

TUGAS AKHIR
PENERAPAN PANEL SURYA MONO CRYSTALINE
KAPASITAS 1,1 KWP SEBAGAI SUMBER ENERGI
ALTERNATIF UNTUK SISTEM FILTRASI AIR BERSIH
PASCA BENCANA

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

Disusun Oleh:

MHD HAFIZD SHUFFAH
2207230020



PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
MEDAN
2026

HALAMAN PENGESAHAN

Laporan penelitian Tugas Akhir ini diajukan oleh:

Nama : Mhd Hafizd Shuffah
NPM : 2207230020
Program Studi : Teknik Mesin
Judul Tugas Akhir : Penerapan Panel Surya Mono Crystalline Kapasitas 1,1 kWp Sebagai Sumber Energi Alternatif Untuk Sistem Filtrasi Air Bersih Pasca Bencana.
Bidang ilmu : Konstruksi Material & Manufaktur

Telah berhasil di pertahankan di hadapan Tim dan di terima sebagai salah satu syarat yang diperlukan untk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, 20 Agustus 2026

Mengetahui dan menyetujui:

Dosen Penguji I



Dr. Suherman, ST, MT

Dosen Penguji II



Muhammad Yani, S.T., M.T

Dosen Penguji III



Iqbal Tanjung, S.T., M.T

Program Studi Teknik Mesin
Ketua



Chandra A Siregar, S.T., M.T

LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Saya yang bertandatangan dibawah ini:

Nama Lengkap	: Mhd Hafizd Shuffah
NPM	: 2207230020
Tempat / Tanggal Lahir	: Duri, 7 Oktober 2002
Fakultas	: Teknik
Program Studi	: Teknik Mesin

Menyatakan dengan sesungguhnya dan sejujurnya, bahwa laporan tugas akhir saya yang berjudul :

"PENERAPAN PANEL SURYA MONO CRYSTALLINE KAPASITAS 1,1 KWP SEBAGAI SUMBER ENERGI ALTERNATIF UNTUK SISTEM FILTRASI AIR BERSIH PASCA BENCANA"

Bukan merupakan plagialisme, pencurian hasil karya milik orang lain, hasil kerja orang lain untuk kepentingan saya karena hubungan material dan non-material, ataupun segala kemungkinan lain yang pada hakikatnya bukan merupakan karya tulis tugas akhir secara orisinil dan otentik.

Bila kemudian hari diduga kuat ada ketidak sesuaian antara fakta dengan kenyataan ini, saya bersedia di proses oleh tim fakultas yang dibentuk untuk melakukan verifikasi, dengan sanksi terberat berupa pembatalan kelulusan / keserjanaan saya.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan kesadaran sendiri dan tidak atas tekanan ataupun paksaan dari pihak manapun demi menegakkan integritas akademik di Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, 20 Agustus 2026



Mhd Hafizd Shuffah

ABSTRAK

Bencana alam seperti banjir bandang dan tanah longsor dapat menyebabkan terputusnya jaringan listrik serta keterbatasan akses terhadap air bersih, sehingga diperlukan sumber energi alternatif yang dapat mendukung sistem penyediaan air secara mandiri. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan menganalisis penerapan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) berkapasitas 1,1 kWp sebagai sumber energi untuk sistem filtrasi air bersih pascabencana di Kelurahan Aek Parombunan, Kecamatan Sibolga Selatan, Kota Sibolga, Sumatera Utara. Metode penelitian yang digunakan adalah perancangan dan analisis sistem berdasarkan data teknis, perhitungan kebutuhan energi, serta simulasi produksi energi harian. Sistem PLTS menggunakan dua unit panel surya monocrystalline masing-masing berkapasitas 550 Wp yang dikonfigurasi secara seri, inverter hybrid, dan baterai LiFePO₄ berkapasitas 24 V 200 Ah sebagai media penyimpanan energi. Berdasarkan hasil analisis, dengan rata-rata penyinaran matahari sebesar 4,5 jam per hari, energi teoritis yang dihasilkan sistem mencapai sekitar 4,95 kWh per hari, sedangkan setelah memperhitungkan efisiensi sistem sebesar 80%, energi aktual yang dihasilkan sebesar $\pm 3,96$ kWh per hari. Kebutuhan energi sistem filtrasi yang terdiri dari pompa air dan filtrasi ultraviolet (UV) sebesar $\pm 1,125$ kWh per hari. Dengan demikian, terdapat surplus energi sekitar $\pm 2,835$ kWh per hari setelah memperhitungkan efisiensi sistem. Hasil penelitian menunjukkan bahwa PLTS berkapasitas 1,1 kWp mampu memenuhi kebutuhan energi sistem filtrasi air bersih dan menyediakan cadangan energi melalui baterai. Sistem tersebut dinilai layak digunakan sebagai sumber energi alternatif untuk mendukung penyediaan air bersih pada kondisi pascabencana ketika jaringan listrik konvensional tidak tersedia.

Kata kunci: Panel Surya, PLTS, Monocrystalline, 1,1 kWp, Filtrasi Air Bersih, Pascabencana.

ABSTRACT

Natural disasters such as flash floods and landslides can disrupt electricity networks and limit access to clean water, creating a need for alternative energy sources that can support an independent water supply system. This study aims to design and analyze the application of a 1.1 kWp Solar Power Generation System (PLTS) as an energy source for a clean water filtration system in the post-disaster area of Aek Parombunan Village, Sibolga Selatan District, Sibolga City, North Sumatra. The research method involved system design and analysis based on technical data, energy demand calculations, and daily energy production simulations. The PLTS system consists of two 550 Wp monocrystalline solar panels connected in series, a hybrid inverter, and a 24 V 200 Ah LiFePO₄ battery as an energy storage unit. Based on the analysis, with an average solar irradiation duration of 4.5 hours per day, the theoretical energy production of the system reaches approximately 4.95 kWh per day. After considering an overall system efficiency of 80%, the actual energy production is approximately 3.96 kWh per day. The energy demand of the filtration system, consisting of a water pump and ultraviolet (UV) filtration unit, is approximately 1.125 kWh per day. Therefore, the system provides an energy surplus of approximately 2.835 kWh per day after accounting for system efficiency. The results indicate that the 1.1 kWp PLTS system is capable of meeting the energy requirements of the clean water filtration system while providing additional energy storage through the battery. The system is considered feasible as an alternative energy source to support clean water supply in post-disaster conditions when conventional electricity networks are unavailable.

Keywords: Solar Panel, Solar Power Generation System, Monocrystalline, 1.1 kWp, Clean Water Filtration, Post-Disaster.

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 proposal penelitian ini dengan judul “Pengembangan Sistem Kontrol Terintegrasi Peralatan Penyuplai Air Bersih Rumah Tangga Di Daerah Bergambut Dengan Panel Surya 1,1 kWp”.

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

1. Bapak Iqbal Tanjung, S.T., M.T selaku dosen pembimbing Proposal Tugas Akhir ini yang telah memberi bimbingan dan bantuan.
2. Bapak Chandra A Siregar, S.T., M.T selaku ketua prodi Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
3. Bapak Assoc. prof. Ir. Ade Faisal, ST, M.Sc, Ph.D selaku dekan Fakultas Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
4. Seluruh Bapak/Ibu Dosen di Program Studi Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara yang telah banyak memberikan ilmu keteknik mesinan kepada penulis.
5. Orang tua penulis: Bapak (Idris, S. Ag) dan ibu (Susanti, S.Ag., S. Pd) selaku kedua orang tua penulis yang selalu memberikan doa terbaiknya yang tiada henti untuk kesuksesan, keberhasilan dan membiayai studi penulis selama proses perkuliahan.
6. Bapak/Ibu Staf Administrasi di Biro Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan administrasi selama proses perkuliahan
7. Adik penulis Izza Aulia Nissa dan Fatin Humairah serta kerabat terdekat yang telah mensupport penulis selama berkuliah di Universitas Muhammadiyah Sumatera utara.
8. Salsa Bila Triamanda sebagai penyemangat dan mendukung penulis dalam menjalani proses perkuliahan dan penulisan Tugas Akhir.

9. Ahmad Taufik Sipahutar dan Rendi Prasetyo selaku teman sekaligus sahabat seperjuangan penulis selama berkuliah di Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara serta rekan-rekan seperjuangan sebagai grup riset yang membantu penulis dalam melakukan riset.
10. Teman-teman penulis di luar dari Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara yang telah memberikan support dan mendukung penulis selama proses perkuliahan.

Laporan 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 laporan Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi pengembangan ilmu terutama di bidang keteknik-mesinan.

Medan, 20 Agustus 2026

Mhd Hafizd Shuffah

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN	i
LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR	ii
ABSTRAK	iii
ABSTRACT	iv
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR	xii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Ruang Lingkup	2
1.4 Tujuan Penelitian	2
1.5 Manfaat Penelitian	3
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Lokasi Bencana	4
2.2 Pembangkit Tenaga Surya	5
2.3 Panel Surya Monocrystalline	7
2.4 Produksi Energi Panel Surya	8
2.5 Sistem Penyimpanan Energi	11
2.6 Sistem Beban	12
2.7 Perhitungan Kapasitas dan Analisa Kinerja Sistem PLTS	13
2.7.1 Kapasitas Total Panel Surya	13
2.7.2 Tegangan Rangkaian Seri Panel Surya	14
2.7.3 Neraca dan Pemenuhan Energi	14
2.7.4 Kapasitas Energi Baterai	15
2.7.5 Analisis Skenario Penurunan Produksi Energi	15
BAB 3 METODE PENELITIAN	16
3.1 Tempat dan Waktu	16
3.1.1 Tempat Penelitian	16
3.1.2 Waktu Penelitian	17
3.2 Bahan dan Alat Yang Digunakan	16
3.2.1 Bahan Yang Digunakan	16
3.2.2 Alat Yang Digunakan	25
3.3 Diagram Alir	27
3.4 Rancangan Penelitian	28
3.5 Prosedur Penelitian	28
3.5.1 Studi Literatur	28
3.5.2 Persiapan Bahan Pendukung	28
3.5.3 Perencanaan Sistem Panel Surya	28
3.5.4 Pemilihan Panel Surya	28
3.5.5 Pemilihan Inverter	29
3.5.6 Pemilihan Baterai	29

3.6 Variabel Yang Diteliti	30
3.6.1 Variabel Independent	30
3.6.2 Variabel Dependent	30
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN	31
4.1 Perencanaan Sistem PLTS	31
4.2 Skema Sistem PLTS	32
4.3 Perhitungan Kapasitas Sistem PLTS	33
4.3.1 Kapasitas Total Panel Surya	33
4.3.2 Perhitungan Tegangan Rangkaian Seri	33
4.3.3 Verifikasi Daya Rangkaian Panel	34
4.4 Perhitungan Produksi Energi PLTS	34
4.4.1 Energi Teoritis	34
4.4.2 Energi Aktual	34
4.4.3 Perhitungan Rugi-rugi Energi	34
4.5 Perhitungan Kebutuhan Energi Beban	35
4.6 Analisis Keseimbangan Energi	35
4.7 Perhitungan Kapasitas Energi Baterai	36
4.8 Analisis Kondisi Penurunan Produksi Energi (Kondisi Cuaca)	36
4.9 Rekapitulasi dan Hasil Analisis Data	37
4.10 Pembahasan Hasil Analisis Perhitungan	37
4.11 Instalasi Panel Surya	38
4.12 Integrasi Inverter	40
4.13 Integrasi Baterai LifePo4 Dalam PLTS	42
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN	44
5.1 Kesimpulan	44
5.2 Saran	45
DAFTAR PUSTAKA	46
Lampiran 1. Sk Pembimbing	
Lampiran 2. Lembar Asistensi	
Lampiran 3. Berita Acara Seminar Hasil Penelitian	
Lampiran 4. Daftar Riwayat Hidup	
Lampiran 5. Dokumentasi Penerapan Panel Surya Mono Crystalline Kapasitas 1,1 kWp Sebagai Sumber Energi Alternatif Untuk Sistem Filtrasi Air Bersih Pasca Bencana di Kelurahan Aek Parombunan, Kecamatan Sibolga Selatan, Sumatera Utara	

DAFTAR TABEL

Tabel 3.2 Spesifikasi Panel Surya Monocrystalline	13
Tabel 3.3 Spesifikasi Inverter Hybrid Samoto IHF 2000	16
Tabel 3.4 Spesifikasi Pompa Air	19
Tabel 4.1 Jumlah Kebutuhan	30
Tabel 4.2 Produksi Harian	30
Tabel 4.3 Kapasitas Inverter Minimum	38

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Dokumentasi Pasca Bencana	5
Gambar 2.2 Diagram Blok Sistem PLTS	6
Gambar 2.3 Perbandingan Fisik Monocrystalline (kanan) vs Polycrystalline (kiri)	8
Gambar 2.4 Profil Produksi Energi Harian Panel Surya	9
Gambar 3.1 Peta Lokasi Aek Parombunan Kota Sibolga Sumatera Utara	16
Gambar 3.2 Panel Surya Monocrystalline	19
Gambar 3.3 Inverter Hybrid	20
Gambar 3.4 Baterai LiFePO ₄	22
Gambar 3.5 Pompa Air	23
Gambar 3.6 ATS (Auto Transfer Switch)	24
Gambar 3.7 MCB (Miniature Circuit Breaker)	25
Gambar 3.8 Komputer tang	25
Gambar 3.9 Tang	25
Gambar 3.10 Obeng	26
Gambar 3.11 Meteran	26
Gambar 3.12 Gunting	26
Gambar 3.13 isolasi	26
Gambar 3.14 Diagram Alir	27
Gambar 4.1 Skema Sistem PLTS	32
Gambar 4.2 Pemasangan Panel Surya	39
Gambar 4.3 Instalasi Inverter Hybrid	41
Gambar 4.4 Instalasi Baterai LiFePo ₄	43

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Bencana alam seperti tanah longsor dan banjir bandang sering kali menyebabkan terputusnya akses infrastruktur energi dan distribusi air bersih, sehingga menimbulkan permasalahan sanitasi bagi masyarakat terdampak. Dalam kondisi darurat, pemulihan jaringan listrik konvensional membutuhkan waktu yang relatif lama, sehingga diperlukan sumber energi mandiri yang dapat dipasang dan dioperasikan secara cepat.

