

ANALISIS KINERJA SISTEM PEMBANGKIT LISTRIK
TENAGA SURYA *ON-GRID* 10 kWp
PADA MESIN *PACKER* PABRIK TONASA V



SKRIPSI

Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Menyelesaikan
Pendidikan Diploma Empat (D-4) Program Studi Teknik Pembangkit Energi
Jurusan Teknik Mesin
Politeknik Negeri Ujung Pandang

DINDA ANNISA
442 19 007

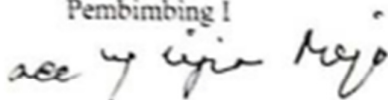
PROGRAM STUDI D-4 TEKNIK PEMBANGKIT ENERGI
JURUSAN TEKNIK MESIN
POLITEKNIK NEGERI UJUNG PANDANG
MAKASSAR
2023

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi dengan judul "Analisis Kinerja Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya *On-Grid* 10 kWp Pada Mesin *Packer* Pabrik Tonasa V" oleh Dinda Annisa, nomor induk mahasiswa 442 19 007 telah diterima dan disahkan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Terapan Teknik (S.Tr.T) pada Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Ujung Pandang.

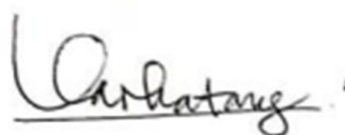
Makassar, September 2023

Pembimbing I



Prof. Ir. Survanto, M.Sc., Ph.D
NIP: 19590826 198803 1 002

Pembimbing II.



Marhatang, S.ST., M.T.
NIP: 19741117 200212 1 002

Mengetahui

Dekan Program Studi




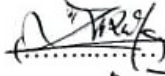
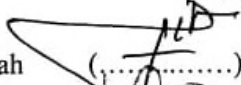
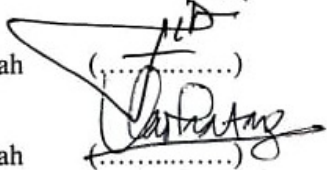
Jr. Chandra Buana, M.T.
NIP: 19650319 199103 1 003

HALAMAN PENERIMAAN

Pada hari ini, 13 September 2023, Tim Penguji Ujian Skripsi telah menerima dengan baik hasil skripsi oleh mahasiswa : Dinda Annisa NIM 44219007 dengan Judul “Analisis Kinerja Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya *On-Grid* 10 KWp Pada Mesin *Packer* Pabrik Tonasa V”.

Makassar, 13 September 2023

Tim Penguji Ujian Sidang Skripsi :

- | | | |
|------------------------------------|------------|--|
| 1. Ir. Chandra Buana., M.T. | Ketua | 
(.....) |
| 2. Dr. Ir. Firman, M.T. | Sekretaris | 
(.....) |
| 3. Ir. Nur Hamzah, M.T., Ph.D. | Anggota | 
(.....) |
| 4. Nur Rahmah H. Anwar, S.T., M.T | Anggota | 
(.....) |
| 5. Prof. Ir. Suryanto, M.Sc., Ph.D | Pengarah | 
(.....) |
| 6. Marhatang, S.ST., M.T. | Pengarah | 
(.....) |

KATA PENGANTAR

Bismillahirrahmanirrahim.

Assalamu'alaikum warahmatullahi wabarakatuh.

Alhamdulillah, puji syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT yang telah memberikan rahmat, hidayah, serta inayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini yang berjudul “Analisis Kinerja Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya On-Grid 10 kWp Pada Mesin *Packer* Pabrik Tonasa V”.

Skripsi ini merupakan salah satu syarat yang harus dipenuhi untuk menyelesaikan Pendidikan Diploma IV pada Program Studi Teknik Pembangkit Energi, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Ujung Pandang.

Dalam penyusunan Tugas Akhir ini, penulis telah mendapat banyak bimbingan, saran, dan bantuan dari berbagai pihak. Oleh sebab itu, penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Kedua orang tua tercinta, juga kepada saudara-saudari penulis yang telah memberikan banyak bantuan serta tak henti-hentinya memberikan doa yang tulus kepada penulis dalam menyelesaikan laporan tugas akhir ini.
2. Bapak Ir. Ilyas Mansur, M.T. selaku Direktur Politeknik Negeri Ujung Pandang
3. Bapak Dr. Ir Syahrudin Rasyid, M.T. selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Ujung Pandang.
4. Bapak Ir. Chandra Buana, M.T. selaku Ketua Program Studi D4 Teknik Pembangkit Energi Politeknik Negeri Ujung Pandang.

5. Bapak Prof. Ir. Suryanto, M.Sc.,Ph.D. selaku Dosen Pembimbing I dan Ir. Marhatang, S.ST., M.T. selaku Dosen Pembimbing II yang telah banyak membantu dan membimbing dalam mengerjakan tugas akhir ini. Terima kasih banyak atas waktu dan kesabaran bapak selama ini.
6. Segenap dosen Jurusan Teknik Mesin pada umumnya, serta Program Studi Teknik Pembangkit Energi pada khususnya yang selama 4 Tahun memberikan ilmunya dengan ikhlas dan kerelaan hati.
7. Segenap staff pegawai dan teknisi Program Studi Teknik Pembangkit Energi yang dengan penuh kesabaran telah membantu penulis.
8. Bapak Muhammad Rusdianto HN, ST., MT. selaku *Manager of Electrical Network Maint Unit* Distribusi Daya PT Semen Tonasa yang telah memberikan ilmu dan kesempatan kepada penulis untuk melakukan penelitian dalam penyusunan tugas akhir ini.
9. Bapak Irfan selaku *Supervisor of Maint Switch Gear 6,3 KV Maint Unit* Distribusi Daya PT Semen Tonasa yang telah memberikan ilmunya sehingga penulis mampu menyelesaikan tugas akhir ini.
10. Seluruh staff unit Distribusi Daya PT Semen Tonasa yang telah membantu selama penyusunan Tugas Akhir ini.
11. Rekan-rekan kelas 4A Teknik Pembangkit Energi yang telah berjuang bersama menyelesaikan Pendidikan selama 4 Tahun.
12. Untuk Alamsyah Prawiranegara S.Tr.Ak yang telah memberikan dukungan dan semangat hingga proses penyusunan skripsi ini.

13. Semua pihak yang tidak sempat penulis sebutkan satu persatu yang telah berpartisipasi membantu penulis hingga selesainya tugas akhir ini.

Dalam penyusunan skripsi ini, penulis menyadari bahwa dalam skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan. Oleh sebab itu, penulis memohon maaf dan mengharapkan kritik serta masukan yang bersifat membangun bagi penulis.

Akhir kata, semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi penulis, institusi pendidikan dan masyarakat umum.

Makassar, September 2023

Penullis



DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN.....	i
HALAMAN PENERIMAAN	ii
KATA PENGANTAR.....	iii
DAFTAR ISI.....	v
DAFTAR TABEL.....	ix
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR SIMBOL.....	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xiii
SURAT PERNYATAAN.....	xiv
RINGKASAN	i
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Ruang Lingkup Penelitian.....	4
1.4 Tujuan Penelitian.....	5
1.5 Manfaat Penelitian.....	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS).....	5
2.2 Panel Photo Voltaic (PV)	6
2.3 Karakteristik Sel Surya.....	10
2.3.1 Daya Maksimum/ <i>Maximum Power Point</i> (Pmax)	10
2.3.2 Daya Keluaran (P _{out})	11
2.3.3 Voc / <i>Open Circuit Voltage</i>	11
2.3.4 Isc/ <i>Short Circuit Current</i>	11

2.3.5 <i>Fill Factor</i> (FF)	12
2.4 Parameter Kinerja PLTS	12
2.4.1 Produksi Final Sistem PV atau <i>Final Yield</i> (Yf).....	13
2.4.2 Hasil Acuan atau <i>Referensi Yield</i> (Yr).....	13
2.4.3 Rasio Performa (PR)	14
2.5 Perhitungan Efisiensi solar PV	15
2.6 Perhitungan Efisiensi sistem PLTS	16
2.7 Kontribusi PLTS	16
2.8 Faktor Kapasitas	17
2.9 Inverter	17
2.10 Keandalan Sistem PLTS	18
2.11 <i>Equivalent Availability Factor</i> (EAF).....	20
2.12 Software PVsyst 7.3.0	21
2.13 Beban Motor Listrik	22
2.14 Unit <i>Packer</i> (Pengantongan Semen)	23
BAB III METODE PENELITIAN	26
3.1 Tempat Penelitian.....	26
3.2 Waktu Penelitian	27
3.3 Alat Penelitian	27
3.4 Skema Penelitian	27
3.5 Tahapan Penelitian	28
3.5.1 Studi Literatur	28
3.5.2 Wawancara.....	28
3.5.3 Collecting Data.....	28
3.5.4 Perhitungan Data dan Analisis	29
3.6 <i>Flowchart</i>	30
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	31
4.1 Data Penelitian	31
4.1.1 Data Spesifikasi Komponen.....	31
4.1.2 Data Intensitas Radiasi & Iradiasi Matahari di Area PLTS	

Packer Tonasa V	32
4.1.3 Data Operasional	33
4.2 Analisis Performance PLTS pada unit <i>Packer</i>	37
4.2.1 Faktor Kapasitas atau Capacity Factor (CF)	37
4.2.2 <i>Performance Ratio</i>	37
4.2.3 Efisiensi Modul Surya (η_{PV})	38
4.2.4 Efisiensi Sistem PLTS (η_{sistem})	39
4.2.5 Efisiensi Inverter	40
4.2.6 Persentase Kontribusi Energi PLTS pada Unit <i>Packer</i>	40
4.2.7 <i>Equivalent Availability Factor</i> (EAF)	41
4.3 Hasil & Pembahasan	42
4.3.1 Faktor Kapasitas atau <i>Capacity Factor</i> (CF)	42
4.3.2 Analisis <i>Performance Ratio</i> Real Sistem PLTS <i>On-Grid</i> 10 kWp	43
4.3.3 Perbandingan antara Daya Input (Pin) & Daya Keluaran (Pout)	44
4.3.4 Analisis Efisiensi Sistem PLTS pada unit <i>Packer</i> perbulan	45
4.3.5 Analisis Inverter PLTS <i>On-Grid</i> 10 kWp	46
4.3.6 Analisis Kontribusi PLTS pada unit <i>Packer</i> perbulan	47
4.3.7 Keandalan PLTS	49
4.4 Hasil Simulasi PLTS menggunakan <i>PVsystem</i>	52
BAB V PENUTUP	59
5.1 Kesimpulan	59
5.2 Saran	60
DAFTAR PUSTAKA	61
LAMPIRAN	63

DAFTAR TABEL

Tabel 4.1 Spesifikasi Komponen PLTS Packer Tonasa V.....	32
Tabel 4.2 Beban Pada Rear loader	35



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Jenis Panel Surya.....	9
Gambar 2.2 Blok Diagram Sistem PLTS <i>On-Grid</i>	19
Gambar 2.3 Tampilan Awal Software PVsyst 7.4.0	22
Gambar 2.4 Skema Mesin <i>Rotary Packer</i>	25
Gambar 3.1 Unit Packer Tonasa V	26
Gambar 3.2 PLTS Packer Tonasa V	26
Gambar 3.3 Skema Objek Penelitian	27
Gambar 3.4 Flowchart Penelitian.....	30
Gambar 4.1 Jalur Kabel PLTS packer PT. Semen Tonasa	34
Gambar 4.2 Rear Loader 564TL02	34
Gambar 4.3 Tampilan iSolar Cloud PLTS PT Semen Tonasa.....	36
Gambar 4.4 Tampilan iSolar Cloud ketika penarikan data.....	36
Gambar 4.5 Grafik Perbandingan Faktor Kapasitas perbulan Januari 2022 - Juni 2023	42
Gambar 4.6 Grafik Analisis Performa Real Sistem PLTS On-Grid 10 kWp dari Januari 2022 - Juni 2023	43
Gambar 4.7 Grafik Perbandingan antara Daya Input & Daya Ouput pada tanggal 28 Mei 2023	44
Gambar 4.8 Grafik Perbandingan Efsiensi Sistem PLTS pada unit Packer perbulan dari Januari 2022 - Juni 2023.....	45
Gambar 4.9 Kondisi PLTS packer mengalami shading dan penempelan debu semen	46

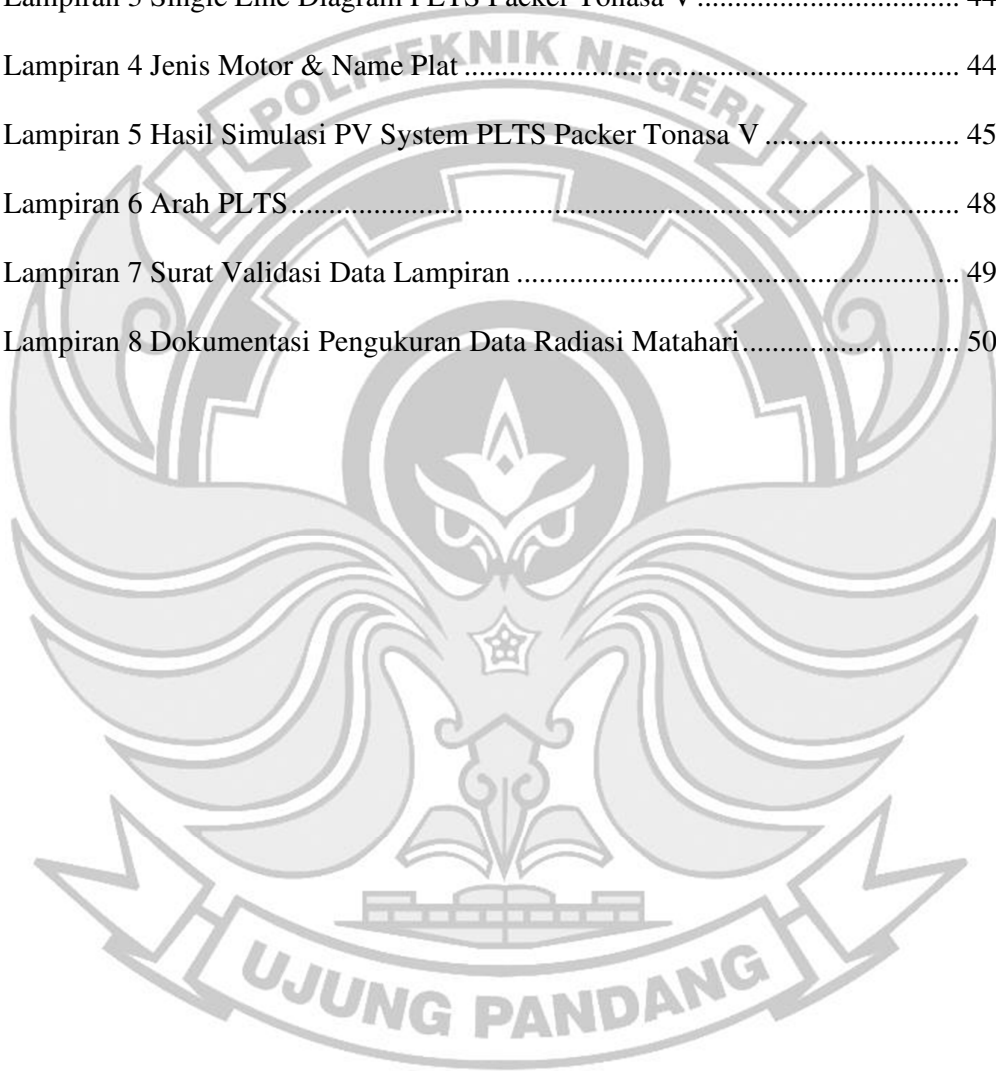
Gambar 4.10 Grafik Perbandingan Efsiensi Inverter PLTS pada unit Packer perbulan dari Januari 2022 - Juni 2023.....	46
Gambar 4.11 Grafik Perbandingan Kontribusi PLTS pada unit Packer perbulan dari Januari 2022 - Juni 2023.....	47
Gambar 4.12 Grafik Perbandingan Nilai EAF PLTS Packer Tonasa V dari Januari 2022 - Juni 2023	49
Gambar 4.13 Grafik Perbandingan Nilai Tegangan dari Januari 2022 - Juni 2023	50
Gambar 4.14 Grafik Perbandingan Nilai Frekuensi dari Januari 2022 - Juni 2023	51
Gambar 4.15 Input data Tilt dan Azimuth PLTS.....	53
Gambar 4.16 Grafik Produksi Energi Listrik & Performance Ratio.....	54
Gambar 4.17 Grafik Perbandingan Performance Ratio Real & Simulasi PLTS On- Grid Packer dari Januari 2022 - Juni 2023	55
Gambar 4.18 Grafik Perbandingan Total Produksi Energi PLTS & Simulasi On- Grid Packer dari Januari 2022 - Juni 2023	56
Gambar 4.19 Diagram alir rugi-rugi PLTS Packer Tonasa V.....	57

DAFTAR SIMBOL

SIMBOL	SATUAN	KETERANGAN
P_{out}	W	Daya Keluaran Panel Surya
P_{in}	W	Daya Yang Masuk Pada Panel Surya
P_{max}	W	Daya Maksimum Keluaran Panel Surya
V_{OC}	V	Tegangan Rangkaian Terbuka
H	W/m ²	Nilai Radiasi Matahari
H_T	kWh/m ²	Nilai Irradiasi Matahari
A	m ²	Luas Penampang Panel Surya
I_{SC}	A	Arus Hubung Singkat
FF	-	Fill Factor
V_{mp}	V	Tegangan Daya Maksimum
I_{mp}	A	Arus Daya Maksimum
η_{PV}	%	Efisiensi Modul Surya
η_{INV}	%	Efisiensi Inverter
Y_F	Jam	Hasil Akhir atau <i>Final Yield</i>
Y_R	Jam	Hasil Acuan atau <i>Referensi Yield</i>
PR	-	Rasio Performa
CF	%	Faktor Kapasitas
E_{AC}	kWh	Energi ke Jaringan

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Data Pengamatan (<i>iSolar Cloud</i>).....	44
Lampiran 2 Data Hasil Perhitungan.....	44
Lampiran 3 Single Line Diagram PLTS Packer Tonasa V.....	44
Lampiran 4 Jenis Motor & Name Plat.....	44
Lampiran 5 Hasil Simulasi PV System PLTS Packer Tonasa V.....	45
Lampiran 6 Arah PLTS.....	48
Lampiran 7 Surat Validasi Data Lampiran.....	49
Lampiran 8 Dokumentasi Pengukuran Data Radiasi Matahari.....	50



SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Dinda Annisa

NIM : 442 19 007

Menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa segala pernyataan dalam Skripsi ini, yang berjudul “Analisis Kinerja Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya On-Grid 10 kWp Pada Mesin *Packer* Pabrik Tonasa V.” merupakan gagasan, hasil karya sendiri dengan arahan pembimbing, dan belum pernah diajukan dalam bentuk apa pun pada perguruan tinggi dan instansi mana pun.

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

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

Makassar, September 2023

Dinda Annisa

442 19 007

ANALISIS KINERJA SISTEM PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA *ON-GRID* 10 kWp PADA MESIN *PACKER* PABRIK TONASA V

RINGKASAN

PT Semen Tonasa merupakan produsen semen terbesar di Indonesia bagian timur yang memanfaatkan energi baru terbarukan (EBT), khususnya sebagian pemanfaatan energi matahari dengan teknologi *photovoltaic* (PV). Saat ini uji coba pemanfaatan teknologi solar panel PV telah dilakukan pada skala kecil untuk mensuplai kebutuhan energi listrik pada unit tertentu pada PT Semen Tonasa. Pembangunan PLTS itu dilakukan pada Unit Packer Tonasa V, dengan skema *on-grid* dan terintegrasi ke jaringan listrik *low voltage* 380 volt AC Unit *Packer* Tonasa V. Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) sebagai pembangkit listrik diarahkan agar dapat dimanfaatkan pada mesin listrik khususnya sebagai mesin penggerak yaitu motor-motor listrik.

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi pembangkit listrik tenaga surya sistem *on-grid* sehingga dapat mengetahui kontribusi suplai energi listrik sistem PLTS *on-grid* pada Unit Packer Tonasa V, keandalan suplai listrik PLTS *on-grid* pada Unit Packer Tonasa V dan karakteristik efisiensi serta kapasitif bulanan dan tahunan PLTS pada Unit Packer Tonasa V. Metode yang dilakukan pada penelitian ini yaitu dengan melakukan pengambilan data melalui observasi lapangan, wawancara serta melakukan studi literatur yang berhubungan dengan penelitian pada PT Semen Tonasa. Penelitian ini menggunakan data operasional *history* dan *real-time* yang diperoleh dari *iSolar Cloud* pada bulan Januari 2022- Juni 2023 serta menggunakan software PVsyst sebagai pembandingan antara nilai real dan hasil simulasi.

Berdasarkan hasil pengukuran dan perhitungan diperoleh : Kontribusi energi listrik dari PLTS pada unit packer berkisar antara 23 - 41% selama periode Januari 2022 – Juni 2023. Keandalan PLTS On-Grid yaitu nilai EAF, kestabilan tegangan, dan frekuensi grid. Ditinjau dari nilai tegangan yang dihasilkan cukup stabil yang berkisar antara 342 - 399 Volt, Kemudian frekuensi yang dihasilkan dalam batas toleransi yang berkisar antara 50,13 – 50,25 Hz dan nilai Equivalent Availability Factor (EAF) yang menunjukkan rata-rata nilai *availability* yang tinggi secara keseluruhan. Pada tahun 2022 mencapai 98% dan pada periode Januari - Juni tahun 2023 mencapai sebesar 100%. Adapun Efisiensi Sistem PLTS pada unit packer berkisar antara 9 - 15% selama periode Januari 2022 – Juni 2023. Sedangkan Faktor Kapasitas pada unit packer berkisar antara 12 - 22%.

Kata Kunci : PLTS, Mesin *Packer*, Sistem *On-Grid*, PVsyst

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kebutuhan akan energi semakin meningkat seiring pertumbuhan penduduk dan aktivitas masyarakat. Salah satu sektor yang menggunakan listrik adalah sektor industri. Agung dalam Christian, Ed., (2022) menyatakan bahwa konsumsi energi listrik di sektor industri pada Kuartal I-2022 ini mencapai 21.953 Giga Watt hour (GWh). Angka itu 33,56% dari total konsumsi energi listrik nasional. Di antara semua sektor, maka industri tekstil berkontribusi paling besar, yaitu 2,8 GWh atau tumbuh 14% pada Maret tahun 2022. Sedangkan sektor besi dan baja sebesar 2,01 GWh atau naik 10%. Sedangkan industri kimia tumbuh 8% dengan konsumsi sebesar 1,6 GWh dan industri semen tumbuh 7% dengan konsumsi sebesar 1,4 GWh.

Sebagian besar energi primer berasal dari bahan bakar fosil yang digunakan untuk pembangkit listrik. Bahan bakar tersebut merupakan energi yang tidak dapat diperbarui dan akan habis jika digunakan terus-menerus. Salah satu sumber energi primer yang sangat potensial untuk dimanfaatkan adalah energi matahari. Karena letak geografis Indonesia yang tropis, pemanfaatan energi matahari untuk sistem kelistrikan dengan menggunakan teknologi *photovoltaic* sangat potensial dikembangkan diberbagai daerah.

PT Semen Tonasa yang merupakan produsen semen terbesar di Indonesia bagian timur adalah salah satu perusahaan BUMN. Sebagaimana diketahui bahwa industri semen merupakan industri padat energi. Hampir semua mekanisme dalam

proses produksi semen menggunakan energi listrik sebagai penggerak motor-motor listrik sehingga konsumsi energi listrik relatif besar. Selama ini energi listrik diperoleh dari jaringan PLN dan pembangkit listrik tenaga uap (PLTU) yang menggunakan bahan bakar batubara. Oleh karena itu pihak management PT Semen Tonasa mencoba untuk melakukan bauran energi yang dapat mendukung proses produksi semen yang lebih bersifat *sustainable* dan ramah lingkungan yaitu dengan memanfaatkan energi baru terbarukan (EBT), khususnya sebagian pemanfaatan energi matahari dengan teknologi *photovoltaic* (PV).

Unit *packer* (unit pengantongan) Tonasa V adalah salah satu unit pada pabrik yang menggunakan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) dan Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) PT Semen Tonasa sebagai sumber energi listrik. Pembangkit listrik tersebut khususnya PLTS untuk mencukupi kebutuhan sumber energi listrik setiap harinya pada beban motor gedung tersebut, dan merupakan sumber energi di masa depan yang ramah lingkungan. Namun dalam prosesnya, penggunaan PLTS harus memperhatikan jumlah daya yang akan disuplai dan juga kapasitas komponen yang terpasang harus sesuai. Karena seiring terjadinya kekurangan daya yang disuplai oleh PLTS dan terhubung dengan PLTU untuk memenuhi kebutuhan beban motor tersebut.

Untuk mengetahui sampai dimana kinerja PLTS, maka perlu dilakukan analisis terhadap PLTS yang telah diimplementasikan pada unit tersebut. Berdasarkan uraian di atas maka akan dilakukan penelitian dengan judul “Analisis Kinerja Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya *On-Grid* 10 kWp Pada Mesin *Packer* Pabrik Tonasa V”.

