

Perencanaan dan Engineering Design PLTS 10 MW

Tobelo dengan Pengamanan Komponen terhadap

Pencurian melalui Penerapan Efek Kejut Listrik

*(Planning and Engineering Design of a 10 MW Solar Power Plant
in Tobelo with Component Security Against Theft Using Electric
Shock Application)*

TUGAS AKHIR

Disusun sebagai syarat mata kuliah Tugas Akhir

Program Studi S1 Teknik Elektro

Disusun oleh:

RISKA NURAINA ZALSABILA

1102210312



**Universitas
Telkom**

FAKULTAS TEKNIK ELEKTRO

UNIVERSITAS TELKOM

BANDUNG

2025

LEMBAR PENGESAHAN

TUGAS AKHIR

Perencanaan dan *Engineering Design* PLTS 10 MW Tobelo dengan Pengamanan Menggunakan Efek Kejut

*(Planning and Engineering Design of a 10 MW Solar
Power Plant in Tobelo with Security Measures Utilizing
Shock Effect)*

Telah disetujui dan disahkan sebagai Buku Tugas Akhir

Program Studi Teknik Elektro

Fakultas Teknik Elektro

Universitas Telkom

Disusun oleh:

RISKA NURAINA ZALSABILA

1102210312

Bandung, 16 Juni 2025

Pembimbing I



**Dr. Ir. Sudarmono
Sasmono, S.Si., M.T.,
IPU., ASEAN Eng.**

NIP. 20730001

Pembimbing II



**Arif Abdul Aziz, S.Si.,
M.Sc., Ph.D**

NIP. 22920035

Dosen Pengusul Topik



**Dr. Ir. Sudarmono
Sasmono, S.Si., M.T.,
IPU., ASEAN Eng.**

NIP. 20730001

ABSTRAK

Indonesia secara aktif mengejar transisi energi dari fosil ke energi terbarukan sebagai bagian dari komitmen global untuk menurunkan emisi gas rumah kaca dan mencapai target Net Zero Emissions (NZE) pada tahun 2060 atau lebih cepat. Peningkatan kebutuhan energi listrik di Indonesia, diiringi dengan menurunnya cadangan energi fosil, mendorong pengembangan energi terbarukan, seperti Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS). Penelitian ini bertujuan untuk merancang sistem pengamanan PLTS berkapasitas 10 MW di Tobelo, Maluku Utara, dengan menggunakan teknologi efek kejut listrik dan integrasi IoT. Metodologi penelitian meliputi studi literatur, simulasi menggunakan PVsyst, dan pengembangan prototipe sistem pengamanan berbasis IoT. Daerah Tobelo memiliki potensi iradiasi tahunan yang tinggi, yaitu 1.600-2.000 kWh/m², menjadikannya lokasi strategis untuk pengembangan PLTS. Sistem pengamanan yang dirancang mencakup sensor PIR, efek kejut listrik, kamera untuk potret pelaku secara otomatis yang dipicu dengan adanya pembukaan baut. Pengujian prototipe menunjukkan efektivitas sistem dalam mencegah pencurian terjadi.

Kata Kunci: PLTS, Tobelo, energi terbarukan, sistem pengamanan, efek kejut listrik, IoT.

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN TUGAS AKHIR	ii
ABSTRAK	iii
DAFTAR ISI.....	iv
DAFTAR GAMBAR.....	vi
DAFTAR TABEL	vii
BAB I PENDAHULUAN.....	8
1.1 Latar Belakang Masalah	8
1.2 Rumusan Masalah	9
1.3 Tujuan dan Manfaat.....	10
1.4 Batasan Masalah.....	10
1.5 Metode Penelitian.....	11
1.6 Proyeksi Pengguna	12
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	13
2.1 Pendahuluan	13
2.2 Landasan Teori	14
2.2.1 Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS).....	14
2.2.2 <i>Internet of Things</i> (IoT).....	15
2.2.3 Teknik Perancangan dan Simulasi PLTS.....	16
2.2.4 Sistem Pengamanan PLTS	19
2.3 Penelitian Terkait	21
BAB III PERANCANGAN SISTEM	24
3.1 Desain Sistem	24
3.1.1 Diagram Blok	30
3.1.2 Fungsi dan Fitur	31
3.2 Desain Perangkat Keras.....	32
3.2.1 Pemilihan Komponen.....	33

3.3	Desain Perangkat Lunak.....	38
3.3.1	Spesifikasi Sub Sistem	39
3.4	Rencana Kerja Penelitian	40
3.5	Perancangan Sistem PLTS	24
3.5.1	Simulasi Sistem PLTS menggunakan PVsyst Error! Bookmark not defined.	
3.5.2	Perancangan Layout Fisik PLTS menggunakan Helioscope ... Error! Bookmark not defined.	
3.5.3	Perancangan Perencanaan Penempatan Komponen Keamanan pada PLTS Tobelo 10 MW menggunakan SolidWorks Error! Bookmark not defined.	
BAB IV	HASIL DAN ANALISIS	41
4.1	Hasil Percobaan	41
4.1.1	Pengujian Sistem Deteksi (Sensor)	42
4.1.2	Pengujian Sistem Kejut	45
4.1.3	Pengujian Pengiriman Foto ke Telegram.....	47
4.1.4	Pengujian Keseluruhan Sistem Keamanan.....	49
4.2.	Analisis	50
4.2.1	Analisis Sistem Deteksi (Sensor).....	50
4.2.2	Analisis Sistem Kejut.....	51
4.2.3	Analisis Pengiriman Foto Telegram.....	52
4.2.4	Analisis Keseluruhan Sistem	52
BAB V	SIMPULAN DAN SARAN.....	54
5.1.	Simpulan.....	54
5.2.	Saran.....	54
DAFTAR PUSTAKA.....		55

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3. 1 Diagram Alir Perancangan dan Implementasi Sistem Keamanan pada PLTS	24
Gambar 3. 2 Data iradiasi Tobelo dari PVsyst.....	25
Gambar 3. 3 Hasil PVsyst (1)	27
Gambar 3. 4 Hasil PVsyst (2)	27
Gambar 3. 5 <i>Layout Design</i> Helioscope PLTS Tobelo 10 MW	28
Gambar 3. 6 Layout Design Penempatan Komponen Keamanan.....	29
Gambar 3. 7 <i>Zoom Out</i> Penempatan Komponen Keamanan	29
Gambar 3. 8 Diagram Blok	30
Gambar 3. 9 Desain Perangkat Keras	33
Gambar 3. 10 Flowchart Sistem Keamanan.....	38
Gambar 3. 11 Gant Chart Rencana Kerja Penelitian.....	40
Gambar 4. 1 Prototipe Sistem keamanan	42
Gambar 4. 2 Pengujian Deteksi Sensor PIR terhadap Manusia	43
Gambar 4. 3 Grafik Pengujian Sensor PIR	44
Gambar 4. 4 Sensor FSR diletakkan di bawah baut.....	44
Gambar 4. 5 Pengujian Sensor FSR.....	45
Gambar 4. 6 Energi Kejut Listrik Setiap Percobaan	46
Gambar 4. 7 Foto Terkirim ke Telegram	47
Gambar 4. 8 Notifikasi Foto Terkirim ke Telegram	47

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Penelitian Terkait	21
Tabel 3. 1 Pemilihan Komponen Mikrokontroler	28
Tabel 3. 2 Pemilihan Komponen Sensor Panas	29
Tabel 3. 3 Pemilihan Komponen Switch.....	30
Tabel 3. 4 Pemilihan Komponen Modul Suara	31
Tabel 4. 1 Percobaan Sistem Kejut	45
Tabel 4. 2 Pengujian Pengiriman Foto ke Telegram.....	48
Tabel 4. 3 Pengiriman 3 Foto ke Telegram.....	48
Tabel 4. 4 Pengujian Keseluruhan Sistem Keamanan	49

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Indonesia adalah negara dengan konsumsi energi terbesar di Asia Tenggara dan kelima di Asia Pasifik, dengan pembakaran bahan bakar fosil berlebihan yang dapat meningkatkan emisi CO₂ dan memicu dampak lingkungan seperti pemanasan global. Namun ketersediaan energi fosil semakin menipis, dengan cadangan batu bara sekitar 7,3-8,3 miliar ton yang diperkirakan habis pada 2026. Untuk mencapai ketahanan energi di masa depan, Indonesia perlu mengembangkan dan beralih ke energi terbarukan yang memiliki potensi besar[1]. Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) merupakan salah satu sumber energi terbarukan yang sangat efisien dan efektif dalam memenuhi kebutuhan energi listrik yang terus meningkat[2].

Pemasangan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) sangat bergantung pada data iradiasi matahari, yang merupakan faktor utama dalam menentukan efisiensi dan potensi energi yang dapat dihasilkan[3]. Berdasarkan data dari PVSyst, daerah Tobelo, Gamsungi, Kabupaten Halmahera Utara, Maluku Utara, memiliki data iradiasi tahunan yang sangat baik. Iradiasi tahunan di daerah ini berkisar antara 1.600 hingga 2.000 kWh/m², dimana data ini cukup tinggi dari angka minimum iradiasi tahunan yang baik, yaitu antara 1.923 kWh/m²[4]. Dengan angka iradiasi yang lebih tinggi dari rentang standar ini, Tobelo memiliki potensi yang sangat baik untuk pengembangan PLTS, menjadikannya lokasi yang sangat menguntungkan untuk proyek energi terbarukan berbasis surya. Oleh karena itu, perlu dilakukan perencanaan pengamanan PLTS di daerah tersebut dengan melakukan analisis lebih lanjut mengenai faktor lingkungan dan risiko yang dapat mempengaruhi keandalan sistem, diikuti dengan perencanaan pengamanan yang tepat.

Penelitian ini difokuskan untuk pengamanan komponen PLTS dari potensi pencurian. Terdapat beberapa faktor yang meningkatkan risiko pencurian terhadap infrastruktur kelistrikan di daerah Tobelo. Banyaknya infrastruktur kelistrikan di wilayah tersebut yang belum dilengkapi dengan sistem pengawasan modern seperti CCTV atau sensor keamanan, beberapa fasilitas berada di area yang minim

pengawasan serta memiliki kondisi infrastruktur yang belum memadai, dan pernah terjadi kasus pencurian meteran listrik[5]. Biaya komponennya yang cukup tinggi menambah kemungkinan terjadinya kasus pencurian pada komponen-komponen PLTS. Demi mendukung pembangunan PLTS, diperlukan pengamanan tambahan, mengingat kasus pencurian berbagai komponen, seperti panel surya, yang terjadi di sejumlah wilayah. Tanpa adanya pengamanan yang memadai, komponen-komponen ini dapat menjadi sasaran pencurian, yang tentunya akan merugikan operasional dan menurunkan efisiensi pembangkit[6],[7],[8].

Oleh karena itu, langkah-langkah pengamanan yang lebih ketat sangat diperlukan untuk melindungi komponen-komponen penting dalam sistem PLTS, yang mengungkap tantangan tak terduga di lapangan. Untuk mengatasi tantangan tersebut, diusulkan perlunya pengamanan pada komponen pembangkit listrik tenaga energi terbarukan, salah satunya pengamanan pada panel surya untuk pembangkit listrik tenaga surya. Pengamanan ini menjadi sangat penting, terutama jika PLTS dibangun di dekat pemukiman dan tidak dilengkapi dengan pagar pembatas.

1.2 Rumusan Masalah

Berikut adalah rumusan masalah yang akan menjadi fokus dalam penelitian ini, yang berkaitan dengan aspek teknis dan pengamanan dalam perencanaan dan pengamanan PLTS di daerah Tobelo, Gamsungi, Kabupaten Halmahera Utara, Maluku Utara:

1. Bagaimana langkah-langkah dalam menyusun perencanaan sederhana untuk sistem pengamanan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) di daerah Tobelo?
2. Bagaimana merancang sistem pengamanan PLTS untuk melindungi infrastruktur dari gangguan pencurian, terutama jika PLTS dibangun di dekat pemukiman atau tidak ada pagar?
3. Apa teknologi dan metode yang dapat diimplementasikan dalam sistem pengamanan PLTS?

1.3 Tujuan dan Manfaat

Berikut adalah tujuan yang ingin dicapai melalui penelitian ini:

1. Menganalisis perencanaan PLTS sederhana sebagai acuan utama untuk rencana sistem pengamanan PLTS di daerah Tobelo.
2. Merancang sistem pengamanan PLTS melindungi panel surya dari gangguan pencurian.
3. Mengidentifikasi teknologi dan metode yang dapat diimplementasikan dalam sistem pengamanan PLTS.

Penelitian ini diharapkan bisa memberikan manfaat yang signifikan, baik untuk pengembangan sistem PLTS maupun penerapan pengamanan yang lebih baik. Berikut adalah manfaat yang diharapkan dari hasil penelitian ini:

1. Memberikan gambaran dalam menganalisis perencanaan sederhana pada sistem PLTS, sehingga dapat mendukung pengambilan keputusan dalam pembuatan perancangan sistem keamanan.
2. Memberikan solusi dan rancangan sistem pengamanan PLTS untuk melindungi panel surya dari gangguan pencurian.
3. Mengidentifikasi dan merekomendasikan teknologi serta metode keamanan yang dapat diimplementasikan.

1.4 Batasan Masalah

Adapun Batasan masalah terkait perencanaan pembangunan PLTS dan sistem pengamanannya di Tobelo:

1. Ruang lingkup penelitian ini terbatas pada sistem pengamanan PLTS yang dilengkapi dengan *basic* perencanaannya sebagai pendukung di wilayah Tobelo, Kabupaten Halmahera Utara, Maluku Utara. Data yang digunakan untuk perancangan sistem hanya mencakup data iradiasi, suhu, dan potensi energi berdasarkan simulasi PVsyst dan HelioScope, tanpa data pengukuran langsung dari lapangan.
2. Gangguan yang diamati hanya mencakup pencurian infrastruktur PLTS yaitu panel surya.
3. Simulasi pada PVsyst yang di analisis hanya bagian yang dapat mendukung perencanaan sistem pengamanan.