Salah satu alternatif yang dapat dimanfaatkan adalah energi surya melalui Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS). Menurut penelitian (Sariman & Fitriyani, 2021), pemanfaatan energi matahari sebagai sumber listrik untuk pengoperasian pompa air dipengaruhi oleh intensitas radiasi matahari dan lama penyinaran, di mana sistem tenaga surya mampu menghasilkan debit air yang cukup untuk memenuhi kebutuhan dasar, khususnya pada wilayah yang sulit dijangkau.

Dalam penerapannya, pemilihan jenis panel surya menjadi faktor penting terhadap kinerja sistem. Panel surya jenis monocrystalline memiliki tingkat efisiensi konversi energi yang relatif tinggi, terutama untuk penggunaan pada lahan terbatas dan kondisi cuaca yang berubah-ubah seperti di wilayah pegunungan. Berdasarkan (Zulhakim, 2025), panel monocrystalline memiliki efisiensi konversi berkisar antara 17% hingga 22%, sehingga lebih optimal dalam menghasilkan daya dibandingkan dengan panel jenis polikristalin pada kondisi intensitas cahaya yang tidak stabil.

Pada kondisi pasca bencana, kebutuhan utama yang harus segera dipenuhi adalah ketersediaan air bersih. Namun, sistem pengolahan air seperti filtrasi umumnya memerlukan suplai energi listrik untuk mengoperasikan pompa dan komponen pendukung lainnya. Oleh karena itu, diperlukan suatu sistem yang mampu mengintegrasikan sumber energi mandiri dengan proses penyediaan air bersih.

Berdasarkan kondisi pasca bencana banjir bandang dan tanah longsor pada tanggal 24 November 2025 yang mengakibatkan terputusnya jaringan listrik, komunikasi, serta keterbatasan air bersih, khususnya di wilayah Kelurahan Aek

Parombunan, Kecamatan Sibolga Selatan, Kota Sibolga, diperoleh kebutuhan akan sistem penyedia energi mandiri. Hal ini diperkuat melalui kegiatan Program Mahasiswa Berdampak Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara pada tanggal 1 Februari 2026 sampai dengan 23 Februari 2026.

Berdasarkan kondisi tersebut, dirancang penerapan panel surya berkapasitas 1,1 kWp sebagai sumber energi untuk sistem filtrasi air bersih yang diharapkan mampu beroperasi secara mandiri pada kondisi pasca bencana, serta dapat dianalisis kinerja sistemnya berdasarkan produksi energi dan kebutuhan beban.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, maka rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana merancang sistem panel surya monocrystalline berkapasitas 1,1 kWp sebagai sumber energi untuk sistem filtrasi air bersih?
2. Berapa besar energi listrik yang dihasilkan oleh panel surya dalam kondisi tanpa beban dan dengan beban?
3. Bagaimana karakteristik pemanfaatan energi yang dihasilkan terhadap kebutuhan beban sistem filtrasi air?

1.3. Ruang Lingkup

Penelitian ini difokuskan pada perancangan dan analisis sistem panel surya monocrystalline berkapasitas 1,1 kWp sebagai sumber energi untuk sistem filtrasi air bersih pasca bencana. Analisis yang dilakukan meliputi produksi energi panel surya dalam kondisi tanpa beban dan dengan beban, kebutuhan energi sistem filtrasi air, serta kesesuaian antara energi yang dihasilkan dan energi yang digunakan. Sistem yang dirancang menggunakan konfigurasi inverter hybrid dengan penyimpanan energi menggunakan baterai.

1.4 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan yang ingin di capai dalam penelitian ini adalah dapat dirumuskan sebagai berikut:

1. Merancang sistem panel surya monocrystalline berkapasitas 1,1 kWp sebagai sumber energi untuk sistem filtrasi air bersih.
2. Mengetahui besar energi listrik yang dihasilkan dalam kondisi tanpa beban dan dengan beban.

3. Menganalisis kesesuaian antara energi yang dihasilkan dengan kebutuhan beban sistem filtrasi air.

1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dalam penelitian ini dapat dirumuskan sebagai berikut :

1. Menghasilkan rancangan sistem panel surya 1,1 kWp sebagai sumber energi mandiri untuk sistem filtrasi air bersih.
2. Memberikan alternatif penyediaan energi listrik pada kondisi pasca bencana untuk mendukung kebutuhan air bersih.
3. Menjadi referensi dalam pengembangan sistem PLTS untuk aplikasi filtrasi air bersih di daerah terdampak bencana.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Lokasi Bencana

Karakteristik utama lokasi bencana tanah longsor adalah terjadinya pergerakan massa tanah atau batuan yang menuruni lereng akibat hilangnya kestabilan pada bidang gelincir. Kondisi ini umumnya dipicu oleh curah hujan yang tinggi, yang menyebabkan peningkatan tekanan air pori di dalam tanah. Selain itu, karakteristik fisik tanah di lokasi longsor sering kali memiliki porositas yang tinggi namun kohesi yang rendah, sehingga ketika terjadi kejenuhan air, beban massa tanah meningkat dan memicu keruntuhan lereng yang dapat merusak infrastruktur di sekitarnya (Susetyo et al., 2023).

Secara fisik, kondisi pascabencana ditandai dengan struktur tanah yang labil serta gradasi tanah yang buruk. Penelitian yang dilakukan oleh (Hartono et al., 2025) di daerah rawan longsor menunjukkan bahwa karakteristik tanah pascabencana umumnya didominasi oleh jenis tanah pasir berlanau dengan nilai faktor keamanan lereng yang rendah, yaitu di bawah 1,5. Kondisi ini menunjukkan bahwa lereng berada dalam keadaan tidak stabil dan berpotensi mengalami longsor susulan.

Dampak dari bencana tanah longsor tidak hanya merusak morfologi lahan, tetapi juga mengganggu infrastruktur dasar, seperti jaringan distribusi energi dan sistem penyediaan air bersih. Kerusakan tersebut meliputi terputusnya jaringan listrik serta rusaknya saluran distribusi air akibat pergerakan massa tanah. Sebagaimana dijelaskan oleh (Tanjung & Putri, 2023), upaya penanganan pascabencana perlu dilakukan secara struktural melalui penyediaan fasilitas dasar yang bersifat mandiri dan adaptif terhadap kondisi lapangan.

Salah satu wilayah yang memiliki karakteristik tersebut adalah Kelurahan Aek Parombunan, Kecamatan Sibolga Selatan, yang memiliki topografi dengan kemiringan lereng yang cukup curam serta struktur tanah yang mudah tererosi oleh air. Kondisi ini menyebabkan wilayah tersebut memiliki potensi tinggi terhadap terjadinya tanah longsor, terutama pada musim penghujan.

Selain faktor alami, aktivitas manusia juga turut memperparah kondisi tersebut. Pembukaan lahan serta pembangunan permukiman dengan cara

memotong lereng tanpa disertai vegetasi penahan tanah menyebabkan kestabilan lereng semakin menurun. Hal ini tidak hanya memicu terjadinya longsor, tetapi juga meningkatkan risiko longsor susulan yang dapat memperparah kerusakan serta menghambat proses pemulihan pascabencana.



Gambar 2.1 Dokumentasi Pasca Bencana

2.2. Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS)

Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) merupakan sistem pembangkit listrik yang memanfaatkan energi radiasi matahari sebagai sumber utama untuk menghasilkan energi listrik melalui proses konversi menggunakan teknologi *fotovoltaik*. Energi matahari yang diterima oleh permukaan panel surya diubah menjadi energi listrik dalam bentuk arus searah (*Direct Current/DC*) melalui efek *fotovoltaik* yang terjadi pada material semikonduktor (Darmana et al., 2024).

Efek *fotovoltaik* terjadi ketika *foton* dari cahaya matahari mengenai permukaan sel surya dan memberikan energi kepada *elektron*, sehingga elektron tersebut bergerak dan menghasilkan aliran arus listrik. Proses ini berlangsung selama terdapat radiasi matahari yang diterima oleh panel surya. Besarnya energi listrik yang dihasilkan dipengaruhi oleh jumlah sel surya yang terpasang serta intensitas radiasi matahari yang diterima.

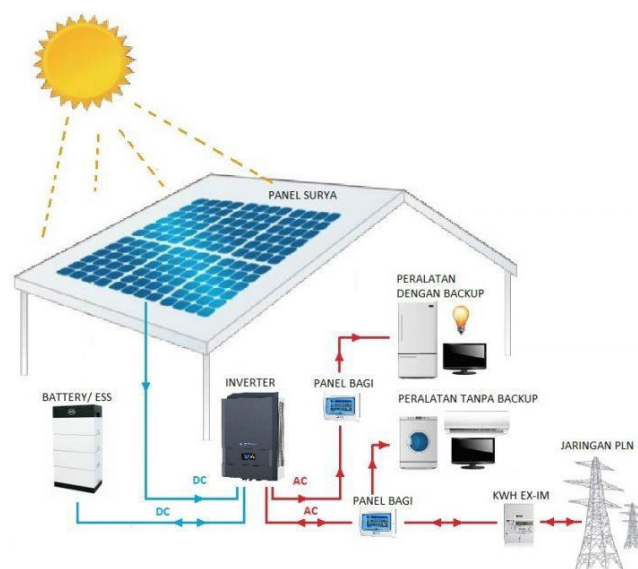
Secara umum, energi listrik yang dihasilkan oleh panel surya berupa arus searah (DC) yang dapat digunakan langsung untuk beban tertentu dengan kebutuhan daya kecil. Namun, karena produksi energi hanya terjadi pada siang hari, maka diperlukan sistem penyimpanan energi seperti baterai untuk menjamin kontinuitas suplai energi pada malam hari atau saat intensitas radiasi menurun (Fawwaz et al., 2021).

Berdasarkan konfigurasi dan aplikasinya, sistem PLTS secara umum diklasifikasikan menjadi dua jenis, yaitu sistem PLTS yang tidak terhubung dengan jaringan listrik (*off-grid* atau *stand-alone*) dan sistem PLTS yang terhubung dengan jaringan listrik (*on-grid*). Pada sistem *on-grid*, inverter bekerja mengikuti kondisi jaringan listrik dan umumnya tidak melibatkan baterai untuk menghindari terjadinya over-discharge, karena sistem memanfaatkan *Maximum Power Point Tracking* (MPPT) untuk menghasilkan daya maksimum. Sementara itu, pada sistem off-grid, baterai menjadi komponen utama yang harus terhubung dengan inverter untuk menjaga kestabilan suplai energi akibat fluktuasi radiasi matahari dan variasi beban (Prayogo, 2019).

Secara umum, sistem PLTS terdiri dari beberapa komponen utama yang saling terintegrasi, yaitu:

- Modul surya sebagai penghasil energi listrik
- Solar charge controller sebagai pengatur proses pengisian energi
- Baterai sebagai media penyimpanan energi
- Inverter sebagai pengubah arus DC menjadi arus bolak-balik (AC) sesuai kebutuhan beban

Dalam sistem dengan konfigurasi hybrid, energi listrik yang dihasilkan panel surya tidak hanya digunakan secara langsung oleh beban, tetapi juga dapat disimpan dalam baterai dan dimanfaatkan kembali sesuai kondisi operasional sistem, sehingga meningkatkan keandalan suplai energi.



Gambar 2.2 Diagram blok sistem PLTS (Rifaldi & Winarty, 2023)

2.3 Panel Surya *Monocrystalline*

Panel surya monocrystalline merupakan jenis panel surya yang terbuat dari silikon kristal tunggal dengan tingkat kemurnian tinggi. Struktur kristal yang homogen memungkinkan pergerakan elektron berlangsung lebih efisien, sehingga menghasilkan tingkat konversi energi yang lebih tinggi dibandingkan dengan jenis panel lainnya, seperti polycrystalline.

Secara konstruksi, panel monocrystalline dibuat dari irisan tipis batangan silikon kristal tunggal yang dipotong dengan teknologi presisi tinggi. Proses ini menghasilkan sel surya dengan bentuk yang seragam dan kualitas material yang baik, sehingga mampu meningkatkan performa konversi energi listrik yang dihasilkan (Rudiyanto et al., 2023).

Efisiensi panel monocrystalline umumnya berada pada kisaran 17% hingga 22% (Zulhakim, 2025), menjadikannya salah satu pilihan utama dalam sistem PLTS yang memiliki keterbatasan ruang pemasangan. Selain itu, panel jenis ini juga memiliki karakteristik performa yang relatif stabil pada kondisi intensitas cahaya rendah serta temperatur lingkungan yang tinggi.

Namun demikian, panel monocrystalline juga memiliki beberapa keterbatasan, di antaranya biaya produksi yang relatif lebih tinggi akibat penggunaan material silikon murni serta proses manufaktur yang kompleks. Selain itu, bentuk sel yang mengikuti struktur kristal menyebabkan adanya ruang kosong ketika disusun dalam modul, sehingga sedikit mengurangi efisiensi pemanfaatan area permukaan.

Sebagai perbandingan, panel surya polycrystalline merupakan jenis panel yang tersusun dari kristal silikon dengan struktur acak yang dibentuk melalui proses pengecoran. Panel jenis ini memiliki efisiensi yang lebih rendah dibandingkan monocrystalline, namun biaya produksinya lebih terjangkau. Selain itu, panel polycrystalline umumnya membutuhkan area pemasangan yang lebih luas untuk menghasilkan daya yang sama, meskipun masih mampu beroperasi pada kondisi cuaca mendung (Purwoto et al., 2018).

Perbandingan antara panel monocrystalline dan polycrystalline dapat ditinjau dari beberapa aspek utama, seperti efisiensi, kebutuhan area, serta performa terhadap kondisi lingkungan. Panel monocrystalline cenderung lebih unggul dalam

hal efisiensi dan kebutuhan ruang, sedangkan panel polycrystalline lebih ekonomis dari sisi biaya.

Dalam penelitian ini, pemilihan panel surya monocrystalline didasarkan pada kebutuhan sistem yang memerlukan efisiensi tinggi serta kemampuan beroperasi pada kondisi lingkungan yang tidak selalu optimal, seperti pada area pasca bencana.



Gambar 2.3 Perbandingan fisik *Monocrystalline* (kanan) vs *Polycrystalline* (kiri)
(Gautama et al., 2021)

2.4. Produksi Energi Panel Surya

Produksi energi pada sistem PLTS merupakan hasil konversi energi radiasi matahari menjadi energi listrik yang dipengaruhi oleh parameter lingkungan dan karakteristik modul surya. Energi yang dihasilkan dinyatakan dalam satuan *Watt-hour (Wh)* atau kilo *Watt-hour (kWh)*, yang menggambarkan total energi listrik dalam periode tertentu.

