

TUGAS AKHIR

ANALISA KELAYAKAN PEMBANGKIT TENAGA *HYBRID* (DIESEL DAN *PHOTOVOLTAIC*) GUNA MEMENUHI PENGEMBANGAN INDUSTRI PARIWISATA DI PULAU PANDANG

*Diajukan Untuk Memenuhi Syarat Memperoleh Gelar Sarjana Teknik Elektro Pada
Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara*

Disusun Oleh:

DEDI WARDANI TARIGAN

1707220093



UMSU
Unggul | Cerdas | Terpercaya

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
MEDAN
2022**

HALAMAN PENGESAHAN

Tugas Akhir ini diajukan oleh :

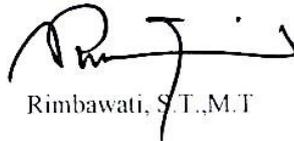
Nama : Dedi Wardani Tarigan
NPM : 1707220093
Program Studi : Teknik Elektro
Judul Skripsi : Analisa Kelayakan Pembangkit Tenaga *Hybrid* (Diesel Dan *Photovoltaic*) Guna Memenuhi Pengembangan Industri Pariwisata Di Pulau Pandang
Bidang Ilmu : Energi Baru Terbarukan

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Tim Penguji dan diterima sebagai salah satu syarat yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, 10 Oktober 2022

Mengetahui dan Menyetujui :

Dosen Pembimbing



Rimbawati, S.T.,M.T

Dosen Pembimbing I



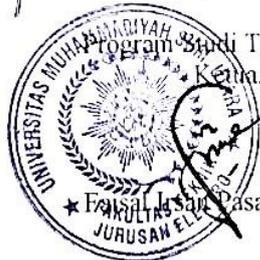
Dr. Muhammad Fijra Zambak, S.T.,M.Sc

Dosen Pembimbing II



Elvy Sahnur Nasution, S.T.,M.Pd

Program Studi Teknik Elektro



Fakultas Teknik, Medan
Pasaribu, S.T.,M.T

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Saya yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama Lengkap : Dedi Wardani Tarigan
Tempat/ Tanggal Lahir : Dell Tua/10 Agustus 1993
NPM : 1707220093
Fakultas : Teknik
Program Studi : Teknik Elektro

Menyatakan dengan sesungguhnya dan sejujurnya, bahwa laporan Tugas Akhir saya yang berjudul :

"Analisa Kelayakan Pembangkit Tenaga *Hybrid* (Diesel Dan Photovoltaic) Guna Memenuhi Pengembangan Industri Pariwisata Di Pulau Pandang)".

Bukan merupakan Plagiarisme, pencurian hasil karya milik orang lain, hasil kerja orang lain untuk kepentingan saya karena hubungan material dan nonmaterial, ataupun segala kemungkinan lain, yang pada hakekatnya bukan karya tulis Tugas Akhir saya secara orisinil dan otentik.

Bila kemudian hari diduga kuat ada ketidaksesuaian antara fakta dengan kenyataan ini, saya bersedia diproses oleh Tim Fakultas yang dibentuk untuk melakukan verifikasi, dengan sanksi terberat berupa pembatalan kelulusan/kesarjanaan saya.

Demikian Surat Pernyataan ini saya buat dengan kesadaran sendiri dan tidak ada tekanan ataupun paksaan dari pihak manapun demi menegakkan integritas akademik di Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, 10 oktober 2022

Yang Menyatakan



METERAI
TEMPEL
CSAKX133693415

Dedi Wardani Tarigan

ABSTRAK

Pulau Pandang merupakan salah satu pulau terpencil dan terluar yang berada di Sumatera Utara terletak pada titik kordinat $03^{\circ}25'14''$ LU dan $99^{\circ}445'28''$ BT dimana pulau tersebut dikelola oleh Pemerintah Pusat melalui Kementerian Perhubungan sebagai zona wilayah perbatasan negara sebagai titik arah para pelaku bahari yang ditandai dengan adanya mercusuar sebagai petunjuk arah menuju daratan dan terdapat pengunjung wisatawan baik wisata luar negeri maupun masyarakat dalam negeri yang ingin menikmati keindahan alamnya. Saat ini kondisi energi listrik di Pulau Pandang di pasok oleh Pembangkit Listrik Tenaga Diesel dan Pembangkit Fotovoltaik sehingga kualitas energi listrik yang digunakan tentu sangat berpotensi untuk dijadikan penelitian sebuah kelayakan pembangkit untuk wilayah pulau pandang tersebut terhadap beban yang ada di Pulau tersebut. Dengan melakukan simulasi pembangkit listrik tenaga hybrid generator diesel dan pembangkit listrik tenaga surya menggunakan aplikasi PV Syst dapat menghasilkan potensi energi listrik sebesar 203,5 MWh/tahun dan untuk simulasi produksi energi listrik yang dihasilkan sebesar 170 MWh/tahun, Hasil analisa kelayakan investasi yang telah dilakukan yaitu pada nilai NPV sebesar Rp. 1.489.721.932,- dengan nilai IRR sebesar 26% dan nilai B/C sebesar Rp. 4.000,- serta jangka waktu pengembalian modal selama 10 tahun, dengan kriteria tersebut maka pembangkit listrik tenaga hibrida di Pulau Pandang tersebut dinyatakan layak sebagai investasi.

Kata Kunci: PLTH, Kelayakan, PV Syst, Pulau Pandang, Energi Baru Terbarukan

ABSTRACT

Pandang Island is one of the most remote and outermost islands in North Sumatra, located at the coordinates of 03 25'14" North Latitude and 99 44' 28" East Longitude where the island is managed by the Central Government through the Ministry of Transportation as a national border zone as a waypoint. maritime actors who are marked by the presence of a lighthouse as a guide to the mainland and there are tourist visitors, both foreign tourists and domestic people who want to enjoy its natural beauty. Currently, the condition of electrical energy on Pandang Island is supplied by Diesel Power Plants and Photovoltaic Generators so that the quality of electrical energy used certainly has the potential to be used as research for a feasibility study for the island of view area against the existing loads on the Island. By simulating a diesel generator hybrid power plant and a solar power plant using the PV Syst application, it can generate potential electrical energy of 203.5 MWh/year and for the simulation of the production of electrical energy generated by 170 MWh/year, the results of the feasibility analysis of the investment that have been made carried out, namely the NPV value of Rp. 1,489,721,932,- with an IRR value of 26% and a B/C value of Rp. 4,000,- and a payback period of 10 years, with these criteria the hybrid power plant in Pulau Pandang is declared eligible as an investment.

Keywords: PLTH, Feasibility, PV System, Pandang Island, New Renewable Energy

KATA PENGANTAR

Dengan nama Allah Yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang. Segala puji dan syukur penulis ucapkan kehadiran Allah SWT yang telah memberikan karunia dan nikmat yang tiada terkira. Salah satu dari nikmat tersebut adalah keberhasilan penulis dalam menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini yang berjudul “Analisa Kelayakan Pembangkit Tenaga *Hybrid* (Diesel Dan *Photovoltaic*) Guna Memenuhi Pengembangan Industri Pariwisata Di Pulau Pandang” sebagai syarat untuk meraih gelar akademik Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara (UMSU), Medan.

Banyak pihak telah membantu dalam menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini, untuk itu penulis menghaturkan rasa terimakasih yang tulus dan dalam kepada:

1. Orang tua saya yang telah mendukung saya dalam keadaan apapun untuk menuliskan studi tugas akhir ini.
2. Ibunda Rimbawati, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing Studi Teknik Elektro, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara yang telah banyak membimbing dan mengarahkan penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
3. Bapak Munawar Alfansury Siregarr, S.T., M.T. selaku Dekan Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
4. Bapak Faisal Irsan Pasaribu S.T.,M,T. selaku ketua Program Studi Teknik Elektro, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
5. Ibu Elvy Sahnur Nasution, S.T., M.Pd. selaku Sekretaris Program Studi Teknik Elektro, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
6. Seluruh Bapak/Ibu Dosen di Program Studi Teknik Elektro, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara yang telah banyak memberikan ilmu keteknik elektroan kepada penulis.
7. Bapak/Ibu Staf Administrasi di Biro Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
8. Teman-teman seperjuangan Teknik Elektro Stambuk 2017

Tugas Akhir ini tentunya masih jauh dari kesempurnaan, untuk itu penulis berharap kritik dan masukan yang konstruktif untuk menjadi bahan pembelajaran berkesinambungan penulis di masa depan. Semoga Proposal Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi pengembangan ilmu keteknik-elektronika.

Medan, 10 Oktober 2022

DEDI WARDANI TARIGAN

DAFTAR ISI

ABSTRAK	ii
ABSTRACT	iii
KATA PENGANTAR	iv
DAFTAR ISI	v
DAFTAR GAMBAR	vii
DAFTAR TABEL	x
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	2
1.3. Tujuan Penelitian	3
1.4. Ruang Lingkup Penelitan	3
1.5. Manfaat Penelitian	3
1.6. Sistematis Penulisan	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1. Tinjauan Pustaka Relevan	6
2.2. Landasan Teori	8
2.2.1. PLTS	8
2.2.2. PLTD	22
2.2.3. PLTH	29
2.2.4. PV Syst	32
2.2.5. Kelayakan Pembangkit	38
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	42
3.1. Tempat dan Waktu	42
3.1.1. Tempat	42
3.1.2. Waktu	42
3.2. Alat dan Bahan	42
3.3. Parameter Data Penelitian	43
3.3.1. Data Beban Listrik Harian	44
3.3.2. Data Indeks Penyimpanan Matahari	44
3.3.3. Spesifikasi PLTH	45
3.3.4. Skema PLTH Pulau Pandang	46

3.3.5. Simulasi Aplikasi PV Syst	46
3.4. Metode Penelitian	47
3.5. Prosedur Penelitian	49
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	50
4.1. Potensi Energi Listrik dari Pembangkit Listrik Tenaga Hibrida	50
4.1.1. Hasil Simulasi Aplikasi PV Syst Untuk Potensi Energi Listrik PLTH	50
4.1.2. Hasil Simulasi Aplikasi PV Syst Untuk Produksi Energi Listrik PLTH ..	51
4.2. Kelayakan PLTH Untuk Kebutuhan Di Pulau Pandang	52
4.2.1. Konsumsi Energi Listrik di Pulau Pandang	52
4.2.2. Kelayakan PLTH Untuk Memenuhi Kebutuhan Energi Listrik	54
BAB V PENUTUP	62
5.1. Kesimpulan	62
5.2. Saran	62
DAFTAR PUSTAKA	64

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Rangkaian PLTS	9
Gambar 2.2. Panel Surya Mono Crystalline	11
Gambar 2.3. Panel Surya Poly Crystalline	11
Gambar 2.4. Inverter DC ke AC	13
Gambar 2.5. Solar Charger Controller	15
Gambar 2.6 Baterai Lead Acid	16
Gambar 2.7. Jaringan Distribusi PLTS	17
Gambar 2.8. Bentuk PLTD	19
Gambar 2.9. Pembakaran BBM Pada Piston	22
Gambar 2.10. Skema PLTD	24
Gambar 2.11. Skema PLTH	27
Gambar 2.12. Antarmuka Aplikasi PV Syst	30
Gambar 2.13. Parameter Simulasi PV Syst	30
Gambar 2.14. Grafik PV Syst Pada Hasil Simulasi	31
Gambar 3.1. Skema PLTH di Pulau Pandang	35
Gambar 3.2. Antarmuka Aplikasi PV Syst Untuk Pengisian Data	36
Gambar 3.3. Tampilan Site dan Meteo	37
Gambar 3.4. Tampilan Fitur Horizon Panel Surya	37
Gambar 3.5. Tampilan Fitur Syst Pada Aplikasi PV Syst	38
Gambar 3.6 Data Generator Sebagai Cadangan Energi	38
Gambar 3.7 Diagram Alir Penelitian	40
Gambar 4.1. Rata-Rata Potensi Energi Listrik PLTH	42
Gambra 4.2. Grafik Produksi Energi Listrik PLTH	44
Gambar 4.3. Monitoring Penggunaan Beban Harian	45
Gambar 4.4. Grafik Komsumsi Energi Listrik	46
Gambar 4.5. Produksi Energi Listrik Terhadap Beban Listrik	47

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1. Data Beban Listrik Harian	34
Tabel 3.2. Data Beban Listrik Bertambah.....	34
Tabel 3.3. Data Rata-Rata Sinar Matahari	38
Tabel 4.1. Tarif Masuk Pulau Pandang.....	55
Tabel 4.2. Jumlah Pengunjung Ke Pulau Pandang	57
Tabel 4.3. Pendapatan Dari Pengunjung.....	57
Tabel 4.4. Biaya Pengeluaran.....	58
Tabel 4.5. Laba Usaha.....	60

HALAMAN PENGESAHAN

Tugas Akhir ini diajukan oleh :

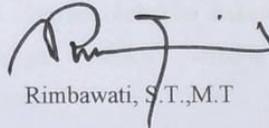
Nama : Dedi Wardani Tarigan
NPM : 1707220093
Program Studi : Teknik Elektro
Judul Skripsi : Analisa Kelayakan Pembangkit Tenaga *Hybrid* (Diesel Dan *Photovoltaic*) Guna Memenuhi Pengembangan Industri Pariwisata Di Pulau Pandang
Bidang Ilmu : Energi Baru Terbarukan

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Tim Penguji dan diterima sebagai salah satu syarat yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

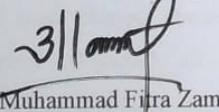
Medan, 10 Oktober 2022

Mengetahui dan Menyetujui :

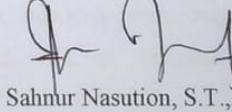
Dosen Pembimbing


Rimbawati, S.T.,M.T

Dosen Pembanding I


Dr. Muhammad Fitra Zambak, S.T.,M.Sc

Dosen Pembanding II


Elvy Sahnur Nasution, S.T.,M.Pd



Program Studi Teknik Elektro
Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara, Medan.
Faisal Irsan Pasaribu, S.T.,M.T

BAB I

PENDAHULUAN

1.1.Latar Belakang

Kebutuhan akan energi listrik di Indonesia saat ini mengalami perkembangan yang signifikan seiring dengan bertambahnya kebutuhan hidup masyarakat maupun perkembangan di segala sektor kehidupan (Falqahiyah & Benyamin, 2021) Indonesia memiliki 17.500 pulau dengan panjang garis pantai sepanjang 81.950 km atau terpanjang kedua setelah Kanada dengan lokasi di daerah katulistiwa. (Mustaruddin & Asnil, 2020) Berdasarkan dari Penelitian Pemerintah oleh Kementrian Energi dan Sumber Daya Mineral memperkirakan sumber daya yang tersedia untuk Tenaga Surya setara dengan 9,29 GW dengan jumlah pemanfaatan hanya sekitar 0.015 GW yang hanya digunakan secara terbatas. (Nugroho, 2016). Untuk hal tersebut maka pengembangan dan pemanfaatan energi setempat khususnya sinar matahari dapat menjadi salah satu jalan untuk menanggulangi permasalahan tersebut. (Nashar, 2015) Kondisi geografis Indonesia yang terdiri dari ribuan pulau menyebabkan masih banyaknya daerah terpencil yang belum terjangkau listrik PLN. (Samsurizal et al., 2020) Selain dari pada itu Indonesia sebagai negara tropis mempunyai potensi energi surya yang tinggi dengan radiasi harian rata-rata (insolasi) sebesar 4,5 kWh/m²/hari (Suherman et al., 2017)

Potensi ini dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi alternative yang murah dan tersedia sepanjang tahun. (Suandi & Chayati, 2018) Oleh karena itu penerapan teknologi Pembangkit Fotovoltaik untuk memanfaatkan potensi energi surya pada pulau-pulau terpencil tersebut merupakan solusi yang tepat. (D. L. Putra, 2020)

Pulau Pandang merupakan salah satu pulau terpencil dan terluar yang berada di Sumatera Utara terletak pada titik kordinat 03°25'14" LU dan 99° 445' 28" BT dimana pulau tersebut dikelola oleh Pemerintah Pusat melalui Kementrian Perhubungan sebagai zona wilayah perbatasan negara sebagai titik arah para pelaku bahari yang ditandai dengan adanya mercusuar sebagai petunjuk arah menuju daratan dan terdapat pengujung wisatawan baik wisata luar negeri

maupun masyarakat dalam negeri yang ingin menikmati keindahan alamnya. (Rasyid et al., 2017)

Saat ini kondisi energi listrik di Pulau Pandang di pasok oleh Pembangkit Listrik Tenaga Diesel (PLTD) dan Pembangkit Fotovoltaik sehingga kualitas energi listrik yang digunakan tentu sangat berpotensi untuk dijadikan penelitian sebuah kelayakan pembangkit untuk wilayah pulau pandang tersebut terhadap beban yang ada di Pulau tersebut. (Destrinanda et al., 2018) Untuk itu perlu dilakukan studi kelayakan terlebih dahulu guna pengoperasian Pembangkit Listrik Tenaga Diesel yang diintegrasikan dengan Pembangkit Fotovoltaik. Secara keseluruhan integrasi kedua macam pembangkit listrik tersebut dinamakan Pembangkit Listrik Tenaga Hibrida (PLTH). (R. S. Putra, 2021)

Mengingat permasalahan yang telah diuraikan diatas maka penulis ingin melakukan penelitian tentang “Analisa Kelayakan Pembangkit Tenaga *Hybrid* (Diesel Dan *Photovoltaic*) Guna Memenuhi Pengembangan Industri Pariwisata Di Pulau Pandang”

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang diuraikan diatas maka dapat dirumuskan suatu permasalahan yaitu:

1. Seberapa besar potensi energi listrik yang dihasilkan dari pembangkit hibrida diesel dan fotovoltaik dipulau pandang tersebut?
2. Layakkah pembangkit listrik tenaga hibrida tersebut beroperasi jika beban listrik di Pulau tersebut bertambah?

1.3. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian dari “Analisa Kelayakan Pembangkit Tenaga *Hybrid* (Diesel Dan *Photovoltaic*) Guna Memenuhi Pengembangan Industri Pariwisata Di Pulau Pandang” yaitu:

1. Melakukan analisis potensi energi listrik yang dihasilkan dari sistem pembangkit hibrida yang beroperasi di Pulau Pandang
2. Melakukan analisis kelayakan pembangkit listrik tenaga hibrida diesel dan photovoltaic dipulau pandang untuk menghitung kebutuhan energi listrik

dan menghitung kelayakan investasi pada pembangkit listrik tenaga hibrida di Pulau Pandang.

1.4. Ruang Lingkup Penelitian

Agar penelitian tugas akhir ini terarah tanpa mengurangi maksud dan tujuan, maka ditetapkan ruang lingkup dalam penelitian sabagai berikut:

1. Mengidentifikasi potensi energi listrik yang dihasilkan dari pembangkit listrik tenaga hibrida yang beroperasi menggunakan aplikasi PVSyst
2. Melakukan simulasi analisis kelayakan pembangkit listrik tenaga hibrida secara off grid menggunakan aplikasi PVSyst.

1.5. Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini meliputi beberapa aspek yaitu, aspek ekonomi, lingkungan dan pengetahuan. Aspek dari ekonomi yaitu memanfaatkan sumber daya alam yang sudah ada untuk dijadikan energi terbarukan dan sangat ekonomis. Kemudian dari segi lingkungan yakni menjadikan alam sebagai sumber energi yang dapat memberikan kehidupan, sedangkan untuk sisi pengetahuan yaitu memberikan informasi pada masyarakat desa akan betapa pentingnya energi baru terbarukan.

1.6. Sistematis Penulisan

Adapun sistematika penulisan tugas akhir ini diuraikan secara singkat sebagai berikut :

BAB I PENDAHULUAN

Pada bab ini menjelaskan tentang pendahuluan, latar belakang masalah, rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, metode penelitian dan sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini menjelaskan tentang tinjauan pustaka relevan, yang mana berisikan tentang teori-teori penunjang keberhasilan didalam masalah pembuatan tugas akhir ini. Ada juga teori dasar yang berisikan tentang penjelasan dari dasar teori dan penjelasan komponen utama yang digunakan dalam penelitian ini.

