

**POTENSI PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA
(PLTS) *ON-GRID* UNTUK KEBUTUHAN
LISTRIK LABORATORIUM TEKNIK
UNIVERSITAS JAMBI**

SKRIPSI



**DANIEL DAVID
M1A120037**

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO DAN SISTEM INFORMATIKA**

**FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS JAMBI
2024**

SURAT PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa skripsi ini benar-benar karya sendiri. Sepanjang pengetahuan saya tidak terdapat karya atau pendapat yang ditulis atau diterbitkan orang lain kecuali sebagai acuan atau kutipan dengan mengikuti tata penulisan karya ilmiah yang telah lazim.

Tanda tangan yang tertera di halaman pengesahan adalah asli. Jika tidak asli, saya siap menerima sanksi sesuai dengan peraturan yang berlaku.

Jambi, 6 Juni 2024

Yang menyatakan

DANIEL DAVID

NIM. M1A120037

RINGKASAN

Permasalahan dalam penelitian ini adalah belum adanya pemanfaatan penggunaan energi baru terbarukan yaitu Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) yang diperlukan untuk mengurangi konsumsi listrik konvensional yang tinggi dan menghemat biaya tagihan listrik yang besar. Tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui besar potensi energi listrik yang dihasilkan oleh Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) sistem *On - Grid*, merencanakan PLTS sistem *On - Grid* terpusat dengan pemasangan di atas tanah dan perkiraan biaya pembangunan PLTS untuk menopang kebutuhan listrik dan mengurangi tagihan listrik dari Pembangkit Listrik Negara (PLN) di laboratorium teknik Universitas Jambi. Penelitian dilakukan dengan metode kuantitatif. Pengumpulan data dilakukan melalui teknik observasi dan dokumentasi. Pengolahan data diperoleh dengan menganalisis potensi iradiasi matahari serta memperhitungkan analisis ekonomi. Hasil dari penelitian berdasarkan luas lahan yang tersedia 640 m², menghasilkan 89.1 KWP listrik perhari, produksi tahunan mencapai 112.9 MWh, dengan *Performance Ratio* 81.3 %. Hasil simulasi iradiasi matahari yang diterima dalam setahun mencapai 1471.4 kWh/m². Modul PLTS yang digunakan berkapasitas 550 Wp sebanyak 162 Modul dengan 2 Segment. Segment 1 sebanyak 90 buah dan Segment 2 sebanyak 72 buah Panel Surya. Inverter yang digunakan berkapasitas 24 KW sebanyak 4 buah dengan kapasitas maksimum 24.1 KW. Konsep peletakan PLTS ini adalah PLTS *Ground Mounted* atau disebut dengan *fixed Tilt Racking*, pemasangan *Landscape* (Horizontal) dengan kemiringan 5 derajat dan Hasil perhitungan *Return On Investment* (ROI) 58% (Positif) dan *Payback Period* selama 18 tahun dengan dana pembangunan awal diperkirakan mencapai Rp.1.107.818.350,- .

Kata kunci : Energi, PLTS, Panel Surya, *On-Grid*.

SUMMARY

The problem in this study is that there is no utilization of the use of new renewable energy, namely Solar Power Plant which is needed to reduce high conventional electricity consumption and save the cost of large electricity bills. The purpose of this study is to determine the potential of electrical energy generated by the On-Grid Solar Power Plant system, planning a centralized On-Grid Solar Power Plant system with above-ground installation and estimating the cost of building to support electricity needs and reduce electricity bills from the State Power Plant at the Jambi University engineering laboratory. The research was conducted using quantitative methods. Data collection was done through observation and documentation techniques. Data processing is obtained by analyzing the potential of solar irradiation and calculating economic analysis. The results of the research are based on the available land area of 640 m², producing 89.1 KWP of electricity per day, annual production reaches 112.9 MWh, with a Performance Ratio of 81.3%. The simulation results of solar irradiation received in a year reached 1471.4 kWh/m². The Solar Power Plant module used has a capacity of 550 Wp as many as 162 modules with 2 segments. Segment 1 as many as 90 pieces and Segment 2 as many as 72 pieces of Solar Panels. The inverter used has a capacity of 24 KW as many as 4 pieces with a maximum capacity of 24.1 KW. The concept of laying this PLTS is PLTS Ground Mounted or called fixed Tilt Racking, Landscape (Horizontal) installation with a slope of 5 degrees and the results of the calculation of Return On Investment (ROI) 58% (Positive) and Payback Period for 18 years with initial development funds estimated at Rp.1,107,818,350, -.

Keywords : *Energy, Solar Power Plant, Solar Panel, On-Grid.*

**POTENSI PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA
(PLTS) *ON-GRID* UNTUK KEBUTUHAN
LISTRIK LABORATORIUM TEKNIK
UNIVERSITAS JAMBI**

S K R I P S I

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh Gelar
Sarjana pada Program Studi Teknik Elektro



**DANIEL DAVID
M1A120037**

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO DAN SISTEM INFORMATIKA**

**FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS JAMBI
2024**

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi dengan Judul **POTENSI PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA (PLTS) ON-GRID UNTUK KEBUTUHAN LISTRIK LABORATORIUM TEKNIK UNIVERSITAS JAMBI** yang disusun **DANIEL DAVID, NIM: M1A120037** telah dipertahankan di depan tim penguji pada tanggal 8 Mei 2024 dan dinyatakan lulus.

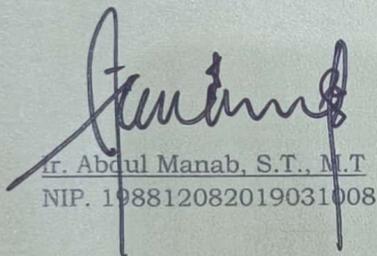
Susunan Tim Penguji

Pembimbing : 1. Ir. Abdul Manab, S.T., M.T
2. Andre Rabiula, S.Kom., M.Eng.

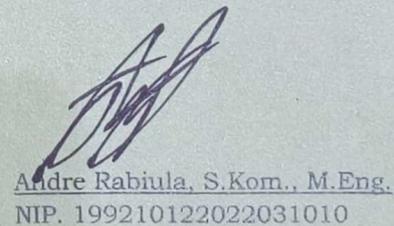
Penguji : 1. Nehru, S.Si., M.T.
2. Dasrinal Tessel, S.T., M.T.
3. Ir. Yosi Riduas Hais, S.ST., M.T.

Disetujui :

Pembimbing Utama


Ir. Abdul Manab, S.T., M.T
NIP. 198812082019031008

Pembimbing Pendamping

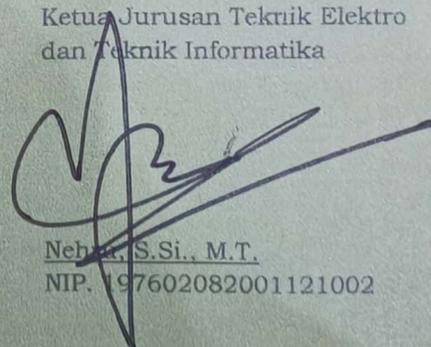

Andre Rabiula, S.Kom., M.Eng.
NIP. 199210122022031010

Diketahui :

Dekan Fakultas Sains dan Teknologi
Universitas Jambi


Drs. Jefri Marzal, M.Sc., DIT
NIP. 196808021993031004

Ketua Jurusan Teknik Elektro
dan Teknik Informatika


Nehru, S.Si., M.T.
NIP. 197602082001121002

RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Pandan Jaya pada tanggal 8 Juni 2002. Penulis merupakan anak ke-2 (dua) dari 3 (tiga) bersaudara, dari pasangan Bapak Herbin Simanullang dan Ibu Respita Sitorus. Penulis menyelesaikan pendidikan di SD Negeri 76/IX Mendalo Darat Muaro Jambi pada Tahun 2014. Kemudian dilanjutkan dengan pendidikan SMP Xaverius 2 Kota Jambi lulus tahun 2017 dan penulis melanjutkan pendidikan di SMK Negeri 3 Kota Jambi lulus pada tahun 2020. Pada tahun yang sama penulis diterima sebagai Mahasiswa Universitas Jambi di Fakultas Teknik, Program Studi Teknik Elektro yang sekarang telah bergabung dengan Fakultas Sains dan Teknologi, melalui jalur SMMPTN Barat.

Penulis pernah mengikuti kegiatan kerja praktik (KP) yang dilaksanakan di PLTU TELUK SIRIH dibawah bimbingan Bapak Dasrinal Tessel, S.T.,M.T. Dalam penulisan skripsi Bapak Ir. Abdul Manab, S.T., M.T. sebagai pembimbing utama dan Bapak Andre Rabiula, S.Kom,. M.Eng. sebagai pembimbing pendamping dengan judul **POTENSI PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA (PLTS) ON-GRID UNTUK KEBUTUHAN LISTRIK LABORATORIUM TEKNIK UNIVERSITAS JAMBI.**

PRAKATA

Puji dan syukur Penulis panjatkan atas kehadiran Tuhan Yang Maha Kuasa karena atas berkat dan rahmat-Nya Penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan judul **“POTENSI PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA (PLTS) ON-GRID UNTUK KEBUTUHAN LISTRIK LABORATORIUM TEKNIK UNIVERSITAS JAMBI”**. Skripsi ini di susun guna untuk memenuhi sebagai syarat memperoleh gelar Sarjana Teknik jenjang Strata Satu (S1). Penulis menyadari bahwa terselesainya skripsi ini dengan bantuan berbagai pihak yang telah memberikan arahan materi dan masukan selama penyusunan skripsi ini. Dengan segala kerendahan hati penulis mengucapkan terima kasih kepada kedua orang tua saya serta keluarga atas doa, dukungan, semangat dan kasih sayang yang telah diberikan. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada pihak – pihak yang terkait :

1. Bapak Drs. Jefri Marzal M.Sc., DIT selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Jambi.
2. Bapak Nehru, S.Si., M.T., selaku ketua Jurusan Teknik Elektro dan Sistem Informasi.
3. Bapak Ir. Abdul Manab, S.T., M.T. selaku Koordinator Program Studi Teknik Elektro Universitas Jambi, dosen pembimbing akademik dan dosen pembimbing skripsi pertama yang telah memberikan bimbingan serta arahan kepada penulis.
4. Bapak Andre Rabiula, S.Kom., M.Eng. selaku dosen pembimbing skripsi kedua yang telah memberikan bimbingan serta arahan kepada penulis.
5. Bapak dan Ibu Dosen Universitas Jambi Khususnya Jurusan Teknik Elektro dan Informatika yang telah memberikan ilmu dan pengetahuan yang bermanfaat bagi penulis
6. Teman - teman Angkatan 2020 Teknik Elektro yang banyak membantu dan memberi dukungan kepada penulis.

Dengan segala kerendahan hati, penulis berharap agar Skripsi ini dapat bermanfaat bagi seluruh pembaca dan tidak di salah gunakan.

Jambi, 6 Juni 2024

DANIEL DAVID

NIM. M1A120037

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN PENGESAHAN.....	i
RIWAYAT HIDUP.....	ii
PRAKATA.....	iii
DAFTAR ISI.....	iv
DAFTAR GAMBAR.....	vi
DAFTAR TABEL.....	vii
DAFTAR LAMPIRAN.....	viii
I. PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4 Tujuan Penelitian.....	4
1.5 Manfaat Penelitian.....	4
II. TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Penelitian Terdahulu.....	5
2.2 Perencanaan.....	8
2.3 Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS).....	8
2.3.1 Prinsip kerja PLTS.....	9
2.3.2 Bentuk Pengoperasian PLTS.....	9
2.3.3 Posisi Pemasangan.....	12
2.3.4 Desain Sistem PLTS.....	13
2.3.5 PLTS <i>On - Grid</i>	14
2.3.6 Komponen Utama Pembangkit Listrik Tenaga Surya <i>On - Grid</i>	14
2.3.7 Komponen Pendukung Pembangkit Listrik Tenaga Surya.....	19
2.4 <i>Software Global Solar Atlas</i>	20
2.5 <i>Software Helioscope</i>	21
2.5.1 Cara penggunaan <i>Software Helioscope</i>	22

2.6 Validasi Data.....	23
2.7 Analisis Ekonomi.....	24
2.7.1 Biaya Pemeliharaan dan Operasional	24
2.7.2 Total Investasi PLTS.....	25
2.7.3 Perhitungan <i>Return On Investment</i> (ROI)	25
2.7.4 <i>Payback Period</i>	25
III. METODOLOGI PENELITIAN	26
3.1 Tempat dan Waktu Pelaksanaan	26
3.2 Alat dan bahan Penelitian	26
3.3 Metode Penelitian	26
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN.....	29
4.1 Hasil	29
4.1.1 Data Luas Lahan Kosong.....	29
4.1.2 Data Iradiasi Matahari	30
4.1.3 Desain Perencanaan	30
4.1.4 Hasil Perhitungan Validasi Data.....	34
4.1.5 Desain Perancangan PLTS Laboratorium Teknik Universitas Jambi	35
4.1.6 Rencana Anggaran Biaya (RAB)	38
4.2 Pembahasan.....	42
4.2.1 Perbandingan Hasil Validasi Data	42
4.2.2 Analisis Biaya Ekonomi.....	43
V. KESIMPULAN DAN SARAN	46
5.1 Kesimpulan	46
5.2 Saran	46
DAFTAR PUSTAKA	47
LAMPIRAN	49

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Prinsip Kerja PLTS	9
2. PLTS <i>On - Grid</i>	10
3. PLTS <i>Off - Grid</i>	11
4. PLTS <i>Hybrid</i>	12
5. PLTS <i>Ground Mounted</i>	12
6. PLTS <i>Rooftop</i>	13
7. PLTS Terapung.....	13
8. Skema sistem <i>PLTS On-Grid</i>	14
9. Panel <i>Monocrystalline</i>	15
10. Panel <i>Polycrystalline</i>	16
11. Inverter <i>On - Grid</i>	17
12. kWh Meter EXIM.....	17
13. PV <i>Combiner Box</i>	18
14. <i>Power House</i> PLTS.....	18
15. <i>Moulded Case Circuit Breaker (MCCB)</i>	19
16. <i>Box Panel</i> Listrik	19
17. Kabel Listrik.....	20
18. <i>Software Global Atlas</i>	21
19. <i>Software Helioscope</i>	22
20. Gedung Laboratorium Teknik Universitas Jambi.....	26
21. Diagram Alir Penelitian.....	27
22. Desain Gedung Laboratorium Teknik Universitas Jambi	29
23. Hasil Simulasi <i>Software Helioscope</i>	31
24. Desain tata letak panel surya	31
25. <i>Field Segments</i> Desain PLTS pada <i>software Helioscope</i>	33
26. <i>Single Line Diagram</i> PLTS	34
27. Kerangka PLTS.....	35
28. Desain PLTS dengan kemiringan 5°	36
29. Desain <i>Power House</i>	37
30. <i>Wiring Diagram</i> PLTS	38

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Penelitian Terdahulu.....	5
2. Data Luas Lahan Kosong.....	30
3. Data Iradiasi Matahari Menggunakan <i>Software Global Solar Atlas</i>	30
4. Hasil Simulasi Produksi Tahunan.....	32
5. Rencana Anggaran Biaya Bahan.....	38
6. Biaya Jasa Pekerjaan	41
7. Perbandingan Hasil Validasi Data.....	43

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran	Halaman
1. Pengukuran Luas Lahan Kosong	49
2. Data Iradiasi Matahari Menggunakan <i>Software Global Solar Atlas</i>	51
3. Hasil Simulasi PLTS Menggunakan <i>Software Helioscope</i>	52
4. Desain Kerangka PLTS	55
5. Desain <i>Power House</i>	56
6. <i>Single Line Diagram</i> dan <i>Wiring Diagram</i> PLTS	57
7. <i>Datasheet</i> Modul Panel Surya	59
8. <i>Datasheet</i> Inverter	60

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Energi memiliki peran sentral dalam kehidupan global saat ini. Pertumbuhan jumlah penduduk mendorong peningkatan kebutuhan energi di masyarakat. Selama ini masyarakat bergantung pada sumber energi fosil namun meningkatnya kesadaran akan dampak lingkungan mendorong pencarian sumber energi terbarukan. Potensi energi terbarukan terbesar di Indonesia terletak pada energi matahari, didukung oleh posisi geografis yang berada di garis khatulistiwa dan iklim tropis serta memiliki potensi besar untuk mengembangkan teknologi konversi energi matahari menjadi listrik (Broto, 2016). Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) menjadi solusi yang sangat relevan untuk diterapkan di Indonesia. Potensi pengembangan PLTS di Indonesia masih sangat menjanjikan berkat letak geografisnya yang berada di garis khatulistiwa. PLTS bukan hanya sebagai sumber energi terbarukan, tetapi juga berperan krusial dalam pemenuhan kebutuhan energi, mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil yang dapat menyebabkan penipisan sumber daya dan mencemari lingkungan (Rezky, 2022).

Pemanfaatan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) menjadi salah satu solusi efisien untuk memenuhi kebutuhan energi masyarakat. Kelebihan Indonesia sebagai daerah tropis membuat penggunaan PLTS dapat dioptimalkan secara maksimal (Pambudi, 2020). Inisiatif pemerintah Indonesia tergambar dalam Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik (RUPTL) untuk periode 2021-2030, yang bertujuan sebagai pedoman manajemen energi nasional. RUPTL diimplementasikan sebagai langkah strategis dalam mengatasi tantangan dan masalah kebutuhan energi dengan memanfaatkan sumber energi baru, sejalan dengan target bauran energi dari Energi Baru Terbarukan (EBT) sebesar 23% dari total bauran energi pada tahun 2025. Berdasarkan data PLN tahun 2022, kapasitas listrik terpasang di Indonesia mencapai 44.939,88 MW dengan 6.314 unit, dan sekitar 31.328,92 MW dari total kapasitas tersebut berasal dari PLTS (PLN, 2022).

Dengan potensi energi matahari yang melimpah di Indonesia didukung oleh regulasi pemerintah, Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) menjadi salah satu implementasi penting dari pemanfaatan sumber energi terbarukan, dengan matahari sebagai sumber utama. Prinsip dasar PLTS menggunakan teknologi *photovoltaic* (PV) yang memiliki kemampuan untuk menghasilkan listrik dari sinar matahari tanpa memerlukan bantuan energi tambahan. Teknologi sel surya berperan krusial dalam proses ini, tidak hanya efisien tetapi juga tidak

memerlukan komponen mekanis. Salah satu aplikasi yang memiliki potensi besar dari teknologi sel surya adalah Solar Home System (SHS) untuk rumah tinggal. Melalui SHS, rumah dapat menghasilkan listrik untuk keperluan internal menggunakan sinar matahari, dapat beroperasi secara mandiri, atau diintegrasikan dengan sumber listrik cadangan seperti Perusahaan Listrik Negara (PLN) dengan sistem *switching* (Purnama, et al., 2008).

Dalam eksploitasinya, Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) umumnya diklasifikasikan menjadi dua jenis, yaitu sistem PLTS *On-Grid* dan sistem PLTS *Off-Grid*. Sistem PLTS *On-Grid* terkoneksi dengan jaringan distribusi yang disediakan oleh pembangkit listrik lain, seperti PLN. Karena keterhubungannya dengan jaringan listrik eksternal, sistem ini tidak memerlukan baterai untuk menyimpan cadangan listrik, sehingga tidak dapat beroperasi pada malam hari atau saat tidak terkoneksi dengan jaringan listrik luar. Sebaliknya, sistem PLTS *Off-Grid* atau yang juga dikenal sebagai *Stand Alone*, tidak terhubung dengan jaringan listrik eksternal. Sistem ini biasanya dilengkapi dengan baterai untuk menyimpan energi dan dapat menyuplai listrik saat malam hari atau saat matahari tidak bersinar (ESDM, 2020).