Secara teoritis, energi yang dihasilkan panel surya dapat dihitung menggunakan persamaan:

$$E = P \times H \times \eta$$

Di mana:

E = energi yang dihasilkan (Wh)

P = kapasitas panel surya (Wp)

H = lama penyinaran efektif (jam)

η = efisiensi sistem

Untuk analisis yang lebih rinci, karakteristik daya pada panel surya dapat ditinjau dari daya input dan daya output. Daya input merupakan energi radiasi

matahari yang diterima oleh permukaan panel, sedangkan daya output merupakan energi listrik yang dihasilkan panel.

Daya input panel surya dapat dihitung dengan:

$$P_{in} = I_r \times A$$

Sedangkan daya output panel surya dinyatakan sebagai:

$$P_{out} = V \times I$$

di mana:

P_{in} = daya input dari radiasi matahari (W)

I_r = intensitas radiasi matahari (W/m²)

A = luas permukaan panel (m²)

P_{out} = daya keluaran panel (W)

V = tegangan keluaran (Volt)

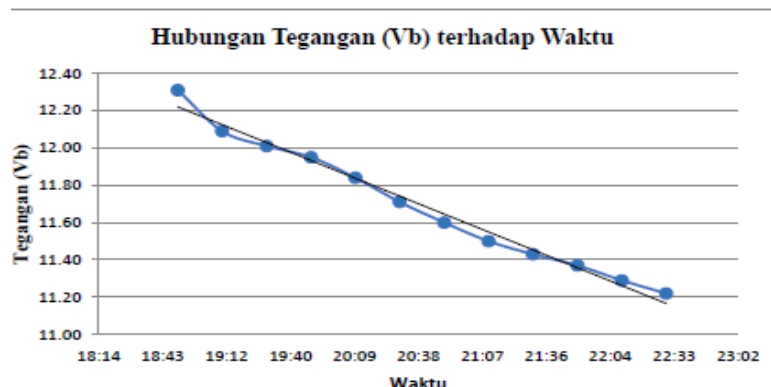
I = arus keluaran (Ampere)

Efisiensi panel surya dapat dihitung sebagai perbandingan antara daya output dan daya input, yaitu:

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\%$$

Produksi energi panel surya tidak bersifat konstan sepanjang waktu, melainkan berubah mengikuti pola intensitas radiasi matahari harian. Pada umumnya, energi yang dihasilkan akan meningkat sejak pagi hari, mencapai nilai maksimum pada siang hari, dan menurun kembali pada sore hari.

Pola perubahan tersebut dapat dilihat pada hasil penelitian sebelumnya yang ditunjukkan pada Gambar 2.3, yang menggambarkan hubungan antara waktu terhadap daya keluaran panel surya. (Rifaldi & Winarty, 2023)



Gambar 2.4 Profil Produksi Energi Harian Panel Surya (Rifaldi & Winarty, 2023)

Berdasarkan gambar tersebut, terlihat bahwa puncak produksi energi terjadi pada saat intensitas radiasi matahari berada pada kondisi maksimum, yang umumnya terjadi pada rentang waktu tengah hari. Sementara itu, pada pagi dan sore hari, produksi energi relatif lebih rendah akibat sudut datang cahaya matahari yang tidak optimal serta penurunan intensitas radiasi.

Produksi energi panel surya dipengaruhi oleh beberapa faktor utama, yaitu:

- Intensitas radiasi matahari yang diterima panel
- Lama penyinaran harian (Peak Sun Hour)
- Sudut kemiringan dan orientasi panel
- Temperatur lingkungan
- Kerugian sistem (losses) pada kabel dan komponen

Dalam penelitian ini, produksi energi dianalisis dalam kondisi tanpa beban dan dengan beban untuk mengetahui performa sistem secara aktual terhadap kondisi operasional di lapangan.

Efisiensi Sistem PLTS

Dalam penerapannya, energi listrik yang dihasilkan oleh panel surya tidak seluruhnya dapat dimanfaatkan oleh beban karena terdapat rugi-rugi energi pada sistem PLTS. Rugi-rugi tersebut dapat berasal dari berbagai faktor, seperti temperatur panel, kabel penghantar, koneksi, inverter, serta komponen pendukung lainnya. Oleh karena itu, energi aktual yang dapat dimanfaatkan perlu memperhitungkan efisiensi sistem secara keseluruhan.

Energi aktual yang dapat dimanfaatkan dari sistem PLTS dapat dihitung menggunakan persamaan:

$$E_{aktual} = E_{teoritis} \times \eta$$

Di mana:

- | | |
|----------------|--|
| E_{aktual} | = energi listrik aktual yang dapat dimanfaatkan (kWh/hari) |
| $E_{teoritis}$ | = energi listrik teoritis yang dihasilkan PLTS (kWh/hari) |
| η | = efisiensi sistem PLTS (% dalam bentuk desimal) |

Nilai efisiensi dalam bentuk persen harus dikonversikan terlebih dahulu ke bentuk desimal sebelum digunakan dalam perhitungan. Sebagai contoh, efisiensi sistem sebesar 80% dinyatakan menjadi 0,80. Dalam penelitian ini, efisiensi sistem

digunakan untuk memperhitungkan rugi-rugi sistem secara keseluruhan sehingga diperoleh estimasi energi aktual yang dapat digunakan untuk memenuhi kebutuhan beban.

Kerugian Energi (Losses) pada Sistem PLTS

Kerugian energi (*losses*) merupakan selisih antara energi teoritis yang dihasilkan sistem PLTS dengan energi aktual yang dapat dimanfaatkan. Kerugian energi dapat terjadi akibat adanya penurunan energi pada proses konversi dan penyaluran energi listrik, baik pada panel surya maupun pada komponen pendukung sistem.

Besarnya energi yang hilang dapat dihitung menggunakan persamaan:

$$E_{loss} = E_{teoritis} - E_{aktual}$$

Di mana:

E_{loss} = energi yang hilang atau rugi-rugi energi (kWh/hari)

$E_{teoritis}$ = energi teoritis yang dihasilkan PLTS (kWh/hari)

E_{aktual} = energi aktual yang dapat dimanfaatkan (kWh/hari)

Selain dalam bentuk energi, rugi-rugi sistem dapat dinyatakan dalam persentase terhadap energi teoritis. Persentase rugi-rugi energi dihitung menggunakan persamaan:

$$\%Loss = E_{loss}/E_{teoritis} \times 100\%$$

Persamaan tersebut digunakan untuk mengetahui besarnya persentase energi yang hilang dari total energi teoritis yang dihasilkan oleh sistem PLTS.

2.5. Sistem Penyimpanan Energi

Baterai merupakan komponen dalam sistem PLTS yang berfungsi untuk menyimpan energi listrik yang dihasilkan panel surya. Penyimpanan energi ini diperlukan karena produksi energi tidak selalu sejalan dengan waktu penggunaan beban.

Kapasitas baterai dinyatakan dalam satuan Ampere-hour (Ah), dan energi yang tersimpan dapat dihitung menggunakan:

$$E = V \times I \times t$$

Selain itu, dalam penggunaan baterai dikenal parameter Depth of Discharge (DoD), yang menunjukkan persentase energi yang dapat digunakan tanpa merusak baterai. Semakin besar nilai DoD, semakin besar energi yang dapat dimanfaatkan, namun juga berpengaruh terhadap umur baterai.

Proses kerja baterai terdiri dari:

- Charging → pengisian dari panel surya
- Discharging → penyaluran ke beban

Dalam sistem hybrid, baterai berfungsi untuk:

- Menyimpan energi surplus
- Menjaga kontinuitas suplai energi
- Mengurangi fluktuasi daya

Kinerja baterai dalam sistem juga dipengaruhi oleh efisiensi pengisian dan pengosongan, serta kondisi lingkungan saat pengoperasian. (Rifaldi & Winarty, 2023). Besarnya energi baterai yang dapat dimanfaatkan dalam sistem PLTS dipengaruhi oleh nilai *Depth of Discharge* (DoD). DoD menunjukkan persentase kapasitas nominal baterai yang dapat digunakan selama proses pengosongan. Dengan mempertimbangkan nilai DoD, energi baterai yang dapat digunakan dapat dihitung menggunakan persamaan:

$$E_{usable} = E_{battery} \times DoD$$

di mana:

E_{usable}	= energi baterai yang dapat digunakan (kWh)
$E_{battery}$	= kapasitas energi nominal baterai (kWh)
DoD	= <i>Depth of Discharge</i> dalam bentuk desimal

2.6. Sistem Beban

Beban dalam sistem PLTS merupakan komponen yang menggunakan energi listrik untuk melakukan kerja tertentu. Pada penelitian ini, beban utama terdiri dari pompa air dan sistem ultraviolet (UV) yang digunakan dalam proses filtrasi air.

Pompa air berfungsi untuk mengalirkan air melalui media filtrasi, sehingga mempengaruhi debit air yang dihasilkan. Sementara itu, sistem UV berfungsi sebagai proses sterilisasi untuk mengurangi kandungan mikroorganisme dalam air.

Kebutuhan daya pada beban dapat dihitung dengan:

$$P = V \times I$$

Sedangkan energi yang digunakan selama periode tertentu:

$$E = P \times t$$

di mana:

E = energi (Wh)

P = daya (W)

t = waktu (jam)

Total kebutuhan energi sistem merupakan akumulasi dari seluruh beban yang digunakan, sehingga dapat dinyatakan sebagai:

$$E_{total} = \sum (P_i \times t_i)$$

Dengan mengetahui total kebutuhan energi, maka dapat dilakukan analisis kesesuaian antara energi yang dihasilkan oleh panel surya dan kebutuhan energi sistem filtrasi air.

Analisis ini menjadi dasar dalam menentukan apakah sistem PLTS yang digunakan mampu memenuhi kebutuhan operasional secara mandiri pada kondisi pasca bencana. (Rifaldi & Winarty, 2023).

2.7 Perhitungan Kapasitas dan Analisis Kinerja Sistem PLTS

Selain persamaan dasar mengenai produksi energi, efisiensi, dan kebutuhan beban yang telah dijelaskan pada sub-bab sebelumnya, analisis kinerja sistem PLTS pada penelitian ini juga memerlukan beberapa persamaan tambahan, yaitu untuk menghitung kapasitas total panel surya, tegangan rangkaian seri, neraca energi, kapasitas baterai dalam satuan energi, serta analisis skenario penurunan produksi energi akibat kondisi cuaca.

2.7.1 Kapasitas Total Panel Surya

Kapasitas total daya keluaran panel surya yang tersusun dalam suatu rangkaian dihitung dengan mengalikan jumlah unit panel yang digunakan dengan kapasitas daya masing-masing panel, dinyatakan dalam persamaan berikut:

$$P_{PV} = N \times P_{panel}$$

Di mana:

P_{PV} = kapasitas total panel surya (Wp)

N = jumlah unit panel surya

P_{panel} = kapasitas daya satu unit panel surya (Wp)

2.7.2 Tegangan Rangkaian Seri Panel Surya

Pada konfigurasi rangkaian seri, tegangan keluaran total sistem merupakan hasil penjumlahan tegangan setiap panel yang dihubungkan, sedangkan arus rangkaian mengikuti arus panel individual. Tegangan total rangkaian dapat dihitung dengan persamaan:

$$V_{total} = n \times V_{mp}$$

Di mana:

V_{total} = tegangan total rangkaian seri (V)

N = jumlah panel yang dihubungkan seri

V_{mp} = tegangan pada titik daya maksimum satu panel (V)

2.7.3 Neraca dan Persentase Pemenuhan Energi

Untuk mengetahui kecukupan energi yang dihasilkan sistem PLTS terhadap kebutuhan beban, dilakukan analisis neraca energi berupa selisih antara energi aktual yang dihasilkan dengan energi yang dibutuhkan beban, yang dinyatakan sebagai surplus energi:

$$E_{surplus} = E_{aktual} - E_{beban}$$

Di mana:

$E_{surplus}$ = surplus energi (kWh/hari)

E_{aktual} = energi actual yang dihasilkan PLTS (kWh/hari)

E_{beban} = kebutuhan energi beban (kWh/hari)

Selain dalam bentuk selisih, kecukupan energi juga dapat dinyatakan dalam bentuk persentase pemenuhan beban, yaitu perbandingan antara energi aktual yang dihasilkan dengan kebutuhan energi beban:

$$R = \left(\frac{E_{aktual}}{E_{beban}} \right) \times 100\%$$

Di mana:

R = persentase pemenuhan beban (%)

2.7.4 Kapasitas Energi Baterai

Kapasitas energi nominal baterai yang dinyatakan dalam satuan Ampere-hour (Ah) perlu dikonversi ke dalam satuan Watt-hour (Wh) agar dapat dibandingkan dengan besaran energi lain dalam sistem. Konversi dilakukan dengan mengalikan tegangan nominal baterai dengan kapasitas arusnya:

$$E_{bat} = V_{bat} \times C_{bat}$$

Di mana:

E_{bat} = Kapasitas energi nominal baterai(Wh)

V_{bat} = tegangan nominal baterai (V)

C_{bat} = kapasitas arus baterai (Ah)

Untuk mengetahui berapa lama baterai mampu menjadi cadangan daya (backup time) terhadap kebutuhan beban, kapasitas energi baterai dibandingkan dengan total kebutuhan energi beban harian:

$$R_{bat} = \frac{E_{bat}}{E_{beban}}$$

Di mana:

R_{bat} = rasio kapasitas baterai terhadap kebutuhan energi beban (hari)

E_{bat} = kapasitas energi baterai (kWh)

E_{beban} = kebutuhan energi beban (kWh/hari)

2.7.5 Analisis Skenario Penurunan Produksi Energi

Untuk menguji keandalan sistem pada kondisi cuaca buruk atau mendung, dilakukan simulasi terhadap penurunan performa produksi energi sebesar persentase tertentu (x%) dari kondisi normal. Energi aktual pada kondisi tersebut dapat dihitung dengan persamaan:

$$E_x = E_{aktual} \times (1 - x\%)$$

Di mana:

E_x = energi actual pada scenario penurunan produksi ke-x (kWh/hari)

E_{aktual} = energi actual pada kondisi normal (kWh/hari)