4. Teknologi yang digunakan dalam sistem pengamanan PLTS dirancang untuk menghasilkan prototipe, menggunakan perangkat yang tersedia secara komersial serta layak diimplementasikan secara teknis dan ekonomis untuk skala kecil dan bukan untuk penerapan penuh di seluruh area PLTS yang sesungguhnya.
5. Perencanaan dan pengamanan PLTS ini dilakukan dengan asumsi kondisi geografis, dan sosial di daerah Tobelo. Asumsi ini juga mencakup rencana pembangunan PLTS di dekat GI 150 KV Tobelo yang terletak di sekitar pemukiman dan tidak dilengkapi dengan pagar pembatas.
6. Sistem pengamanan yang dikembangkan hanya mencakup deteksi keberadaan manusia yang mendekat ke area PLTS serta pembukaan baut pada kerangka panel surya, dengan output berupa peringatan suara, aktivasi setrum, serta pengiriman gambar ke database yang diambil saat terdeteksi adanya pembukaan baut.
7. Pengujian sistem dilakukan dalam ruang lingkup terbatas, dengan skenario simulasi gangguan sederhana dan tidak mencakup uji coba dalam kondisi lingkungan ekstrem atau skala penuh area PLTS.

1.5 Metode Penelitian

Terkait dengan metodologi yang digunakan dalam penelitian ini, berikut adalah pendekatan yang akan diambil untuk mengumpulkan dan menganalisis data yang relevan untuk penelitian ini:

1. Studi Literatur: Mengandalkan sumber-sumber terpercaya seperti jurnal ilmiah, buku, dan website resmi atau terverifikasi. Penelitian ini akan mengkaji berbagai literatur yang relevan dengan penelitian yang dilakukan.
2. Penelitian ini menggunakan metode kuantitatif dengan mengambil data hasil simulasi dari perangkat lunak PVsyst dan HelioScope untuk mendukung perencanaan pengamanan.
3. Dalam penelitian ini, metode pemodelan dan simulasi digunakan untuk menganalisis potensi penerapan PLTS di daerah Tobelo. Pemodelan dan simulasi ini dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak seperti PVSyst, Helioscope, dan SolidWorks.

4. Merancang prototipe sistem keamanan berbasis kejutan listrik untuk melindungi komponen penting pada PLTS dari pencurian.
5. *Proof of Concept*: Menguji dan membuktikan penerapan sistem pengamanan.

1.6 Proyeksi Pengguna

untuk memastikan hasil penelitian ini dapat digunakan secara praktis oleh pihak-pihak yang relevan, berikut adalah proyeksi pengguna hasil penelitian ini:

1. Perusahaan Pembangkit Listrik Swasta (Independent Power Producer - IPP): IPP dapat memanfaatkan PLTS sebagai alternatif sumber energi terbarukan yang ramah lingkungan dan lebih efisien. Sebagai penghasil energi, IPP dapat menggunakan PLTS untuk memperluas kapasitas produksi mereka dengan investasi yang lebih rendah dibandingkan dengan pembangkit listrik konvensional, serta memanfaatkan insentif atau kebijakan pemerintah yang mendukung energi terbarukan.
2. Perusahaan Listrik Negara – PLN: PLN dapat mengintegrasikan PLTS ke dalam grid listrik nasional sebagai salah satu solusi untuk mendukung pemenuhan kebutuhan energi yang lebih berkelanjutan. PLN juga dapat menjadi mitra dalam program penyediaan energi terbarukan di daerah-daerah terpencil yang belum terjangkau oleh jaringan listrik, dengan PLTS sebagai solusi yang lebih ekonomis dan ramah lingkungan.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pendahuluan

Dalam perencanaan sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS), perlu memahami *geographical site* yang memungkinkan pembangunan, termasuk pertimbangan *layout* seperti kemiringan tanah melalui citra satelit, kondisi lingkungan dimana pembangunan PLTS sebaiknya dibangun, serta faktor teknis seperti radiasi matahari yang dapat dianalisis menggunakan alat perencanaan seperti PVSyst [9]. Pembangunan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) sebaiknya dilakukan di lokasi yang dekat dengan gardu induk untuk meminimalkan kehilangan daya selama proses pengiriman energi listrik dari PLTS ke jaringan listrik. Hal ini juga dapat meningkatkan keandalan sistem dan mengurangi biaya infrastruktur seperti kabel yang diperlukan untuk menghubungkan PLTS ke jaringan listrik [10].

Perangkat lunak seperti PVsyst digunakan untuk memberikan simulasi akurat terkait produksi energi, efisiensi sistem, dan analisis kebutuhan komponen[11]. Selain itu, untuk mendukung perencanaan sistem pengamanan yang terintegrasi, digunakan perangkat lunak helioscope dan SolidWorks guna merancang desain 3D sistem pengamanan dan tata letak penempatan komponen PLTS secara terpisah[12].

Sistem pengamanan yang dirancang dalam penelitian ini menggunakan teknologi efek kejut yang bertujuan untuk memberikan efek jera kepada pelaku pencurian tanpa menimbulkan risiko bahaya serius, sehingga dapat memastikan perlindungan komponen PLTS tanpa melanggar aspek keselamatan. Penempatan sistem pengamanan yang direncanakan disesuaikan dengan desain tata letak PLTS, sehingga perlindungan terhadap seluruh komponen dapat dioptimalkan.

Sistem pengamanan yang dirancang dalam penelitian ini menggunakan teknologi efek kejut yang aman dan tidak mematikan, serta dilengkapi dengan suara peringatan. Suara peringatan akan aktif jika ada manusia yang mendekati area PLTS, bertujuan untuk memberikan peringatan dini agar pelaku menjauh dan mencegah potensi pencurian. Efek kejut listrik aktif bila ada picuan pada

pembukaan baut pada komponen panel. Jika sistem ini aktif, kamera pengawas secara otomatis akan memotret pelaku 10 kali untuk memastikan identitas pelaku terdokumentasi dengan baik. Gambar-gambar tersebut akan dikirimkan ke *database* pusat untuk keperluan identifikasi dan langkah pengamanan lebih lanjut, sementara desain tata letak sistem disesuaikan agar perlindungan terhadap seluruh komponen PLTS dapat dioptimalkan tanpa melanggar aspek keselamatan.

2.2 Landasan Teori

2.2.1 Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS)

Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) adalah sistem yang mengonversi energi matahari menjadi energi listrik menggunakan teknologi fotovoltaik. Energi matahari ditangkap oleh panel surya yang terdiri dari sel-sel fotovoltaik, kemudian diubah menjadi listrik arus searah (DC). Listrik DC ini dapat langsung digunakan untuk beban DC atau diubah menjadi arus bolak-balik (AC) menggunakan inverter untuk memenuhi kebutuhan peralatan listrik rumah tangga dan industri.

PLTS dapat diklasifikasikan menjadi beberapa jenis berdasarkan konfigurasi dan aplikasinya:

1. PLTS Off-Grid: Sistem ini beroperasi secara mandiri tanpa terhubung ke jaringan listrik umum. Biasanya dilengkapi dengan baterai untuk menyimpan energi yang dihasilkan, sehingga dapat digunakan saat malam hari atau ketika cuaca mendung.
2. PLTS On-Grid (Grid Connected PV Plant): Sistem ini terhubung langsung dengan jaringan listrik umum (PLN). Energi yang dihasilkan dapat digunakan untuk konsumsi sendiri, dan kelebihan produksinya dapat disalurkan ke jaringan listrik. Hal ini memungkinkan pengguna mendapatkan kredit energi atau pengurangan tagihan listrik.
3. PLTS Hybrid: Sistem ini mengombinasikan PLTS dengan sumber energi lain, seperti generator diesel atau turbin angin, untuk meningkatkan keandalan pasokan listrik, terutama di daerah dengan intensitas sinar matahari yang bervariasi.

Komponen utama dari PLTS meliputi:

1. Panel Surya (Photovoltaic Generator): Berfungsi mengonversi energi matahari menjadi listrik DC.

2. Charge Controller: Mengatur aliran listrik dari panel surya ke baterai, mencegah overcharging atau overdischarging yang dapat merusak baterai.
3. Baterai: Menyimpan energi listrik yang dihasilkan untuk digunakan saat diperlukan, terutama pada sistem off-grid.
4. Inverter: Mengubah listrik DC menjadi AC agar kompatibel dengan peralatan listrik standar.

Faktor-faktor yang mempengaruhi kinerja PLTS antara lain:

1. Radiasi Harian Matahari: Jumlah energi matahari yang diterima permukaan bumi per hari mempengaruhi output energi PLTS.
2. Sudut Kemiringan Panel Surya: Menentukan seberapa optimal panel menerima radiasi matahari.
3. Suhu Permukaan Panel: Suhu yang terlalu tinggi dapat menurunkan efisiensi konversi energi.
4. Efek Bayangan (Shading Effect): Bayangan pada panel dapat mengurangi output energi secara signifikan.
5. Kebersihan Modul Surya: Debu dan kotoran yang menempel pada permukaan panel dapat mengurangi efisiensi penyerapan energi matahari.

Seluruh informasi yang dijelaskan pada sub bab ini diadaptasi dari sumber[13].

2.2.2 Internet of Things (IoT)

IoT (*Internet of Things*) adalah konsep yang merujuk pada jaringan objek fisik yang saling terhubung dan dapat berkomunikasi melalui internet. Objek-objek ini dilengkapi dengan perangkat sensor dan teknologi komunikasi untuk memungkinkan mereka mengumpulkan, berbagi, dan bertukar data secara otomatis tanpa campur tangan manusia. Dalam konteks ini, IoT tidak hanya mencakup perangkat teknologi canggih seperti komputer dan ponsel pintar, tetapi juga benda-benda sehari-hari seperti kendaraan, peralatan rumah tangga, serta benda lainnya yang dapat memperoleh informasi dan berinteraksi satu sama lain melalui protokol yang sudah ditentukan[14].

IoT terdiri dari berbagai lapisan arsitektur, yang mencakup sensor yang mendeteksi informasi, gateway yang menghubungkan perangkat dengan jaringan, dan aplikasi yang memproses serta mengelola data yang dikirimkan oleh perangkat. Teknologi yang mendukung IoT mencakup komunikasi nirkabel seperti Wi-Fi,

Bluetooth, Zigbee, serta teknologi sensor yang memungkinkan perangkat untuk mengumpulkan data lingkungan, seperti suhu, kelembapan, atau tekanan. Penerapan IoT sangat luas, mencakup berbagai sektor seperti keamanan, kota pintar, pertanian, kesehatan, transportasi, dan banyak lagi[14].

2.2.3 Teknik Perancangan dan Simulasi PLTS

1. PVsyst

PVsyst adalah perangkat lunak komprehensif yang dirancang untuk mendukung perencanaan, desain, dan analisis sistem pembangkit listrik tenaga surya (PLTS). Software ini menyediakan berbagai fitur seperti pemodelan teknis, simulasi produksi energi, analisis kehilangan sistem, evaluasi efisiensi, dan penilaian ekonomi. PVsyst digunakan dalam berbagai aplikasi termasuk sistem PLTS yang terhubung dengan jaringan listrik (on-grid) dan sistem mandiri (off-grid)[15].

PVsyst memiliki basis data meteorologi yang luas serta informasi terkait modul fotovoltaik, inverter, dan komponen sistem lainnya. Fitur utama PVsyst meliputi[15]:

- Simulasi Kinerja Sistem: Memperkirakan output energi berdasarkan lokasi geografis, orientasi panel, dan kondisi lingkungan.
- Analisis Data Meteorologi: Menggunakan data cuaca, seperti iradiasi matahari dan suhu, untuk menghitung potensi energi sistem.
- Desain Sistem: Membantu dalam menentukan kapasitas panel surya, inverter, dan baterai yang optimal.
- Analisis Kehilangan Energi (Loss Diagram): Menyediakan visualisasi kerugian energi, termasuk dampak dari bayangan, suhu, kabel, dan efisiensi inverter.
- Visualisasi Tata Letak 3D: Memungkinkan analisis dampak bayangan dengan tata letak panel surya dalam model tiga dimensi.
- Evaluasi Ekonomi: Menghitung biaya sistem, potensi penghematan energi, dan periode pengembalian modal (payback period).
- Basis Data Komponen: Menyediakan informasi teknis lengkap tentang modul fotovoltaik, inverter, dan komponen lainnya dari berbagai merek.

- Kemampuan Multiskenario: Memungkinkan simulasi berbagai skenario desain untuk menganalisis dampak parameter yang berbeda pada kinerja sistem.

Dalam penelitian ini, PVsyst digunakan untuk merancang dan mengevaluasi sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) di wilayah Tobelo, Maluku Utara. Perangkat lunak ini memungkinkan analisis mendalam terhadap potensi energi surya berdasarkan data meteorologi lokal, seperti iradiasi matahari dan suhu. Selain itu, PVsyst membantu dalam menentukan konfigurasi terbaik dari sistem, termasuk pemilihan kapasitas panel surya, inverter, dan baterai yang sesuai untuk memastikan efisiensi dan kestabilan pasokan listrik. Simulasi yang dilakukan dengan PVsyst juga memungkinkan identifikasi potensi kehilangan energi akibat faktor seperti bayangan, suhu lingkungan, dan efisiensi komponen. Dengan kemampuan ini, penelitian dapat menghasilkan desain sistem PLTS yang optimal dan dapat diandalkan, sesuai dengan kondisi geografis dan kebutuhan energi di wilayah Tobelo.

2. Helioscope

HelioScope adalah perangkat lunak desain fotovoltaik (PV) berbasis *cloud* yang dikembangkan oleh Folsom Labs, kini bagian dari Aurora Solar. HelioScope dirancang untuk menyederhanakan dan mempercepat proses perancangan sistem tenaga surya, khususnya untuk proyek komersial dan industri. Perangkat lunak ini menggabungkan kemampuan desain 3D dengan simulasi energi yang canggih, memungkinkan pengguna untuk membuat model sistem surya secara visual dan menghitung produksi energi secara akurat.

HelioScope menyediakan berbagai fitur, termasuk analisis bayangan (*shading analysis*), perhitungan kehilangan energi, dan estimasi produksi energi tahunan. Perangkat lunak ini juga memungkinkan integrasi dengan data cuaca lokal, seperti file meteorologi TMY (*Typical Meteorological Year*), serta mendukung impor model 3D dari *SketchUp* untuk analisis bayangan yang lebih mendalam. Dengan antarmuka pengguna berbasis web, HelioScope mempermudah kolaborasi tim desain dan memungkinkan akses dari berbagai perangkat tanpa memerlukan instalasi perangkat lunak tambahan[16].