BAB III METODE PENELITIAN

Pada bab ini menjelaskan tentang letak lokasi penelitian, fungsi-fungsi dari alat dan bahan penelitian, tahapan-tahapan yang dilakukan dalam pengerjaan, tata cara dalam pengujian, dan struktur dari langkah-langkah pengujian

BAB IV ANALISA DAN HASIL PENELITIAN

Pada bab ini menjelaskan tentang analisis hasil dari penelitian, serta penyelesaian masalah yang terdapat didalam penelitian ini.

BAB V PENUTUP

Pada bab ini menjelaskan tentang kesimpulan dari penelitian dan saran-saran positif untuk pengembangan penelitian ini.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan Pustaka Relevan

Energi listrik telah menjadi kebutuhan utama dalam setiap kegiatan. Seiring dengan bertambahnya jumlah penduduk dan kegiatan perekonomian, maka kebutuhan energi listrik masyarakat juga mengalami peningkatan. Potensi energi matahari di Indonesia yang notabene sebagai negara tropis dengan radiasi rata-rata sebesar 4,5 kWh/m²/hari. Potensi energi matahari tersebut dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi alternatif yang tersedia sepanjang tahun dan murah. Kelayakan sistem pembangkit *hybrid* (surya-angin) yang dapat dijadikan sumber energi listrik bagi masyarakat di daerah terpencil desa Parang, Kecamatan Karimunjawa, Kabupaten Jepara. Selain itu menjadi solusi akan kurangnya pasokan energi listrik masyarakat karena tidak terkoneksi dengan jaringan PLN serta menawarkan solusi investasi energi terbarukan yang lebih ekonomis. Data yang diperoleh kemudian di analisa melalui perangkat lunak Homer dan menunjukkan hasil penerapan pembangkit *hybrid* (surya-angin) di Pulau Parang kurang menguntungkan dari sisi investasi ekonomi dan lebih tepat untuk menggunakan pembangkit energi matahari yang dikolaborasikan dengan generator.

Keberadaan energi listrik menjadi sangat penting demi terselenggaranya pembangunan nasional baik secara langsung maupun tidak langsung. Energi listrik harus tercukupi karena sangat penting bagi seluruh masyarakat. Pulau Simelue merupakan pulau terpencil di Provinsi NAD. Ditinjau dari aspek teknis pembangkit PLTH Simeulue 1 MW memiliki kelayakan untuk dibangun dikarenakan dengan total lahan sebesar 1 hektar energi yang dapat dihasilkan oleh PLTS mencapai 1466 MWh per tahun dengan capacity factor sebesar 16,7%. Selain itu intensitas matahari Pulau Simeulue cukup tinggi yaitu 1679 kWh/m².

Memperdalam ilmu agama. Pada pembangunan pondok pesantren ini tidak terlepas dari kebutuhan energi listrik untuk menunjang kegiatan para santri. Pondok pesantren ini terletak di daerah pelosok yang sudah dialiri listrik oleh

PLN tetapi dengan daya yang masih sangat kecil, sehingga energi terbarukan sangat dibutuhkan untuk membuat sebuah pembangkit listrik. Pemanfaatan energi terbarukan yang dipilih adalah memanfaatkan energi cahaya matahari yang disebut dengan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS). Cahaya matahari dapat diubah menjadi energi listrik dengan menggunakan sel surya yang terbuat dari bahan semikonduktor yang memiliki partikel elektron dan proton. Sel surya dapat menyerap cahaya matahari yang mengandung gelombang elektromagnetik yang mampu menghasilkan energi kinetik untuk melepaskan elektron-elektron ke pita konduksi sehingga menghasilkan energi listrik. Perancangan PLTH ini menggunakan sistem *off-grid* karena dalam pengoprasianya tidak terhubung ke jaringan listrik PLN. Tujuan PLTH untuk menentukan total Wh (*Watt Hours*) perhari dengan melakukan wawancara kepada pengguna tentang beban yang terpasang dan durasi pemakaiannya, menentukan jumlah sel surya, jumlah baterai, dan jumlah titik lampu yang dibutuhkan. Hasil perancangan menunjukkan bahwa, total Wh perhari sebesar 68862,43 Wh, dengan kapasitas baterai 2 V 1100 Ah berjumlah 120 unit, kapasitas inverter 5000 W berjumlah 2 unit, dan jumlah sel surya 108 modul dengan daya maksimal 200 Wp (*Watt Peak*) sehingga kapasitas PLTS sebesar $108 \times 200 \text{ Wp} = 21.600 \text{ Wp}$ atau 21,6 kWp.

Teknologi Pembangkit Listrik Tenaga Sel Surya termasuk teknologi yang ramah lingkungan karena tidak melepaskan polutan seperti halnya pembangkit listrik berbahan bakar fosil dan tidak menghasilkan noise (kebisingan). Untuk kekontinuan ketersediaan listrik dan pemanfaatan energi listrik sel surya (*solar photovoltaic*) secara maksimal terutama di daerah-daerah terpencil, maka sangat diperlukan sistem hibridisasi penyinaran matahari rata-rata 8 jam/hari dengan intensitas radiasi matahari rata-rata sekitar 4,80 kWh/m²/hari. Sumber energi surya ini dapat dikembangkan menjadi Pembangkit Listrik Tenaga Sel Surya yang merupakan salah satu solusi yang dapat dipertimbangkan sebagai salah satu pembangkit listrik alternatif. Pemanfaatan sumber energi surya tersebut untuk kelistrikan belum secara optimal, baru sekitar 42,78 MW.

2.2 Landasan Teori

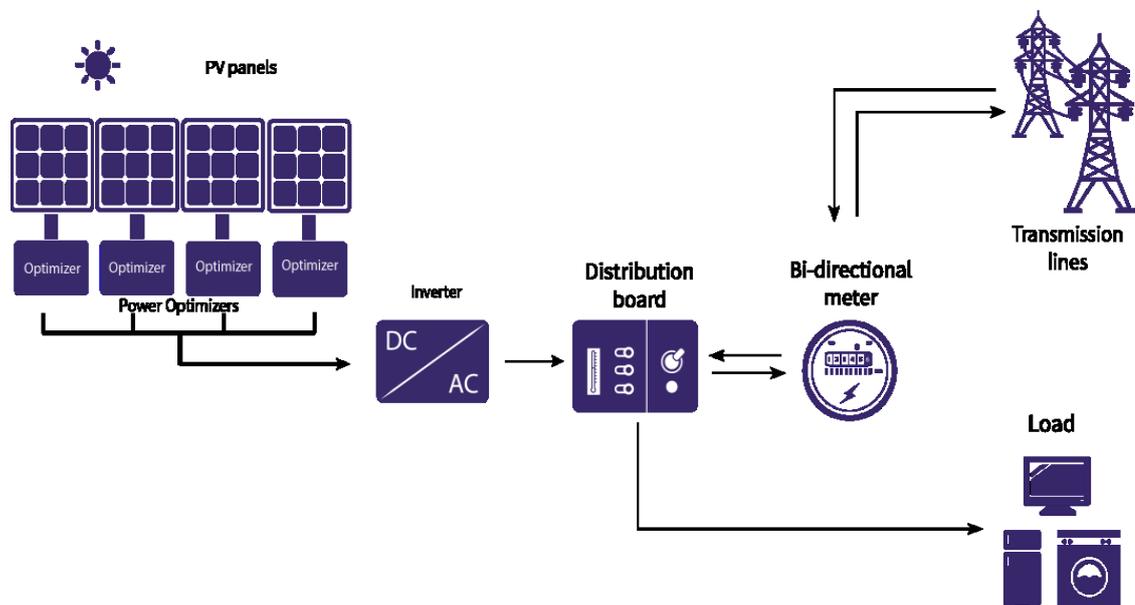
2.2.1 Pembangkit Listrik Tenaga Surya

Cahaya menyinari sebuah kristal dan menghasilkan listrik. Sederhana itu. Tidak ada bagian yang bergerak. Sumber energi yang digunakan (cahaya matahari) gratis, berlimpah, terdistribusi dengan luas, dan tersedia untuk semua negara dan semua orang di dunia. Berbagai macam kelebihan dari fotovoltaik membuatnya menjadi sumber energi terbaik. Namun, dibutuhkan adanya revolusi semikonduktor dan kemajuan dalam manufaktur sebelum seluruh potensi fotovoltaik bisa didapatkan. Dalam dua dekade terakhir, industri fotovoltaik adalah industri yang paling cepat berkembang untuk ukurannya. Ada beberapa karakteristik penting pada energi matahari yang merupakan kunci untuk menentukan bagaimana cahaya tersebut berinteraksi dengan sebuah konverter fotovoltaik atau benda lainnya.

PLTS adalah sistem pembangkit listrik yang energinya bersumber dari radiasi matahari melalui konversi sel fotovoltaik. Sistem fotovoltaik mengubah radiasi sinar matahari menjadi listrik. Semakin tinggi intensitas radiasi (irradiasi) matahari yang mengenai sel fotovoltaik, semakin tinggi daya listrik yang dihasilkannya (Rimbawati et al., 2017). Karena listrik seringkali dibutuhkan sepanjang hari, maka kelebihan daya listrik yang dihasilkan pada siang hari disimpan di dalam baterai sehingga dapat digunakan kapanpun untuk berbagai alat listrik. Sistem fotovoltaik dapat dianalogikan dengan sistem penampungan air hujan. Jumlah air yang ditampung berubah sesuai dengan cuaca, sehingga terkadang banyak air yang terkumpul, terkadang tidak ada sama sekali. Pada sistem fotovoltaik, jumlah listrik yang dikumpulkan oleh sistem fotovoltaik tergantung dengan cuaca. Saat hari cerah, banyak listrik yang dihasilkan, sedangkan saat berawan, sedikit listrik yang dihasilkan.

Terdapat tiga jenis PLTS yang sering ditemui, yaitu PLTS *off-grid*, PLTS *on-grid*, serta PLTS Hybrid dengan teknologi lainnya; yang dibedakan berdasarkan karakteristik penyimpanan dayanya. Selain itu, PLTS juga dibedakan berdasarkan ada atau tidaknya jaringan distribusi untuk menyalurkan daya listriknya; yang meliputi PLTS terpusat dan PLTS tersebar/terdistribusi. PLTS *off-*

grid yaitu Sistem PLTS yang output daya listriknya secara mandiri menyuplai listrik ke jaringan distribusi pelanggan atau tidak terhubung, PLTS *on-grid* yaitu PLTS yang Bisa beroperasi tanpa baterai, karena output listriknya disalurkan ke jaringan PLN, dan PLTS Hibrida yakni PLTS Gabungan dari sistem PLTS dengan pembangkit yang lainnya PLTD (Pembangkit Listrik Tenaga Disel), PLTB (Pembangkit Listrik Tenaga Bayu). Berikut komponen-komponen PLTS yang umum digunakan untuk pembangkit listrik.



Gambar 2.1. Rangkaian PLTS
(Rimbawati et al., 2017).

1. Panel Surya

Dalam sebuah modul surya, terdapat sel-sel fotovoltaik tempat terjadinya efek fotovoltaik. Apabila beberapa modul surya dirangkai, maka akan terbentuk suatu sistem pembangkit listrik tenaga surya. Kualitas sebuah modul surya, antara lain dinilai berdasarkan efisiensinya untuk mengkonversi radiasi sinar matahari menjadi listrik DC. Modul surya yang efisiensinya lebih tinggi akan menghasilkan daya listrik yang lebih besar dibandingkan modul surya yang efisiensinya lebih rendah untuk luasan modul yang sama (Rimbawati; et al., 2018). Efisiensi modul surya, antara lain bergantung pada material sel fotovoltaik dan proses produksinya. Secara umum, sel fotovoltaik terbuat dari material jenis *crystalline*

dan *non-crystalline* (film tipis). Untuk jenis *crystalline*, terbagi atas tipe *mono-crystalline* dan tipe *poly-crystalline*, dengan efisiensi konversi sekitar 12 – 20%.

a. Jenis *Mono-crystalline*

Jenis panel ini dapat dikatakan sebagai panel yang paling efisien yang dimana jenis monocrystalline dapat menghasilkan daya listrik yang paling tinggi persatuan luasnya. Panel surya jenis *mono-crystalline* memiliki efisiensi sampai dengan 14-17%. Kelemahan dari panel surya jenis ini adalah efisiensinya akan turun saat cuaca berawan. Karena pada jenis *mono-crystalline* ini diproduksi dengan teknologi yang canggih dan terkini sehingga tingkat tersebut dapat dihasilkan oleh panel surya jenis *mono-crystalline*. Untuk daerah yang beriklim ekstrim, *mono-crystalline* memang di rancang khusus agar penggunaan listrik yang besar atau yang memerlukan konsumsi listrik yang besar dapat menggunakan *mono-crystalline* untuk daerah tempat-tempat tersebut sehingga memudahkan konsumen pada pemakaian listrik yang cukup besar. Karena pada panel surya ini juga memiliki tingkat efisien yang sangat cukup memadai yaitu sampai dengan sebesar 15%.



Gambar 2.2. Panel Surya Jenis *mono-crystalline*
(Rimbawati et al., 2017).

b. Jenis *Poly-Crystalline*

Merupakan panel surya yang memiliki susunan kristal acak. Tipe polikristal memerlukan luas permukaan yang lebih besar dibandingkan dengan jenis monokristal untuk menghasilkan daya listrik yang sama, akan tetapi dapat menghasilkan listrik pada saat mendung. Panel surya bermateri *poly-crystalline* dikembangkan atas alasan mahalnnya materi monokristal per kilogram. Efisiensi konversi sel surya jenis polikristal berkisar antara 11,5%-14%. Untuk jenis panel surya *poly-crystalline* adalah panel surya yang mempunyai tatanan kristal yang tidak beraturan hal ini disebabkan karena dihasilkan dengan langkah- langkah pengecoran sehingga pada jenis ini membutuhkan luas permukaan yang lebih luas lagi berbeda dengan jenis monokristal jika dibandingkan luas permukaannya dan untuk menghasilkan daya listrik yang sama (Rimbawati1; et al., 2015).



Gambar 2.3. Panel Surya Jenis *poly-christalline*
(Rimbawati et al., 2017).

c. Jenis *Thin Film Photovoltaic*

Thin Film Photovoltaic Jenis sel surya ini diproduksi dengan cara menambahkan satu atau beberapa lapisan material sel surya yang tipis ke dalam lapisan dasar. Untuk jenis panel surya Thin Film Photovoltaic yaitu jenis panel Surya dengan dua lapisan dan dengan rangkaian lapisan yang tipis yaitu ada mikrokristal-silikon dan amorphous dimana tingkat efisiensi modulnya mencapai

8.5%. Untuk luas permukaan yang dibutuhkan per watt daya yang dihasilkan lebih banyak dibandingkan dengan monokristal dan polikristal.. Untuk hasil dari Thin Film Triple Junction Photovoltaic atau panel surya dengan tiga lapisan. Dimana jenis ini berfungsi untuk sangat baik dalam keadaan udara atau cuaca yang sangat berawan (mendung) dimana dapat menghasilkan daya listrik yang lebih tinggi dari jenis panel yang lain padahal dengan daya yang sama, hasilnya yaitu sampai dengan 45%



Gambar 2.4. Panel Surya Jenis *Thin Film Photovoltaic*
(Farida, 2022)

Ketika iradiasi matahari meningkat hingga 1000 W/m^2 , maka modul surya akan membangkitkan listrik DC hingga kapasitas yang tertera pada “nameplate”nya (misal: 250 Wp). Namun demikian, keluaran listrik sesungguhnya dari susunan panel bergantung pada kapasitas sistem, iradiasi matahari, orientasi arah (azimuth) dan sudut panel, dan berbagai faktor lainnya. Karena output daya listrik modul surya tergantung iradiasi matahari, maka kapasitas atau rating modul surya ditentukan oleh pabrik melalui pengujian: STC (*Standard Test Conditions*) dan NOCT (*Nominal Operating Cell Temperature*). Pengujian dengan kondisi NOCT umumnya dianggap mewakili kondisi sebenarnya. Namun demikian, kebanyakan kinerja modul diuji dengan menggunakan STC dalam menghitung output daya listrik (Wp) (Rimbawati et al., 2021). Kapasitas modul diberikan dengan toleransi (positif dan negatif) untuk

memperhitungkan potensi variasi dalam output sebagai fungsi dari proses manufaktur dan kontrol kualitas produk. Sebagai contoh panel dengan STC rating 250 Wp dengan toleransi daya $\pm 3W$ dapat dilabelkan sebagai panel dengan output antara 247 Wp dan 253 Wp. Modul surya, yang merupakan komponen penting dalam suatu sistem PLTS, memiliki output listrik DC. Namun karena banyak beban listrik yang membutuhkan suplai listrik AC, maka listrik DC yang dihasilkan oleh modul surya harus dikonversi oleh inverter menjadi listrik AC.

2. Inverter

Inverter adalah rangkaian elektronika daya yang memiliki fungsi untuk mengubah atau mengkonversi tegangan searah (DC) menjadi tegangan bolak balik (AC). Inverter bekerja dengan menggunakan beberapa komponen, yaitu trafo CT, rangkaian osilator, serta rangkaian switch (saklar). Prosesnya yaitu mengubah arus searah yang asalnya dari sumber, baik itu dari aki maupun baterai, kemudian diubah menjadi arus bolak-balik.



Gambar 2.5. Inverter DC ke AC
(Hadi, 2015)

Terdapat beberapa jenis inverter berdasarkan konfigurasi sistem PLTS *off-grid* yang akan didesain, yaitu:

- a. DC-AC Inverter – untuk sistem *Off-grid* DC-Coupling

Inverter daya DC-AC merupakan alat elektronik yang berfungsi mengubah sistem tegangan DC dari keluaran modul PV atau baterai menjadi sistem

tegangan AC. Pengubah sistem tegangan ini penting, karena peralatan listrik secara umum memerlukan suplai tegangan AC.

b. String Inverter – untuk sistem *Off-grid* AC-Coupling

PV String Inverter adalah unit alat yang berfungsi untuk merubah input tegangan DC langsung dari modul PV, menjadi output tegangan AC. Unit ini beroperasinya harus paralel dengan sumber tegangan AC lainnya, yaitu output dari string inverter di-interkoneksi-kan dengan sistem tegangan AC yang berasal dari pembangkit lainnya, seperti listrik diesel genset, atau (*Bi-directional*) *Battery Inverter*. Karena kemampuannya untuk beroperasi paralel pada tegangan AC, maka sistem PLTS ini memiliki keuntungan, yaitu bila kedepannya hendak diubah menjadi sistem *on-grid* tidak memerlukan perubahan yang berarti, karena tegangan dari grid PLN bisa langsung di-interkoneksi-kan pada jaringan AC-Inverter yang sudah ada. Dengan adanya tambahan daya listrik dari output String Inverter akan mengurangi beban bagi pembangkit lainnya, sehingga bila pembangkit tersebut berupa diesel genset, maka konsumsi BBM diesel akan lebih hemat. String Inverter biasanya juga dilengkapi fitur MPPT, agar output daya sistem PLTS selalu pada posisi maksimal mengikuti iradiasi matahari. Akan tetapi untuk mencegah terjadinya kondisi reverse power pada diesel genset, yaitu saat konsumsi daya beban < daya output sistem PLTS, maka string inverter dikontrol outputnya sesuai kebutuhan beban. Akan tetapi bila dalam sistem PLTS ini juga terdapat *Bidirectional Battery Inverter*, maka kelebihan beban tersebut bisa digunakan untuk charging *battery*.

c. *Battery Inverter* – untuk sistem *Off-grid* AC-Coupling

Battery Inverter adalah unit peralatan yang digunakan untuk mengubah tegangan input DC dari baterai menjadi tegangan output AC pada saat proses *discharge*, dan sebaliknya untuk mengubah tegangan input AC dari grid menjadi tegangan output DC pada saat proses charging. Karena sifatnya yang bisa bolak-balik ini, maka *Battery Inverter* pada sistem ini disebut juga sebagai *Bidirectional Battery Inverter*.