$x\%$ = persentase penurunan produksi energi

BAB 3

METODE PENELITIAN

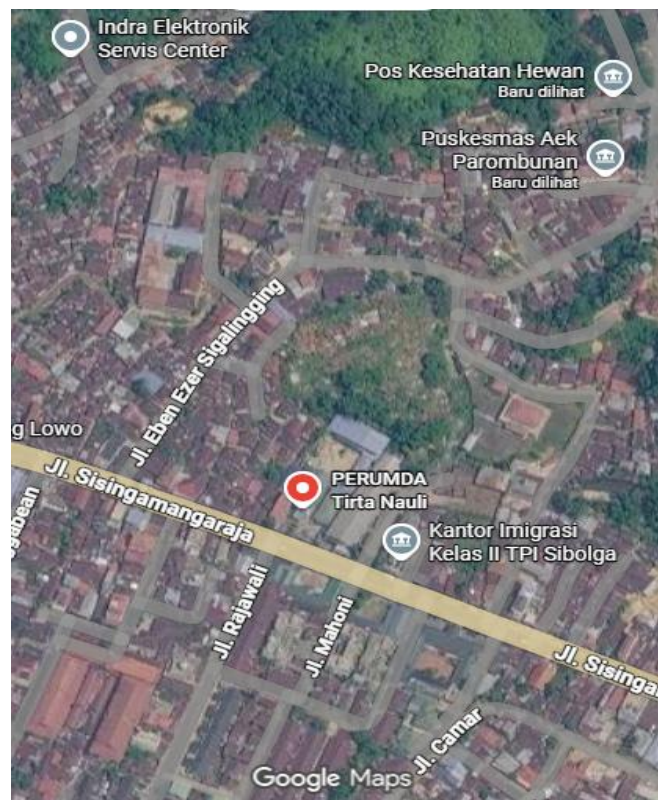
3.1 Tempat Dan Waktu

Penelitian ini merupakan pembuatan dan penerapan sistem filtrasi air berbasis panel surya yang ditujukan untuk kondisi pasca bencana. Sistem yang dibangun disesuaikan dengan kebutuhan di lapangan, khususnya dalam penyediaan air bersih dengan memanfaatkan sumber energi mandiri. Selain itu, penelitian ini juga melakukan analisis terhadap kinerja sistem filtrasi air berbasis panel surya sebagai sumber energi utama.

Sistem yang dibangun berupa Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) berkapasitas 1,1 kWp yang digunakan untuk menyuplai energi pada sistem filtrasi air bersih. Metode yang diterapkan dalam penelitian ini meliputi beberapa tahapan yang dilakukan untuk memperoleh data serta menganalisis kinerja sistem.

3.1.1 Tempat penelitian

Tempat dan penelitian ini dilakukan di kelurahan Aek Parombunan Kecamatan Sibolga Selatan Kota Sibolga Sumatera Utara.



Gambar 3. 1 Peta Lokasi PQHX+6W Aek Parombunan, Kota Sibolga, Sumatera Utara

3.1.2 Waktu penelitian

Waktu penerapan tugas akhir ini direncanakan selama 6 bulan dari di setujuinya penulisan proposal tugas akhir, studi literatur, proses perancangan, proses optimasi peralatan penyuplai air bersih dengan solar panel 100wp, seminar proposal, seminar hasil sampai sidang akhir yang menghabiskan waktu kurang lebih 6 bulan.

Tabel 3.1. Jadwal dan kegiatan saat melakukan penelitian

No	Kegiatan	Waktu (Bulan)					
		1	2	3	4	5	6
1	Studi literatur	■	■				
2	Penyediaan alat dan bahan		■	■	■		
3	Penulisan proposal			■	■	■	
4	Pengujian simulasi				■	■	
5	Pengambilan data					■	■
6	Analisa data					■	■
7	Penulisan laporan akhir					■	■
8	Sidang sarjana					■	■

3.2 Bahan dan Alat yang digunakan

3.2.1 Bahan yang digunakan

Penelitian ini menggunakan beberapa bahan utama yang berfungsi sebagai komponen penyusun sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) serta sistem filtrasi air bersih. Bahan yang digunakan dipilih berdasarkan kebutuhan sistem untuk mendukung proses konversi energi, penyimpanan, serta distribusi energi ke beban yang digunakan dalam penelitian ini:

- ☐ Panel surya monocrystalline dengan kapasitas total $\pm 1,1$ kWp
- ☐ Baterai (aki/VRLA/LiFePO₄) sebagai media penyimpanan energi
- ☐ Inverter hybrid
- ☐ MCB (Miniature Circuit Breaker) sebagai pengaman sistem
- ☐ Automatic Transfer Switch (ATS)
- ☐ Pompa air sebagai beban utama sistem
- ☐ Filter ultraviolet (UV) untuk proses sterilisasi air
- ☐ Besi hollow sebagai rangka penopang panel dan sistem

□ Box panel sebagai tempat instalasi komponen listrik

1. Solar Panell (sel surya)

Merupakan Panel Surya yang memiliki susunan kristal acak karena dipabrikasi dengan proses pengecoran. Tipe ini memerlukan luas permukaan yang lebih besar dibandingkan dengan jenis monokristal untuk menghasilkan daya listrik yang sama. Panel suraya jenis ini memiliki efisiensi lebih rendah dibandingkan tipe monokristal, sehingga memiliki harga yang cenderung lebih rendah.(Purwoto et al., 2018).

Dalam konteks energi terbarukan, panel surya berperan sebagai salah satu komponen utama dalam sistem pembangkit listrik tenaga surya (PLTS). Energi yang dihasilkan dapat digunakan langsung untuk kebutuhan listrik rumah tangga, pengisian baterai, maupun disimpan dalam sistem penyimpanan energi untuk penggunaan di masa mendatang. Efisiensi panel surya bergantung pada beberapa faktor, termasuk jenis material, intensitas cahaya, suhu lingkungan, serta orientasi dan kemiringan panel terhadap posisi matahari (Jäger-Waldau, 2019).

Panel surya yang digunakan dalam penerapan ini memiliki spesifikasi teknis yang disesuaikan dengan kebutuhan kapasitas sistem, sehingga mampu menghasilkan energi listrik secara optimal berdasarkan kondisi radiasi matahari di Kel.Aek Parombunan ditunjukkan pada tabel di bawah ini.

Tabel 3.2 Spesifikasi Panel Surya Monocrystalline

Daya Maksimum (P_{max})	550W
Tegangan Sistem Maksimum (V_{Dc})	42,1 V
Tegangan Pada P_{max} (V_{mp})	1500 VDC
Arus Pada P_{max} (I_{mp})	13,06 A
Tegangan Sirkuit Terbuka (V_{oc})	50,1 V
Arus Hubungan Singkat (I_{sc})	13,9 A
Dimensi (mm)	2278 × 1134 × 35 mm
Toleransi daya	3%



Gambar 3. 2 Panel Surya Monocrystalline

2. Inverter Hybrid

Secara sederhana, inverter hybrid adalah perangkat pintar yang menggabungkan fungsi inverter on-grid (terhubung ke jala-jala listrik PLN) dan inverter off-grid (terhubung ke baterai) dalam satu unit. Alat ini bertindak sebagai "otak" atau pengatur lalu lintas energi di rumah Anda, yang secara otomatis menentukan kapan harus menggunakan listrik dari panel surya, baterai, atau PLN.

Inverter adalah rangkaian elektronika yang berfungsi sebagai pengubah tegangan DC ke tegangan AC dengan menggunakan frekuensi tertentu. Pada penerapan PLTS sendiri juga harus diperhatikan dalam pemilihan inverter, adanya yang khusus off-grid, on-grid maupun hybrid. Pembagian inverter sendiri menurut fasanya ada dua yaitu inverter 1 fasa (L-N) dan 3 fasa (R-S-T). (Sudarjo et al., 2022).

Untuk gambaran yang lebih jelas mengenai karakteristik inverter hybrid yang digunakan dalam sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS), maka spesifikasi utama dari inverter tersebut disajikan dalam bentuk tabel berikut, yang mencakup parameter-parameter penting seperti kapasitas daya, tegangan kerja, efisiensi, serta fitur pendukung lainnya yang berperan dalam menunjang kinerja sistem secara keseluruhan.

Tabel 3.3 Spesifikasi Inverter Hybrid Samoto IHF2000

Fitur	Spesifikasi
Kapasitas	2000VA / 1600 Watt
Tegangan Baterai	12V DC
Gelombang Output	Pure Sine Wave
Teknologi PV	Built-in MPPT Solar Charge Controller
Input PLN (AC)	90-280 VAC (Normal) / 170-280 VAC (UPS)
Dimensi	Sekitar 305 x 113 x 417 mm



Gambar 3. 3 Inverter Hybrid

3. Baterai.

Baterai adalah alat yang digunakan untuk menyimpan energi listrik dalam bentuk kimia kemudian diubah menjadi energi listrik untuk memperoleh arus listrik yang diperlukan sehingga dapat digunakan menghidupkan peralatan yang diperlukan, seperti strika, rice cooker, mengerjakan mesin-mesin dan peratan elektronik lainnya. Arus baterai dihasilkan oleh reaksi kimia antara bahan aktif pada pelat baterai dan asam sulfat yang terdapat dalam larutan elektrolit. Berlaku untuk penstabil tegangan bagi sistem serta bertindak sebagai akumulator atau penyimpan energy setelah satu periode penggunaan, baterai akan mengalami penurunan dan pengosongan genergi sehingga tidak lagi menghasilkan aliran arus. Baterai dapat diisi kembali dengan arus searah yang

diberikan dalam arah yang berlawanan dengan arah arus yang keluar dari baterai pada saat penggunaan. Dalam operasi yang normal, baterai selalu diisi oleh alternator(Nasution, 2021).

Untuk baterai yang digunakan dalam penerapam panel surya kapasitas 1,1 kWp untuk daerah Aek Parombunan sibolga selatan pasca bencana tanah longsor adalah baterai LiFePO₄ (Lithium Iron Phosphate) yang merupakan jenis baterai lithium yang menggunakan bahan katoda lithium besi fosfat. Baterai ini banyak digunakan pada sistem energi seperti panel surya (PLTS), karena memiliki keamanan tinggi, umur panjang, dan stabilitas yang baik dibandingkan baterai biasa.

Spesifikasi dari baterai LiFePO₄ yang digunakan memiliki spesifikasi elektrik, parameter dan pengosongan, ketahanan dan siklus hidup, Fisik dan mekanik, dan keunggulan di fitur keamanan yang menggunakan sistem BMS. Seperti penjelasan berikut ini :

1. Spesifikasi Elektrik

- Tegangan Nominal: 25,6V (Terdiri dari 8 sel yang disusun seri/8S).
- Kapasitas Nominal: 200Ah (Energi total 5.120 Wh atau 5,12 kWh).
- Rentang Voltase Operasional: 20,0V hingga 29,2V.
- Tegangan Pengisian (Bulk/Absorption): 28,4V - 29,2V.
- Tegangan Floating: Sekitar 27,2V - 27,6V.
- Tegangan Pemutusan (Cut-off): 20,0V (untuk melindungi sel dari *over-discharge*).

2. Parameter Pengisian & Pengosongan

- Arus Pengisian Standar: 40A - 50A (0.2C - 0.25C).
- Arus Pengisian Maksimal: Hingga 100A (tergantung spesifikasi BMS).
- Arus Pengosongan Kontinu Maksimal: 100A hingga 200A (menentukan besar beban watt yang bisa diangkat sekaligus).
- Arus Puncak (Peak Discharge): Sekitar 300A - 320A (durasi singkat 5-10 detik untuk tarikan awal motor/kompresor).

3. Ketahanan & Siklus Hidup

- Siklus Hidup (Cycle Life):
 - 3.000+ siklus pada 80% DOD (*Depth of Discharge*).

- 5.000+ siklus jika digunakan pada arus rendah atau DOD yang lebih dangkal.
- Efisiensi Pengisian: Sekitar 99%.
- Tingkat Pengosongan Mandiri (Self-discharge): < 3% per bulan.]

4. Spesifikasi Fisik & Mekanik

- Berat Rata-rata: Berkisar antara 35 kg hingga 45 kg (sangat bergantung pada material *casing* besi vs plastik).
- Dimensi Umum: Sekitar 520 x 270 x 220 mm atau variasi serupa sesuai desain box.
- Tipe Terminal: Umumnya menggunakan baut M8.
- Material Casing: Plastik ABS (seringkali dengan rating IP65) atau Box Besi/Baja (untuk pemasangan rak/server).

5. Fitur Keamanan (BMS)

Setiap unit biasanya dilengkapi BMS internal yang melindungi dari:

- *Over-charge* (pengisian berlebih).
- *Over-discharge* (pengosongan berlebih).
- *Over-current* (arus berlebih).
- *Short-circuit* (korsleting).
- *Over-temperature* (perlindungan suhu tinggi).



Gambar 3. 4 Baterai LiFePO4

4. Pompa Air

Pompa merupakan alat yang berfungsi mengubah tenaga mekanis dari suatu sumber tenaga (penggerak) menjadi tenaga kinetis (kecepatan), dimana tenaga ini berguna untuk mengalirkan cairan dan mengatasi hambatan yang ada

sepanjang pengaliran. Dalam aplikasi kehidupan sehari-hari banyak sekali aplikasi yang berkaitan dengan pompa. Contoh pompa yang ditemui dalam kehidupan sehari-hari antara lain pompa air, pompa diesel, pompa hydram, pompa bahan bakar dan lain-lain, yang digunakan oleh masyarakat pada umumnya. Dari sekian banyak pompa yang ada tentunya mempunyai prinsip kerja dan kegunaan yang berbeda-beda namun memiliki fungsi yang sama.(Yana et al., 2017).

Untuk pompa yang digunakan sebagai beban dari sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya yang dirancang adalah pompa simizu 230-Bit dengan spesifikasi yang tersaji dalam bentuk tabel berikut, yang mencakup parameter utama seperti kapasitas aliran, daya pompa, tegangan kerja, serta karakteristik operasional lainnya guna memastikan sistem dapat bekerja secara optimal dan efisien.