Dikawasan perkotaan yang sebagian besar ruangnya dipenuhi dengan bangunan-bangunan besar, memiliki potensi besar untuk dikembangkan pembangkit listrik tenaga surya. Aplikasi PLTS ini juga dapat dilakukan di kawasan perkotaan, yaitu pada gedung-gedung perkantoran, mall, hotel dan apartemen, lalu di kawasan atau kompleks perumahan, di kawasan industri seperti pada pabrik-pabrik dan di tempat-tempat lainnya seperti taman hiburan (rekreasi), museum, sekolah, universitas, rumah sakit, perpustakaan, dan lain sebagainya (Ramadhan, 2016).

Universitas Jambi (UNJA) merupakan perguruan tinggi yang berada di Jl. Jambi - Muara Bulian No.KM. 15, Mendalo Darat, Kec. Jambi Luar Kota, Kabupaten Muaro Jambi, Jambi. Perguruan tinggi pastinya membutuhkan pasokan listrik yang besar untuk memenuhi kebutuhan listrik pada bagian administrasi maupun perkuliahan. UNJA Mendalo atau yang sering disebut dengan Kampus Pinang Masak dalam perkuliahan mahasiswa tidak hanya sekedar belajar di ruangan kelas namun mahasiswa juga dilengkapi dengan fasilitas laboratorium terpadu serta laboratorium yang ada di setiap fakultas maupun di program studi. Hingga saat ini UNJA masih dalam tahap pembangunan Laboratorium Teknik yang ditargetkan selesai dan dapat digunakan pada tahun 2024. Dalam proses pembangunan laboratorium ini, penggunaan peralatan yang dibutuhkan mulai dari konsumsi daya listrik hingga biaya tagihan listrik di UNJA akan meningkat.

Lokasi laboratorium Teknik terletak di dalam Kampus Utama UNJA yang berada di Mendalo lebih tepatnya laboratorium ini terletak di belakang Fakultas Kehutanan Universitas Jambi. Berdasarkan hasil pengukuran yang dilakukan Global Solar Atlas, Kecamatan Jambi Luar Kota, Desa Mendalo Darat lebih tepatnya laboratorium Teknik Universitas Jambi memiliki tingkat iradiasi matahari sebesar 4.428 kWh/m² perhari.

Dari permasalahan diatas, penelitian ini merencanakan PLTS dengan sistem terhubung ke jaringan listrik utama (*On - Grid*) yang akan menyuplai listrik untuk laboratorium Teknik UNJA, dikarenakan laboratorium beroperasi atau puncak beban pemakaian listrik pada siang hari dan pada malam hari laboratorium hanya membutuhkan daya listrik yang kecil maka PLTS ini tidak memerlukan media penyimpanan baterai dan produksi listrik PLTS yang berlebih akan dialirkan ke jaringan PLN sebagai penghemat tagihan listrik setelah dipasangnya PLTS *On-Grid*.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan penjelasan latar belakang diatas, dapat dirumuskan permasalahan yang akan dibahas pada penelitian sebagai berikut :

1. Berapa besar potensi energi listrik yang dapat dihasilkan oleh PLTS dengan diterapkannya PLTS *On - Grid* di laboratorium Teknik.
2. Bagaimana merencanakan PLTS dengan sistem *On - Grid* terpusat dengan pemasangan di atas tanah untuk kebutuhan listrik laboratorium Teknik Universitas Jambi.

1.3 Batasan Masalah

Dalam tugas akhir ini, Untuk mencapai tujuan utama penelitian ini, masalah harus dibatasi. Batasan masalah tersebut adalah sebagai berikut :

1. Perencanaan PLTS dilakukan untuk Laboratorium Teknik Universitas Jambi.
2. Dalam penelitian ini sistem PLTS yang akan digunakan merupakan sistem *On - Grid* terpusat yang pemasangan-nya diatas tanah yang berada di lingkungan Laboratorium Teknik Universitas Jambi.
3. Kapasitas PLTS yang akan dibangun hanya berdasarkan luas lahan yang tersedia dan iradiasi matahari.
4. Dalam penelitian ini tidak membahas secara spesifik mengenai desain PLTS *On - Grid* di Laboratorium Teknik Universitas Jambi.

1.4 Tujuan Penelitian

Berikut ini adalah tujuan dari penelitian yang dilakukan :

1. Untuk mengetahui besar potensi energi listrik yang dihasilkan oleh PLTS dengan metode PLTS *On - Grid* di laboratorium Teknik Universitas Jambi.
2. Merencanakan PLTS dengan sistem *On - Grid* terpusat dengan pemasangan di atas tanah untuk kebutuhan listrik laboratorium Teknik Universitas Jambi.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang ditargetkan hasil daari pada penelitian ini :

1. Bagi Penulis, dapat menambah ilmu dan pengalaman langsung tentang perencanaan PLTS *On - Grid*
2. Bagi Pembaca, dapat memberikan informasi tentang Perencanaan dan Rencana Anggaran Biaya (RAB) pembangunan PLTS di atas tanah dengan sistem *On - Grid* terpusat untuk kebutuhan listrik Laboratorium Teknik Universitas Jambi Kampus Pinang Masak.
3. Bagi Pendidikan, Sebagai masukan atau saran bagi pihak Universitas Jambi dan Program Studi Teknik Elektro kepada mahasiswa dalam penelitian selanjutnya tentang PLTS.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terdahulu

Penelitian ini terfokus pada Potensi Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) di atas permukaan tanah, yang terintegrasi dengan jaringan listrik umum (*On - Grid*). Penelitian ini dianggap sebagai gambaran penggunaan dan efisiensi listrik di masa depan di lingkungan kampus Universitas Jambi Mendalo, Pinang Masak. Dalam penelitian ini, penulis memanfaatkan penelitian sebelumnya yang relevan dengan topik ini sebagai dasar utama. Dengan merujuk pada kajian-kajian sebelumnya, para peneliti dapat membandingkan temuan mereka dengan hasil-hasil yang telah diungkap dalam penelitian terdahulu. Adapun penelitian-penelitian terdahulu yang dapat dilihat pada tabel 1 berikut ini.

Tabel 1. Penelitian Terdahulu

Penulis dan Tahun	Judul	Keterangan
Putu Dedi Wiriastika, dkk (2022)	Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya Di Tempat Olah Sampah Setempat Werdi Guna Desa Gunaksa Kabupaten Klungkung	Penelitian ini bertujuan membuat perencanaan PLTS menggunakan sistem <i>On-Grid</i> tanpa baterai dengan pemasangan diatas tanah (<i>Ground Mounted</i>) untuk mengurangi biaya tagihan rekening listrik. Penelitian ini menggunakan metode penelitian kuantitatif. Perencanaan PLTS ini menghasilkan produksi energi selama setahun sebesar 52.955 kWh dengan total biaya investasi yang dibutuhkan sebesar Rp.580.469.095.
Renaldy Rahman, (2021)	Analisis Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya <i>Off-grid</i> Untuk Rumah Tinggal di Kota Banjarbaru	Penelitian ini bertujuan untuk merencanakan PLTS dengan Panel surya <i>monocrystalline</i> 300 WP 8 unit, <i>Solar Charge</i> <i>Controller</i> 48 V MPPT dengan arus 60 A dan daya 3200, dan

Penulis dan Tahun	Judul	Keterangan
Ganda Hartawan Sihotang (2019)	Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya Rooftop Di Hotel Kini Pontianak	perhitungan berdasarkan kebutuhan energi harian rumah tipe 45 sebesar 8.108 watt dan 2.500 watt digunakan. 1 unit daya, inverter 48 V (220Vac) yang mensuplai arus 60 A dan daya 4000 W, dan baterai VRLA 12V berkapasitas 200 Ah. Dalam Penelitian ini menggunakan metode analisis kuantitatif.
Lilia Trisyathia Quentara, Erma Suryani (2017)	Pengembangan Pembangkit Listrik Tenaga Fotovoltaik untuk Pemenuhan Kebutuhan Listrik di Daerah Terpencil Pulau	Tujuan dari penelitian ini untuk membahas PLTS yang direncanakan dengan 270 panel surya yang terpasang, masing-masing dengan output daya 443,92 Watt per hari, sehingga total daya listrik yang didapat dalam perencanaan PLTS ini menghasilkan 119.857.946 kWh per hari dengan total investasi awal sebesar Rp.1.076.367.000. Dengan menggunakan metode <i>net present</i> dalam analisis ekonominya. Dengan harga energi per kWh Rp.1.467,28 /kWh, sehingga total arus kas masuk sebesar Rp.425.130.239.
Lilia Trisyathia Quentara, Erma Suryani (2017)	Pengembangan Pembangkit Listrik Tenaga Fotovoltaik untuk Pemenuhan Kebutuhan Listrik di Daerah Terpencil Pulau	Penelitian ini membahas Pengembangan PLTS yang bertujuan untuk memenuhi kebutuhan listrik di daerah pulau Madura yang terpencil menggunakan metode

Penulis dan Tahun	Judul	Keterangan
Madura dengan Menggunakan Model Dinamika Sistem		dinamika sistem. Metode dinamika sistem pada penelitian ini digunakan untuk menganalisis sistem dengan membuat model skenario untuk mengidentifikasi faktor dan variabel apa saja yang mempengaruhi sistem. Hasil dari model skenario, total permintaan pasokan listrik di dapat dari 58 desa terpencil yang ada di pulau madura sebesar 24.935 MW dan membutuhkan biaya investasi sebesar Rp.632.812.500.000, untuk aspek ekonomi dengan <i>Payback Period</i> membutuhkan waktu 25 tahun untuk mengembalikan investasi.
S.G.Ramadhan, Ch. Rangkuti. (2016)	Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya Di Atap Gedung Harry Hartanto Universitas Trisakti	Tujuan dari penelitian ini adalah menghasilkan energi terbarukan dengan income yang baik untuk masa yang akan datang. Penelitian ini merencanakan dan merancang PLTS dengan pemasangan diatas atap (<i>rooftop</i>) pada Gedung Harry Hartanto Universitas Trisakti sebagai lahan yang digunakan untuk tempat modul panel surya. Hasil perancangan menunjukkan dari total area sebesar 855 m ² dengan menggunakan modul panel surya berkapasitas 300 WP

Penulis dan Tahun	Judul	Keterangan
		<p>sebanyak 312 buah dan inverter berkapasitas 20 kW sebanyak 5 buah. Daya yang dihasilkan dari PLTS sebesar 131.232,1 kWh per tahun dan membutuhkan investasi Rp.2.869.777.544. Data dari hasil perhitungan <i>Payback Period</i> akan tercapai selama 8 tahun 5 bulan.</p>

Berdasarkan penelitian-penelitian sebelumnya yang telah disebutkan, penulis memilih menggunakan metode yang dikembangkan oleh S.G. Ramadhan dan Ch. Rangkuti, karena metode ini secara khusus membahas Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) *On - Grid*. Sebaliknya, Putu Dedi Wiriastika menciptakan metode yang fokus pada analisis ekonomi, termasuk perhitungan biaya pemeliharaan dan operasional, total investasi PLTS, *Return On Investment* (ROI), dan periode pengembalian investasi (*payback period*).

2.2 Perencanaan

Perencanaan merupakan suatu proses yang melibatkan penetapan tujuan dan langkah-langkah yang diperlukan guna mencapai tujuan tersebut. Definisi perencanaan mencakup kegiatan terkoordinasi yang bertujuan mencapai tujuan tertentu dalam batas waktu yang telah ditetapkan. Dalam konteks perencanaan, kegiatan ini mencakup evaluasi berbagai alternatif pencapaian, analisis ketidakpastian, pengukuran sumber daya yang tersedia, penentuan arah pencapaian yang optimal, dan penyusunan rencana langkah-langkah yang dibutuhkan untuk mencapai tujuan (Pelandira, 2021).

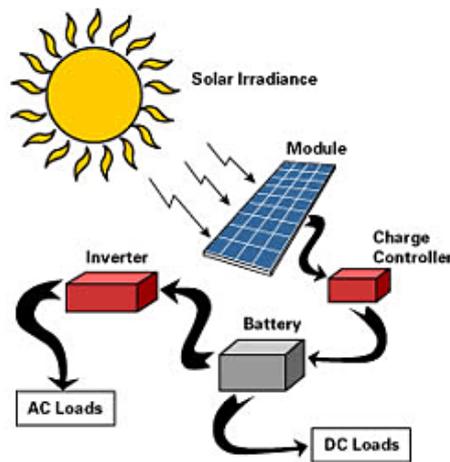
2.3 Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS)

Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) merujuk pada sistem pembangkit listrik yang mengubah energi matahari menjadi energi listrik melalui penggunaan modul fotovoltaik. Teknologi ini termasuk dalam kategori energi hijau, memberikan kontribusi sebagai sumber energi terbarukan yang efisien, efektif, handal, dan dapat memenuhi kebutuhan listrik. PLTS menjadi salah satu solusi untuk memenuhi kebutuhan energi masyarakat secara ramah lingkungan. Dengan Indonesia yang berada dalam daerah tropis, pengembangan PLTS

menjadi sangat relevan dan diharapkan dapat dilakukan secara baik dan terarah (Gifson, 2020).

2.3.1 Prinsip kerja PLTS

Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Fotovoltaik merujuk pada sistem pembangkit listrik yang memanfaatkan radiasi matahari melalui proses konversi energi oleh sel fotovoltaik. Dalam sistem fotovoltaik ini, sinar matahari diubah menjadi energi listrik. Tingkat daya listrik yang dihasilkan oleh sel fotovoltaik sangat tergantung pada intensitas radiasi matahari yang diterimanya. Semakin tinggi intensitas radiasi matahari (iradiasi) yang mencapai sel fotovoltaik, semakin besar pula daya listrik yang dihasilkan oleh sistem (KESDM, 2020). Prinsip Kerja PLTS dapat dilihat pada gambar 1 berikut.



Gambar 1. Prinsip Kerja PLTS
(Sumber : Ramadhana, 2022)

Pembangkit Listrik Tenaga Surya menghasilkan arus listrik *Direct Current* (DC) dari sinar matahari. Arus DC kemudian dapat diubah menjadi arus *Alternating Current* (AC). Pada dasarnya, PLTS adalah pembangkit listrik yang dapat digunakan secara mandiri maupun hybrid untuk memenuhi kebutuhan listrik skala kecil hingga besar. (Ramadhan, *et al.*, 2016).

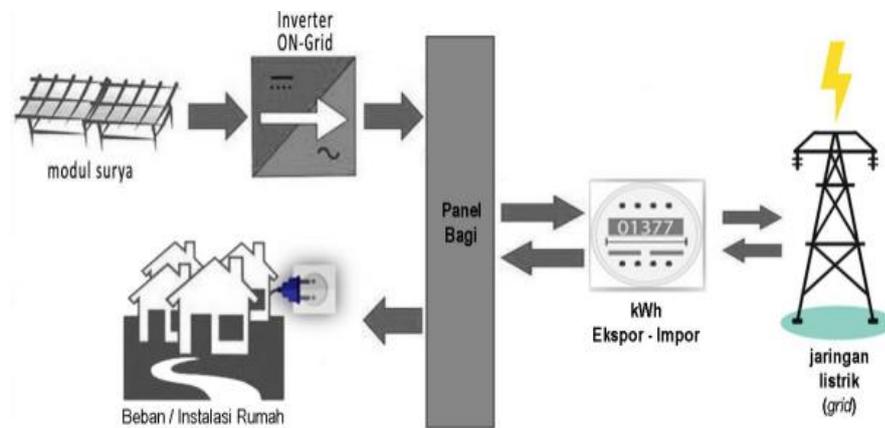
2.3.2 Bentuk Pengoperasian PLTS

Berdasarkan umumnya sistem PLTS dapat dibagi berdasarkan sebagai berikut :

1. PLTS On - Grid

Sistem PLTS terinterkoneksi (*On-Grid*), juga dikenal sebagai sistem pembangkit listrik fotovoltaik terinterkoneksi, menggunakan radiasi matahari untuk menghasilkan listrik. Sistem ini dihubungkan ke jaringan Perusahaan Listrik Negara (PLN) untuk memaksimalkan pemanfaatan

energi matahari melalui modul surya atau modul *photovoltaic*. (Ramadhana, 2022). Gambar PLTS *On-Grid* dapat dilihat pada gambar 2 berikut.



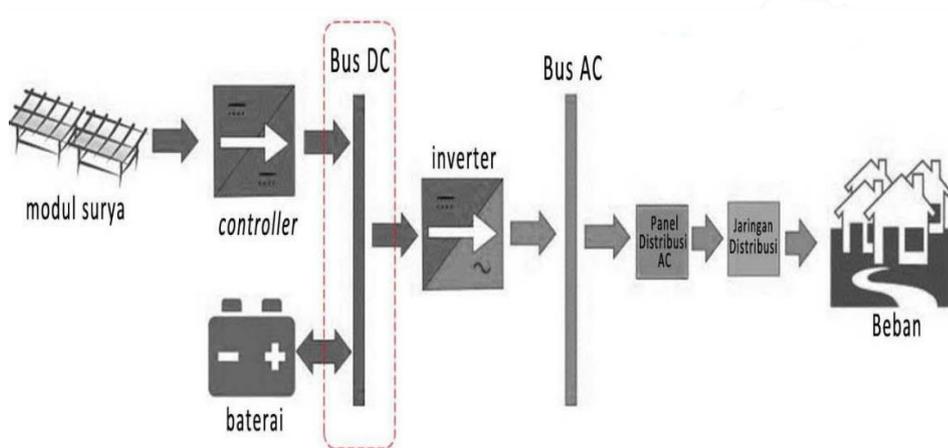
Gambar 2. PLTS *On - Grid*

(Sumber : Panduan PLTS ESDM, 2020)

Pembangkit Listrik Tenaga Surya *On - Grid* (PLTS *On - Grid*) adalah sistem pembangkit listrik surya yang terkoneksi langsung dengan jaringan listrik umum atau *grid*. Dalam sistem ini, listrik yang dihasilkan oleh panel surya pada siang hari digunakan secara langsung untuk memenuhi kebutuhan listrik gedung atau fasilitas, dan jika produksi energi melebihi konsumsi, kelebihan energi dapat dialirkan ke jaringan listrik umum. Dengan kata lain, PLTS *On - Grid* beroperasi dalam keterhubungan dengan Perusahaan Listrik Negara (PLN) atau jaringan listrik lokal, memungkinkan pengguna untuk mengurangi tagihan listrik mereka atau bahkan mendapatkan kompensasi atas energi yang mereka sumbangkan ke jaringan. Sistem ini memungkinkan pemanfaatan energi surya yang efisien dan ekonomis tanpa perlu menyimpan energi dalam baterai.

2. PLTS *Off Grid*

Sistem PLTS off-grid merupakan sistem PLTS yang tidak terhubung dengan jaringan listrik PLN. Sistem ini disebut juga *System Stand Alone* atau bersifat independen karena sistem ini hanya mengandalkan energi matahari sebagai satu-satunya sumber energi utama dengan menggunakan rangkaian modul surya untuk menghasilkan energi listrik sesuai dengan kebutuhan (Nurhayati, 2017). Adapun gambar PLTS *Off Grid* dapat dilihat pada gambar 3 di bawah.