Dalam penelitian ini, HelioScope digunakan untuk merancang dan menganalisis sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) di wilayah Tobelo, Maluku Utara. Perangkat lunak ini memungkinkan simulasi yang akurat terkait potensi energi surya dengan mempertimbangkan faktor-faktor lingkungan setempat, seperti iradiasi matahari, suhu, dan kondisi geografis. HelioScope juga digunakan untuk menentukan konfigurasi optimal sistem, termasuk pemilihan kapasitas panel surya, inverter, dan komponen lainnya. Dengan menggunakan data meteorologi lokal, HelioScope memberikan estimasi produksi energi yang dapat dihasilkan oleh sistem, serta mengidentifikasi potensi kehilangan energi akibat faktor seperti bayangan dan suhu.

3. SolidWorks

SolidWorks adalah perangkat lunak Computer-Aided Design (CAD) berbasis 3D yang dikembangkan oleh Dassault Systèmes. Aplikasi ini digunakan secara luas di berbagai industri teknik, manufaktur, otomotif, dirgantara, dan desain produk karena kemampuannya untuk membuat, menganalisis, memvisualisasikan, dan menyimulasikan objek 3D dengan presisi tinggi. SolidWorks memungkinkan pengguna membuat model 3D dengan parameter seperti dimensi dan hubungan antar bagian (geometri). Perubahan pada satu parameter akan secara otomatis memengaruhi bagian lain, sehingga memudahkan modifikasi desain. Pada SolidWorks dapat menyatukan banyak komponen dalam satu rakitan (assembly), memvisualisasikan interaksi antarbagian, dan memeriksa interferensi. Dapat secara otomatis menghasilkan gambar teknik 2D (engineering drawings) dari model 3D, termasuk anotasi, toleransi, dan dimensi. SolidWorks bisa digunakan untuk membuat desain 3D yang siap untuk dicetak dengan printer 3D (3D printing)[17].

Dalam penelitian ini, Slidesworks digunakan untuk mengedit hasil desain yang telah dibuat dengan HelioScope untuk merancang tata letak Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS). Slidesworks akan digunakan untuk memasukkan peletakan komponen keamanan seperti sensor, penghalang, dan elemen pengamanan lainnya dalam desain 3D sistem PLTS. Dengan menggunakan Slidesworks, desain 3D yang dihasilkan dari HelioScope dapat dimodifikasi

secara rinci untuk memastikan penempatan komponen keamanan berada di posisi yang optimal, sambil tetap mempertimbangkan efisiensi dan aksesibilitas untuk pemeliharaan.

2.2.4 Sistem Pengamanan PLTS

Sistem pengamanan PLTS dirancang untuk melindungi komponen-komponen sistem dari ancaman pencurian. Dalam kasus PLTS Tobelo, ancaman pencurian menjadi perhatian utama karena lokasi PLTS berada dekat dengan pemukiman, yang meningkatkan risiko gangguan.

Untuk mengatasi masalah ini, sistem dilengkapi dengan sensor panas yang mampu mendeteksi keberadaan manusia di sekitar area PLTS. Ketika sensor mendeteksi adanya manusia, sistem akan mengaktifkan *voice warning* sebagai peringatan awal yang memperingatkan orang tersebut agar menjauh. Selain itu, digunakan sensor sentuh pada tiang tempat kamera, *speaker*, dan mikrokontroler berada sebagai antisipasi lain, dimana ketika terdeteksi sentuhan di tiang, *voice warning* akan aktif. Langkah ini bertujuan untuk memberikan peringatan yang tidak langsung membahayakan namun cukup efektif untuk mencegah pencurian.

Sistem pengamanan dirancang dengan menggunakan efek kejut sebagai langkah pencegahan. Sistem efek kejut ini dirancang agar tidak mematikan, tetapi cukup memberikan peringatan yang kuat untuk mencegah tindakan pencurian tanpa membahayakan keselamatan sesuai dengan regulasi di Indonesia yaitu tidak melebihi 30 mA[18]. Perencanaan sistem pengamanan ini dilakukan dengan mempertimbangkan tata letak komponen PLTS, seperti panel surya, untuk memastikan sistem tetap aman sekaligus berfungsi secara optimal.

Berikut adalah batas-batas arus listrik yang digunakan untuk merancang sistem efek kejut dan dampaknya terhadap tubuh manusia[19] [20]:

- Arus 1 mA: Hampir tidak terasa oleh tubuh manusia, sehingga aman dan tidak berbahaya.
- Arus 5mA: Terasa oleh manusia, cukup untuk mengejutkan.
- Arus 16 mA: Arus maksimum yang masih memungkinkan seseorang menggenggam benda yang dialiri listrik dan mampu melepaskannya.
- Arus 20 mA: Pada tingkat ini, dapat menyebabkan paralisis otot pernapasan sementara, sehingga harus dihindari dalam sistem keamanan.

- Arus 50 mA: Dianggap ambang aman terhadap fibrilasi jika terkena dalam waktu pendek (~3 detik).
- Arus 100 mA: Berisiko menyebabkan fibrilasi ventrikel (gangguan ritme jantung) yang mematikan.
- Arus 2 A: Dapat menyebabkan henti jantung dan kerusakan organ serius.
- Arus 15/20 A: Biasanya memicu pemutus sirkuit untuk memutus aliran listrik secara otomatis sebagai langkah keamanan.

Kulit manusia dalam kondisi kering memiliki tahanan yang sangat tinggi—bisa mencapai 100 000 hingga 600 000 Ω —sehingga arus yang mengalir dari tegangan rendah tidak akan cukup untuk memberikan sensasi kejut. Dengan menggunakan tegangan tinggi sekitar 10 kV, sistem dapat memecah hambatan kulit secara sementara, memungkinkan arus kecil (sekitar 1–5 mA) untuk mengalir. Sehingga, walaupun tegangan tinggi diterapkan, energi tetap dibatasi di bawah 0.2 J dan durasi kejut sangat singkat (1–10 ms), membuat sistem tetap efektif namun relatif aman terhadap tubuh manusia[21].

Energi kejut dihitung menggunakan persamaan energi listrik dasar, yaitu

$$E = V \times I \times t \quad (1)$$

Di mana V adalah tegangan (Volt), I adalah arus (Ampere), dan t adalah durasi kejut dalam detik[22]. Untuk memastikan sistem kejut listrik tetap berada dalam batas aman, arus dibatasi pada 5 mA dan tegangan ditetapkan sebesar 10.000 volt. Berdasarkan perhitungan menggunakan rumus energi listrik pada persamaan (1), maka waktu pengaliran listrik yang diperlukan untuk menghasilkan energi sebesar 0.2 joule adalah 4 milidetik (ms).

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

$$t = \frac{E}{V \times I}$$

$$t = \frac{0,2}{10 \text{ kv} \times 5 \text{ mA}}$$

$$t = 4 \text{ ms}$$

Sistem pengamanan PLTS juga dilengkapi dengan kamera yang berfungsi untuk mendokumentasikan pelaku saat terjadi pembukaan baut pada komponen. Ketika baut terbuka, sistem secara otomatis mengaktifkan kamera untuk mengambil beberapa foto pelaku guna memastikan identitasnya dapat terdokumentasi dengan jelas. Foto-foto tersebut kemudian akan dikirimkan ke

database pusat sebagai bahan pendukung untuk proses identifikasi dan tindakan lebih lanjut, sehingga meningkatkan efektivitas sistem dalam menjaga keamanan komponen PLTS.

2.3 Penelitian Terkait

Tabel 2. 1 Penelitian Terkait

No	Penulis/Peneliti	Topik Penelitian	Temuan Penelitian
1	Brantita Ridhias Wandira	Rancang Bangun Sistem Keamanan Ruang Berbasis Internet of Things (IoT) dengan Hybrid System PLTS Off Grid	Penelitian ini mengembangkan sistem keamanan ruangan berbasis IoT yang memanfaatkan PLTS off-grid sebagai sumber energi. Sistem ini dirancang untuk mencegah akses tidak sah dengan pemantauan dan pengendalian jarak jauh.
2	Yogi Kusuma Ramadhan, M. Jasa Afroni, Efendi S. Wiratseruna	Rancang Bangun Alat Sistem Keamanan PLTS Berbasis Internet of Things	Penelitian ini mengembangkan sistem keamanan PLTS berbasis IoT untuk memantau kondisi PLTS secara real-time. Sistem ini menggunakan sensor PIR dan IR yang terhubung dengan ESP32 untuk mendeteksi gerakan mencurigakan, serta memberikan peringatan melalui aplikasi Telegram guna mencegah pencurian.
3	Fajar Nurrahman, Wendhi Yuniarto, Eko Mardianto	Sistem Monitoring dan Keamanan Rumah Walet Berbasis IoT dan PLTS	Penelitian ini merancang sistem monitoring dan keamanan untuk rumah walet yang terintegrasi dengan IoT dan menggunakan PLTS sebagai sumber energi. Sistem ini mampu memantau

			kondisi lingkungan dan memberikan peringatan dini terhadap potensi ancaman, termasuk upaya pencurian.
4	Herdi Muhammad Syaban, Teuku Mufizar, Ruuhwan Ruuhwan	Rancang Bangun Alat Keamanan Rumah Menggunakan Sensor PIR dengan Notifikasi Telegram Berbasis IoT dan Catu Daya PLTS	Penelitian ini mengembangkan sistem keamanan rumah yang menggunakan sensor PIR untuk mendeteksi pergerakan dan mengirim notifikasi melalui aplikasi Telegram. Sistem ini didukung oleh catu daya dari panel surya (PLTS), sehingga dapat beroperasi secara mandiri dan efisien.
5	Raden Hernadi, Yogi Priyo Istiyono, Muhammad Rizal Fahlufi	Sistem Keamanan Rumah dari Pencurian dan Kebakaran Menggunakan Fingerprint Berbasis Internet of Things	Penelitian ini mengembangkan sistem keamanan rumah yang memanfaatkan sensor sidik jari dan teknologi IoT untuk mencegah akses tidak sah dan mendeteksi potensi kebakaran, dengan notifikasi real-time kepada pemilik rumah.

Tabel 2.1 menyajikan lima jurnal yang telah ditinjau, penelitian ini mengacu pada pendekatan serupa dalam mengembangkan sistem keamanan panel surya, namun menawarkan inovasi baru untuk lebih meningkatkan efektivitas perlindungan. Fokus utama penelitian ini adalah mengamankan PLTS dari ancaman pencurian terhadap komponen penting seperti panel surya.

Berbeda dengan penelitian sebelumnya yang umumnya menggunakan teknologi IoT atau sensor PIR untuk mendeteksi ancaman dan memberikan notifikasi, penelitian ini mengintegrasikan warning voice untuk memberikan peringatan suara yang efektif agar orang tidak mendekati wilayah PLTS. Selain itu, sistem ini dilengkapi dengan mekanisme kejutan listrik sebagai efek jera untuk

mencegah pelaku melanjutkan upaya pencurian. Kombinasi kedua pendekatan ini bertujuan menciptakan sistem keamanan yang lebih aktif, preventif, dan mampu mengurangi risiko kerugian akibat pencurian secara signifikan.

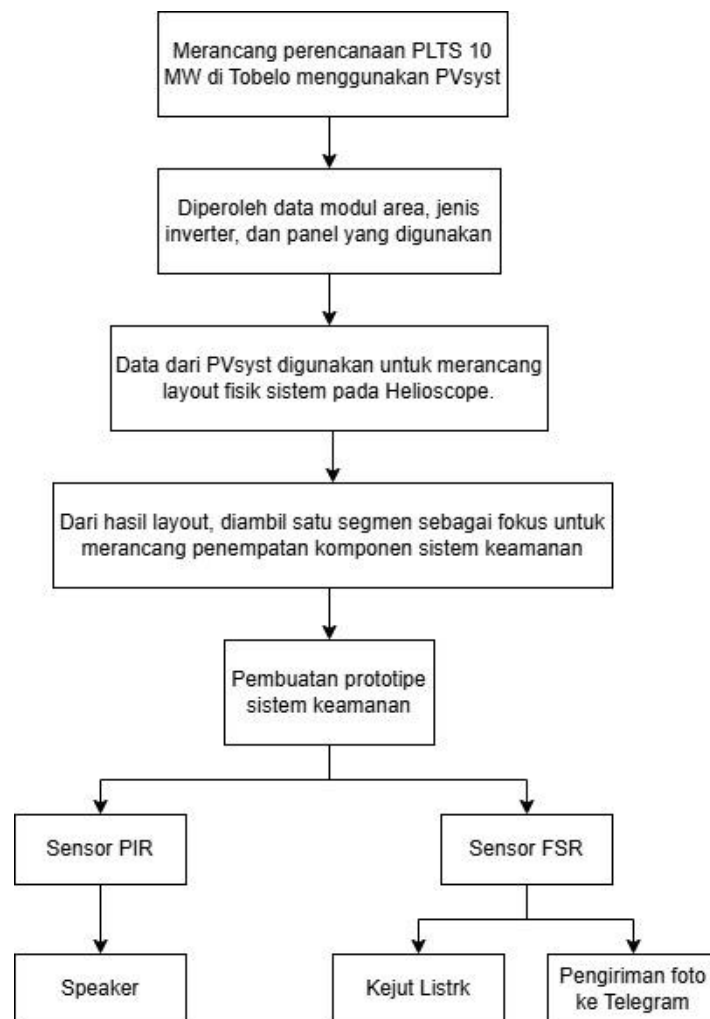
Penelitian ini mengintegrasikan warning voice untuk memberikan peringatan suara yang efektif agar orang tidak mendekati wilayah PLTS. Selain itu, sistem dilengkapi dengan mekanisme kejutan listrik sebagai efek jera dan kamera yang secara otomatis mengambil foto pelaku saat pembukaan baut. Foto-foto tersebut dikirimkan ke *database* pusat untuk identifikasi, menciptakan sistem keamanan yang lebih aktif, preventif, dan efektif dalam mengurangi risiko pencurian.

BAB III

PERANCANGAN SISTEM

3.1 Perancangan Sistem PLTS

Untuk memahami tahapan perancangan dan implementasi sistem keamanan pada proyek PLTS 10 MW di Tobelo, dibuat sebuah diagram alir yang menggambarkan alur proses dari perencanaan sistem tenaga surya hingga pengembangan prototipe sistem keamanannya. Gambar 3.1 berikut menunjukkan langkah-langkah mulai dari perencanaan menggunakan PVsyst, perancangan layout fisik pada Helioscope, hingga integrasi sensor dan aktuator pada prototipe sistem keamanan.



