00	173.6469161	168.4375087	66.72	203.4176656	1389.348759	12.49843965
25/03/2023 07:00:00.00	15.99593113	15.51605319	158.57	15.34237817	104.7889032	15.26490939

Time	P Act PV (kW DC)	P Act PV (kW AC)	Data Energi (kWh)	Irradiance (W/m ²)	Pin (A x I)	efisiensi %
25/03/2023 08:00:00.00	284.2729558	275.7447671	234.37	253.1912438	1729.303791	16.43857819
25/03/2023 09:00:00.00	360.4939745	349.6791553	229.33	442.8369768	3024.589836	11.91877226
25/03/2023 10:00:00.00	0.009377381	0.009096059	268.26	869.6585109	5939.793719	0.000157874
25/03/2023 11:00:00.00	515.2153912	499.7589295	585.82	997.5434287	6813.251545	7.56196051
25/03/2023 12:00:00.00	411.6496906	399.3001999	342.2	1011.284149	6907.101076	5.959804064
25/03/2023 13:00:00.00	392.985823	381.1962483	311.41	311.0127519	2124.226426	18.50018521
25/03/2023 14:00:00.00	545.0886325	528.7359735	589.25	877.04	5990.209511	9.099658893
25/03/2023 15:00:00.00	566.3101108	549.3208075	453.46	757.3207565	5172.523487	10.94842995
25/03/2023 16:00:00.00	261.9878562	254.1282205	189.29	237.1201282	1619.537589	16.17670735
25/03/2023 17:00:00.00	79.33061166	76.95069331	51.92	75.16346026	513.3686885	15.45295096
26/03/2023 07:00:00.00	122.6429054	118.9636182	287.52	91.4673966	624.7250628	19.63150075
26/03/2023 08:00:00.00	263.5560949	255.649412	354.18	227.9379463	1556.823011	16.9290981
26/03/2023 09:00:00.00	515.1923139	499.7365445	551.9	774.5032206	5289.880232	9.73920564
26/03/2023 10:00:00.00	720.9864395	699.3568463	744.48	763.2100425	5212.747486	13.83121744
26/03/2023 11:00:00.00	844.2796514	818.9512618	739.37	769.5454226	5256.018322	16.06310328
26/03/2023 12:00:00.00	862.7428933	836.8606065	554.29	742.2464481	5069.565508	17.01808354
26/03/2023 13:00:00.00	453.9323869	440.3144153	608.84	376.5866999	2572.098458	17.64832857
26/03/2023 14:00:00.00	362.9894229	352.0997402	538.3	334.3550746	2283.65519	15.89510642
26/03/2023 15:00:00.00	617.4296882	598.9067976	529.13	776.0832582	5300.671936	11.64814
26/03/2023 16:00:00.00	575.1921657	557.9364007	310.65	540.8339941	3693.912405	15.57135369
26/03/2023 17:00:00.00	175.7247477	170.4530053	88.5	163.8128354	1118.84658	15.70588415
27/03/2023 07:00:00.00	124.8880645	121.1414226	203.44	102.6067385	700.8071023	17.82060485
27/03/2023 08:00:00.00	247.2920041	239.873244	324.05	219.97	1502.401699	16.45977932
27/03/2023 09:00:00.00	442.2498722	428.982376	561.24	380.5681357	2599.291784	17.01424499
27/03/2023 10:00:00.00	368.2818681	357.233412	517.89	328.385	2242.879402	16.42004772
27/03/2023 11:00:00.00	566.2839534	549.2954348	687.67	847.4035009	5787.791333	9.784111431
27/03/2023 12:00:00.00	875.6850921	849.4145394	815.74	1158.722455	7914.109126	11.06485996
27/03/2023 13:00:00.00	720.9601811	699.3313756	835.92	1078.362748	7365.249922	9.788672329
27/03/2023 14:00:00.00	871.4419356	845.2986775	818.61	788.162761	5383.175303	16.18825111
27/03/2023 15:00:00.00	789.0248053	765.3540612	640.06	704.1984862	4809.696787	16.40487624
27/03/2023 16:00:00.00	505.597762	490.4298291	339.3	479.2000534	3272.950741	15.4477657
27/03/2023 17:00:00.00	218.7191113	212.1575379	96.2	231.2400948	1579.376785	13.84844411
28/03/2023 07:00:00.00	127.2694217	123.4513391	156.14	101.4514057	692.9161444	18.36721842
28/03/2023 08:00:00.00	190.5866868	184.8690862	279.5	161.0483721	1099.965213	17.32661039
28/03/2023 09:00:00.00	434.5786744	421.5413142	445.39	369.4897706	2523.626218	17.22040575
28/03/2023 10:00:00.00	473.0356483	458.8445788	536.99	396.970223	2711.318532	17.4467014
28/03/2023 11:00:00.00	567.2860107	550.2674303	670.31	494.0013789	3374.044238	16.81323571
28/03/2023 12:00:00.00	908.0701098	880.8280065	634.97	866.8444772	5920.573784	15.33753556
28/03/2023 13:00:00.00	784.915869	761.368393	758.52	661.9539965	4521.165655	17.36091816
28/03/2023 14:00:00.00	664.3570012	644.4262911	564.72	579.147113	3955.592156	16.79538676
28/03/2023 15:00:00.00	813.3716489	788.9704994	498.71	749.17499	5116.887657	15.89582777