3. *Solar Charge Controller* Atau *Solar Charge Regulator*

Untuk Sistem *Off-grid DC-Coupling Solar Charge Controller* (SCC), atau *Solar Charge Regulator* (SCR), berfungsi membatasi arus listrik yang masuk maupun keluar dari baterai. SCC/SCR mencegah pengisian daya (*charging*) yang berlebihan serta melindungi baterai dari tegangan berlebih. Selain itu, SCC/SCR juga mencegah baterai agar energi listrik yang tersimpan di dalamnya tidak terkuras (*discharged*) sampai habis. Beberapa tipe SCC/SCR dapat secara otomatis dan terkontrol memutus tegangan suplai beban, untuk mencegah baterai dari kondisi *deep discharge* yang bisa memperpendek umur pakai baterai. Salah satu fitur pada SCC/SCR yang paling bermanfaat untuk charging adalah sistem MPPT (*Maximum Power Point Tracker*).



Gambar 2.6 *Solar Charger Controller*
(Hadi, 2015)

Dengan adanya sistem ini, baterai lebih cepat terisi karena modul PV akan selalu beroperasi pada output Titik Daya Maksimal, yang bervariasi sesuai dengan iradiasi matahari. Modul PV hanya berhenti menghasilkan daya maksimal ketika baterai sudah mendekati batas maksimum charging (Hutasuhut et al., 2022). Dengan menggunakan MPPT, keuntungan lainnya adalah sistem tegangan rangkaian seri modul PV tidak perlu sama dengan sistem tegangan baterai. Misal sistem tegangan baterai 24 Vdc, maka sistem tegangan modul PV bisa 36 Vdc

atau lainnya. SCC/SCR dapat berupa sebuah unit alat terpisah, atau dapat pula terintegrasi dengan unit DC-AC inverter.

4. Baterai

Baterai merupakan salah satu cara penyimpanan daya yang paling umum digunakan. Baterai menjadi komponen penting yang mempengaruhi sistem PLTS terpusat secara keseluruhan. Perawatan baterai, masa pakai, daya dan efisiensi merupakan parameter baterai yang mempengaruhi kinerja PLTS terpusat. Baterai yang paling tepat untuk sistem PLTS adalah yang memiliki jenis karakter *Deep Discharge*. Baterai jenis ini bisa *di-discharge* energi listriknya hingga tersisa sekitar 20% dari kapasitas simpan baterai. (Baterai untuk *starting* kendaraan bermotor umumnya hanya boleh *di-discharge* hingga tersisa 80% dari kapasitas simpan baterai. Jika *di-discharge* melebihi kapasitas tersebut, maka umur baterai akan lebih singkat). Pada sistem PLTS, terdapat sejumlah baterai yang bisa digunakan, antara lain:

a. Baterai VRLA (Valve Regulated Lead Acid)

Baterai VRLA memiliki kemasan yang tertutup rapi, jadi sangat sedikit senyawa / bahan yang bisa keluar / masuk ke dalam baterai. Oleh karena itu, baterai VRLA tidak membutuhkan perawatan lebih, serta sangat cocok diterapkan dalam sistem pembangkit listrik tenaga surya. Ada 2 tipe baterai VRLA, yaitu: Yang pertama adalah GEL, dimana elektrolit baterai berbentuk gel dengan penambahan senyawa tertentu. Yang terakhir adalah AGM (Absorbed- Glass Mat), dimana elektrolit terserap pada sebuah material bernama glass mat.



Gambar 2.7. Baterai Valve Regulated Lead Acid
(Hutasuhut et al, 2021)

b. Baterai OPzV

Baterai OPzV merupakan baterai yang bebas perawatan. Baterai ini mempunyai daya tahan serta performa tinggi. Baterai dibuat per sel DC 2 Volt serta bisa terkombinasi seri – paralel guna memperoleh nilai tegangan serta arus sesuai kebutuhan.

c. Baterai Ion Litium

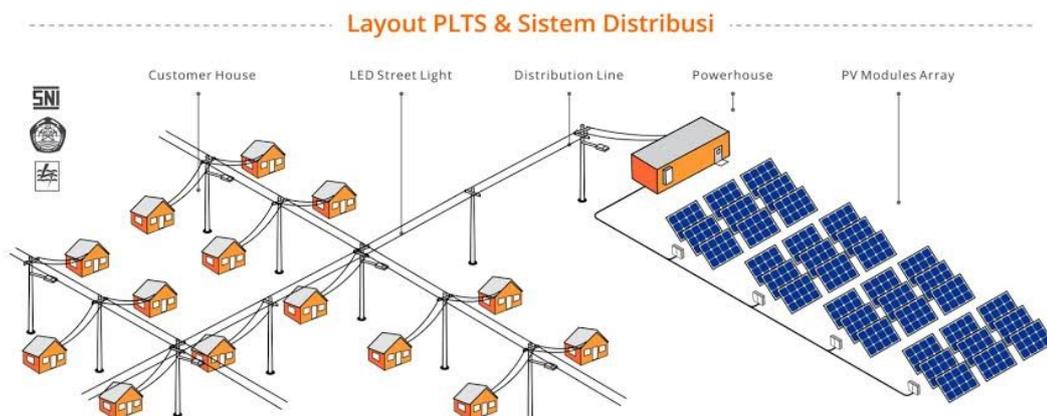
Baterai ini umumnya dinamakan Li-ion atau LIB yang merupakan salah satu jenis baterai isi ulang. Di dalamnya, saat dilepaskan, ion litium bergerak dari elektroda negatif ke positif, serta kembali waktu pengisian ulang. Ia menggunakan senyawa litium interkalasi guna senyawa elektrodanya, berbeda dengan litium metalik yang digunakan pada litium non-rechargeable.



Gambar 2.8. Baterai Ion Litium
(Riandra, 2021)

5. Jaringan Distribusi

Jaringan distribusi merupakan penghubung antara PLTS terpusat dan konsumen. Listrik yang masuk ke jaringan distribusi merupakan tegangan listrik AC yang keluar dari inverter dan transformator. Pada umumnya, jaringan distribusi menggunakan saluran udara. Namun, apabila menghendaki distribusi melewati bawah tanah, maka kabel dapat ditanam langsung atau dilewatkan ke dalam suatu saluran.



Gambar 2.9. Jaringan Distribusi PLTS
(ESDM, 2014)

Apabila kabel melewati bawah jalan raya, saluran beton digunakan untuk melindungi kabel. Pemilihan penggunaan saluran udara atau saluran bawah tanah ditentukan berdasarkan peraturan yang berlaku serta perhitungan ekonomi. Selain itu, meter pengukur produksi listrik dan sirkuit peralatan proteksi biasanya dipasang antara penyulang keluar dari transformator dan titik interkoneksi (*Point of Interconnection* - POI). Titik ini merupakan titik dimana penjualan listrik diukur, biasanya berlaku untuk sistem PLTS *On-grid*. Dalam perencanaan PLTS terpusat, harus dipertimbangkan pula kemungkinan penyambungan fasilitas PLTS terpusat ke jaringan listrik PLN. Adapun cara perhitungan menentukan penggunaan panel surya untuk penggunaan pribadi ataupun industry menggunakan persamaan berikut.

$$\text{Total Daya} = \text{Daya Rumah} : (100\% - 40\%) \dots\dots\dots(2.1)$$

Keterangan :

Total Daya = Perhitungan Daya yang akan dibutuhkan untuk Panel Surya (W)

Daya Rumah = Total Daya Penggunaan Harian (W)

Selanjutnya untuk menghitung kebutuhan panel surya dapat menggunakan persamaan berikut.

$$\text{Total Panel Surya} = \text{Total Daya} : \text{Waktu Optimal} \dots\dots\dots(2.2)$$

Keterangan:

Total Panel Surya = Jumlah Panel Surya Yang dibutuhkan

Waktu Optimal = Waktu saat matahari menyinari Panel Surya (Jam)

Panel Surya akan menyimpan energi yang diserap oleh matahari, untuk itu diperlukan baterai untuk menyimpan energi listrik agar energi listrik diserap tadi dapat digunakan di malam hari. Untuk mengetahui jumlah baterai yang diperlukan untuk menyimpan energi listrik pada panel surya, maka dapat menggunakan persamaan berikut ini.

$$\text{Banyak Baterai} = (\text{Daya Listrik} : \text{Kapasitas Baterai}) \times 2 \dots \dots \dots (2.3)$$

Keterangan:

Banyak Baterai = Jumlah Baterai Yang dibutuhkan Panel Surya

Daya Listrik = Daya listrik yang diperoleh oleh Panel Surya (Wp)

6. Komponen Pendukung System PLTS

a. Alat Proteksi Keamanan

Perlu diperhatikan bahwa peralatan proteksi dan keselamatan pada sistem PLTS sangatlah penting, Peralatan yang biasanya dipasang adalah MCB termasuk tegangan DC dan tegangan AC. Untuk perangkat proteksi dengan lonjakan atau kilat, gunakan perangkat proteksi lonjakan (SPD). Seperti MCB, SPD juga dapat digunakan untuk tegangan AC dan tegangan DC. Array panel surya menggabungkan SPD DC dan MCB DC Fotovoltaik gabungan string disebut papan distribusi atau kotak gabungan AC di luar inverter. Terdiri dari AC MCB, AC SPD dan kWh meter. Unit tampilan adalah sistem PLTS akhir, yang digunakan sebagai penghitungan dan indikasi kelistrikan.



Gambar 2.10. MCB dan SPD

(Mojo, 2020)

b. AC Combiner Box



Gambar 2.11. AC Combiner Box

Box atau panel penggabungan AC existing adalah kotak interkoneksi yang berfungsi sebagai keluaran inverter, penghubung antar jaringan / grid dengan beban. Posisi panel harus sesuai dengan spesifikasi standarnya. Panel distribusi terdapat dua jenis, yaitu jenis panel indoor atau outdoor dan panel free-standing atau wall-mounted. Panel berisi perangkat keamanan dan perangkat perlindungan untuk sistem jaringan mikro fotovoltaik. Terbuat dari baja besi tahan karat berlapis bubuk.

c. Kabel Penghantar

Untuk menghubungkan komponen dalam sistem PLTS, diperlukan kabel. Bila fungsi kabel konduktif adalah untuk menghantarkan listrik, biasanya kabel tersebut terbuat dari tembaga dan dilapisi dengan lapisan pelindung, biasanya PVC. Semakin besar diameter kawat, semakin kecil nilai resistansinya. Saat memilih kabel konduktor, harus diperhatikan spesifikasi kabel untuk mengurangi kemungkinan hilang. Karena konduktor kabel di PV biasanya tidak melebihi tegangan pengenal yang digunakan, tegangan pengenal harus dipertimbangkan.



Gambar 2.12. Kabel NYY
(Farida, 2022)

7. Kelebihan dan Kekurangan Penggunaan Sistem PLTS

a. Kelebihan Penggunaan Sistem PLTS

Pembangkit Listrik Tenaga Surya memiliki beberapa kelebihan, yaitu:

1) Pembangkit yang ramah lingkungan

Sistem PLTS adalah sistem perlindungan lingkungan. Berbeda dengan genset lain seperti yang menghasilkan kebisingan, tidak ada pencemaran atau limbah akibat penggunaan sistem PLTS.

2) Tidak membutuhkan bahan bakar dalam pengoperasiannya PLTS tidak menggunakan bahan bakar, seperti bahan bakar minyak. Sebagai sumber energi yang berkelanjutan, sinar matahari merupakan sumber energi yang tidak ada habisnya selama masih ada sinar matahari maka sistem PLTS dapat terus beroperasi untuk menghasilkan PLTS.

3) Lokasi pemasangan yang fleksibel

Sistem PLTS komunal dapat dibangun tanpa mengacu pada kondisi medan lingkungan tempat PLTS akan dipasang. Dengan cara ini pemasangan PLTS sangat fleksibel.

b. Kekurangan Penggunaan Sistem PLTS

Selain kelebihannya, PLTS juga memiliki beberapa kekurangan, yaitu:

1) Komponen dan biaya pemasangan relatif mahal

Semakin besar kapasitas PLTS yang ingin dipasang, semakin tinggi biaya pemasangan sistem PLTS. Karena membutuhkan banyak komponen.

2) Sistem tidak bekerja pada malam hari

Modul surya membutuhkan matahari untuk menghasilkan energi dan fungsinya. Namun pada malam hari, PLTS tidak memproduksi energi.

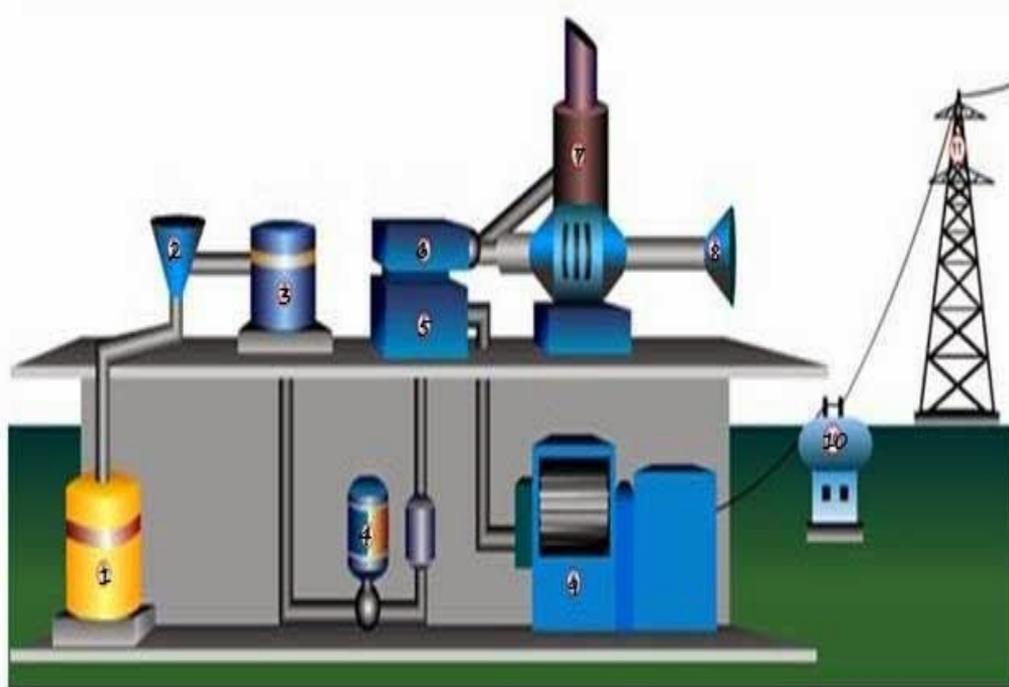
3) Tergantung cuaca

Cuaca yang tidak mendukung atau mendung akan mengurangi kapasitas operasi sistem PLTS, sehingga efisiensi sistem sangat bergantung pada kondisi cuaca pada siang hari.

2.2.2 Pembangkit Listrik Tenaga Diesel

Pembangkit Listrik Tenaga Diesel (PLTD) adalah Pembangkit listrik yang menggunakan mesin diesel sebagai penggerak mula (*prime mover*). *Prime mover* merupakan peralatan yang mempunyai fungsi menghasilkan energi mekanis yang diperlukan untuk memutar rotor generator. Mesin diesel sebagai penggerak mula PLTD berfungsi menghasilkan tenaga mekanis yang dipergunakan untuk memutar rotor generator. Motor diesel dinamai juga motor penyalaan kompresi (*compression ignition engine*) oleh karena cara penyalaan bahan bakarnya dilakukan dengan menyemprotkan bahan bakar kedalam udara bertekanan dan temperature tinggi, sebagai akibat dari proses didalam ruang bakar kepala silinder. Selain motor diesel dikenal juga jenis motor bakar lainnya yaitu motor bensin yang biasanya dinamai motor penyalaan bunga api (*spark ignition engine*) oleh karena cara penyalaan bahan bakarnya dengan pertolongan bunga api (listrik). Jika dibandingkan dengan motor bensin, gas buang motor diesel tidak banyak mengandung komponen beracun yang dapat mencemari udara. Selain dari pada itu pemakaian bahan bakar motor diesel lebih rendah (-/+ 25 %) dari pada motor bensin, sedangkan harganya pun lebih murah sehingga penggunaan motor diesel umumnya lebih hemat dari pada motor bensin sebagai penggerak mesin industri. Ditinjau dari sisi investasi harga, motor diesel umumnya lebih mahal dari motor bensin karena untuk kapasitas mesin yang sama motor diesel harus dibuat dengan konstruksi dan berat yang lebih besar.

Pembangkit Listrik Tenaga Diesel biasanya digunakan untuk memenuhi kebutuhan listrik dalam jumlah beban kecil, terutama untuk daerah baru yang terpencil atau untuk listrik pedesaan dan untuk memasok kebutuhan listrik suatu pabrik.



Gambar 2.13. Bentuk PLTD

Dari gambar di atas dapat kita lihat bagian-bagian dari Pembangkit Listrik Tenaga Diesel, yaitu.

1. Tangki penyimpanan bahan bakar.
2. Penyaring bahan bakar.
3. Tangki penyimpanan bahan bakar sementara (bahan bakar yang disaring).
4. Pengabut (nozle)
5. Mesin diesel.
6. Turbo charger.
7. Penyaring gas pembuangan.
8. Tempat pembuangan gas (bahan bakar yang disaring).
9. Generator.

10. Trafo.

11. Saluran transmisi.

Bagian-bagian utama PLTD adalah Kepala silinder (*cylinder head*), Blok mesin (*engine block*), Karter (*carter/oil pan*), dan generator. Mesin diesel berfungsi menghasilkan tenaga mekanis yang dipergunakan untuk memutar rotor generator. Komponen-komponen penting mesin PLTD adalah:

1. Mesin / motor

Merupakan komponen dasar dari mesin yang memperkuat daya. Mesin tersebut dirangkai dikopel langsung dengan generator.

2. Sistem Bahan Bakar (*Fuel System*)

Termasuk tangki bahan bakar, pompa pemindah bahan bakar, saringan alat pemanas dan sambungan pipa kerja. Pompa pemindah bahan bakar membutuhkan pemindahan bahan bakar dari ujung perantara ke tangki penyimpanan dan dari tangki penyimpanan ke mesin. Saringan membutuhkan jaminan kebersihan bahan bakar. Alat pemanas untuk minyak diperlukan untuk lokasi yang mempunyai temperature yang dingin yang mengganggu aliran fluida.

3. Sistem Udara Masuk

Termasuk saringan udara, saluran pompa kompresor (bagian integral dari mesin). Kegunaan saringan udara adalah untuk membersihkan debu dari udara yang disuplai ke mesin, juga semua ini dapat menimbulkan kenaikan daya keluaran.

4. Sistem Pembuangan Gas

Termasuk peredam dan penyambungan saluran. Temperatur pembuangan gas panasnya cukup tinggi, gas ini merupakan pemanas minyak atau persediaan udara pada mesin. Peredam mengurangi kegaduhan suara.

5. Sistem Pendinginan (*Cooler System*)

Termasuk pompa-pompa pendingin, menara pendingin, perawatan air atau mesin penyaring dan sambungan pipa kerja. Kegunaan system pendinginan adalah untuk meningkatkan panas dari mesin silinder yang menyimpan temperature silinder dalam tempat yang aman. Pompa mengedarkan air melewati silinder dan kepala selubung mengangkut panas. Sistem pendinginan membutuhkan sumber

air, sebuah pompa dan tempat untuk pembuangan air panas, penyebaran air oleh mesin pendingin ini seperti dalam alat radiator, pendingin uap, menara pendingin, penyemprot dan sebagainya.