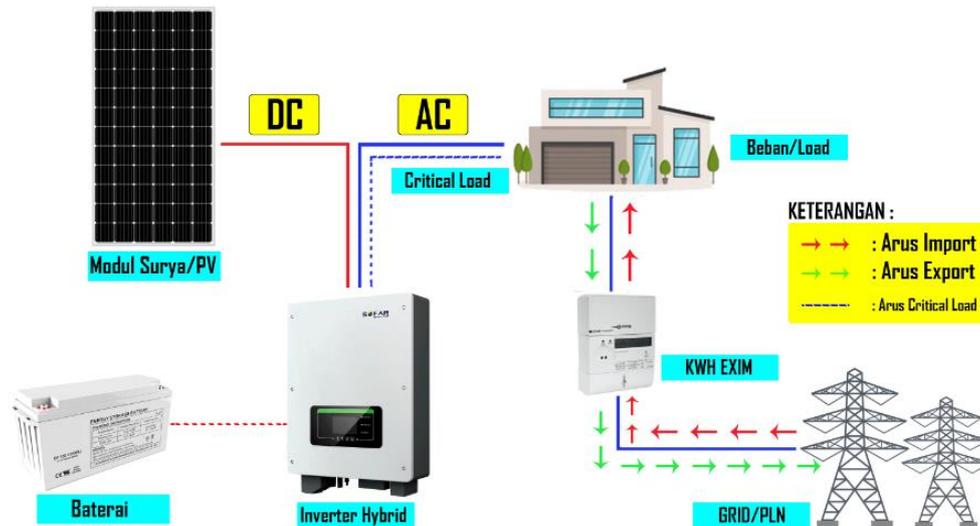
Gambar 3. PLTS *Off - Grid*

(Sumber : Panduan PLTS ESDM, 2020)

Pada sistem ini, listrik yang dihasilkan oleh panel surya disimpan dalam baterai atau sistem penyimpanan energi serupa. Energi yang tersimpan ini digunakan untuk memenuhi kebutuhan listrik ketika tidak ada sinar matahari, seperti pada malam hari atau dalam cuaca buruk. Keunggulan dari PLTS *Off Grid* adalah kemampuannya untuk mandiri dalam memasok listrik di lokasi yang terpencil, namun perlu memperhitungkan kapasitas penyimpanan energi (baterai) untuk menjaga pasokan listrik saat matahari tidak aktif.

3. PLTS *Hybrid*

PLTS *hybrid* merupakan PLTS yang menggunakan sistem gabungan *on-grid* dan *off-grid* atau PLTS yang berkolaborasi antara 2 atau lebih sistem pembangkit lainnya seperti energi angin, air atau genset. Penggunaan beberapa sumber pada PLTS sistem *hybrid* ini bertujuan untuk mengoptimalkan pembangkit untuk saling melengkapi (Neysa, 2023). Adapun gambar PLTS *Hybrid* dapat dilihat pada gambar 4 dibawah ini.



Gambar 4. PLTS *Hybrid*
(Sumber : Ramadhana, 2022)

2.3.3 Posisi Pemasangan

1. PLTS *Ground Mounted*

PLTS *Ground Mounted* adalah sebuah sistem tenaga surya yang dipasang di tanah. Sistem ini terdiri dari panel surya yang dipasang pada casing aluminium atau baja yang dinaikkan di tanah. Panel-panel ini dapat diarahkan untuk mengikuti pergerakan matahari sepanjang hari. PLTS *ground mounted* biasanya menggunakan *racking* yang dirancang khusus agar panel surya terletak pada posisi yang ideal (KESDM, 2020). Gambar PLTS *Ground Mounted* dapat dilihat pada gambar 5 berikut.



Gambar 5. PLTS *Ground Mounted*
(Sumber : Ramadhana, 2022)

2. PLTS *Rooftop*

Sistem *rooftop* solar panel, yang juga dikenal sebagai pembangkit listrik tenaga surya atap, adalah cara untuk menghasilkan energi listrik dengan menggunakan modul fotovoltaik yang terpasang di atap, dinding,

atau bagian lain dari gedung yang dimiliki oleh pelanggan PLN (Seto, 2022). PLTS *Rooftop* dapat dilihat pada gambar 6 dibawah ini.



Gambar 6. PLTS *Rooftop*

(Sumber : Panduan PLTS ESDM, 2020)

3. PLTS Terapung

Sebuah sistem pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) yang berbasis pada peralatan terapung di air, biasanya di danau dan laut, PLTS Ini dirancang untuk dipasang di lokasi dengan arus yang cenderung tenang untuk menjamin keselamatan (Marupa, *et al.*, 2022). Adapun gambar PLTS terapung dapat dilihat pada gambar 7 dibawah.



Gambar 7. PLTS Terapung

(Sumber : Panduan PLTS ESDM, 2020)

2.3.4 Desain Sistem PLTS

1. PLTS Terpusat

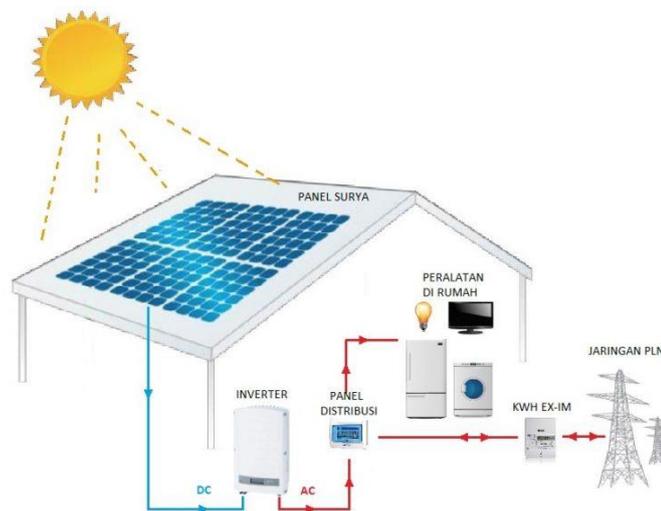
PLTS Terpusat artinya pembangkitan tenaga listrik dengan menggunakan energi matahari dilakukan secara terpusat dan suplai daya ke konsumen dilakukan melalui jaringan distribusi (Samsurizal, *et al.*, 2020).

2. PLTS Tersebar atau Terdistribusi

PLTS yang tidak memiliki sistem jaringan distribusi, biasanya setiap rumah pelanggan yang memiliki sistem PLTS tersendiri dan belum mendapatkan aliran listrik dari PLN (KESDM, 2018).

2.3.5 PLTS *On - Grid*

Sistem PLTS *On - Grid* juga dikenal sebagai Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya yang terhubung ke jaringan PLN (*Grid Connected PV System*), merupakan suatu sistem pembangkit listrik yang menggunakan radiasi matahari untuk menghasilkan energi listrik. Dalam sistem ini, energi yang dihasilkan oleh modul surya atau *photovoltaic* modul dioptimalkan untuk mengurangi biaya listrik dari PLN. Energi yang tidak digunakan dapat disalurkan ke jaringan PLN dan akan diberi kompensasi oleh PLN untuk setiap kWh listrik yang dikirim ke jaringan (Ramadhana, 2022). Adapun gambar skema sistem PLTS *On-Grid* dapat dilihat pada gambar 8 berikut.



Gambar 8. Skema sistem PLTS *On-Grid*

(Sumber : Ramadhana, 2022)

2.3.6 Komponen Utama Pembangkit Listrik Tenaga Surya *On - Grid*

Untuk mengubah sinar matahari menjadi energi listrik, beberapa perangkat yang disebut komponen diperlukan. Perangkat ini sangat berbeda dari perangkat yang digunakan dalam pembangkit listrik konvensional. Komponen-komponen ini dirancang sedemikian rupa sehingga dapat beroperasi secara efisien sebagai satu sistem terpadu. Jika salah satu dari perangkat tersebut mengalami kerusakan atau tidak berfungsi, maka proses konversi energi dari cahaya matahari ke listrik tidak dapat terjadi (Hannah, 2012).

1. Panel Surya

Panel surya terbuat dari semikonduktor yang memiliki kemampuan mengubah energi matahari menjadi energi listrik. Penggunaannya tergantung pada intensitas cahaya yang dapat diserap oleh panel surya. Daya keluaran panel surya sebanding dengan intensitas cahaya yang diserap, semakin tinggi intensitas radiasi matahari yang diserap maka semakin besar daya listrik yang dihasilkan oleh panel surya (Sihite, 2021).

Umumnya panel surya dibuat dari bahan kristal dan non-kristal (film tipis). Jenis kristal termasuk mono-kristalin dan poli-kristalin, dengan tingkat efisiensi konversi sekitar 12-20% (KESDM, 2018).

Berikut ini adalah jenis-jenis panel dalam pengaplikasian sistem PLTS :

1) Panel *Monocrystalline*

Jenis sel surya ini terbuat dari lapisan tipis silika murni berbeda dengan kristal silikon murni yang memerlukan teknologi khusus untuk memotongnya menjadi lapisan tipis silikon, teknik ini menghasilkan potongan sel surya yang seragam dan efisien. Inilah sebabnya sel surya ini sangat efisien, mencapai sekitar 15-20%. Namun, harga yang tinggi dari kristal silikon murni dan teknologi yang digunakan membuat jenis sel surya ini mahal dibandingkan dengan opsi lain di pasaran. Sel surya *monocrystalline* juga dikenal satu kristal yang mudah diidentifikasi karena berwarna hitam dan dibuat dari silikon yang sangat murni. Sel *monocrystalline* menjadi bahan yang paling efisien untuk mengonversi sinar matahari menjadi energi (Masdar, 2018). Adapun gambar panel *monocrystalline* dapat dilihat pada gambar 9 berikut.



Gambar 9. Panel *Monocrystalline*

(Sumber : Dokumentasi)

2) Panel *Polycrystalline*

Sel surya polikristalin, juga dikenal sebagai silikon polikristalin, terbentuk dari beberapa kristal berbeda yang digabungkan dalam satu sel modul surya.

Proses kimia pemurnian dan teknologi metalurgi silikon digunakan untuk menciptakan sel surya polikristalin dengan biaya lebih terjangkau. Selanjutnya, silikon yang telah dipadatkan dimasukkan ke dalam cetakan berbentuk persegi, kemudian dilelehkan, dilakukan pendinginan dan pencetakan berbentuk persegi. Saat ini, jenis sel surya ini paling banyak digunakan. Pada tahun 2008, sel surya polikristalin mendominasi pasar sel surya dengan 48% dari total produksi global. Sel surya Polikristalin lebih ekonomis dibanding panel surya monokristalin, efisiensinya hanya sekitar 12% - 14% karena struktur kristal yang dihasilkan dari proses pemadatan cairan silikon (Panji, 2021). Adapun gambar panel *polycrystalline* dapat dilihat pada gambar 10 berikut.



Gambar 10. Panel *Polycrystalline*

(Sumber : Panji, 2021)

2. Inverter On - Grid

Inverter *On - Grid* diciptakan secara khusus untuk sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) yang terhubung secara langsung ke jaringan listrik tanpa memerlukan baterai sebagai sarana penyimpanan energi. Jenis inverter ini melakukan konversi dari listrik searah (DC) yang dihasilkan oleh panel surya menjadi listrik bolak-balik (AC). Daya listrik AC ini digunakan untuk memberikan pasokan daya ke perangkat elektronik di dalam rumah. Ketika kebutuhan listrik di rumah lebih rendah daripada daya yang dihasilkan oleh panel surya, inverter akan mengarahkan atau menjual kelebihan daya tersebut ke jaringan listrik umum (PLN).

Prinsip kerja inverter *On - Grid* dapat dijelaskan sebagai berikut: ketika panel surya menghasilkan listrik, listrik tersebut dialirkan ke inverter *On - Grid* yang kemudian mengubah arus searah (DC) menjadi arus bolak-balik (AC). Setelah berubah menjadi arus AC, listrik tersebut dialirkan ke meteran listrik untuk memberdayakan perangkat elektronik, dan sisa dayanya dikirimkan ke

jaringan listrik umum (PLN) (Syururi et al., 2022). Berikut adalah gambar dari inverter *on-grid* yang dapat dilihat pada gambar 11.



Gambar 11. Inverter *On - Grid*
(Sumber : Mamangkey, 2022)

3. kWh Meter *Export - Import* (EXIM)

Perusahaan Listrik Negara (PLN) memasang kWh meter khusus yaitu meter *export-import* (EXIM) pada sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS). Komponen kWh Meter EXIM ini bertugas mencatat jumlah daya yang disalurkan oleh pemilik rumah ke PLN serta daya yang digunakan oleh pemilik rumah dari PLN. Perbedaan antara kelebihan listrik yang dihasilkan oleh panel surya dan daya yang digunakan akan dicatat dan dihitung oleh PLN. Adapun gambar kWh Meter EXIM dapat dilihat pada gambar 12 berikut.



Gambar 12. kWh Meter EXIM
(Sumber : Yuan Perdana dkk., 2018)

4. PV *Combiner Box*

PV Combiner Box merupakan sebuah kotak yang menggabungkan beberapa string modul surya untuk menghasilkan arus keluaran PV array yang lebih tinggi yang selanjutnya arus ini kemudian dihubungkan ke inverter. Setiap string modul fotovoltaik terhubung pada busbar yang sama dan dilindungi secara elektrik maupun mekanis di dalam pelindung kotak. *Combiner Box* ini juga

dilengkapi dengan *Surge Protection Device* yang handal untuk melindungi sistem panel surya dari lonjakan tegangan yang disebabkan oleh sambaran petir. Selain itu, *Combiner Box* juga memiliki fungsi untuk membatasi arus panel surya dan memutuskan aliran listrik jika terjadi arus berlebihan. Gambar komponen PV *Combiner Box* dapat dilihat pada gambar 13 berikut.



Gambar 13. PV *Combiner Box*
(Sumber : Harianto, 2022)

5. Power House

Power house pada PLTS *On Grid* merupakan bangunan tempat terdapat semua peralatan dan komponen pembangkit listrik tenaga surya yang terhubung langsung ke jaringan listrik utama atau grid. Di dalam *power house*, terdapat peralatan utama seperti Inverter, *Combiner Box*, kWh Meter *Export-Import* (EXIM), Transformator dan sistem penyaluran listrik. *Power house* berfungsi memastikan ketersediaan listrik yang stabil dan efisien untuk melakukan kontrol dan pemantauan terhadap proses pembangkitan energi serta menjadi pusat untuk pemeliharaan dan perawatan rutin peralatan, sehingga memastikan kelancaran operasional pembangkit listrik secara keseluruhan. Adapun gambar *Power House* PLTS dapat dilihat pada gambar 14 berikut.



Gambar 14. Power House PLTS
(Sumber : bumienergisurya.com)

2.3.7 Komponen Pendukung Pembangkit Listrik Tenaga Surya

Selain komponen utama, PLTS juga memiliki komponen pendukung untuk membantu pengoperasian PLTS agar lebih efektif. Komponen pendukung tersebut adalah *Moulded Case Circuit Breaker* (MCBB), kWh Meter, dan Kabel.

1. *Moulded Case Circuit Breaker* (MCCB)

MCCB adalah perangkat pelindung yang memiliki dua fungsi utama selama operasinya: sebagai alat pengaman dan juga sebagai alat penghubung, serupa dengan MCB. MCCB dilengkapi dengan pengaturan proteksi yang telah ditetapkan atau dapat disesuaikan. Biasanya, pegangan sakelar MCCB memiliki tiga posisi, yaitu *ON-OFF-Tripped*, ditambah fungsi reset, dan dapat disesuaikan dengan tingkat kerja yang berkaitan dengan pasokan listrik masuk. Ini memungkinkannya dipasang pada titik yang dekat dengan suplai transformator. Adapun gambar MCCB dapat dilihat pada gambar 15 berikut.



Gambar 15. *Moulded Case Circuit Breaker* (MCCB)
(Sumber : M. Saleh Al-Amin, 2018)

2. *Box Panel*

Panel listrik atau *Electrical Switchboard* adalah tempat di mana komponen-komponen elektrik ditempatkan untuk menghubungkan, melindungi, dan mengontrol rangkaian listrik dalam sebuah kotak tertutup. Perencanaan peralatan listrik dalam panel *box* harus disesuaikan dengan dimensi kotak dan kapasitas penggunaan, baik dari input maupun beban yang terpasang. Komponen *Box Panel* Listrik dapat dilihat pada gambar 16 berikut.



Gambar 16. *Box Panel* Listrik
(Sumber : Endah Rahayu, 2022)

3. Kabel Listrik

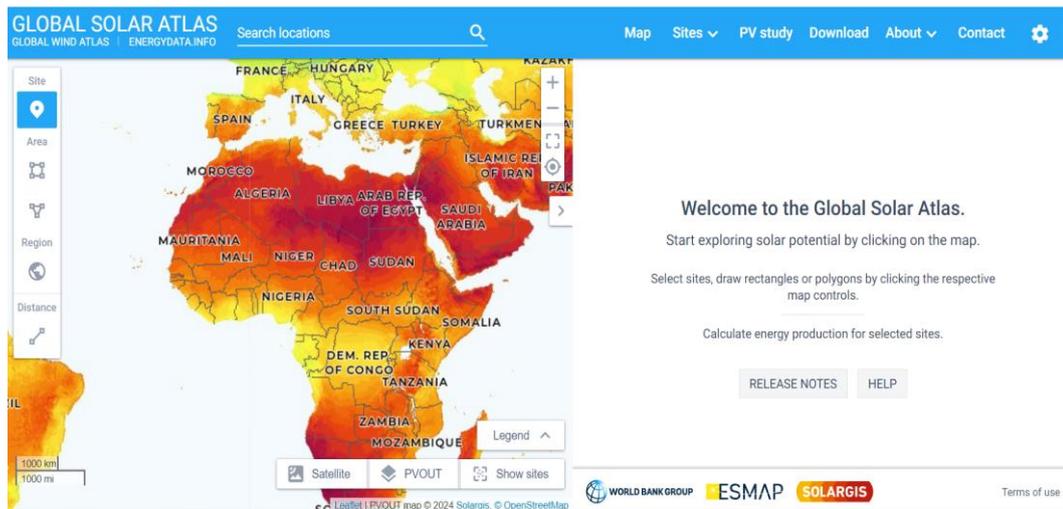
Dalam sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS), dibutuhkan penghubung untuk setiap bagian *photovoltaic* (PV) yaitu kabel listrik. Kabel listrik adalah penghantar arus listrik yang terdiri dari satu atau lebih inti, dapat berupa solid atau serabut, masing-masing dilapisi dengan isolasi sendiri. Ketika memilih kabel listrik pentingnya memperhatikan spesifikasi kabel untuk mengurangi potensi kerugian, karena konduktor kabel pada sistem PV tidak melebihi tegangan nominal yang digunakan, maka tegangan nominal harus dipertimbangkan. Pemilihan kabel juga harus memperhitungkan luas penampangnya dengan mempertimbangkan kapasitas penghantar arus. Kabel listrik dapat dilihat pada gambar 17 berikut.



Gambar 17. Kabel Listrik
(Sumber : Dokumentasi)

2.4 *Software Global Solar Atlas*

Global Solar Atlas adalah aplikasi berbasis peta online gratis yang menyediakan berbagai informasi tentang sumber daya surya dan sistem informasi geografis (GIS). Untuk mendukung peningkatan tenaga surya di negara pelanggan secara global, regional, dan nasional. Penelitian ini didanai oleh Program Bantuan Manajemen Sektor Energi (ESMAP) dan beberapa lembaga yang dikelola oleh Bank Dunia dengan dukungan dari 13 pendonor bilateral resmi. Ada sejumlah faktor penting yang dapat mempengaruhi potensi produksi listrik pembangkit listrik tenaga surya. Adapun tampilan *software global atlas* dapat dilihat pada gambar 18 berikut.



Gambar 18. *Software Global Atlas*

(Sumber : <https://globalsolaratlas.info/map>)

Tujuan *Global Solar Atlas* adalah menyediakan data penerapan yang terpercaya untuk membantu pembuat kebijakan, peneliti dan perusahaan tenaga surya komersial membuat keputusan yang lebih baik. Untuk analisis spesifik proyek energi besar, data yang tersedia di *Global Solar Atlas* hanya cocok untuk analisis awal. Perkiraan produksi PV tidak memperhitungkan banyak faktor penting yang dapat mempengaruhi potensi produksi pembangkit listrik tenaga surya (Idris, 2021).