Time	P Act PV (kW DC)	P Act PV (kW AC)	Data Energi (kWh)	Irradiance (W/m ²)	Pin (A x I)	efisiensi %
28/03/2023 16:00:00.00	252.8559587	245.27028	196.97	210.2644231	1436.112318	17.60697653
28/03/2023 17:00:00.00	119.6783002	116.0879512	53.38	103.05764	703.8867729	17.00249313
29/03/2023 07:00:00.00	14.28033103	13.8519211	33.84	25.68747416	175.4462191	8.139435036
29/03/2023 08:00:00.00	53.0945942	51.50175637	51.64	44.14949086	301.542347	17.60767425
29/03/2023 09:00:00.00	58.16312687	56.41823306	90.2	45.93532009	313.7396143	18.53866207
29/03/2023 10:00:00.00	219.5828082	212.995324	199.42	169.256936	1156.02995	18.9945605
29/03/2023 11:00:00.00	411.673931	399.3237131	403.87	404.65	2763.77164	14.89536708
29/03/2023 12:00:00.00	410.3062828	397.9970943	389.98	333.1421647	2275.370979	18.03250048
29/03/2023 13:00:00.00	452.6281394	439.0492952	373.98	359.1817398	2453.222058	18.4503534
29/03/2023 14:00:00.00	381.5142478	370.0688203	299.04	302.6486086	2067.099076	18.45650517
29/03/2023 15:00:00.00	214.7083624	208.2671116	218.37	170.9014744	1167.262197	18.39418453
29/03/2023 16:00:00.00	153.9530928	149.3345	130.26	123.959484	846.6469944	18.18385866
29/03/2023 17:00:00.00	91.50082928	88.7558044	46.39	76.81571682	524.6536504	17.44023495
30/03/2023 07:00:00.00	125.0569504	121.3052419	180.51	94.94972963	648.5095019	19.28374991
30/03/2023 08:00:00.00	303.5670568	294.4600451	321.51	300.6837405	2053.678968	14.78162174
30/03/2023 09:00:00.00	318.6754093	309.1151471	372.69	269.8192714	1842.873718	17.29230854
30/03/2023 10:00:00.00	508.4161204	493.1636368	446.73	966.17698	6599.017759	7.704421158
30/03/2023 11:00:00.00	452.3527221	438.7821404	477.2	396.7528828	2709.834092	16.69300432
30/03/2023 12:00:00.00	515.2032293	499.7471324	496.25	1377.996936	9411.760413	5.474036808
30/03/2023 13:00:00.00	515.2432999	499.7860009	477.42	1292.626277	8828.676248	5.836019868
30/03/2023 14:00:00.00	212.5056363	206.1304672	348.71	190.1107968	1298.462445	16.36594397
30/03/2023 15:00:00.00	411.6122546	399.2638869	399.34	739.9782975	5054.073972	8.144167594
30/03/2023 16:00:00.00	411.6141582	399.2657335	236.75	512.6280654	3501.265065	11.75615529
30/03/2023 17:00:00.00	130.983799	127.054285	58.67	127.1078018	868.1500998	15.08769037
31/03/2023 07:00:00.00	100.8162676	97.79177953	210.54	83.45829734	570.0226746	17.68636092
31/03/2023 08:00:00.00	254.4724529	246.8382793	215.05	225.7175644	1541.657736	16.50641688
31/03/2023 09:00:00.00	208.9697698	202.7006767	278.79	172.8586578	1180.629819	17.69985532
31/03/2023 10:00:00.00	360.5155711	349.700104	349.79	433.2605787	2959.18275	12.18294379
31/03/2023 11:00:00.00	360.5092756	349.6939974	454.85	593.102822	4050.910068	8.899463815
31/03/2023 12:00:00.00	442.854489	429.5688544	424.24	565.3802139	3861.563823	11.46826802
31/03/2023 13:00:00.00	442.8352171	429.5501606	475.56	1011.956651	6911.694288	6.407042886
31/03/2023 14:00:00.00	515.1768145	499.72151	485.41	512.0279732	3497.166418	14.73126391
31/03/2023 15:00:00.00	515.1536097	499.6990014	436.33	837.939137	5723.149444	9.001225894
31/03/2023 16:00:00.00	361.071766	350.2396131	267.78	310.7126103	2122.17645	17.01421982
31/03/2023 17:00:00.00	184.5457359	179.0093638	79.33	154.07828	1052.359275	17.53638138
Rata-rata						14.44