Gambar 3. 1 Diagram Alir Perancangan dan Implementasi Sistem Keamanan pada PLTS

3.1.1 Simulasi Sistem PLTS menggunakan PVsyst

Perencanaan lokasi Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) ini dilakukan dengan menggunakan PVsyst. Gambar 3.2 menunjukkan data iradiasi global horizontal bulanan yang diperoleh dari PVSyst untuk lokasi Tobelo menggunakan sumber data Meteonorm 8.2 (tahun 2016–2021). Total iradiasi tahunan mencapai 1987,2 kWh/m², dengan rata-rata bulanan di atas 160 kWh/m² selama hampir sepanjang tahun. Hasil ini menunjukkan bahwa potensi energi surya di wilayah Tobelo tergolong baik dan sangat mendukung untuk pembangunan sistem PLTS.

Global horizontal irradiation	
kWh/m²/mth	
January	159.2
February	147.8
March	172.4
April	164.5
May	165.6
June	159.5
July	167.8
August	176.0
September	171.7
October	170.0
November	169.8
December	162.9
Year	1987.2

Gambar 3. 2 Data iradiasi Tobelo dari PVsyst

Dalam perencanaan sistem PLTS 10 MW di Tobelo, saya memilih modul Trina Solar TSM-DE19-550Wp (seri Vertex) dengan kapasitas 550 Wp per modul dan inverter berkapasitas 1000 kWac yang ditampilkan pada gambar 3.3 dan gambar 3.4. Pemilihan ini didasarkan pada efisiensi tinggi, keandalan teknologi, dan kemudahan integrasi skala besar. Modul 550 Wp memungkinkan pengurangan jumlah total panel yang diperlukan, sehingga menghemat ruang dan biaya struktur pendukung. Sementara itu, inverter 1000 kWac dipilih karena sesuai untuk sistem skala utilitas, mendukung efisiensi sistem yang tinggi dan memudahkan dalam pembagian string serta pemeliharaan.

Dengan mengetahui jenis modul PV dan inverter yang digunakan, seperti Trina Solar TSM-DE19-550Wp Vertex dengan kapasitas 550 Wp per modul, serta inverter 1000 kWac (sebanyak 10 unit), PVsyst memungkinkan perencanaan lahan yang diperlukan untuk menampung sistem PLTS berkapasitas 10,56 MWp. Target kapasitas pembangkitan dari sistem PLTS tersebut adalah 10 MW dan total kapasitas sistem PLTS yang diperoleh dari PVsyst adalah 10.56 MWp. Peningkatan kapasitas sebesar 0.56 MWp ini masih dalam batas yang diperbolehkan karena variabilitas kondisi cuaca yang dapat mempengaruhi kinerja sistem dan memungkinkan kapasitas tambahan ini untuk tetap berfungsi dengan baik[23].

Pada simulasi PVSyst, performa panel fotovoltaik Trina Solar TSM-DE19-550Wp juga ditampilkan dalam kondisi operasi riil dengan suhu modul sebesar 50°C. Hal ini bertujuan untuk memberikan estimasi yang lebih realistis terhadap output daya panel di lapangan, mengingat suhu permukaan modul saat beroperasi di bawah sinar matahari langsung dapat meningkat jauh di atas suhu standar uji (STC) 25°C. Pada suhu operasi 50°C, total daya output sistem menurun dari kapasitas nominal 10.560 kWp menjadi sekitar 9.661 kWp. Peningkatan suhu modul secara signifikan mempengaruhi kinerja panel surya, khususnya pada sisi tegangan kerja (U_{mpp}). Semakin tinggi suhu, semakin banyak energi termal yang dimiliki oleh elektron dalam material semikonduktor, yang menyebabkan ketidakstabilan tegangan dan menurunnya output daya panel.

Perbedaan antara kapasitas total panel surya sebesar 10.56 MWp dan kapasitas inverter sebesar 10 MWac merupakan strategi yang umum diterapkan dalam desain sistem PLTS. Pendekatan ini dikenal sebagai *oversizing*, yang bertujuan untuk memaksimalkan produksi energi tahunan. Dengan memasang kapasitas panel yang sedikit lebih besar dari kapasitas inverter, sistem dapat tetap menghasilkan energi secara optimal meskipun dalam kondisi iradiasi rendah, serta meminimalkan potensi kehilangan energi akibat inefisiensi konversi. Berdasarkan informasi yang didapatkan, pemilihan modul dan inverter ini akan membantu merencanakan penempatan komponen pengaman dengan lebih efisien, karena tata letak dan ruang yang diperlukan untuk komponen PV dan inverter telah diketahui secara pasti.

Project summary			
Geographical Site Mede Indonesia	Situation		Project settings
	Latitude	1.76 °N	Albedo
	Longitude	127.96 °E	0.20
	Altitude	32 m	
	Time zone	UTC+9	
Weather data Mede Meteonorm 8.2 (2016-2021), Sat=100% - Synthetic			

System summary			
Grid-Connected System Simulation for year no 10		No 3D scene defined, no shadings	
Orientation #1 Fixed plane Tilt/Azimuth	Near Shadings no Shadings		User's needs Unlimited load (grid)
	20 / -5 °		
System information			
PV Array		Inverters	
Nb. of modules	19200 units	Nb. of units	10 units
Pnom total	10.56 MWp	Pnom total	10000 kWac
		Pnom ratio	1.056

Results summary			
Produced Energy	15034 MWh/year	Specific production	1424 kWh/kWp/year
		Perf. Ratio PR	74.06 %

Gambar 3. 3 Hasil PVsyst (1)

PV Array Characteristics			
PV module		Inverter	
Manufacturer	Trina Solar	Manufacturer	Generic
Model	TSM-DE19-550Wp Vertex	Model	1000 kWac central inverter
(Original PVsyst database)		(Original PVsyst database)	
Unit Nom. Power	550 Wp	Unit Nom. Power	1000 kWac
Number of PV modules	19200 units	Number of inverters	10 units
Nominal (STC)	10.56 MWp	Total power	10000 kWac
Modules	600 string x 32 In series	Operating voltage	700-1300 V
At operating cond. (50°C)		Pnom ratio (DC:AC)	1.06
Pmpp	9661 kWp		
U mpp	916 V		
I mpp	10544 A		
Total PV power		Total inverter power	
Nominal (STC)	10560 kWp	Total power	10000 kWac
Total	19200 modules	Number of inverters	10 units
Module area	50167 m²	Pnom ratio	1.06

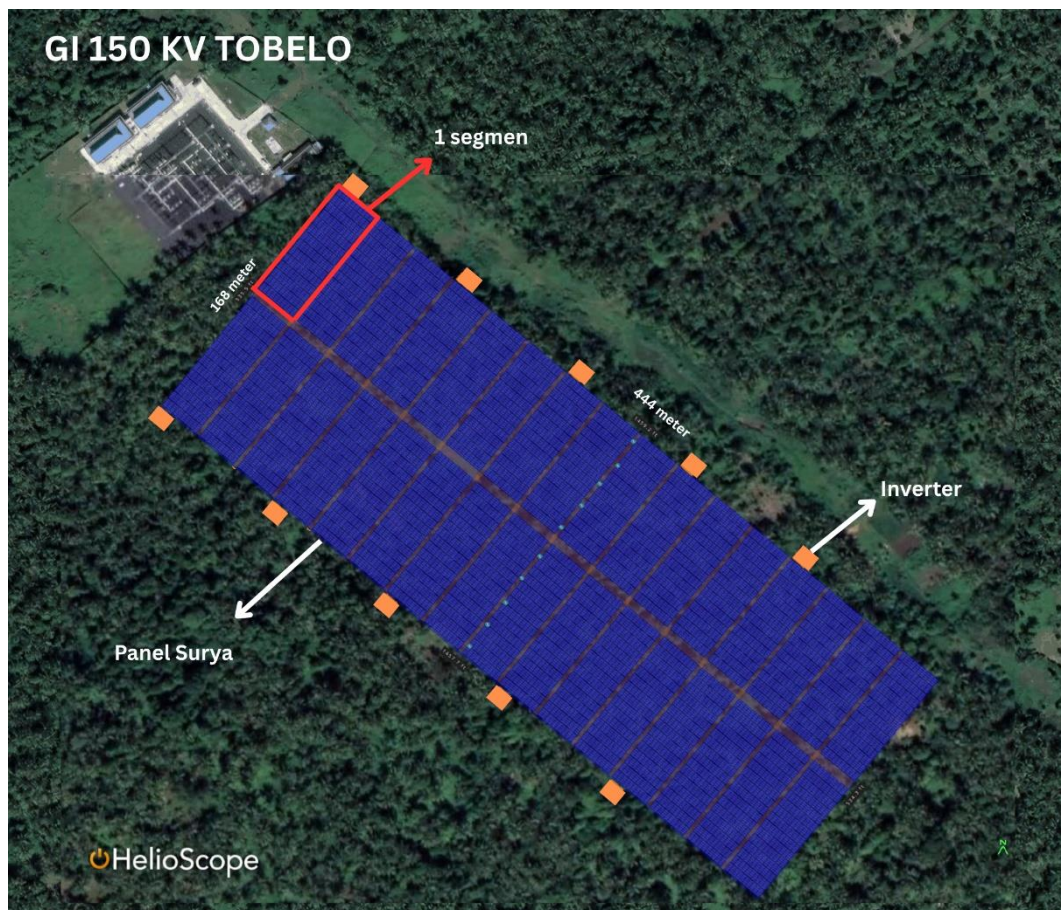
Gambar 3. 4 Hasil PVsyst (2)

3.1.2 Perancangan Layout Fisik PLTS menggunakan Helioscope

HelioScope digunakan untuk merancang tata letak fisik sistem PLTS, yang memungkinkan perancangan layout panel surya secara komprehensif dengan mempertimbangkan berbagai faktor teknis yang mempengaruhi kinerja sistem, termasuk efisiensi penempatan panel dan kapasitas yang dibutuhkan. Dengan HelioScope, perancang dapat menentukan luas lahan yang diperlukan untuk instalasi panel surya dan penempatan inverter secara akurat, memastikan bahwa seluruh area sistem PLTS dioptimalkan untuk produksi energi maksimal.

Berdasarkan informasi yang didapatkan dari PVsyst, dapat diketahui jenis dari panel dan inverter yang digunakan untuk merancang di helioscope. Pada gambar

3.5 merupakan hasil visualisasi tata letak sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) skala besar menggunakan HelioScope, yang menunjukkan penempatan panel surya dan inverter pada lahan yang telah dipilih. Total lahan yang diperlukan untuk PLTS sebesar 10 MW adalah sekitar 8 hektar untuk penempatan panel, inverter, juga spacing antar panel untuk kebutuhan *maintenance*.

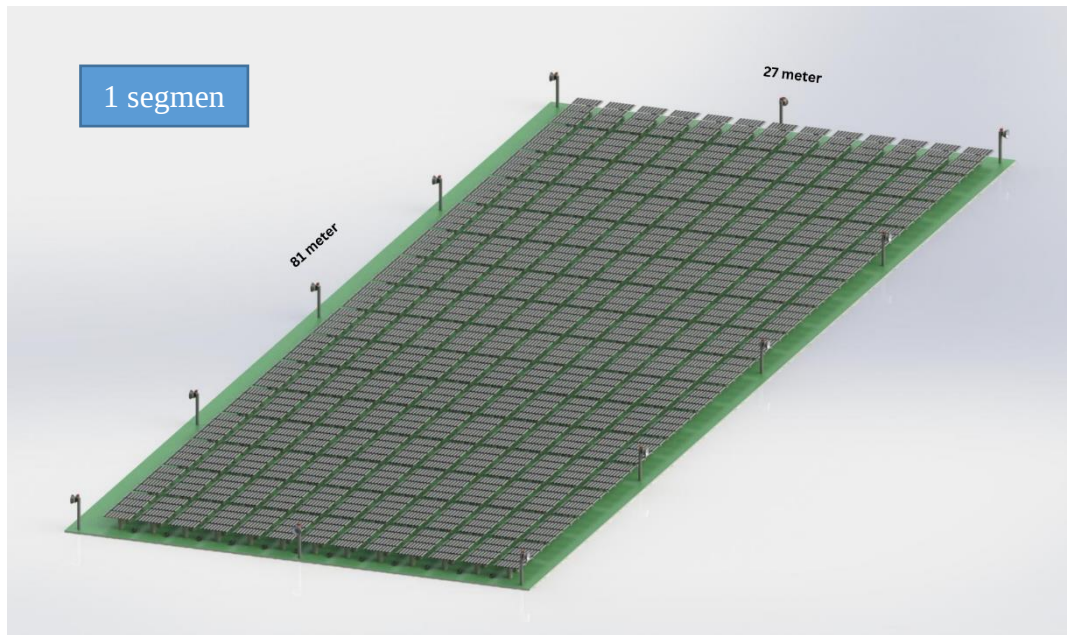


Gambar 3. 5 *Layout Design* Helioscope PLTS Tobelo 10 MW

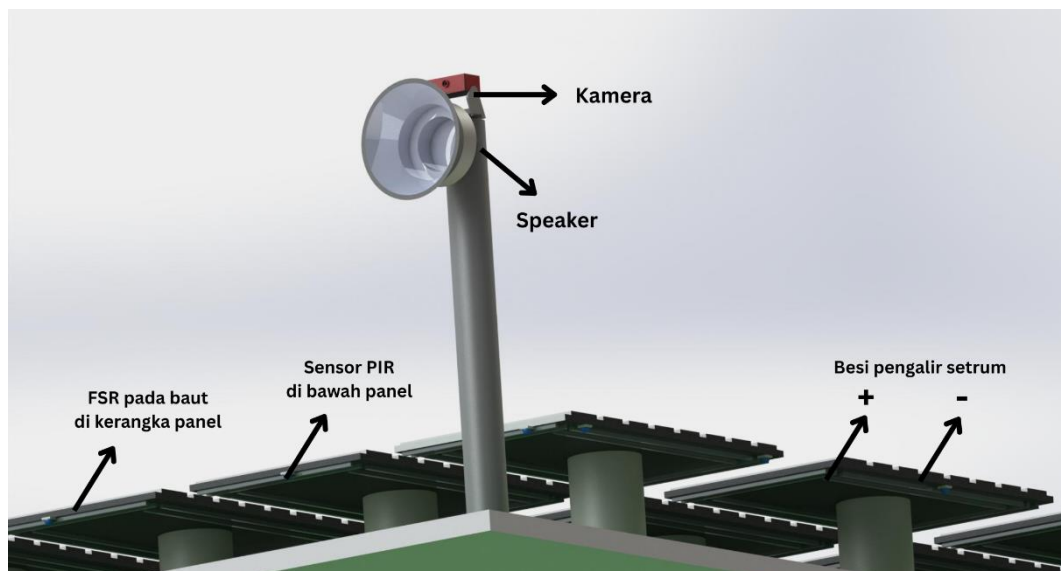
3.1.3 Perancangan Perencanaan Penempatan Komponen Keamanan pada PLTS Tobelo 10 MW menggunakan SolidWorks

Dalam merancang sistem pengamanan PLTS, pada design ini dapat dilihat lebih jelas penempatan komponen pengaman yang lebih strategis dalam satu segmen dari *layout* yang dihasilkan helioscope. *Design* penempatan komponen keamanan akan diperkecil dalam 1 wilayah panel, dimana satu wilayah panel mempunyai luas 27 x 81 meter pada gambar 3.6. Dalam satu wilayah, sensor PIR dengan jarak maksimum deteksi 5 meter berjumlah 12 sensor, kamera pada ESP32S3 dengan jarak maksimum 10 meter berjumlah 6. Sensor FSR ditempatkan

di setiap baut dan sensor kapasitif ditempatkan di setiap tiang dimana kamera ESP32S3 dan *speaker* ditempatkan. Setrum pada sistem akan ditempatkan di bawah panel dengan 2 plat besi negatif dan positif berdampingan, hal ini untuk menghindari bagian keamanan mengalami short yang bisa mengakibatkan komponen panas agar sistem keamanan bisa berjalan dengan aman. Penempatan komponen keamanan lebih jelas terlihat pada gambar 3.7.