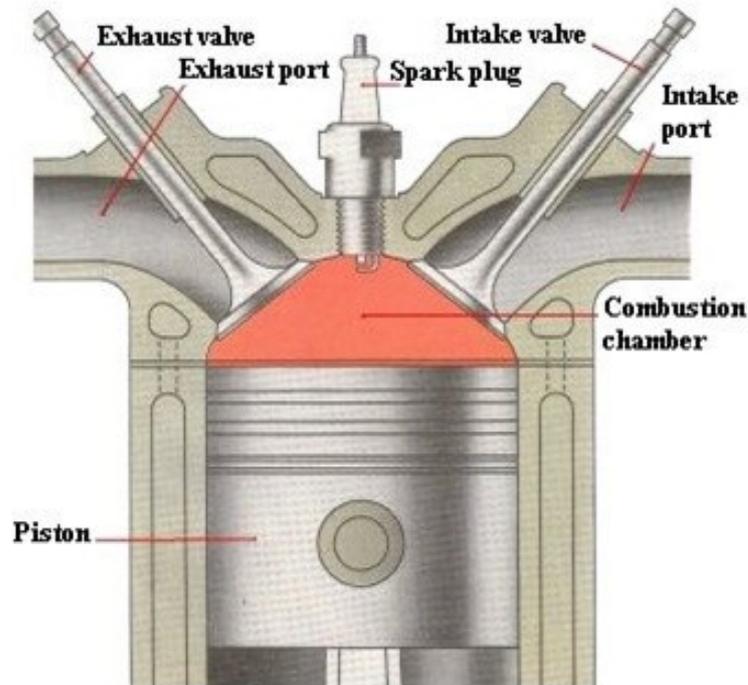
6. Sistem Pelumasan (*lube oil system*)

Termasuk pompa minyak pelumas, tangki minyak, penyaring, pendingin, alat pembersih dan sambungan pipa kerja. Fungsi sistem pelumasan yaitu untuk mengurangi pergeseran dari bagian yang bergerak dan mengurangi pemakaian dan sobekan bagian-bagian mesin.

7. Sistem Penggerak Mula

Termasuk aki, tangki hampa udara, starter sendiri dan sebagainya. Fungsi sistem penggerak mula adalah menjalankan mesin. Sistem ini memungkinkan mesin pada awalnya berputar dan berjalan sampai terjadi pembakaran dan unit meninggalkannya untuk memperoleh daya.

Prinsip kerja bahan dari pembangkit listrik tenaga diesel ini sangat efisien dengan bahan bakar di dalam tangki penyimpanan bahan bakar dipompakan ke dalam penyimpanan sementara namun sebelumnya disaring terlebih dahulu. Kemudian disimpan di dalam tangki penyimpanan sementara (*daily tank*). Jika bahan bakar adalah bahan bakar minyak (BBM) maka bahan bakar dari *daily tank* dipompakan ke Pengabut (nozzel), di sini bahan bakar dinaikan temperaturnya hingga menjadi kabut. Sedangkan jika bahan bakar adalah bahan bakar gas (BBG) maka dari *daily tank* dipompakan ke *conversion kit* (pengatur tekanan gas) untuk diatur tekanannya. Menggunakan kompresor udara bersih dimasukan ke dalam tangki udara start melalui saluran masuk (*intake manifold*) kemudian dialirkan ke turbocharger. Di dalam turbocharger tekanan dan temperatur udara dinaikan terlebih dahulu. Udara yang dialirkan pada umumnya sebesar 500 psi dengan suhu mencapai $\pm 600^{\circ}\text{C}$. Udara yang bertekanan dan bertemperatur tinggi dimasukan ke dalam ruang bakar (*combustion chamber*).



Gambar 2.14. Pembakaran BBM Pada Piston

Bahan bakar dari *conversion kit* (untuk BBG) atau nozzel (untuk BBM) kemudian diinjeksikan ke dalam ruang bakar (*combustion chamber*). Di dalam mesin diesel terjadi penyalaan sendiri, karena proses kerjanya berdasarkan udara murni yang dimanfaatkan di dalam silinder pada tekanan yang tinggi (35 - 50 atm), sehingga temperatur di dalam silinder naik dan pada saat itu bahan bakar disemprotkan dalam silinder yang bertemperatur dan bertekanan tinggi melebihi titik nyala bahan bakar sehingga akan menyala secara otomatis yang menimbulkan ledakan bahan bakar. Ledakan pada ruang bakar tersebut menggerak torak/piston yang kemudian pada poros engkol dirubah menjadi energi mekanis. Tekanan gas hasil pembakaran bahan bakar dan udara akan mendorong torak yang dihubungkan dengan poros engkol menggunakan batang torak, sehingga torak dapat bergerak bolak-balik (*reciprocating*). Gerak bolak-balik torak akan diubah menjadi gerak rotasi oleh poros engkol (*crank shaft*). Dan sebaliknya gerak rotasi poros engkol juga diubah menjadi gerak bolak-balik torak pada langkah kompresi. Poros engkol mesin diesel digunakan untuk menggerakkan poros rotor generator. Pada generator energi mekanis ini dirubah menjadi energi

listrik sehingga terjadi gaya gerak listrik (GGL). GGL terbentuk berdasarkan hukum faraday. “Hukum faraday menyatakan bahwa jika suatu penghantar berada dalam suatu medan magnet yang berubah-ubah dan penghantar tersebut memotong garis-garis gaya magnet yang dihasilkan maka pada penghantar tersebut akan diinduksikan gaya gerak listrik”. Tegangan yang dihasilkan generator dinaikan tegangannya menggunakan trafo *step up* agar energi listrik yang dihasilkan sampai ke beban. Prinsip kerja trafo berdasarkan hukum ampere dan hukum faraday yaitu arus listrik dapat menimbulkan medan magnet dan medan magnet dapat menimbulkan arus listrik. Jika pada salah satu sisi kumparan pada trafo dialiri arus bolak-balik maka timbul garis gaya magnet berubah-ubah pada kumparan terjadi induksi. Kumparan sekunder satu inti dengan kumparan primer akan menerima garis gaya magnet dari primer yang besarnya berubah-ubah pula, maka di sisi sekunder juga timbul induksi, akibatnya antara dua ujung kumparan terdapat beda tegangan. Menggunakan saluran transmisi energi listrik dihasilkan/dikirim ke beban. Di sisi beban tegangan listrik diturunkan kembali menggunakan trafo *step down* (jumlah lilitan sisi primer lebih banyak dari jumlah lilitan sisi sekunder).

Diesel empat langkah bekerja ketika melakukan empat gerakan (dua putaran engkol) untuk menghasilkan satu kerja. Secara skematis prinsip kerja motor diesel empat langkah dapat dijelaskan sebagai berikut:

1. Langkah masuk. Pada langkah ini katup masuk membuka dan katup buang menutup. Udara mengalir ke dalam silinder.
2. Langkah Kompresi. Pada langkah ini kedua katup menutup, piston bergerak dari titik TBM ke TMA menekan udara di dalam silinder. Setelah mencapai TMA, bahan bakar diinjeksikan.
3. Langkah Ekspansi. Karena injeksi bahan bakar ke dalam silinder pada suhu tinggi, bahan bakar terbakar dan memuai sehingga menekan piston untuk melakukan kerja hingga piston mencapai TMB. Kedua katup ditutup pada langkah ini.
4. Langkah buang. Ketika piston hampir mencapai TMB, katup buang terbuka, katup masuk tetap tertutup. Saat piston bergerak menuju TMA, sisa

pembakaran terbuang keluar dari ruang bakar. Akhir dari langkah ini adalah saat piston mencapai TMA. Siklus kemudian berulang.

Langkah buang ketika piston hampir mencapai TMB, katup buang terbuka, katup masuk tetap tertutup. Saat piston bergerak menuju TMA, sisa pembakaran terbuang keluar dari ruang bakar. Akhir dari langkah ini adalah saat piston mencapai TMA. Siklus kemudian berulang. Kemudian bahan bakar dari nozzle (jika menggunakan BBM) atau dari kit konversi (jika menggunakan (BBG) disuntikkan ke dalam ruang bakar. Karena menggunakan udara yang memiliki tekanan dan temperatur tinggi maka mesin diesel akan hidup secara otomatis. Hal ini terjadi karena udara dengan tekanan dan temperatur yang tinggi akan membuat temperatur di dalam silinder juga naik, dan pada saat itu bahan bakar akan disemprotkan ke dalam silinder sehingga dapat menyebabkan ledakan bahan bakar dan membuat mesin diesel hidup. poros rotor generator yang akan mengubah energi mekanik menjadi energi listrik. Agar energi listrik yang telah dibangkitkan mencapai beban maka tegangan yang dibangkitkan oleh generator akan dinaikkan tegangannya dengan menggunakan trafo step up.

Secara umum, skema Pembangkit Listrik Tenaga Diesel pada gambar 2.9 dapat dijelaskan sebagai berikut:

1. Untuk melakukan pembakaran optimal pada *diesel engine*, maka diperlukan Oksigen dari udara di sekitar. Disinilah peran air filter yang fungsinya untuk menyaring udara yang masuk ke turbocharger dan engine.
2. Di dalam *diesel engine*, solar yang dipakai sebagai bahan bakar, menghasilkan energi untuk memutar generator yang kemudian menghasilkan listrik yang dihubungkan ke trafo dan gardu listrik.
3. Pada proses PLTD satu hal yang sangat perlu diperhatikan adalah sistem pendingin pada minyak pelumasan mesin (sistem yang sama dipakai pada kendaraan bermotor). Sistem pendingin yang dipakai biasanya adalah sistem *heat exchanger* dan sistem radiator atau kedua sistem ini digabungkan.
4. *Heat exchanger* adalah sistem pendingin minyak pelumas, dimana air digunakan sebagai sarana pendingin. Proses *heat exchanger* ini memiliki

konsep yaitu, air pendingin dialirkan terus dari sumber air terdekat seperti danau, sungai ataupun kolam buatan.

5. Air terus dialirkan secara konstan melalui pipa-pipa yang kemudian dihubungkan dengan pipa minyak pelumas. Pada aplikasi tertentu, pipa air pendingin ini akan ‘menyelimuti’ pipa minyak pelumas, sehingga terjadi perpindahan suhu tinggi dari minyak ke suhu rendah (*heat exchanging*) dari air, yang menyebabkan suhu minyak menjadi berkurang. Sedangkan air yang memiliki suhu yang lebih tinggi akan dialirkan kembali menuju sumber air seterusnya saat sistem ini bekerja.
6. Sedangkan untuk sistem pendingin radiator (aplikasi yang sama pada kendaraan bermotor), minyak pelumas didinginkan dengan menggunakan kipas radiator. Dimana pada sistem ini mengaplikasikan konsep perpindahan suhu melalui radiasi, kipas radiator yang terus berputar akan menghasilkan angin untuk mendinginkan minyak pelumas.

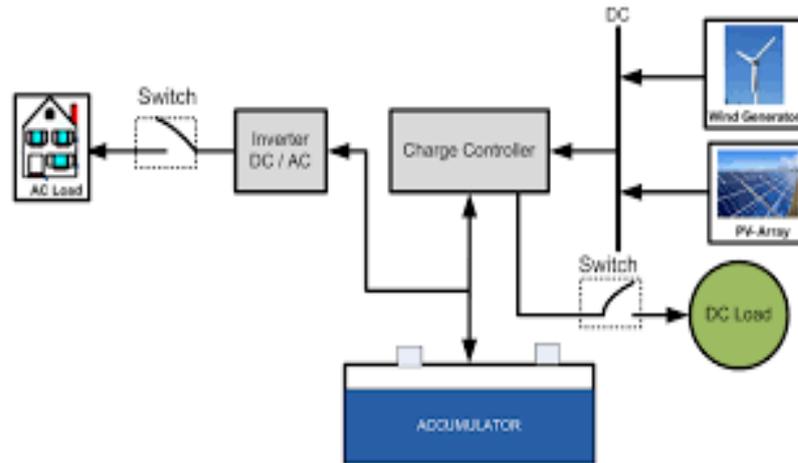
Pembangkit Listrik Tenaga Diesel memiliki beberapa kelebihan dan kekurangan, yaitu:

1. Kelebihan PLTD antara lain, investasi awal relatif lebih rendah, efisien pada setiap tingkat beban, membutuhkan operator yang sedikit, dan bahan bakar lebih mudah diperoleh.
2. Kekurangan PLTD antara lain, kapasitas mesin diesel terbatas, pemeliharaan harus lebih diperhatikan, menimbulkan suara bising, membutuhkan waktu pemanasan yang lebih lama pada saat start dalam kondisi dingin, menimbulkan polusi yang lebih tinggi, biaya operasional lebih tinggi.

2.2.3 Pembangkit Listrik Tenaga Hybrid

Pembangkit listrik tenaga hibrida adalah jenis pembangkit listrik yang menggabungkan beberapa jenis energi sekaligus untuk memenuhi kebutuhan energi listrik pada beban listrik yang sama. Jenis energi yang dapat digabungkan dalam pembangkit listrik hibrida adalah tenaga angin, energi surya dan energi dari mesin diesel. Desain pembangkit listrik tenaga hibrida

ditentukan oleh kapasitas daya pada beban listrik, profil beban harian dan intensitas sinar matahari. Data dari ketiga faktor tersebut dikumpulkan sebagai bahan untuk menentukan persentase kontribusi energi terbarukan yang dapat digunakan. Pemakaian pembangkit listrik tenaga hibrida pada wilayah yang terpencil dan terisolasi. Sifat dari pembangkit listrik tenaga hibrida adalah mandiri dan tidak terhubung dengan jala-jala listrik. Sistem hibrida digunakan untuk mengurangi kerugian energi pada kondisi tertentu menggunakan satu jenis energi. Energi surya merupakan salah satu bentuk energi yang dapat menimbulkan kerugian energi dalam jumlah besar. Penyebabnya adalah pemakaian energi surya yang bergantung kepada keadaan musim. Pembangkit listrik tenaga surya dianggap merugikan secara ekonomi pada wilayah dengan empat musim, khususnya pada musim panas dan musim dingin. Pada musim panas, modul fotovoltaik mengumpulkan energi surya secara berlebihan sehingga menghasilkan limbah energi yang tidak terpakai dan terbuang sia-sia. Sementara pada musim dingin, jumlah modul fotovoltaik harus ditambah agar dapat memenuhi kebutuhan energi surya yang mencukupi pada beban listrik. Alternatif yang tersedia adalah menggabungkan pembangkit listrik tenaga surya dengan jenis pembangkit listrik lainnya yang mampu mengatasi kekurangan pembangkit listrik tenaga surya terhadap perubahan musim. Salah satu kombinasi yang ada merupakan penggabungan dengan pembangkit listrik tenaga diesel. Penyedia pasokan listrik tetap menjadi tugas dari fotovoltaik, sementara pembangkit listrik tenaga diesel berperan sebagai penyeimbang hasil produksi energi listrik. Keberadaan pembangkit listrik tenaga diesel adalah untuk mengurangi limbah energi yang terbuang sia-sia dari fotovoltaik sehingga mengurangi biaya produksi dan pengeluaran modal. Pengurangan biaya dilakukan oleh generator listrik pada pembangkit listrik tenaga diesel. Daya listrik yang dihasilkan oleh fotovoltaik diseimbangkan dengan cara penyeimbangan dengan beban listrik.



Gambar 2.16 Skema PLTH

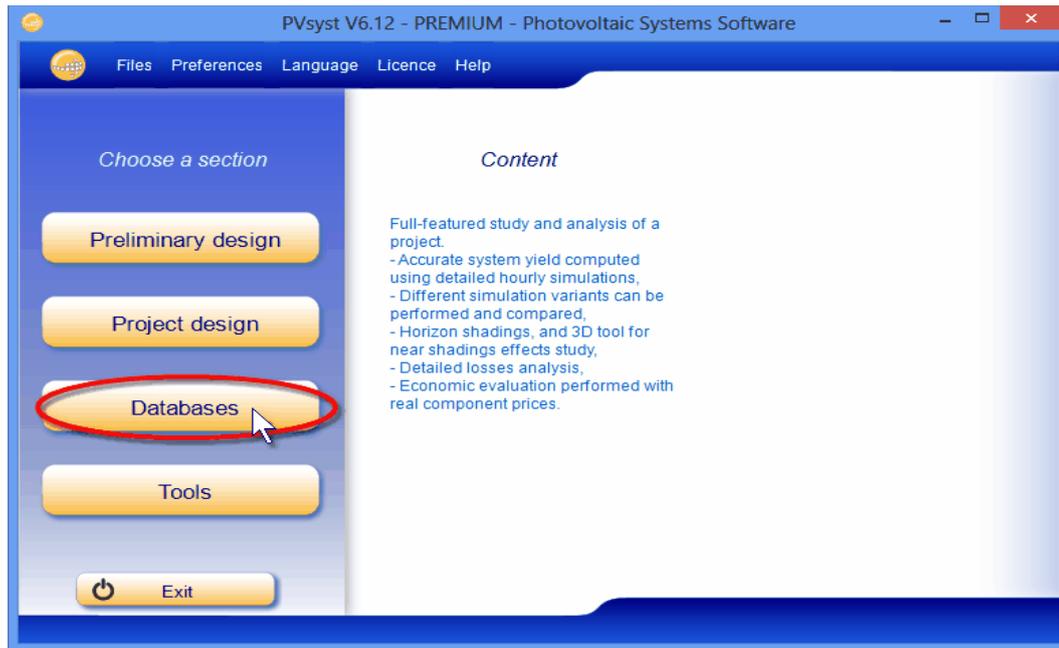
Penafsiran hybrid pada biasanya merupakan pemakaian dua ataupun lebih pembangkit listrik dengan sumber tenaga yang berbeda. Tujuan utama dari sistem hybrid pada dasarnya merupakan sesuatu sistem pembangkit listrik yang memadukan sebagian tipe pembangkit listrik, pada biasanya antara pembangkit berbasis tenaga baru serta terbarukan. Sistem hybrid ataupun Pembangkit Listrik Tenaga Hybrid (PLTH) adalah salah satu alternatif sistem pembangkit yang pas diaplikasikan pada daerah- wilayah yang sukar dijangkau oleh sistem pembangkit besar semacam jaringan PLN ataupun PLTD.

PLTH merupakan sesuatu sistem pembangkit listrik yang memadukan sebagian tipe pembangkit listrik, pada biasanya antara pembangkit listrik berbasis tenaga terbarukan terdapat pula pembangkit listrik berbasis tenaga angin dengan tenaga matahari. Pemecahan buat menanggulangi krisisnya berbahan fosil serta ketiadaan listrik di wilayah terpencil, pulau- pulau kecil serta pada wilayah perkotaan, biasanya terdiri atas: materi surya, turbin angin, baterai, serta perlengkapan kontrol yang reintegrasi. Tujuan PLTH ini merupakan mengkombinasi keunggulan dari tiap pembangkit sekalian menutupi kelemahan masing- masing pembangkit buat kondisi- keadaan tertentu, sehingga secara totalitas sistem bisa beroperasi lebih murah serta efektif. Sanggup menciptakan energi listrik secara efektif pada bermacam keadaan pembebanan. untuk mengenali unjuk kerja sistem pembangkit hibrida ini, perihal- perihal yang butuh dipertimbangkan antara lain: ciri beban konsumsi serta ciri

pembangkitan energi khususnya dengan mencermati kemampuan tenaga alam yang mau dibesarkan berikut ciri keadaan alam itu sendiri, semacam pergantian siang serta malam, setelah itu pergantian masa. Definisi System PLTS dengan teknologi Hybrid merupakan dimana sumber listrik yang dihasilkan oleh Panel surya bisa digabungkan dengan sumber listrik dari PLN. Dengan demikian secara berubah kedua system ini hendak silih membackup kala terjalin kekurangan energi listrik ataupun pemadaman. Dalam sistem ini, Sumber Tenaga utama merupakan dari Panel Surya yang dikonversikan kemudian ditampung ke baterai, jika konsumsi listriknya melebihi dari kapasitas baterainya, maka secara otomatis listrik dari PLN. Kelebihan dari tenaga listrik, digunakan buat mengisi ulang baterai.