Tabel 3 persentase kontribusi PLTS

Waktu Opr.	Tanggal	Daya PV(kw)	Daya Generator(kW)	Total Daya Hybrid (kW)	Kontribusi PV(%)
07.00-17.00	1	2711.310821	103706.2688	106417.5797	2.547803502
07.00-17.00	2	4755.247981	43877.16987	48632.41786	9.777938649
07.00-17.00	3	4185.971129	43880.07358	48066.04471	8.708790487
07.00-17.00	4	6163.701185	40357.50456	46521.20574	13.24922922
07.00-17.00	5	6194.662203	38191.67686	44386.33906	13.95623594
07.00-17.00	6	4856.018722	46274.15035	51130.16907	9.497364883
07.00-17.00	7	5026.399396	45688.68016	50715.07955	9.911054938
07.00-17.00	8	4256.377216	48549.32228	52805.69949	8.060450401
07.00-17.00	9	7305.395992	45588.97919	52894.37519	13.81129083
07.00-17.00	10	5602.408588	47711.91757	53314.32616	10.50826108
07.00-17.00	11	6828.050844	41118.33088	47946.38172	14.24101381
07.00-17.00	12	6953.103609	41331.52232	48284.62593	14.4002433
07.00-17.00	13	5905.125228	46097.58679	52002.71202	11.35541782
07.00-17.00	14	6778.251201	46976.76053	53755.01173	12.60952418
07.00-17.00	15	6464.736717	45926.83489	52391.57161	12.33926855
07.00-17.00	16	5318.502045	47291.06383	52609.56588	10.10938212
07.00-17.00	17	4590.981156	46477.53991	51068.52107	8.989845525
07.00-17.00	18	5271.821197	41689.90353	46961.72473	11.22578276
07.00-17.00	19	5047.047228	41891.64655	46938.69377	10.75242369
07.00-17.00	20	3793.596851	47669.39214	51462.98899	7.371505087
07.00-17.00	21	3289.13747	166687.6555	169976.793	1.935050904
07.00-17.00	22	5720.514975	38453.13649	44173.65146	12.95006137
07.00-17.00	23	6125.516418	41469.89054	47595.40696	12.86997383
07.00-17.00	24	3445.446648	49500.91134	52946.35799	6.507428988
07.00-17.00	25	3330.340144	44655.16031	47985.50045	6.940305119
07.00-17.00	26	5349.228648	41816.72994	47165.95859	11.34129107
07.00-17.00	27	5558.51191	50502.39651	56060.90842	9.91512993
07.00-17.00	28	5175.92517	49932.53176	55108.45693	9.39225204
07.00-17.00	29	2387.563573	45443.84932	47831.41289	4.991622512
07.00-17.00	30	3788.073717	47772.33409	51560.40781	7.346865314
07.00-17.00	31	3634.51334	47661.16595	51295.67929	7.08541809
Total		155813.4813	1574192.086	1623587.988	9.596860932

Dokumentasi





LUJUNG PANDANG