Gambar 3. 6 Layout Design Penempatan Komponen Keamanan



Gambar 3. 7 Zoom Out Penempatan Komponen Keamanan

Berdasarkan hasil perencanaan yang telah dilakukan, tahap selanjutnya adalah pembuatan prototipe sistem keamanan yang akan mengimplementasikan solusi yang telah dirancang. Prototipe ini bertujuan untuk menguji dan memverifikasi kinerja sistem keamanan secara langsung, dengan mengintegrasikan berbagai sensor dan teknis yang telah dianalisis.

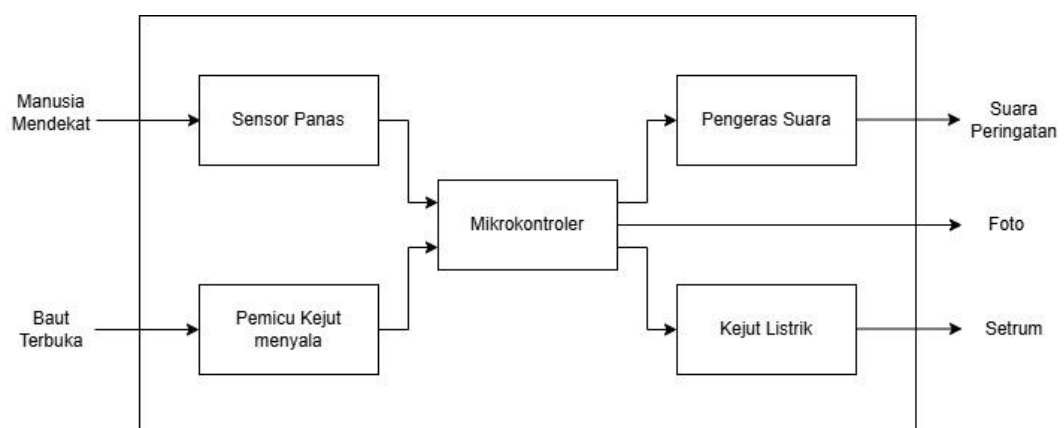
3.2 Desain Sistem Keamanan

Sistem pengamanan PLTS dirancang untuk melindungi komponen-komponen utama dari potensi ancaman pencurian. Dengan meningkatnya kebutuhan akan energi terbarukan, khususnya di wilayah yang sulit mengakses energi, PLTS menjadi solusi strategis. Oleh karena itu, sistem pengamanan ini dirancang dengan tujuan utama sebagai berikut:

- Melindungi komponen utama PLTS, seperti panel surya dari ancaman pencurian.
- Menggunakan teknologi sederhana untuk mendeteksi upaya pencurian pada panel PLTS.

Sistem ini memastikan perlindungan menyeluruh dengan pendekatan reaktif yang efektif terhadap ancaman pencurian. Kombinasi antara deteksi dini dan respons aktif membuat sistem ini andal dalam menjaga keamanan panel PLTS.

3.2.1 Diagram Blok



Gambar 3. 8 Diagram Blok

Sistem ini dirancang berdasarkan diagram blok yang ditampilkan pada Gambar 3.8, yang terdiri atas komponen utama sebagai berikut:

1. Sensor Panas

Sensor ini mendeteksi keberadaan manusia yang mendekati area PLTS. Ketika manusia mencurigakan terdeteksi, sinyal dikirim ke mikrokontroler.

2. Mikrokontroler

Mikrokontroler menjadi pusat kendali sistem. Setelah menerima sinyal dari sensor jarak atau sensor tekanan, mikrokontroler akan memproses sinyal tersebut untuk mengaktifkan perangkat pengaman.

3. Pengeras Suara

Sebagai langkah pertama dalam pengamanan, Ketika sensor panas mendeteksi manusia yang mendekati area PLTS, mikrokontroler mengaktifkan pengeras suara yang menghasilkan suara peringatan untuk menghalau pelaku.

4. Kejut Listrik

Jika peringatan tidak diindahkan, mikrokontroler akan mengaktifkan perangkat kejut listrik untuk memberikan perlindungan tambahan dan mencegah pelaku melakukan tindakan lebih lanjut jika sensor tekanan mendeteksi pembukaan baut.

5. Kamera

Kamera pengawas berfungsi untuk mendokumentasikan pelaku yang mencoba membuka baut pada panel. Ketika sensor tekanan mendeteksi pembukaan baut, mikrokontroler akan mengaktifkan kamera untuk mengambil beberapa foto pelaku secara otomatis. Foto-foto tersebut kemudian dikirimkan secara langsung ke *database* pusat untuk keperluan identifikasi dan pendokumentasian sebagai bagian dari langkah pengamanan sistem.

3.2.2 Fungsi dan Fitur

Sistem pengamanan PLTS yang dirancang ini memiliki beberapa fungsi dan fitur utama untuk melindungi komponen-komponen sistem PLTS dari ancaman pencurian. Berikut adalah fungsi utama dari sistem pengamanan ini:

1. Mendeteksi potensi ancaman dari orang yang mencoba mendekati atau membuka komponen-komponen PLTS. Sensor PIR mendeteksi pergerakan

manusia di sekitar PLTS, sementara FSR mendeteksi pembukaan komponen fisik seperti baut atau penutup.

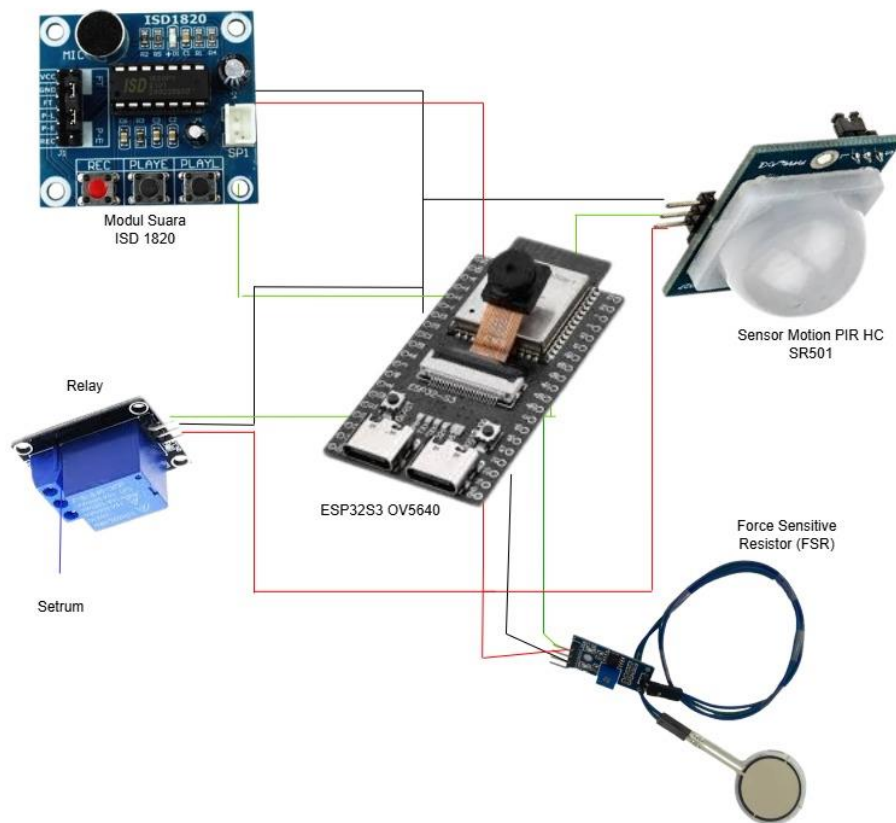
2. Memberikan peringatan suara untuk memberitahukan objek yang mendekat agar menjauh dari area PLTS. Peringatan suara ini dimaksudkan untuk menghalangi orang yang berusaha mendekati area PLTS, mencegah tindakan yang tidak diinginkan sebelum terjadi pencurian.
3. Pencegahan pencurian dengan mengaktifkan kejut listrik untuk memberikan kejutan listrik jika sensor tekanan mendeteksi pembukaan baut pada panel, yang akan menghalangi pelaku dari melanjutkan tindakannya dan mencegah pencurian lebih lanjut.
4. Mendokumentasikan pelaku dengan kamera yang secara otomatis mengambil foto pelaku ketika switch mendeteksi adanya pembukaan baut pada panel. Foto-foto ini kemudian dikirimkan langsung ke *database* pusat untuk mendukung proses identifikasi pelaku dan sebagai bukti pendukung dalam langkah pengamanan lebih lanjut. Fitur ini memastikan bahwa setiap tindakan mencurigakan dapat didokumentasikan dan ditindaklanjuti secara efektif.

Berikut adalah fitur dari sistem pengamanan ini:

1. Deteksi manusia yang mendekati area PLTS Menggunakan Sensor PIR
2. Pemberian Peringatan Suara untuk Menghalangi Manusia Mendekati area PLTS
3. Deteksi Pembukaan baut menggunakan FSR
4. Pemberian Kejutan Listrik
5. Kamera otomatis mengambil foto pelaku saat pembukaan komponen terdeteksi dan mengirimkannya ke *database* untuk identifikasi.

3.3 Desain Perangkat Keras

Desain perangkat keras sistem ditampilkan pada Gambar 3.9, yang menampilkan hubungan antar komponen utama seperti ESP32-CAM, sensor PIR, sensor FSR, modul suara, serta relay yang terhubung ke perangkat setrum.



Gambar 3. 9 Desain Perangkat Keras

3.3.1 Pemilihan Komponen

Dalam merancang sistem pengamanan untuk Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS), pemilihan komponen dilakukan secara selektif untuk memastikan kinerja sistem yang optimal, efisiensi biaya, dan kemudahan implementasi. Komponen-komponen yang dipilih memiliki peran penting dalam mendukung fungsi utama sistem. Berikut adalah komponen yang digunakan dalam perancangan ini beserta alasan pemilihannya:

1. Mikrokontroler

Dalam pemilihan komponen mikrokontroler, dua alternatif yang dibandingkan adalah ESP32S3 OV5640 dan ESP32-CAM OV2640. Keduanya dipilih karena sama-sama mendukung penggunaan kamera, yang menjadi kebutuhan untuk mengambil foto, dimana spesifikasi kamera yang sangat tinggi tidak menjadi prioritas utama. Evaluasi dilakukan berdasarkan beberapa kriteria, yaitu kapasitas RAM, resolusi kamera, jumlah pin I/O, ketersediaan port USB, dan harga, dengan bobot

penilaian sesuai tingkat kepentingannya sebagaimana ditampilkan pada Tabel 3.1. ESP32S3 OV5640 unggul dalam hal kapasitas RAM (512KB SRAM + 8MB PSRAM), resolusi kamera yang lebih tinggi (2592×1944), serta dilengkapi dengan port USB-C yang memudahkan proses pemrograman dan debugging.

Tabel 3. 1 Pemilihan Komponen Mikrokontroler

Kriteria	Bobot	Skor Penilaian (1, 0, -1)	
		ESP32S3 OV5640	ESP32 Cam OV2640
RAM	10%	512KB SRAM + 8MB PSRAM	520KB SRAM + 4MB PSRAM
		0.1	0.05
Resolusi	25%	2592 x 1944 (QWXGA)	1600 x 1200 (UXGA)
		0.25	0.1
Jumlah Pin I/O	15%	21 pin GPIO	8 pin GPIO
		0.15	0.05
Port USB	30%	Port USB-C	Tidak ada
		0.3	0
Harga (<Rp200rb)	20%	Rp200.000	Rp100.000
		0.1	0.2
Total	100%	0.9	0.4

2. Sensor Panas

Dalam pemilihan sensor panas untuk mendeteksi keberadaan manusia, dua jenis sensor yang dipertimbangkan adalah sensor Thermopile dan sensor PIR (Passive Infrared) karena keduanya mampu mendeteksi panas tubuh tanpa kontak langsung. Sensor Thermopile memiliki presisi tinggi namun konsumsi dayanya besar dan harganya lebih mahal, sedangkan sensor PIR lebih hemat daya, kompatibel dengan berbagai mikrokontroler, dan cukup akurat untuk kebutuhan deteksi manusia secara

umum. Berdasarkan evaluasi terhadap empat kriteria—konsumsi daya, keakuratan deteksi, jarak maksimum deteksi, dan kompatibilitas—dengan bobot yang ditentukan, sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 3.2. Selain itu, sensor PIR juga lebih ekonomis sehingga lebih sesuai untuk kebutuhan pembuatan prototipe yang menekankan efisiensi biaya.