Sebelumnya sudah ada penelitian yang membahas tentang analisa kinerja PLTS, yaitu Winasis dkk. (2014) dengan hasil penelitian yang membahas evaluasi unjuk kerja sistem *photovoltaic (PV)* 12 kWp blok Kementerian Kelautan dan Perikanan (KKP) di Pembangkit Listrik Tenaga Hibrida (PLTH) Pantai Baru Bantul. Analisis dilakukan dengan menghitung dan mengamati parameter unjuk kerja sistem PV, energi yang dihasilkan dan efisiensi operasi sistem PV.

Kemudian penelitian oleh Chong Li (2018) dengan judul “*Comparative Performance Analysis of Grid-Connected PV Power Systems with Different PV Technologies in the Hot Summer and Cold Winter Zone*” dengan penelitian yang berfokus pada penilaian kinerja sistem PV yang terhubung ke jaringan menggunakan modul PV tipikal yang terbuat dari silikon monokristalin (*m-Si*), silikon polikristalin (*p-Si*), *edge-defined film-fed growth silicon (EFG-Si)*, *cadmium telluride (CdTe)*, *copper indium selenide (CIS) thinfilm heterojunction with intrinsic thin layer (HIT)*, dan *hydrogenated amorphous silicon single-junction (a-Si:H single-PV)* dipasang di lokasi

Penelitian lain oleh Carmo de Lima dkk. (2017) yaitu *Performance analysis of a grid connected photovoltaic system in northeastern Brazil* dengan hasil penelitian yakni analisis kinerja sistem fotovoltaik 2,2 kWp yang dipasang di Universitas Negeri Ceará, Fortaleza, Brasil (lintang 3,40°S, bujur 38,33°B dan 31 m di atas permukaan laut).

1.2 Rumusan Masalah

Dari penjelasan diatas maka terdapat beberapa permasalahan yang akan menjadi pembahasan di dalam penelitian ini yaitu :

1. Bagaimana kontribusi energi listrik yang berasal dari sistem PLTS pada unit *Packer* Tonasa V ?
2. Bagaimana keandalan PLTS *on-grid* yang diimplementasikan pada unit *Packer* Tonasa V?
3. Bagaimana karakteristik efisiensi dan Faktor Kapasitas bulanan dan tahunan pada PLTS *on-grid* yang diimplementasikan pada unit *Packer* Tonasa V ?

1.3 Ruang Lingkup Penelitian

Dari permasalahan tersebut, maka perlu adanya batasan masalah agar tepat dalam melakukan analisa. Batasan-batasan masalah tersebut yaitu :

1. Penelitian akan dilakukan di Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) kaitannya dengan penggunaan pada unit *Packer* Tonasa V.
2. Membahas mengenai kontribusi suplai energi PLTS pada unit *Packer* Tonasa V.
3. Membahas mengenai keandalan PLTS *on-grid* khususnya yang diimplementasikan pada unit *Packer* Tonasa V.
4. Membahas mengenai perhitungan efisiensi dan Faktor Kapasitas bulanan dan tahunan.

1.4 Tujuan Penelitian

1. Mengetahui kontribusi suplai energi listrik sistem PLTS *on-grid* pada Unit *Packer* Tonasa V.
2. Mengetahui keandalan suplai listrik PLTS *on-grid* pada Unit *Packer* Tonasa V.
3. Mengetahui karakteristik efisiensi dan kapasitas bulanan dan tahunan PLTS pada Unit *Packer* Tonasa V.

1.5 Manfaat Penelitian

1. Mengetahui karakteristik penggunaan PLTS pada industri khususnya untuk beban motor penggerak.
2. Dapat memberikan referensi informasi kelemahan dan keuntungan penggunaan PLTS sebagai salah satu energi terbarukan pada industri semen.
3. Dapat dijadikan sebagai referensi untuk penelitian selanjutnya yang berkaitan dengan energi terbarukan khususnya untuk mengevaluasi dampak penggunaan suatu PLTS sistem *hybrid* pada suatu industri.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS)

Pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) adalah sistem pembangkit energi yang menggunakan sel fotovoltaik untuk mengubah radiasi matahari menjadi energi listrik. Semakin tinggi intensitas radiasi matahari yang mengenai sel fotovoltaik, semakin tinggi daya listrik yang dihasilkannya.

PLTS dapat mengubah listrik arus DC yang dihasilkannya dari sinar matahari menjadi listrik arus AC (arus bolak-balik). Secara umum, PLTS dibagi menjadi tiga berdasarkan aplikasi dan konfigurasi yaitu PLTS sistem yang tidak terhubung jaringan (off-grid), disebut juga PLTS berdiri sendiri (stand alone), dan sistem PLTS yang terhubung dengan jaringan (on-grid) atau lebih dikenal dengan sebutan PLTS grid connected. Lalu, ada juga sistem PLTS yang merupakan gabungan dari on-grid dan off-grid yang disebut PLTS hybrid.

1) PLTS *Off-Grid*

Sistem PLTS off-grid yang dijalankan secara komunal disebut juga dengan sistem PLTS yang berdiri sendiri (*stand-alone*) dan tidak terhubung dengan jaringan PLN. Untuk memenuhi kebutuhan listrik pada malam hari, sistem ini membutuhkan baterai untuk menyimpan energi listrik yang dihasilkan pada siang hari (Bagus, 2018:16).

2) PLTS *On-Grid*

Pembangkit Listrik Tenaga Surya atau yang dikenal sebagai PLTS *on-grid* adalah sistem pembangkit listrik tenaga surya yang menggunakan sinar matahari

untuk menciptakan energi lalu digunakan untuk memenuhi kebutuhan listrik di rumah, kantor, pabrik dan lainnya. Tentunya tujuan dari PLTS *on-grid* adalah untuk mengurangi penggunaan energi listrik PLN pada siang hari. Biaya tagihan listrik PLN tentu akan berkurang dengan adanya penghematan tersebut.

Untuk menggunakan sinar matahari, panel surya yang dipasang di atap rumah atau bangunan lain harus terlebih dahulu mengubah sinar matahari menjadi arus DC sebelum mengubahnya menjadi listrik AC menggunakan inverter. Arus listrik dari PLN akan diubah menjadi arus AC yang berasal dari sinar matahari untuk kita gunakan. Jika jumlah listrik yang dihasilkan sinar matahari lebih besar dari yang dibutuhkan, maka bisa menggunakan meteran khusus untuk menjual kelebihanannya ke PLN.

3) PLTS *Hybrid*

PLTS sistem *hybrid* adalah jenis PLTS yang menggabungkan dua jenis atau lebih pembangkit listrik dengan sistem yang berbeda, sehingga dengan adanya dua jenis pembangkit dengan sistem yang berbeda ini memberikan keuntungan secara teknis dan ekonomis (Aditya dkk., 2021:2).

Menggunakan PLTS *hybrid* memerlukan sumber listrik dari sinar matahari melalui panel surya serta sumber dari PLN dan baterai sebagai cadangan atau pengganti jika panel surya dan jaringan listrik PLN (*on-grid*) tidak dapat memenuhi semua permintaan untuk tenaga listrik.

2.2 Panel *Photo Voltaic* (PV)

Cahaya matahari dapat diubah menjadi energi listrik melalui panel surya. Radiasi matahari dikonversi menjadi energi listrik dengan menggunakan teknologi

yang dikenal sebagai fotovoltaik (*photovoltaic/PV*).

Efek fotovoltaik mempengaruhi fungsi panel surya. Ketika sinar matahari mencapai bumi, yang mengandung partikel yang sangat kecil yang dikenal sebagai foton. Ada beberapa sirkuit semikonduktor berbasis atom di dalam sel surya itu sendiri. Energi foton memungkinkannya untuk membagi elektron atom ketika bertabrakan dengannya. Pada akhirnya, elektron bermuatan negatif akan mengalir di daerah pita konduksi bahan semikonduktor. Atom akan mengalami kehilangan elektron dan akan memiliki muatan positif yang dikenal sebagai *hole* karena kekosongan yang disebabkan oleh hilangnya elektron.

Pada daerah semikonduktor yang memiliki elektron bebas ini memiliki sifat negatif dan memiliki tugas untuk memberikan elektron. Ini disebut sebagai semikonduktor tipe-N dalam konteks ini. Semikonduktor tipe-P, yang merupakan semikonduktor dengan *hole* yang memiliki karakteristik positif, bertugas untuk menerima elektron.

Sebuah energi yang mendorong elektron dan *hole* mengalir dalam arah yang berlawanan akan dihasilkan pada titik di mana area positif dan area positif ini bertemu. Baik *hole* maupun elektron masing-masing akan bergerak keluar dari area positif dan area negatif.

Sehingga arus listrik akan dihasilkan ketika beban menggunakan perangkat listrik. Intinya, panel surya ini merupakan dioda foto dengan luas permukaan yang sangat besar, memungkinkannya menyerap lebih banyak cahaya dan menghasilkan lebih banyak energi listrik.

Menurut Yuliananda dkk. (2015:194), kinerja dari suatu panel surya dipengaruhi oleh beberapa faktor, yaitu :

1) Temperatur Lingkungan

Temperatur sel surya agar dapat beroperasi secara maksimum berada pada suhu 25 °C. Setiap kenaikan 10 °C pada temperatur sel surya akan mengakibatkan turunnya total tenaga yang dihasilkan sejumlah 0,4%.

2) Intensitas Cahaya Matahari

Kuat arus sangat dipengaruhi oleh intensitas cahaya matahari, sedangkan kondisi ini bergantung dengan keadaan spektrum matahari ke bumi dan setiap lokasi memiliki tingkat radiasi matahari yang berbeda. Semakin besar intensitas cahaya matahari, maka semakin besar arus yang dihasilkan.

3) Kondisi Angin

Kecepatan angin mampu menurunkan temperatur permukaan sel surya, sedangkan kecepatan angin di berbagai di setiap lokasi .

4) Keadaan Cuaca

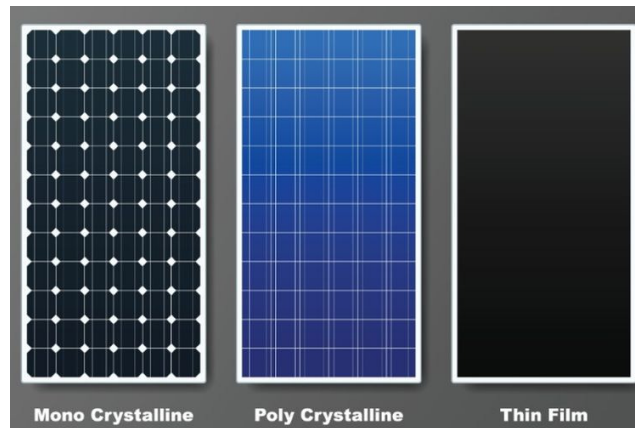
Hasil maksimum arus listrik dipengaruhi oleh keadaan atmosfer bumi, seperti polusi, kabut, uap air, berawan & mendung.

5) Posisi Panel Surya Terhadap Matahari

Arah dan sudut orientasi sel surya sangat mempengaruhi hasil energi maksimum.

6) Jenis Panel Surya

Jenis panel surya digolongkan berdasarkan teknologi pembuatannya, yaitu:



Gambar 2. 1 Jenis Panel Surya

a) *Monocrystalline* :

- Terbuat dari batangan kristal silikon murni yang diiris tipis-tipis.
- Panel surya yang paling efisien dibandingkan jenis panel surya lainnya yaitu sekitar 15% - 20%.
- Kelemahan dari panel surya jenis ini jika disusun membentuk modul akan menyisakan banyak ruangan yang kosong karena panel surya seperti ini umumnya berbentuk segi enam.

b) *Polycrystalline* :

- Panel surya jenis ini terbuat dari beberapa batang kristal silikon yang dilebur dan kemudian dituangkan dalam cetakan yang berbentuk persegi.
- Kristal silikonnya tidak semurni pada panel surya monocrystalline, sehingga panel surya yang dihasilkan tidak identik satu sama lain dan efisiensinya lebih rendah, yaitu 13% - 16%

c) *Thin Film Solar Cell (TFSC)* :

- Diproduksi dengan cara menambahkan satu atau beberapa lapisan material sel surya yang tipis ke dalam lapisan dasar.
- Sangat tipis dan ringan
- Efisiensi 8,5%

2.3 Karakteristik Sel Surya

Tenaga radiasi matahari digunakan sebagai sumber energi terbarukan, dan sel surya digunakan untuk mengubah energi radiasi matahari menjadi energi listrik. Jumlah variabel sinar matahari diterima oleh sel surya setiap hari. Hal ini disebabkan fakta bahwa sinar matahari lebih intens sepanjang hari daripada di pagi hari (Suhendar, 2022:30).

2.3.1 Daya Maksimum/*Maximum Power Point (P_{max})*

Daya maksimum (P_{max}) diperoleh dari perkalian antara arus maksimum dan tegangan maksimum, pada setiap titik A kurva I-V pada Gambar 2.2 secara grafik daya maksimum pada sel surya berada pada puncak yang memiliki luas terbesar. Titik puncak tersebut dapat disebut *Maximum Power Point (MPP)*. Daya maksimum dari sel surya.

$$P_{out} = V_{OC} \times I_{SC} \times FF \dots \dots \dots (1)$$

Keterangan :

P_{max} = Daya Maksimum Keluaran (W)

V_{max} = Tegangan Daya Maksimum (V)

I_{max} = Arus Daya Maksimum (A)

2.3.2 Daya Keluaran (P_{out})

Daya keluaran (P_{out}) pada sel surya yaitu perkalian tegangan rangkaian terbuka (V_{oc}) dengan arus hubung singkat (I_{sc}) dan faktor pengisi (FF) yang dihasilkan oleh sel surya:

$$P_{out} = V_{oc} \times I_{sc} \times FF \quad (2)$$

Keterangan :

P_{out} = Daya Keluaran Sel Surya (W)

V_{oc} = Tegangan Rangkaian Terbuka (V)

I_{sc} = Arus Hubung Singkat (A)

FF = *Fill Factor*

2.3.3 V_{oc} /Open Circuit Voltage

V_{oc} adalah kapasitas tegangan maksimum yang dapat dicapai pada saat tidak adanya arus. V_{oc} didapat dari pengukuran terhadap tegangan (V) dilakukan pada terminal (*junction box*) positif dan negatif dari panel surya dengan tidak menghubungkan panel surya dengan komponen lainnya.

2.3.4 I_{sc} / Short Circuit Current

I_{sc} adalah maksimum arus keluaran dari panel sel surya yang dapat dikeluarkan dibawah kondisi dengan tidak ada resistansi atau hubung singkat. I_{sc} didapat dengan membuat terminal (*junction box*) menjadi rangkaian hubungan singkat sehingga tegangannya menjadi nol menggunakan Amperemeter.

2.3.5 Fill Factor (FF)

Saat membandingkan daya maksimum teoritis dan daya output pada tegangan rangkaian terbuka dan hubungan pendek, seseorang dapat menetapkan faktor pengisian, yang merupakan ukuran kualitas sel surya (Pido, 2019:27). Perhitungan nilai FF dengan rumus sebagai berikut.

$$FF = \frac{V_{mp} \times I_{mp}}{V_{oc} \times I_{sc}} \dots\dots\dots (3)$$

Keterangan :

FF = *Fill Factor*

V_{mp} = Tegangan Daya Maksimum (V)

I_{mp} = Arus Daya Maksimum(A)

V_{oc} = Tegangan Rangkaian Terbuka (V)

I_{sc} = Arus Hubung Singkat (A)

2.4 Parameter Kinerja PLTS

Untuk mengevaluasi kinerja sistem PLTS perlu menghitung dan menganalisis data monitoring yang telah dikumpulkan dari waktu tertentu. Dimana perhitungan dan analisis data tersebut akan digunakan sebagai kriteria untuk menentukan apakah PLTS dalam kondisi yang baik.

Marion dalam Winasis dkk. (2014) menyatakan bahwa parameter unjuk kerja sistem PV mengacu pada standar yang ditetapkan oleh *International Energy Agency* (IEA) *Photovoltaic Power Systems Program* yang tercantum dalam standar IEC 6174. Tiga parameter unjuk kerja standar IEC 6174 dapat digunakan untuk menjelaskan unjuk kerja sistem secara keseluruhan yang mana terkait dengan

produksi energi, sumber daya matahari dan keseluruhan rugi sistem yaitu :

2.4.1 Produksi Final Sistem PV atau *Final Yield* (Y_f)

Total energi AC yang dihasilkan oleh sistem PV selama periode waktu tertentu dibagi dengan daya keluaran sistem PV terpasang dikenal sebagai produksi final sistem PV. Ini menunjukkan berapa lama sistem PV perlu dijalankan dengan daya penuh setiap hari untuk menghasilkan jumlah energi yang sama seperti yang diukur (Carmo de Lima, 2017: 81).

$$Y_f = \frac{E_{AC}}{P_{Max}} \dots\dots\dots (4)$$

Keterangan :

Y_f = Produksi Final Sistem PV (*Jam*)

E_{AC} = Energi ke Jaringan (*kWh*)

P_{Max} = Daya Keluaran Maksimum Modul Surya (*kWp*)

2.4.2 Hasil Acuan atau Referensi Yield (Y_r)

Hasil referensi (Y_r) adalah hasil dari radiasi referensi (1 kW/m^2) di bawah keadaan suhu standar dan insolasi dalam bidang total. Ini adalah pengukuran energi teoretis yang dapat diakses di lokasi tertentu untuk jangka waktu tertentu. Y_r menjelaskan sumber radiasi matahari untuk sistem fotovoltaik. (Carmo de Lima , 2017: 81).

$$Y_r = \frac{H_T}{G_{STC}} \dots\dots\dots (5)$$

Keterangan :

Y_R = Hasil Acuan atau *Referensi Yield* (Jam)

H_T = Irradiasi Matahari (kWh/m²)

G_{STC} = Irradiasi referensi STC (kW/m²)

2.4.3 Rasio Performa (PR)

Rasio performa (PR) adalah hasil energi akhir dari sistem PV atau produksi final sistem PV dibagi dengan hasil referensi. Rasio kinerja (PR) menunjukkan efek kerugian secara keseluruhan pada output daya *normal array* PV. Itu sangat mewakili jumlah energi yang benar-benar tersedia setelah memperhitungkan kehilangan energi. (Carmo de Lima , 2017: 81).

Nilai PR biasanya dilaporkan secara bulanan atau tahunan. Nilai yang dihitung untuk interval yang lebih kecil, seperti mingguan atau harian, mungkin berguna untuk mengidentifikasi kejadian kegagalan komponen. Kerugian karena suhu modul PV, nilai PR lebih besar di musim dingin daripada di musim panas dan biasanya berada dalam kisaran 0,6 hingga 0,8. Jika kekotoran modul PV bersifat musiman, hal itu juga dapat berdampak pada perbedaan PR dari musim panas ke musim dingin. Menurunnya nilai tahunan dapat menunjukkan kerugian permanen dalam kinerja. (Marion, B. et all, 2005)

$$PR = \frac{Y_F}{Y_R} \dots\dots\dots (6)$$

Keterangan :

PR = Rasio Performa

Y_R = Hasil Acuan atau *Referensi Yield (Jam)*

Y_F = Produksi Final Sistem PV (*Jam*)

2.5 Perhitungan Efisiensi solar PV

Salah satu produk teknologi fotovoltaik adalah sel surya yang terbuat dari bahan semikonduktor dan mampu secara langsung mengubah energi cahaya (foton) menjadi energi listrik. Sel surya bekerja pada tingkat dasar yang berlawanan dari LED (*Light Emitting Diode*), yang mengubah energi listrik menjadi cahaya. Semikonduktor akan menyerap foton untuk membuat pasangan lubang elektron sebagai pembawa muatan ketika energi foton yang masuk melebihi celah energi ini. Selain itu, ketika dua muatan melintasi daerah persimpangan p-n, perbedaan potensial dan arus foto (arus yang dihasilkan oleh cahaya) terjadi sebagai akibat dari elektron dan lubang yang bergerak secara berurutan menuju lapisan n dan p (Sari, 2014)

Keluaran dari panel surya menghasilkan tegangan DC. Daya input dari panel surya adalah intensitas cahaya matahari (W/m^2) dan luas penampang panel surya m^2 . Untuk menentukan daya input panel surya dapat digunakan rumus dari persamaan (7). (Robinhot, 2021)

$$P_{in} = H \times A \quad \dots\dots\dots (7)$$

Keterangan :

P_{in} = Daya yang masuk pada panel surya (W)

H = Nilai Radiasi Matahari (W/m^2)

A = Luas penampang panel surya (m^2)

Rumus yang digunakan dalam efisiensi PV menggunakan persamaan (8) (Haerurrozi, 2018).

$$\eta_{PV} = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (8)$$

Keterangan :

η_{PV} = Efisiensi Modul Surya

P_{out} = Daya Keluaran Sel Surya (W)

P_{in} = Daya Yang Masuk Pada Panel Surya (W)

2.6 Perhitungan Efisiensi sistem PLTS

$$\eta_{sistem} = \frac{E_{AC}}{H_T} \div A \quad \dots\dots\dots (9)$$

Keterangan :

η_{sistem} = Efisiensi Sistem PLTS

E_{AC} = Energi ke Jaringan (kWh)

H_T = Irradiasi Matahari (kWh/m²)

A = Luas penampang panel surya (m²)

2.7 Kontribusi PLTS

$$Kontribusi\ PLTS = \frac{E_{AC}}{(P_{beban} \times JOP) \div Total\ Hari} \quad \dots\dots\dots (10)$$

Keterangan :

E_{AC} = Energi ke Jaringan (kWh)

P_{beban} = Daya Beban (kW)

JOP = Jam Operasi (Jam)

2.8 Faktor Kapasitas

Faktor Kapasitas atau *Capacity Factor* (CF) merupakan perbandingan antara jumlah produksi listrik pada periode operasi tertentu terhadap kemampuan produksi sesuai daya mampu. CF merupakan perbandingan realisasi produksi pada periode tertentu terhadap kemampuan produksi maksimal suatu pembangkit pada periode tersebut. CF digunakan untuk mengukur kemampuan operasi suatu pembangkit (Qodir, 2015). Untuk menentukan *capacity factor* dapat ditentukan menggunakan persamaan rumus dari persamaan (11).

$$CF (\%) = \frac{\Sigma \text{Energi yang dihasilkan aktual}}{\Sigma \text{Energi yang dihasilkan sesuai kapasitas terpasang}} \times 100\% \dots\dots\dots (11)$$

2.9 Inverter

Inverter adalah rangkaian elektronika yang mengubah sumber tegangan DC menjadi tegangan AC, outputnya datang dalam bentuk tegangan tetap dan tegangan yang dapat disesuaikan. Input inverter adalah sumber langsung atau DC, yang dapat berupa satu atau lebih baterai atau sel surya. Pada hakikatnya inverter adalah suatu alat yang menciptakan tegangan AC dari sumber DC dengan cara menciptakan gelombang tegangan, namun gelombang yang ditimbulkan masih berupa gelombang kotak dan bukan gelombang sinus. Inverter terdapat dua jenis yaitu inverter 1 phase dan inverter 3 phase.

Nilai efisiensi atau performa juga dapat digunakan untuk mengukur keefektifan sebuah inverter sebagai alat konversi. Mengetahui daya *input* inverter dan daya *output* inverter dikalikan dengan persentase maksimum (100%) akan mengungkapkan kinerjanya.

Untuk menentukan keefektifan atau kinerja inverter dengan menggunakan persamaan (12), yaitu :

$$\eta_{INV} = \frac{P_{Out}}{P_{In}} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (12)$$

Keterangan :

η_{INV} = Efisiensi Inverter

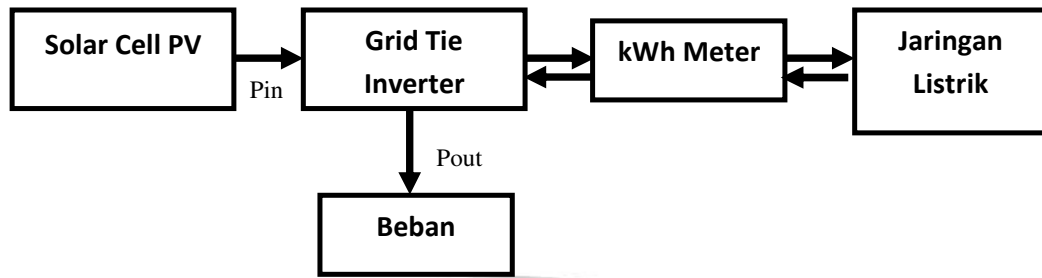
P_{Out} = Daya Yang Keluar Pada Inverter

P_{in} = Daya Yang Masuk Pada Inverter

2.10 Keandalan Sistem PLTS

Keandalan Sistem PLTS mencakup faktor teknis dan faktor ekonomis. Adapun faktor teknis yaitu sistem PLTS yang digunakan, arus yang dihasilkan, tegangan yang dihasilkan, dan daya yang dihasilkan. Sedangkan, faktor ekonomis mencakup biaya investasi, dan penghematan yang didapat. (Nurjaman., 2022:139).

Sebuah Grid Tie Inverter (GTI) dan komponen sel surya digunakan dalam sistem PLTS on-grid yang terhubung dengan jaringan listrik. Grid Tie Inverter (GTI) berfungsi untuk mengubah tegangan DC menjadi tegangan AC, seperti halnya inverter lainnya. Namun dengan pemasangan kWh meter, inverter jenis ini dapat digunakan sehubungan dengan pemasangan jaringan listrik utama, dalam hal ini jaringan energi dari PLN. Jadi, jenis inverter ini dikenal juga sebagai synchronous inverter atau grid interactive inverter. Sistem PLTS dengan menggunakan inverter GTI yang terhubung ke jaringan listrik PLN ditunjukkan pada diagram blok di bawah ini (Nurjaman., 2022:139).