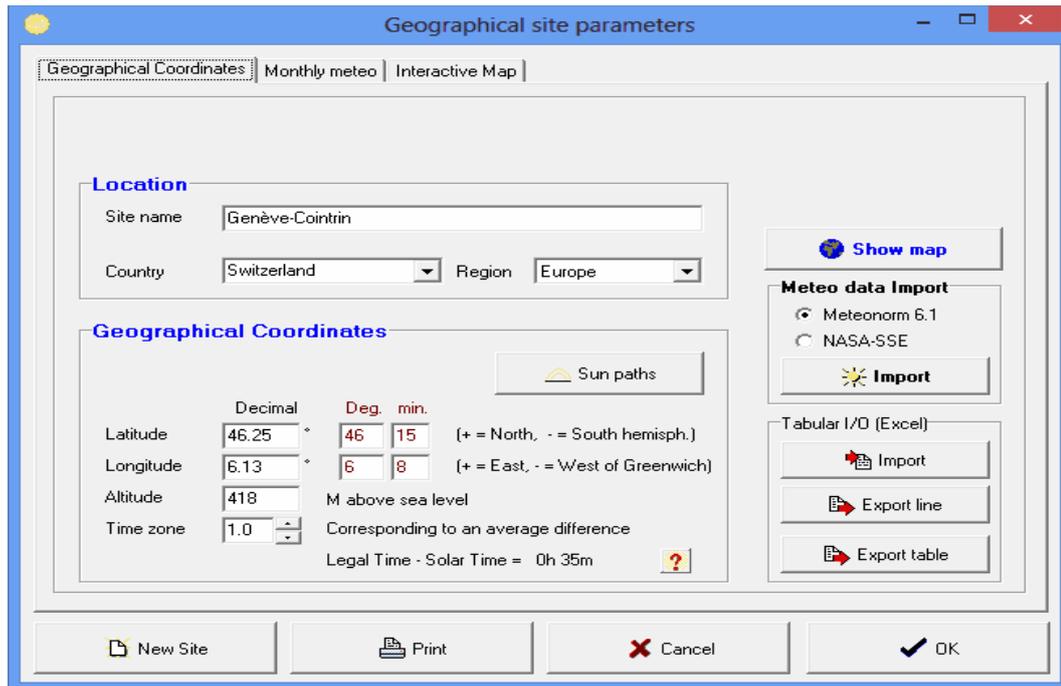
2.2.4 PV Syst

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



Gambar 2.17 Antar Muka Aplikasi PV Syst

PVsyst yaitu bersumber dari MeteoNorm V7.1 (interpolasi 1960-1990 atau 1981-2000) NASA-SSE (1983-2005), PVGIS (untuk Eropa dan Afrika), Satel-Light (untuk Eropa), TMY2/3 dan SolarAnyWhere (untuk USA), EPW (untuk Kanada), RetScreen, Helioclim dan Solar GIS (berbayar). Aplikasi PV Syst Dikembangkan oleh fisikawan Swiss Andre Mermoud dan insinyur listrik Michel Villoz, perangkat lunak ini dianggap sebagai standar untuk desain dan simulasi sistem PV di seluruh dunia. Pengembang mengklaim perangkat lunak ini dirancang untuk digunakan oleh arsitek, insinyur, peneliti, dan mahasiswa. Estimasi cepat produksi pada tahap perencanaan pembangkit, studi rinci, ukuran, estimasi jam dan pembuatan laporan adalah fitur utamanya. Alat desain yang berguna untuk desain dan estimasi sistem PV. Mensimulasikan sebagian besar parameter yang diperlukan oleh perancang sistem PV dan membantu menghasilkan laporan simulasi yang komprehensif.



Gambar 2.18 Parameter Simulasi PV Syst

Memungkinkan kontrol tingkat tinggi atas berbagai faktor. Di mana program ini tertinggal adalah kemampuannya untuk menangani analisis bayangan. Alat perspektif saat penggunaan berulang dan terasa bayangan simulasi tidak stabil dan tidak memberikan isyarat visual bayangan. Layar program tidak dapat dimaksimalkan sehingga membosankan untuk melihat semua parameter jika menggunakan monitor kecil.

Kumpulan file data terbaru Meteonorm. Bisa juga sekitar 15 sumber data berbeda yang mencakup sebagian besar wilayah di seluruh dunia. Dapat juga mengimpor data yang ditentukan pengguna. Database yang dibundel dari publikasi Photon yang mencantumkan ribuan modul dan model inverter. Dapat juga memasukkan data yang ditentukan pengguna.

1. Pengenalan Pertama dengan PVsyst

PVsyst mempunyai 4 akses ke bagian utama program:

a. *Preliminary Design*

Preliminary Design (Desain pendahuluan) memberikan evaluasi cepat tentang potensi dan kemungkinan kendala proyek dalam situasi tertentu. Ini sangat

berguna untuk pra-pengukuran sistem Stand-alone dan Pumping. Untuk sistem yang terhubung ke jaringan, ini hanyalah instrumen bagi arsitek untuk mendapatkan evaluasi cepat tentang potensi PV dari sebuah bangunan. Keakuratan alat ini terbatas dan tidak dimaksudkan untuk digunakan dalam laporan untuk pelanggan.

b. Project Design

Project Design (Desain proyek) adalah bagian utama dari perangkat lunak dan digunakan untuk studi lengkap suatu proyek. Ini melibatkan pilihan data meteorologi, desain sistem, studi naungan, penentuan kerugian, dan evaluasi ekonomi. Simulasi dilakukan selama setahun penuh dalam langkah per jam dan memberikan laporan lengkap dan banyak hasil tambahan.

c. Databases

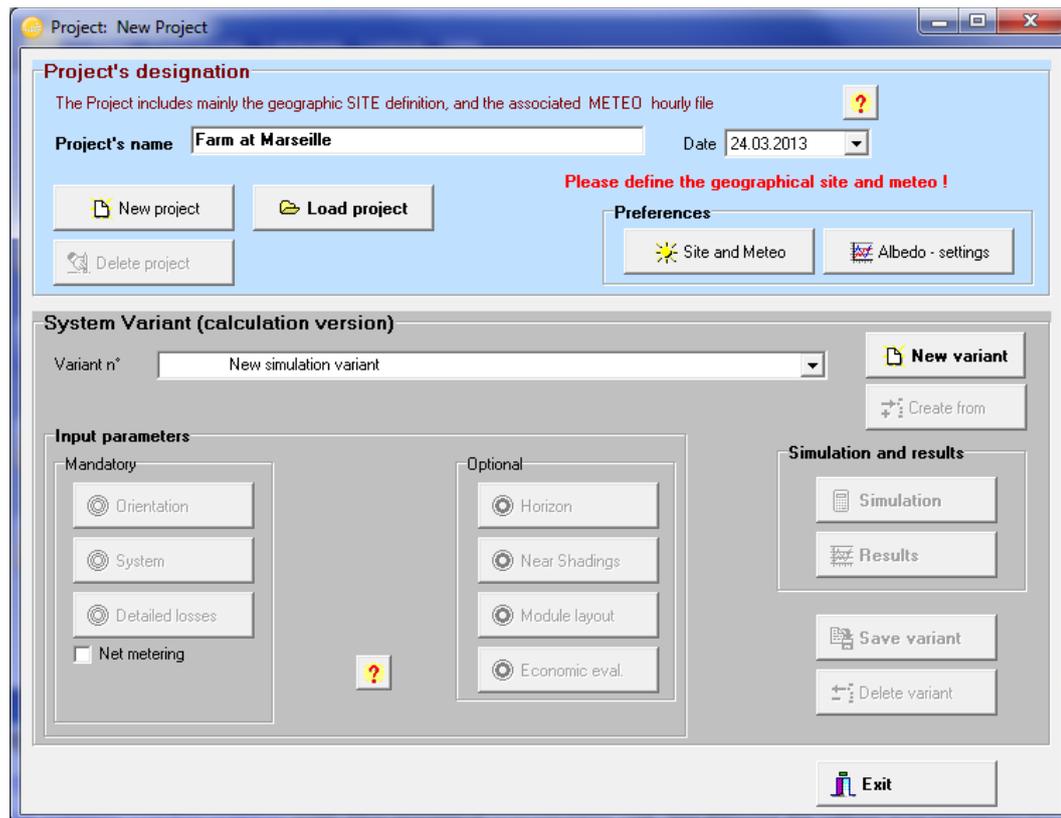
Databases (Basis data) mencakup pengelolaan data iklim yang terdiri dari data bulanan dan per jam, pembuatan nilai per jam secara sintesis, dan pengimporan data eksternal. Basis data juga berisi definisi semua komponen yang terlibat dalam instalasi PV seperti modul, inverter, baterai, dll.

d. Tools

Tools (Alat) menyediakan beberapa alat tambahan untuk memperkirakan dan memvisualisasikan perilaku instalasi surya dengan cepat. Ini juga berisi seperangkat alat khusus yang memungkinkan data terukur dari instalasi surya yang ada untuk diimpor untuk perbandingan yang dekat dengan simulasi.

2. Proyek "*Grid Connected*"

Pada saat memilih proyek "*Gridconnected*", maka terdapat tampilan dasbor berikut untuk pengelolaan proyek:

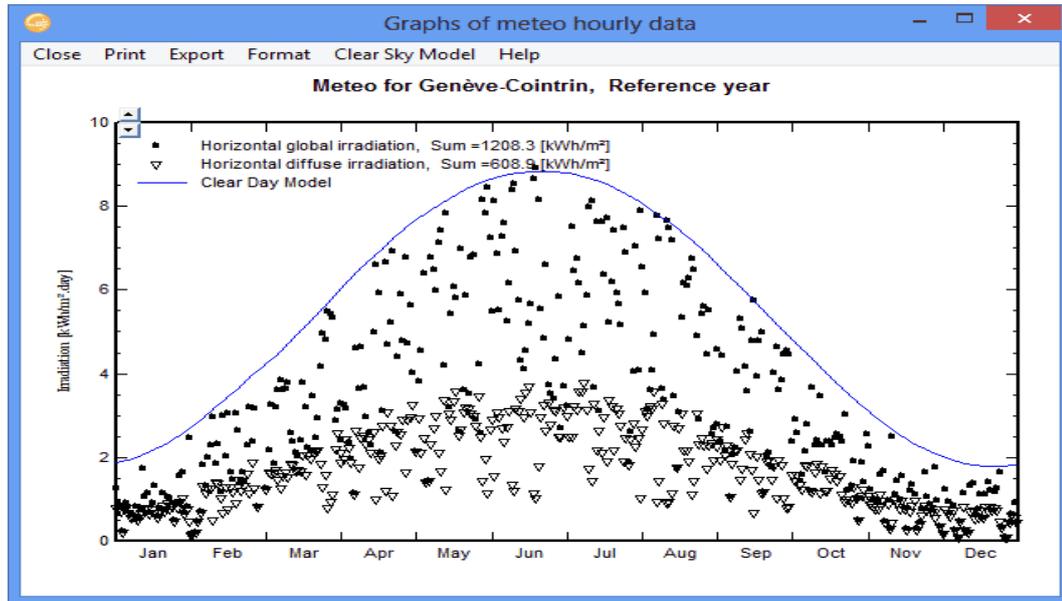


Gambar 2.19 Dasbor Proyek *Grid Connected*

Dasbor ini memiliki dua bagian: Definisi Dasar Proyek dan Manajemen Varian Sistem.

“Proyek” di PVsyst, merupakan objek pusat di mana terdapat pembuatan varian yang berbeda (atau konfigurasi sistem, varian kalkulasi) dari sistem yang telah ada sebelumnya. Proyek berisi situs geografis sistem, referensi ke file dengan data meteorologi, dan beberapa parameter umum seperti definisi Albedo, beberapa kondisi ukuran dan parameter khusus untuk proyek ini. Dalam database akan mendapatkan nama file dengan ekstensi .PRJ.

Setiap Varian Sistem berisi semua definisi terperinci dari sistem yang telah dibuat, yang akan menghasilkan perhitungan simulasi. Definisi ini mencakup pilihan panel surya dan inverter, jumlah panel dan inverter, tata letak geometris dan kemungkinan naungan, sambungan listrik, skenario ekonomi yang berbeda, dan lainnya. Dalam database, file dengan Varian proyek akan memiliki file Proyek nama, dengan ekstensi VCO, VC1, VCA, dan lainnya. Varian Sistem dapat ditentukan hingga 36 Varian per proyek.



Gambar 2.20. Grafik PV Syst Pada Hasil Simulasi

3. Langkah-Langkah dalam Pengembangan Proyek

Pada saat mengembangkan proyek di PVsyst, terdapat beberapa saran untuk melanjutkannya dalam langkah-langkah kecil:

- a. Membuat proyek dengan menentukan lokasi geografis dan data meteorologi.
- b. Menentukan varian sistem dasar, termasuk hanya orientasi modul PV, daya yang diperlukan atau area yang tersedia dan jenis modul PV dan inverter yang digunakan. PVsyst akan mengusulkan konfigurasi dasar untuk pilihan ini dan menetapkan nilai default yang wajar untuk semua parameter yang diperlukan untuk perhitungan pertama. Kemudian mensimulasikan varian ini dan menyimpannya. Ini akan menjadi perkiraan kasar pertama yang akan disempurnakan dalam literasi berturut-turut.
- c. Menentukan varian berurutan dengan menambahkan gangguan secara progresif ke sistem pertama ini, misalnya bayangan jauh, bayangan dekat, parameter kerugian spesifik, evaluasi ekonomi, dll. Lalu, mensimulasikan

dan menyimpan setiap varian. Sehingga dapat membandingkannya dan memahami dampak dari semua detail yang telah ditambahkan ke simulasi.

2.2.5 Analisa Kelayakan

Analisa kelayakan merupakan sebuah penilaian yang mengenai kelayakan dari suatu proyek yang akan dilakukan. Analisa kelayakan bertujuan untuk mengetahui secara rasional serta kekuatan dan kelemahan dari proyek atau pekerjaan yang telah dilakukan. Dalam penelitian yang dilakukan terdapat analisa kelayakan yang akan dibahas diantaranya kelayakan pembangkit dan kelayakan finansial.

Kelayakan pembangkit adalah suatu penelitian tentang layak atau tidaknya suatu investasi dilaksanakan. Hasil kelayakan merupakan perkiraan suatu bisnis menghasilkan keuntungan yang layak bila telah dioperasikan. Perkiraan keberhasilan mungkin dapat ditafsirkan berbeda-beda sesuai dengan pihak yang menjalankan tujuan bisnis. Layak tidaknya suatu pembangkit dapat di analisis dengan beberapa aspek sehingga muncul kesimpulan layak tidaknya suatu pembangkit. Kelayakan adalah serangkaian penelitian yang dilakukan secara mendalam untuk menentukan apakah pembangkit yang akan dijalankan ini memberikan manfaat yang lebih besar dibandingkan dengan biaya yang dikeluarkan. Penilaian untuk menentukan kelayakan harus didasarkan kepada seluruh aspek yang akan dinilai nantinya. Ukuran kelayakan masing-masing jenis usaha berbeda, akan tetapi aspek yang digunakan untuk menyatakan layak tidaknya suatu pembangkit tetap sama. Tujuan dari kelayakan suatu pembangkit yaitu dapat mengetahui layak atau tidaknya suatu pembangkit untuk beroperasi. Adapun syarat-syarat layaknya sebuah pembangkit sebagai berikut.

- 1) Pembangkit Listrik Memiliki Daya yang mampu mengendalikan listrik di wilayah pembangkit listrik berada.
- 2) Pembangkit Listrik memiliki biaya operasional yang sesuai dengan wilayah pembangkit listrik berada.
- 3) Pembangkit Listrik memiliki manajemen pemeliharaan yang baik.
- 4) Pembangkit Listrik memiliki daya tahan hidup yang tahan lama.

Syarat – syarat kelayakan pembangkit diatas merupakan salah satu hal yang paling penting untuk perencanaan pembangunan pembangkit listrik agar tidak terjadi hal yang tidak diinginkan dikemudian hari.

Dalam kelayakan finansial kriteria yang digunakan adalah *Net Present Value* (NPV), *Internal Rate of Return* (IRR), *Net Benefit per Cost* (Net B/C), dan *Payback Period*(PBP). *Net Present Value* (NPV) merupakan keuntungan bersih yang berupa nilai bersih sekarang berdasarkan jumlah dari *Present Value* (PV). Rumus umum yang digunakan dalam perhitungan NPV adalah:

$$NPV = \sum_{t=0}^n \frac{B_t - C_t}{(1+i)^t} \dots\dots\dots(2.1)$$

Keterangan: Bt = Benefit pada tahun ke-t
 Ct = Cost pada tahun ke-t
 i = Tingkat Diskonto (%)
 n = Umur proyek (tahun)

NPV memiliki tiga nilai yang masing-masing memiliki arti terhadap criteria investasi, yaitu:

- 1) **NPV < 0** (negatif), hal ini berarti bahwa usaha atau proyek tersebut tidak layak secara finansial karena masih mengalami kerugian.
- 2) **NPV = 0**, hal ini juga berarti bahwa usaha atau proyek tersebut tidak mengalami kerugian dan juga tidak mengalami keuntungan, maka keputusan untuk meneruskan usaha ini atau tidak berada di tangan pemillik usaha sendiri.
- 3) **NPV > 0** (positif), hal ini berarti bahwa usaha atau proyek tersebut layak secara finansial sebab mendapatkan keuntungan.

Menurut Gray *et al* (2007) IRR merupakan *discount rate* yang membuat NPV sama daengan nol, tetapi tidak ada hubungannya sama sekali dengan *discount rate* yang dihitung berdasarkan data di luar proyek sebagai *social opportunity cost of capital* (SOCC) yang berlaku umum di masyarakat (bunga deposito). Untuk menghitung IRR sebelumnya harus dicari *discount rate* yang menghasilkan NPV positif, kemudian dicari *discount rate* yang menghasilkan NPV negatif. Langkah selanjutnya adalah melakukan interpolasi dengan rumus

berikut:

$$IRR = i_1 + \frac{NPV_1}{NPV_1 - NPV_2} (i_2 - i_1) \dots \dots \dots (2.2)$$

Keterangan: IRR = *Internal Rate of Return*

i_1 = Tingkat Diskonto yang menghasilkan NPV+ i_2 = Tingkat Diskonto yang menghasilkan NPV

NPV_1 = Net Present Value bernilai positif

NPV_2 = Net Present Value bernilai negatif

IRR digunakan untuk menghitung tingkat bunga yang menyamakan nilai sekarang investasi dengan nilai sekarang penerimaan-penerimaan kas bersih di masa-masa mendatang. IRR memiliki tiga nilai yang masing-masing memiliki arti terhadap kriteria investasi, yaitu:

- 1) **IRR < SOCC**, hal ini berarti bahwa usaha atau proyek tersebut tidak layak secara finansial.
- 2) **IRR = SOCC**, hal ini juga berarti bahwa usaha atau proyek tersebut berada dalam keadaan *break evenpoint*.
- 3) **IRR > SOCC**, hal ini berarti bahwa usaha atau proyek tersebut layak secara finansial.
- 4) Net B/C merupakan nilai manfaat yang bisa didapatkan dari proyek atau usaha setiap kita mengeluarkan biaya sebesar satu rupiah untuk proyek atau usaha tersebut. Net B/C merupakan perbandingan antara NPV positif dengan NPV negatif. Nilai Net B/C memiliki arti sebagai berikut:
 - a) **Net B/C > 1**, maka berarti proyek atau usaha layak dijalankan secara finansial.
 - b) **Net B/C = 1**, hal ini juga berarti bahwa usaha atau proyek tersebut berada dalam keadaan *break evenpoint*.
 - c) **Net B/C < 1**, maka berarti proyek atau usaha tidak layak dijalankan secara finansial.