2.5 Software Helioscope

Helioscope adalah aplikasi desain berbasis web yang dikembangkan oleh *Folsom Labs*. Program ini memungkinkan peneliti untuk melakukan simulasi perencanaan yang lengkap dengan tampilan 3D. Dengan menggunakan *Helioscope*, pengguna dapat memperoleh informasi tentang potensi naungan dan kinerja panel surya yang akan ditempatkan dari berbagai posisi dan sudut pandang. Berikut adalah tampilan *software helioscope* pada gambar 19 dibawah.

Gambar 19. *Software Helioscope*

(Sumber : <https://helioscope.aurorasolar.com/>)

Helioscope menawarkan berbagai fitur yang sangat bermanfaat untuk merancang sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS). Fungsionalitas yang dimiliki oleh perangkat lunak *Helioscope* mencakup kemampuan untuk melakukan desain dalam tiga dimensi (3D), memberikan simulasi elektrikal dengan menampilkan diagram garis tunggal, serta memungkinkan pembuatan proposal atau laporan berkualitas secara cepat. Selain itu, *Helioscope* juga mempermudah penentuan lokasi modul surya dengan mempertimbangkan kondisi lahan, atap, dan hambatan di sekitarnya.

Melalui antarmuka *Helioscope*, para desainer dapat memasuki lokasi bangunan yang akan mereka analisis dan langsung mengintegrasikannya secara real-time dengan *Google Earth*. Hal ini memudahkan para desainer dalam merancang sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) pada gedung yang akan direalisasikan. Selain itu, *Helioscope* juga menyediakan kumpulan data dari inverter dan panel surya, memungkinkan desainer untuk memilih dan menyusun rangkaian PLTS dengan lebih mudah dan efisien (Brahma,2021).

2.5.1 Cara penggunaan *Software Helioscope*

Dalam perencanaan PLTS, terdapat beberapa cara untuk mendesain sistem PLTS di *software helioscope*. Berikut adalah cara penggunaan *software helioscope* dalam perencanaan sistem PLTS :

1. Masuk ke web *Helioscope* (<https://www.helioscope.com/>)
2. Setelah masuk ke web, klik ke *button* “*existing user log in*” jika sudah memiliki akun, jika belum memiliki akun maka pengguna mendaftar terlebih dahulu.
3. Langkah ketiga pengguna akan tertuju pada halaman pembuatan proyek langsung.
4. Selanjutnya, klik “*New Project*” untuk melakukan simulasi dengan mengisi beberapa data yang diperlukan (nama proyek, alamat, profil bangunan dan deskripsi proyek)
5. Pada langkah ini akan ditunjukkan halaman design yang telah menampilkan gambar sesuai satelit lokasi yang diinginkan pengguna.
6. Selanjutnya, klik “*New*” pada tab “*designs*” lalu masukkan nama deskripsi desain dan klik “*create a new design*”.
7. Pada langkah ini akan ada tampilan halaman desain yang di sebelah kiri terdapat fitur yakni *mechanical*, *keepouts*, *electrical* dan *advanced*.
8. Pada sisi *mechanical* tercantum kondisi *layout* dari suatu lahan yang akan dipilih, dengan menambahkan *field segmen* dan klik “*new*”.Setelah menambahkan *field segmen*, pengguna harus memilih lokasi yang akan dipilih untuk meletakkan modul PV dengan menarik garis.
9. Setelah memilih lokasi yang akan diletakkan modul PLTS, pengguna harus mengisi beberapa spesifikasi seperti jenis modul yang digunakan, ketinggian bangunan, sudut kemiringan, sudut *azimuth* pemasangan modul, dll Setelah pengisian *field segment*, pengguna dapat meletakkan modul PLTS pada lokasi yang telah dipilih.
10. Pada sisi *electrical*, akan disediakan sistem kelistrikan DC dan AC.Pada bagian ini harus memilih inverter apa yang akan digunakan serta memilih kapasitasnya. Pada halaman desain ini juga dapat menampilkan SLD (*Single Line Diagram*) dari desain yang telah dibuat.
11. Setelah itu pengguna klik “*Save & Exit*”. Setelah klik “*save & exit*”, maka akan muncul halaman untuk menghasilkan report dari sistem yang telah dirancang.
12. Lalu klik “*simulate*”, pengguna dapat mengunduh hasil simulasi dengan klik “*show report*”. Hasil yang akan disajikan dalam bentuk pdf atau csv. Laporan tersebut merupakan laporan produksi tahunan pada sistem PLTS yang dirancang.

2.6 Validasi Data

Validasi data adalah memastikan kebenaran data yang dihasilkan simulasi *software* dengan hasil data perhitungan manual. Tujuan validasi data adalah untuk memastikan bahwa data yang digunakan dalam suatu sistem atau

analisis adalah akurat, lengkap, dan dapat dipercaya. Validasi data pada penelitian ini untuk menentukan jumlah panel yang dapat digunakan berdasarkan data luas lahan kosong dan menghitung jumlah daya listrik yang dihasilkan seluruh panel yang digunakan, persamaan yang digunakan untuk menentukan jumlah panel yang dapat digunakan adalah sebagai berikut.

$$\text{Jumlah Panel} = \left(\frac{LK}{LP}\right) \times JP \dots\dots\dots(1)$$

Ket : LK = Luas Lahan Kosong

LP = Luas Panel Surya

JP = Jarak Panel

Setelah melakukan perhitungan dengan persamaan (1) maka didapatkan jumlah panel surya yang digunakan, persamaan yang digunakan untuk menghitung daya listrik yang dihasilkan seluruh jumlah panel surya adalah sebagai berikut.

$$\text{Total Daya Listrik} = \text{Jumlah Panel} \times \text{Daya Panel Surya} \dots\dots\dots(2)$$

2.7 Analisis Ekonomi

Dalam perhitungan analisis ekonomi sistem PLTS, ada beberapa persamaan yang digunakan yaitu sebagai berikut :

2.7.1 Biaya Pemeliharaan dan Operasional

Biaya tahunan untuk pemeliharaan dan operasional Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) biasanya dihitung sebagai 1-2% dari total investasi awal. Persentase yang ditetapkan untuk biaya tahunan PLTS melibatkan pemeliharaan panel surya, pemeriksaan peralatan, dan instalasi, yang akan disesuaikan sekitar 1% dari investasi awal. Keputusan untuk menggunakan persentase 1% didasarkan pada fakta bahwa Indonesia hanya mengalami dua musim, yaitu musim penghujan dan musim kemarau. Hal ini menyebabkan biaya pembersihan dan pemeliharaan panel surya tidak sebesar di negara yang mengalami empat musim dalam satu tahun (Ramadhan, 2016).

Adapun biaya pemeliharaan dan operasional (M) per tahun untuk PLTS yang akan dikembangkan adalah sebagai berikut :

$$M = 1\% \times \text{Total Biaya Investasi Awal} \dots\dots\dots(3)$$

Ket : M = Biaya pemeliharaan dan operasional

2.7.2 Total Investasi PLTS

Total Investasi PLTS adalah total biaya yang diperkirakan untuk PLTS tersebut, mencakup total biaya investasi awal dan biaya pemeliharaan serta biaya operasional (Ramadhan, 2016).

$$\text{Total Investasi} = \text{Total Biaya Investasi Awal} + M \dots \dots \dots (4)$$

Ket : M = Biaya pemeliharaan dan operasional

2.7.3 Perhitungan Return On Investment (ROI)

Return on Investment atau bisa diterjemahkan sebagai laba atas investasi. Dalam perhitungan ROI, nilai yang dicari adalah persentase. Dalam konteks pembangkit listrik tenaga surya (PLTS), ROI dapat membantu untuk mempertimbangkan kembali rencana investasi suatu aset. Jika nilai ROI positif, itu merupakan pertanda baik. Artinya, investasi yang direncanakan bisa memberikan laba atau setidaknya mengembalikan biaya investasi yang telah dikeluarkan (Fathurrachman, 2022).

$$\text{ROI} = \frac{(\text{Pendapatan Investasi} - \text{Biaya Investasi})}{\text{Biaya Investasi}} \times 100\% \dots \dots \dots (5)$$

2.7.4 Payback Period

Payback period adalah periode waktu yang dibutuhkan untuk mengembalikan nilai investasi melalui penerimaan-penerimaan yang dihasilkan oleh proyek PLTS. Dalam penghitungan *payback period*, terdapat beberapa rumus yang berbeda-beda, seperti total investasi dibagi dengan penghematan tahunan, total investasi dibagi dengan arus kas tahunan, total investasi dibagi dengan arus kas bersih tahunan, dan total investasi dibagi dengan keuntungan tahunan. *Payback period* adalah salah satu indikator keuangan yang digunakan untuk mengevaluasi kelayakan investasi PLTS (Kariongan, 2022).

$$\text{Payback Period} = \frac{\text{Jumlah Investasi}}{(\text{Aliran Kas Bersih} - M)} \dots \dots \dots (6)$$

Ket : M = Biaya pemeliharaan dan operasional

III. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Tempat dan Waktu Pelaksanaan

Penelitian ini dilaksanakan di kawasan Gedung Laboratorium Teknik Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Jambi. Penelitian ini dilaksanakan selama bulan September 2023 sampai Bulan Maret 2024. Penelitian mengenai potensi PLTS pada Gedung Laboratorium Teknik Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Jambi dapat dilihat pada gambar 20 di bawah ini :



Gambar 20. Gedung Laboratorium Teknik Universitas Jambi
(Sumber : Dokumentasi)

3.2 Alat dan bahan Penelitian

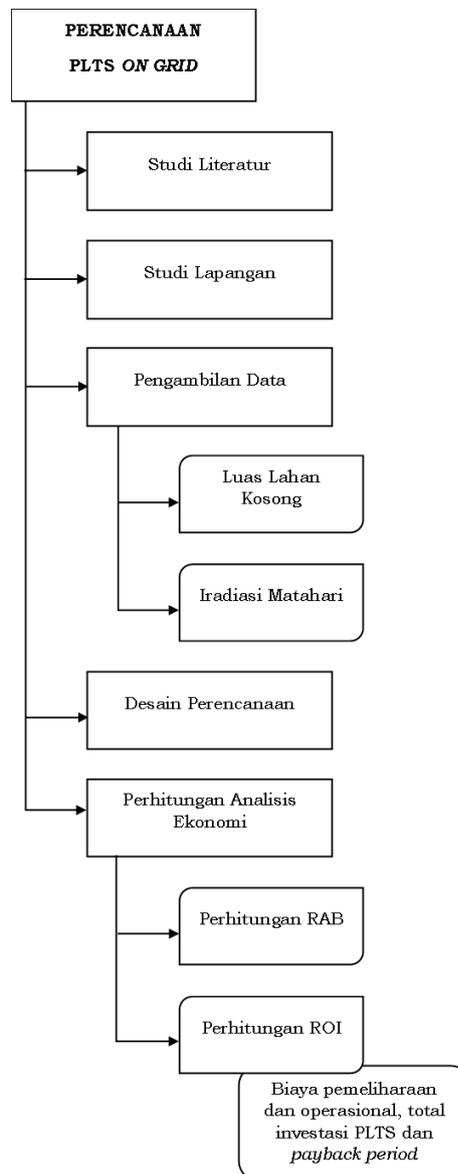
Penulis memerlukan beberapa alat dalam mendukung penelitian ini. Alat dan bahan yang digunakan pada penelitian adalah sebagai berikut :

1. Komputer/laptop
2. Laser *Distance Meter*
3. *Software Helioscope*
4. *Software Solar Global Atlas*

3.3 Metode Penelitian

Metode penelitian yang digunakan adalah penelitian kuantitatif dan pengumpulan data dilakukan dengan teknik observasi dan dokumentasi. Hasil Pengolahan data didapat dilakukan dengan langkah awal yaitu survey lokasi dengan mengukur luas lahan kosong yang akan dimanfaatkan untuk pembangunan sistem PLTS, mencari iradiasi matahari yang terdapat pada lokasi penelitian menggunakan *Software Solar Global Atlas*. Setelah itu, dilakukan pembuatan desain sederhana PLTS menggunakan *software helioscope* melalui perhitungan dari pengukuran lahan kosong dan nilai iradiasi matahari di lokasi penelitian, sehingga didapatkan hasil daya keluaran listrik dan komponen PLTS

yang akan digunakan pada perencanaan pembangunan sistem PLTS. Setelah semua data dan pembuatan desain selesai maka selanjutnya dilakukan perhitungan analisis ekonomi yaitu rencana anggaran biaya (RAB) dan perhitungan ROI untuk membangun sistem PLTS tersebut. Adapun Diagram Alir Penelitian ini terdapat pada gambar 21 berikut.



Gambar 21. Diagram Alir Penelitian

(Sumber : ESDM, 2020)

1. Studi Literatur

Tahap ini adalah pemaparan tentang karya, teori, dan penelitian lain yang digunakan sebagai acuan yang sesuai dengan permasalahan pada penelitian. Studi literatur bertujuan sebagai solusi dari permasalahan penelitian berdasarkan penelitian terdahulu yang sudah ada.

2. Studi Lapangan

Studi lapangan adalah kegiatan survey lapangan langsung pada lokasi dengan tujuan untuk mempermudah peneliti dalam mencari informasi, pengumpulan data dan pengolahan data dari lapangan sebagai solusi dalam pemecahan masalah.

3. Pengambilan Data

Dalam tahap ini kegiatan yang dilakukan ada 2, yaitu yang pertama pengambilan data luas lahan kosong menggunakan alat laser *distance* meter pada lokasi pelaksanaan penelitian dan yang kedua adalah pengambilan data iradiasi matahari dengan menggunakan *software solar global atlas*, kedua data diatas di ambil dengan tujuan untuk mempermudah dalam perencanaan desain untuk sistem PLTS.

4. Desain Perencanaan

Tahap ini adalah kegiatan pembuatan desain PLTS dengan menggunakan *software Helioscope* berdasarkan perhitungan hasil pengukuran lahan kosong dan nilai iradiasi matahari. Pada tahap ini didapatkan hasil output daya listrik dan komponen PLTS yang akan digunakan pada perencanaan penelitian ini.

5. Perhitungan Analisis Ekonomi

Pada perencanaan sistem PLTS di Laboratorium Teknik Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Jambi diperlukan juga perhitungan analisis ekonomi dalam perencanaan PLTS ada beberapa perhitungan yaitu, perhitungan Rencana Anggaran Biaya (RAB) untuk mengetahui pengeluaran biaya yang akan direncanakan. Selanjutnya perhitungan biaya pemeliharaan sistem dan operasional menggunakan persamaan (1), untuk mengetahui biaya yang akan dikeluarkan seperti pemeliharaan panel surya, pemeriksaan peralatan dan instalasi menggunakan persamaan (2). Setelah itu perhitungan *Return On Investment* (ROI) menggunakan persamaan (3), untuk mengetahui laba dan *payback period* menggunakan persamaan (4).

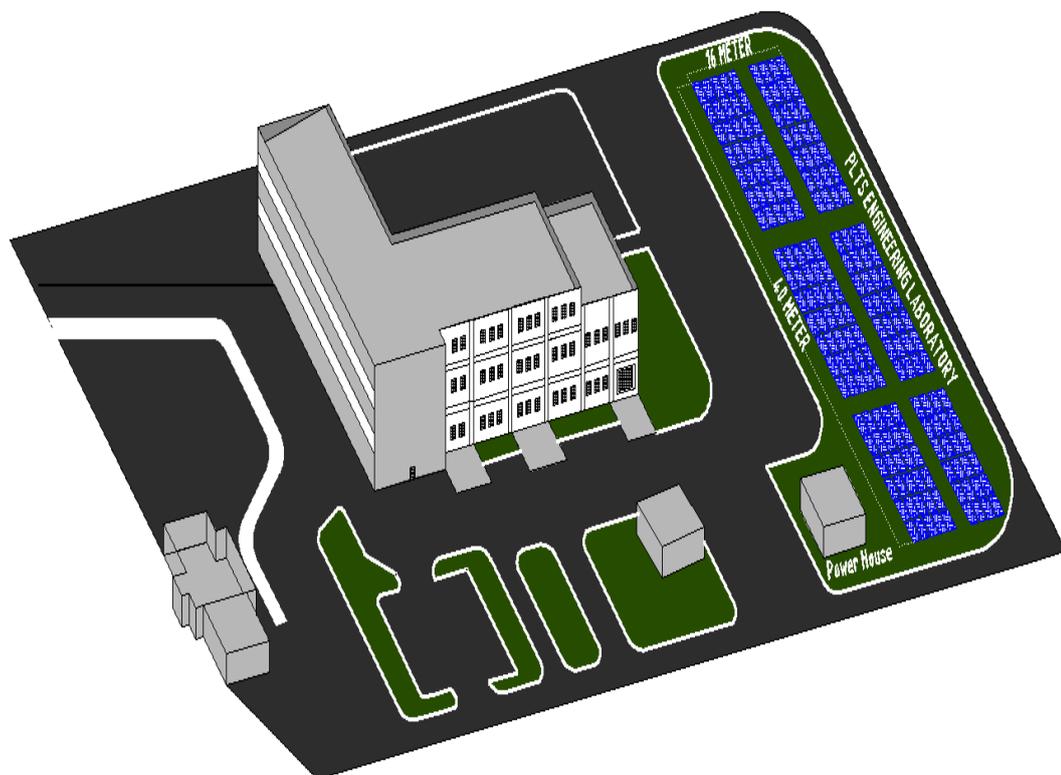
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil

Berdasarkan penelitian yang dilaksanakan selama bulan September 2023 – Maret 2024 didapatkan hasil data Potensi Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) *On - Grid* data yang akan dibahas yaitu luas lahan kosong, iradiasi matahari, desain perencanaan, hasil simulasi *software Helioscope*, hasil perhitungan validasi data, desain perancangan PLTS dan rencana anggaran biaya (RAB). Berikut adalah penjelasan secara rinci mengenai hasil data dari penelitian ini.

4.1.1 Data Luas Lahan Kosong

Dalam Potensi Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) di Laboratorium Teknik Universitas Jambi diperlukan data pengukuran luas lahan kosong untuk penempatan panel surya dengan posisi diatas tanah (*Ground Mounted*) dengan cara pengukuran memakai alat *Laser Distance Meter*. Desain Gedung Laboratorium Teknik Universitas Jambi yang dijadikan lahan pemanfaatan PLTS dan hasil pengukuran luas lahan kosong dapat dilihat pada gambar 22 dan tabel 2 berikut.



Gambar 22. Desain Gedung Laboratorium Teknik Universitas Jambi

Tabel 2. Data Luas Lahan Kosong

No	Luas Lahan		Luas (m ²)
	Panjang (m)	Lebar (m)	
1	40	16	640

Pemanfaatan lahan kosong untuk PLTS di wilayah Laboratorium Teknik Universitas Jambi dengan ukuran 40 x 16 m. PLTS tersebut didirikan di lahan tersebut dengan menggunakan 162 buah panel dengan jarak per panel nya yaitu 60 cm yang memiliki daya per panel dihasilkan yaitu 550 Watt dan jumlah total daya nya 89.1 KW yang digunakan untuk pemenuhan kebutuhan listrik Gedung Laboratorium Teknik Universitas Jambi.

4.1.2 Data Iradiasi Matahari

Laboratorium Universitas Jambi yang terletak di lingkungan kampus Universitas Jambi Unit Mendalo Jalan Jambi-Muara Bulian KM. 15, Mendalo Darat, Kec. Jambi Luar Kota, Kabupaten Muaro Jambi, Jambi. Universitas Jambi berada di dataran rendah sehingga memiliki tingkat radiasi matahari yang tinggi. Dalam mengetahui tingkat radiasi matahari di Kampus Universitas Jambi, peneliti menggunakan *software Global Solar Atlas*. Data iradiasi matahari dapat dilihat pada tabel 3 berikut ini.