Gambar 2. 2 Blok Diagram Sistem PLTS *On-Grid*

Adapun persyaratan yang harus terpenuhi ketika menyambungkan GTI dengan jaringan listrik yang sudah ada yaitu :

- 1) Tegangan harus sama;
- 2) Jumlah fase;
- 3) Urutan fase harus sama;
- 4) Frekuensi keluaran harus sama.

Salah satu syarat kualitas daya listrik yang baik adalah tegangan harus konstan. Tetapi pada kenyataannya tegangan tidak selalu konstan, dimana suatu saat tegangan naik dan suatu saat tegangan turun. Toleransi tegangan yang diijinkan naik atau turun berdasarkan IEEE std 446 "*Recommended Practice for Emergency and Standby Power System for Industrial and Commercial Application*" adalah -13% sampai +6%. Sedangkan yang bukan emergency dan stand by power berdasarkan IEEE std 241 "*Recommended Practice for Electric Power System in Commercial Buildings*" adalah -10 % sampai +5 % (Subroto., 2002).

- Tegangan phasa-phaasa = $V_{nom} = V_n = 380 \text{ V}$

$$\begin{aligned} \text{Tegangan Boleh Turun} &= V_n - (V_n \times 10\%) \\ &= 380 - (380 \times 10\%) \\ &= 342 \text{ V} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Tegangan Boleh Naik} &= V_n + (V_n \times 5\%) \\ &= 380 + (380 \times 5\%) \\ &= 399 \text{ V} \end{aligned}$$

Menurut standarisasi Frekuensi yang digunakan di Indonesia menggunakan standar 50 Hz. Dengan Variasi frekuensi tidak melebihi 1% dari 50 Hz menurut Standar Nasional Indonesia (SNI) 04-1922-2002, yaitu 49,5-50 Hz atau 2970 - 3030 rpm (Teguh Wibowo Aji, dkk., 2014).

2.11 *Equivalent Availability Factor (EAF)*

Tingkat Kesiapan Pembangkit atau *Equivalent Availability Factor* yang sering disingkat EAF pengertiannya dalam pembangkit listrik adalah faktor yang menunjukkan persentase kesiapan pembangkit dalam kurun waktu tertentu dan secara matematis adalah rasio antara jumlah jam pembangkit siap terhadap total jam dalam satu tahun dan telah memperhitungkan dampak dari derating pembangkit (Haposan, Thommi., 2008).

Berikut persamaan untuk menentukan EAF:

$$EAF = \left(\frac{PH - PO - SB}{PH} \right) \times 100\% \dots\dots\dots (13)$$

Keterangan :

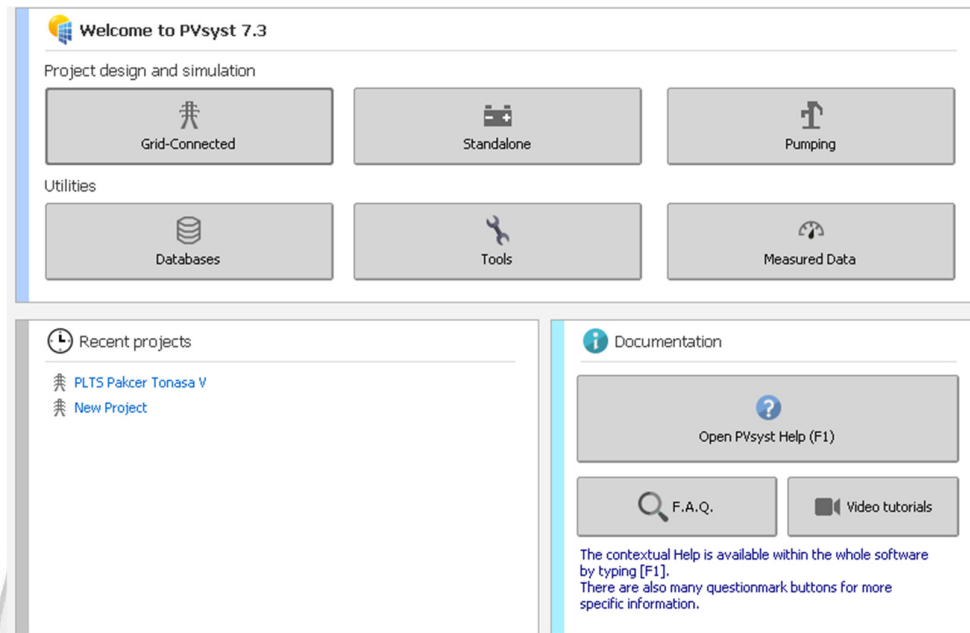
PH = Plan Hours (h)

PO = Plan Outage (h)

SB = Stand By (h)

2.12 Software PVsyst 7.3.0

Program perangkat lunak PVSyst digunakan untuk mempelajari, mengukur, dan menganalisis data dari seluruh sistem PLTS. University of Geneva menciptakan perangkat lunak PVSyst, yang dapat digunakan untuk sistem terinterkoneksi jaringan (*grid-connected*), sistem berdiri sendiri (*stand alone*) dan sistem pompa (*pumping*). Database dari berbagai sumber data meteorologi, serta informasi tentang komponen PLTS komunal, juga tersedia melalui PVSyst, MeteoNorm V7.1 (interpolasi 1960-1990 atau 1981-2000), NASA-SSE (1983-2005), PVGIS (untuk Eropa dan Afrika), Satel-Light (untuk Eropa), TMY2/3 dan SolarAnywhere (untuk AS), EPW (untuk Kanada), RetScreen, Helioclim, dan Solar GIS (berbayar) adalah beberapa contoh sumber data meteorologi yang dapat digunakan PVSyst. (Setiawan, I K Agus, dkk. 2014)



Gambar 2. 3 Tampilan Awal Software PVsyst 7.3.0

2.13 Beban Motor Listrik

Mesin yang mengubah energi listrik menjadi energi mekanik adalah motor listrik. Generator atau dinamo adalah alat yang bekerja sebaliknya, mengubah energi mekanik menjadi energi listrik. Sangat penting untuk memahami beban motor untuk memahami motor listrik. Torsi atau produksi rotasi dalam kaitannya dengan kecepatan yang dibutuhkan disebut sebagai beban. Menurut Iqbal (2021:9) beban seringkali dapat dibagi menjadi tiga kelompok, yaitu :

- 1) Beban torsi konstan, adalah beban dimana permintaan keluaran energinya bervariasi dengan kecepatan operasinya, namun torsinya tidak bervariasi. Contoh beban dengan torsi konstan adalah *conveyors*, *rotary kilns*, dan pompa *displacement* konstan.
- 2) Beban dengan torsi variabel, adalah beban dengan torsi yang bervariasi dengan kecepatan operasi. Contoh beban dengan torsi variabel adalah

pompa sentrifugal dan fan (torsi bervariasi sebagai kuadrat kecepatan).

- 3) Beban dengan energi konstan, adalah beban dengan permintaan torsi yang berubah dan berbanding terbalik dengan kecepatan. Contoh untuk beban dengan daya konstan adalah peralatan-peralatan mesin.

Motor listrik jenis ini menggunakan arus listrik yang membalikkan arahnya dengan teratur pada rentang waktu tertentu. Motor listrik arus bolak balik mempunyai dua buah bagian dasar listrik, yaitu stator dan rotor. Stator adalah komponen listrik statis, sedangkan rotor adalah komponen listrik berputar untuk memutar poros motor.

Medan magnet yang berputar diatur oleh belitan stator, merupakan karakteristik dari semua motor AC. Tiga kumparan yang terpisah secara elektrik 120 derajat satu sama lain dapat digunakan untuk mengilustrasikan ide ini dalam motor tiga fase. Satu catu daya satu fase, tiga fase dihubungkan ke setiap koil. Medan magnet berputar dihasilkan di dalam inti stator ketika arus tiga fase melewati belitan. Kuantitas kutub stator dan frekuensi suplai menentukan seberapa cepat medan magnet berputar berputar (Ambabunga, 2020:3).

2.14 Unit Packer (Pengantongan Semen)

Proses pengemasan semen berlangsung di tempat yang dikenal dengan *packing plant*. Menurut Framico dkk. (2022) di dalam *packing plant* terdapat beberapa proses yaitu *Cement Transport*, *Cement Storage (Silo)*, *Cement Release Station (Loading, Unloading System & Cement Packing Machine)*.

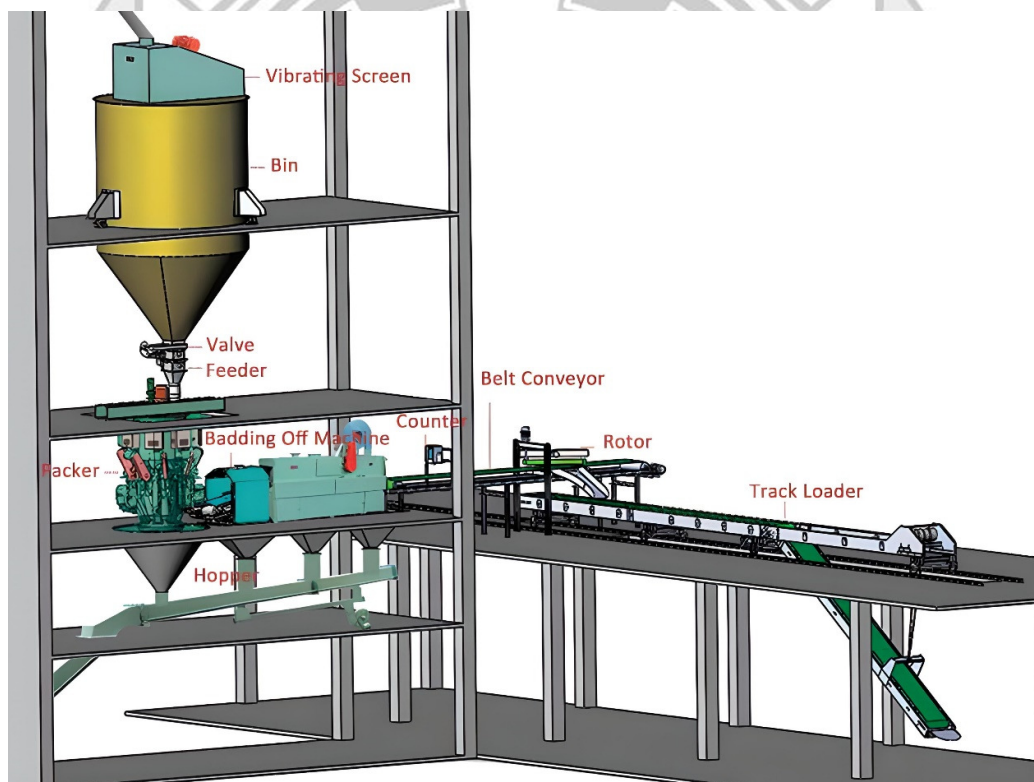
- 1) *Cement Transport* adalah sebuah proses perpindahan semen dari satu tempat ketempat yang lain menggunakan alat-alat berupa *Airslide, Belt Bucket Elevator, Airlift Pump*.
- 2) *Cement Storage/Silo* adalah struktur yang digunakan untuk menyimpan bahan curah (*bulk materials*). *Silo* umumnya digunakan di bidang pertanian sebagai penyimpan biji-bijian hasil pertanian dan pakan ternak. Di luar bidang pertanian, *silo* digunakan untuk menyimpan batu bara, semen, potongan kayu, dan serbuk gergaji. Ada tiga jenis *silo* yang banyak digunakan hingga saat ini, yaitu tipe menara, bunker, dan karung. Dalam memuat bahan curah ke dalam silo, diperlukan mekanisme elevator biji-bijian seperti konveyor (konveyor sabuk, konveyor udara, konveyor ember), *auger*, dan *hopper* tergantung pada jenis bahan curah yang dimuat. Pengisian dilakukan dari tingkat paling atas, sehingga yang masuk lebih dulu akan berada di bawah. Sedangkan pengambilan bahan curah dilakukan dari bawah. Tergantung pada bahan yang dimuat, pengendalian lingkungan di dalam bisa bervariasi. Pengendalian kadar air di udara diperlukan dan disesuaikan dengan kadar air kesetimbangan bahan jika menginginkan waktu penyimpanan yang lama. Pengendalian jenis dan kadar gas di dalam *silo* diperlukan jika bahan mudah bereaksi dengan gas tertentu seperti oksigen. Pengendalian kadar gas juga diperlukan jika *silo* digunakan untuk proses fermentasi, aerob maupun anaerob.

3) *Cement Release Station* merupakan area yang berguna untuk memindahkan material semen didistribusikan ke bagian-bagian yang lain

a) *Loading System Loading system*

b) *Unloading System*

c) *Cement Packing Machine*



Gambar 2. 4 Skema Mesin *Rotary Packer*

BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Tempat Penelitian

Pada tahapan ini penulis melakukan penelitian di Unit *Packer* Tonasa V, yang berlokasi di Desa Biringere, Kecamatan Bungoro, Kabupaten Pangkajene, Sulawesi Selatan dengan koordinat -4.792081 LS, 119.614513 LT.



Gambar 3. 1 Unit Packer Tonasa V



Gambar 3. 2 PLTS Packer Tonasa V

3.2 Waktu Penelitian

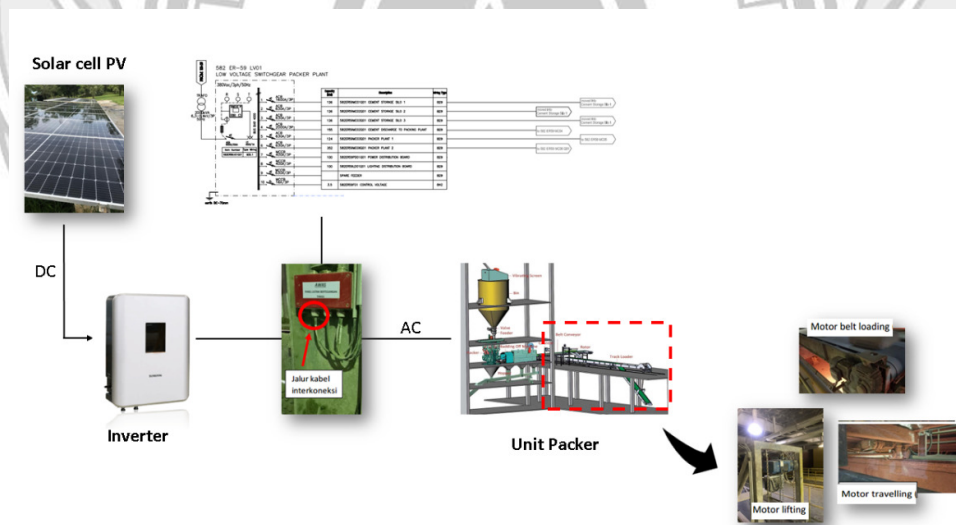
Waktu penelitian direncanakan akan berlangsung selama kurang lebih 5 bulan, dimulai pada pekan pertama bulan Maret 2023 hingga pekan kedua bulan Juli 2023.

3.3 Alat Penelitian

Adapun alat penelitian yang akan dipergunakan pada penelitian ini berupa:

1. Software *PVsys*
2. Pyranometer
3. *iSolar Cloud*

3.4 Skema Penelitian



Gambar 3. 3 Skema Objek Penelitian

3.5 Tahapan Penelitian

Metodologi yang digunakan dalam menyusun penelitian skripsi ini adalah dengan observasi pada objek yang akan diteliti yang terkait dengan judul Analisis Kinerja Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya *on-grid* 10 kWp Sebagai Penggerak Mesin *Packer* Pada Pabrik Tonasa V adalah sebagai berikut :

3.5.1 Studi Literatur

Metode yang digunakan dalam pencarian studi literatur ini dengan tinjauan kepustakaan berupa buku-buku yang ada di perpustakaan, jurnal-jurnal tertulis maupun *online*, serta referensi artikel yang terdapat di internet.

3.5.2 Wawancara

Teknik pengumpulan data ini dilakukan dengan memberikan pertanyaan kepada supervisor ataupun manajer bagian unit packer Tonasa V PT Semen Tonasa terkait PLTS 10 kWp dan informasi lainnya yang berhubungan dengan penelitian.

3.5.3 *Collecting Data*

Dengan cara melakukan peninjauan langsung pada PLTS Unit Packer Tonasa V, untuk mengetahui secara langsung PLTS dan melakukan pengambilan data-data PLTS yang akan digunakan untuk perhitungan analisis PLTS. Parameter (data-data) yang akan di dapat sebagai berikut:

1. Single Line Diagram PLTS Packer Tonasa V
2. Spesifikasi Komponen PLTS Packer Tonasa V
3. Spesifikasi Beban Motor
4. Intensitas Radiasi Matahari (H)
5. Nilai Irradiasi Matahari (H_T)

6. Luas Penampang Panel Surya (m^2)

7. Energi ke Jaringan (E_{AC})

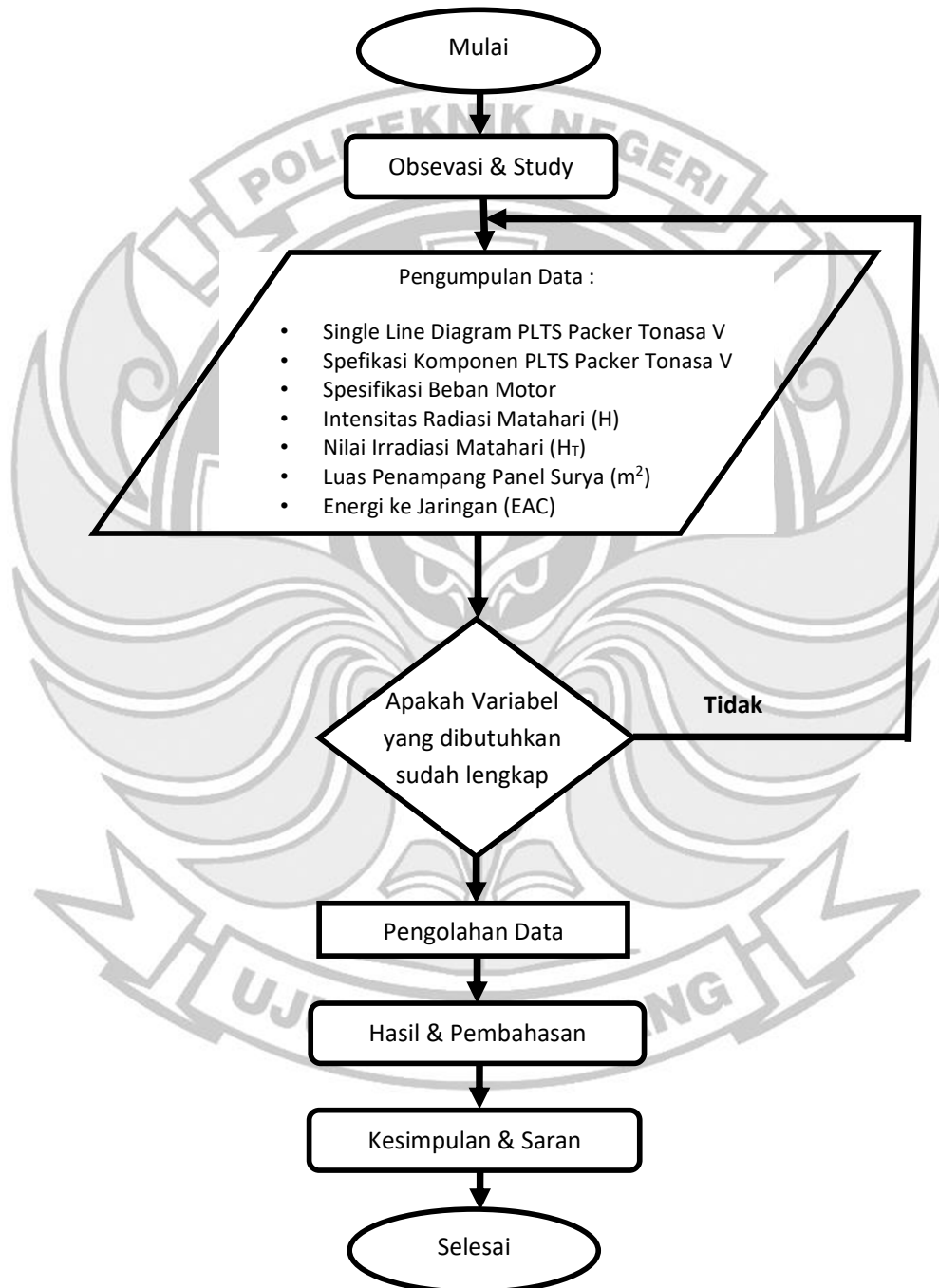
3.5.4 Perhitungan Data dan Analisis

Menghitung data-data yang didapat dari observasi dan menganalisisnya perhitungan yang didapat:

1. P_{out} = Daya Keluaran Panel Surya [kW]
2. P_{in} = Daya Yang Masuk Pada Panel Surya [kW]
3. P_{max} = Daya Maksimum Keluaran Panel Surya [kW]
4. Y_F = Hasil akhir atau *Final Yield*/ Equivalen Sun Hour (ESH) [Jam]
5. Y_R = Hasil Acuan atau *Referensi Yield* [Jam]
6. PR = Rasio Performa [dimensionless]
7. η_{PV} = Efisiensi Modul Surya [%]
8. $\eta_{sistem\ PLTS}$ = Efisiensi Sistem PLTS [%]
9. Kontribusi PLTS [%]
10. $CF_{bulanan}$ = Faktor Kapasitas Bulanan [%]
11. $CF_{tahunan}$ = Faktor Kapasitas Tahunan [%]
12. EAF [%]

3.6 Flowchart

Adapun langkah-langkah penulisan tugas akhir ini dapat dilihat pada gambar di bawah.



Gambar 3. 4 Flowchart Penelitian

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini dilakukan untuk menganalisis kemampuan pembangkit listrik tenaga surya sistem *on-grid* 10 kWp Packer Tonasa V. Dimana penelitian ini mengevaluasi pembangkit listrik tenaga surya sistem *on-grid* yang disinkronisasikan langsung ke jaringan yang bersumber dari PLN & *boiler, turbine, generator* (BTG) *Power Plant* Tonasa. Hasil dari penelitian tersebut dijadikan dasar untuk mensimulasikan PLTS 10 kWp sebagai bahan pembandingan dalam hal desain sistem PLTS tersebut. Selain itu, akan dianalisis seberapa besar kontribusi energi yang dihasilkan oleh sistem PLTS khususnya pada penghematan unit packer tonasa V.

Adapun data penelitian yang dievaluasi adalah data *history* operasional PLTS dari bulan Januari 2022 sampai dengan Juni 2023. Data tersebut diperoleh dari sistem berbasis digital dimana pada sistem yang sudah dilengkapi dengan sistem monitoring yang berbasis IOT kecuali data spesifikasi dari komponen PLTS.

4.1 Data Penelitian

4.1.1 Data Spesifikasi Komponen

Pada sistem PLTS *On-Grid* biasanya hanya menggunakan komponen berupa modul surya, inverter serta komponen pendukung lainnya. Adapun spesifikasi komponen PLTS Packer Tonasa V seperti yang ditunjukkan pada tabel 4.1

Tabel 4.1 Spesifikasi Komponen PLTS Packer Tonasa V

Deskripsi	Qty	Unit
Main Components		
Panel PV tipe Monocrystalline LR4-60-HPB 375WP, Merek Longi Solar	28	pcs
Inverter On-Grid tipe SG10RT 10kW Inverter + 4G Modem, Merek Sungrow	1	pcs
PLP DPW Mounting Structure	10	kWp
Cables, Connectors, & Accessories		
PV Cable JJ-LAPP XLRE 1.5kV 4MM2	80	m
Supreme NYY 0.6/1kV 4x10mm ² or Equivalent	100	m
MC4 Connector	4	set
Flexibel Metal Conduit	5	roll
Tplink Wifi Router		
Protection System & Accessories		
MCB Schneider IC60N 16A 4P	2	m
DC Junction Box	2	string
Dilengkapi Penangkal Petir, Surge Protection Device	1	pcs
Grounding CABLE NYAF 1X4MM2 PV	20	m
Distribution Panel	2	set

4.1.2 Data Intensitas Radiasi & Iradiasi Matahari di Area PLTS Packer Tonasa V

Lokasi PLTS on-grid Packer Tonasa V yang berlokasi di Desa Biringere, Kecamatan Bungoro, Kabupaten Pangkajene, Sulawesi Selatan terletak pada koordinat -4.792081 LS, 119.614513 LT (Google Maps, 2023).