Tabel 3.4 Spesifikasi Pompa Air

Daya Output	200 W
Daya Input (KW)	0.55 KW (550W)
Tegangan (V)	220V/50Hz
Daya Hisap Maksimal	9 Meter
Total Head Maksimal	36 – 40 Meter
Kapasitas Maksimal	50 liter/menit
Pipa Hisap & Dorong	1 Inch
Berat	16,5 Kg
Otomatis	Preassure Switch



Gambar 3. 5 Pompa Air

5. Automatic Transfer Switch (ATS)

Alat ini dapat bekerja dengan cara berikut, yaitu dapat mengalihkan sumber daya utama PLN ketika sumber daya utama tiba-tiba mati ke sumber daya cadangan genset. Perangkat sakelar transfer otomatis dikendalikan menggunakan komponen relai yang berfungsi sebagai konektor dan pemutus tegangan. Kinerja alat ini memiliki 3 kondisi. Kondisi pertama adalah ketika PLN sebagai sumber daya utama sedang bertugas menyediakan pasokan daya ke beban. Kondisi kedua adalah ketika PLN sebagai sumber daya utama mati digantikan menggunakan sumber cadangan, yaitu generator. Kondisi kedua membutuhkan penundaan waktu 3 detik menggunakan sumber untuk menghidupkan generator secara otomatis. Kondisi ketiga adalah ketika PLN sebagai sumber daya utama kembali hidup ketika generator sebagai sumber daya cadangan sedang digunakan. Dalam kondisi aktif, generator akan mati secara otomatis dan tegangan akan dialirkan menggunakan PLN dengan penundaan 3 detik ke beban. Penundaan waktu yang digunakan bertujuan untuk mencegah benturan yang terjadi antara daya PLN dan generator. (Binava & Agus Supardi, 2022)



Gambar 3. 6 ATS (Auto Transfer Switch)

6. MCB (Miniature Circuit Breaker)

MCB (Miniature Circuit Breaker) atau Miniatur Pemutus Sirkuit adalah Saklar untuk Menjalankan Dan mematikan Catu daya 24VDC yang nantinya sebagai Supply tegangan untuk Menjalankan PLC, HMI Monitor, Pressure Sensor, dan Flow Sensor. Arti MCB yakni sebuah perangkat elektromekanikal

yang bekerja sebagai pelindung rangkaian listrik dari arus lebih. Dengan kata lain. MCB dapat memutuskan arus listrik secara otomatis ketika arus listrik.



Gambar 3. 7 MCB (Miniature Circuit Breaker)

3.2.2 Alat yang di gunakan

1. Laptop

Dalam studi ini, perangkat laptop berperan penting sebagai sarana untuk melakukan tugas dan memproses kata-kata atau informasi.



Gambar 3. 8 Komputer

2. Tang

Untuk menjepit dan memegang benda kerja.



Gambar 3. 9 Tang

3. Obeng

Untuk mengendurkan dan mengencangkan baut yang ada di benda kerja,



Gambar 3. 10 Obeng

4. Meteran

Mengukur pipa atau kabel yang akan digunakan



Gambar 3. 11 Meteran

5. Gunting

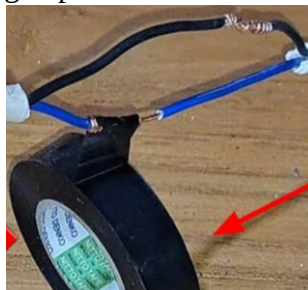
Menggunting dan mengupas kabel.



Gambar 3. 12 Gunting

6. Isolsi

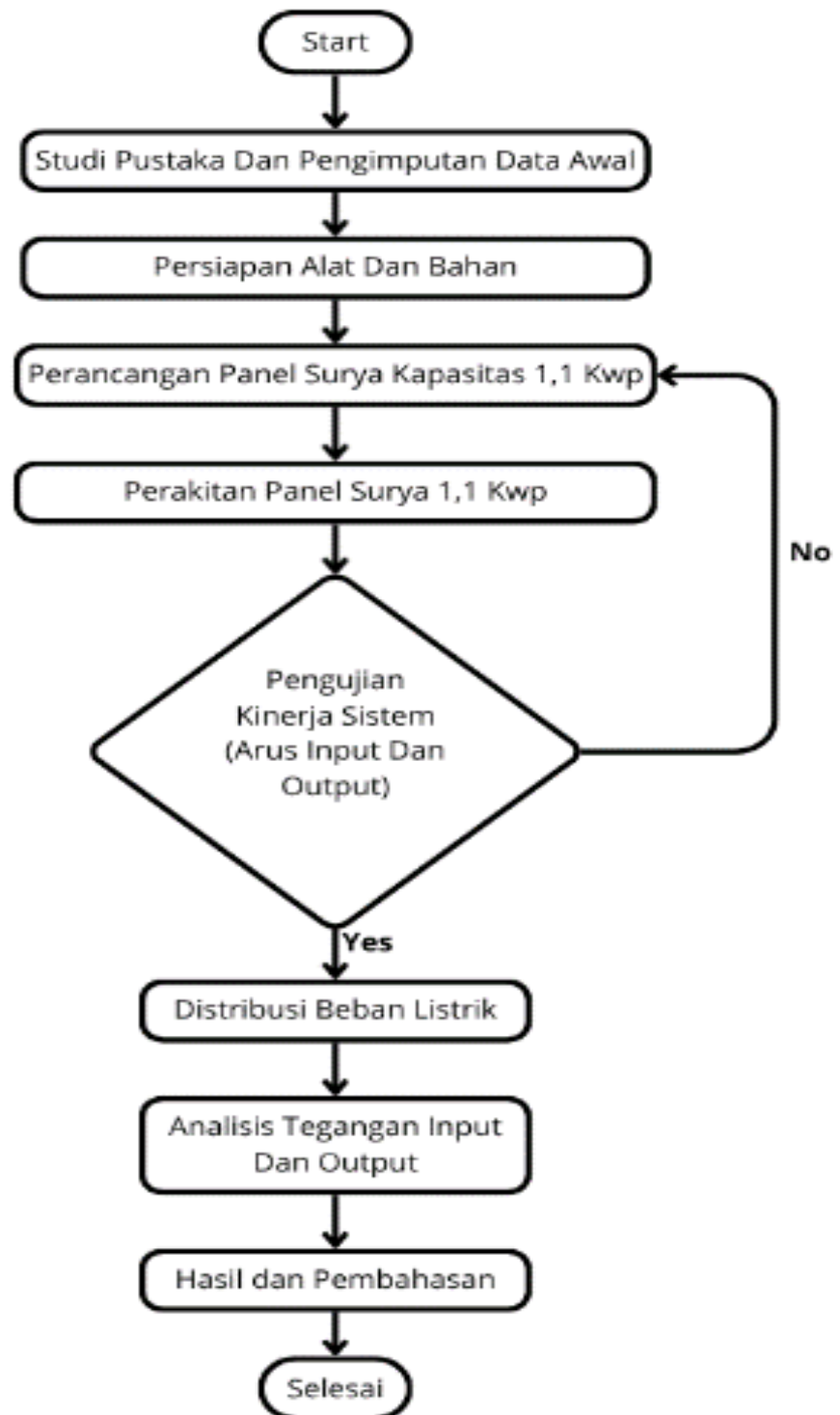
Untuk membalut sambungan pada kabel



Gambar 3. 13 Isolasi Listrik

3.3 Diagram Alir

Penelitian ini dimulai dengan mengumpulkan literatur yaitu metode, analisis dan pemilihan bahan, yang selanjutnya disusun menjadi prosedur penelitian seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.14 berikut ini



Gambar 3.14 Diagram Alir

3.4 Rancangan Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode penelitian eksperimen (uji coba). Tujuan yang ingin dicapai dari penelitian ini adalah membuat sebuah PLTS di daerah bencana tanah longsor, menggunakan panel surya monocrystalline dengan kapasitas 1,1kWh yang dimana panel menggunakan inverter hybrid sebagai penyuplai energi ke baterai penyimpanan arus dan juga langsung menuju ke alat penyuplai air bersih. Penelitian eksperimen ini dilakukan pada perancangan penyuplai energi hybrid, baik pada perancangan penyuplai arus maupun pengatur arus yang akan dipakai.

3.5 Prosedur Penelitian

3.5.1 Studi Literatur

Studi literatur merupakan pengumpulan informasi dengan melakukan serangkaian aktivitas seperti membaca, mencatat, dan memproses data untuk memperdalam materi mengenai topik yang akan dibahas. Pada tahap ini, aktivitas yang dilakukan adalah mencari jurnal, skripsi, dan juga buku-buku yang relevan dengan penelitian ini sebagai acuan dasar pelaksanaan penelitian ini.

3.5.2 Persiapan Bahan Pendukung

Pemilihan bahan pendukung yang digunakan untuk keperluan penerapan panel surya monocrystalline sebagai sumber tenaga untuk peralatan penyuplai air bersih agar lebih sempurna ataupun agar lebih bagus maupun secara pengaplikasian, penggunaan dan kestabilan arus yang masuk.

3.5.3 Perancangan Sistem panel surya

Pada tahap perancangan sistem kontrol memverifikasi media pembelajaran dan pengujian yang tepat. Langkah yang harus ditempuh dalam mendesain yaitu:

1. Menyusun kebutuhan yang diperlukan.
2. Menyusun rancangan yang tepat dan sesuai dengan tujuan.
3. Membuat skema rangkaian panel surya.

3.5.4 Pemilihan Panel Surya

Pemilihan panel surya dilakukan dengan mempertimbangkan kapasitas total sistem sebesar 1,1 kWp yang dibutuhkan untuk menyuplai sistem filtrasi air bersih pasca bencana di Kel. Aek Parombunan. Jenis panel yang dipilih adalah

monocrystalline dengan daya maksimum (P_{max}) 550 Wp per unit, karena memiliki tingkat efisiensi konversi energi yang lebih tinggi dibandingkan jenis polycrystalline sehingga membutuhkan luas permukaan yang lebih kecil untuk menghasilkan daya yang sama, hal ini penting mengingat keterbatasan lahan di lokasi pasca bencana. Pertimbangan lain dalam pemilihan panel surya meliputi tegangan sirkuit terbuka (V_{oc}), arus hubung singkat (I_{sc}), serta toleransi daya sebagaimana ditampilkan pada Tabel 3.2, yang disesuaikan dengan kebutuhan tegangan kerja inverter dan baterai yang digunakan.

3.5.5 Pemilihan Inverter

Pemilihan inverter dilakukan berdasarkan kebutuhan daya beban total sistem filtrasi air bersih, termasuk pompa air dan komponen pendukung lainnya. Inverter yang dipilih adalah jenis hybrid Samoto IHF2000 dengan kapasitas 2000VA/1600 Watt, yang mampu menggabungkan fungsi on-grid dan off-grid sekaligus sehingga sistem dapat beroperasi menggunakan sumber energi panel surya, baterai, maupun PLN secara otomatis. Pertimbangan utama dalam pemilihan inverter ini meliputi kesesuaian tegangan kerja baterai (12V DC), keluaran gelombang murni (pure sine wave) yang aman bagi peralatan elektronik dan motor pompa, serta ketersediaan teknologi MPPT (Maximum Power Point Tracking) bawaan yang dapat mengoptimalkan penyerapan energi dari panel surya, sebagaimana ditampilkan pada Tabel 3.3.

3.5.6 Pemilihan Baterai

Pemilihan baterai sebagai media penyimpanan energi dilakukan dengan mempertimbangkan kebutuhan suplai energi cadangan pada saat radiasi matahari tidak mencukupi, khususnya pada malam hari atau kondisi cuaca mendung pasca bencana. Baterai yang dipilih adalah jenis LiFePO_4 (Lithium Iron Phosphate) dengan tegangan nominal 25,6V dan kapasitas 200Ah (5,12 kWh), yang dipilih karena memiliki tingkat keamanan tinggi, umur siklus yang panjang (lebih dari 3.000 siklus pada 80% DOD), serta efisiensi pengisian yang tinggi dibandingkan jenis baterai konvensional seperti baterai asam timbal (lead-acid). Baterai ini juga telah dilengkapi sistem Battery Management System (BMS) yang melindungi dari kondisi over-charge, over-discharge, hubung singkat, dan suhu berlebih, sehingga

aman digunakan dalam kondisi lapangan pasca bencana yang minim pengawasan rutin.

3.6 Variabel Yang Akan Diteliti

Adapun variabel pada penelitian ini terdiri dari 2 bagian, yaitu:

3.6.1 Variabel Independent

Variabel Independent adalah variabel yang memengaruhi variabel lainnya dan tidak bergantung pada variabel lainnya. Dalam penelitian ini merupakan factor yang memengaruhi kinerja sistem pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) sebagai sumber energi untuk sistem filtrasi air bersih. Variabel independent dalam penelitian ini adalah kapasitas PLTS sebesar 1,1 kWp yang memberikan kemampuan maksimum sistem dalam menghasilkan daya listrik berdasarkan spesifikasi perancangan. Energi listrik yang dihasilkan sebesar 5 kWh, yang mempresentasikan total energi yang dapat diproduksi dan dimanfaatkan untuk menyuplai kebutuhan beban selama periode operasi.

3.6.2 Variabel Dependent

Variabel Dependent adalah variabel yang dipengaruhi atau yang menjadi akibat. Variable dependent terdiri atas beban listrik (W) dan arus listrik (A) beban listrik menunjukkan besarnya daya yang dikonsumsi oleh seluruh komponen sistem, seperti pompa air, lampu ultra violet, serta peralatan lainnya. Sementara itu arus listrik merupakan besarnya aliran arus yang mengalir dari sistem PLTS menuju beban selama proses operasi.

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

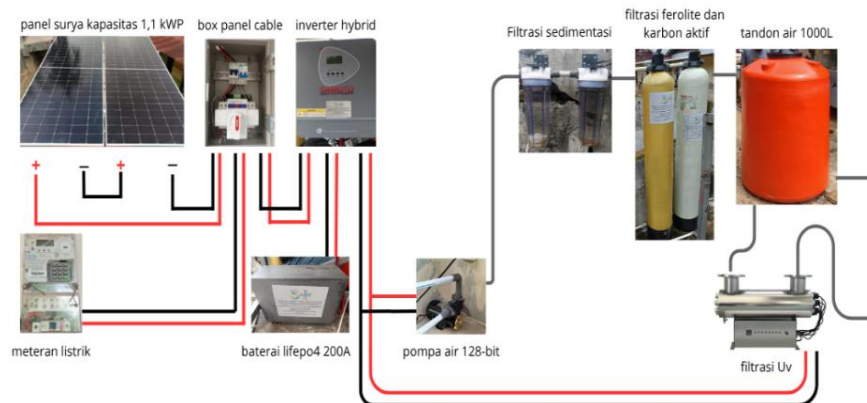
Berdasarkan tujuan dari penelitian yaitu untuk Penerapan Panel Surya Mono Crystalline Kapasitas 1,1 Kwh Sebagai Sumber Tenaga Untuk Sistem Filtrasi Air Bersih Pasca Bencana. Tujuan penerapan ini adalah mengatasi kekurangannya sumber air bersih dengan panel surya mono crystalline yang akan tetap bekerja walaupun sumber tenaga listrik dari PLN terputus di daerah terdampak bencana. Penerapan ini menggunakan pendekatan perancangan dan simulasi berdasarkan data literatur dan asumsi teknis.