Tabel 3. Data Iradiasi Matahari Menggunakan *Software Global Solar Atlas*

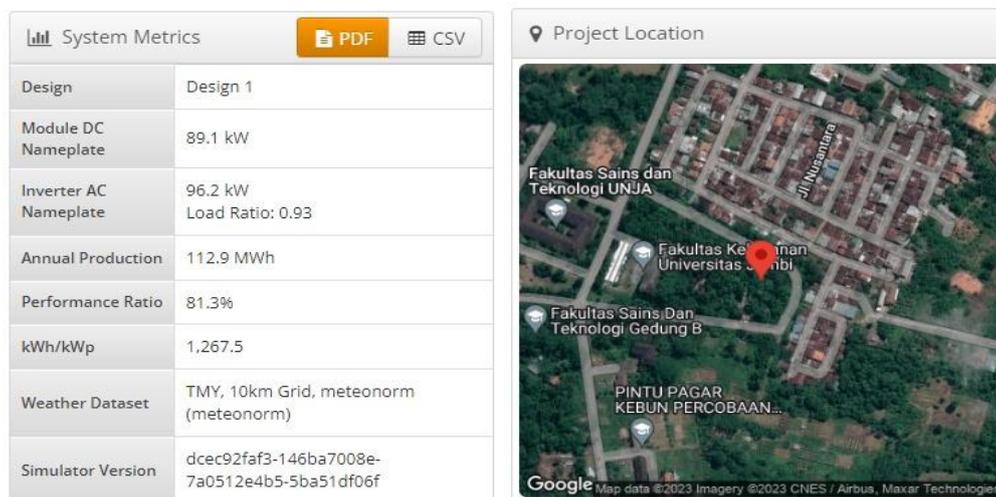
Iradiasi Normal Langsung	DNI	810.4 kWh/m ²
Iradiasi Horizontal Global	GHI	1612.4 kWh/m ²
Iradiasi Horizontal Menyebar	DIF	978.0 kWh/m ²
Iradiasi Miring Global Pada Sudut Optimal	GTI OPTA	1616.3 kWh/m ²
Kemiringan optimal modul PV	OPTA	5/0 °
Suhu Udara	TEMP	26.8 °C
Ketinggian Medan	ELE	53 m

Dari tabel 3 data iradiasi matahari menjelaskan bahwa DNI merupakan permukaan yang tegak lurus terhadap matahari. Sedangkan GHI dan DIF permukaan *horizontal* ke tanah. Kemudian GTI opta adalah data radiasi yang dipakai untuk menghitung kapasitas komponen, serta nilai data radiasi GTI opta lebih optimal dibandingkan DNI, GHI dan DIF.

4.1.3 Desain Perencanaan

Dalam perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) di Laboratorium Teknik Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Jambi, digunakan *Software Helioscope*. *Helioscope* digunakan untuk simulasi memudahkan proses

perancangan PLTS. Analisis dilakukan dengan mempertimbangkan beberapa faktor, termasuk luas area, *shading*, jenis modul, inverter dan sebagainya. Adapun hasil perencanaan pada *software helioscope* dapat dilihat pada gambar 23 berikut.



Gambar 23. Hasil Simulasi *Software Helioscope*

(Sumber : *Helioscope*)

Perencanaan di desain menggunakan *Software Helioscope* berdasarkan iradiasi matahari dan luas lahan yang tersedia mendapatkan total daya sebesar 89.1 KW per hari. Produksi tahunan yang diperoleh mencapai 112.9 MWh, dengan *Performance Ratio* 81.3 %. Untuk mendapatkan hasil simulasi dari *software Helioscope* maka peneliti merancang desain PLTS terlebih dahulu seperti pada gambar 24 berikut ini.



Gambar 24. Desain tata letak panel surya

(Sumber : *Helioscope*)

Dari hasil simulasi, intensitas radiasi yang diterima setiap tahun mencapai 1471.4 kWh/m². Modul PLTS memiliki kapasitas 550 W dengan total 162 modul yang terbagi dalam 2 segmen. Segmen 1 dirancang dengan total 90 panel surya ((6 x 5) x 3), sementara Segmen 2 memiliki total 72 panel surya ((4 x 6) x 3). Inverter yang digunakan memiliki kapasitas 24 KW, dengan total 4 buah inverter dan kapasitas maksimum 24.1 KW untuk setiap 1 buah inverter. Konsep peletakan PLTS ini disebut sebagai PLTS *Ground Mounted* atau *Fixed Tilt Racking* dengan pemasangan *Landscape* (Horizontal) dan kemiringan sebesar 5 derajat. Hasil simulasi produksi tahunan dan pembagian segment desain PLTS pada *software Helioscope* dapat dilihat pada tabel 4 dan gambar 25.

Tabel 4. Hasil Simulasi Produksi Tahunan

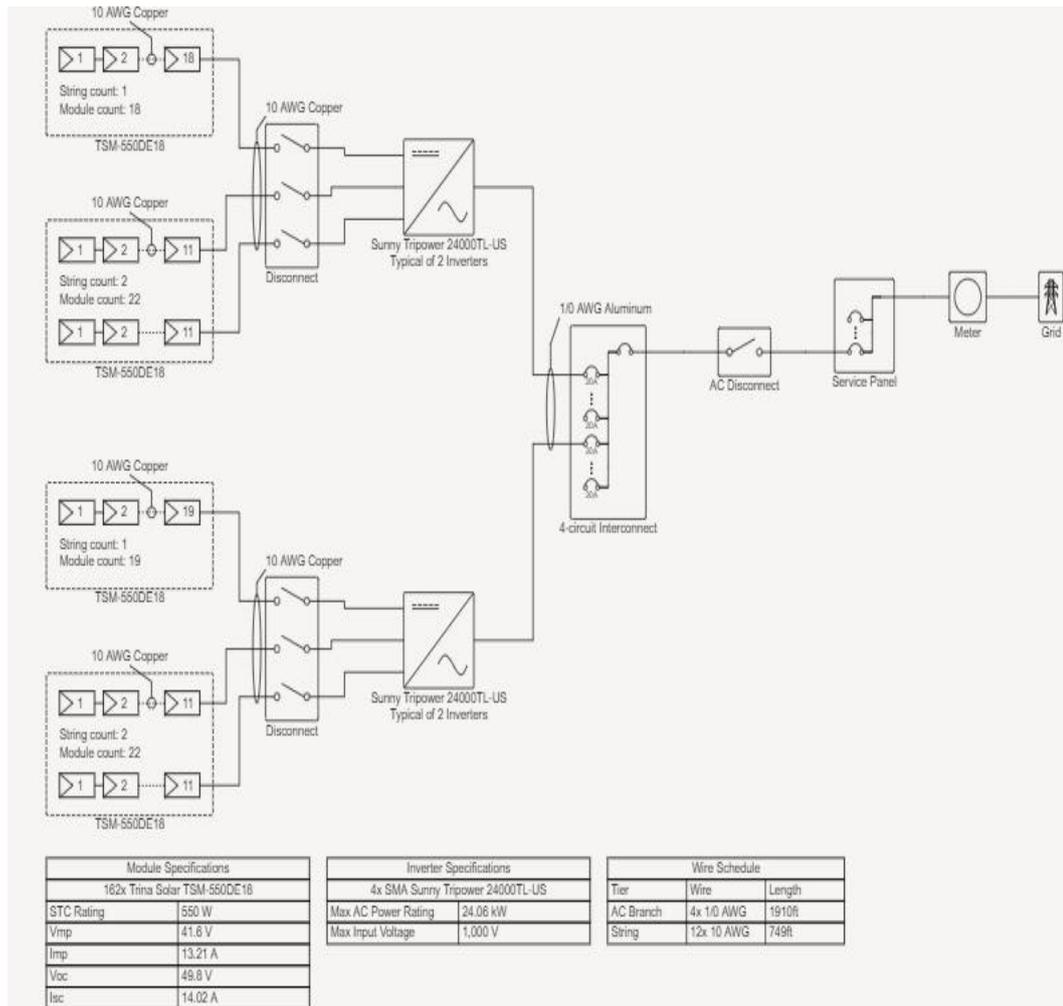
Annual Production		
	Description	Output
Irradiance (kWh/m²)	Annual Global Horizontal Irradiance	1,562.0
	POA Irradiance	1,559.9
	Shaded Irradiance	1,557.9
	Irradiance after Reflection	1,501.4
	Irradiance after Soiling	1,471.4
	Total Collector Irradiance	1,472.4
	Nameplate	130,997.6
Energy (kWh)	Output at Irradiance Levels	130,045.9
	Output at Cell Temperature Derate	120,254.4
	Output After Mismatch	116,328.0
	Optimal DC Output	115,871.3
	Constrained DC Output	115,871.1
	Inverter Output	113,022.2
	Energy to Grid	112,933.0
Temperature Metrics		
	Avg. Operating Ambient Temp	28.3 °C
	Avg. Operating Cell Temp	37.7 °C

Field Segments									
Description	Racking	Orientation	Tilt	Azimuth	Intrarow Spacing	Frame Size	Frames	Modules	Power
Field Segment 1	Fixed Tilt	Landscape (Horizontal)	5°	102°	2.0 ft	5x6	3	90	49.5 kW
Field Segment 2	Fixed Tilt	Landscape (Horizontal)	5°	102°	2.0 ft	4x6	3	72	39.6 kW

Gambar 25. *Field Segments* Desain PLTS pada *software Helioscope*

(Sumber : *Helioscope*)

Selain hasil simulasi seperti penjelasan diatas, pada *software Helioscope* disajikan juga *single line diagram* yang berfungsi untuk menjelaskan terkait notasi yang disederhanakan untuk sebuah sistem tenaga listrik yang digunakan pada sistem PLTS dan mempermudah dalam perhitungan rencana anggaran biaya karena melalui komponen yang ada pada *single line diagram* dapat di kalkulasikan biaya tiap komponennya. Adapun gambar *single line diagram* perencanaan PLTS dapat dilihat pada gambar 26 berikut ini.



Gambar 26. Single Line Diagram PLTS

(Sumber : Helioscope)

4.1.4 Hasil Perhitungan Validasi Data

Berdasarkan persamaan (1) untuk menentukan jumlah panel yang dapat digunakan, berikut adalah hasil perhitungan sesuai dengan rumus penentuan jumlah panel pada penelitian ini.

$$\begin{aligned}
 \text{Jumlah Panel} &= \left(\frac{640 \text{ m}}{2,4 \text{ m}} \right) \times 0,6 \text{ m} \\
 &= 266 \text{ m} \times 0,6 \text{ m} \\
 &= 162 \text{ buah}
 \end{aligned}$$

Setelah melakukan perhitungan dengan persamaan (1) maka didapatkan jumlah panel surya yang digunakan, persamaan untuk menghitung daya listrik yang dihasilkan seluruh jumlah panel surya menggunakan persamaan (2) sebagai berikut.

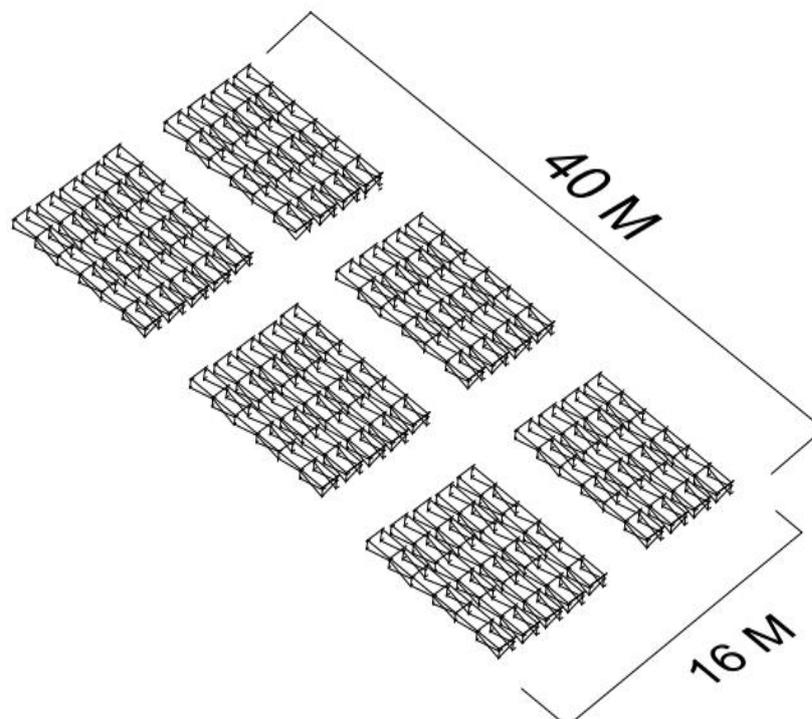
$$\begin{aligned} \text{Total Daya Listrik} &= 162 \text{ Buah} \times 550 \text{ Watt} \\ &= 89.1 \text{ KW} \end{aligned}$$

4.1.5 Desain Perancangan PLTS Laboratorium Teknik Universitas Jambi

Dalam perencanaan sistem PLTS, selain melakukan analisis pada *software Helioscope*, peneliti juga membuat desain gambar PLTS dengan menggunakan *software autocad*. Adapun desain yang dirancang adalah desain kerangka PLTS dan desain *power house*.

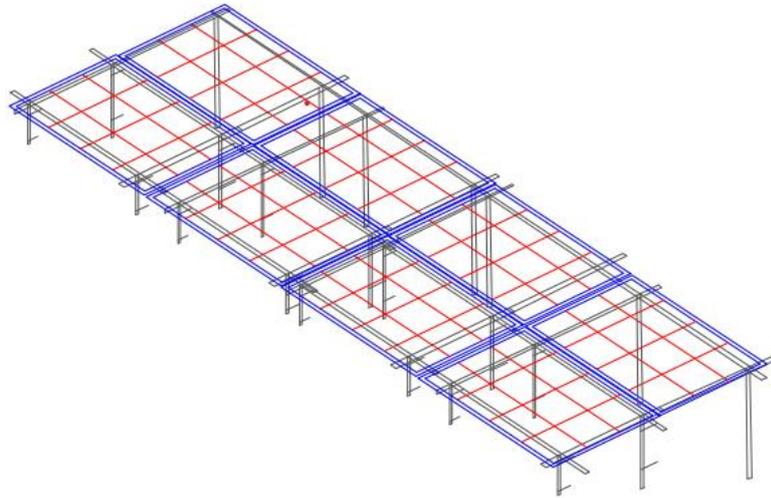
1. Desain Kerangka PLTS

Perancangan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS), struktur utama dibuat dengan menggunakan 162 modul panel surya yang terbagi dalam 2 segmen. Untuk segmen 1, direncanakan sebanyak $((6 \times 5) \times 3)$ modul panel surya, dengan total 90 modul panel surya. Sedangkan untuk segmen 2, direncanakan sebanyak $((4 \times 6) \times 3)$ modul panel surya, dengan total 72 modul panel surya. Panjang keseluruhan kerangka adalah 36 meter, lebar 10 meter, dan jarak antar setiap segmen adalah 1,5 meter. Adapun kerangka PLTS dapat dilihat pada gambar 27 berikut.



Gambar 27. Kerangka PLTS

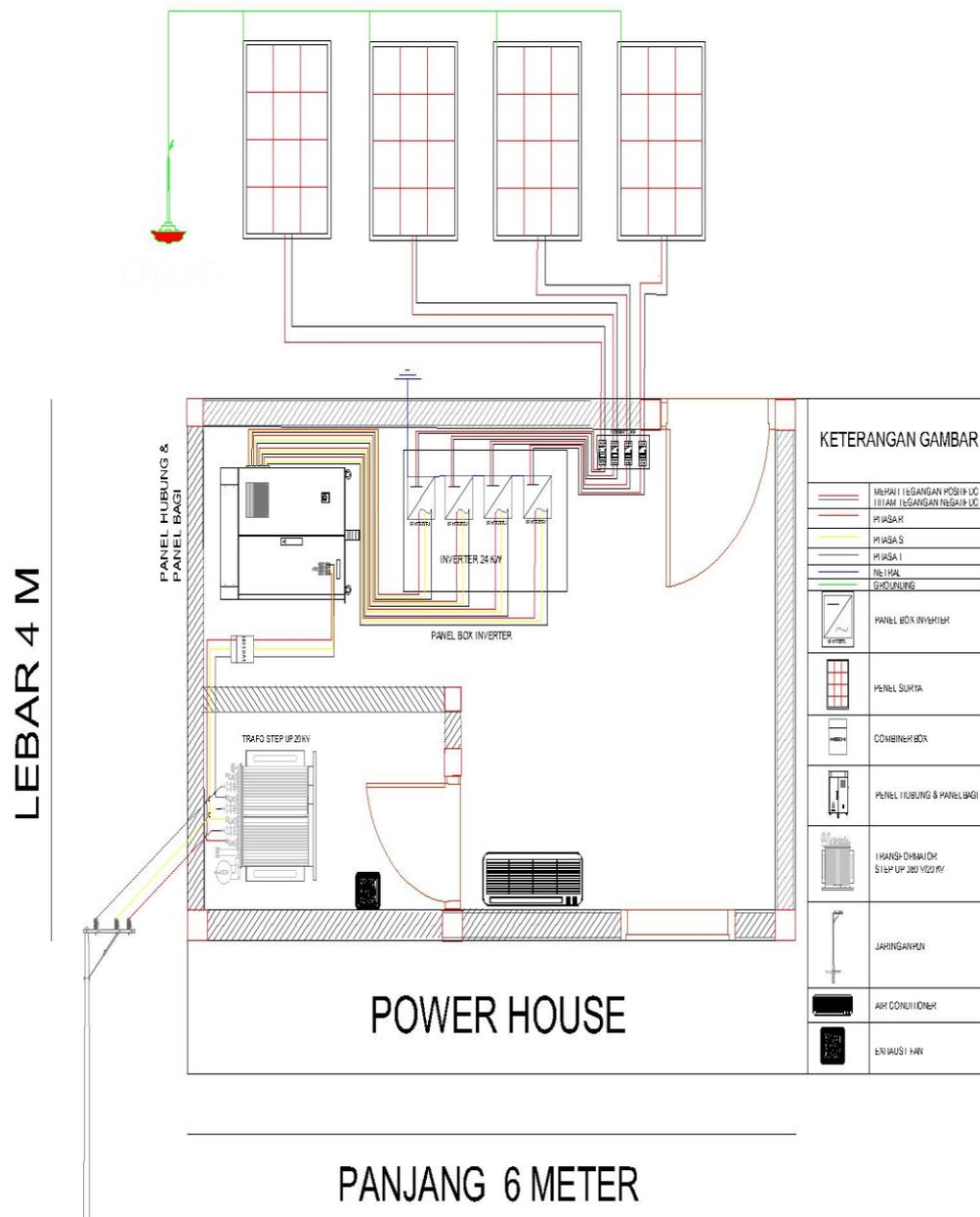
Selain gambar desain tampak pada gambar diatas, desain kerangka PLTS juga dapat dilihat dengan kemiringan 5° seperti pada gambar 28 berikut ini.