Rumus yang digunakan untuk menghitung Net B/C adalah:

$$NET \frac{B}{C} = \frac{\sum_{t=0}^n \frac{B_t - C_t}{(1+i)^t}}{\sum_{t=0}^n \frac{C_t - B_t}{(1+i)^t}} \dots\dots\dots(2.3)$$

Keterangan: B_t = Benefit pada tahun ke-t

C_t = Cost pada tahun ke-t

I = Tingkat Diskonto (%)

n = Umur proyek(tahun)

$B_t - C_t$ = untuk Benefit lebih besar dari Cost pada tahun ke-t

$C_t - B_t$ = untuk Cost lebih besar dari Benefit pada tahun ke-t

Pay Back Period (PBP) merupakan salah satu kriteria investasi yang berupa jangka waktu yang diperlukan dalam pengembalian seluruh investasi atau bisa diartikan juga sebagai teknik penilaian terhadap jangka waktu (periode) pengembalian investasi suatu proyek atau usaha. *Pay Back Period* dapat dicari dengan mengakumulatikan arus manfaat dan biaya mulai dari yang bernilai negatif hingga positif yang pertama. *Payback Period* dapat dihitung dengan menggunakan rumus:

$$PBP = \frac{\text{Investasi}}{\text{Kas Bersih/tahun}} \times 12 \text{ bulan} \dots\dots\dots(2.4)$$

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Tempat dan Waktu

3.1.1 Tempat

Dalam pelaksanaan penelitian tugas akhir ini dilakukan dengan pengambilan data langsung pada Pembangkit Listrik Tenaga Surya, dan Generator Diesel yang ada di Pulau Pandang, Kecamatan Tanjung Tiram, Kabupaten Batu Bara, Provinsi Sumatera Utara.

3.1.2 Waktu

Waktu pelaksanaan penelitian tugas akhir ini berlangsung dimulai dari bulan 15 November 2021 sampai 30 Januari 2022

3.2 Alat dan Bahan

Pada penelitian ini alat dan bahan yang digunakan untuk melakukan analisa dan pengolahan data adalah sebagai berikut:

1. Generator Diesel 17,5 kW
2. Panel Surya 5000 Wp
3. Laptop ASUS A45V dengan prosesor Core i3 generasi 2
4. Aplikasi PV Syst
5. Aplikasi MATLAB
6. Penyimpanan Data praktis
7. Peralatan Reperasi Elektronik
8. Alat ukur kelistrikan
9. Kapal Penyebrangan

3.3 Parameter Data Penelitian

3.3.1 Data Beban Listrik Harian

Kebutuhan energi listrik di Pulau Pandang merupakan kebutuhan primer yang harus dipenuhi. Berikut data beban listrik harian di Pulau Pandang Kabupaten Batu Bara pada saat ini dan beban energi listrik yang akan datang.

Tabel 3.1. Data Beban Listrik Harian

No.	Jenis Beban	Besar Daya/Unit	Jumlah Unit	Jumlah Daya
1.	Lampu LED	5 watt	60	300 watt
2.	Lampu	18 watt	15	270 watt
3.	Lampu	45 watt	2	90 watt
4.	Kipas Angin	125 watt	12	1500 watt
5.	Pompa Air	300 watt	2	600 watt
6.	Sound System	550 watt	1	550 watt
7.	Lampu Mercusuar	2500 watt	1	1500 watt
8.	Lampu Jalan	45 watt	8	360 watt
Jumlah Beban				5.170 watt

Tabel 3.2. Data Beban Listrik Yang Akan Datang

No	Jenis Beban	Daya (W)	Banyaknya	Total Daya (W)
1	Lampu LED	5	60	300
2	Lampu Aula	18	10	180
3	Lampu Dermaga	45	35	900
4	Pendingin Udara	550	4	2.200
5	Kipas Angin	125	5	625
6	Pompa Air	300	2	600
Jumlah				4.800

3.3.2 Data Indeks Penyinaran Matahari

Berikut data rata-rata sinar matahari dan kecepatan angin di Pulau Pandang Kabupaten Batu Bara selama setahun.

Tabel 3.3 Data Rata-Rata Sinar Matahari dan Kecepatan Angin

Bulan	Indeks kecerahan	Radiasi Harian (kWh/m ² /Hari)	Kecepatan Angin (m/s)
-------	------------------	---	-----------------------

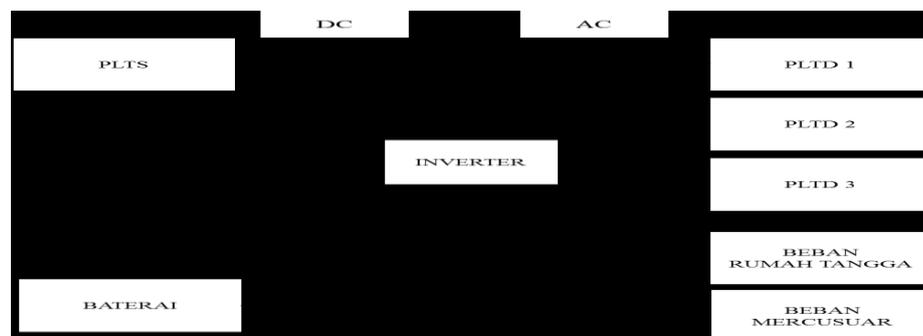
Januari	0.484	145.7	1.6
Februari	0.520	148.2	1.7
Maret	0.495	160.6	1.7
April	0.510	158.2	1.6
Mei	0.504	155.5	1.6
Juni	0.486	140.8	1.6
Juli	0.458	138.3	1.7
Agustus	0.471	147.3	1.6
September	0.449	139.6	1.7
Oktober	0.425	134.8	1.6
November	0.462	136.0	1.5
Desember	0.391	115.3	1.5

3.3.3 Spesifikasi PLTH

Pembangkit listrik tenaga hibrida yang digunakan dalam penelitian ini yaitu, Pembangkit Listrik Tenaga Diesel dengan kapasitas daya sebesar 17,5 kVA dengan penggunaan bahan bakar jenis Solar, kemudian pembangkit listrik tenaga surya dengan kapasitas daya 5 kWp dengan Inverter 5 kW yang kemudian disimpan menggunakan Baterai Jenis Lead Acid ukuran 12 V 100 Ah.

3.3.4 Skema PLTH Pulau Pandang

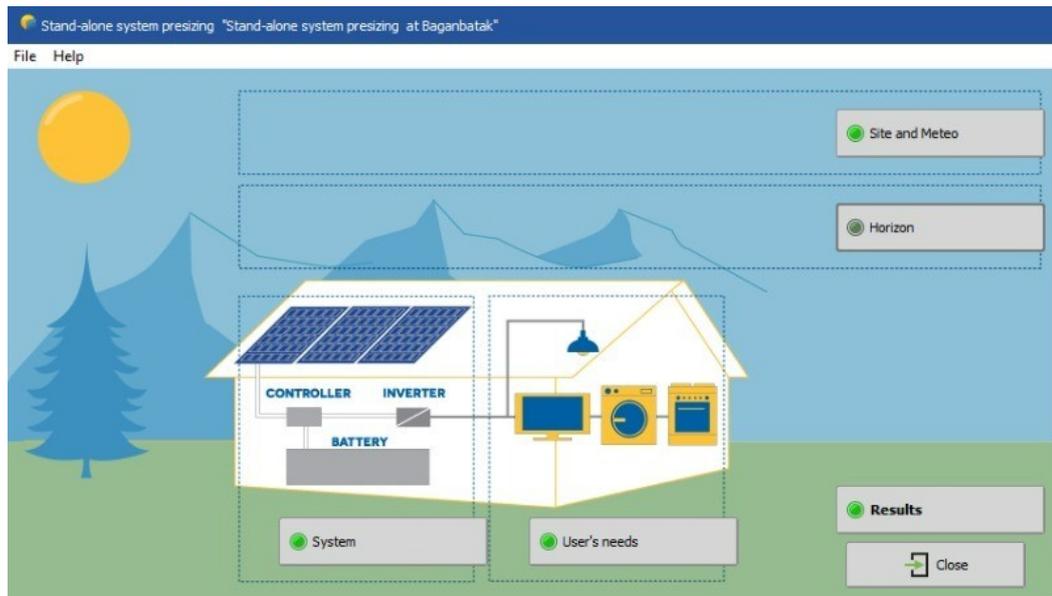
Pembangkit listrik yang digunakan di Pulau Pandang merupakan penggabungan dari beberapa pembangkit listrik yang digabungkan menjadi suatu sistem pembangkit hibrida. berikut gambar skema pembangkit listrik tenaga hibrida yang berada di Pulau Pandang.



Gambar 3.1. Skema PLTH di Pulau Pandang

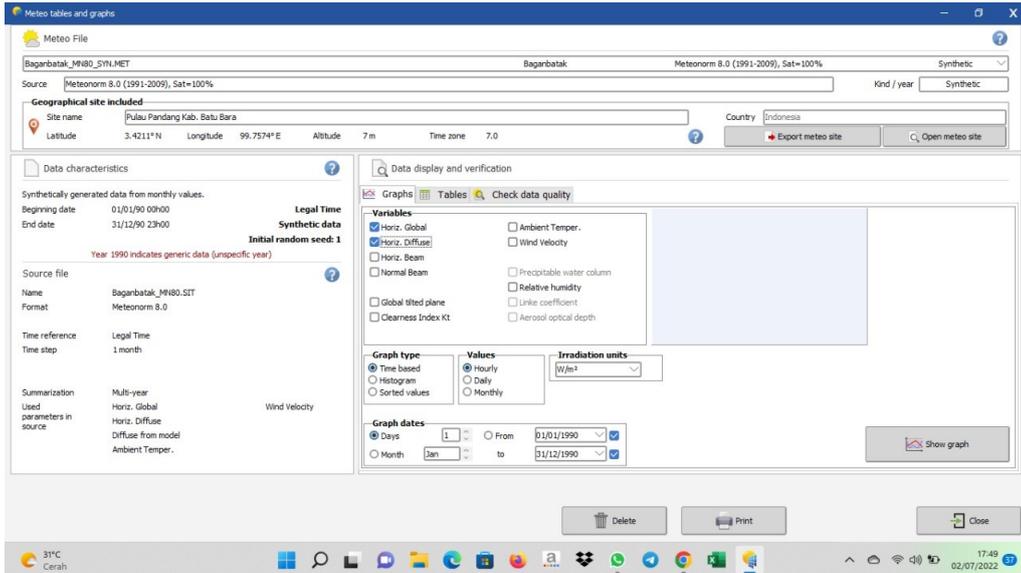
3.3.5 Simulasi Aplikasi PV Syst

Aplikasi PV Syst dapat digunakan untuk mempermudah perhitungan simulasi penggunaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya. Dengan menggunakan aplikasi PV Syst, pengguna dapat mengetahui peralatan dan parameter yang digunakan untuk merancang Pembangkit Listrik Tenaga Surya. Berikut langkah simulasi perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya di Pulau Pandang menggunakan aplikasi PV Syst v7.2.15.



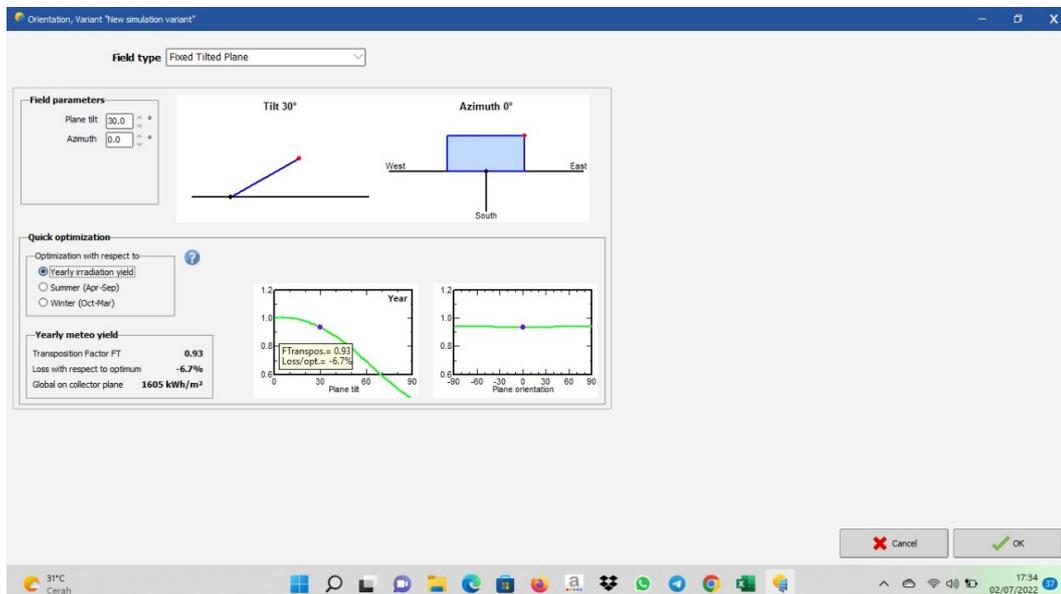
Gambar 3.2. Antar Muka Aplikasi PV Syst Untuk Pengisian Data

Pada halaman antar muka terdapat beberapa fitur yang digunakan untuk mengisi data-data yang diperlukan untuk mulai berjalannya simulasi. Adapun fitur-fitur yang diperlukan pada antar muka aplikasi PV Syst untuk simulasi sebagai yakni: Site and Meteo digunakan untuk penggunaan data cuaca dengan menggunakan citra satelit untuk mengambil data cahaya matahari, radiasi kekuatan cahaya matahari, dan kecepatan angin di wilayah Pulau Pandang.



Gambar 3.3. Tampilan Site dan Meteo

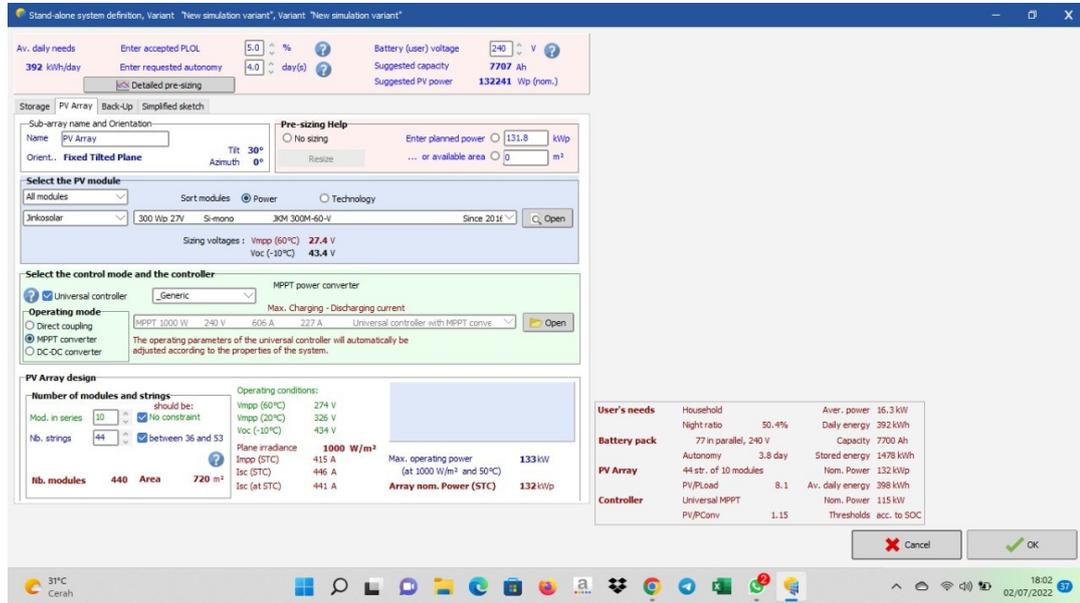
Terdapat fitur Horizon yang berfungsi sebagai pengaturan arah panel surya yang akan dipasang agar dapat menerima cahaya matahari secara optimal dengan bantuan petunjuk arah yang ada difitur Horizon pada aplikasi PV Syst.



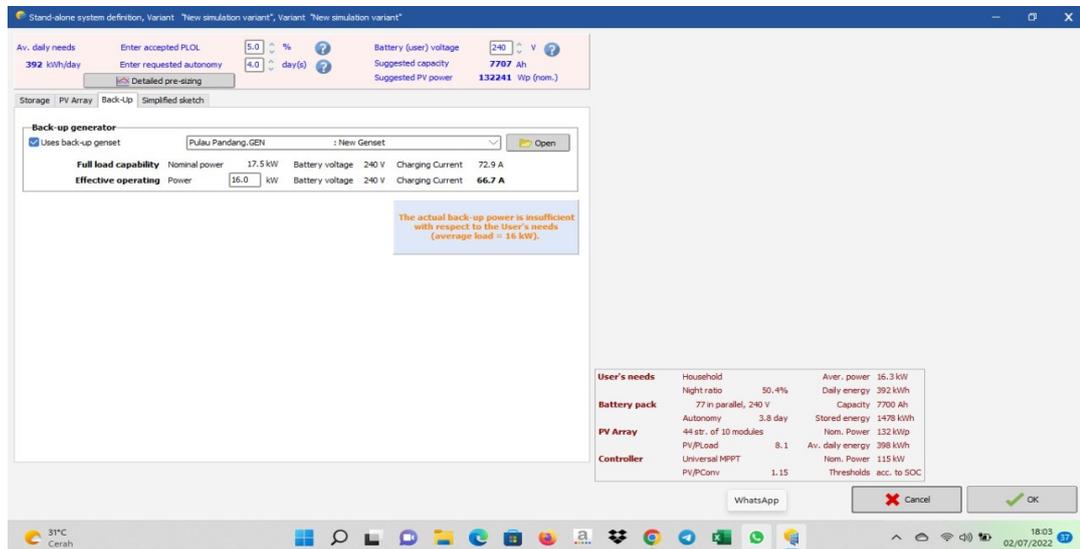
Gambar 3.4 Tampilan Fitur Horizon Panel Surya

Selanjutnya terdapat fitur system yang akan digunakan untuk mengisi data – data sistem pada Pembangkit Listrik Tenaga Hibrida. Pada fitur system terdapat

data panel surya yang digunakan, inverter yang akan digunakan, batas MPPT yang dibutuhkan, jumlah baterai yang diperlukan dan rangkaian hibrida pada generator sebagai pemenuhan kebutuhan energi listrik untuk menutupi ketidaksanggupan Pembangkit Listrik Tenaga Surya untuk memenuhi kebutuhan energi listrik.



Gambar 3.5 Tampilan Fitur System Pada Aplikasi PV Syst

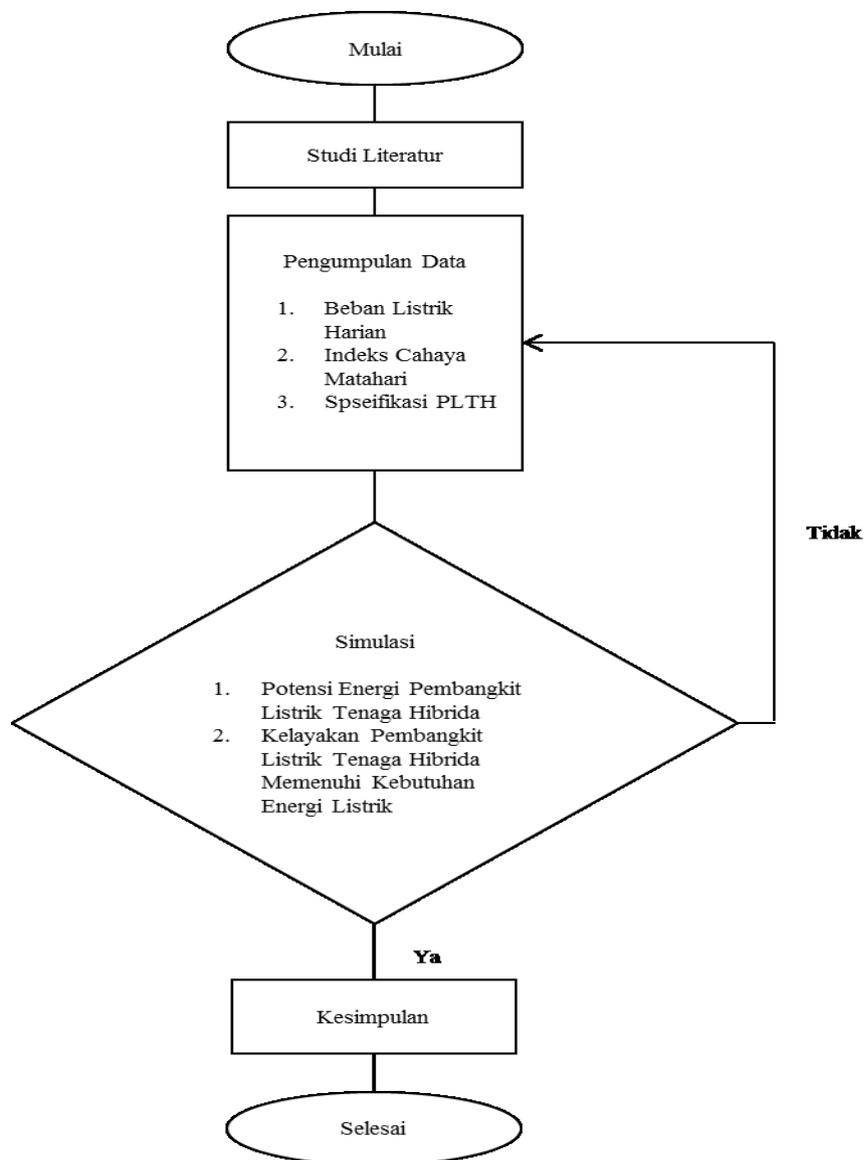


Gambar 3.6 Data Generator Sebagai Back Up Energi Listrik

3.4 Metode Penelitian

Metode yang digunakan dalam penelitian ini yaitu dengan cara pengumpulan data dari lapangan untuk selanjutnya dilakukan simulasi menggunakan aplikasi perangkat lunak. Dalam penelitian ini, pengumpulan data

yang ada digunakan untuk simulasi pengendalian sistem pembangkit dalam penggunaan beban. Pada metode simulasi ini, data yang sudah dikumpulkan selanjutnya diolah menggunakan aplikasi PV Syst untuk mengetahui hasil yang diperoleh dari data lapangan, sehingga dapat diterapkan hasil dari penelitian ini pada keadaan yang sebenarnya. Dari simulasi ini diharapkan akan diperoleh konfigurasi kelayakan pembangkit yang paling baik sehingga dapat mengurangi penambahan pembangkit listrik untuk suplai energi listrik di Pulau Pandang ini. Untuk selanjutnya proses jalannya penelitian ini dapat dilihat pada diagram alir pada gambar 3.8 berikut ini.