Pada penelitian ini untuk mengetahui nilai intensitas radiasi matahari maka data yang didapatkan adalah data dari software Pvsyst 7.3.0 yang sudah terhubung dengan NASA-SSE seperti pada tabel 4.2. *Global horizontal irradiation* adalah penyinaran total intensitas radiasi matahari yang diterima pada permukaan horizontal di bumi. Temperatur adalah tingkat panasnya udara di suatu tempat. (Misbahuddin, 2021)

Tabel 4. 1 Kondisi Iklim di Area PLTS Packer Tonasa V

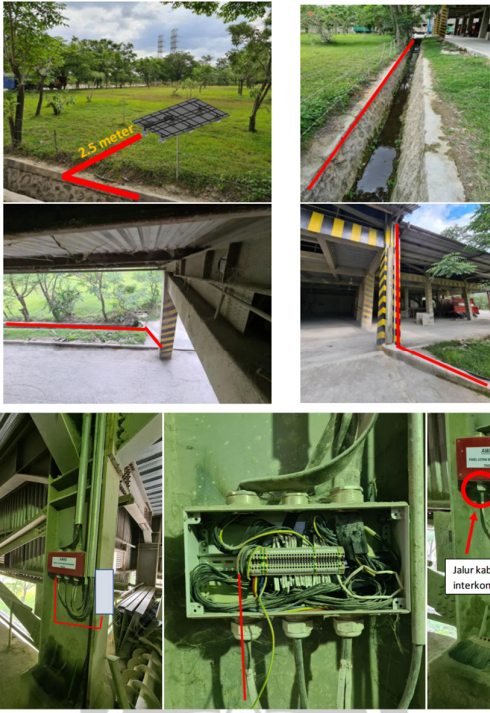
Bulan	Global Horizontal Irradiation (kWh/m ² /hari)	Global Horizontal Irradiation (kWh/m ² /bulan)	Global Horizontal Irradiation (W/m ²)	Suhu (°C)
Januari	4,69	145,4	195,4	25,85
Februari	4,94	138,3	205,8	25,96
Maret	5,54	171,7	230,8	26,00
April	5,80	174,0	241,7	26,05
Mei	5,73	177,6	238,8	25,93
Juni	5,53	165,9	230,4	25,52
Juli	5,74	177,9	239,2	25,20
Agustus	6,48	200,9	270,0	25,86
September	6,83	204,9	284,6	26,61
Oktober	6,64	205,8	276,7	26,84
November	5,63	168,9	234,6	26,26
Desember	4,46	138,3	185,8	25,93
Tahun	5,67	2069,7	236,3	26,00

Dari tabel 4.2 dapat diketahui bahwa intensitas radiasi matahari terendah terdapat pada bulan Desember sebesar 185,8 W/m² sehingga iradiasi matahari rata-rata sebesar 4,46 kWh/m²/hari, intensitas radiasi matahari tertinggi terdapat pada bulan September sebesar 284,6 W/m² sehingga iradiasi matahari rata-rata sebesar 6,83 kWh/m²/hari. Suhu lingkungan terendah terdapat pada bulan Januari sebesar 25,85 °C, suhu lingkungan tertinggi terdapat pada bulan Oktober sebesar 26,84°C dan suhu lingkungan rata-rata sebesar 26°C.

4.1.3 Data Operasional

a) Data Beban Motor Pada Unit Packer

Outgoing dari PLTS akan dihubungkan ke *junction box*. *Junction Box* akan dihubungkan dengan *local panel rear loader 564TL02*.



Gambar 4. 1 Jalur Kabel PLTS packer PT. Semen Tonasa



Gambar 4. 2 Rear Loader 564TL02

Tabel 4. 2 Beban Pada Rear loader

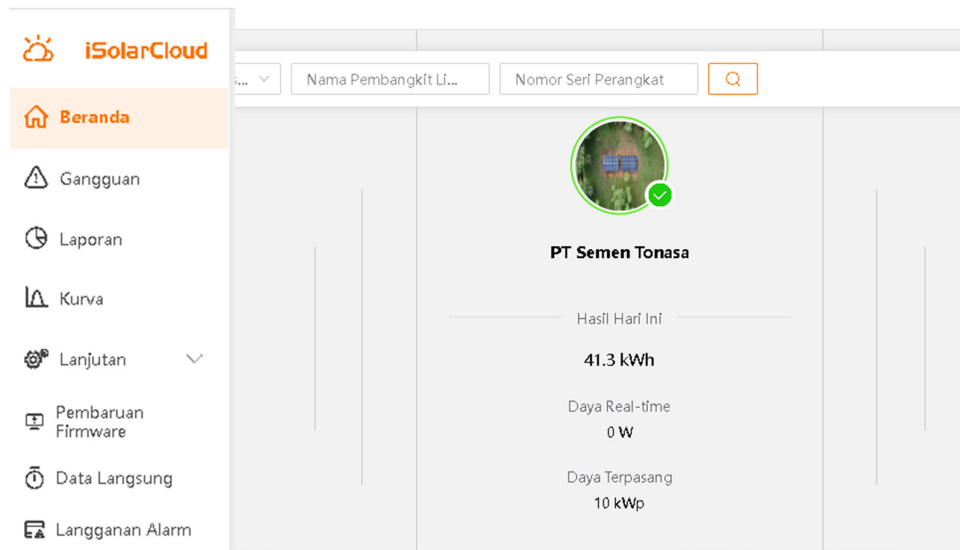
Beban Pada Rear Loader	Daya (kW)	Jumlah	Jam Operasi (Jam)	Kuota Energi (kWh)
Motor Travelling	1,1	1	20	22
Motor Belt Loading	3	1	20	60
Motor Lifting	2,3	1	20	46
Total Konsumsi Energy pada Beban Motor				128 kWh/hari

b) Data Operasional PLTS

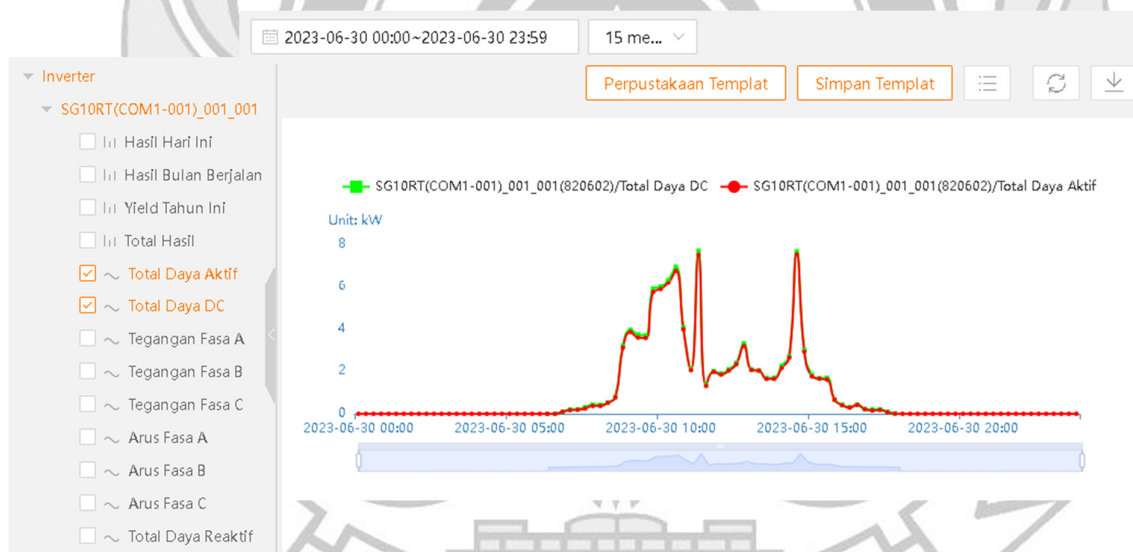
Untuk melihat isi data operasional *history* dan *real time* diperoleh dari *iSolar cloud* yang merupakan software sistem pemantauan dan data logger yang dikembangkan oleh *sungrow* sebagai pabrikan sistem monitoring pada sistem PLTS ini. *Isolar cloud* mampu menyiapkan data-data seperti daya dc, daya aktif baik berupa angka dan grafik.

Isolar Cloud adalah sistem pemantauan matahari yang dikembangkan oleh *Sungrow* dan akan menampilkan biaya pasokan harian dan penggunaan energi untuk membantu memahami cara kerja sistem.

Pemantauan *iSolar Cloud* membantu mengakses data energi langsung dan terperinci tentang produksi dan konsumsi tenaga surya. Listrik yang dihasilkan oleh panel surya mengalir melalui inverter untuk diubah dari arus searah yang dihasilkan oleh panel surya menjadi arus bolak-balik yang dapat digunakan oleh masing-masing peralatan. Saat menggunakan sistem pemantauan *iSolar Cloud*, perangkat terhubung ke inverter, yang memungkinkan inverter berkomunikasi dengan server *iSolar Cloud* untuk mengukur produksi surya yang mengalir melalui inverter.



Gambar 4. 3 Tampilan *iSolar Cloud* PLTS PT Semen Tonasa



Gambar 4. 4 Tampilan *iSolar Cloud* ketika penarikan data

Data yang dihasilkan oleh parameter ditampilkan pada lampiran 1 tabel 1.1 – 1.6, yaitu data energi perbulan 2022-2023, data daya aktif dan daya DC perbulan, data tegangan & Frekuensi Grid perbulan.

4.2 Analisis *Performance* PLTS pada unit Packer

Data produksi listrik yang didapatkan dari *iSolar Cloud*. Didapatkan nilai produksi listrik sistem PLTS *on-grid* 10 kWp bulan Januari 2022 – Juni 2023 sebesar 21,73 MWh.

4.2.1 Faktor Kapasitas atau *Capacity Factor* (CF)

Berdasarkan data hasil produksi energi pada bulan Januari 2022 diperoleh dari lampiran 1 tabel 2.2. Faktor Kapasitas bulanan dapat dihitung sebagai berikut.

$$CF_{\text{bulanan}} = \frac{\text{Hasil Produksi Energi perbulan}}{\text{Kap. PV terpasang} \times \text{Jam Periode}} \times 100\%$$

$$CF_{\text{bulanan}} = \frac{1250,9 \text{ kWh}}{10 \text{ kWp} \times (31 \text{ hari} \times 24 \text{ jam})} \times 100\%$$

$$CF_{\text{bulanan}} = 16,813 \times 100\%$$

$$CF_{\text{bulanan}} = 17 \%$$

Untuk hasil perhitungan bulan Februari 2022 sampai Juni 2023 dapat dilihat pada lampiran 2 tabel 2.1.

4.2.2 *Performance Ratio*

Untuk mengetahui kemampuan *performance* sistem PV yang digunakan maka dapat dilihat dari Total energi AC yang dihasilkan oleh sistem PV selama periode waktu tertentu dibagi dengan daya keluaran sistem PV yang terpasang, dimana dapat dihitung sebagai berikut.

$$PR = \frac{Y_F}{Y_R} \times 100\%$$

Dimana YF, Final Yield (Yf)

$$Y_F = \frac{E_{AC}}{P_{Max}}$$

$$Y_F = \frac{40,4 \text{ kWh}}{10 \text{ kWp}}$$

$$Y_F = 4 \text{ Jam}$$

YF biasa dikenal dengan ESH (*equivalent sun hour*).

Dan Referensi Yield (YR)

$$Y_R = \frac{H_T}{G_{STC}}$$

$$Y_R = \frac{195,4 \text{ W/m}^2 \times 24 \text{ h}}{1000 \text{ W/m}^2}$$

$$Y_R = 4,7 \text{ Jam}$$

jadi nilai PR,

$$PR = \frac{4,0 \text{ Jam}}{4,7 \text{ Jam}} \times 100\%$$

$$= 86 \%$$

Untuk hasil perhitungan *Performance Ratio* bulan Februari 2022 sampai juni 2023 dapat dilihat pada lampiran 2 tabel 2.2.

4.2.3 Efisiensi Modul Surya (η_{PV})

Berdasarkan data hasil pengukuran yang dilakukan selama 1 hari (12 jam) dari jam 06.00 – 18.00 pada tanggal 28 Mei 2023. Efisiensi Modul Surya PLTS dapat dihitung sebagai berikut.

$$\eta_{PV \text{ rata-rata}} = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\%$$

$$\eta_{PV} = \frac{\text{Daya Aktif}}{H \times A} \times 100\%$$

$$\eta_{PV} = \frac{3327.5 \text{ W}}{39439.8 \text{ W}} \times 100\%$$

$$\eta_{PV} = 8,4 \%$$

Untuk hasil perhitungan efisiensi PV setiap jam dan data harian 28 Mei 2023 dapat dilihat pada lampiran 2 tabel 2.3.

4.2.4 Efisiensi Sistem PLTS (η_{sistem})

Berdasarkan data hasil output energi pada bulan Januari 2022 yang diperoleh dari lampiran 1 tabel 2.2 dan data iradiasi matahari dari NASA-SSE pada tabel 4.2. Efisiensi sistem PLTS dapat dihitung sebagai berikut.

$$\eta_{sistem} = \frac{\text{Energi}}{\text{irradiasi Matahari}} \times \frac{1}{A} 100\%$$

$$\eta_{sistem} = \frac{40,4 \text{ kWh}}{4,69 \text{ kWh/m}^2} \times \frac{1}{60,86 \text{ m}^2} 100\%$$

$$\eta_{sistem} = 14 \%$$

Untuk hasil perhitungan Efisiensi Sistem PLTS bulan Februari 2022 sampai Juni 2023 dapat dilihat pada lampiran 2 tabel 2.4.

4.2.5 Efisiensi Inverter

Untuk mengetahui kemampuan inverter yang digunakan maka dapat dilihat dari besarnya efisiensi, dimana dapat dihitung sebagai berikut.

$$\eta_{INV} = \frac{P_{Out\ Inv}}{P_{in\ Inv}} \times 100\%$$

Berdasarkan data hasil daya aktif dan daya DC rata-rata bulan Januari 2022 pada lampiran 1 tabel 2.2. Efisiensi inverter dapat dihitung sebagai berikut.

$$\begin{aligned}\eta_{INV} &= \frac{9571,2\ kW}{9851,1\ kW} \times 100\% \\ \eta_{INV} &= 97\%\end{aligned}$$

Untuk hasil perhitungan efisiensi inverter bulan Februari 2022 - Juni 2023 dapat dilihat pada lampiran 2 tabel 2.5.

4.2.6 Persentase Kontribusi Energi PLTS pada Unit Packer

Selain PLTS yang mensupply energi listrik ke unit packer juga masih terdapat sumber PLN dan BTG. Untuk mengetahui besar kontribusi energi yang dipasok oleh PLTS dapat dihitung dengan persamaan berikut.

$$\text{Kontribusi PLTS} = \frac{\text{Jumlah Energi yang dipasok perbulan}}{\text{Total Beban unit packer perbulan}} \times 100\%$$

Berdasarkan data jumlah energi pada lampiran 1 tabel 1.2 dan data total beban pada tabel 4.2. Sehingga Kontribusi PLTS pada bulan Januari 2022 dapat dihitung sebagai berikut.

$$\text{Kontribusi PLTS} = \frac{1250,9 \text{ kWh}}{128 \text{ kWh/hari} \times 31 \text{ hari}} \times 100\%$$

$$\text{Kontribusi PLTS} = 32 \%$$

Untuk hasil perhitungan Kontribusi Energi PLTS bulan Februari 2022 sampai Juni 2023 dapat dilihat pada lampiran 2 tabel 2.6.

4.2.7 *Equivalent Availability Factor (EAF)*

Perhitungan nilai *equivalent availability factor* pada PLTS Packer Tonasa V dilakukan perhitungan menggunakan persamaan (13) dengan mengambil contoh data pada bulan Januari tahun 2022. Berdasarkan data bulan Januari tahun 2022 pada lampiran 2 Tabel 2.7.

$$EAF = \left(\frac{PH - PO - SB - FO}{PH} \right) \times 100\%$$

$$EAF = \left(\frac{372}{372} \right) \times 100\%$$

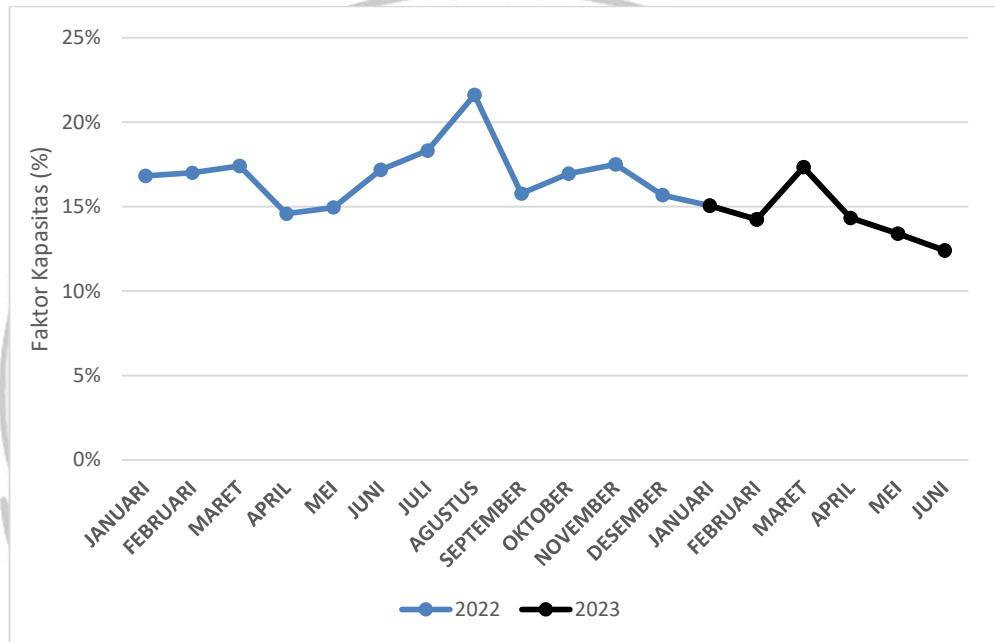
$$EAF = 100 \%$$

Untuk hasil perhitungan *Equivalent Availability Factor (EAF)* bulan february sampai Juni 2023 dapat dilihat pada lampiran 2 tabel 2.7-2.8.

4.3 Hasil & Pembahasan

Berdasarkan hasil perhitungan analisis data bulan Januari 2022 - Juni 2023, hasilnya dapat dilihat pada lampiran 2 tabel 2.1-2.8.

4.3.1 Faktor Kapasitas atau *Capacity Factor* (CF)

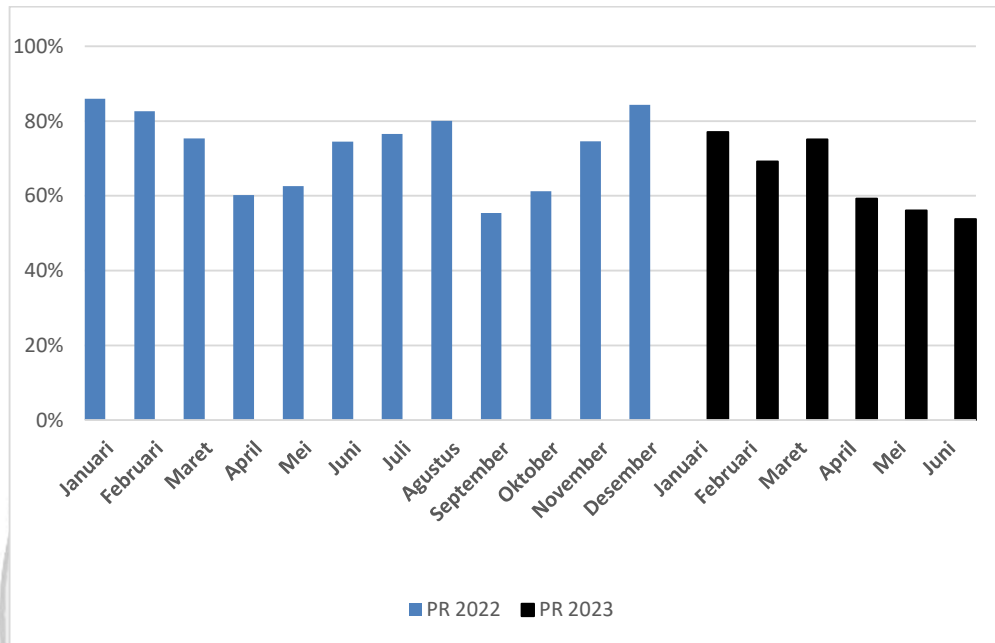


Gambar 4. 5 Grafik Perbandingan Faktor Kapasitas perbulan Januari 2022 - Juni 2023

Berdasarkan Gambar 4.5 hasil analisis data menunjukkan perubahan nilai *Capacity Factor* yang fluktuatif yang dipengaruhi oleh jumlah produksi energi. Faktor Kapasitas terbesar yaitu pada bulan Agustus 2022 dengan nilai sebesar 22% sedangkan yang terendah berada pada bulan Juni 2023 dengan nilai 12% .

Penurunan produksi energi listrik PLTS packer selama waktu operasi disebabkan oleh beberapa faktor diantaranya, adalah cuaca, adanya *shading* pada lokasi PLTS, dan kotornya modul surya akibat debu semen disekitar area *packer*.

4.3.2 Analisis Performance Ratio Real Sistem PLTS On-Grid 10 kWp

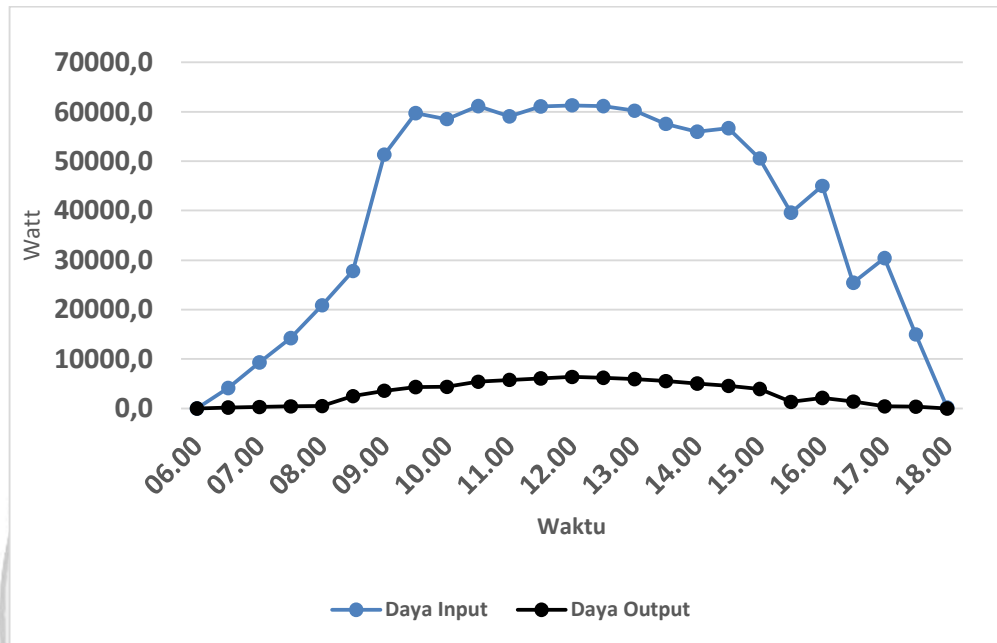


Gambar 4. 6 Grafik Analisis Performa Real Sistem PLTS On-Grid 10 kWp dari Januari 2022 - Juni 2023

Performance ratio yang baik biasanya berkisar antara 60-80% (Marion, B. et al. 2005). Adapun faktor yang mempengaruhi yaitu lokasi geografis, kondisi cuaca, temperature, kebersihan permukaan modul surya dan kualitas sistem PLTS yang digunakan. Semakin tinggi *performance ratio*, semakin efisien sistem PLTS tersebut.

Berdasarkan hasil data produksi sistem PLTS dan data iradiasi matahari dari sistem NASA-SSE perbulan yaitu Januari 2022 – Juni 2023, dilakukan analisis *performance ratio* sistem PLTS. Dari Gambar 4.6 di atas dapat dilihat bahwa *performance ratio* tertinggi berada pada bulan Januari 2022 dengan nilai 86%. Sedangkan *performance ratio* terendah berada pada bulan Juni 2023 dengan nilai 54% yang dikarenakan nilai Y_f yang dihasilkan rendah. Rata-rata nilai PR tahun 2022 yaitu 72% dan tahun 2023 yaitu 65% termasuk dalam kisaran yang normal.

4.3.3 Perbandingan antara Daya Input (Pin) & Daya Keluaran (Pout)

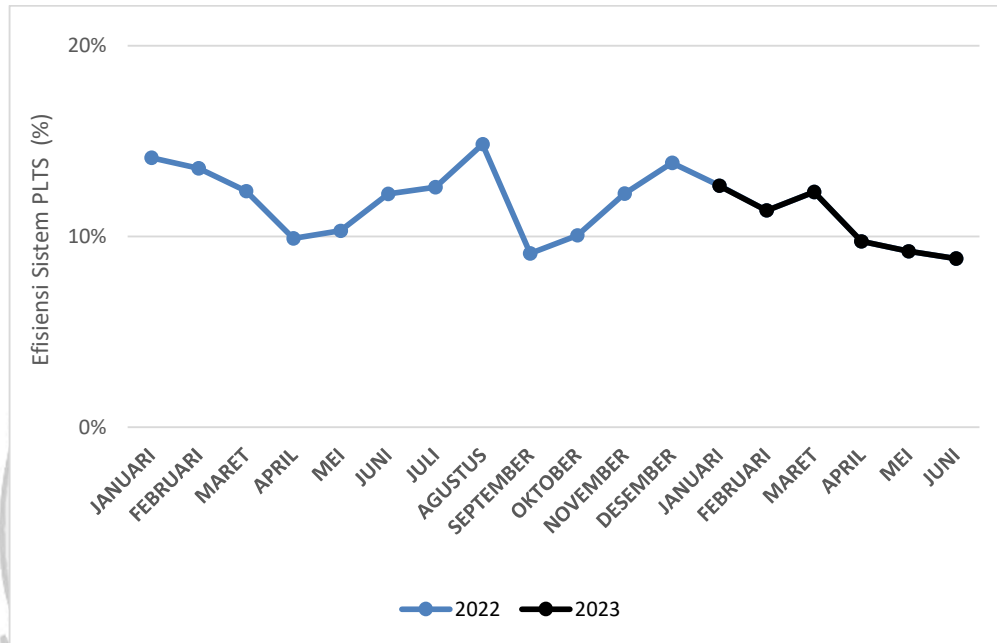


Gambar 4. 7 Grafik Perbandingan antara Daya Input & Daya Output pada tanggal 28 Mei 2023

Untuk mengetahui karakteristik efisiensi harian dari sebuah *photovoltaic* yaitu dengan membandingkan daya input yang tiba pada sistem PV dengan daya output yang dihasilkan dari sistem PV, berdasarkan pada pengukuran yang dilakukan selama 1 hari (12 jam) dari jam 06.00 – 18.00 pada tanggal 28 Mei 2023.