Gambar 28. Desain PLTS dengan kemiringan 5°

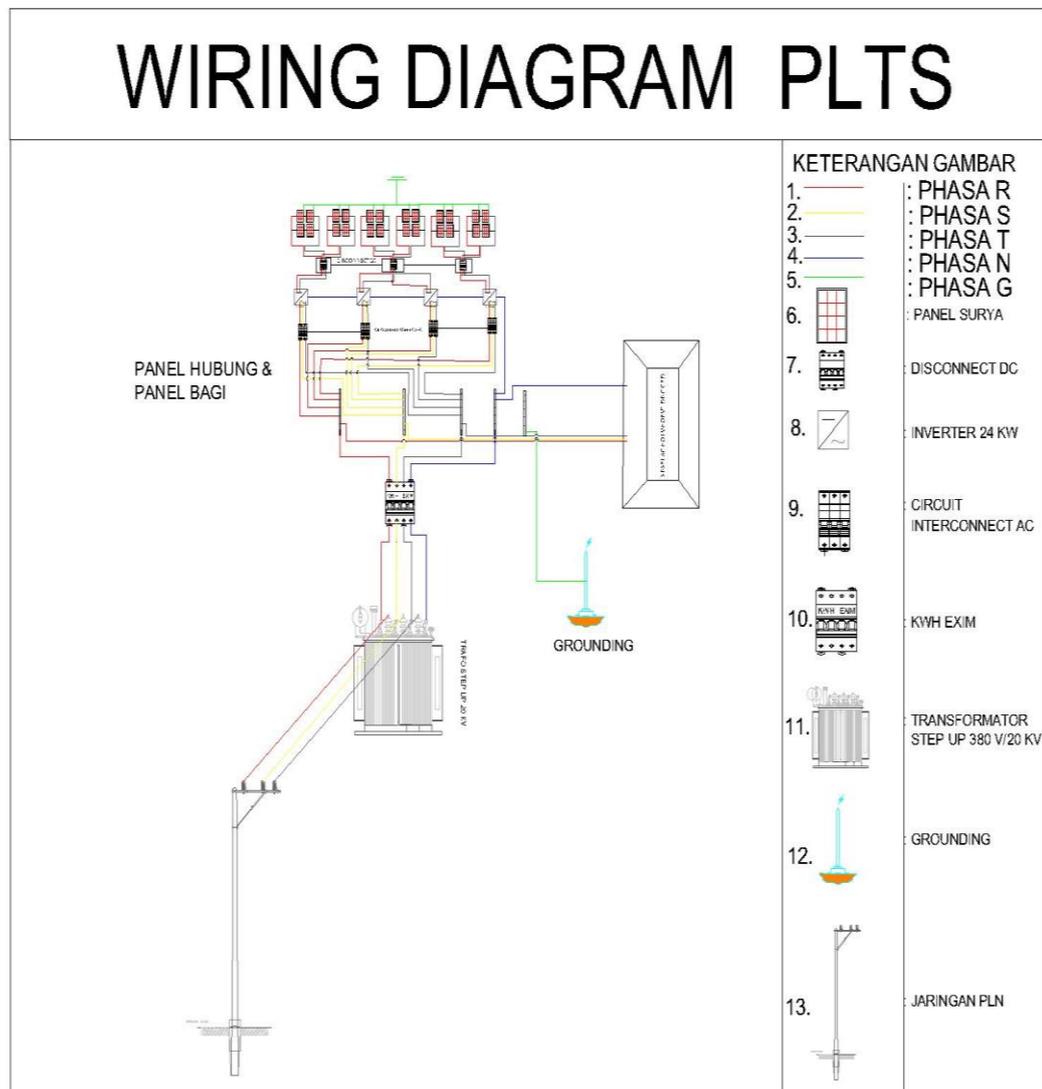
2. Desain Power House

Power House didesain dengan Panjang 6 meter dan lebar 4 meter yang digunakan sebagai rumah penyimpanan dan pelindung bagi perangkat PLTS yang didalamnya akan terdapat *transformator step up 380 v/20 kv*, inverter 24 kw, *combiner box*, *box panel*, panel hubung & panel bagi, kwh meteran *export-import*, *air conditioner*, dan *exhaust fan* sebagai pendingin ruangan dan sebagai pendingin seluruh perangkat PLTS. Adapun desain *power house* dapat dilihat pada gambar 29 berikut.



Gambar 29. Desain *Power House*

Wiring diagram adalah suatu skema atau diagram yang menjelaskan secara detail hubungan antara satu komponen dengan komponen lainnya dalam suatu sistem kelistrikan. Diagram ini digunakan untuk mempermudah pemahaman, perancangan, perawatan, dan perbaikan rangkaian sistem elektrikal. *Wiring diagram* dapat mencakup berbagai macam informasi, termasuk penghubung kabel, komponen elektronik, dan arah aliran listrik. Adapun gambar *wiring diagram* PLTS dapat dilihat pada gambar 30 berikut ini.



Gambar 30. Wiring Diagram PLTS

4.1.6 Rencana Anggaran Biaya (RAB)

Berikut rencana anggaran biaya dan biaya jasa pekerjaan yang diperlukan dalam perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Laboratorium Teknik Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Jambi. Anggaran biaya dan biaya jasa pekerjaan disajikan pada tabel 5 dan tabel 6 berikut.

Tabel 5. Rencana Anggaran Biaya Bahan

No	Nama Barang	Jumlah	Satuan	Harga Satuan (Rp)	Jumlah Biaya (Rp)
1	Panel Surya Trina Solar	162	Unit	3.000.000	486.000.000

No	Nama Barang	Jumlah	Satuan	Harga Satuan (Rp)	Jumlah Biaya (Rp)
	Monocrystalline 550-555 Wp				
2	SMA Sunny Tripower STP 24000TL-US-10 24 kW Inverter	4	Unit	82.728.600	330.914.400
3	Energy kWh Meter 3 Fasa <i>Export – Import</i> <i>Three Phase</i>	1	Unit	1.108.000	1.108.000
4	Transformator Step Up 380 V/20 Kv	1	Unit	75.000.000	75.000.000
5	MCCB Schneider Cvs100f 3p 32a	4	Unit	714.000	2.856.000
6	MCB DC Circuit Breaker Solar Pv Chint NB1- 63 DC 4P 20A 1000V	3	Unit	444.000	1.332.000
7	Kabel Panel Surya 2x2,5 mm (18 m)	28	Unit	211.200	5.913.600
8	Kabel Listrik NYFGBY (4x16 mm ²)	40	Meter	176.400	7.056.000
9	Box Panel Listrik 150 cm X 120 cm	2	Unit	8.316.000	16.632.000
10	Penangkal Petir	1	Unit	1.470.750	1.470.750
11	<i>Power House</i>	1	Unit	72.000.000	72.000.000

No	Nama Barang	Jumlah	Satuan	Harga Satuan (Rp)	Jumlah Biaya (Rp)
12	Hager KB363C Busbar Rel Sisir MCB 3 Phase 24 Mata Insulated	4	Unit	211.800	847.200
13	<i>Base Rail</i>	54	Unit	410.000	22.140.000
14	<i>Module Rail</i>	162	Unit	189.000	30.618.000
15	<i>Front Leg</i>	48	Unit	75.000	3.600.000
16	<i>Rear Leg</i>	48	Unit	133.200	6.393.600
17	<i>Rail Joiner</i>	72	Unit	30.000	2.160.000
18	<i>End Clamp</i>	156	Unit	18.000	2.808.000
19	<i>Mid Clamp</i>	102	Unit	18.000	1.836.000
20	<i>Bonding Jumper</i>	6	Unit	36.000	216.000
21	<i>Grounding Clip</i>	102	Unit	3.000	306.000
22	<i>Cable Clip</i>	162	Unit	5.000	810.000
23	Toolbox	2	Unit	711.000	1.422.000
24	Mur Baut Baja Grade 8.8 M16 X 40 mm HTB – MJS	200	Unit	8.400	1.680.000
25	Baut Mur Kuning Hex BMK M6 X 20 mm (Kunci 10)	200	Unit	1.000	200.000
26	Sekrup <i>Roofing</i> Kuning/Baut Baja Ringan (BDM) 12 x 75 (7,5 cm)	200	Unit	1.500	300.000

No	Nama Barang	Jumlah	Satuan	Harga Satuan (Rp)	Jumlah Biaya (Rp)
27	Baut <i>Roofing</i> Putih 1 Dus [1.000 Unit] Baut Baja Ringan 10 X 16 mm 1.5 cm Skrup Baja Ringan Seng Al munium	2	Dus	239.400	478.800
Total Biaya				Rp.1.076.098.350,-	

Tabel 6. Biaya Jasa Pekerjaan

No	Jasa Pekerjaan	Jumlah	Satuan	Harga Satuan (Rp)	Jumlah Biaya (Rp)
I Pekerjaan Persiapan					
1	Pengukuran	640	m ²	400	400.000
II Pekerjaan Pondasi					
1	Penggalian Tanah dan Pembuatan Pondasi Panel	3 (2)	Org/hr	100.000	600.000
III Pekerjaan Kerangka Panel					
1	Instalasi Rangka	440	m	40.000	12.960.000
2	Pemasangan Panel pada Rangka	3 (2)	Org/hr	100.000	600.000
IV Pekerjaan <i>Power House</i>					
1	Pembangunan <i>Power House</i>	4 (14)	Org/hr	100.000	5.600.000
V Pekerjaan Instalasi Listrik					
1	Instalasi Listrik Panel Surya	162	ttk	20.000	3.240.000
2	Pemasangan Perangkat Listrik MCCB	4	ttk	70.000	280.000
3	Pemasangan Perangkat Listrik MCB DC	3	ttk	30.000	90.000

No	Jasa Pekerjaan	Jumlah	Satuan	Harga Satuan (Rp)	Jumlah Biaya (Rp)
4	Pemasangan Perangkat Listrik Inverter	4	ttk	175.000	700.000
5	Pemasangan Penangkal Petir	1	ttk	2.500.000	2.500.000
6	Pemasangan kWh <i>Export-Import</i> (EXIM)	1	ttk	1.750.000	1.750.000
7	Pemasangan Trafo 3 <i>Phase Step-Up</i> 380/20KV	1	ttk	3.000.000	3.000.000
Total Biaya				Rp.31.720.000,-	

4.2 Pembahasan

Pada hasil penelitian ini telah didapatkan hasil data luas lahan kosong, data iradiasi matahari, desain perencanaan dan perencanaan PLTS dan Rencana Anggaran Biaya (RAB). Berdasarkan hasil data penelitian akan dibahas mengenai perbandingan validasi data hasil simulasi *software* dengan perhitungan manual dan analisis biaya ekonomi yang terdiri atas perhitungan biaya pemeliharaan dan operasional, total investasi PLTS, perhitungan ROI (*Return On Investment*) dan *Payback period*.

4.2.1 Perbandingan Hasil Validasi Data

Hasil data dari simulasi *software helioscope* didapatkan bahwa jumlah panel yang dapat digunakan adalah 162 panel sedangkan berdasarkan perhitungan manual didapatkan hasil sebanyak 162 panel. Berdasarkan perhitungan dari simulasi *software helioscope* dan perhitungan secara manual didapatkan bahwa hasil yang sama. Perbandingan hasil validasi data mencakup total jumlah daya yang dihasilkan panel pada *software helioscope* sebesar 89.1 KW sedangkan berdasarkan perhitungan manual didapatkan sebesar 89.1 KW yang membuktikan bahwa validasi antara hasil simulasi *software helioscope* dan perhitungan manual itu sama dan dikatakan valid. Perbandingan hasil validasi data dapat dilihat pada tabel 7 berikut.

Tabel 7. Perbandingan Hasil Validasi Data

No	Jenis Data	Hasil Data Software	Hasil Data Perhitungan Manual	Validasi Data
1	Jumlah Panel	162 Buah	162 Buah	Valid
2	Total Jumlah Daya Panel	89.1 KW	89.1 KW	Valid

Perbandingan hasil data diatas dikatakan valid karena terbukti bahwa data yang berada di lapangan dengan di sistem *software helioscope* itu sama, selain itu juga arti dari validitas merupakan ketepatan antara data yang terjadi pada objek penelitian dengan data yang di laporkan oleh peneliti. Validitas juga merupakan uji data kuantitatif untuk membuktikan bahwa tidak ada rekayasa data dan semua data murni sesuai yang ada di lapangan dengan yang dilaporkan peneliti.

4.2.2 Analisis Biaya Ekonomi

Dari rencana anggaran biaya, biaya jasa pekerjaan dan desain yang telah dibuat untuk membangun PLTS Laboratorium Teknik Universitas Jambi terdapat total biaya yang dibutuhkan untuk investasi awal sebesar Rp.1.107.818.350,-.

1. Biaya Pemeliharaan dan Operasional

Biaya operasional dan pemeliharaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) umumnya berada dalam kisaran 1 hingga 2% dari total investasi awal (Jais, 2012). Dalam penelitian ini, persentase biaya tahunan untuk PLTS, termasuk pembersihan panel surya, pemeliharaan peralatan, dan pemeriksaan instalasi, ditetapkan sekitar 1% dari total investasi awal. Penetapan persentase ini didasarkan pada kondisi bahwa Indonesia hanya mengalami dua musim, mengakibatkan biaya pemeliharaan panel surya tidak sebesar negara dengan empat musim. Selain itu, penetapan persentase ini juga mempertimbangkan tingkat upah tenaga kerja yang lebih rendah di Indonesia dibandingkan dengan negara maju.

Adapun biaya pemeliharaan dan operasional (M) per tahun untuk PLTS yang akan dikembangkan dapat dihitung menggunakan persamaan (3) sebagai berikut.

$$M : 1\% \times \text{Rp.1.107.818.350,-}$$

$$M : \text{Rp.11.078.183,- Per tahun}$$

Jika diperkirakan usia panel surya mencapai 25 tahun, maka total biaya pemeliharaan dan operasional untuk 25 adalah sebesar Rp. 276.954.575,-

2. Total Investasi PLTS

Total investasi PLTS adalah total biaya yang diperkirakan untuk PLTS tersebut, mencakup total biaya investasi awal dan biaya pemeliharaan serta operasional selama 25 tahun. Total Investasi PLTS dapat dihitung menggunakan persamaan (4) sebagai berikut.

$$\text{Total Investasi} = \text{Rp.1.107.818.350} + \text{Rp.276.954.575}$$

$$\text{Total Investasi} = \text{Rp.1.384.772.925,-}$$

3. Perhitungan Return On Investment (ROI)

Return on Investment (ROI) adalah persentase perubahan nilai investasi selama periode tertentu. Dalam menghitung ROI, fokus pada perolehan persentase. Dalam konteks energi surya, ROI menjadi instrumen penting dalam mengevaluasi keberhasilan investasi aset. Jika ROI positif, menunjukkan keberhasilan investasi dengan potensi laba atau setidaknya pengembalian investasi. Sebaliknya, jika ROI negatif, investasi tersebut memerlukan evaluasi ulang karena berpotensi menimbulkan kerugian.

Analisa perhitungan ROI dilakukan berdasarkan ketentuan Peraturan Presiden No. 112 Tahun 2022 Tentang harga pembelian tenaga listrik oleh PT. PLN dari beragam jenis pembangkit energi baru terbarukan yang menyebutkan bahwa pembelian tenaga listrik dari PLTS ditetapkan dengan harga US\$ 5,63 sen/kWh (Lima koma enam puluh tiga sen dolar amerika serikat per kilo watt hour).

Asumsi,

$$1 \text{ US\$} = \text{Rp.15.495,35,-}$$

Maka

$$0.05 \text{ US\$} = \text{Rp.774,77 ,-}$$

Total daya yang dihasilkan per tahun adalah 112.933 kWh, maka pendapatan yang dihasilkan pertahun dari PLTS sebagai berikut.

$$\text{Rp.774,77} \times 112.933 \text{ kWh} = \text{Rp.87.497.100,- per tahun.}$$

Pendapatan investasi PLTS Laboratorium Teknik Universitas Jambi pertahun adalah = Rp.87.497.100,- per tahun, maka untuk pendapatan Investasi

dikalikan dengan lamanya perkiraan usia PLTS tersebut selama 25 Tahun, dapat dihitung sebagai berikut.

$$= \text{Rp.}87.497.100,- \times 25 \text{ Tahun}$$

$$= \text{Rp.}2.187.427.500,-$$

Sehingga total pendapatan investasi PLTS selama 25 tahun adalah sebesar Rp. 2.187.427.500,-. Setelah mendapatkan total pendapatan investasi PLTS selama 25 tahun maka selanjutnya dapat dilakukan perhitungan ROI menggunakan persamaan (5) sebagai berikut.

$$\text{ROI} = \frac{(\text{Rp.}2.187.427.500 - \text{Rp.}1.384.772.925)}{\text{Rp.}1.384.772.925} \times 100\%$$

$$= 58\% \text{ (Positif)}$$

Dari hasil diatas dapat dilihat bahwa nilai ROI untuk investasi PLTS Laboratorium Teknik Universitas Jambi adalah positif yang dimana jika nilai persentase ROI positif maka Investasi ini dapat diterima dan menguntungkan serta perancangan untuk PLTS laboratorium Universitas Jambi layak dibangun.

4. Payback Period

Total Biaya investasi awal yang dibutuhkan untuk pembuatan PLTS adalah Rp.1.384.772.925,-maka untuk jangka waktu yang diperlukan untuk mengembalikan nilai investasi awal yang telah dikeluarkan dapat dihitung menggunakan persamaan (6) sebagai berikut.

$$\text{Payback Period} = \frac{\text{Rp.}1.384.772.925}{(\text{Rp.}87.497.100 - \text{Rp.}11.078.183)} = 18 \text{ Tahun}$$

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

kesimpulan yang dapat di ambil dari penelitian yang telah dilakukan, antara lain:

1. Hasil penelitian ini berdasarkan luas lahan yang tersedia 640m², menghasilkan 89.1 KWP listrik perhari, produksi tahunan mencapai 112.9 MWh, dengan *Performance Ratio* 81.3%. Hasil simulasi iradiasi matahari yang diterima dalam setahun mencapai 1471.4 kWh/m². Konsep peletakan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) ini adalah PLTS *Ground Mounted* atau disebut dengan *fixed Tilt Racking*, pemasangan *Landscape (Horizontal)* dengan kemiringan 5°.
2. Total Rencana Anggaran Biaya (RAB) PLTS *On-Grid* Untuk Kebutuhan Listrik Laboratorium Teknik Universitas Jambi sebesar Rp.1.107.818.350.
3. Biaya Pemeliharaan dan Operasional PLTS untuk per tahun sebesar Rp.11.078.183 dan biaya untuk pemeliharaan dan operasional PLTS selama umur proyek PLTS selama 25 tahun adalah Rp. 276.954.575. Biaya Total Investasi PLTS adalah Rp.1.384.772.925. Untuk hasil perhitungan *Return On Investment (ROI)* 58% (Positif) yang dimana jika nilai persentase ROI positif maka Investasi ini dapat diterima dan menguntungkan serta perancangan untuk PLTS laboratorium Universitas Jambi layak dibangun. Untuk jangka waktu yang diperlukan untuk mengembalikan nilai investasi awal yang telah dikeluarkan yang disebut dengan *Payback Period* didapatkan hasil perhitungan selama 18 Tahun.

5.2 Saran

Saran untuk penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Untuk penelitian selanjutnya diharapkan adanya peningkatan fokus terhadap aspek lingkungan dan variabel lain yang relevan. Terdapat kebutuhan untuk mendalami dampak lingkungan yang dihasilkan oleh teknologi energi surya, serta faktor-faktor lain yang dapat memengaruhi efisiensi dan keberlanjutan sistem.
2. Diharapkan penelitian ini dapat di-implementasikan di Gedung Laboratorium Teknik Universitas Jambi dan bangunan-bangunan publik serta instansi pemerintah untuk menggantikan penggunaan energi konvensional dan bertujuan memperkenalkan energi terbarukan dan ramah lingkungan.