4.1 Perancangan Sistem PLTS

Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) yang dirancang dalam penerapan ini memiliki kapasitas sebesar 1,1 kWp yang terdiri dari dua unit panel surya monocrystalline masing-masing 550 Wp. Sistem ini dilengkapi dengan inverter hybrid dan baterai LiFePO₄ berkapasitas 24 V 200 Ah sebagai penyimpanan energi. Energi yang dihasilkan oleh panel surya digunakan untuk mengoperasikan pompa air dan sistem filtrasi, serta disimpan dalam baterai untuk digunakan pada saat tidak terdapat sinar matahari. Selain itu, dalam perancangan sistem PLTS ini juga diperhatikan konfigurasi pemasangan panel surya agar menghasilkan tegangan dan arus yang sesuai dengan spesifikasi inverter hybrid. Dua unit panel surya 550 Wp dikonfigurasi secara seri untuk meningkatkan tegangan output, sehingga dapat bekerja optimal pada rentang input inverter. Pemilihan konfigurasi ini bertujuan untuk memaksimalkan penyerapan energi matahari serta mengurangi rugi-rugi daya pada sistem. Dari sisi penyimpanan energi, baterai LiFePO₄ berkapasitas 24 V 200 Ah digunakan sebagai media penyimpanan utama. Pemilihan baterai jenis ini didasarkan pada keunggulannya yang memiliki efisiensi tinggi, umur pakai yang lebih panjang, serta tingkat keamanan yang lebih baik dibandingkan baterai konvensional. Baterai ini berfungsi untuk menyimpan energi berlebih yang dihasilkan pada siang hari dan digunakan kembali saat malam hari atau ketika intensitas matahari menurun. Selain komponen utama, sistem ini juga dilengkapi dengan perangkat proteksi seperti MCB DC,

MCB AC, dan Automatic Transfer Switch (ATS) untuk menjaga keamanan dan keandalan sistem. MCB berfungsi untuk melindungi sistem dari arus lebih dan hubungan singkat, sedangkan ATS digunakan untuk mengalihkan sumber energi secara otomatis apabila sistem PLTS tidak mampu memenuhi kebutuhan beban. Dengan adanya sistem proteksi ini, diharapkan sistem dapat bekerja secara stabil, aman, dan berkelanjutan dalam berbagai kondisi operasional.

4.2 Skema Sistem PLTS



Gambar 4. 1 Skema Sistem PLTS

Diagram sistem pada Gambar 4.1 menunjukkan rancangan keseluruhan sistem pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) yang digunakan sebagai sumber energi utama dalam mengoperasikan sistem filtrasi air bersih. Sistem ini memanfaatkan panel surya berkapasitas 1,1 kWp sebagai pembangkit energi listrik yang mengubah energi radiasi matahari menjadi energi listrik arus searah (DC). Energi listrik yang dihasilkan panel surya kemudian dialirkan menuju box panel sebagai pusat pengamanan dan distribusi daya sebelum diteruskan ke inverter hybrid.

Energi yang dihasilkan panel surya terlebih dahulu masuk ke box panel cable yang berfungsi sebagai tempat pengaman instalasi listrik, seperti MCB dan perangkat proteksi lainnya, sehingga sistem terlindungi dari gangguan arus lebih maupun hubungan singkat. Dari box panel tersebut, energi kemudian diteruskan menuju inverter hybrid untuk dilakukan proses pengaturan distribusi daya.

Energi listrik keluaran inverter selanjutnya digunakan untuk mengoperasikan pompa air sebagai beban utama sistem. Pompa berfungsi

mengalirkan air baku menuju rangkaian filtrasi secara berurutan. Tahap pertama adalah filtrasi sedimentasi yang berfungsi menyaring partikel kasar seperti pasir, lumpur, dan kotoran berukuran besar. Setelah itu, air dialirkan menuju media filtrasi yang terdiri dari ferolite dan karbon aktif. Media ferolite berfungsi mengurangi kandungan besi (Fe), mangan (Mn), serta beberapa logam terlarut lainnya, sedangkan karbon aktif berfungsi menghilangkan bau, warna, rasa, serta senyawa organik yang masih terkandung di dalam air sehingga kualitas air menjadi lebih baik.

Setelah melewati seluruh media filtrasi, air bersih kemudian ditampung pada tandon berkapasitas 1000 liter sebagai tempat penyimpanan sementara sebelum didistribusikan kepada pengguna. Sebelum keluar dari sistem, air terlebih dahulu melewati unit filtrasi ultraviolet (UV) yang berfungsi sebagai proses desinfeksi akhir. Sinar ultraviolet mampu menonaktifkan berbagai mikroorganisme seperti bakteri, virus, dan mikroba lainnya tanpa menambahkan bahan kimia ke dalam air. Dengan demikian, kualitas air hasil filtrasi menjadi lebih aman untuk digunakan sesuai dengan kebutuhan air bersih.

4.3 Perhitungan Kapasitas Sistem PLTS

4.3.1 Kapasitas Total Panel Surya

Panel surya yang digunakan terdiri dari dua unit dengan kapasitas masing-masing 550 Wp. Kapasitas total panel surya dihitung dengan persamaan berikut:

$$P_{PV} = N \times P_{panel}$$

$$P_{PV} = 2 \times 550$$

$$P_{PV} = 1100 \text{ Wp} = 1,1 \text{ kWp}$$

Berdasarkan hasil perhitungan, kapasitas nominal sistem PLTS yang digunakan adalah 1,1 kWp.

4.3.2 Perhitungan Tegangan Rangkaian Seri

Kedua panel surya dikonfigurasi secara seri. Pada hubungan seri, tegangan masing-masing panel dijumlahkan sedangkan arus rangkaian mengikuti arus panel.

$$V_{mp.total} = 2 \times 42,1 = 84,2 \text{ V}$$

Tegangan Open Circuit rangkaian:

$$V_{mp.total} = 2 \times 50,1 = 100,2 \text{ V}$$

Dengan demikian, tegangan kerja maksimum rangkaian adalah 84,2 V dan tegangan open circuit sebesar 100,2 V.

4.3.3 Verifikasi Daya Rangkaian Panel

Dengan arus pada titik daya maksimum sebesar 13,06 A, daya rangkaian dapat diverifikasi menggunakan persamaan:

$$p = V \times I$$

$$p = 84,2 \times 13,06 \approx 1099,65 \text{ W} \approx 1100 \text{ W}$$

Hasil tersebut sesuai dengan kapasitas nominal dua panel, yaitu sekitar 1,1 kWp.

4.4 Perhitungan Produksi Energi PLTS

4.4.1 Energi Teoritis

Energi teoritis sistem dihitung berdasarkan kapasitas PLTS dan lama penyinaran efektif sebesar 4,5 jam/hari di wilayah Sibolga.

$$E_{teoritis} = P_{pv} \times t$$

$$E_{teoritis} = 1,1 \times 4,5 = 4,95 \text{ kWh/hari}$$

Dengan demikian, energi teoritis yang dapat dihasilkan sistem adalah 4,95 kWh/hari.

4.4.2 Energi Aktual

Untuk memperhitungkan rugi-rugi sistem secara keseluruhan, digunakan asumsi efisiensi berdasarkan perbandingan energi teoritis dan actual sebesar 80%.

$$E_{aktual} = E_{teoritis} \times \eta$$

$$E_{aktual} = 4,95 \times 0,80 = 3,96 \text{ kWh/hari}$$

Dengan demikian, energi aktual yang digunakan sebagai dasar analisis adalah 3,96 kWh/hari.

4.4.3 Perhitungan Rugi-Rugi Energi

Besarnya kehilangan energi (losses) dihitung dari selisih energi teoritis dan energi aktual.

$$E_{loss} = E_{teoritis} - E_{aktual}$$

$$E_{loss} = 4,95 - 3,96 = 0,99 \text{ kWh/hari}$$

Persentase kehilangan energi:

$$\%Loss = (0,99 / 4,95) \times 100\% = 20\%$$

Dengan demikian, estimasi rugi-rugi energi akibat faktor termal dan efisiensi komponen adalah 0,99 kWh/hari atau 20%.

4.5 Perhitungan Kebutuhan Energi Beban

4.5.1 Kebutuhan Energi Pompa

Berdasarkan data teknis sistem filtrasi, daya pompa adalah 125 W dengan estimasi waktu operasi selama 5 jam/hari.

$$E_{pompa} = P_{pompa} \times t$$

$$E_{loss} = 125 \times 5 = 625 \frac{Wh}{hari} = 0,65 kWh/hari$$

4.5.2 Kebutuhan Energi Unit Ultraviolet (UV)

Daya unit sterilizer ultraviolet (UV) adalah sebesar 100 W dengan waktu operasi yang disinkronkan selama 5 jam/hari.

$$E_{UV} = P_{UV} \times t$$

$$E_{UV} = 100 \times 5 = 500 \frac{Wh}{hari} = 0,500 kWh/hari$$

4.5.3 Total Kebutuhan Energi Beban

Total kebutuhan energi beban harian dihitung dengan menjumlahkan konsumsi energi pompa dan unit filtrasi UV.

$$E_{beban} = E_{pompa} + E_{UV}$$

$$E_{beban} = 625 + 500 \frac{Wh}{hari} = 1,125 kWh/hari$$

4.6 Analisis Keseimbangan Energi

4.6.1 Surplus Energi

Surplus energi merupakan selisih bersih antara daya aktual yang dihasilkan PLTS dan kebutuhan riil beban.

$$E_{surplus} = E_{aktual} - E_{beban}$$

$$E_{loss} = 3,96 - 1,125 = 2,835 kWh/hari$$

Berdasarkan hasil tersebut, terdapat surplus energi bersih sebesar 2,835 kWh/hari setelah seluruh kebutuhan beban filtrasi terpenuhi.

4.6.2 Persentase Pemenuhan Beban

$$R = (E_{aktual} / E_{beban}) \times 100\%$$

$$R = \left(\frac{3,96}{1,125} \right) \times 100\% = 352\%$$

Nilai pemenuhan 352% menunjukkan daya aktual yang tersedia mencapai 3,52 kali lipat dari kebutuhan harian sistem dasar.

4.7 Perhitungan Kapasitas Energi Baterai

4.7.1 Kapasitas Energi Nominal Baterai

Sistem menggunakan penyimpanan daya baterai LiFePO₄ dengan spesifikasi tegangan nominal 25,6 V dan kapasitas 200 Ah.

$$R_{bat} = V_{bat} / C_{bat}$$

$$R_{bat} = \frac{25,6}{200} = 5120 \text{ Wh} = 5,12 \text{ kWh}$$

4.7.2 Perbandingan Kapasitas Baterai terhadap Beban

$$R_{bat} = E_{bat} / E_{beban}$$

$$R_{bat} = \frac{5,12}{1,125} = 4,55$$

Secara nominal, kapasitas total baterai setara dengan 4,55 kali kebutuhan energi harian. Nilai ini menunjukkan potensi cadangan daya (backup time) yang aman sebelum dipengaruhi oleh batas kedalaman pengosongan (DoD) dan efisiensi inverter.

4.8 Analisis Kondisi Penurunan Produksi Energi (Kondisi Cuaca) Untuk menguji keandalan sistem di pesisir Sibolga saat mendung atau cuaca buruk, dilakukan simulasi terhadap skenario penurunan performa produksi daya sebesar 30% dan 50%:

4.8.1 Skenario Penurunan Produksi 30%

$$E_{30} = E_{aktual} \times (1 - 0,30)$$

$$E_{30} = 3,96 \times 0,70 = 2,772 \text{ kWh/hari}$$

$$\text{Surplus} = 2,772 - 1,125 = 1,647 \frac{\text{kWh}}{\text{hari}} \text{ (status: terpenuhi)}$$

4.8.2 Skenario Penurunan Produksi 50%

$$E_{30} = E_{aktual} \times (1 - 0,50)$$

$$E_{30} = 3,96 \times 0,50 = 1,980 \text{ kWh/hari}$$

$$\text{Surplus} = 1,980 - 1,125 = 0,855 \text{ kWh/hari (status: terpenuhi)}$$

4.9 Rekapitulasi dan Hasil Analisis Data

Tabel 4.1 Kebutuhan Energi Beban Sistem Filtrasi

No	Komponen Beban	Daya (W)	Waktu (jam/hari)	Energi (kWh/hari)
1	Pompa Air	125	5	0,625
2	Filtrasi UV	100	5	0,500
	Total	225	-	1,125

Table 4.2 Analisis Kondisi Produksi Energi Terhadap Beban

Kondisi Cuaca	Energi PLTS (kWh/hari)	Beban (kWh/hari)	Surplus (kWh/hari)	Status Sistem
Normal	3,960	1,125	2,835	Terpenuhi
Penurunan 30%	2,772	1,125	1,647	Terpenuhi
Penurunan 50%	1,980	1,125	0,855	Terpenuhi

4.10 Pembahasan Hasil Analisis Perhitungan

Berdasarkan hasil pemodelan dan perhitungan matematis, sistem PLTS dengan kapasitas nominal 1,1 kWp mempunyai potensi energi teoritis sebesar 4,95 kWh/hari dengan basis rata-rata lama penyinaran efektif 4,5 jam/hari di Kelurahan Aek Parombunan, Sibolga. Setelah memperhitungkan faktor rugi teknis (losses) sebesar 20% akibat penurunan koefisien termal wilayah pesisir serta efisiensi inverter, diperoleh nilai energi aktual bersih sebesar 3,96 kWh/hari. Kebutuhan beban sistem filtrasi air pascabencana ini adalah sebesar 1,125 kWh/hari, yang dialokasikan untuk pompa air (0,625 kWh/hari) dan unit sterilisasi UV (0,500 kWh/hari).