Dari Gambar 4.7 di atas dapat dilihat bahwa daya yang dihasilkan modul surya tertinggi berada pada pukul 12.00 dengan nilai 6,37 kW yang disebabkan oleh intensitas radiasi matahari. Sedangkan daya yang dihasilkan modul surya terendah berada pada pukul 18.00 sore dengan nilai 0 W yang disebabkan oleh tidak adanya intensitas radiasi matahari pada jam tersebut.

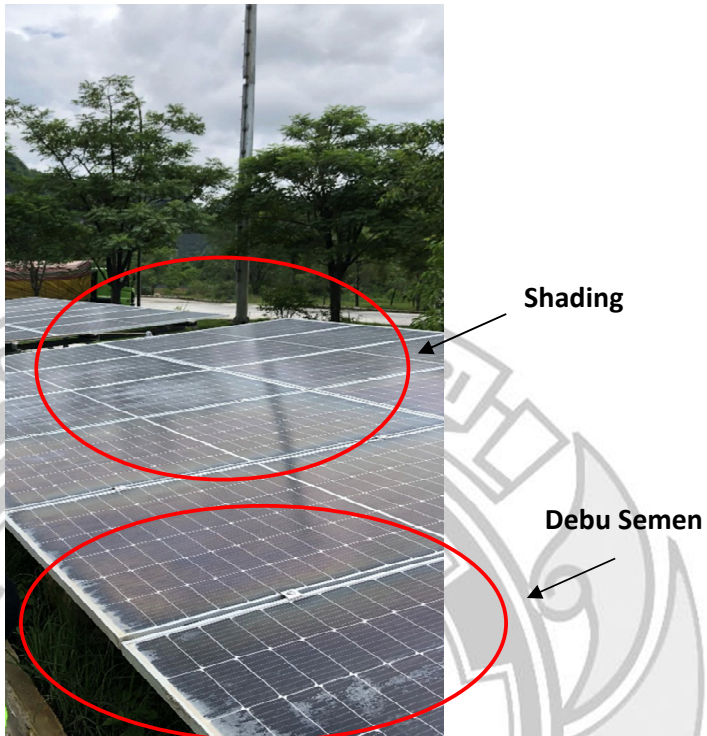
4.3.4 Analisis Efisiensi Sistem PLTS pada unit Packer perbulan



Gambar 4. 8 Grafik Perbandingan Efisiensi Sistem PLTS pada unit Packer perbulan dari Januari 2022 - Juni 2023

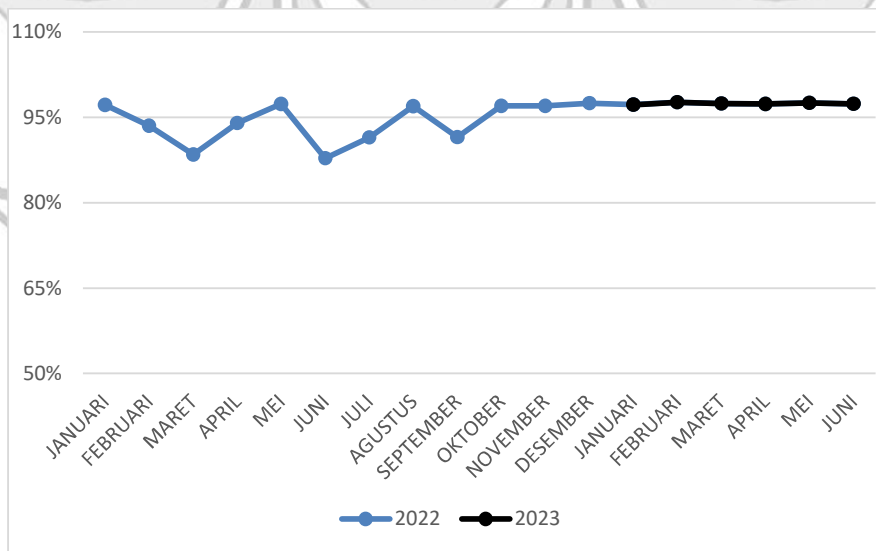
Berdasarkan gambar 4.8 hasil analisis efisiensi sistem PLTS Packer mengalami kondisi fluktuatif. Hal ini dipengaruhi oleh rata-rata produksi energi perhari dan perbedaan iklim iradiasi yang terjadi selama waktu operasi PLTS. Efisiensi sistem PLTS terbesar yaitu pada bulan Agustus 2022 dengan nilai 15% sedangkan yang terendah berada pada bulan September 2022 dan Mei - Juni 2023 dengan nilai 9%.

Penurunan produksi energi listrik PLTS packer selama waktu operasi disebabkan oleh beberapa faktor diantaranya, adalalah cuaca, adanya *shading* pada lokasi PLTS, dan kotornya modul surya akibat debu semen disekitar area *packer* seperti yang terlihat pada gambar 4.9.



Gambar 4. 9 Kondisi PLTS *packer* mengalami *shading* dan penempelan debu semen

4.3.5 Analisis Inverter PLTS On-Grid 10 kWp

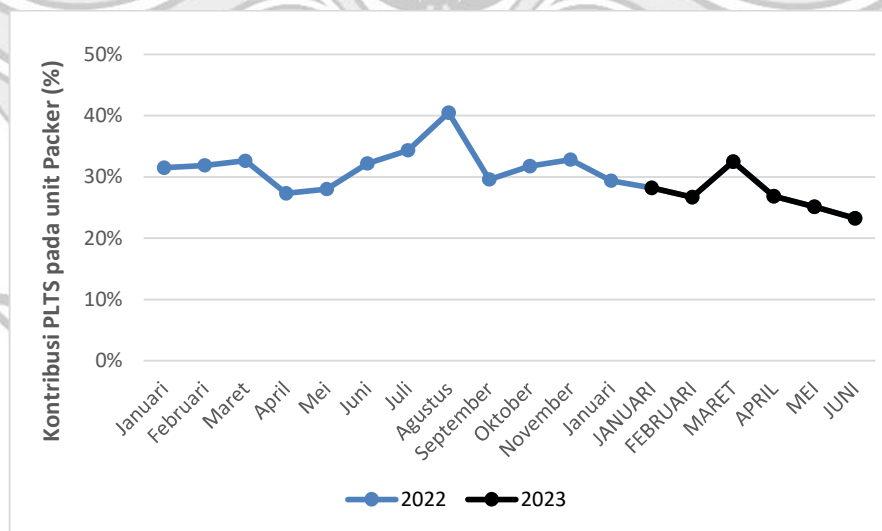


Gambar 4. 10 Grafik Perbandingan Efisiensi Inverter PLTS pada unit Packer perbulan dari Januari 2022 - Juni 2023

Inverter mengubah daya keluaran DC modul surya menjadi daya AC atau daya aktif. Inverter biasanya memiliki efisiensi antara 93% dan 96%. Berdasarkan gambar 4.10 hasil analisis data menunjukkan grafik yang konstan pada tahun 2023, sedangkan pada tahun 2022 menunjukkan perubahan nilai efisiensi yang fluktuatif. Efisiensi Inverter PLTS *Packer* terbesar yaitu pada bulan Februari dan Mei 2023 dengan nilai 98% sedangkan yang terendah berada pada bulan Maret dan Juni 2022 dengan nilai 88% .

Faktor yang mempengaruhi terjadinya penurunan kinerja daya keluaran pada PLTS *packer* sesuai hasil simulasi karena terdapat rugi-rugi kualitas panel surya dan rugi-rugi pada inverter seperti yang terlihat pada *loss diagram* gambar 4.19. Sedangkan faktor lainnya adalah intensitas radiasi matahari, temperature dan tilt.

4.3.6 Analisis Kontribusi PLTS pada unit Packer perbulan



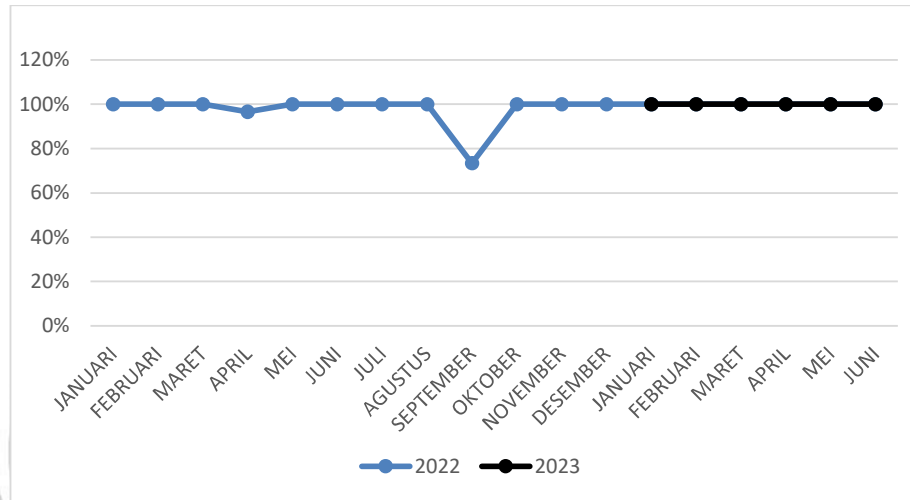
Gambar 4. 11 Grafik Perbandingan Kontribusi PLTS pada unit Packer perbulan dari Januari 2022 - Juni 2023

Berdasarkan Gambar 4.11 hasil analisis data menunjukkan besar kontribusi energi yang dipasok oleh PLTS mengalami kondisi fluktuatif yang dipengaruhi oleh jumlah produksi energi perbulannya. Perhitungan data kontribusi PLTS Packer terbesar ada pada bulan Agustus 2022 dengan nilai 41% sedangkan kontribusi terendah berada pada bulan Juni 2023 dengan nilai 23% karena kurangnya nilai produksi yang disebabkan beban mesin *packer* yang terhubung oleh PLTS sementara stop, faktor lainnya yaitu kondisi cuaca pada bulan tersebut.



4.3.7 Keandalan PLTS

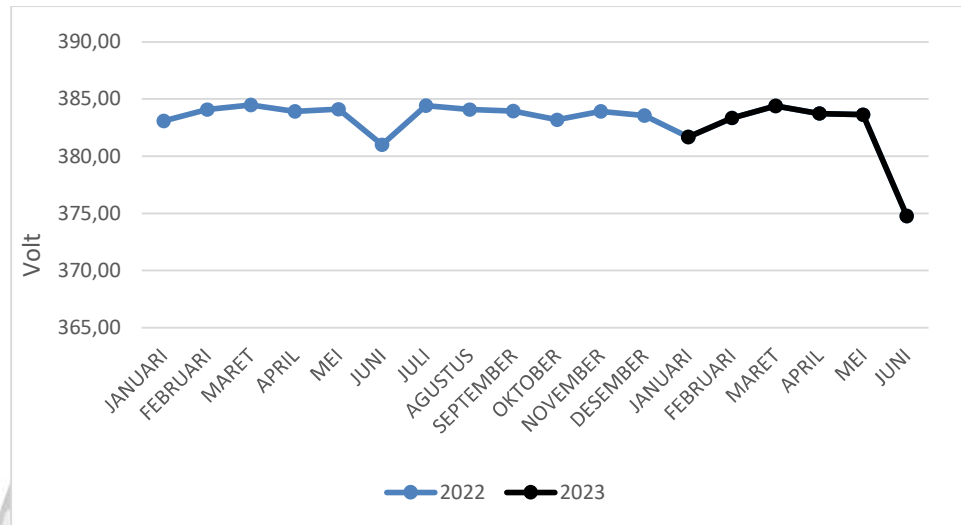
1) Analisis Nilai Equivalent Availability Factor (EAF)



Gambar 4. 12 Grafik Perbandingan Nilai EAF PLTS Packer Tonasa V dari Januari 2022 - Juni 2023

EAF (*Equivalent Availability Factor*) adalah faktor kesiapan suatu unit pembangkit, berdasarkan Gambar 4.12 hasil analisis data menunjukkan grafik EAF yang konstan pada periode tahun 2023, sedangkan pada tahun 2022 menunjukkan perubahan nilai *availability* yang fluktuatif. Rata-rata Nilai *availability* pada tahun 2022 mencapai 98% dan pada tahun 2023 mencapai sebesar 100%. Terjadinya fluktuatif disebabkan produksi energi dari PLTS yang dihasilkan selama beberapa hari adalah 0. Dalam hal ini PLTS pada Unit Packer Tonasa V hanya 9 kali terjadi gangguan khususnya pada tahun 2022 disebabkan terputusnya pasokan listrik ke PLTS ketika terjadi pemadaman listrik di pabrik khususnya pada unit packer Tonasa V.

2) Analisis Tegangan 3 Phasa

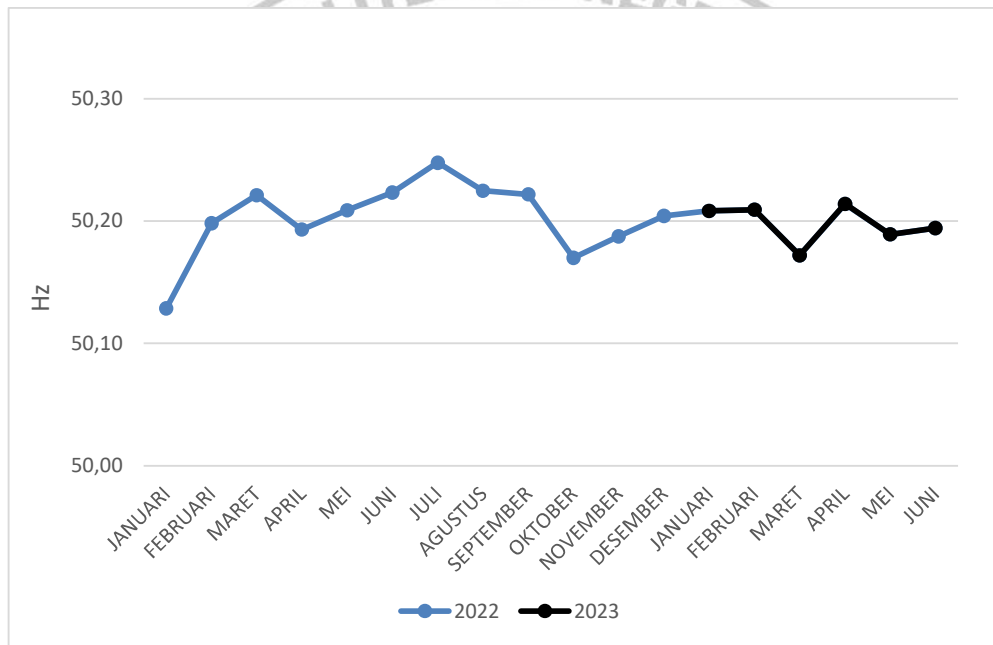


Gambar 4. 13 Grafik Perbandingan Nilai Tegangan dari Januari 2022 - Juni 2023

Tegangan sumber dari PLTS harus sama dengan sumber listrik yang lainnya yaitu PLN dan BTG ketika disinkronkan. Ketika tegangan sama maka secara langsung akan disinkronkan oleh inverter. Berdasarkan Gambar 4.13 hasil analisis data menunjukkan perubahan nilai tegangan yang fluktuatif. Nilai tegangan PLTS *Packer* tertinggi ada pada bulan maret 2022 dengan nilai 384,47 V sedangkan nilai tegangan terendah berada pada bulan Juni 2023 dengan nilai 374,75 yang dapat dilihat pada lampiran 1 tabel 1.6 terkait data tegangan 3 fasa & frekuensi grid perbulan.

Berdasarkan IEEE std 241 “*Recommended Practice for Electric Power System in Commercial Buildings*” adalah -10 % sampai +5 % yaitu batas maksimal tegangan adalah 399 V dan batas minimal 342 V yang berarti tegangan yang dihasilkan pada tahun 2022 dan 2023 masih dalam batas toleransi yang ditetapkan. (Subroto., 2002)

3) Analisis Frekuensi Grid



Gambar 4. 14 Grafik Perbandingan Nilai Frekuensi dari Januari 2022 - Juni 2023

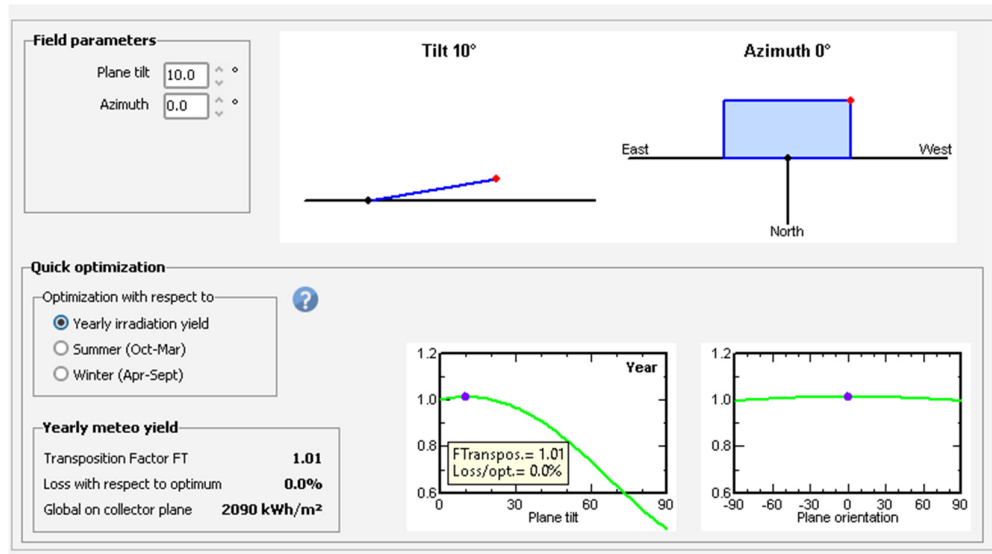
Frekuensi Grid adalah frekuensi yang telah disinkronkan secara langsung oleh inverter yang berasal dari PLTS, PLN dan BTG. Berdasarkan Gambar 4.14 hasil analisis data menunjukkan perubahan nilai frekuensi yang fluktuatif. Nilai frekuensi PLTS *Packer* tertinggi ada pada bulan Juli 2022 dengan nilai 50,25 Hz sedangkan nilai frekuensi terendah berada pada bulan Januari 2022 dengan nilai 50,13 yang dapat dilihat pada lampiran 1 tabel 1.6 terkait data tegangan 3 fasa & frekuensi grid perbulan.

Menurut standarisasi Frekuensi yang digunakan di Indonesia yaitu Standar Nasional Indonesia (SNI) 04-1922-2002 adalah 49,5-50 Hz, yang berarti frekuensi grid yang dihasilkan pada tahun 2022 dan 2023 masih dalam batas toleransi yang ditetapkan. (Teguh Wibowo Aji, dkk., 2014)

4.4 Hasil Simulasi PLTS menggunakan PVsyst

PLTS *On-Grid* 10 kWp Packer Tonasa V merupakan PLTS yang dibangun untuk memenuhi kebutuhan sebagian motor-motor listrik pada unit *packer*. Penggunaan software PVsyst bertujuan untuk menganalisa perbandingan kinerja PLTS real dengan kinerja hasil simulasi dan hal hal yang terkait dengan optimalisasi sistem PLTS.

Sistem PLTS ini terhubung ke sisi jaringan tegangan rendah. PLTS ini terdiri atas 2 array dengan kemiringan (*tilt*) sebesar 10° dengan orientasi modul ke arah utara seperti yang terlihat pada lampiran 6 dan azimuth sebesar 0° seperti ditunjukkan pada gambar 4.15 .



Gambar 4. 15 Input data Tilt dan Azimuth PLTS

Pada gambar 4.16 menunjukkan produksi energi listrik yang dihasilkan oleh hasil Simulasi PVsyst *on-grid* dan *performance ratio* dalam setahun. Gambar 4.16a menunjukkan L_c (*collection loss*) adalah rugi-rugi pada modul surya mencakup *thermal*, instalasi kabel, kualitas modul, bayangan, kotoran, kerugian regulasi, serta semua inefisiensi lainnya sebesar 1,7 kWh/kWp/hari. L_s (*system losses*) adalah rugi-rugi sistem PLTS sebesar 0,17 kWh/kWp/hari. Y_f (*Energy supplied*) adalah energi yang dapat disuplai ke beban sebesar 3,89 kWh/kWp/hari. Kemudian gambar 4.16b adalah *performance ratio* (PR) rata-rata pertahun sebesar 0,675 atau dengan persentasi sebesar 67,5%. PR adalah perbandingan antara energi yang disuplai ke beban (Y_f) dengan energi yang seharusnya dibangkitkan oleh modul surya tanpa adanya rugi-rugi (Y_r).

System Production

Produced Energy

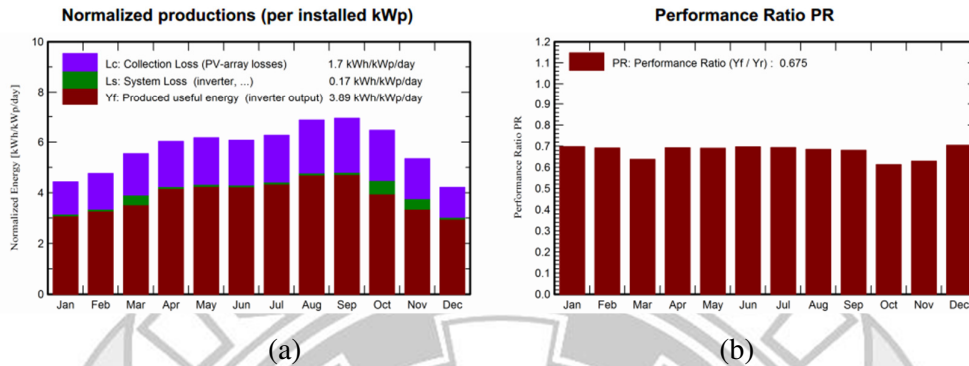
14712 kWh/year

Specific production

1420 kWh/kWp/year

Performance Ratio PR

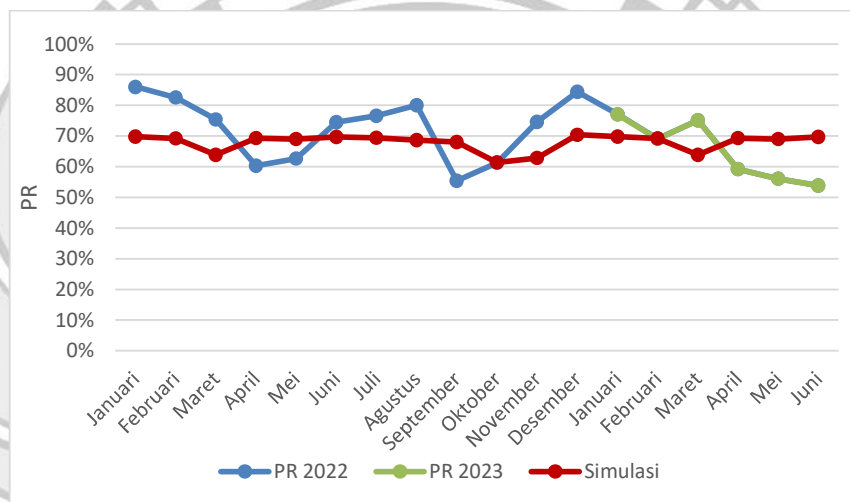
67.54 %



Gambar 4. 16 Grafik Produksi Energi Listrik & *Performance Ratio*

Gambar 4.16a menunjukkan jumlah energi tertinggi yang dapat dihasilkan oleh sistem PLTS ini terdapat pada bulan September yang disebabkan oleh tingginya intensitas radiasi matahari pada bulan September sebesar 6,83 kWh/m²/hari sedangkan jumlah energi terendah yang dapat dihasilkan oleh sistem PLTS ini terdapat pada bulan Desember yang disebabkan oleh rendahnya intensitas radiasi matahari pada bulan Maret sebesar 4,76 kWh/m²/hari. Lalu pada gambar 4.16a *performance ratio* (PR) tertinggi terdapat pada bulan Januari, Juni dan Desember dengan nilai sebesar 70% yang disebabkan oleh energi yang dihasilkan oleh sistem PLTS dapat disuplai ke beban dan PR terendah terdapat pada bulan Oktober dengan nilai sebesar 61% yang disebabkan oleh energi yang dihasilkan sistem PLTS tinggi tetapi tidak dapat disuplai ke beban.