DAFTAR PUSTAKA

- Dafi Dzulfikar, W., Broto. (2016). Optimalisasi Pemanfaatan Energi Listrik Tenaga Surya Skala Rumah Tangga. *Prosiding Seminar Nasional Fisika (E-Journal) SNF2016*. Vol (5).
- Gobal Solar Atlas. (2023). Retrieved Oktober 25, 2023, From <https://Globalsolaratlas.info>: <https://Globalsolaratlas.info/map?C=-8.581021,40.78125&M=1.890884,103.252575>.
- Hartawan, Ganda Sihotang. (2019). Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya Rooftop Di Hotel Kini Pontianak. Tanjung Pura.
- Hutahaean, Romario. (2018). Studi Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya Pada Komplek Perumahan Royal Gardenia Medan. Sumatra Utara.
- I Gede Civavisna Brahma, Nyoman Satya Kumara, Ida Ayu Dwi Griantari. (2021). Perancangan Dan Simulasi PLTS Atap 1 KWP Menggunakan Helioscope. *Jurnal Spektrum*. Vol 8 (2). Universitas Udayana.
- I Putu Dedi Wiriastika, I Nyoman Setiawan, I Wayan Sukerayasa. (2022). Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya Di Tempat Olah Sampah Setempat Werdi Guna Desa Gunaksa Kabupaten Klungkung. Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Udayana. Kec. Kuta Sel., Kabupaten Badung, Bali.
- Kossi, Vember Restu. (2018). Perencanaan PLTS Terpusat (off-grid) di Dusun Tikalong Kabupaten Mempawah. *Jurnal Teknik Elektro Universitas Tanjungpura*
- Lalu Moh. Junaidi Idris. (2021). Pemetaan Potensi Energi Surya Fotovoltaik Berbasis Geographic Information System Di Provinsi Nusa Tenggara Barat. Repository UNRAM. Universitas Mataram.
- Lilia Trisyathia Quentara, Erma Suryani. (2017). Pengembangan Pembangkit Listrik Tenaga Fotovoltaik untuk Pemenuhan Kebutuhan Listrik Di Daerah Terpencil Pulau Madura dengan Menggunakan Model Dinamika Sistem. Jurusan Teknik Industri. Departemen Sistem Infotmasi. Institut Teknologi Sepuluh November. Surabaya.
- Masrukhin. (2014). *Metodologi Penelitian Kualitatif*. Kudus: Media Ilmu Press.
- Panduan Evaluasi Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Fotovoltaik. (2021). Direktorat Aneka Energi Baru dan Energi Terbarukan, Kementerian ESDM. Jakarta.
- Panduan Studi Kelayakan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Terpusat. (2018). Direktorat Aneka Energi Baru dan Energi Terbarukan, Kementerian ESDM. Jakarta.

- Pelandira. (2021). Analisis Perencanaan Pengelolaan Keuangan Rumah Tangga Pada Era New Normal Covid -19 Di Desa Sukamukti. Universitas Muhammadiyah Palopo.
- PT. PLN (Persero). (2022). Statistik PLN 2022. Jakarta: Sekretariat Perusahaan PT.PLN (Persero).
- Yakobus Kariongan, Joni. (2022) Perencanaan dan Analisis Ekonomi Pembangkit Listrik Tenaga Surya Rooftop dengan Sistem *On - Grid* sebagai Catu Daya Tambahan pada RSUD Kabupaten Mimika. Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Cenderawasih.
- Ramadhani, B. (2018). Instalasi pembangkit listrik tenaga surya Dos & Don'ts. Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH Energising Development (Endev) Indonesia Jakarta, 23-28.
- Ryan Rezky Ramadhana, Muh Iqbal, Abdul Hafid, Adriani. (2022). Analisis PLTS On Grid. Vertex Elektro. Vol 14 (1). Universitas Muhammadiyah Makassar.
- S.G.Ramadhan, Ch.Rangkuti. (2016). Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya Di Atap Gedung Harry Hartanto Universitas Trisakti. Fakultas Teknik Industri Universitas Trisakti.
- Samsurizal, Hendrianto Husada, Andi Makkulau, Christiono. (2020). Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Terpusat Di Kecamatan Embaloh Hulu. Institut Teknologi PLN. Jakarta
- Wijasa, Panji Gautama. (2021). Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Sistem Off Grid Dengan Kapasitas 2 Kwp Pada Instalasi Menara Suar Bulukumba. Institut Teknologi PLN. Jakarta

LAMPIRAN

Lampiran 1. Pengukuran Luas Lahan Kosong





Lampiran 2. Data Iradiasi Matahari Menggunakan *Software Global Solar Atlas*

The screenshot displays the Global Solar Atlas interface. At the top, there is a blue header with the logo 'GLOBAL SOLAR ATLAS' and 'GLOBAL WIND ATLAS | ENERGYDATA.INFO'. A search bar is located to the right of the logo. The navigation menu includes 'Map', 'Sites', 'PV study', 'Download', 'About', and 'Contact'. Below the header, there are four main action buttons: 'Open detail', 'Bookmark', 'Share', and 'Reports'. The main content area is divided into two sections: a map on the left and a data panel on the right. The map shows an aerial view of a residential area with a red location pin. The data panel, titled 'SITE INFO', contains a table of solar irradiation data for the selected location.

Map data			Per year ▾
Direct normal irradiation	DNI	810.4	kWh/m ² ▾
Global horizontal irradiation	GHI	1612.4	kWh/m ² ▾
Diffuse horizontal irradiation	DIF	978.0	kWh/m ² ▾
Global tilted irradiation at optimum angle	GTI opta	1616.3	kWh/m ² ▾
Optimum tilt of PV modules	OPTA	5 / 0	°
Air temperature	TEMP	26.8	°C ▾
Terrain elevation	ELE	53	m ▾

At the bottom of the interface, there are logos for 'WORLD BANK GROUP', 'ESMAP', and 'SOLARGIS'. A 'Terms of use' link is also present. The footer includes the text 'Leaflet | © OpenStreetMap, Satellite tiles © Esri'.

Lampiran 3. Hasil Simulasi PLTS Menggunakan *Software Helioscope*

System Metrics PDF CSV

Design	Design 1
Module DC Nameplate	89.1 kW
Inverter AC Nameplate	96.2 kW Load Ratio: 0.93
Annual Production	112.9 MWh
Performance Ratio	81.3%
kWh/kWp	1,267.5
Weather Dataset	TMY, 10km Grid, meteonorm (meteonorm)
Simulator Version	dcec92faf3-146ba7008e-7a0512e4b5-5ba51df06f

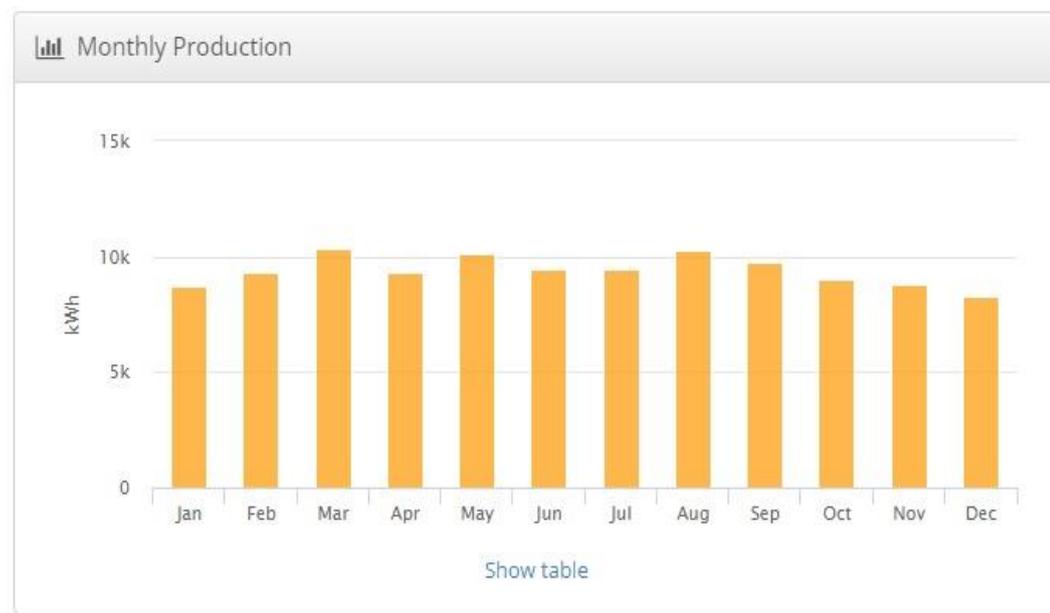
Project Location

The map shows the location of the project at Universitas Jember (UNJA). Key landmarks include Fakultas Sains dan Teknologi UNJA, Fakultas Kehutanan Universitas Jember, and Fakultas Sains Dan Teknologi Gedung B. The location is marked with a red pin near the 'PINTU PAGAR KEBUN PERCOBAAN...' area.

⚡ Annual Production			
	Description	Output	% Delta
Irradiance (kWh/m ²)	Annual Global Horizontal Irradiance	1,562.0	
	POA Irradiance	1,559.9	-0.1%
	Shaded Irradiance	1,557.9	-0.1%
	Irradiance after Reflection	1,501.4	-3.6%
	Irradiance after Soiling	1,471.4	-2.0%
	Total Collector Irradiance	1,471.4	0.0%
Energy (kWh)	Nameplate	130,997.6	
	Output at Irradiance Levels	130,045.9	-0.7%
	Output at Cell Temperature Derate	120,254.4	-7.5%
	Output After Mismatch	116,328.0	-3.3%
	Optimal DC Output	115,871.3	-0.4%
	Constrained DC Output	115,871.1	0.0%
	Energy to Grid	112,933.0	-0.1%
Temperature Metrics			
	Avg. Operating Ambient Temp		28.3 °C
	Avg. Operating Cell Temp		37.7 °C
Simulation Metrics			
	Operating Hours	4497	
	Solved Hours	4497	

Wiring Zones			
Description	Combiner Poles	String Size	Stringing Strategy
Wiring Zone	-	4-19	Along Racking

Field Segments									
Description	Racking	Orientation	Tilt	Azimuth	Intrarow Spacing	Frame Size	Frames	Modules	Power
Field Segment 1	Fixed Tilt	Landscape (Horizontal)	5°	102°	2.0 ft	5x6	3	90	49.5 kW
Field Segment 2	Fixed Tilt	Landscape (Horizontal)	5°	102°	2.0 ft	4x6	3	72	39.6 kW

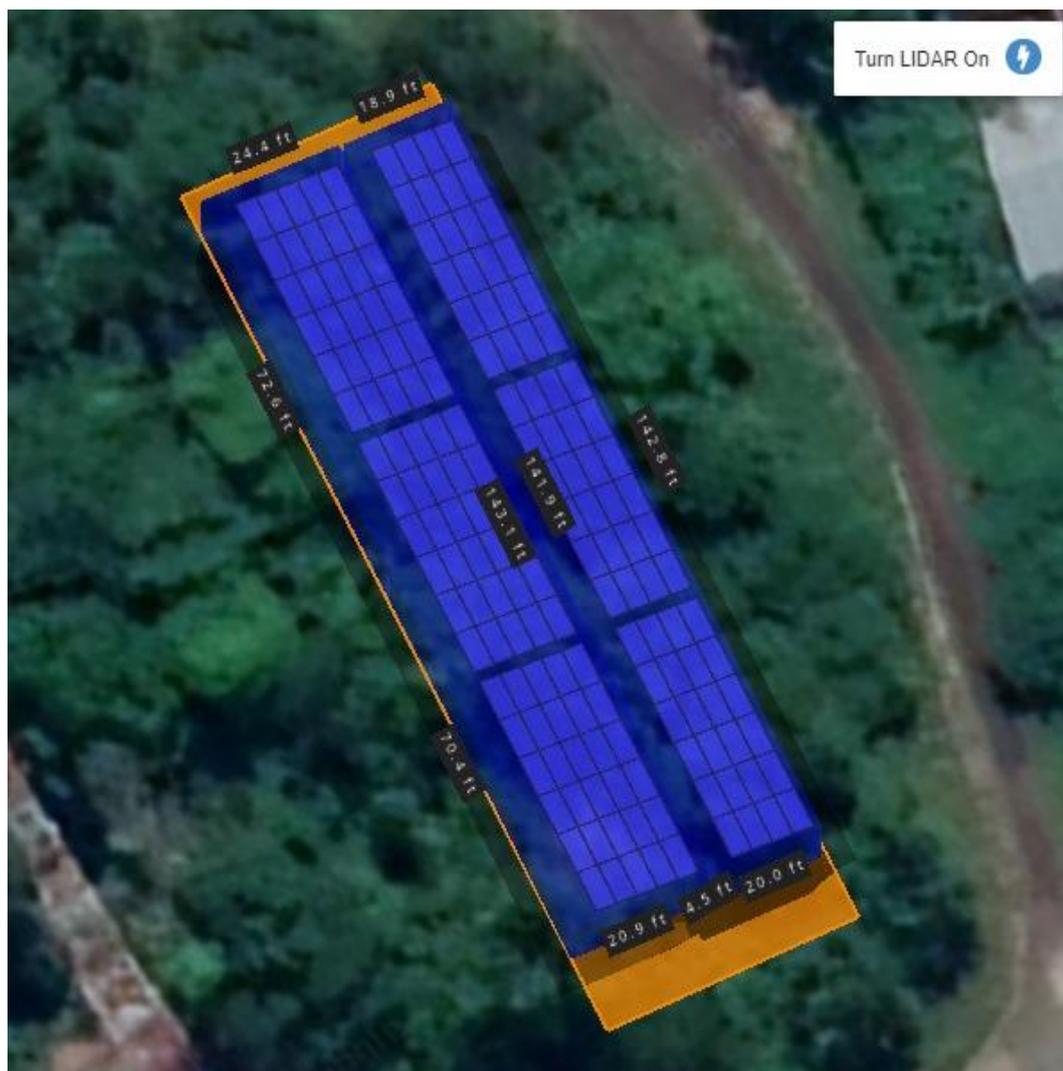


Monthly averages

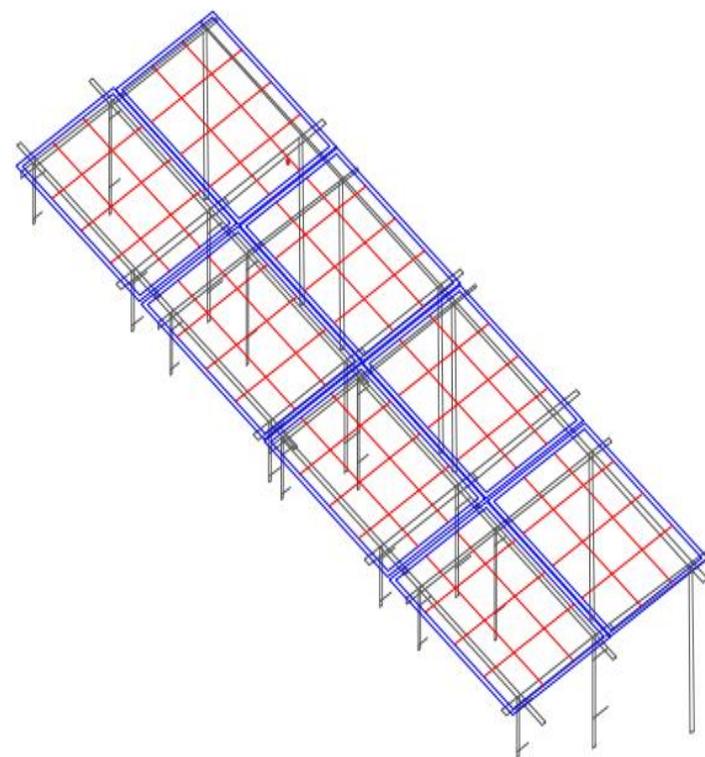
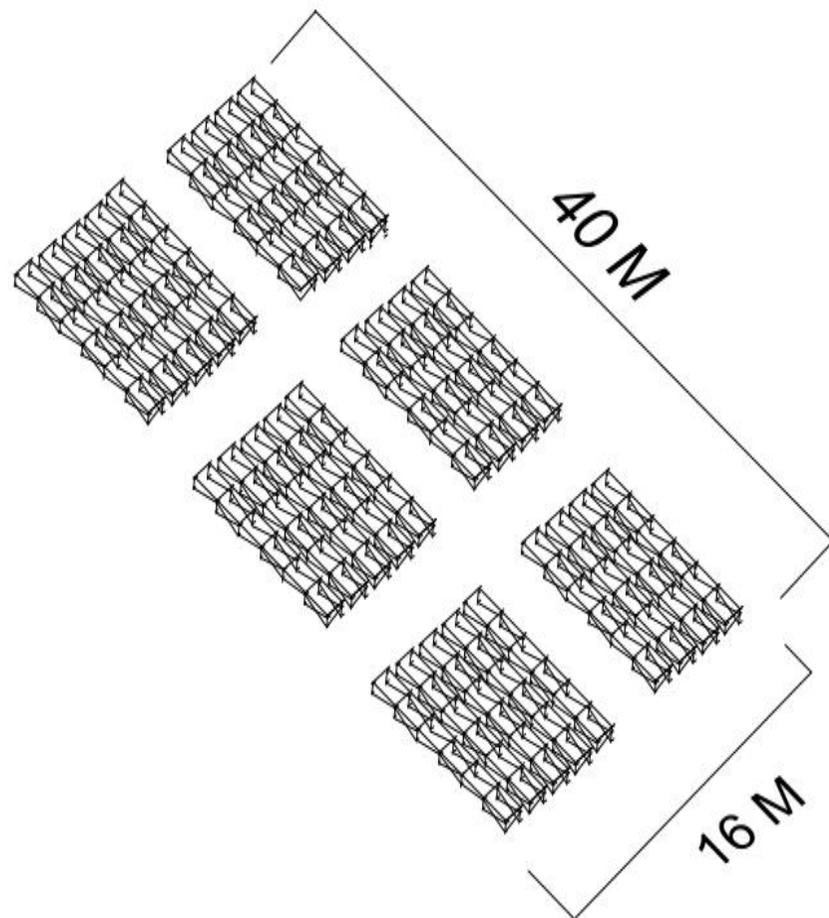
Direct normal irradiation



Components		
Component	Name	Count
Inverters	Sunny Tripower 24000TL-US (SMA)	4 (96.2 kW)
AC Home Runs	1/0 AWG (Aluminum)	4 (1,785.9 ft)
Strings	10 AWG (Copper)	12 (901.7 ft)
Module	Trina Solar, TSM-550DE18 (550W)	162 (89.1 kW)