Melalui komparasi neraca energi ini, sistem terbukti menghasilkan surplus daya yang signifikan yaitu sebesar 2,835 kWh/hari pada kondisi normal. Surplus daya ini diarahkan untuk melakukan pengisian penuh pada unit baterai LiFePO4

25,6 V 200 Ah yang memiliki kapasitas simpan nominal hingga 5,12 kWh. Melalui simulasi uji ketahanan kondisi ekstrem (cuaca mendung/hujan), jika produksi energi mengalami penurunan drastis sebesar 30% maupun 50%, energi aktual yang tersisa masing-masing berada pada angka 2,772 kWh/hari dan 1,980 kWh/hari. Kedua nilai tersebut secara konsisten masih berada di atas ambang batas kebutuhan operasional beban (1,125 kWh/hari). Dengan demikian, integrasi sistem PLTS 1,1 kWp ini secara ilmiah dan teknis dinyatakan sangat andal, mandiri, dan layak digunakan sebagai infrastruktur darurat penyedia air bersih di daerah terdampak bencana tanpa ketergantungan pada jaringan listrik konvensional.

4.11 Instalasi Panel Surya

Instalasi rangkaian panel surya dalam penelitian ini dilakukan dengan menghubungkan dua unit panel surya secara seri. Rangkaian seri dipilih untuk meningkatkan tegangan output sistem agar sesuai dengan kebutuhan kerja inverter yang digunakan. Dengan konfigurasi ini, tegangan dari masing-masing panel akan dijumlahkan, sedangkan arus yang dihasilkan tetap. Setiap panel surya yang digunakan memiliki spesifikasi tegangan kerja tertentu, sehingga dengan menghubungkan dua panel secara seri, tegangan total sistem menjadi lebih tinggi dan lebih stabil. Hal ini sangat penting dalam mendukung kinerja inverter hybrid yang memerlukan tegangan input tertentu agar dapat beroperasi secara optimal dalam mengkonversi arus searah (DC) menjadi arus bolak-balik (AC).

Pemilihan konfigurasi seri juga didasarkan pada efisiensi sistem secara keseluruhan. Dengan tegangan yang lebih tinggi, arus listrik yang mengalir dalam sistem menjadi lebih kecil untuk daya yang sama, sehingga dapat mengurangi rugi-rugi daya pada kabel. Hal ini berdampak pada peningkatan efisiensi sistem dan meminimalkan kehilangan energi selama proses distribusi listrik dari panel menuju inverter dan baterai. Instalasi rangkaian panel surya dilakukan dengan memperhatikan aspek keamanan dan keandalan sistem. Setiap sambungan antar panel menggunakan konektor yang sesuai standar untuk memastikan aliran arus listrik tetap stabil dan aman. Kabel yang digunakan juga disesuaikan dengan kapasitas arus yang mengalir guna mencegah terjadinya panas berlebih yang dapat merusak sistem.

Instalasi rangkaian 2 unit panel surya yang dihubungkan menggunakan rangkaian seri, dimana rangkaian seri dipilih dikarenakan kondisi lingkungan serta cuaca yang tidak menentu, jika salah satu panel tertutup bayangan (misalnya debu, daun, atau awan di aek parombunan) ataupun dengan kemungkinan terburuk salah satu panel mengalami kerusakan , panel lainnya dalam rangkaian tetap bekerja maksimal. Keunggulan ini membuat rangkaian seri menjadi pilihan yang sangat stabil untuk penggunaan di area dengan kondisi lingkungan yang dinamis atau pada sistem energi darurat yang mengutamakan keberlangsungan daya. Sedangkan rangkaian paralel, jika salah satu panel panel tertutup bayangan, maka seluruh aliran listrik dalam satu jalur tersebut akan turun drastis mengikuti panel yang paling lemah, tentu jenis rangkaian ini tidak efektif mengingat penerapannya di lokasi bencana ditambah keadaan cuaca yang tidak menentu.

Selain kondisi operasional normal, perlu dipertimbangkan skenario terburuk dalam sistem PLTS. Pada kondisi cuaca buruk seperti hujan atau mendung tebal, intensitas radiasi matahari dapat menurun secara signifikan hingga 30–50% dari kondisi normal. Hal ini menyebabkan energi yang dihasilkan oleh panel surya juga mengalami penurunan. Oleh karena itu, keberadaan baterai sebagai penyimpan energi menjadi sangat penting untuk menjaga kontinuitas operasional sistem. Dengan adanya cadangan energi yang cukup, sistem masih dapat beroperasi meskipun terjadi penurunan produksi energi secara sementara.



Gambar 4. 2 Pemasangan Panel Surya

4.12 Integrasi Inverter

Inverter hybrid merupakan salah satu komponen utama dalam sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) yang dirancang pada penelitian ini. Perangkat ini berfungsi sebagai pusat pengendali aliran energi listrik yang berasal dari panel surya, baterai, dan jaringan listrik PLN. Berbeda dengan inverter konvensional yang hanya mengubah arus searah (DC) menjadi arus bolak-balik (AC), inverter hybrid mampu mengatur prioritas penggunaan sumber energi secara otomatis sehingga kontinuitas suplai daya terhadap sistem filtrasi air bersih dapat tetap terjaga. Oleh karena itu, penggunaan inverter hybrid dipilih karena memiliki fleksibilitas yang tinggi dalam mengelola berbagai sumber energi sekaligus meningkatkan efisiensi pemanfaatan energi terbarukan.

Pemilihan inverter hybrid pada penelitian ini disesuaikan dengan kapasitas panel surya sebesar 1,1 kWp serta kebutuhan daya beban sistem filtrasi air bersih. Inverter yang digunakan memiliki kemampuan menerima masukan energi dari panel surya, mengisi baterai penyimpanan energi, serta melakukan sinkronisasi dengan jaringan PLN apabila energi yang tersedia dari panel surya dan baterai tidak mencukupi. Dengan konfigurasi tersebut, sistem mampu beroperasi secara otomatis tanpa memerlukan perpindahan sumber energi secara manual sehingga keandalan sistem menjadi lebih tinggi.

Proses integrasi inverter diawali dengan menghubungkan keluaran panel surya menuju terminal PV Input pada inverter menggunakan kabel DC yang telah dilengkapi perangkat proteksi pada box panel. Selanjutnya baterai LiFePO₄ 200 Ah dihubungkan ke terminal baterai inverter sebagai media penyimpanan energi. Jaringan listrik PLN juga dihubungkan pada terminal AC Input inverter sebagai sumber energi cadangan, sedangkan terminal AC Output inverter dihubungkan menuju pompa air yang merupakan beban utama sistem filtrasi. Seluruh proses instalasi dilakukan dengan memperhatikan polaritas, ukuran kabel, serta sistem pengamanan untuk menghindari terjadinya hubungan singkat maupun kerusakan komponen.

Pada kondisi intensitas penyinaran matahari yang tinggi, inverter memprioritaskan penggunaan energi yang dihasilkan panel surya untuk mengoperasikan pompa air sekaligus melakukan pengisian baterai apabila masih

terdapat energi berlebih. Ketika intensitas cahaya matahari menurun, inverter secara otomatis mengalihkan suplai energi dari baterai menuju beban sehingga pompa air tetap dapat beroperasi. Apabila kapasitas baterai telah mencapai batas minimum yang telah ditentukan, inverter kemudian melakukan perpindahan sumber energi menuju jaringan PLN secara otomatis. Mekanisme kerja tersebut memungkinkan sistem filtrasi air bersih tetap beroperasi secara kontinu meskipun terjadi perubahan kondisi cuaca maupun fluktuasi produksi energi dari panel surya.

Selain mengatur distribusi energi, inverter hybrid juga berfungsi sebagai sistem proteksi terhadap keseluruhan instalasi PLTS. Perangkat ini dilengkapi dengan berbagai fitur pengamanan seperti perlindungan terhadap tegangan berlebih (over voltage), arus berlebih (over current), beban lebih (overload), hubung singkat (short circuit), serta perlindungan terhadap kondisi tegangan baterai yang terlalu rendah (low battery protection). Adanya sistem proteksi tersebut mampu meningkatkan keamanan operasi seluruh komponen sehingga umur pakai panel surya, baterai, maupun beban menjadi lebih panjang.

Berdasarkan hasil integrasi yang dilakukan, inverter hybrid mampu menjalankan seluruh fungsi pengelolaan energi sesuai dengan rancangan sistem. Proses perpindahan sumber energi dari panel surya menuju baterai maupun jaringan PLN berlangsung secara otomatis tanpa mengganggu operasional pompa air sebagai beban utama sistem filtrasi. Hal tersebut menunjukkan bahwa inverter hybrid memiliki peranan yang sangat penting dalam meningkatkan efisiensi penggunaan energi surya sekaligus menjaga kontinuitas operasional sistem filtrasi air bersih.



Gambar 4. 3 Instalasi Inverter Hybrid

4.13 Integrasi Baterai LiFePO₄ Dalam PLTS

Baterai merupakan komponen penyimpanan energi yang berfungsi menampung energi listrik yang dihasilkan panel surya untuk digunakan kembali ketika produksi energi matahari mengalami penurunan. Pada penelitian ini digunakan baterai berjenis Lithium Iron Phosphate (LiFePO₄) dengan kapasitas 200 Ah karena memiliki tingkat efisiensi yang tinggi, umur pakai yang lebih panjang, serta kestabilan termal yang lebih baik dibandingkan baterai timbal-asam (lead-acid). Selain itu, baterai LiFePO₄ memiliki kemampuan melakukan proses pengisian dan pengosongan energi (charge-discharge) dengan efisiensi tinggi sehingga sangat sesuai diterapkan pada sistem PLTS yang beroperasi secara berkelanjutan.

Penentuan kapasitas baterai dilakukan berdasarkan kebutuhan energi harian sistem filtrasi air bersih dan mempertimbangkan waktu operasi ketika panel surya tidak menghasilkan energi listrik secara optimal. Dengan kapasitas sebesar 200 Ah, baterai mampu menyimpan energi hasil produksi panel surya pada siang hari untuk kemudian dimanfaatkan kembali ketika intensitas penyinaran matahari menurun maupun pada malam hari. Kapasitas tersebut juga memberikan cadangan energi yang cukup sehingga sistem tidak sepenuhnya bergantung pada pasokan listrik dari jaringan PLN.

Proses integrasi baterai dilakukan dengan menghubungkan terminal positif dan negatif baterai menuju terminal baterai pada inverter hybrid menggunakan kabel berpenampang yang sesuai dengan arus kerja sistem. Sebelum dihubungkan ke inverter, jalur baterai dilengkapi dengan perangkat proteksi berupa MCB atau sekering untuk mengantisipasi terjadinya arus hubung singkat maupun gangguan kelistrikan lainnya. Seluruh sambungan kabel dipastikan memiliki kontak yang kuat guna meminimalkan rugi-rugi daya serta menjaga kestabilan tegangan selama sistem beroperasi.

Mekanisme kerja baterai berlangsung secara otomatis melalui pengaturan inverter hybrid. Pada saat energi yang dihasilkan panel surya melebihi kebutuhan beban, inverter akan mengalirkan kelebihan energi menuju baterai sehingga proses pengisian (charging) berlangsung secara otomatis. Sebaliknya, ketika produksi energi panel surya tidak mampu memenuhi kebutuhan beban, inverter akan

mengambil energi yang tersimpan di dalam baterai untuk tetap mengoperasikan pompa air. Apabila kapasitas baterai telah mencapai batas minimum pengosongan (cut-off), inverter secara otomatis mengalihkan sumber energi menuju jaringan PLN untuk mencegah terjadinya pengosongan baterai secara berlebihan yang dapat memperpendek umur pakai baterai.

Keberadaan baterai dalam sistem PLTS memberikan berbagai keuntungan terhadap performa keseluruhan sistem. Selain menjaga kontinuitas pasokan energi listrik, baterai juga mampu meningkatkan tingkat pemanfaatan energi yang dihasilkan panel surya karena energi yang tidak langsung digunakan oleh beban dapat disimpan terlebih dahulu. Dengan demikian, ketergantungan terhadap jaringan PLN menjadi lebih rendah sehingga penggunaan energi listrik dari sumber konvensional dapat dikurangi. Kondisi tersebut tidak hanya meningkatkan efisiensi operasional sistem, tetapi juga mendukung pemanfaatan energi baru terbarukan secara lebih optimal.

Hasil integrasi baterai pada penelitian ini menunjukkan bahwa sistem penyimpanan energi mampu bekerja sesuai dengan rancangan yang telah dibuat. Energi listrik yang dihasilkan panel surya dapat disimpan dengan baik dan dimanfaatkan kembali ketika dibutuhkan sehingga operasional sistem filtrasi air bersih tetap berlangsung secara stabil. Kombinasi antara panel surya, inverter hybrid, baterai LiFePO₄, dan jaringan PLN menghasilkan sistem penyedia energi yang memiliki tingkat keandalan tinggi dalam memenuhi kebutuhan daya sistem filtrasi air bersih secara berkesinambungan.



Gambar 4. 4 Instalasi Baterai LiFePo4

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil perancangan dan analisis sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) berkapasitas 1,1 kWp untuk mendukung sistem filtrasi air bersih, maka dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Sistem PLTS yang dirancang mampu menghasilkan energi listrik sebesar $\pm 3,96$ kWh per hari setelah memperhitungkan efisiensi sistem. Energi tersebut dihasilkan oleh dua unit panel surya monocrystalline berkapasitas masing-masing 550 Wp yang dihubungkan menggunakan rangkaian seri.
2. Sistem penyimpanan energi menggunakan baterai berkapasitas 24 Volt 200 Ah atau setara dengan 4,8 kWh, yang dinilai mampu menyimpan energi hasil produksi panel surya serta menyediakan cadangan energi pada saat tidak terdapat intensitas cahaya matahari, sehingga mendukung operasional sistem secara berkelanjutan.
3. Berdasarkan hasil analisis kebutuhan beban, total energi yang dibutuhkan oleh sistem filtrasi air sebesar $\pm 1,125$ kWh per hari. Jika dibandingkan dengan energi yang dihasilkan, sistem memiliki surplus energi sebesar $\pm 2,835$ kWh per hari, yang menunjukkan bahwa kapasitas sistem mampu memenuhi kebutuhan beban secara optimal.
4. Surplus energi yang dihasilkan menunjukkan bahwa sistem memiliki margin keamanan yang cukup untuk mengantisipasi fluktuasi produksi akibat perubahan kondisi cuaca. Selain itu, keberadaan baterai sebagai penyimpan energi juga berperan penting dalam menjaga kontinuitas operasional sistem, terutama pada malam hari atau saat intensitas radiasi matahari menurun.
5. Secara keseluruhan, sistem PLTS berkapasitas 1,1 kWp yang dirancang dapat dinyatakan layak untuk diterapkan sebagai sumber energi alternatif dalam mendukung sistem filtrasi air bersih, khususnya pada kondisi pascabencana yang tidak terjangkau oleh jaringan listrik konvensional, serta memiliki tingkat keandalan yang baik dalam berbagai kondisi operasional.