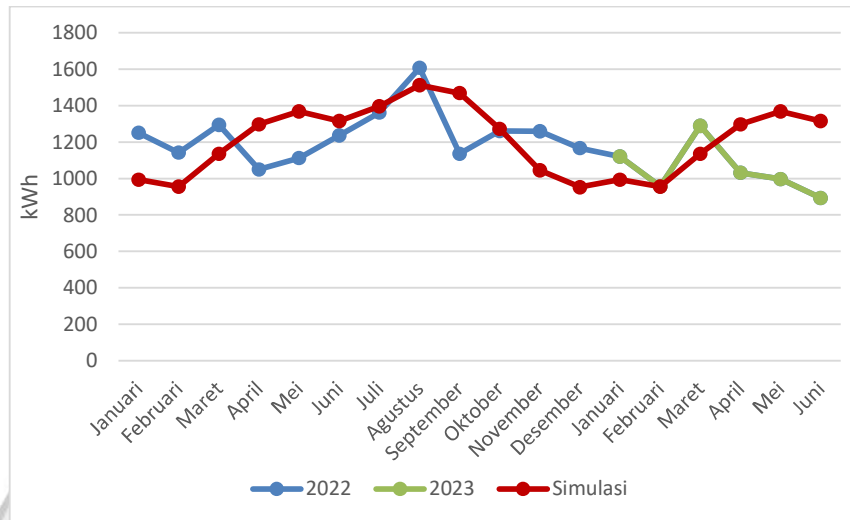
Berdasarkan nilai produksi listrik real dan hasil simulasi PVsyst dilakukan analisis total produksi dan *performance ratio*. Nilai parameter tersebut dibandingkan untuk melihat hasil unjuk kerja *performance ratio* dari sistem PLTS *on-grid* 10 kWp ini. Grafik 4.17 merupakan rincian perbandingan *performance ratio* (PR) sistem PLTS real dan hasil simulasi dan Grafik 4.18 merupakan rincian perbandingan dari total produksi energi real dan hasil simulasi PVsyst.



Gambar 4. 17 Grafik Perbandingan Performance Ratio Real & Simulasi PLTS On-Grid Packer dari Januari 2022 - Juni 2023

Berdasarkan hasil simulasi PVSyst diperoleh Performance Ratio (PR) sebesar 67,5% seperti pada gambar 4.15. Penurunan energi produksi dari PLTS Packer Tonasa V berdampak pada rendahnya PR yang disebabkan oleh pengaruh *shading* yang terdapat pada PLTS, kebersihan permukaan modul surya, lokasi geografis, kondisi cuaca, serta kualitas sistem PLTS yang digunakan.

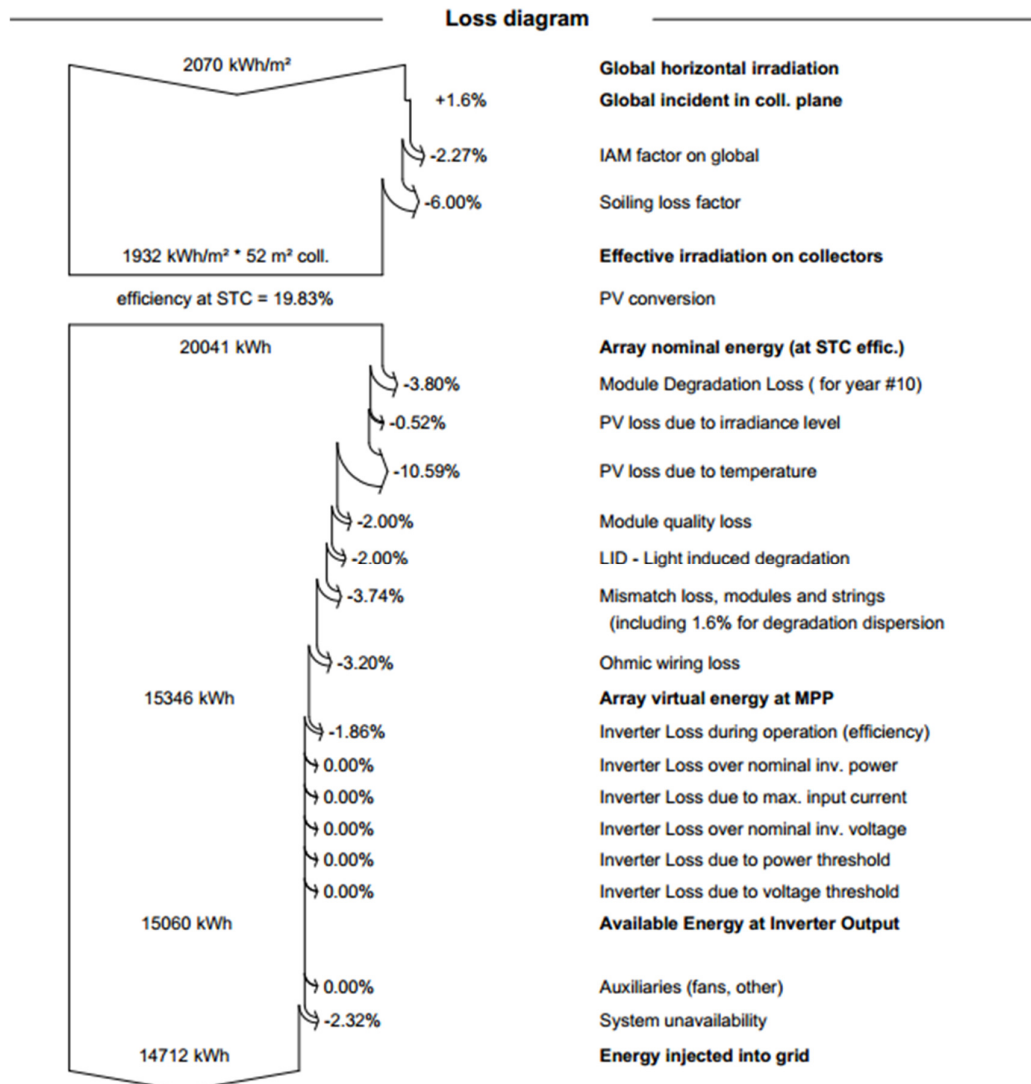
Untuk simulasi menggunakan data NASA-SSE, nilai rata-rata PR pada tahun 2022 memiliki selisih 5% yang merupakan hasil simulasi PVSyst sebesar 68% terhadap kondisi real sebesar 73 % seperti yang terlihat pada lampiran 5 tabel 5.3.



Gambar 4. 18 Grafik Perbandingan Total Produksi Energi PLTS & Simulasi *On-Grid Packer* dari Januari 2022 - Juni 2023

Berdasarkan hasil simulasi PVSyst diperoleh total produksi energi PLTS dalam setahun sebesar 14172 kWh/year seperti pada gambar 4.16, sementara hasil real yang diperoleh sebesar 14879,2 kWh/year. Selisih total produksi energi PLTS dalam setahun sebesar 168,2 kWh yang merupakan hasil simulasi PVSyst terhadap kondisi real seperti yang terlihat pada lampiran 5 tabel 5.2.

Terjadinya kondisi fluktuatif terhadap energi produksi yang dihasilkan dari PLTS Packer Tonasa V berdampak pada rendahnya PR dan pengaruh *losses* pada PLTS *packer*. Adapun detail *losses* yang dihasilkan PLTS *packer* ada pada gambar 4.19.



Gambar 4. 19 Diagram alir rugi-rugi PLTS Packer Tonasa V

Rugi-rugi modul surya yang dipengaruhi perbedaan tingkat intensitas radiasi matahari sebesar 0,52%, rugi-rugi modul surya yang dipengaruhi oleh suhu lingkungan sebesar 10,15%, rugi-rugi modul surya yang umumnya menyimpang dari spesifikasi sebesar 2%, rugi-rugi ketidakcocokan sebesar 3,74%, rugi-rugi instalasi kabel sebesar 3,20%. Rugi-rugi inverter selama pengoperasian (efisiensi) sebesar 1,86%.

Berdasarkan simulasi PVsyst secara umum hasilnya tidak terlalu jauh dengan dengan nilai real dari PLTS *packer*. Analisis kinerja yang dilakukan dapat disimpulkan energi produksi secara real sebesar 14879.2 kWh/tahun dan nilai *performance ratio* sebesar 72% pada tahun 2022. Sementara berdasarkan simulasi PVsyst dengan data NASA-SSE energi produksi dapat dioptimalkan hingga sebesar 14711 kWh/tahun dan nilai *performance ratio* sebesar 68% dengan mengatur orientasi azimuth modul sebesar 0° pada kemiringan 10° .



BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil perhitungan dari analisis maka didapatkan kesimpulan sebagai berikut :

- 1) Kontribusi energi listrik dari PLTS pada unit *packer* berkisar antara 23 - 41% selama periode Januari 2022 – Juni 2023, suplai energi listrik terbesar ada pada bulan Agustus 2022 dengan nilai 41%, hal tersebut dipengaruhi oleh besarnya total kWh yang dihasilkan pada bulan tersebut sedangkan kontribusi terendah berada pada bulan Juni 2023 dengan nilai 23%.
- 2) Keandalan PLTS *On-Grid* yaitu nilai EAF, kestabilan tegangan, dan frekuensi grid. Nilai tegangan yang dihasilkan cukup stabil yang berkisar antara 342 - 399 Volt dan masuk dalam standar IEEE std 241 “*Recommended Practice for Electric Power System in Commercial Buildings*”. Kemudian frekuensi yang dihasilkan dalam batas toleransi yang berkisar antara 50,13 – 50,25 Hz dan masuk dalam Standar Nasional Indonesia (SNI) 04-1922-2002. Selain itu, faktor suatu keandalan PLTS adalah *Equivalent Availability Factor* (EAF) yang menunjukkan rata-rata nilai *availability* yang tinggi secara keseluruhan. Pada tahun 2022 mencapai 98% dan pada periode Januari - Juni tahun 2023 mencapai sebesar 100%.
- 3) Efisiensi Sistem PLTS pada unit *packer* berkisar antara 9 - 15% selama periode Januari 2022 – Juni 2023. Efisiensi Sistem PLTS *Packer* terbesar yaitu pada bulan Agustus 2022 dengan nilai 15% sedangkan yang terendah

berada pada bulan September 2022 dengan nilai 9%. Hal tersebut dipengaruhi oleh rata-rata produksi yang dihasilkan tiap bulan dan nilai iradiasi matahari. Sedangkan Faktor Kapasitas pada unit *packer* berkisar antara 12 - 22%, Faktor Kapasitas terbesar yaitu pada bulan Agustus 2022 dengan nilai sebesar 22% sedangkan yang terendah berada pada bulan Juni 2022 dengan nilai 12%, dipengaruhi oleh energi yang dihasilkan tiap bulannya dan daya yang terpasang pada PLTS.

5.2 Saran

Hasil penelitian mengenai kinerja sistem pembangkit listrik tenaga surya *on-grid* 10 kWp pada mesin *packer* pabrik Tonasa V, dapat disarankan sebagai berikut.

1. Saran bagi Peneliti Selanjutnya

Hasil penelitian ini diharapkan dapat dijadikan sebagai bahan rujukan bagi peneliti selanjutnya dalam menganalisis atau mengevaluasi kinerja PLTS pada suatu industri. Namun, diharapkan nilai ekonomi dari sistem PLTS *packer* juga dapat dihitung.

2. Saran bagi Perusahaan

Pembersihan panel surya dilakukan secara rutin dengan menggunakan alat khusus untuk membersihkan panel surya serta menggunakan jasa profesional untuk pembersihan. Dengan perawatan yang baik dan benar, panel surya dapat lebih awet dan memiliki performa yang maksimal.

DAFTAR PUSTAKA

- Ambabunga, Yusri. 2020. *Peningkatan Efisiensi Kerja Motor Induksi 3 Phasa (Pengujian Karakteristik Motor Induksi 3 Phasa)*. Dalam *Jurnal Dynamic Saint*. Jilid V Nomor 01 Edisi Oktober 2020.
- Carmo de Lima, Lutero, dkk. 2017. *Performance analysis of a grid connected photovoltaic system in northeastern Brazil*. Brazil: Article in Energy for Sustainable Development
- Christian, Dandy. 2022. *Sinyal Pemulihan Ekonomi, Konsumsi Listrik Nasional Naik 8,42 Persen pada Triwulan I 2022*. Press Release No. 206.PR/STH.00.01/IV/2022. (Online), (<https://web.pln.co.id/>), diakses 1 Januari 2023.
- Haposan, Thommi. 2008. “*Perbaikan Tingkat Kesiapan Pembangkit pada PT. X dengan Metode Benchmarking*”. Tesis. Jakarta: Universitas Indonesia.
- Iqbal, Muhammad. 2021. *Analisa Pengujian Tegangan Dan Arus Pada Keluaran Car Radiator Motor Sebagai Pembangkit Energi Listrik Alternatif*. Tugas Akhir. Medan: Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
- Li, Chong. 2018. *Comparative Performance Analysis of Grid-Connected PV Power Systems with Different PV Technologies in the Hot Summer and Cold Winter Zone*. China: Hindawi International Journal.
- Marion, B. et all. 2005. *Performance Parameters for Grid-Connected PV Systems*. National Renewable Energy Laboratory Conference Paper, February 2005
- Misbahuddin. 2021. *Analisis Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya Off Grid menggunakan Software pvsyst 7.2.0 Pada Stasiun Pengisian Sepeda Listrik Teknik Elektro Universitas Brawijaya*. Skripsi. Malang: Universitas Brawijaya.
- Nurjaman, Hendi Bagja dan Trisna Purnama. *Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Sebagai Solusi Energi Terbarukan Rumah Tangga*. Dalam *Jurnal Edukasi Elektro*. Volume 06, No. 02, November 2022, page 136 – 142. Universitas Sangga Buana.
- Pido, Rifaldo dan Muhammad Rifai. 2019. *Analisa Pengaruh Kenaikan Temperatur Permukaan Solar Cell Terhadap Daya Output*. Gorontalo Journal of Infrastructure & Science Engineering vol 2 (2): 24-30 p-ISSN: 2615-6962 dan e-ISSN: 2614-4638.

- Qodir, Ahmad Abdul. 2015. *CF Pada Pembangkit*. (Online), (<https://aabdulqodir.wordpress.com/2015/05/02/cf-pembangkit/>), diakses 9 Januari 2023.
- Sari, Ajeng Purnama. 2014. *Pengukuran Karakteristik Sel Surya*. Bandung: UIN Sunan Gunung Djati.
- Setiawan, I K Agus, dkk. 2014. *Analisis Unjuk Kerja Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Satu Mwp Terinterkoneksi Jaringan Di Kayubih, Bangli*. Vol. 13 No. 1 Januari - Juni 2014
- Subroto, Didik. 2002. *Studi kualitas daya listrik di PT. Indo Acidatama Chemical Industry, Karanganyar, Solo*. Surabaya : Pusat Penelitian Universitas Kristen Petra.
- Suhendar. 2022. *Dasar – Dasar Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya*. Banten: Media Edukasi Indonesia.
- Teguh Wibowo Aji, Catur, dkk. 2014. *Studi tentang Sistem Kerja Paralel Generator Sinkron 471 MVA pada PLTU UBP Suralaya, Serang, Banten*. Yogyakarta : Jurnal Elektrikal Vol.1 No.2.
- Winasis., Rosadi, I., Sarijiya., Wahyunggoro, O. 2014. *Evaluasi Unjuk Kerja Sistem Photovoltaic 12 kWp Pada Pembangkit Listrik Hibrida Surya-Angin Pantai Baru Bantul*. Prosiding Seminar 13 Nasional Teknik 2014 p.114-118.
- Yuliananda, Subekti, Gede Surya, and RA Retno Hastijanti. 2015. *Pengaruh Perubahan Intensitas Matahari Terhadap Daya Keluaran Panel Surya. Dalam Jurnal Pengabdian Masyarakat*. Vol. 01 No. 02: 193-202.





Lampiran 1 Data Pengamatan (*iSolar Cloud*)

1.1 Total hasil daya sampai bulan Juni 2023

2023-06 Laporan Statistik							
Statistik Pembangkit Listrik							
Hasil Bulan Berjalan	893.1 kWh	Total Hasil	21.73 MWh	Pengurangan CO ₂ Bulan Ini	890.421 kg	Total pengurangan CO ₂	21,665 kg

1.2 Data energi perbulan tahun 2021 dan 2022

HARI	2021						2022						
	DESEMBER	JANUARI	FEBRUARI	MARET	APRIL	MEI	JUNI	JULI	AGUSTUS	SEPTEMBER	OKTOBER	NOVEMBER	DESEMBER
	kWh (PV)												
1		28.4	37.6	58.8	17.9	40.3	51.6	53.5	45.5	71	47.1	38.6	28.8
2		36.1	47.4	23.2	47.9	35.3	51.8	55.9	46	35.7	38.4	52	48.8
3		47.7	19.7	61.7	49.9	40	34.9	31.4	59.8	49.3	33.3	49.9	55.5
4		26.3	60.9	54.6	34.6	39.5	38.8	43.1	53.2	56	45.1	32.3	23.2
5		49.3	46.6	38.5	46	21.3	43.5	43.3	64	46.2	34.6	30.4	58.7
6		47.3	32.2	23.6	51.9	30.5	51.5	54.4	59.3	55.3	22.8	38.9	57
7		35.3	36.1	38.8	33.1	22.2	22.1	42.6	28.3	46.2	54.5	25.4	62.9

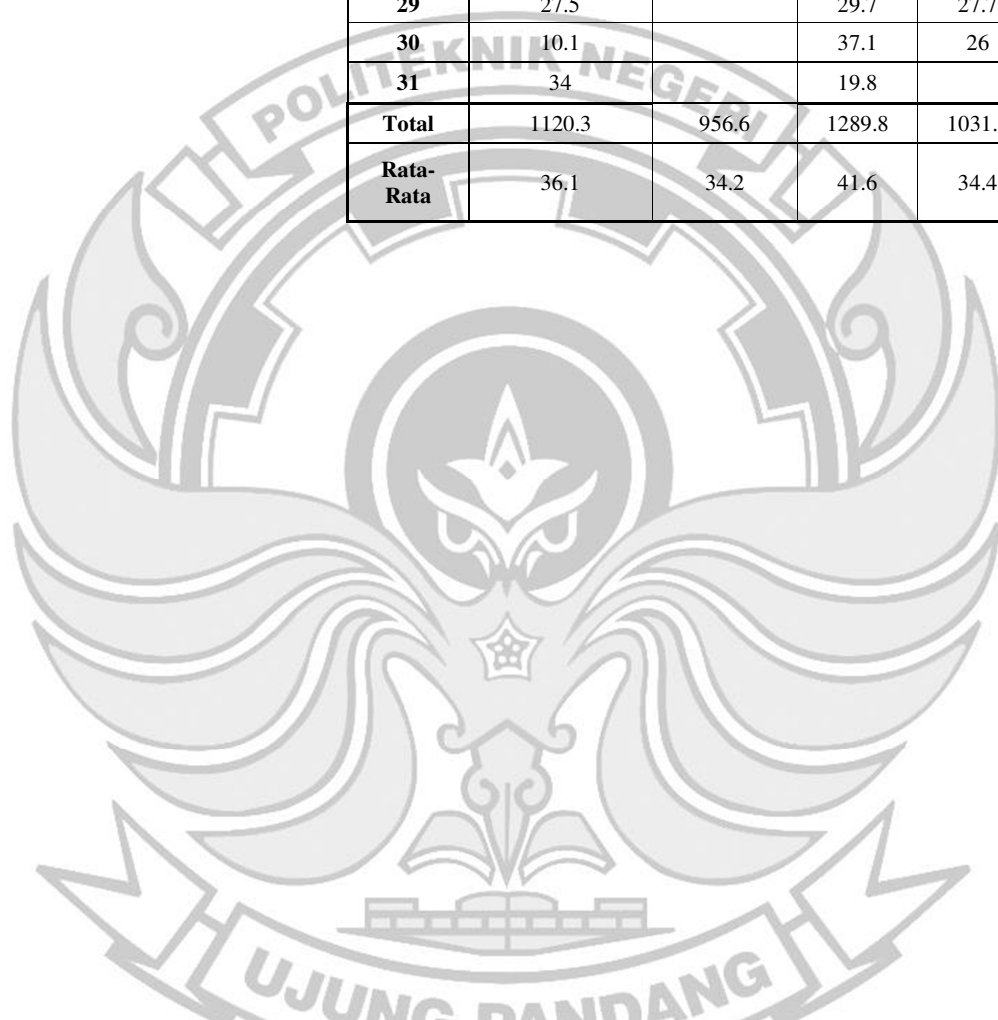
8		50.5	61	56.7	0	25.3	43.7	31.6	42.7	36.6	48	43.3	58.3
9		49.8	32.3	53.6	10	22.5	42.9	28.5	47.6	49.8	31.1	32.6	52.8
10		55.1	31.6	65.4	44.2	22.3	49.4	34.1	47.9	50.8	30.1	36.9	56.9
11		53.4	45.2	52.9	54	28.5	46.3	53.9	38.4	58.9	35.4	42.2	35.7
12		38.6	18.1	56.4	52.1	38	40.6	44.8	41.9	63.9	32	39	42.6
13		53	41.9	18.9	51.8	30.2	36.8	32	39.8	47.9	53.4	55.5	42
14		27.9	53.1	39.8	45.2	34.5	34.6	27.7	51.2	69	28	59.1	40.7
15	0.9	33	30.2	27.7	27.2	37.5	32.1	41.1	65.7	32.9	42.3	25.8	30.8
16	39.2	45.3	38.7	35.2	29.5	14.2	36.2	56.9	59.1	61.3	25.8	46.5	31.6
17	56	44.5	50.9	45.8	29.2	23.8	37	47	45.4	55.9	26.8	63.6	16.1
18	61	18	40.4	54.2	36.2	44.3	24.6	34.6	56.1	53	33.5	8.4	27.2
19	37.2	10	63.3	20.4	29.9	34.2	43.7	38.2	59.3	0	31.9	36	41.1
20	34.7	17.1	28.7	35.7	39	59.6	56.5	41.1	68	0	60.3	24.1	43.4
21	27.5	8.6	19.2	45.3	35	45	55.4	37.2	44.4	0	40.8	61.3	58.1
22	29.8	31.1	13.5	25.6	37.5	52.4	36.2	47.3	65.1	0	25.7	53.9	42.4
23	23.8	44	21.7	36.2	25	51.7	31	53.7	68.3	0	55.3	38.4	5.1
24	45.6	52.3	57.5	54.9	27.5	41.5	44.5	54.9	43.6	0	59.1	46.4	9
25	32.7	48.1	45.7	47.3	25.3	34.9	41.8	61.7	25.8	0	56.6	47.3	35.8
26	24.7	58.3	59.6	53	27.1	31.7	52.7	29.6	65.1	0	44.9	54.1	29.7
27	23	52.3	46.7	32.8	38.9	14.7	31.9	61.4	43.8	65	32.5	26.5	23.4
28	30.5	36.1	62.8	16.8	31.5	47	53.1	60.1	68.5	42.3	32.2	63.5	16.3
29	35	59.2		41.8	37.9	50.6	45.5	63	62.5	43.2	43	45.5	13.7
30	25.9	56.2		32.8	33.8	44.5	25.6	31.5	44	45.5	54.6	42.7	21.5
31	35.5	38.1		46.3		54.7		26.3	57		61.7		57.5
Total	563	1250.9	1142.6	1294.7	1049.1	1112.7	1236.3	1362.4	1607.3	1135.7	1260.8	1260.1	1166.6
Rata-Rata	33.1	40.4	40.8	41.8	35.0	35.9	41.2	43.9	51.8	37.9	40.7	42.0	37.6



1.3 Data energi perbulan tahun 2023

HARI	2023					
	JANUARI	FEBRUARI	MARET	APRIL	MEI	JUNI
	kWh (PV)					
1	51.7	32.4	22.7	33.8	44.8	28.8
2	47.7	22.6	49.2	35.8	40.4	22.6
3	9.8	32.1	47.9	40	44.8	26.3
4	4.7	59.3	31.5	18.2	12.4	24.3
5	8.1	58.5	35	21.2	28.8	31.6
6	26.8	50.2	27	46.3	41.7	36.4
7	44.2	59.4	42.1	17.3	40.2	41.4
8	31.1	25.4	61	30.1	13	44.5
9	18.2	32.7	54.9	27.6	25.4	26.3
10	28.8	21.6	66.6	21	20.3	26.8
11	61.8	31.7	65.5	28.9	29.4	6
12	47.6	23.7	44.8	37.2	39	31.2
13	51	5.5	43.6	48.2	38.4	21.3
14	43.4	17.8	49	28.3	34.8	33.7
15	47.7	24	45.6	47.6	20.2	44
16	53.3	24.8	49.3	22.8	21.6	44.4
17	55	31.5	53.9	38.3	36.7	19.5
18	22.8	31.3	48	36.8	36.4	29.4
19	32.1	40.2	39.5	40	35.6	24.2

20	55.6	40.3	35.3	39.3	27.5	33.3
21	51.6	27.4	48.5	41.6	31.5	48.8
22	37.3	29.5	35.4	47.8	34.1	35.5
23	33.8	37	52.4	39.3	23.1	27
24	35.4	45	26.2	49.8	33.3	41.1
25	50.1	29.4	28.3	39.7	35.3	28.8
26	31.4	23.9	34.9	34.3	36.3	18.2
27	40.5	49.7	40.4	34.3	37.8	23.4
28	27.2	49.7	24.7	32.3	37.9	17.3
29	27.5		29.7	27.7	32.9	32.5
30	10.1		37.1	26	36.7	24.5
31	34		19.8		26.2	
Total	1120.3	956.6	1289.8	1031.5	996.5	893.1
Rata-Rata	36.1	34.2	41.6	34.4	32.1	29.8