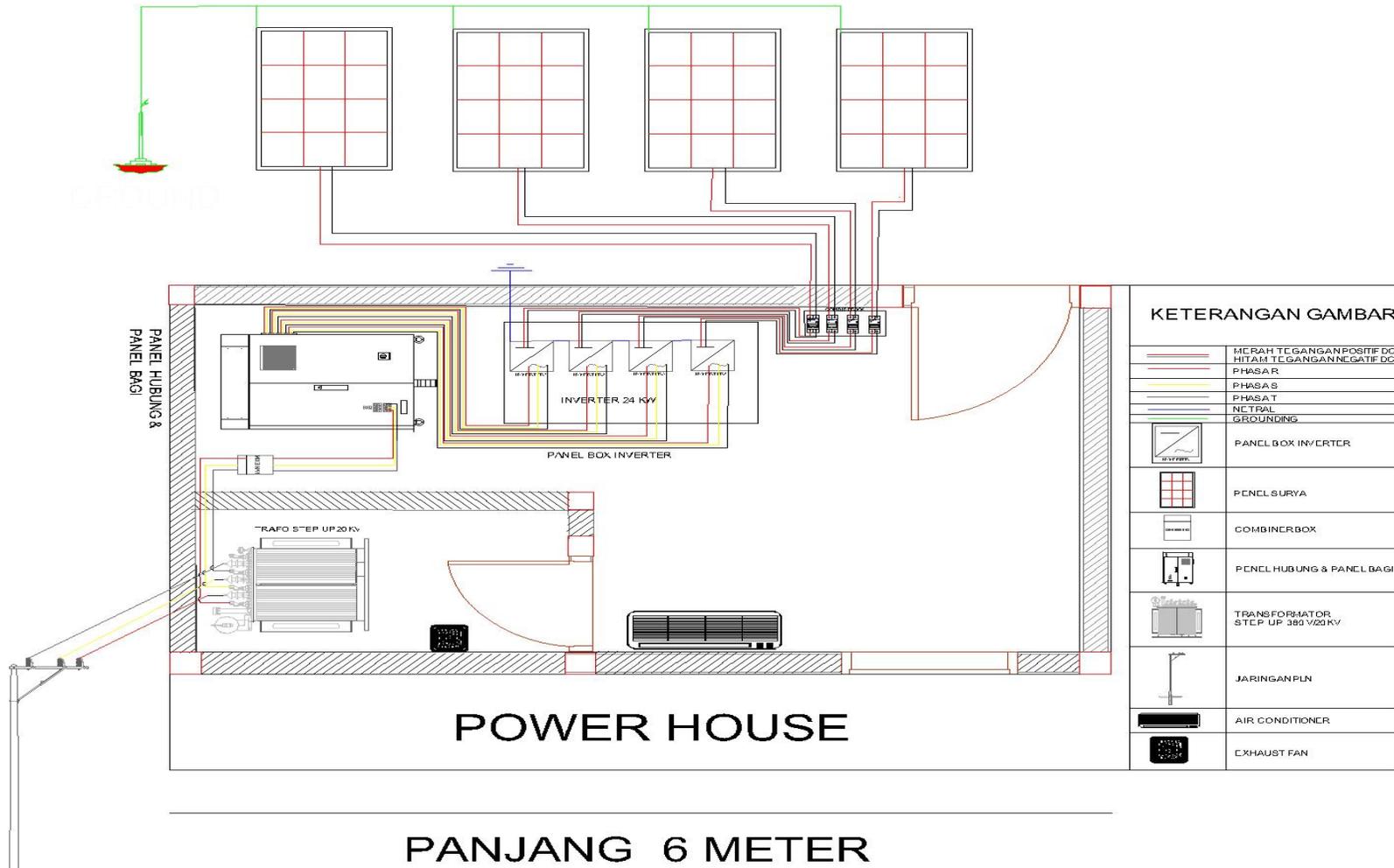


Lampiran 4. Desain Kerangka PLTS

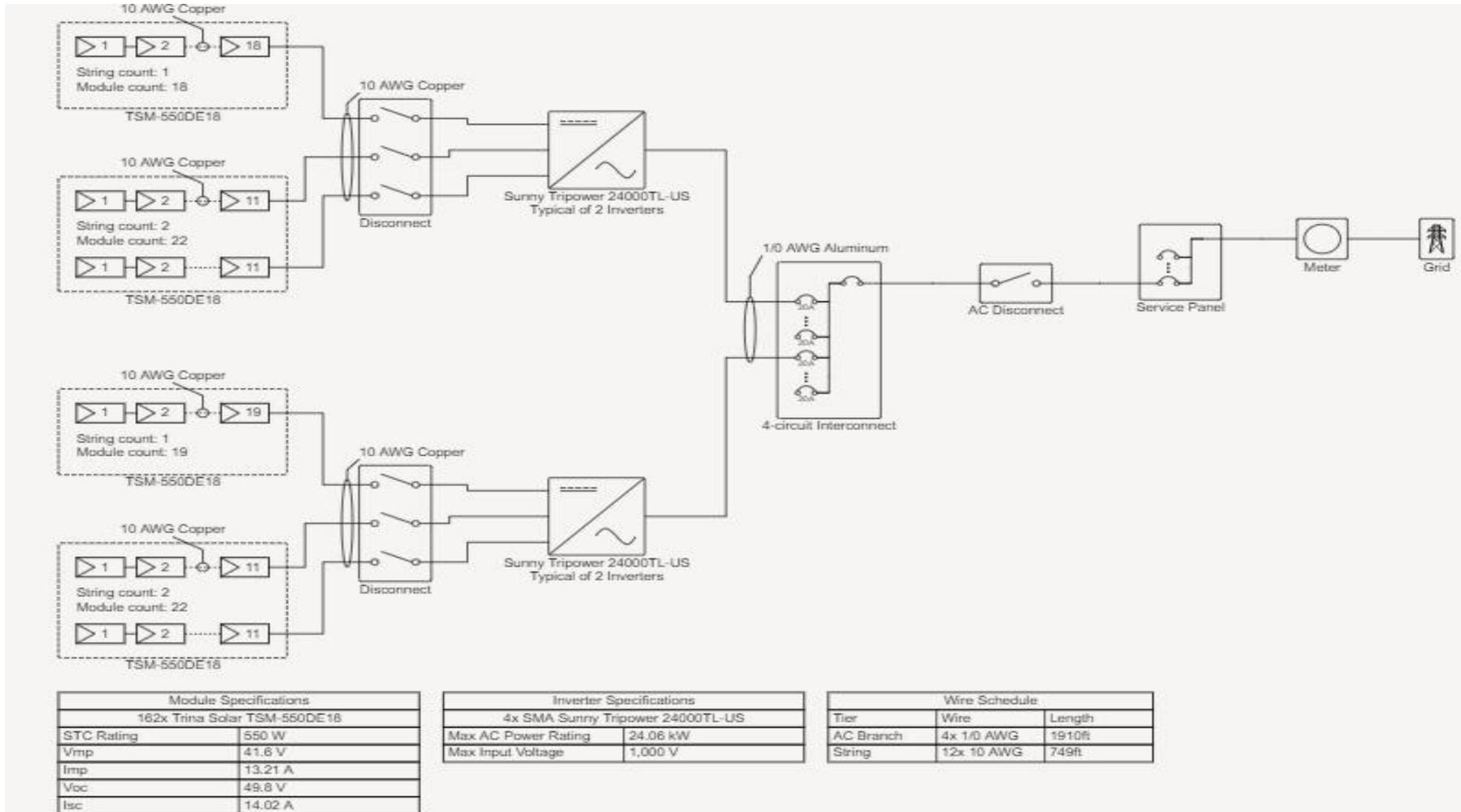


Lampiran 5. Desain Power House

LEBAR 4 M

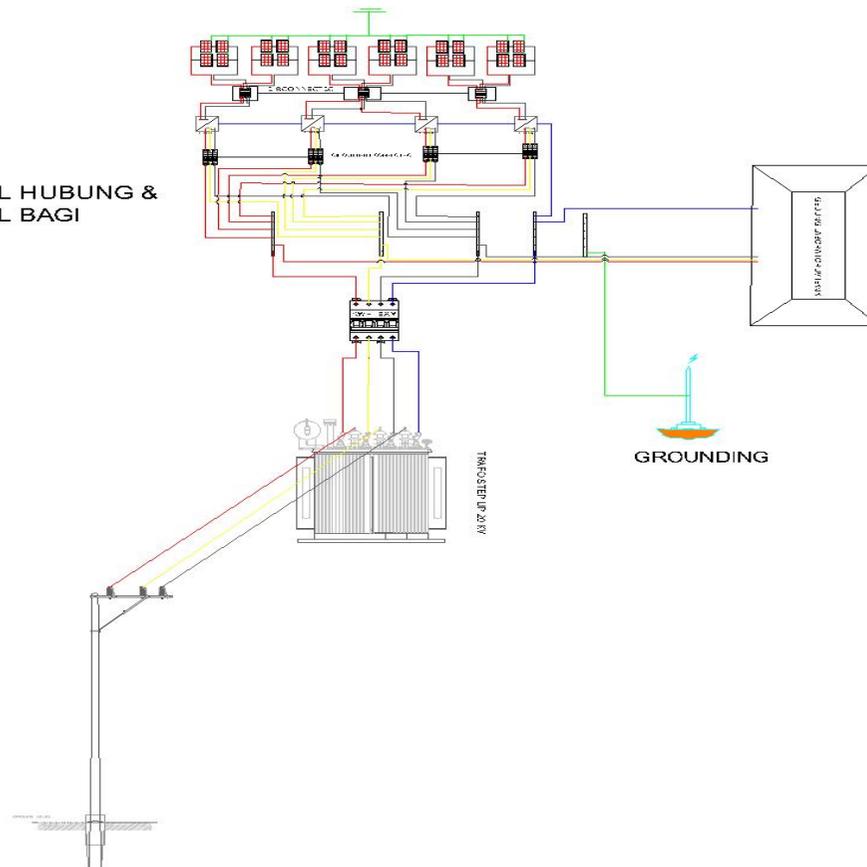


Lampiran 6. Single Line Diagram dan Wiring Diagram PLTS



WIRING DIAGRAM PLTS

PANEL HUBUNG & PANEL BAGI



KETERANGAN GAMBAR

- | | | |
|-----|--|-------------------------------------|
| 1. | | : PHASA R |
| 2. | | : PHASA S |
| 3. | | : PHASA T |
| 4. | | : PHASA N |
| 5. | | : PHASA G |
| 6. | | : PANEL SURYA |
| 7. | | : DISCONNECT DC |
| 8. | | : INVERTER 24 KW |
| 9. | | : CIRCUIT INTERCONNECT AC |
| 10. | | : KWH EXIM |
| 11. | | : TRANSFORMATOR STEP UP 380 V/20 KV |
| 12. | | : GROUNDING |
| 13. | | : JARINGAN PLN |

Lampiran 7. Datasheet Modul Panel Surya

Mono Multi Solutions

THE

TALLMAX^M

BACKSHEET MONOCRYSTALLINE MODULE

560W

MAXIMUM POWER OUTPUT

21.7%

MAXIMUM EFFICIENCY

0~+5W

POSITIVE POWER TOLERANCE

PRODUCTS

TSM-DE18

POWER RANGE

540-560W

High power up to 560W

- Up to 21.7% module efficiency with high density interconnect technology
- Multi-busbar technology for better light trapping effect, lower series resistance and improved current collection

High reliability

- Ensured PID resistance through cell process and module material control
- Resistant to harsh environments such as salt, ammonia, sand, high temperature and high humidity areas
- Mechanical performance up to 5400 Pa positive load and 2400 Pa negative load

High energy yield

- Excellent IAM (Incident Angle Modifier) and low irradiation performance, validated by 3rd party certifications
- The unique design provides optimized energy production under inter-row shading conditions
- Lower temperature coefficient (-0.34%) and operating temperature

Trina Solar's Backsheet Performance Warranty

Comprehensive Products and System Certificates

ISO 9001: Quality Management System
 ISO 14001: Environmental Management System
 ISO 45001: Greenhouse Gas Emissions Verification
 ISO 50001: Occupational Health and Safety Management System

Trinasolar

TALLMAX^M

BACKSHEET MONOCRYSTALLINE MODULE

DIMENSIONS OF PV MODULE (mm)

I-V CURVES OF PV MODULE (550 W)

P-V CURVES OF PV MODULE (550W)

ELECTRICAL DATA (STC)

	540	545	550	555	560
Peak Power Watts - P _{max} (W)*	540	545	550	555	560
Power Tolerance - P _{max} (W)	0 ~ +5				
Maximum Power Voltage - V _{max} (V)	41.2	41.4	41.6	41.9	42.2
Maximum Power Current - I _{max} (A)	13.12	13.16	13.21	13.25	13.29
Open Circuit Voltage - V _{oc} (V)	49.3	49.5	49.8	50.0	50.2
Short Circuit Current - I _{sc} (A)	13.92	13.97	14.02	14.07	14.12
Module Efficiency η _p (%)	20.9	21.1	21.3	21.5	21.7

STC: Irradiance 1000W/m², Cell Temperature 25°C, Air Mass AM1.5
*Maximum Power = 1.5%

ELECTRICAL DATA (NOCT)

	400	411	415	418	422
Maximum Power - P _{max} (W)	400	411	415	418	422
Maximum Power Voltage - V _{max} (V)	38.3	38.5	38.7	38.9	39.1
Maximum Power Current - I _{max} (A)	10.65	10.69	10.72	10.75	10.79
Open Circuit Voltage - V _{oc} (V)	46.4	46.6	46.9	47.1	47.2
Short Circuit Current - I _{sc} (A)	11.22	11.26	11.30	11.34	11.38

NOCT: Irradiance at 800W/m², Ambient Temperature 20°C, Wind Speed 1m/s

MECHANICAL DATA

Solar Cells	Monocrystalline
Cell Orientation	144 cells
Module Dimensions	2278*1134*30 mm (89.69*44.65*1.18 inches)
Weight	27.5 kg (60.6 lb)
Glass	3.2 mm (0.13 inches), High Transmission, Tempered Glass
Encapsulant Material	EVA/PDE
Backsheet	White
Frame	30 mm (1.18 inches) Anodized Aluminium Alloy
J Box	IP 68 rated
Cables	Photovoltaic Technology Cable 4.0mm ² (0.000 inches ²), Portrait: 390mm/200mm(1.178/1.02 inches) Length can be customized
Connector	MC4 EVO2 / TS4 Plus/ TS4*

*Please refer to regional datasheet for specified connector.

TEMPERATURE RATINGS	MAXIMUM RATINGS
NOCT (Nominal Operating Cell Temperature)	43°C (±2°C)
Operational Temperature	-40 ~ +85 °C
Temperature Coefficient of P _{max}	-0.34%/°C
Maximum System Voltage	1500V DC (IEC)
Temperature Coefficient of V _{oc}	-0.25%/°C
Max Series Fuse Rating	25 A
Temperature Coefficient of I _{sc}	0.04%/°C

WARRANTY

12 year Product Workmanship Warranty	PACKAGING CONFIGURATION
25 year Power Warranty	
2% first year degradation	
0.55% Annual Power Attenuation	Modules per box: 36 pieces Modules per 40' container: 720 pieces

(Please refer to product warranty for details)

Trinasolar

CAUTION: READ SAFETY AND INSTALLATION INSTRUCTIONS BEFORE USING THE PRODUCT.
 © 2018 Trina Solar Co., Ltd. All rights reserved. Specifications included in this datasheet are subject to change without notice.
 Version number: TSM_EN_2023.1A www.trinasolar.com

Lampiran 8. Datasheet Inverter

SUNNY TRIPOWER 12000TL-US / 15000TL-US / 20000TL-US / 24000TL-US



Design flexibility

- 1000 V DC or 600 V DC
- Two independent DC inputs
- 15° to 90° mounting angle range
- Detachable DC Connection Unit

System efficiency

- 98% CEC, 98.5% Peak
- 1000 V DC increases system efficiency
- OptiTrac advanced MPPT
- OptiTrac Global Peak MPPT

Enhanced safety

- Integrated DC AFCI
- Floating system with all-pole sensitive ground fault protection
- Reverse polarity indicator

Future-proof

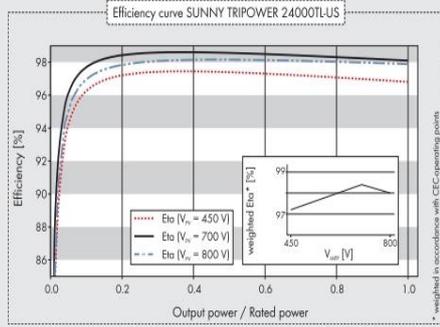
- Complete grid management feature set
- Cluster Controller, WebConnect/Speedwire
- Bi-directional Ethernet communications
- Ability to satisfy future utility requirements

SUNNY TRIPOWER 12000TL-US / 15000TL-US / 20000TL-US / 24000TL-US

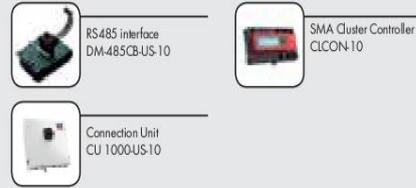
The ultimate solution for decentralized PV plants

The world's best-selling three-phase PV inverter, the SMA Sunny Tripower TL-US, is raising the bar for decentralized commercial PV systems. This three-phase, transformerless inverter is UL listed for up to 1000 V DC maximum system voltage and has a peak efficiency above 98 percent, while OptiTrac Global Peak minimizes the effects of shade for maximum energy production. The Sunny Tripower delivers a future-proof solution with full grid management functionality, cutting edge communications and advanced monitoring. The Sunny Tripower is also equipped with all-pole ground fault protection and integrated AFCI for a safe, reliable solution. It offers unmatched flexibility with a wide input voltage range and two independent MPP trackers. Suitable for both 600 V DC and 1,000 V DC applications, the Sunny Tripower allows for flexible design and a lower levelized cost of energy.





Accessories



● Standard features ○ Optional features – Not available
Data at nominal conditions

Technical data	Sunny Tripower 12000TL-US	Sunny Tripower 15000TL-US	Sunny Tripower 20000TL-US	Sunny Tripower 24000TL-US
Input (DC)				
Max. usable DC power (@ cos φ = 1)	12250 W	15300 W	20400 W	24500 W
Max. DC voltage*	1000 V	1000 V	1000 V	1000 V
Rated MPPT voltage range	300 V...800 V	300 V...800 V	380 V...800 V	450 V...800 V
MPPT operating voltage range	150 V...1000 V	150 V...1000 V	150 V...1000 V	150 V...1000 V
Min. DC voltage / start voltage	150 V / 188 V	150 V / 188 V	150 V / 188 V	150 V / 188 V
Number of MPP tracker inputs	2	2	2	2
Max. input current / per MPP tracker input	66 A / 33 A	66 A / 33 A	66 A / 33 A	66 A / 33 A
Output (AC)				
AC nominal power	12000 W	15000 W	20000 W	24000 W
Max. AC apparent power	12000 VA	15000 VA	20000 VA	24000 VA
Output phases / line connections	3 / 3-N-PE			
Nominal AC voltage	480 / 277 V WYE			
AC voltage range	244 V...305 V			
Rated AC grid frequency	60 Hz			
AC grid frequency / range	50 Hz, 60 Hz / -6 Hz...+5 Hz			
Max. output current	14.4 A	18 A	24 A	29 A
Power factor at rated power / adjustable displacement	1 / 0.8 leading...0.8 lagging			
Harmonics	< 3 %			
Efficiency				
Max. efficiency	98.2 %	98.2 %	98.5 %	98.5 %
CEC efficiency	97.5%	97.5%	97.5%	98.0%
Protection devices				
DC reverse polarity protection	●	●	●	●
Ground fault monitoring / Grid monitoring	●	●	●	●
All-pole sensitive residual current monitoring unit	●	●	●	●
DC AFCI compliant to UL 1699B	●	●	●	●
AC short circuit protection	●	●	●	●
Protection class / overvoltage category	I / IV	I / IV	I / IV	I / IV
General data				
Dimensions (W / H / D) in mm (in)	665 / 690 / 265 (26.1 / 27.1 / 10.4)			
Packing dimensions (W / H / D) in mm (in)	780 / 790 / 380 (30.7 / 31.1 / 15.0)			
Weight	55 kg (121 lbs)			
Packing weight	61 kg (134.5 lbs)			
Operating temperature range	-25°C...+60°C			
Noise emission (typical)	51 dB(A)			
Internal consumption at night	1 W			
Topology	Transformerless			
Cooling concept	OptiCool			
Electronics protection rating	NEMA 3R			
Features				
Display / LED indicators (Status / Fault / Communication)	- / ●	- / ●	- / ●	- / ●
Interfaces: Speedwire / RS485	● / ○	● / ○	● / ○	● / ○
Mounting angle range	15°...90°	15°...90°	15°...90°	15°...90°
Warranty: 10 / 15 / 20 years	● / ○ / ○	● / ○ / ○	● / ○ / ○	● / ○ / ○
Certifications and approvals	UL 1741, UL 1998, UL 1699B, IEEE 1547, FCC Part 15 (Class A & B), CAN/CSA C22.2 1071-1			
NOTE: US inverters ship with gray lids				
* Suitable for 600 V DC max. systems				
Type designation	STP 12000TL-US-10	STP 15000TL-US-10	STP 20000TL-US-10	STP 24000TL-US-10

Toll Free +1 888 4 SMA USA
www.SMA-America.com

SMA America, LLC