Gambar 3.8. Diagram Alir Penelitian

3.5 Prosedur Penelitian

Penelitian dan pengambilan data direncanakan akan dilakukan pada bulan November 2021 sampai Januari 2022 bertempat di Pulau Pandang, Kecamatan tanjung Tiram, Kabupaten Batu Bara. Adapun langkah-langkah yang harus dilakukan dan diketahui dalam pelaksanaan tugas akhir ini antara lain sebagai berikut:

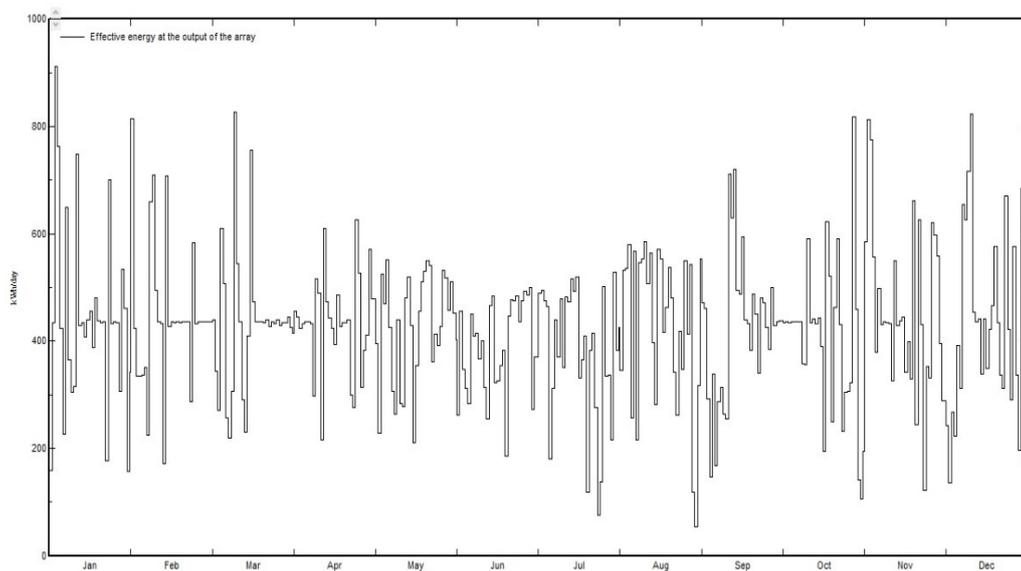
1. Menentukan tema dengan cara melakukan studi literatur untuk memperoleh berbagai sumber teori dan konsep untuk mendukung penelitian yang akan dilaksanakann
2. Menyiapkan alat dan bahan penelitian
3. Melakukan pengumpulan data penelitian
4. Melakukan simulasi pada aplikasi PV Syst
5. Melakukan Optimisasi hasil simulasi dengan keadaan yang sebenarnya
6. Menarik kesimpulan dari hasil penelitian dan analisa yang telah dilaksanakan.
7. Selesai

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Potensi Energi Listrik Dari Pembangkit Listrik Tenaga Hibrida

4.1.1. Hasil Simulasi Aplikasi PV Syst Untuk Potensi Energi Listrik PLTH

Simulasi dan optimisasi dengan menggunakan aplikasi PV Syst. menghasilkan beberapa konfigurasi yang berbeda sesuai dengan batasan minimum kontribusi energi listrik yang dihasilkan oleh pembangkit listrik tenaga hibrida. Hasil potensi energi listrik pada Pembangkit listrik tenaga hibrida di Pulau Pandang dapat dilihat pada grafik berikut ini.



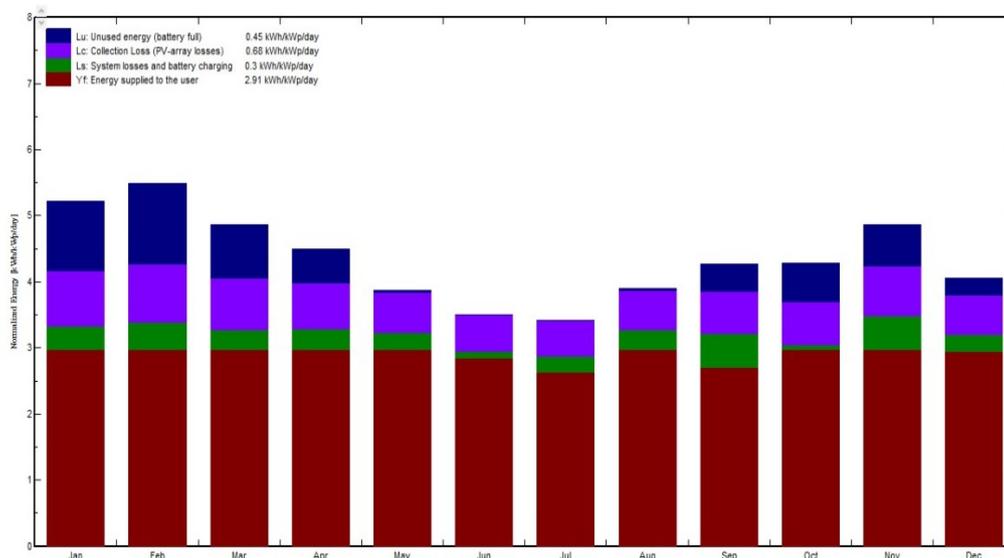
Gambar 4.1. Rata-Rata Potensi Pembangkit Listrik Tenaga Hibrida

Pada gambar 4.1. menjelaskan tentang rata-rata potensi energi listrik dengan energi efektif yang dapat digunakan untuk kebutuhan energi listrik di Pulau Pandang tersebut sebesar 60 kWh/hari sampai dengan 920 kWh/hari untuk penggunaan energi listrik yang dapat dihasilkan sebagai sumber energi listrik yang dapat digunakan untuk pembangkit listrik tenaga surya. Dapat dilihat pada grafik digambar 4.1 terdapat perbedaan grafik potensi energi listrik yang dapat digunakan setiap harinya. Puncak tertinggi untuk potensi energi listrik yang dapat digunakan mulai dari bulan Januari, Februari, Maret, September, Oktober, November dan Desember dengan rata-rata potensi energi listrik sebanyak 760

kWh/hari sampai 920 kWh/hari. Untuk puncak terendah pada potensi energi listrik yang dapat digunakan dimulai dari bulan Maret, April, Mei, Juni, Juli, Agustus, dan awal September dengan rata-rata potensi energi listrik sebanyak 60 kWh/hari sampai 750 kWh/hari. Dengan demikian potensi energi listrik yang dihasilkan dalam setahun penuh sebanyak 203,5 MWh/tahun untuk pembangkit listrik tenaga surya dan untuk pembangkit listrik tenaga diesel dapat menghasilkan energi listrik sebesar 52,5 kWh/hari dan potensi energi listrik dari pembangkit listrik tenaga diesel sebesar 30 MWh/hari dalam kurun waktu selama setahun penuh.

4.1.2. Hasil Simulasi Aplikasi PV Syst Untuk Produksi Energi Listrik PLTH

Hasil simulasi pada aplikasi PV Syst yang telah dilakukan terdapat hasil yang signifikan terhadap produksi energi listrik dari pembangkit listrik tenaga surya dengan potensi cahaya matahari yang ada di Pulau Pandang tersebut. Pengaruh penyinaran matahari yang cukup baik menghasilkan energi listrik yang cukup besar dengan durasi penyinaran sinar matahari terhadap panel surya selama 5 jam lamanya penyinaran. Berikut grafik hasil produksi energi listrik yang dihasilkan terhadap sinar matahari yang diterima panel surya.



Gambar 4.2. Grafik Produksi Energi Listrik

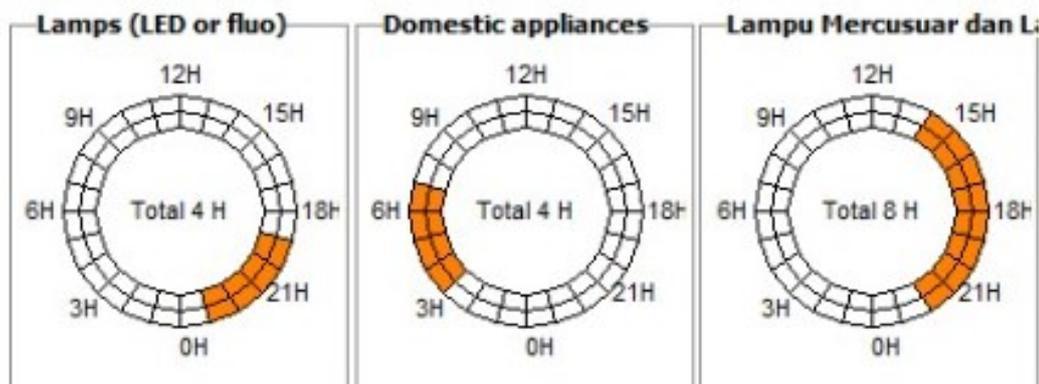
Pada gambar 4.2. menjelaskan tentang grafik produksi energi listrik yang dihasilkan dari simulasi yang telah dilakukan, terdapat beberapa grafik data yang

berbeda disetiap hasilnya yang ditandai dengan beberapa warna berbeda. Untuk warna merah menunjukkan nilai produksi energi listrik yang disuplai sebesar 2,91 kwh/kwp/hari, kemudian untuk grafik berwarna hijau menunjukkan produksi energi listrik sebagai penyimpanan energi listrik menuju baterai sebesar 0,30 kwh/kwp/hari, sedangkan terdapat rugi-rugi daya sebesar 0,68 kwh yang ditunjukkan dengan grafik berwarna biru muda dan untuk produksi energi listrik dari penyimpanan baterai yang ditunjukkan pada grafik yang berwarna biru tua produksi rata-rata setahun sebesar 1.285 kWh/kWp/hari atau setara 170 MWh/Tahun dengan total produksi energi sebesar 4,2 kWh/hari

4.2. Kelayakan PLTH Untuk Kebutuhan Energi Listrik Di Pulau Pandang

4.2.1. Konsumsi Energi Listrik Di Pulau Pandang

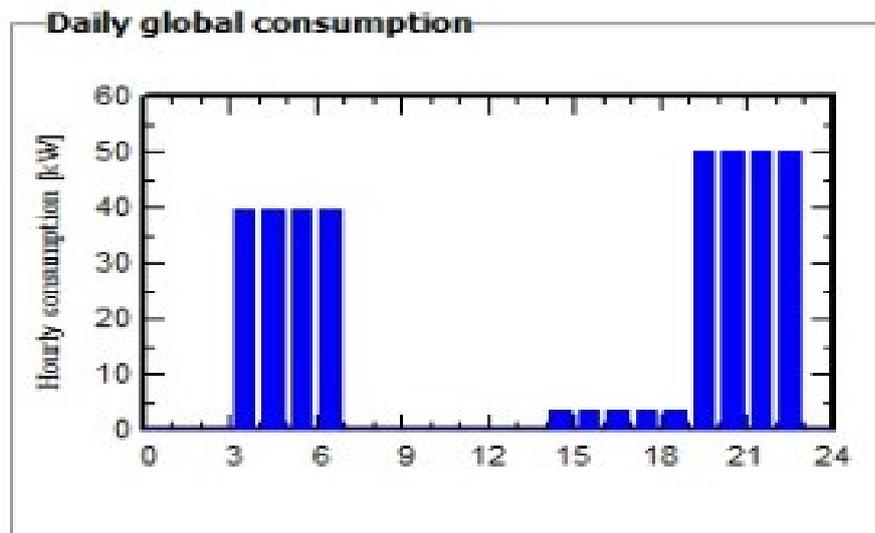
Konsumsi energi listrik yang terdapat di Pulau Pandang berlangsung selama 24 jam sehari. Penggunaan energi listrik yang terdapat di Pulau Pandang merupakan penggunaan beban rumah tangga dan penggunaan beban lampu mercusuar. Adapun durasi penggunaan beban tersaji pada gambar 4.3 dibawah ini.



Gambar 4.3 Monitoring Penggunaan Beban Harian

Pada gambar 4.3. terdapat tiga buah indicator lingkaran yang menunjukkan penggunaan energi listrik yang digunakan di Pulau Pandang. Pada indicator lingkaran pertama menunjukkan penggunaan beban lampu yang digunakan selama 4 jam/ hari, selanjutnya pada indicator lingkaran kedua menunjukkan penggunaan beban peralatan domestic selama 4 jam/ hari, dan pada indicator lingkaran ketiga menunjukkan penggunaan beban untuk penerangan jalan dan lampu mercusuar

selama 8 jam/ hari. Penggunaan energi listrik diwilayah Pulau Pandang terjadi hanya pada waktu-waktu tertentu saja dalam kurun waktu 24 jam. Berikut grafik jadwal konsumsi beban energi listrik yang terdapat di Pulau Pandang.

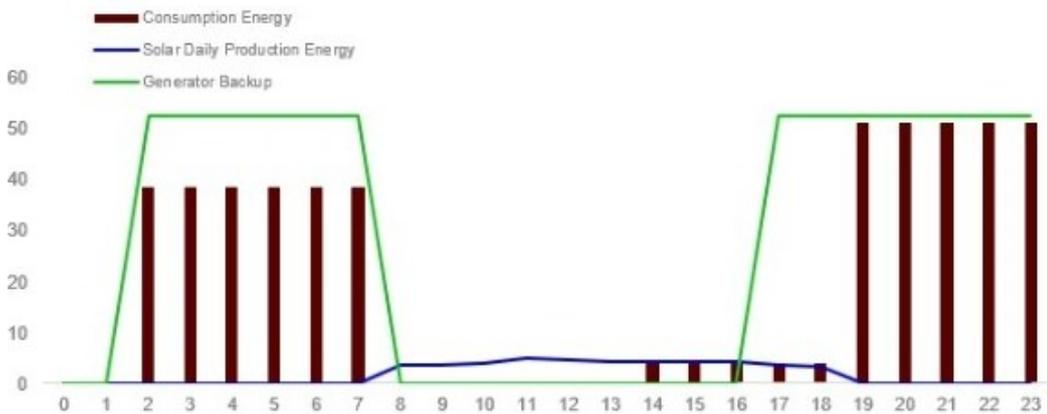


Gambar 4.4. Grafik Konsumsi Energi Listrik Harian

Pada gambar 4.4. menunjukkan waktu yang digunakan untuk penggunaan energi listrik dengan grafik histogram. Dapat dilihat konsumsi energi listrik yang sedang berlangsung terjadi pada pukul 03.00 WIB sampai pukul 07.00 WIB, kemudian dilanjutkan pada pukul 14.00 WIB sampai pukul 23.00 WIB. Dari grafik histogram yang dilihat terdapat perbedaan tinggi grafik untuk menentukan kapan terjadinya penggunaan energi listrik saat beban listrik dasar, beban listrik menengah, dan beban puncak. Untuk beban listrik dasar berlangsung mulai dari pukul 14.00 WIB sampai pukul 19.00 WIB dengan konsumsi energi sebesar 4,1 kWh/hari, selanjutnya untuk beban listrik menengah terjadi pada pukul 03.00 WIB sampai 07.00 WIB dengan konsumsi energi listrik sebesar 38,7 kWh/hari, dan untuk beban puncak energi listrik yang ada di Pulau Pandang mulai pukul 19.00 WIB sampai pukul 23.00 WIB dengan konsumsi energi listrik sebesar 50,3 kWh/hari. Beban menengah dan beban puncak energi listrik yang ada di Pulau Pandang didominasi dengan menyalanya lampu mercusuar dan penerangan jalan raya yang terdapat di Pulau tersebut.

4.2.2. Kondisi PLTH Saat Beban Bertambah Di Pulau Pandang

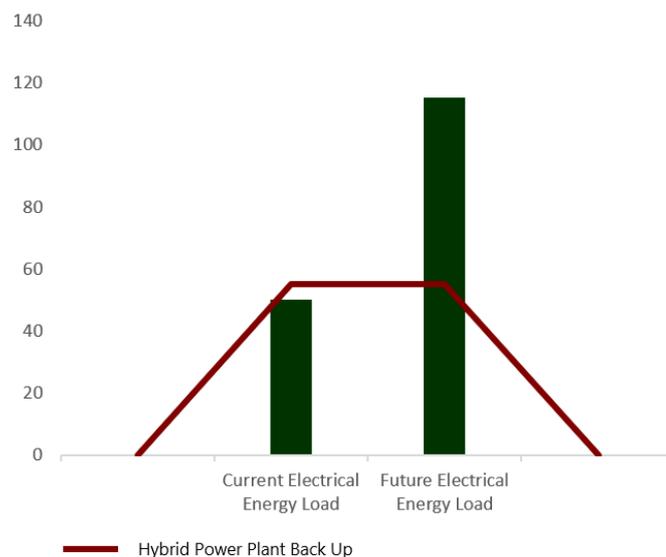
Kelayakan pembangkit listrik tenaga hybrid merupakan aspek yang paling penting untuk berlangsungnya ketenagalistrikan yang terdapat di Pulau Pandang. Telah dilakukannya simulasi terhadap kelayakan pembangkit listrik tenaga hybrid yang terdapat di Pulau Pandang sebagai penentu layak atau tidak layak suatu pembangkit yang terpasang di Pulau tersebut. Pengujian simulasi dilakukan pada Pembangkit listrik tenaga surya dengan beban yang terpasang menghasilkan perbandingan antara beban energi listrik terhadap kekuatan pembangkit listrik tenaga surya untuk memenuhi kebutuhan energi listrik yang ada saat ini. Berikut grafik perbandingan antara beban energi listrik terhadap produksi energi listrik tenaga surya dan generator diesel.