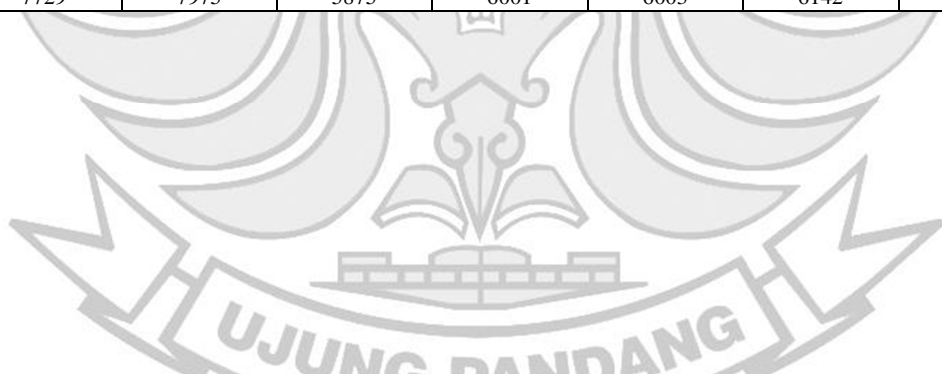
1.4 Data daya aktif dan daya DC perbulan tahun 2021 dan 2022

HARI	2021		2022							
	DESEMBER		JANUARI		FEBRUARI		MARET		APRIL	
	Total Daya Aktif (kW)	Total Daya DC (kW)	Total Daya Aktif (kW)	Total Daya DC (kW)	Total Daya Aktif (kW)	Total Daya DC (kW)	Total Daya Aktif (kW)	Total Daya DC (kW)	Total Daya Aktif (kW)	Total Daya DC (kW)
1	--	--	9974	10279	10437	10789	9903	10235	9083	9278
2	--	--	11032	11396	10967	11307	8962	9337	10605	10965
3	--	--	11019	11357	9505	9751	10987	11363	8302	8519
4	--	--	6402	6564	10465	10828	11001	11478	10246	10527
5	--	--	11019	11366	11029	11498	11017	11364	10450	10782
6	--	--	11035	11369	8333	8555	11009	11297	10254	10586
7	--	--	7581	7791	11019	11373	10303	10606	9805	10037
8	--	--	11040	11400	10635	10885	1103	11357	0	0
9	--	--	11040	11438	10855	11210	1071	11069	8079	8285
10	--	--	11026	11394	11039	11369	9942	10257	9059	9088
11	--	--	10612	10981	11019	11366	11006	11351	8489	8904
12	--	--	10281	10579	6474	6714	10782	11128	7968	8191
13	--	--	11011	11358	11026	11367	8611	8907	7861	8086
14	--	--	10886	11217	11025	11420	10996	11284	8887	9088
15	1949	2003	1101	1128	11016	11321	10988	11280	8401	8648
16	10597	1092	11031	11315	10991	11353	11046	11462	8677	8885
17	10121	10445	11011	11328	11016	11318	11024	11383	7418	7619
18	10906	11263	5216	5347	11016	11288	10365	10746	7997	8156
19	9709	10129	5538	5645	0	11065	8048	8232	8105	8373
20	11.058	11.425	8880	9156	10075	10422	9905	10445	8182	8433
21	7.371	7.563	3280	3397	5243	5267	9965	10304	7881	8044
22	5474	5624	10433	10511	8745	8966	10301	10627	9220	9504
23	7871	7988	11032	11367	5017	5162	10993	11333	7450	7699
24	11033	11374	10995	11324	11004	11352	9626	9930	9572	9837



25	11013	11319	11026	11309	10989	11293	10464	10758	8469	8690
26	8135	8406	10505	10803	10883	11228	1011	10433	8764	9002
27	6665	6861	9099	9296	10990	11341	9688	9935	616	652
28	7586	7768	11017	11328	11023	11603	4206	4307	9007	9307
29	1102	11363	10659	11041			10942	11260	7544	7651
30	7118	7433	10898	11198			7631	7857	7286	7472
31	11001	11371	11027	11402			9044	9319		
Rata-Rata	8436.9	8159.4	9571.2	9851.1	10068.0	10407.5	9094.8	10343.4	8402.7	8631.3

2022									
MEI		JUNI		JULI		AGUSTUS		SEPTEMBER	
Total Daya Aktif (kW)	Total Daya DC (kW)	Total Daya Aktif (kW)	Total Daya DC (kW)	Total Daya Aktif (kW)	Total Daya DC (kW)	Total Daya Aktif (kW)	Total Daya DC (kW)	Total Daya Aktif (kW)	Total Daya DC (kW)
7797	8033	8415	8668	11026	11381	10993	11396	10802	11186
7045	7096	8650	8901	9680	10021	10140	10437	11025	1135
6757	6908	10739	11245	10207	10529	11038	11335	11038	11409
6608	6817	11017	11373	10737	11092	10991	11329	11023	11296
5969	6143	11004	11363	11013	11386	10611	10947	9589	9848
7721	7904	9926	10252	10995	11319	11012	11367	11025	11377
7303	7498	8752	8957	11028	11390	10881	11300	11045	11402
7965	8187	9131	9405	8228	8445	11002	11338	1103	11371
7753	7948	8291	8581	7766	7990	11033	11386	11037	11390
5960	5962	10701	11036	8320	8568	11009	11337	11057	11409
7393	7529	1069	1108	11015	11415	9940	10241	1104	11378
6933	7114	10481	10845	11025	11355	11022	11377	11046	11414
5965	6099	997	10221	10227	10528	9754	10121	11013	11381
10662	10992	10991	11298	6631	6793	11018	11364	11045	11438
6993	7226	10984	11362	10763	11121	9794	10130	8781	9060
2917	3012	10933	11262	9921	10186	11022	11334	1096	11300
9165	9446	11	11291	11011	11322	10889	11205	11016	11406
7729	7975	5875	6001	6003	6142	11014	11356	11031	11376



9284	9547	11051	11410	11028	11401	10736	11060	0	--
11046	11454	10288	10626	11024	11335	9972	10303	0	--
10782	11102	10416	10743	1102	1137	11030	11365	0	--
10041	10394	11018	11320	11036	11345	10672	10993	0	--
10464	10813	9831	10458	11043	11414	10068	10405	0	--
11008	11328	1103	11383	1103	11435	11019	11310	0	--
11007	11336	11029	11402	10173	10485	8313	8482	0	--
10405	10683	10948	11321	11044	11369	10836	11139	0	--
5634	5765	9728	9944	10382	10660	11038	11383	11012	11351
10024	10350	10996	11365	11027	11364	10617	11061	11028	11348
11018	11387	11002	11395	10986	11307	11021	11395	10961	11293
11019	11377	11015	11303	898	8991	11046	11378	11017	11292
8563	8829			9248	9487	11033	11387		
8352.6	8588.8	9185.6	10194.6	9215.8	10087.5	10663.4	10998.7	9495.2	10720.9

2022					
OKTOBER		NOVEMBER		DESEMBER	
Total Daya Aktif (kW)	Total Daya DC (kW)	Total Daya Aktif (kW)	Total Daya DC (kW)	Total Daya Aktif (kW)	Total Daya DC (kW)
11031	11425	10976	11348	10933	11307
11030	11389	10994	11366	10988	11284
11013	11381	10990	11272	10730	11064
11001	11384	8435	8709	11008	11252
11017	11256	10095	10419	10206	10551
10198	10198	10979	11350	10668	10993
11037	11565	10289	10585	10233	10534
11045	11578	10998	11272	9373	9687
7792	7940	11006	11398	11005	11262
11014	11333	10856	11189	10262	10643
10643	11023	11021	11334	11008	11303

10959	11332	9729	10062	11005	11364
10369	10678	10383	10762	11016	11231
10010	10327	11011	11425	11030	11378
10806	11257	11002	11356	11038	11391
10995	11270	11039	11370	9194	9395
10661	10993	11019	11399	6016	6184
10999	11290	3656	3783	9527	9834
10992	11308	9321	9630	10971	11308
9317	9645	6825	6897	11040	11385
10855	11130	9742	10033	11036	11373
11036	11349	10853	11186	11023	11318
10988	11353	7575	7743	1768	1770
11002	11405	11044	11373	2777	2819
11030	11370	11038	11353	1016	1016
11026	11368	10317	10656	8534	8785
11013	11334	6559	6735	10544	10684
8562	8756	1044	1072	5182	5292
10512	10853	11040	11370	10995	11241
10190	10523	11025	11384	7393	7565
11015	11394			11022	11359
10618.0	10948.6	9695.4	9994.4	9307.8	9566.8



1.5 Data daya aktif dan daya DC perbulan tahun 2023

2023											
JANUARI		FEBRUARI		MARET		APRIL		MEI		JUNI	
Total Daya Aktif (kW)	Total Daya DC (kW)	Total Daya Aktif (kW)	Total Daya DC (kW)	Total Daya Aktif (kW)	Total Daya DC (kW)	Total Daya Aktif (kW)	Total Daya DC (kW)	Total Daya Aktif (kW)	Total Daya DC (kW)	Total Daya Aktif (kW)	Total Daya DC (kW)
11012	11311	7098	7321	8662	8894	11030	11329	8293	8500	6472	6639
8584	8818	10990	11265	11019	11350	10922	11497	8088	8333	7388	7863
3365	3458	9813	10125	11017	11394	10236	10464	8968	9190	5907	6097
2404	2448	10515	10754	9109	9353	5866	6010	9353	9603	6702	6914
2416	2477	10976	11410	10865	11172	4553	4653	8605	8772	6819	6988
8466	8778	11007	11285	6894	7043	9846	10105	7376	7569	7645	7926
11035	11360	11034	11302	11024	11352	6739	6872	8359	8535	6881	7039
11034	11340	7587	7730	11023	11363	10552	10846	1048	1072	7751	7953
4834	4972	7372	7577	11040	11352	8866	9095	7412	7835	9116	9362
7028	7123	5524	5642	11019	11362	6263	6382	7649	7824	6616	6789
11024	11342	7554	7927	11043	11361	10564	10764	8363	8535	5382	5529
10259	10586	7813	7813	11029	11306	9456	9660	6523	6653	8619	8845
11042	11366	2228	2274	10790	11042	8941	9177	7800	8016	7334	7523
10104	10383	9723	9735	9824	10096	7402	8015	7153	7377	8399	8645
11016	11277	6412	6528	11059	11449	10176	10437	7430	7556	8962	9165
11001	11314	11042	11288	11021	11335	4804	4912	7839	8047	7964	8167
10575	10930	11007	11267	10812	11123	10468	10744	7675	7836	6862	6958
10228	11352	11008	11325	11005	11326	10756	11059	6315	6420	8678	8893
9399	9500	11035	11371	11030	11286	9009	9245	6284	6433	8727	8911
11027	11340	11035	11470	10165	10447	8766	8968	6437	6552	8932	9189
10164	10440	9408	9464	10463	10752	9238	9480	6436	6596	8872	9114
10995	11280	11001	11265	10723	11008	8104	8333	6612	6755	10031	10322
11000	11300	8149	8327	9500	9746	9870	10143	5657	5781	8375	8485



8592	8822	11028	11360	10384	10639	9403	9683	7620	7775	9614	9907
5779	5886	11024	11296	10117	10414	10534	10768	9323	9581	8762	9013
10600	10855	6518	6599	9858	10169	9335	9558	7319	7511	9381	9576
11037	11367	11038	11368	10082	10324	10477	10735	7440	7626	9513	9770
11011	11304	10997	11215	7055	7206	10105	10335	6357	6507	4264	4390
5608	5745			6855	6967	11053	11259	7702	7936	8355	8546
3098	3168			11007	11293	9184	9411	7466	7651	7597	7747
10241	10537			7853	7853			6577	6800		
8838.0	9102.5	9283.4	9510.8	10108.0	10379.9	9083.9	9331.3	7273.5	7273.5	7457.3	8075.5



1.6 Data tegangan 3 fasa & frekuensi grid perbulan

Jam	2022					2023				
	Tegangan Fasa A (V)	Tegangan Fasa B (V)	Tegangan Fasa C (V)	Tegangan 3 Fasa	Frekuensi Grid	Tegangan Fasa A (V)	Tegangan Fasa B (V)	Tegangan Fasa C (V)	Tegangan 3 Fasa	Frekuensi Grid
Januari	220,37	221,09	222,02	383,06	50,13	219,916	220,228	220,933	381,67	50,21
Februari	221,28	221,63	222,33	384,07	50,20	220,934	221,201	221,816	383,33	50,21
Maret	221,63	221,78	222,52	384,47	50,22	221,511	221,852	222,405	384,38	50,17
April	221,31	221,55	222,11	383,92	50,19	221,021	221,450	222,155	383,72	50,21
Mei	221,40	221,56	222,30	384,09	50,21	220,863	221,265	222,323	383,62	50,19
Juni	219,62	219,78	220,49	380,99	50,22	215,8	216,309	216,982	374,75	50,19
Juli	221,55	221,83	222,43	384,40	50,25	--	--	--	--	--
Agustus	221,39	221,73	222,11	384,07	50,22	--	--	--	--	--
September	221,26	221,65	222,12	383,95	50,22	--	--	--	--	--
Oktober	220,77	221,08	221,81	383,16	50,17	--	--	--	--	--
November	221,25	221,48	222,22	383,91	50,19	--	--	--	--	--
Desember	221,00	221,29	222,02	383,54	50,20	--	--	--	--	--



Lampiran 2 Data Hasil Perhitungan

Tabel 2.1 Faktor Kapasitas PLTS pada unit Packer

BULAN	2021		2022		2023	
	CF perbulan	CF pertahun	CF perbulan	CF pertahun	CF perbulan	CF pertahun
Januari	--	7.6%	17%	17.0%	15%	14.5%
Februari	--		17%		14%	
Maret	--		17%		17%	
April	--		15%		14%	
Mei	--		15%		13%	
Juni	--		17%		12%	
Juli	--		18%		--	
Agustus	--		22%		--	
September	--		16%		--	
Oktober	--		17%		--	
November	--		18%		--	
Desember	8%		16%		--	

Tabel 2.2 Parameter Kinerja PLTS Packer Tonasa V

BULAN	2021			2023			2023		
	Yf	Yr	PR	Yf	Yr	PR	Yf	Yr	PR
Januari	--	--	--	4.0	4.7	0.9	3,6	4,7	77%
Februari	--	--	--	4,1	4,9	0,8	3,4	4,9	69%
Maret	--	--	--	4,2	5,5	0,8	4,2	5,5	75%
April	--	--	--	3,5	5,8	0,6	3,4	5,8	59%
Mei	--	--	--	3,6	5,7	0,6	3,2	5,7	56%
Juni	--	--	--	4,1	5,5	0,7	3,0	5,5	54%
Juli	--	--	--	4,4	5,7	0,8	--	--	--
Agustus	--	--	--	5,2	6,5	0,8	--	--	--
September	--	--	--	3,8	6,8	0,6	--	--	--
Oktober	--	--	--	4,1	6,6	0,6	--	--	--
November	--	--	--	4,2	5,6	0,7	--	--	--
Desember	3,3	4,5	74%	3,8	4,5	0,8	--	--	--
Rata-Rata pertahun	3,3	4,5	74%	4,1	5,7	72%	3,5	5,4	65%

Tabel 2. 3 Hasil Perhitungan Data Harian 28 Mei 2023

Jam	Radiasi (H)	Photovoltaic		Daya Aktif (W)	η_{PV}	η_{INV}
	W/m ²	Ppv (W)	Pin (H x A)			
06.00	3,5	0	213,0	0	0	0
06.30	68	143	4138,5	125	3,0%	87%
07.00	153	304	9311,6	265	2,8%	87%
07.30	234	417	14241,2	385	2,7%	92%
08.00	342,2	477	20826,3	466	2,2%	98%
08.30	456,2	2485	27764,3	2404	8,7%	97%
09.00	843,3	3581	51323,3	3555	6,9%	99%
09.30	981,2	4299	59715,8	4234	7,1%	98%
10.00	961,6	4354	58523,0	4244	7,3%	97%
10.30	1004	5421	61103,5	5291	8,7%	98%
11.00	970,6	5777	59070,7	5670	9,6%	98%
11.30	1003	6092	61042,6	5954	9,8%	98%
12.00	1007	6374	61286,0	6202	10,1%	97%
12.30	1004	6164	61103,5	6031	9,9%	98%
13.00	989,6	5969	60227,1	5829	9,7%	98%
13.30	945,8	5505	57561,4	5378	9,3%	98%
14.00	919,2	5064	55942,5	4935	8,8%	97%
14.30	931,1	4553	56666,8	4451	7,9%	98%
15.00	830	3955	50513,8	3888	7,7%	98%
15.30	650,6	1301	39595,5	1271	3,2%	98%
16.00	739,8	2114	45024,2	2073	4,6%	98%
16.30	417,8	1381	25427,3	1351	5,3%	98%
17.00	500	426	30430,0	422	1,4%	99%
17.30	245,8	376	14959,4	362	2,4%	96%
18.00	0	0	0	0	0%	0%
Rata-Rata		2991,4	39439,8	3327,5	8,4%	90%

Tabel 2.4 Efisiensi Sistem PLTS pada unit Packer

BULAN	2021		2022		2023	
	Efisiensi Sistem PLTS perbulan	Efisiensi Sistem PLTS pertahun	Efisiensi Sistem PLTS perbulan	Efisiensi Sistem PLTS pertahun	Efisiensi Sistem PLTS perbulan	Efisiensi Sistem PLTS pertahun
Januari		12.2%	14%	12.0%	13%	10.7%
Februari			14%		11%	
Maret			12%		12%	
April			10%		10%	
Mei			10%		9%	
Juni			12%		9%	
Juli			13%			
Agustus			15%			
September			9%			
Oktober			10%			
November			12%			
Desember	12%		14%			

Tabel 2.5 Efisiensi Inverter PLTS pada unit Packer

BULAN	2022		2023	
	Efisiensi Inverter perbulan	Efisiensi Inverter pertahun	Efisiensi Inverter perbulan	Efisiensi Inverter pertahun
Januari	97%	94.2%	97%	97.43%
Februari	94%		98%	
Maret	88%		97%	
April	94%		97%	
Mei	97%		98%	
Juni	88%		97%	
Juli	91%			
Agustus	97%			
September	92%			
Oktober	97%			
November	97%			
Desember	97%			

Tabel 2.6 Kontribusi PLTS pada unit Packer Sistem PLTS On-Grid 10 kWp

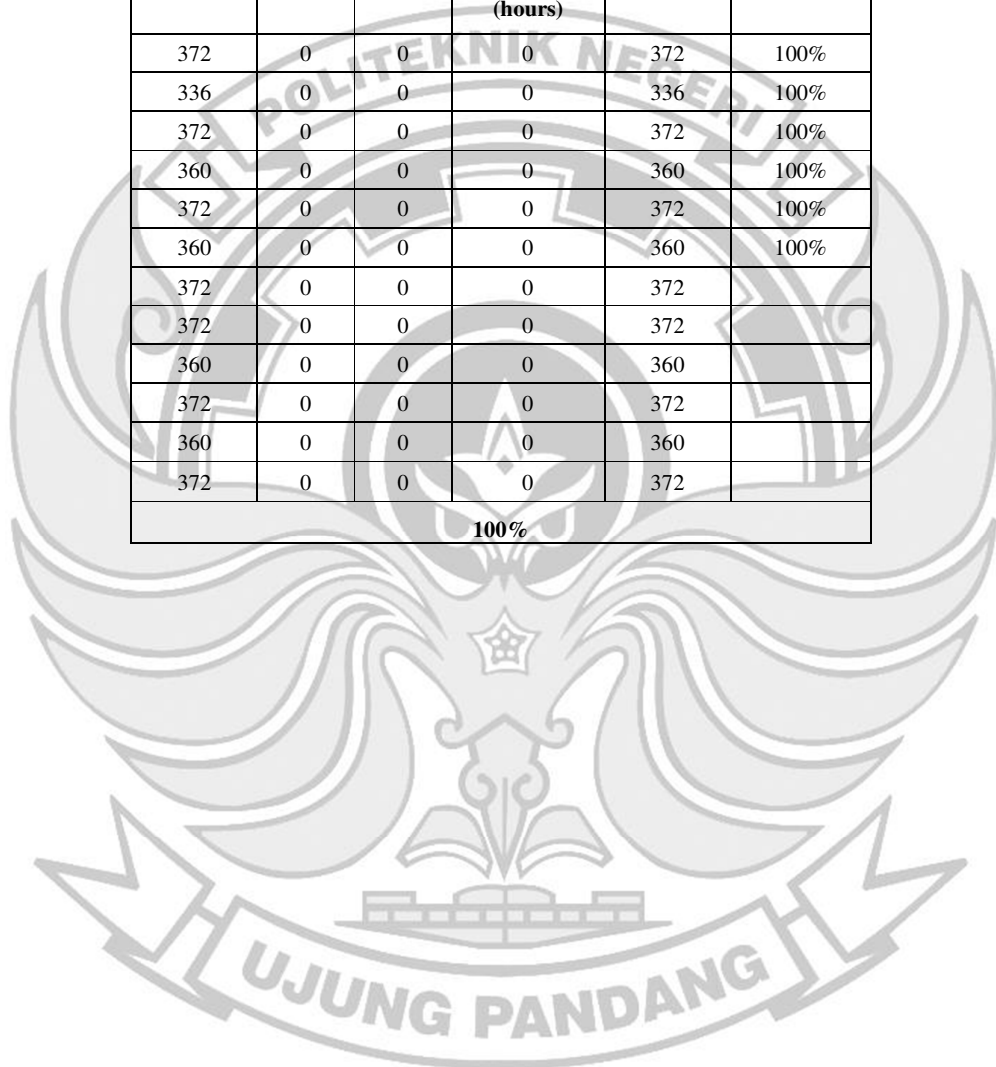
BULAN	2021		2022		2023	
	Kontribusi PLTS pada unit Packer perbulan	Kontribusi PLTS pada unit Packer pertahun	Kontribusi PLTS pada unit Packer perbulan	Kontribusi PLTS pada unit Packer pertahun	Kontribusi PLTS pada unit Packer perbulan	Kontribusi PLTS pada unit Packer pertahun
Januari		14.2%	32%	31.8%	28%	27.1%
Februari			32%		27%	
Maret			33%		33%	
April			27%		27%	
Mei			28%		25%	
Juni			32%		23%	
Juli			34%			
Agustus			41%			
September			30%			
Oktober			32%			
November			33%			
Desember	14%		29%			

Tabel 2.7 Hasil Perhitungan *Equivalent Availability Factor (EAF)* 2022

BULAN	2022					
	Plan Operating (hours)	Plan Outage (hours)	Stand By (hours)	Forced Outage by Maintenance and Operation (hours)	Operating Hour (hours)	Equivalent Availability Factor (EAF)
Januari	372	0	0	0	372	100%
Februari	336	0	0	0	336	100%
Maret	372	0	0	0	372	100%
April	360	0	0	12	348	97%
Mei	372	0	0	0	372	100%
Juni	360	0	0	0	360	100%
Juli	372	0	0	0	372	100%
Agustus	372	0	0	0	372	100%
September	360	0	0	96	264	73%
Oktober	372	0	0	0	372	100%
November	360	0	0	0	360	100%
Desember	372	0	0	0	372	100%
Rata-Rata	98%					

Tabel 2.8 Hasil Perhitungan Equivalent Availability Factor (EAF) 2023

2023					
Plan Operating (hours)	Plan Outage (hours)	Stand By (hours)	Forced Outage by Maintenance and Operation (hours)	Operating Hour (hours)	Equivalent Availability Factor (EAF)
372	0	0	0	372	100%
336	0	0	0	336	100%
372	0	0	0	372	100%
360	0	0	0	360	100%
372	0	0	0	372	100%
360	0	0	0	360	100%
372	0	0	0	372	
372	0	0	0	372	
360	0	0	0	360	
372	0	0	0	372	
360	0	0	0	360	
372	0	0	0	372	
100%					



Lampiran 3 Spesifikasi Komponen PLTS

Hi-MO 4m

LR4-72HPH 430~460M

21.2%
MAX MODULE
EFFICIENCY

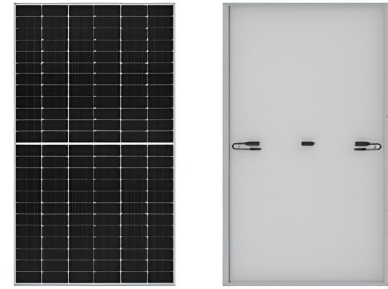
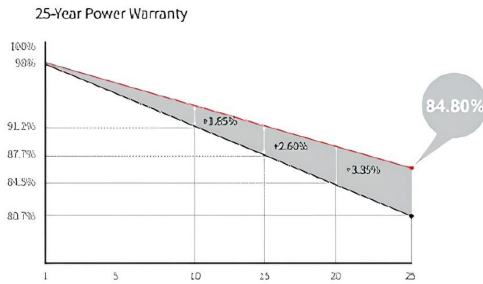
0~+5W
POWER
TOLERANCE

<2%
FIRST YEAR
POWER DEGRADATION

0.55%
YEAR 2-25
POWER DEGRADATION

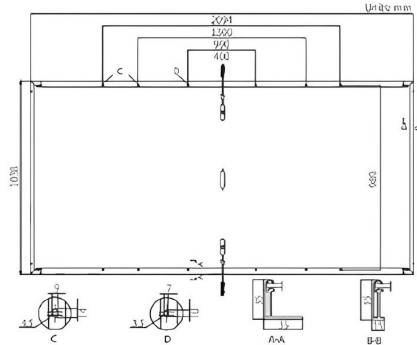
HALF-CELL
Lower operating temperature

Additional Value



Mechanical Parameters

Cell Orientation	144 (6×24)
Junction Box	IP68, three diodes
Output Cable	4mm ² , +400, -200mm/±1400mm length can be customized
Glass	Single glass, 3.2mm coated tempered glass
Frame	Anodized aluminum alloy frame
Weight	23.3kg
Dimension	2094×1038×35mm
Packaging	30pcs per pallet / 150pcs per 20' GP / 660pcs per 40' HC