Tabel 3. 2 Pemilihan Komponen Sensor Panas

Kriteria	Bobot	Skor Penilaian (1, 0, -1)	
		Sensor Thermopile	Sensor PIR
Konsumsi Daya	30%	5W (sedang)	1W (rendah)
		0.1	0.3
Harga (<Rp100rb)	30%	Rp150.000	Rp8.000
		0.1	0.3
Keakuratan Deteksi	15%	10 cm presisi (akurat)	1 m presisi (kurang akurat)
		0.15	0.1
Jarak Maksimum Deteksi	15%	15 meter	6 meter
		0.15	0.1
Kompatibilitas	10%	Kompatibel	Kompatibel
		0.1	0.1
Total	100%	0.6	0.9

3. Switch

Dalam perancangan sistem ini, dibutuhkan sensor yang mampu mendeteksi perubahan tekanan atau pembukaan baut sebagai bagian dari sistem keamanan fisik. Dua komponen yang dipertimbangkan adalah Reed Switch dan FSR (Force Sensitive Resistor) karena keduanya dapat digunakan untuk merespons perubahan kondisi fisik, seperti gerakan atau tekanan. Reed Switch bekerja dengan prinsip medan magnet dan cukup andal dalam lingkungan ekstrem, namun pemasangannya memerlukan magnet eksternal dan presisinya terbatas. Di sisi lain, FSR memiliki

keunggulan dalam hal kemudahan pemasangan karena dapat langsung diletakkan di bawah baut, serta memiliki rentang deteksi tekanan yang sesuai dengan kebutuhan sistem, meskipun tidak seandal Reed Switch dalam lingkungan bersuhu tinggi. Evaluasi terhadap enam kriteria, yaitu tahan tekanan, keakuratan deteksi, kompleksitas pemasangan, daya tahan lingkungan, konsumsi daya, dan harga, dilakukan dengan bobot yang ditentukan sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 3.3.

Tabel 3. 3 Pemilihan Komponen Switch

Kriteria	Bobot	Skor Penilaian (1, 0, -1)	
		<i>Reed Switch</i>	FSR
Tahan Tekanan	20%	Tidak tahan tekanan	Tahan tekanan rendah
		0	0.2
Keakuratan Deteksi	25%	1 m presisi	1-5 m presisi
		0.1	0.25
Kompleksitas Pemasangan	20%	Sedikit kompleks (perlu magnet)	Sederhana (langsung di bawah baut)
		0	0.2
Daya Tahan Lingkungan	15%	Tahan debu dan suhu ekstrem	Rentan suhu tinggi
		0.15	0.05
Konsumsi Daya	10%	0.1 mW (sangat rendah)	10mW (sangat rendah)
		0.1	0.1
Harga (<Rp100rb)	10%	Rp5.000	Rp10.000
		0.1	0.1
Total	100%	0.45	0.9

4. Modul Suara

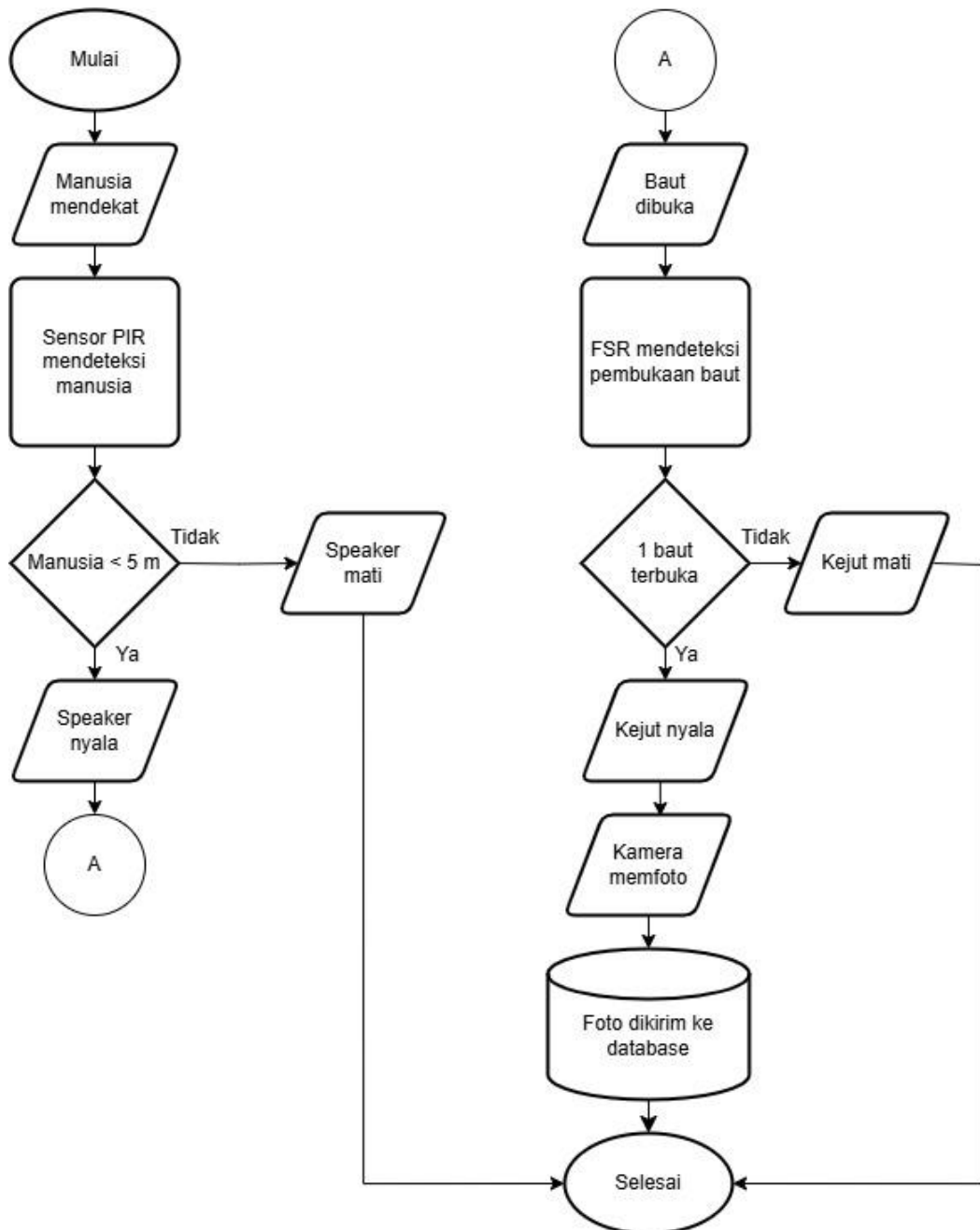
Pemilihan modul suara dalam sistem ini bertujuan untuk memberikan output audio sebagai bentuk respons atau peringatan. Dua jenis modul yang dipertimbangkan adalah ISD1820 dan APR33A3, karena keduanya mendukung fungsi perekaman dan pemutaran suara secara mandiri tanpa perlu pemrosesan digital yang kompleks. Modul ISD1820 memiliki keunggulan dari sisi konsumsi daya yang sangat rendah dan harga yang lebih ekonomis, namun hanya mampu merekam selama 20 detik dan menyimpan 1 pesan suara saja. Sebaliknya, APR33A3 mampu merekam hingga 11 menit dan menyimpan hingga 8 pesan, serta memiliki kualitas suara yang lebih baik dengan sampling rate 8 kHz. Evaluasi dilakukan berdasarkan lima kriteria: durasi maksimal rekaman, jumlah pesan, kualitas suara, konsumsi daya, dan harga, dengan bobot sesuai kebutuhan sistem, sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 3.4.

Tabel 3. 4 Pemilihan Komponen Modul Suara

Kriteria	Bobot	Skor Penilaian (1, 0, -1)	
		ISD1820	APR33A3
Durasi Maksimal Rekaman	15%	20 detik	11 menit
		0.05	0.15
Jumlah Pesan	15%	1 pesan	8 pesan
		0.1	0.15
Kualitas Suara (Sampling Rate)	15%	4 kHz (cukup)	8 kHz (baik)
		0.1	0.15
Konsumsi Daya	25%	8mW (sangat rendah)	10mW (sangat rendah)
		0.25	0.15
Harga (<Rp100rb)	30%	Rp25.000	Rp40.000
		0.3	0.17
Total	100%	0.8	0.75

3.4 Desain Perangkat Lunak

Gambar 3.10 menyajikan flowchart sistem keamanan yang menggambarkan alur logika kerja perangkat lunak sistem keamanan dalam mendeteksi adanya gerakan dan upaya pembongkaran baut pada sistem PLTS.



Gambar 3. 10 Flowchart Sistem Keamanan

3.4.1 Spesifikasi Sub Sistem

Untuk merancang sistem pengamanan pada PLTS dengan pengamanan berbasis efek kejut, sistem utama dibagi menjadi beberapa sub-sistem dengan spesifikasi sebagai berikut:

1. Mikrokontroler ESP32S-0V5640

Mengolah data dari sensor dan mengontrol perangkat output, seperti relay dan modul suara, sekaligus mendukung fungsi kamera untuk pengambilan gambar. ESP32S3-5640 terhubung dengan sub-sistem seperti sensor jarak (PIR atau inframerah), modul kamera (OV5640), modul suara, dan relay. Perangkat ini menjadi pusat kendali sistem yang terintegrasi dengan jaringan Wi-Fi, memungkinkan pengiriman data secara real-time ke server untuk penyimpanan dan analisis.

- *Active power*: 140 mA
- Tegangan operasi: 3.3V DC.
- Jumlah pin GPIO: 21 pin
- Xtensa LX7 dual-core @ 240 MHz
- RAM: 512 KB SRAM
- Memori Flash: 8 MB
- Kamera: OV5640 (Resolusi 5 MP)

2. Sensor PIR (*Passive Infrared*)

Mendeteksi keberadaan manusia berdasarkan perubahan radiasi inframerah di sekitar area PLTS. Sensor ini terhubung ke mikrokontroler melalui pin digital untuk memberikan sinyal deteksi. Parameter Teknis:

- *Active power*: 65 mA
- Tegangan operasi: 3.3V - 5V DC.
- Jarak deteksi maksimal: 6 meter.
- Output: Sinyal digital (HIGH/LOW).

3. *Force Sensitive Resistor* (FSR)

FSR digunakan untuk mendeteksi tekanan pada baut atau permukaan, berfungsi sebagai *trigger* untuk mematikan setrum saat tekanan terdeteksi. Parameter Teknis:

- *Active power*: 0,4 mA

- Tegangan operasi: 0–5V DC (tegangan analog tergantung tekanan)
- Rentang resistansi: 10 k Ω – ∞ (tanpa tekanan) hingga <1 k Ω (tekanan maksimum)

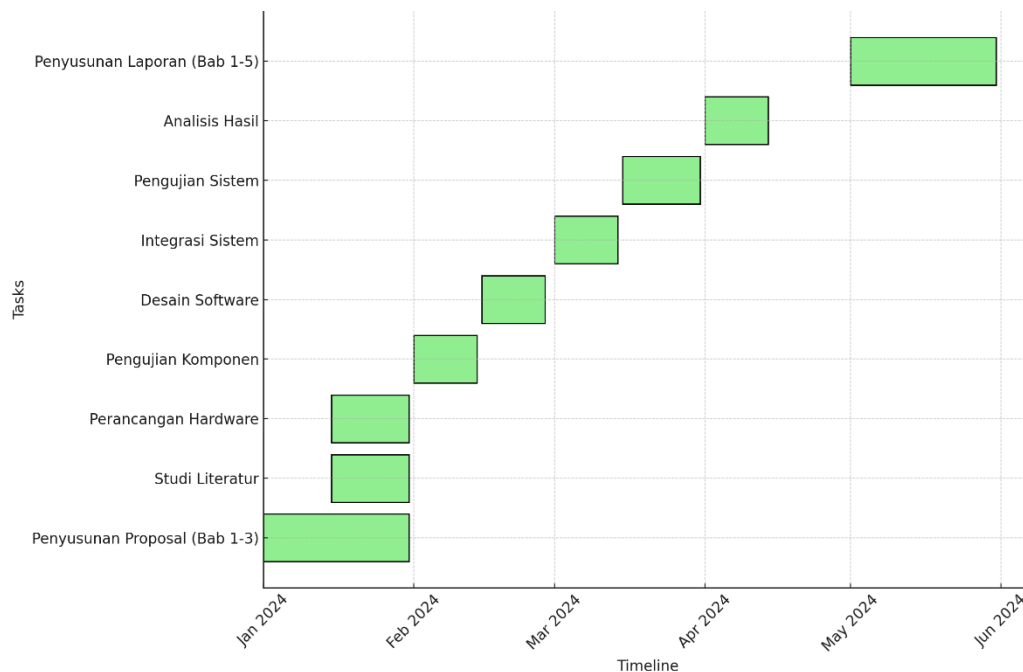
4. Modul Suara ISD1820

Modul suara digunakan untuk memberikan peringatan suara saat sensor radar mendeteksi objek mendekat. Parameter Teknis:

- *Active power*: 0,5 mA
- Tegangan operasi: 3,3V - 5V DC
- Kapasitas rekaman: Hingga 20 detik pesan suara
- Output suara: Speaker eksternal (8 Ohm / 0,6 mA)

3.5 Rencana Kerja Penelitian

Rencana kerja penelitian ini digambarkan dalam Gantt chart pada Gambar 3.11, yang memuat tahapan kegiatan secara kronologis, dimulai dari penyusunan proposal, studi literatur, perancangan dan pengujian komponen, hingga penyusunan laporan akhir.