Gambar 4.5. Produksi Energi Listrik Terhadap Konsumsi Energi Listrik Saat ini

Berdasarkan pada gambar 4.5 menunjukkan grafik perbandingan antara produksi energi listrik yang dihasilkan oleh pembangkit listrik tenaga surya dan generator diesel yang ada di Pulau Pandang dengan Konsumsi energi Listrik yang terdapat di Pulau Pandang menunjukkan, pembangkit listrik tenaga surya mampu menyuplai energi listrik untuk beban listrik rendah yang terjadi pada pukul 14.00 WIB sampai Pukul 17.00 WIB. Sedangkan untuk beban menengah dan beban puncak energi listrik pembangkit listrik tenaga surya tidak mampu menyuplai energi listrik pada beban tersebut mulai dari pukul 02.00 WIB sampai pukul 07.00 WIB dan pada pukul 17.00 WIB sampai dengan pukul 23.00 WIB. Untuk memenuhi kebutuhan energi listrik dan menutupi kekurangan energi listrik yang

terdapat di Pulau Pandang, penggunaan generator diesel sangat membantu keberlangsungan ketenagalistrikan di Pulau Pandang dengan produksi energi yang stabil sebesar 52,5 kWh/hari. Dengan demikian penggunaan energi listrik dari Pembangkit Listrik Tenaga Surya hanya menyuplai selama 5 jam per hari atau sekitar 20% dari kebutuhan energi listrik yang ada di Pulau Pandang, selebihnya diambil alih oleh Generator Diesel yang menyuplai energi listrik selama 19 jam per hari atau sekitar 80%. Namun prediksi akan terjadinya penambahan beban yang untuk kebutuhan pariwisata dan kunjungan wisata akan terjadi dimasa yang akan datang. Untuk melihat kemampuan dan kelayakan pada Pembangkit Listrik Tenaga Hybrid yang ada di Pulau Pandang untuk memenuhi kebutuhan energi listrik saat beban bertambah adalah sebagai berikut.



Gambar 4.6. Perbandingan Kelayakan PLTH Pada Saat Beban Listrik Bertambah

Pada gambar 4.6 dapat dilihat perbandingan antara beban energi listrik yang terpasang saat ini terhadap beban energi listrik yang ditambahkan sesuai dengan kebutuhan yang akan datang. Pada saat pembangkit listrik tenaga hybrid bekerja memenuhi kebutuhan energi listrik, terdapat kedua diagram histogram yang ditandai dengan warna hijau untuk beban energi listrik yang terpasang saat ini yaitu sebesar 50,2 kWh dan diagram histogram untuk beban energi listrik yang akan bertambah sesuai kebutuhan sebesar 104,3 kWh yang dilintasi garis

grafik berwarna merah yaitu pembangkit listrik tenaga hybrid dengan produksi energi listrik sebesar 56,4 kWh. Hal ini menunjukkan bahwa, untuk pembangkit listrik tenaga hybrid hanya mampu menutupi kebutuhan energi listrik yang terpasang saat ini, namun tidak mampu menutupi kebutuhan energi listrik yang akan bertambah sesuai dengan kebutuhan yang akan datang. Dari hasil simulasi uji kelayakan pembangkit listrik tenaga hybrid di Pulau Pandang yang dilakukan menggunakan aplikasi PV Syst dapat dinyatakan Tidak Layak sebagai Pembangkit Listrik Tenaga Hybrid untuk memenuhi kebutuhan energi di Pulau Pandang.

4.2.3. Analisis Kelayakan Finansial PLTH di Pulau Pandang

Analisis kelayakan finansial pada Pada pembangkit listrik tenaga hibrida di Pulau Pandang menjadikan aspek yang sangat signifikan sebagai peluang usaha di pulau tersebut. Jika dilihat dari keadaan sebenarnya dilapangan maka dapat dihitung kelayakan finansial pada pembangkit listrik tenaga hibrida sebagai nilai pendapatan untuk pengelolaan pulau non pemerintah. Berikut analisis kelayakan finansial berdasarkan survey lokasi dan keterangan pemandu wisata yang berada di Pulau Pandang.

Tabel 4.1. Tarif Masuk Pulau Pandang

Waktu Kunjungan	Tarif Masuk Pulau			
	Lokal		WNA	
	Menginap	Tidak menginap	Menginap	Tidak Menginap
Hari Biasa	Rp. 450.000	Rp. 230.000	Rp. 1.050.000	Rp. 645.000
Hari Libur Nasional	Rp. 750.000	Rp. 400.000	Rp. 1.325.000	Rp. 770.000
Akhir Pekan	Rp. 835.000	Rp. 450.000	Rp. 1.500.000	Rp.826.000

Rincian harga per orang terlihat pada tabel 4.1 diatas. Untuk pendapatan lainnya masyarakat di Pulau Pandang memberikan tariff listrik yang dihasilkan dari pembangkit listrik tenaga hibrida setiap pengunjung dipungut biaya listrik sebesar Rp. 4.000,- per kWh. Berdasarkan keterangan pemandu wisata jumlah kunjungan yang datang ke Pulau Pandang tersaji pada tabel berikut.

Tabel 4.2. Jumlah Pengunjung Ke Pulau Pandang

Waktu Kunjungan	Jumlah Pengunjung Pulau Pandang (Pekan)			
	Lokal		WNA	
	Menginap	Tidak menginap	Menginap	Tidak Menginap
Hari Biasa	3	15	3	17
Hari Libur Nasional	12	45	-	2
Akhir Pekan	18	65	-	3

Jika dilihat dari tabel 4.2. pengunjung local lebih banyak berkunjung dan menginap di Pulau tersebut dan turis asing hanya sebanyak 25 orang untuk berkunjung ke Pulau Pandang. Untuk total pemasukan dari pengunjung dapat dilihat pada tabel 4.3 dibawah ini.

Tabel 4.3. Pendapatan Dari Pengunjung

Waktu Kunjungan	Pendapatan Dari Pengunjung (Pekan)			
	Lokal		WNA	
	Menginap	Tidak menginap	Menginap	Tidak Menginap
Hari Biasa	Rp. 1.350.000	Rp. 3.450.000	Rp. 3.150.000	Rp. 10.965.000
Hari Libur Nasional	Rp. 9.000.000	Rp. 18.000.000	Rp. 0	Rp. 1.540.000
Akhir Pekan	Rp. 15.030.000	Rp. 29.250.000	Rp. 0	Rp.2.478.000

Pendapatan non pemerintah diperoleh dari pengelolaan masyarakat yang berada di Pulau Pandang dengan memberikan tarif masuk sebesar Rp. 94.231.000,- dalam seminggu penuh dan ditambah dengan pendapatan dari penjualan energi listrik sebesar Rp. 4.000,- per orang dengan kunjungan pariwisata sebanyak 180 orang per minggunya maka dapat dari pengunjung pariwisata terhadap energi listrik sebanyak Rp. 732.000,- dan jika ditambah dengan pendapatan pariwisata maka pendapatan non pemerintah yang diterima sebesar Rp. 94.963.000,- dalam seminggu dan jika dikalikan dengan setahun lamanya maka pendapatan yang diterima sebesar Rp. 4.938.076.000,- selama setahun

Untuk arus pengeluaran untuk wisatawan yang wajib dikeluarkan oleh pengelola Pariwisata di Pulau Pandang dapat dilihat pada tabel 4.4. berikut.

Tabel 4.4 Biaya Pengeluaran

Jenis Pengeluaran	Biaya	Total Biaya Pengeluaran
Transportasi	Rp. 2.500.000/lintas x 14	Rp. 35.000.000
Bahan Bakar Solar	Rp. 15.000/liter x 30	Rp. 450.000
Konsumsi	Rp. 150.000/orang x180	Rp. 27.450.000
Pemandu Wisata	Rp. 1.500.000/orang x 5	Rp. 7.500.000
Perawatan Penginapan	Rp. 500.000/minggu	Rp. 500.000
Honorarium	Rp. 3.500.000/Orang/Bulan	Rp. 875.000
Pengeluaran Wajib		Rp. 71.775.000
Pajak Pariwisata		Rp. 7.895.250
Total Pengeluaran		Rp. 79.672.500

Total arus pengeluaran yang wajib dikeluarkan oleh pengelola Pariwisata di Pulau Pandang sebesar Rp. 79.672.500,- per minggu dan jika dikalikan selama setahun penuh maka pengeluaran wajib yang dikeluarkan sebesar Rp. 4.142.970.000,-

Analisis kelayakan finansial dapat dilihat berdasarkan laporan laba rugi usaha. Berdasarkan laporan laba rugi dapat dilihat pada tabel 4.5 berikut.

Tabel 4.5. Laba Usaha

Tahun	Laba Usaha (Rp)	Modal Kerja (Rp)
0	-	4.142.970.000
1	4.938.076.000	
2	5.230.086.650	
3	4.876.552.452	
4	5.954.233.276	
5	5.402.710.502	
6	4.938.076.000	
7	6.362.002.010	
8	5.357.912.380	
9	4.876.552.452	
10	5.954.233.276	
Total	53.890.434.998	
Jumlah	Laba	49.747.464.998

Selain laporan laba rugi, analisis kelayakan finansial dapat dinilai berdasarkan nilai kriteria analisis kelayakan finansial yaitu NPV, Net B/C, IRR, dan *Discounted Payback Period*. *Cashflow* dari Pembangkit Listrik Tenaga Hybrid yang ada di Pulau Pandang sebagai berikut.

1. Net Present Value

Net Present Value (NPV) merupakan keuntungan bersih yang berupa nilai bersih sekarang berdasarkan jumlah dari *Present Value* (PV). Rumus umum yang digunakan dalam perhitungan NPV adalah:

$$NPV = \sum_{t=10} \frac{4.938.076.000 - 4.142.970.000}{(1+0,11)^{10}} = 1.489.721.932$$

Berdasarkan hasil analisis di dapati bahwa nilai NPV dengan estimasi suku bunga deposito bank sekitar 11%, maka di dapat nilai NPV sebesar Rp 1.489.721.932,- dalam jangka waktu 10 tahun. Ini berarti Pembangkit Listrik Tenaga Hibrida di Pulau Pandang dikatakan layak untuk investasi.

2. Internal Rate of Return (IRR)

IRR merupakan *discount rate* yang membuat NPV sama dengan nol, Untuk menghitung IRR sebelumnya harus dicari *discount rate* yang menghasilkan NPV positif, kemudian dicari *discount rate* yang menghasilkan NPV negatif. Langkah selanjutnya adalah melakukan interpolasi dengan rumus berikut:

$$IRR = 0,11 + \frac{1.489.721.932}{1.489.721.932 - 376.591.674} (0,18 - 0,11)$$

Berdasarkan hasil analisis nilai discount rate NPV yang positif yaitu suku bunga 11% yaitu Rp. 1.489.721.932,- dan discount rate yang menghasilkan NPV negatif yaitu 30 %, sebesar - Rp 376.591.674,- setelah dilakukan interpolasi didapati discount rate yang membuat nilai NPV= 0 sebesar 26%. Artinya investasi ini disimpulkan Layak karena nilai discount rate di atas nilai Suku Bunga Deposito. Disini investor akan lebih tertarik untuk investasi karena tingkat keuntungan yang di dapat masih tinggi di bandingkan investasi dalam instrumen Deposito sebesar 18%. Atau dengan kata lain, usaha penjualan energi biogas ini akan menghasilkan tingkat pengembalian terhadap investasi sebesar 26 persen.

3. Net B/C

Net B/C merupakan nilai manfaat yang bisa didapatkan dari proyek atau

usaha setiap kita mengeluarkan biaya sebesar satu rupiah untuk proyek atau usaha tersebut. Net B/C merupakan perbandingan antara NPV positif dengan NPV negatif. Nilai Net B/C memiliki arti sebagai berikut:

- 1) Net B/C > 1, maka berarti proyek atau usaha layak dijalankan secara finansial.
- 2) Net B/C = 1, hal ini juga berarti bahwa usaha atau proyek tersebut berada dalam keadaan *break evenpoint*.
- 3) Net B/C < 1, maka berarti proyek atau usaha tidak layak dijalankan secara finansial.

Rumus yang digunakan untuk menghitung Net B/C adalah:

$$NET \frac{B}{C} = \frac{\sum_{t=10} \frac{4.938.076.000 - 4.142.970.000}{(1+0,11)^{10}}}{\sum_{t=10} \frac{4.938.076.000 - 4.142.970.000}{(1+0,11)^{10}}} = 3,803$$

Berdasarkan analisis data di dapat nilai PV Benefit sebesar Rp 4.938.076.000,- dan nilai PV Cost sebesar Rp. 4.142.970.000,- Selanjutnya dengan memasukkannya pada rumus di dapat nilai Net B/C sebesar 3,803 atau dibulatkan menjadi 4. Ini berarti nilai Net B/C >1, artinya proyek atau usaha layak dijalankan secara finansial. Hasil analisis Net B/C ini juga dapat diartikan bahwa setiap satu rupiah yang dikeluarkan akan menghasilkan manfaat sebesar Rp 4.000,-

4. *Pay Back Period (PBP)*

Pay Back Period (PBP) merupakan salah satu kriteria investasi yang berupa jangka waktu yang diperlukan dalam pengembalian seluruh investasi atau bisa diartikan juga sebagai teknik penilaian terhadap jangka waktu (periode) pengembalian investasi suatu proyek atau usaha. *Payback Period* dapat dihitung dengan menggunakan rumus:

$$PBP = \frac{4.938.076.000}{4.142.970.000} \times 12 = 10,06782$$

Diketahui bahwa Nilai investasi sebesar Rp 4.938.076.000,- dan nilai Kas Bersih/tahun sebesar Rp. 4.142.970.000,- oleh karena itu di dapati *Pay Back Ratio* sebesar 10,06782 atau di bulatkan menjadi 10 Tahun. Ini menunjukkan bahwa pengembalian terhadap biaya investasi akan berlangsung selama 10 tahun.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan dari hasil Analisa Kelayakan Pembangkit Tenaga Hibrida Diesel Dan Fotovoltaik Off Grid (Studi Kasus Pulau Pandang). Maka dapat di ambil beberapa kesimpulan dalam penelitian ini yaitu:

1. Rata-rata potensi energi listrik dengan energi efektif yang dapat digunakan untuk kebutuhan energi listrik di Pulau Pandang tersebut sebesar 60 kWh/hari sampai dengan 920 kWh/hari untuk penggunaan energi listrik yang dapat dihasilkan sebagai sumber energi listrik yang dapat digunakan untuk pembangkit listrik tenaga surya dan potensi energi listrik yang dihasilkan dalam setahun penuh sebanyak 203,5 MWh/tahun untuk pembangkit listrik tenaga surya dan untuk pembangkit listrik tenaga diesel dapat menghasilkan energi listrik sebesar 52,5 kWh/hari dan potensi energi listrik dari pembangkit listrik tenaga diesel sebesar 30 MWh/hari dalam kurun waktu selama setahun penuh.
2. Untuk memenuhi kebutuhan energi listrik untuk menutupi kekurangan energi listrik yang terdapat di Pulau Pandang, penggunaan generator diesel sangat membantu keberlangsungan ketenagalistrikan di Pulau Pandang dengan produksi energi yang stabil sebesar 52,5 kWh/hari. Hasil analisa kelayakan investasi yang telah dilakukan yaitu pada nilai NPV sebesar Rp. 1.489.721.932,- dengan nilai IRR sebesar 26% dan nilai B/C sebesar Rp. 4.000,- serta jangka waktu pengembalian modal selama 10 tahun, dengan kriteria tersebut maka pembangkit listrik tenaga hibrida di Pulau Pandang tersebut dinyatakan layak sebagai investasi.

5.2 Saran

Pada penelitian ini disarankan penggunaan pembangkit listrik tenaga surya dapat dioptimalkan kembali mengingat potensi energi listrik yang cukup besar. Untuk kedepannya diharapkan ada kelanjutan dari analisa kelayakan untuk membahas tentang kondisi, pemanfaatan energi, dan rugi-rugi daya yang

dihasilkan oleh pembangkit listrik tenaga hybrid dengan menggunakan aplikasi simulasi yang sama ataupun berbeda.

DAFTAR PUSTAKA

- Destrinanda, H., Yoswaty, D., & Zulkifli. (2018). Kajian Potensi Ekowisata Bahari Di Pulau Pandang Kecamatan Tanjung Tiram Provinsi Sumatera Utara. *Fakultas Perikanan Dan Ilmu Keluautan Universitas Riau. Riau.*, 5, 1689–1699.
- Falqahiyah, C., & Benyamin, B. (2021). Analisis Kelayakan Proyek Pembangkit Listrik Energi Panas Bumi Area “Cfa.” *Journal of Geoscience Engineering & Energy*, 2(1), 1–11. <https://doi.org/10.25105/jogee.v2i1.8929>
- Hutasuhut, A. A., Rimbawati, Riandra, J., & Irwanto, M. (2022). Analysis of hybrid power plant scheduling system diesel/photovoltaic/microhydro in remote area. *Journal of Physics: Conference Series*, 2193(1). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2193/1/012024>
- Mustaruddin, M., & Asnil, A. (2020). Determination of the Location Quotient for Development of Environmentally-Friendly Fishing Effort in the Waters of Salahnama Island and Pandang Island. *Jurnal Ilmu Pertanian Indonesia*, 25(2), 253–260. <https://doi.org/10.18343/jipi.25.2.253>
- Nashar, M. (2015). Analisa Kelayakan Bisnis Proyek Pembangkit Listrik Tenaga Angin (Pltb) Di Indonesia Dengan Menggunakan Software Retscreen. *Muhammad Nashar Jurnal Ilmiah Manajemen Dan Bisnis*, 1(1), 1–8.
- Nugroho, Y. A. (2016). *Analisis Tekno-Ekonomi Pembangkit Listrik Tenaga Surya (Plts) Di Pt Pertamina (Persero) Unit.*
- Putra, D. L. (2020). Analisis teknis dan ekonomis pembangkit listrik hibrid tenaga bayu dan tenaga surya. *Jurnal UIN SUSKA*, 12(4), 16–23.
- Putra, R. S. (2021). ... Pembangunan Infrastruktur Dan Respon Masyarakat Terhadap Potensi Akan Dibukanya Wisata Halal Di Kabupaten Batubara. *MUTLAQAH: Jurnal Kajian Ekonomi Syariah*, 3(12), 40–57.
- Rasyid, H. Al, Batih, H., & Sewandono, R. E. (2017). 2X50 Mw Dengan Menggunakan Boiler Circulating Fluidized Bed Combustion Di Kendari , Sulselrabar. *Jurnal Ilmiah Energi Dan Kelistrikan*, 9(2), 147–156.
- Rimbawati;, Hutasuhuta;, A. A., Evalina;, N., & Cholish. (2018). Analysis Comparison of the Voltage Drop Before and After Using the Turbine in the

- Bintang Asih Microhydro Power Plant System. *Proceeding of Ocean, Mechanical and Aerospace -Science and Engineering-*, 5(1), 18–22.
- Rimbawati, Cholish, Eko, S., & Abdullah. (2021). Analysis Design of Voltage Stabilizer Control System Using Plc M221 for Voltage Variations in Bintang Asih. *Jesce*, 5(1), 1–10.
- Rimbawati, R., Hutasuhut, A. A., Pasaribu, F. I., Cholish, C., & Muharnif, M. (2017). Design of motor induction 3-Phase from waste industry to generator for microhydro at isolated village. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 237(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/237/1/012021>
- Rimbawati1;, Hutasuhut;, A. A., & Muharnif. (2015). Modifikasi Motor Induksi Tiga Phasa Sisa Pakai Industri Menjadi Hydroelectric Generator Untuk PLTMH. *Reintek*, 10(1), 83–88.
- Samsurizal, Christiono, & Husada, H. (2020). Jurnal Ilmiah Setrum. *Jurnal Ilmiah Sentrum*, 9(1), 75–83.
- Suandi, S., & Chayati, N. (2018). Studi Kelayakan Finansial Pada Proyek Pembangunan Pembangkit Listrik Tenaga Minihidro (PLTM) Pongkor. *Seminar Nasional Sains Dan Teknologi 2018*, 5(23), 1–8.
- Suherman, A., Priane, W. T., Salmah, A., & Rosdiansyah. (2017). Studi Kelayakan Pembangkit Listrik Tenaga Hibrida di Pulau Panjang. *Gravity: Jurnal Ilmiah* ..., 3(1), 13–19. <http://jurnal.untirta.ac.id/index.php/Gravity/article/view/2407>