Electrical Characteristics	STC: AM1.5 1000W/m ² 25°C				NOCT: AM1.5 800W/m ² 20°C 1m/s				Total uncertainty by for Pmax: 0.8%					
	LR4-72HPH-430M	LR4-72HPH-435M	LR4-72HPH-440M	LR4-72HPH-445M	LR4-72HPH-450M	LR4-72HPH-455M	LR4-72HPH-460M	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT	
Module Type														
Testing Condition	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT
Maximum Power (Pmax/W)	430	321.1	435	324.9	440	328.6	445	332.3	450	336.1	455	339.8	460	343.5
Open Circuit Voltage (Voc/V)	48.5	45.5	48.7	45.7	48.9	45.8	49.1	46.0	49.3	46.2	49.5	46.4	49.7	46.6
Short Circuit Current (Isc/A)	11.31	9.15	11.39	9.21	11.46	9.27	11.53	9.33	11.60	9.38	11.66	9.43	11.73	9.48
Voltage at Maximum Power (Vmp/V)	40.7	37.9	40.9	38.1	41.1	38.3	41.3	38.5	41.5	38.6	41.7	38.8	41.9	39.0
Current at Maximum Power (Imp/A)	10.57	8.47	10.64	8.53	10.71	8.59	10.78	8.64	10.85	8.70	10.92	8.75	10.99	8.80
Module Efficiency(%)	19.8		20.0		20.2		20.5		20.7		20.0		21.2	

Operating Parameters

Operational Temperature	-40°C ~ +85°C
Power Output Tolerance	0 ~ +5 W
Voc and Isc Tolerance	±3%
Maximum System Voltage	DC1500V (IEC/UL)
Maximum Series Fuse Rating	20A
Nominal Operating Cell Temperature	45±2°C
Protection Class	Class II
Fire Rating	UL type 1 or 2

Mechanical Loading

Front Side Maximum Static Loading	5400Pa
Rear Side Maximum Static Loading	2400Pa
Hailstone Test	25mm Hailstone at the speed of 23m/s

Temperature Ratings (STC)

Temperature Coefficient of Isc	+0.048%/°C
Temperature Coefficient of Voc	-0.270%/°C
Temperature Coefficient of Pmax	-0.350%/°C

No.8369 Shangyuan Road, Xi'an Economic And
Technological Development Zone, Xi'an, Shaanxi, China.
Web: en.longi-solar.com

Specifications included in this datasheet
are subject to change without notice.
LONGI reserves the right of final
interpretation. (20210508V1.3)

SG5.0RT/SG7.0RT/SG10RT/ SG15RT/SG20RT **New**

SUNGROW
Clean power for all

Multi-MPPT String Inverter for 1000 Vdc System



HIGH YIELD

- Lower startup & wider MPPT voltage
- Compatible with bifacial modules
- Built-in PID recovery function

SMART MANAGEMENT

- Smart IV curve scanning
- 24/7 Live monitoring
- Over-the-air firmware updates

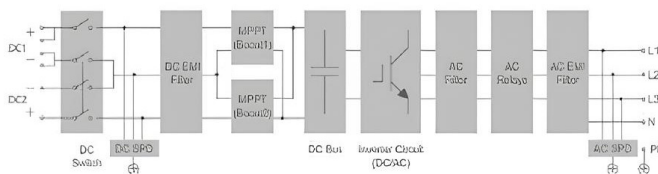
SAFE AND DURABLE

- Quick arc fault circuit interrupter
- Build-in Type II DC & AC SPD
- High anti-corrosion rating at C5

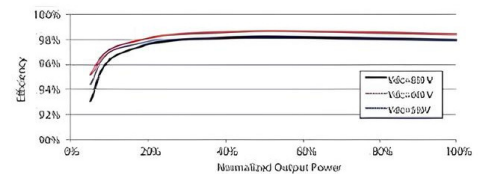
EASY AND USER FRIENDLY

- 18 kg compact design
- Unique push-in connectors
- Fast and easy commissioning via App

CIRCUIT DIAGRAM



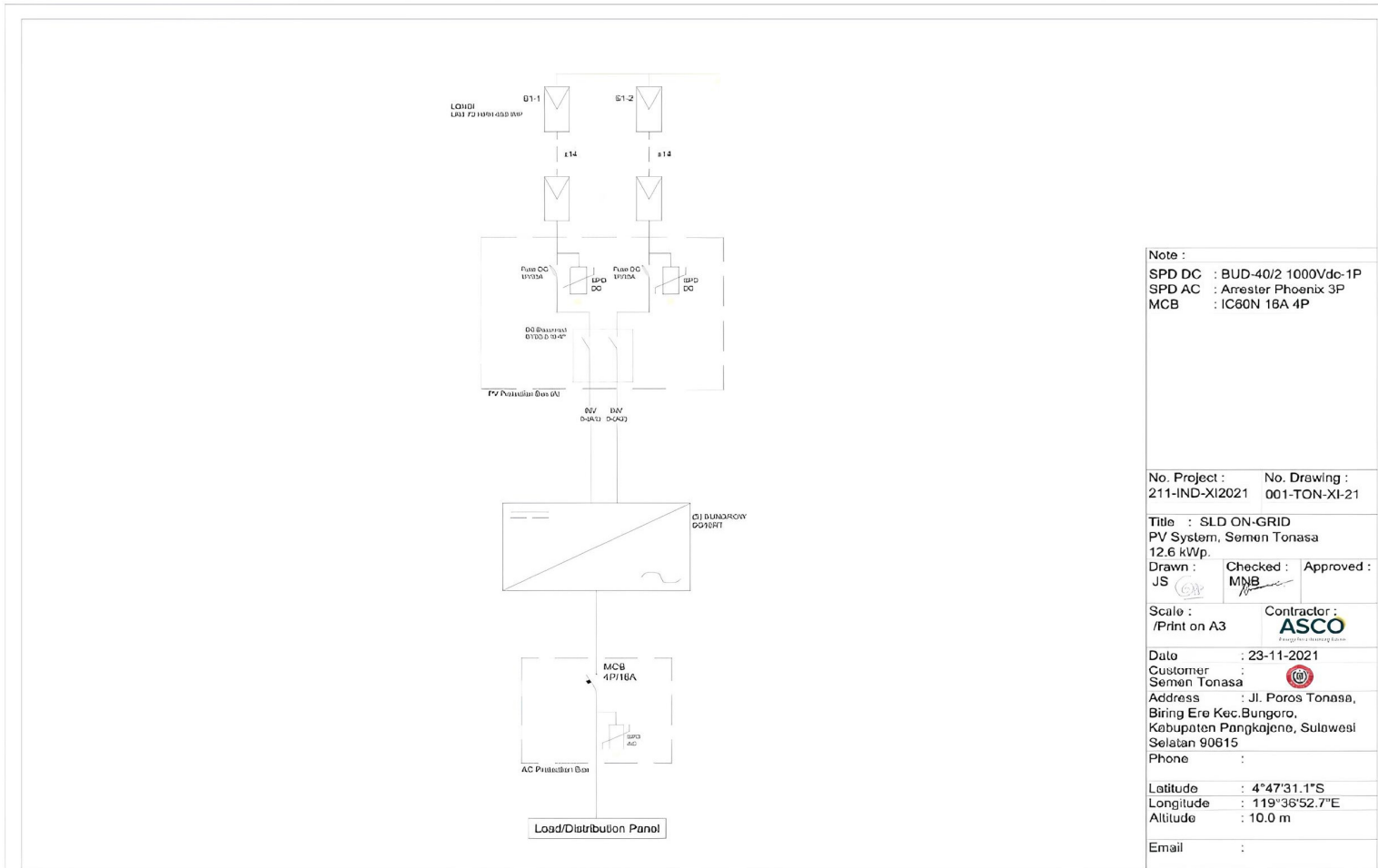
EFFICIENCY CURVE



SG5.0RT/SG7.0RT/SG10RT/SG15RT/SG20RT

Type designation	SG5.0RT	SG7.0RT	SG10RT	SG15RT	SG20RT
Input (DC)					
Recommended max. PV input power	7.5 kW	10.5 kW	15 kW	22.5 kW	30 kW
Max. PV input voltage			1100 V		
Min. PV input voltage / Start-up input voltage			180 V		
Nominal input voltage			600 V		
MPP voltage range			160 V – 1000 V		
No. of independent MPP inputs			2		
No. of PV strings per MPPT	1/1	2/1	2/1	2/2	2/2
Max. PV input current	25 A (12.5 A / 12.5 A)	37.5 A (25 A / 12.5 A)	37.5 A (25 A / 12.5 A)	50 A (25 A / 25 A)	50 A (25 A / 25 A)
Max. current for input connector			30 A		
Max. DC short-circuit current	32 A (16 A / 16 A)	48 A (32 A / 16 A)	48 A (32 A / 16 A)	64 A (32 A / 32 A)	64 A (32 A / 32 A)
Output (AC)					
Nominal AC power (@230 V, 50 Hz)	5000 W	7000 W**	10000 W	15000 W	20000 W
Max. AC output power	5500 VA*	7700 VA**	11000 VA*	16500 VA*	22000 VA*
Max. AC output current	8.3 A	11.7 A	16.7 A	25 A	31.9 A
Nominal AC voltage			3 / N / PE, 220 / 380 V 3 / N / PE, 230 / 400 V 3 / N / PE, 240 / 415 V		
AC voltage range			180 V – 276 V		
Nominal grid frequency / Grid frequency range			50 Hz / 45 – 55 Hz 60 Hz / 55 – 65 Hz		
Harmonic (THD)			<3 % (at nominal power)		
Power factor at nominal power / Adjustable power factor			>0.99 / 0.8 leading – 0.8 lagging		
Feed-in phases / AC connection			3 / 3		
Efficiency					
Max. efficiency	98.40%	98.40%	98.50%	98.50%	98.50%
European efficiency	97.40%	97.70%	97.90%	98.10%	98.10%
Protection					
Grid monitoring			Yes		
DC reverse connection protection			Yes		
AC short-circuit protection			Yes		
Leakage current protection			Yes		
Surge Protection			DC Type II / AC Type II		
DC switch			Yes		
Arc fault circuit interrupter (AFCI)			Yes		
PID recovery function			Yes		
General Data					
Dimensions (W*H*D)			370 * 480 * 195 mm		
Mounting method			Wall-mounting bracket		
Weight	18 kg	18 kg	18 kg	21 kg	21 kg
Topology			Transformerless		
Degree of protection			IP65		
Operating ambient temperature range			-25 °C to 60 °C		
Allowable relative humidity range			0% – 100%		
Cooling method	Natural cooling	Natural cooling	Natural cooling	Smart forced air cooling	Smart forced air cooling
Max. operating altitude			4000 m (> 2000 m derating)		
Noise (Typical)	35dB (A)	35dB (A)	35dB (A)	45dB (A)	45dB (A)
Display			LED		
Communication			WLAN, Ethernet, RS485, DI, DO		
DC connection type			MC4		
AC connection type			Plug and play		
Compliance			EN 61000-6-1/-3, IEC62109-2, IEC 61727, IEC 62116, AS/NZS 4777.2:2015, VDE-AR-N-4105, DIN VDE0126-1-1, CEI 0-21, EN50549-1		

Lampiran 3 Single Line Diagram PLTS Packer Tonasa V



Note :
 SPD DC : BUD-40/2 1000Vdc-1P
 SPD AC : Arrester Phoenix 3P
 MCB : IC60N 16A 4P

No. Project : 211-IND-XI2021 No. Drawing : 001-TON-XI-21

Title : SLD ON-GRID
 PV System, Semen Tonasa
 12.6 kWp.

Drawn : JS Checked : MMB Approved :
 Scale : /Print on A3 Contractor : ASCO

Date : 23-11-2021
 Customer : Semen Tonasa
 Address : Jl. Poros Tonasa,
 Biring Ere Kec. Bungoro,
 Kabupaten Pangkajene, Sulawesi
 Selatan 90815
 Phone :
 Latitude : 4°47'31.1"S
 Longitude : 119°36'52.7"E
 Altitude : 10.0 m
 Email :



Lampiran 4 Jenis Motor & Name Plat

Motor Belt Loading



Motor Travelling

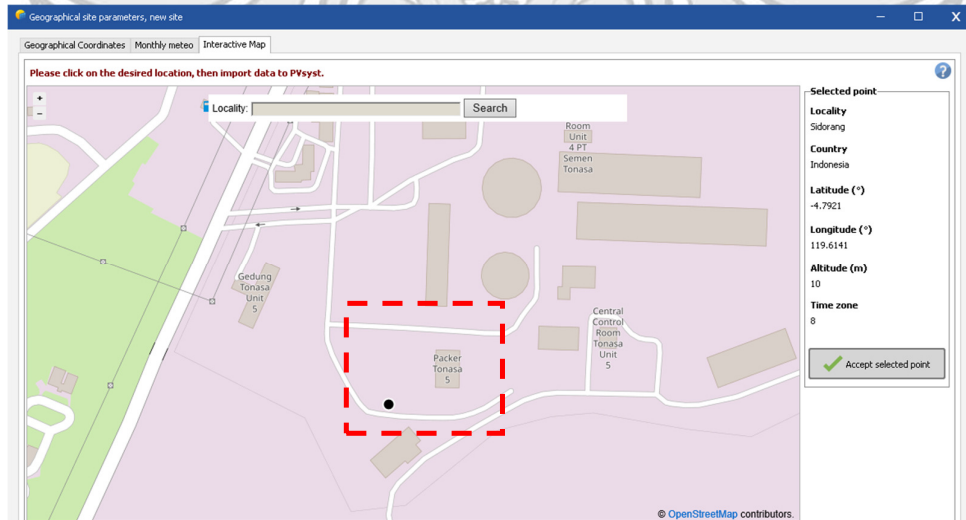


Motor Lifting



Lampiran 5 Hasil Simulasi PV System PLTS Packer Tonasa V

	Global horizontal irradiation W/m ²	Global horizontal irradiation kWh/m ² /day	Global horizontal irradiation kWh/m ² /mth	Temperature °C
January	195.4	4.69	145.4	25.9
February	205.8	4.94	138.3	26.0
March	230.8	5.54	171.7	26.0
April	241.7	5.80	174.0	26.1
May	238.8	5.73	177.6	25.9
June	230.4	5.53	165.9	25.5
July	239.2	5.74	177.9	25.2
August	270.0	6.48	200.9	25.9
September	284.6	6.83	204.9	26.6
October	276.7	6.64	205.8	26.8
November	234.6	5.63	168.9	26.3
December	185.8	4.46	138.3	25.9
Year	236.3	5.67	2069.7	26.0



Tabel 5.1 Hasil Simulasi PVsyst

Balances and main results

	GlobHor kWh/m ²	DiffHor kWh/m ²	T_Amb °C	GlobInc kWh/m ²	GlobEff kWh/m ²	EArray kWh	E_Grid kWh	PR ratio
January	145.4	76.53	25.85	137.3	125.4	1016	993	0.698
February	138.3	63.33	25.96	133.3	122.2	975	955	0.692
March	171.7	78.42	26.00	171.6	157.8	1257	1135	0.638
April	174.0	67.24	26.05	180.6	166.3	1320	1297	0.693
May	177.6	56.99	25.93	191.3	176.0	1393	1368	0.690
June	165.9	52.24	25.52	182.2	167.5	1340	1316	0.697
July	177.9	52.71	25.20	194.1	178.6	1421	1396	0.694
August	200.9	50.84	25.86	212.9	196.1	1538	1512	0.686
September	204.9	55.44	26.61	208.3	191.9	1495	1469	0.681
October	205.8	64.54	26.84	200.3	184.0	1443	1273	0.614
November	168.9	73.54	26.26	160.2	146.6	1171	1044	0.629
December	138.3	85.00	25.93	130.6	119.1	975	953	0.704
Year	2069.7	776.81	26.00	2102.7	1931.6	15346	14712	0.675

Legends

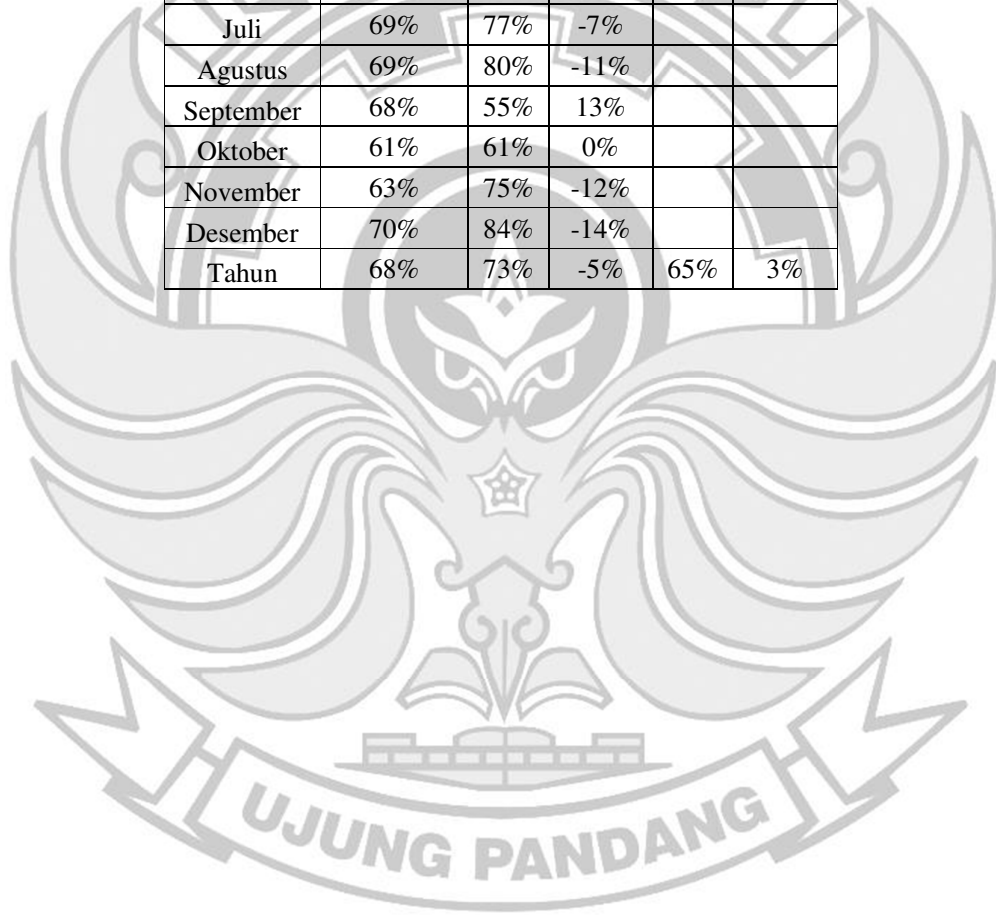
GlobHor	Global horizontal irradiation	EArray	Effective energy at the output of the array
DiffHor	Horizontal diffuse irradiation	E_Grid	Energy injected into grid
T_Amb	Ambient Temperature	PR	Performance Ratio
GlobInc	Global incident in coll. plane		
GlobEff	Effective Global, corr. for IAM and shadings		

Tabel 5.2 Perbandingan Hasil Total Produksi Energi PLTS *On-Grid* Packer dari Januari 2022 - Juni 2023

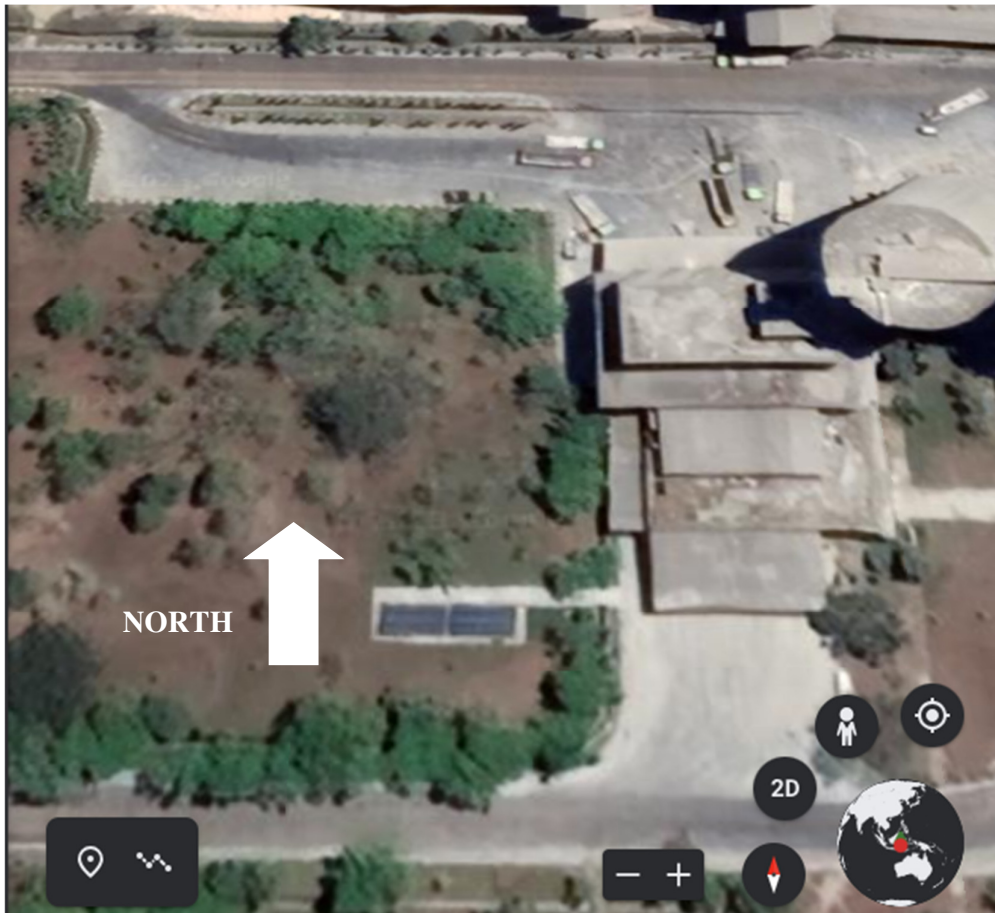
BULAN	Simulasi	2022		2023	
		Real	Selisih	Real	Selisih
Januari	993	1250.9	-257.9	1120.3	-1378.2
Februari	955	1142.6	-187.6	956.6	-1144.2
Maret	1135	1294.7	-159.7	1289.8	-1449.5
April	1297	1049.1	247.9	1031.5	-783.6
Mei	1368	1112.7	255.3	996.5	-741.2
Juni	1316	1236.3	79.7	893.1	-813.4
Juli	1396	1362.4	33.6		
Agustus	1512	1607.3	-95.3		
September	1469	1135.7	333.3		
Oktober	1273	1260.8	12.2		
November	1044	1260.1	-216.1		
Desember	953	1166.6	-213.6		
Tahun	14711	14879.2	-168.2	6287.8	8423.2

Tabel 5.3 Perbandingan *Performance Ratio* PLTS *On-Grid* Packer dari Januari 2022 - Juni 2023

BULAN	Simulasi	2022		2023	
		Real	Selisih	Real	Selisih
Januari	70%	86%	-16%	77%	-7%
Februari	69%	83%	-13%	69%	0%
Maret	64%	75%	-12%	75%	-11%
April	69%	60%	9%	59%	10%
Mei	69%	63%	6%	56%	13%
Juni	70%	75%	-5%	54%	16%
Juli	69%	77%	-7%		
Agustus	69%	80%	-11%		
September	68%	55%	13%		
Oktober	61%	61%	0%		
November	63%	75%	-12%		
Desember	70%	84%	-14%		
Tahun	68%	73%	-5%	65%	3%



Lampiran 6 Arah PLTS



Lampiran 7 Surat Validasi Data Lampiran



SURAT KETERANGAN VALIDASI DATA

Yang bertanda tangan di bawah ini

Nama : Irfan
Instansi : PT. Semen Tonasa
Jabatan : Spv of Maint Switch Gear 6,3 KV

Dengan ini menyatakan bahwa data yang digunakan dalam penelitian skripsi ini adalah benar data dari PT. Semen Tonasa dan telah memenuhi validasi isi dan layak digunakan untuk penelitian dengan judul "Analisis Kinerja Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya On-Grid 10 kWp Sebagai Penggerak Mesin Packer Pada Pabrik Tonasa V" oleh peneliti:

Nama : Dinda Annisa
NIM : 44219007
Program Studi : D4 Teknik Pembangkit Energi
Jurusan : Teknik Mesin
Universitas : Politeknik Negeri Ujung Pandang

Demikian Surat Keterangan ini dibuat untuk dipergunakan sebagaimana mestinya,

Makassar, 2023

Mengetahui

Pembimbing Lapangan



Muhammad Rusdianto HN, ST., MT.
Mgr of Electrical Network Maint

Irfan
Spv of Maint Switch Gear 6,3 KV

Go
Beyond
Next

PT SEMEN TONASA
Biringere, Pangkep, Sulawesi Selatan, 90651 Telp. (410)-312-345

Lampiran 8 Dokumentasi Pengukuran Data Radiasi Matahari