Gambar 3. 11 Gant Chart Rencana Kerja Penelitian

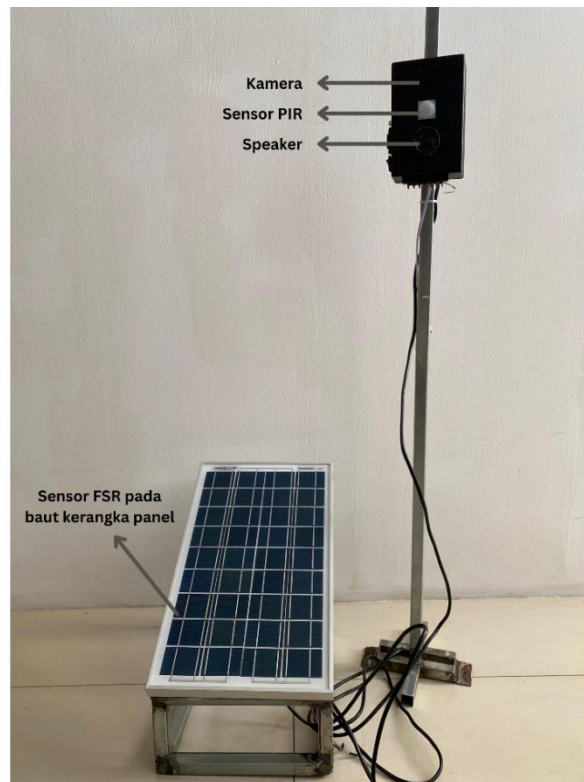
BAB IV

HASIL DAN ANALISIS

4.1 Hasil Perencanaan PLTS

Perencanaan sistem PLTS 10 MW di Tobelo menggunakan PVsyst menunjukkan bahwa wilayah ini memiliki potensi energi surya yang baik, dengan total iradiasi tahunan sebesar 1987,2 kWh/m² dan rata-rata bulanan di atas 160 kWh/m². Sistem dirancang menggunakan modul Trina Solar TSM-DE19-550Wp dan inverter berkapasitas 1000 kWac sebanyak 10 unit, menghasilkan total kapasitas 10,56 MWp. Pendekatan oversizing panel terhadap inverter digunakan untuk mendukung produksi energi dalam berbagai kondisi cuaca. Hasil dari HelioScope menunjukkan kebutuhan lahan sekitar 8 hektar untuk penempatan panel, inverter, dan jalur perawatan. Selanjutnya, desain penempatan komponen keamanan pada sistem PLTS divisualisasikan menggunakan SolidWorks dalam satu segmen area panel untuk mendukung perencanaan sistem pengamanan. Seluruh hasil perencanaan ini telah ditampilkan pada bab sebelumnya sebagai dasar dalam mendukung perancangan sistem pengamanan PLTS.

4.2 Hasil Percobaan Sistem Keamanan



Gambar 4. 1 Prototipe Sistem keamanan

Pada Bab ini, akan dibahas mengenai berbagai pengujian yang dilakukan untuk mengevaluasi kinerja sistem keamanan yang telah dirancang pada prototipe seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.1. Pengujian pertama akan difokuskan pada sensor yang digunakan untuk memastikan akurasi dan keandalannya dalam mendeteksi objek atau kondisi yang ditargetkan. Selanjutnya, pengujian terhadap sistem kejut akan dilakukan untuk menilai efektivitas mekanisme respons terhadap deteksi ancaman. Pengujian pengiriman foto ke Telegram juga akan dianalisis pada berapa lama delay yang dibutuhkan. Terakhir, pengujian keseluruhan sistem keamanan akan menguji integrasi semua komponen untuk memastikan sistem berfungsi secara efektif dan sesuai dengan tujuan yang diinginkan.

4.1.1 Pengujian Sistem Deteksi (Sensor)

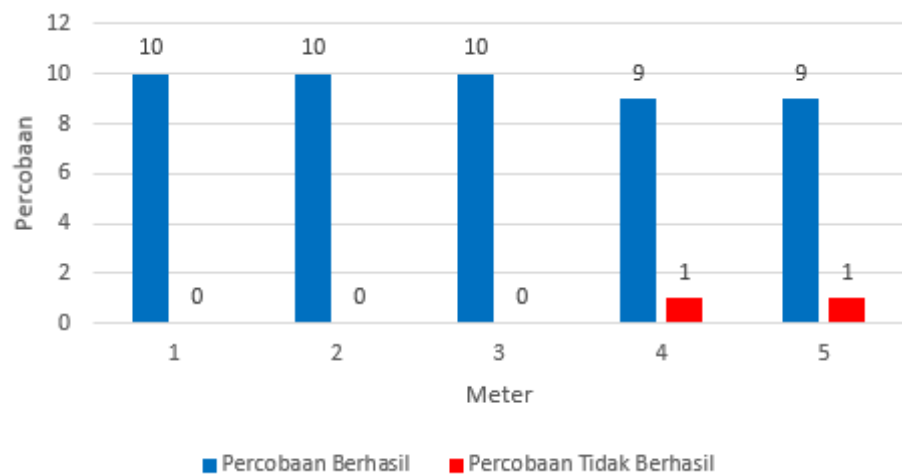
A. Sensor PIR



Gambar 4. 2 Pengujian Deteksi Sensor PIR terhadap Manusia

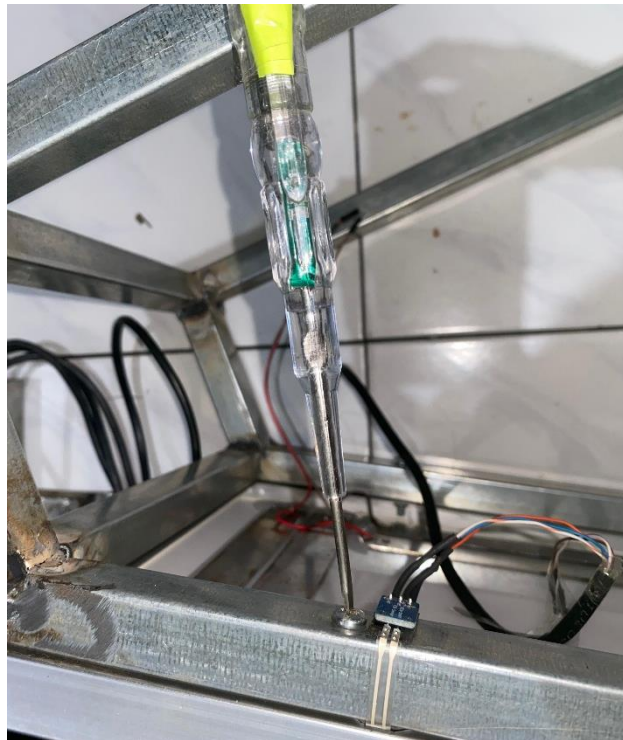
Sensor PIR mampu mendeteksi gerakan hingga jarak efektifnya di 5 meter. Pengujian dilakukan untuk memastikan bahwa sensor dapat mendeteksi keberadaan manusia dan memberikan respon berupa aktivasi speaker untuk memberikan suara peringatan menjauh seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.2. Dalam pengujian ini, dilakukan percobaan langsung dengan mendekatkan objek manusia pada lima jarak berbeda.

Gambar 4.3 menunjukkan hasil pengujian sistem pada berbagai jarak (1–5 meter) dengan total 10 percobaan di setiap jarak. Pada jarak 1 hingga 3 meter, sistem berhasil mendeteksi objek dengan tingkat keberhasilan 100%. Namun pada jarak 4 dan 5 meter, terjadi penurunan performa dengan masing-masing 1 kali percobaan gagal, sehingga tingkat keberhasilan menjadi 90%. Grafik ini menunjukkan bahwa akurasi deteksi sistem mulai menurun setelah melewati jarak 3 meter.



Gambar 4. 3 Grafik Pengujian Sensor PIR

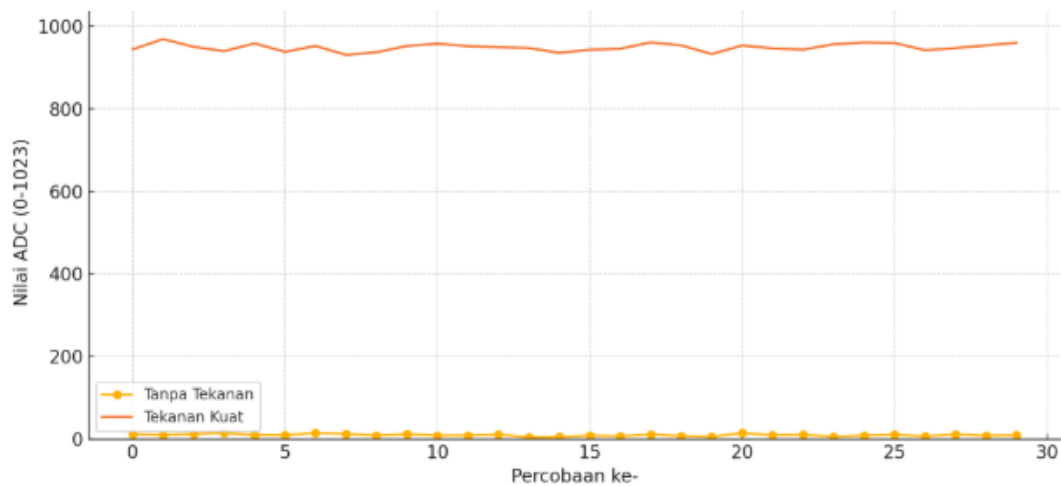
B. Sensor FSR



Gambar 4. 4 Sensor FSR diletakkan di bawah baut

Sensor FSR (Force Sensitive Resistor) bekerja dengan prinsip perubahan resistansi saat menerima tekanan fisik. Agar bisa mendeteksi pembukaat baut, sensor FSR diletakkan di bawah baut seperti yang terlihat pada gambar 4.4. Pengujian dilakukan untuk memastikan bahwa sensor dapat mendeteksi adanya tekanan dari baut yang menekan permukaannya dan memberikan respon berupa kejut listrik dan pengiriman foto ke

Telegram. Dalam pengujian ini, dilakukan percobaan langsung dengan membuka seperti pada gambar 4.5, yang merepresentasikan perubahan tekanan dari kondisi tertekan hingga tidak tertekan. Tegangan output yang diukur merupakan hasil yang merepresentasikan respons sensor saat mengalami tekanan dari baut maupun saat tidak mendapat tekanan.



Gambar 4. 5 Pengujian Sensor FSR

4.1.2 Pengujian Sistem Kejut

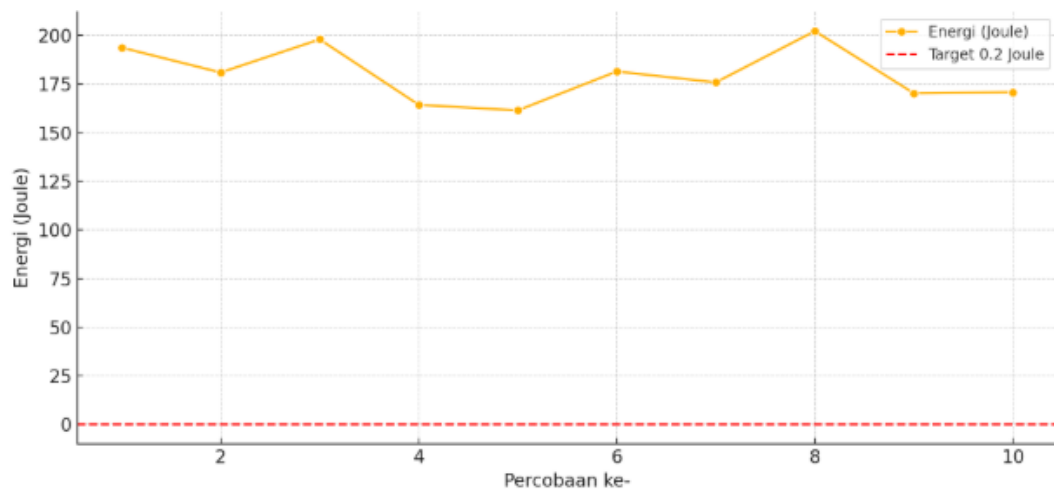
Tabel 4.1 menunjukkan hasil pengukuran tegangan, arus, dan durasi kejutan listrik dari sepuluh kali percobaan menggunakan osiloskop. Tegangan sistem berkisar antara 8.700 hingga 10.000 volt, dengan arus yang dikendalikan pada kisaran 4,6 hingga 5,2 mA untuk menjaga keamanan sistem. Durasi pengaliran listrik dijaga singkat, antara 3,5 hingga 4,5 milidetik, agar total energi tetap berada di bawah ambang batas aman yaitu 0,2 joule. Ketiga parameter ini digunakan sebagai dasar perhitungan energi kejut pada setiap percobaan untuk memastikan konsistensi dan keamanan sistem setrum.

Tabel 4. 1 Percobaan Sistem Kejut

Percobaan	Arus (mA)	Tegangan (V)	Durasi (ms)
1	4,858	9649	3.85
2	4,839	9458	3.9
3	4,845	9694	3.9
4	4,859	9856	3.82
5	4,905	9429	3.88

6	4,824	9873	3.85
7	4,886	9730	3.89
8	4,857	9359	3.84
9	4,838	9662	3.86
10	4,870	9765	3.91

Grafik pada gambar 4.6 menunjukkan distribusi energi kejut listrik dari sepuluh kali percobaan pada sistem dengan tegangan 10 kV. Setiap titik pada grafik merepresentasikan energi yang dihasilkan berdasarkan persamaan dari persamaan (1). Hasil menunjukkan bahwa seluruh percobaan menghasilkan energi yang berada di sekitar nilai target 0,2 joule, dengan variasi yang relatif kecil. Garis horizontal merah menandai batas aman energi kejut sebesar 0,2 joule, yang digunakan sebagai acuan untuk memastikan sistem tetap berada dalam batas keamanan fisiologis. Grafik ini menunjukkan bahwa sistem kejut yang dirancang telah bekerja secara konsisten dan berada dalam rentang energi yang aman.



Gambar 4. 6 Energi Kejut Listrik Setiap Percobaan

4.1.3 Pengujian Pengiriman Foto ke Telegram



Gambar 4. 7 Foto Terkirim ke Telegram



Gambar 4. 8 Notifikasi Foto Terkirim ke Telegram

Pengujian ini dilakukan untuk mengevaluasi kecepatan dan keandalan sistem dalam mengirimkan gambar hasil tangkapan kamera ke Telegram. Setiap

percobaan diawali dengan pengambilan gambar, kemudian foto langsung dikirim melalui koneksi internet ke akun Telegram yang telah ditentukan seperti yang ditampilkan pada gambar 4.7 dan mengirimkan notifikasi pada gambar 4.8. Waktu pengiriman dan waktu penerimaan dicatat untuk setiap percobaan guna menghitung selisih waktu (delay) antara proses terkirim dan diterimanya foto di Telegram. Tujuan dari pengujian ini adalah memastikan bahwa sistem mampu mengirimkan bukti visual secara real-time atau dengan keterlambatan minimal. Tabel 4.2 menampilkan waktu pengiriman, waktu penerimaan, serta perbedaan waktu dalam setiap percobaan.