5.2 Saran

Adapun saran dari penerapan panel surya ini adalah sebagai berikut :

1. Pada penelitian berikutnya disarankan untuk mengembangkan sistem PLTS dengan kapasitas yang lebih besar sesuai dengan kebutuhan beban yang lebih kompleks, seperti untuk fasilitas umum maupun kebutuhan rumah tangga.
2. Perlu dilakukan penelitian lanjutan dengan pengujian langsung di lapangan agar diperoleh data kinerja sistem yang lebih akurat dan representatif.
3. Disarankan untuk melakukan analisis lebih lanjut terkait pengaruh kondisi cuaca dan lingkungan terhadap performa sistem PLTS dalam jangka panjang, termasuk faktor suhu dan intensitas radiasi matahari.
4. Diharapkan masyarakat, khususnya di lingkungan Kelurahan Aek Parombunan, dapat memahami pentingnya perawatan (maintenance) sistem PLTS secara berkala, seperti pembersihan panel surya serta pemeriksaan kabel dan koneksi, agar kinerja sistem tetap optimal dalam jangka panjang.
5. Disarankan untuk menambahkan sistem monitoring berbasis teknologi agar kinerja sistem dapat dipantau secara real-time, serta penggunaan perangkat proteksi tambahan seperti surge protection dan sistem grounding untuk meningkatkan keamanan sistem terhadap gangguan listrik.

DAFTAR PUSTAKA

- Binava, Z. A., & Agus Supardi, S. T. (2022). *Rancang Bangun Sakelar Transfer Otomatis Pln Dan Genset Beserta Monitoring Berbasis Iot Skala Rumah Tangga*. Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- Darmana, T., Pambudi, I. T., Suyanto, H., & Rahayu, S. (2024). *Sistem Hybrid Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS), Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB), Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH), Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTP)*. Uwais Inspirasi Indonesia.
- Fawwaz, A., Hidayat, S., & Putri, T. W. O. (2021). *PERENCANAAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA (PLTS) OFF GRID DI KANTOR KEJAKSAAN NEGERI KOTA LHOKSEUMAWE*. ITPLN.
- Gautama, P. W., Suyanto, H., & Erlina, E. (2021). *Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (Plts) Sistem Off Grid dengan Kapasitas 2 Kwp Pada Instalasi Menara Suar Bulukumba*. ITPLN.
- Hartono, R., Hidayat, C. R., Ramadhan, T. I., Izza, A. N., & Arum, D. S. S. (2025). Pengembangan Sistem Pemetaan Titik Bencana Longsor di Desa Cikondang. *Jurnal Algoritma*, 22(2), 759–770.
- Jäger-Waldau, A. (2019). PV status report 2019. *Publications Office of the European Union: Luxembourg*, 7–94.
- Nasution, M. (2021). Karakteristik Baterai Sebagai Penyimpan Energi Listrik Secara Spesifik. *Journal of Electrical Technology*, 6(1), 35–40.
- Prayogo, S. (2019). Pengembangan sistem manajemen baterai pada PLTS menggunakan on-off grid tie inverter. *Jurnal Teknik Energi*, 9(1), 58–63.
- Purwoto, B. H., Jatmiko, J., Fadilah, M. A., & Huda, I. F. (2018). Efisiensi penggunaan panel surya sebagai sumber energi alternatif. *Emitor: Jurnal Teknik Elektro*, 18(1), 10–14.
- Rifaldi, A., & Winarty, C. (2023). *Rancang Bangun Prototype Pembangkit listrik Tenaga Surya (PLTS) AC Mikrogrid dengan sistem Off-grid*. Politeknik Negeri Ujung Pandang.
- Rudiyanto, B., Rachmanita, R. E., & Budiprasojo, A. (2023). *Dasar-Dasar Pemasangan Panel Surya*. unisma press.
- Sariman, S., & Fitriyani, N. (2021). analisa pemanfaatan solar cell monocrystalline sebagai sumber energi listrik pada pompa air arus searah (DC) 12 volt berdaya 180 watt. *Jurnal Syntax Admiration*, 2(5), 902–918.
- Sudarjo, N. H., Haddin, M., & Suprajitno, A. (2022). Analisa perencanaan pembangkit listrik tenaga surya atap dengan sistem hybrid di PT. Koloni Timur. *Elektrika*, 14(1), 20–25.
- Susetyo, J. A., Astutik, S., Kurnianto, F. A., Nurdin, E. A., & Pangastuti, E. I. (2023). Pemetaan Daerah Rawan Bencana Tanah Longsor di Wilayah

Kecamatan Silo Kabupaten Jember. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 21(4), 861–869.

Tanjung, J., & Putri, N. T. (2023). Identifikasi penyebab kerusakan konstruksi bangunan beton bertulang pasca bencana gempa bumi. *Jurnal Bangunan, Konstruksi & Desain*, 1(2), 72–78.

Yana, K. L., Dantes, K. R., & Wigraha, N. A. (2017). Rancang Bangun Mesin Pompa Air Dengan Sistem Recharging. *Jurnal Pendidikan Teknik Mesin Undiksha*, 5(2).

Zulhakim, M. (2025). Analisis Perbandingan Efisiensi Panel Surya Polikristalin dan Monokristalin Dalam Kondisi Iklim Tropis. *JITET (Jurnal Informatika Dan Teknik Elektro Terapan)*, 13(3S1).



UMSU

Unggul | Cerdas | Terpercaya

Dalam mencapai tujuan kita akan membangun
komor dan tanggungjawab

MAJELIS PENDIDIKAN TINGGI PENELITIAN & PENGEMBANGAN PIMPINAN PUSAT MUHAMMADIYAH

UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA

FAKULTAS TEKNIK

UMSU Terakreditasi Unggul Berdasarkan Keputusan Badan Akreditasi Nasional Perguruan Tinggi No. 174/SK/BAK-PT/AA/PP/PT/08/2024

Pusat Administrasi: Jalan Mukhtar Basri No. 3 Medan 20238 Telp. (061) 6622400 - 66224567 Fax. (061) 6625474 - 6631003

<https://fatek.umsu.ac.id> fatek@umsu.ac.id [umsu.medan](#) [umsu.medan](#) [umsu.medan](#) [umsu.medan](#)

PENENTUAN TUGAS AKHIR DAN PENGHUJUKAN DOSEN PEMBIMBING

Nomor : 2165/IL3AU/UMSU-07/F/2025

Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara, berdasarkan rekomendasi Atas Nama Ketua Program Studi Teknik MESIN Pada Tanggal 27 Oktober 2025 dengan ini Menetapkan :

Nama : MHD HAFIZD SHUFFAH
Npm : 2207230020
Program Studi : TEKNIK MESIN
Semester : 7 (Tujuh)
Judul Tugas Akhir : PENGEMBANGAN SISTEM KONTROL TERINTEGRASI
PERALATAN PENYUPLAI AIR BERSIH RUMAH TANGGA
DI DAERAH BERGAMPUT DENGAN SOLAR PANEL 200
WP

Pembimbing : IQBAL TANJUNG ST.MT .

Dengan demikian diizinkan untuk menulis tugas akhir dengan ketentuan :

1. Bila judul Tugas Akhir kurang sesuai dapat diganti oleh Dosen Pembimbing setelah mendapat persetujuan dari Program Studi Teknik MESIN
2. Menulis Tugas Akhir dinyatakan batal setelah 1 (satu) Tahun dan tanggal yang telah ditetapkan.

Demikian surat penunjukan dosen Pembimbing dan menetapkan Judul Tugas Akhir ini dibuat untuk dapat dilaksanakan sebagaimana mestinya

Medan, 05 Jumadil Awal 1447 H
27 Oktober 2025 M



Ir. Adh Faisal, ST., M.Sc., Ph.D
NIDN: 0123097203



LEMBAR ASISTENSI TUGAS AKHIR

Judul : Penerapan Panel Surya Mono Crystalline Kapasitas 1.1 kWp Sebagai Sumber Energi Alternatif Untuk Sistem Filtrasi Air Bersih Pasca Bencana
Nama : Mhd Hafizd Shuffah
NPM : 2207230020
Dosen Pembimbing : Iqbal Tanjung, S.T., M.T

No	Hari/Tanggal	Kegiatan	Paraf
1.	Sabtu/15-08-2026	Perbaiki kata pengantar.	f
2.	Selasa/18-08-2026	Perbaiki kesimpulan & saran.	f
3.	Rabu/19-08-2026	Rapikan Penulisan.	- f
4.	Kamis/20-08-2026	Rapikan penyusunan skripsi.	f
5.	Jumat/21-08-2026	Perbaiki abstrak.	f
6.	Sabtu/22-08-2026	Perbaiki saran.	f

Ale Siremb Jauh

Dosen Pembimbing



Iqbal Tanjung, S.T., M.

DAFTAR HADIR SEMINAR TUGAS AKHIR JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK - UMSU
TAHUN AKADEMIK 2025-2026

Nama : Mhd Hafizd Shuffah
 NPM : 2207230020
 Judul Tugas Akhir : Penerapan Panel Surya Monocrystalline Kapasitas 1,1 KWP Sebagai Sumber Tenaga Untuk Sistem Filtrasi Air Bersih Pasca Bencana

TANDA TANGAN TIM DOSEN PENGUJI:

Pembimbing - I : Iqbal Tanjung S.T., M.T.

Pembanding - I : Dr. Suherman, ST, MT

Pembanding - II : Muhammad Yani, S.T., M.T.

:
 :
 :

No	NPM	Nama Mahasiswa	Tanda Tangan
1	2207230100	M.REYHAN FAHREZY	1.
2	2207230024	RYSZCI'YUNDA PRABOWA	2.
3	2207230114	Mulya. Pangkude	3.
4	2207230121	AHMAD TAUFIK SIHAUTAR	4.
5	2107230005	MHD ILHAM RAMADHAN	5.
6	2207230020		6.
7			7.
8			8.
9			9.
10			10.

Medan, 6 Agustus 2026
 Ketua Prodi. Teknik Mesin

(.....)

**DAFTAR EVALUASI SEMINAR FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA**

Nama : Mhd Hafizd Shuffah
NPM : 2207230020
Judul Tugas Akhir : Penerapan Panel Surya Monocrystalline Kapasitas 1,1 KWP Sebagai Sumber Tenaga Untuk Sistem Filtrasi Air Bersih Pasca Bencana
Dosen Pembimbing - I : Iqbal Tanjung S.T., M.T.
Dosen Pembimbing - I : Dr. Suherman, ST, MT
Dosen Pembimbing - II : Muhammad Yani, S.T., M.T.

KEPUTUSAN / REKOMENDASI HASIL EVALUASI:

- [] 1. Baik dapat diterima ke sidang sarjana (collogium)
[✓] 2. Dapat mengikuti sidang sarjana (collogium) setelah selesai melaksanakan perbaikan
[] 3. Harus mengikuti seminar kembali

Catatan Perbaikan / Temuan Penguji :

titik catatan di samping

Diketahui:

Ketua Prodi. Teknik Mesin

(.....)

Medan, 6 Agustus 2026

Dosen Pembanding - I

Dr. Suherman, ST, MT

**DAFTAR EVALUASI SEMINAR FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA**

Nama : Mhd Hafizd Shuffah
NPM : 2207230020
Judul Tugas Akhir : Penerapan Panel Surya Monocrystalline Kapasitas 1,1 KWP Sebagai Sumber Tenaga Untuk Sistem Filtrasi Air Bersih Pasca Bencana
Dosen Pembimbing - I : Iqbal Tanjung S.T., M.T.
Dosen Pembimbing - I : Dr. Suherman, ST, MT
Dosen Pembimbing - II : Muhammad Yani, S.T., M.T.

KEPUTUSAN / REKOMENDASI HASIL EVALUASI:

- ☐ 1. Baik dapat diterima ke sidang sarjana (collogium)
- ☒ 2. Dapat mengikuti sidang sarjana (collogium) setelah selesai melaksanakan perbaikan
- ☐ 3. Harus mengikuti seminar kembali

Catatan Perbaikan / Temuan Penguji :

Perbaikan bagian yg harus direvisi, lihat pada draft
skripsi.

Diketahui:

Ketua Prodi. Teknik Mesin



(.....)

Medan, 6 Agustus 2026

Dosen Pembimbing - II



Muhammad Yani, S.T., M.T.

DAFTAR RIWAYAT HIDUP



A. DATA PRIBADI

Nama : Mhd Hafizd Shuffah
Jenis Kelamin : Laki-Laki
Tempat, Tanggal Lahir : Duri, 07 Oktober 2002
Alamat : Jr. Tanah Bato Sijunjung
Agama : Islam
E-mail : hshuffah@gmail.com
No. Handphone : 0882019585886

B. RIWAYAT PENDIDIKAN

1. SDN 22 Muaro Sijunjung	Tahun 2009-2015
2. MTSN 1 Sijunjung	Tahun 2015-2018
3. SMK Imelda Medan	Tahun 2019-2022
4. Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara	Tahun 2022-2026

Lampiran 5. Dokumentasi Penerapan Panel Surya Mono Crystalline Kapasitas 1,1 kWp Sebagai Sumber Energi Alternatif Untuk Sistem Filtrasi Air Bersih Pasca Bencana di Kelurahan Aek Parombunan, Kecamatan Sibolga Selatan, Kota Sibolga, Sumatera utara.

1. Pemilihan tata letak rangka Panel Surya



2. Pembuatan rangka Panel Surya



3. Pemasangan Instalasi Panel Surya Mono Crystalline Kapasitas 1,1 kWp