Tabel 4. 2 Pengujian Pengiriman Foto ke Telegram

Percobaan	Foto Terkirim (waktu)	Foto Sampai (waktu)	Perbedaan waktu
1	11:05:18	11:05:19	1 s
2	11:25:22	11:25:24	2 s
3	11:32:33	11:32:35	2 s
4	11:33:45	11:33:46	1 s
5	12:04:12	12:04:12	0 s
6	12:04:20	12:04:21	1 s
7	12:04:30	12:04:30	0 s
8	12:05:05	12:05:05	0 s
9	12:05:14	12:05:14	0 s
10	12:05:22	12:05:22	0 s

Untuk mengamati jeda waktu atau delay antar pengiriman foto ke Telegram, dilakukan pencatatan waktu pengiriman dari tiga foto secara berurutan. Hasil waktu pengiriman ditampilkan pada Tabel 4.3, yang menunjukkan adanya selang waktu beberapa detik antara satu foto dengan foto berikutnya.

Tabel 4. 3 Pengiriman 3 Foto ke Telegram

Foto ke -	Waktu
1	12:05:05

2	12:05:14
3	12:05:22

4.1.4 Pengujian Keseluruhan Sistem Keamanan

Sistem keamanan secara keseluruhan dirancang untuk merespons ancaman pencurian melalui deteksi sensor, aktivasi sistem kejut, dan pengiriman foto melalui Telegram. Pengujian dilakukan untuk memastikan bahwa setiap komponen dalam sistem bekerja secara terintegrasi dan sesuai dengan fungsi yang telah dirancang. Dalam pengujian ini, sistem diaktifkan dalam 10 kali percobaan berbeda yang melibatkan deteksi objek oleh sensor, respons *speaker*, respons dari sistem kejut, serta pengiriman foto melalui Telegram. Tujuan dari pengujian ini adalah untuk mengevaluasi konsistensi, dan efektivitas sistem. Tabel 4.4 menunjukkan hasil pengujian dari keseluruhan sistem keamanan dalam setiap percobaan yang telah dilakukan. Pada setiap percobaan, sensor berhasil mendeteksi objek, dan seluruh komponen sistem—speaker, kejutan listrik, serta pengiriman foto ke Telegram berfungsi dengan baik. Semua percobaan memberikan status “Sukses”, yang menunjukkan bahwa integrasi antar komponen sistem berjalan secara konsisten dan dapat diandalkan dalam kondisi pengujian. Hal ini menandakan bahwa sistem bekerja sesuai yang diharapkan dalam mendeteksi, merespons, dan mengirimkan notifikasi.

Tabel 4. 4 Pengujian Keseluruhan Sistem Keamanan

Percobaan	Sensor	<i>Speaker</i>	Kejut	Telegram	Keterangan
1	Terdeteksi	Aktif	Aktif	Berhasil	Sukses
2	Terdeteksi	Aktif	Aktif	Berhasil	Sukses
3	Terdeteksi	Aktif	Aktif	Berhasil	Sukses
4	Terdeteksi	Aktif	Aktif	Berhasil	Sukses
5	Terdeteksi	Aktif	Aktif	Berhasil	Sukses
6	Terdeteksi	Aktif	Aktif	Berhasil	Sukses
7	Terdeteksi	Aktif	Aktif	Berhasil	Sukses
8	Terdeteksi	Aktif	Aktif	Berhasil	Sukses

9	Terdeteksi	Aktif	Aktif	Berhasil	Sukses
10	Terdeteksi	Aktif	Aktif	Berhasil	Sukses

4.2. Analisis

4.2.1 Analisis Sistem Deteksi (Sensor)

Berdasarkan grafik hasil pengujian, sensor PIR menunjukkan performa deteksi yang sangat baik pada jarak 1 hingga 3 meter, dengan tingkat keberhasilan 100% di setiap percobaan. Hal ini menunjukkan bahwa pada rentang jarak tersebut, sensor mampu mendeteksi gerakan objek manusia secara konsisten dan akurat. Selain itu, setiap kali sensor mendeteksi gerakan, sistem secara otomatis mengaktifkan output berupa suara peringatan melalui speaker, menandakan bahwa fungsi respon dari sensor ke *output* berjalan dengan baik. Namun, mulai pada jarak 4 hingga 5 meter, terjadi penurunan akurasi dengan masing-masing satu percobaan gagal dari sepuluh uji coba, sehingga tingkat keberhasilan turun menjadi 90%. Penurunan ini dapat disebabkan oleh beberapa faktor. Salah satunya adalah karakteristik dasar sensor PIR yang semakin menurun sensitivitasnya seiring bertambahnya jarak. Pada jarak yang lebih jauh, pancaran radiasi inframerah dari tubuh manusia yang diterima sensor menjadi semakin lemah, sehingga lebih sulit dibedakan dari noise lingkungan.

Berdasarkan hasil pengujian, sensor FSR menunjukkan respon yang cukup baik dalam mendeteksi perubahan tekanan secara bertahap. Saat dilakukan pembukaan baut secara perlahan dari putaran pertama hingga keenam, terjadi peningkatan tegangan output dari sensor, yang mengindikasikan bahwa tekanan terhadap sensor semakin berkurang. Pada putaran 1 hingga 5, tegangan masih berada pada nilai rendah, yang berarti sensor masih menerima tekanan dari baut. Namun, pada putaran ke-6, terjadi lonjakan tegangan yang cukup signifikan hingga mencapai sekitar 1.20 volt, menunjukkan bahwa tekanan telah hilang sepenuhnya. Hal ini sesuai dengan karakteristik sensor FSR, di mana resistansinya akan meningkat seiring berkurangnya tekanan, sehingga menghasilkan tegangan output yang lebih tinggi dalam konfigurasi pembagi tegangan. Tegangan output dari sensor FSR ini menjadi pemicu utama bagi sistem untuk mengaktifkan fitur keamanan. Ketika

sensor mendeteksi tidak adanya tekanan, sistem akan memberikan respon berupa aktivasi sistem kejut dan pengambilan serta pengiriman foto secara otomatis ke Telegram.

4.2.2 Analisis Sistem Kejut

Hasil pengujian sistem kejut listrik menunjukkan bahwa seluruh parameter utama, yaitu tegangan, arus, durasi, dan energi, telah bekerja sesuai dengan rancangan. Tegangan keluaran sistem berada pada kisaran 8.700 hingga 10.000 volt, yang masih sesuai dengan target desain sebesar 10 kV. Variasi nilai tegangan tersebut masih dapat ditoleransi dan kemungkinan disebabkan oleh perbedaan beban, fluktuasi sumber daya, serta toleransi komponen rangkaian. Arus yang terukur pada setiap percobaan berada dalam rentang 4,6 hingga 5,2 mA, menunjukkan bahwa sistem berhasil membatasi arus ke tingkat yang aman. Rentang arus ini berada di bawah ambang batas fisiologis berbahaya dan cukup untuk menghasilkan efek kejut sesaat yang terasa, namun tetap aman untuk makhluk hidup.

Durasi pengaliran listrik yang tercatat selama pengujian berada antara 3,5 hingga 4,5 milidetik. Durasi ini sudah sesuai dengan perancangan sistem yang mengutamakan keamanan, karena arus hanya mengalir dalam waktu yang sangat singkat sehingga tidak berisiko menyebabkan kerusakan jaringan tubuh atau gangguan jantung. Dari kombinasi parameter tegangan, arus, dan durasi tersebut, energi kejut yang dihasilkan dihitung dengan menggunakan rumus $E=V \times I \times t$, dan hasilnya menunjukkan bahwa energi yang dihasilkan pada masing-masing percobaan berada dalam kisaran 0,16 hingga 0,21 joule. Nilai ini menunjukkan konsistensi sistem dalam menjaga output tetap di bawah batas aman 0,2 joule.

Dengan melihat grafik distribusi energi dari sepuluh percobaan, dapat disimpulkan bahwa sistem mampu menjaga kestabilan parameter kelistrikan secara baik. Tidak terdapat lonjakan energi yang membahayakan, dan seluruh percobaan menunjukkan kinerja sistem yang responsif serta terkendali. Fluktuasi kecil yang terjadi pada nilai arus dan durasi dinilai wajar, mengingat adanya faktor toleransi komponen elektronik, variasi beban mekanik, dan sifat switching dari rangkaian. Secara keseluruhan, sistem kejut listrik yang diuji telah memenuhi kriteria

efektivitas dan keamanan, serta siap digunakan sebagai bagian dari sistem aktuator dalam sistem keamanan berbasis sensor FSR.

4.2.3 Analisis Pengiriman Foto Telegram

Berdasarkan tabel hasil pengujian pengiriman foto ke Telegram, dari 10 kali percobaan, seluruh pengiriman berhasil dengan selisih waktu yang sangat kecil antara waktu pengambilan gambar dan waktu diterimanya foto di Telegram. Pada beberapa percobaan, terdapat delay antara 1 hingga 2 detik, yang masih tergolong wajar dalam sistem IoT berbasis internet. Delay ini kemungkinan besar dipengaruhi oleh kualitas sinyal WiFi saat pengujian berlangsung, ukuran file foto, serta kecepatan pemrosesan data pada perangkat ESP32-CAM.

Sementara itu, pada beberapa percobaan, perbedaan waktu tercatat 0 detik. Namun, ini tidak berarti tidak ada delay sama sekali, melainkan delay yang terjadi sangat kecil, kemungkinan hanya dalam hitungan milidetik sehingga tidak terdeteksi oleh pembulatan waktu yang digunakan (format HH:MM:SS). Hal ini menunjukkan bahwa sistem mampu mengirimkan foto dengan sangat cepat dan efisien ketika koneksi stabil dan proses encoding berjalan optimal.

Saat sensor FSR mendeteksi tekanan, sistem akan secara otomatis memicu kamera ESP32-CAM untuk mengambil dan mengirim tiga foto ke Telegram. Namun, karena keterbatasan memori pada ESP32-CAM, proses ini tidak dapat dilakukan secara bersamaan. Setelah foto pertama diambil, sistem mengirimkannya terlebih dahulu ke Telegram, kemudian baru mengosongkan memori (buffer) agar siap merekam foto kedua. Proses serupa dilakukan untuk foto kedua dan ketiga. Setiap tahapan—mulai dari pengambilan gambar, pengiriman melalui koneksi internet, hingga pelepasan memori—membutuhkan waktu tersendiri, sehingga menyebabkan jeda beberapa detik antar foto.

4.2.4 Analisis Keseluruhan Sistem

Berdasarkan hasil pengujian yang ditampilkan pada Tabel 4.3, dapat disimpulkan bahwa sistem keamanan secara keseluruhan bekerja dengan baik dan konsisten. Dalam sepuluh kali percobaan, sensor berhasil mendeteksi keberadaan objek (manusia) pada setiap pengujian, yang kemudian secara otomatis memicu keluaran sistem berupa aktivasi speaker, sistem kejut, dan pengiriman foto ke

Telegram. Hal ini menunjukkan bahwa alur komunikasi antar komponen, mulai dari deteksi hingga respon output, berjalan sesuai dengan rancangan.

Aktivasi speaker pada setiap percobaan mengindikasikan bahwa sistem peringatan suara bekerja secara real-time untuk memberikan respons instan saat deteksi terjadi. Sistem kejut juga menunjukkan performa yang stabil, aktif setiap kali sensor mendeteksi keberadaan objek, serta menjaga arus dalam batas aman. Pengiriman data visual ke Telegram juga berhasil dilakukan pada setiap percobaan tanpa adanya kegagalan atau keterlambatan signifikan, yang menandakan kestabilan pada aspek konektivitas dan komunikasi data berbasis IoT.

Dengan semua output bekerja sesuai fungsi dan tidak ditemukan kegagalan sistem selama sepuluh percobaan, maka sistem keamanan dapat dinyatakan berhasil dan andal. Integrasi antara sensor, aktuator (speaker dan kejut), serta sistem komunikasi (Telegram) mampu memberikan respon otomatis secara lengkap terhadap ancaman yang terdeteksi, menjadikannya solusi yang efektif untuk sistem keamanan berbasis IoT.

BAB V

SIMPULAN DAN SARAN

5.1. Simpulan

Berdasarkan hasil eksperimen dan analisis yang telah dilakukan pada perencanaan sistem pengamanan PLTS 10 MW di Tobelo, dapat disimpulkan bahwa sistem berhasil mengintegrasikan sensor PIR dan sensor FSR, secara efektif dengan output yang terdiri dari speaker, kamera, dan modul efek kejut listrik. Setiap sensor memberikan respons yang akurat dalam mendeteksi keberadaan manusia, dan tekanan. Proses pengambilan gambar oleh kamera ESP dan pengiriman data ke Telegram berhasil dilakukan dengan tingkat kejelasan dan akurasi yang baik.

Sistem yang dirancang mampu mendeteksi ancaman pencurian secara dini dan memberikan respons cepat dalam bentuk peringatan suara, dokumentasi visual, dan kejutan listrik sebagai efek jera. Dengan demikian, tujuan utama dari Tugas Akhir ini, yaitu merancang dan menguji sistem pengamanan PLTS berbasis IoT yang efisien dan responsif, telah tercapai dengan baik.

5.2. Saran

Untuk pengembangan lebih lanjut dari penelitian ini, beberapa saran yang dapat diberikan agar sistem dapat lebih optimal antara lain:

1. Sistem sebaiknya lebih mengidentifikasi masalah pada kondisi lingkungan nyata, sehingga dapat meminimalisir kesalahan deteksi.
2. Perangkat keras dan perangkat lunak harus terus diperbarui sesuai dengan perkembangan teknologi terbaru untuk meningkatkan efisiensi dan keandalan.
3. Perlu dilakukan perbaikan pada aspek kelemahan yang ditemukan selama pengujian, seperti delay pada kamera dan kestabilan sinyal saat pengiriman data

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Y. Afriyanti, H. Sasana, and G. Jalunggono, "Analisis Faktor-Faktor Yang Mempengaruhi Konsumsi Energi Terbarukan Di Indonesia," *Din. Dir. J. Econ.*, vol. 2, no. 3, pp. 865–884, 2018.
- [2] Muhammad Rifaldi, N. R. Alham, N. Izzah, M. N. Ihsan, and M. Sugianto, "Analisis Efisiensi Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya sebagai Sumber Energi Baru Terbarukan," *J. Rekayasa Trop. Teknol. dan Inov.*, vol. 1, no. 1, pp. 16–24, 2023, doi: 10.30872/retrotekin.v1i1.919.
- [3] M. and others Syukri, "Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya," *J. Rekayasa Elektr.*, vol. 9, no. 2, pp. 77–80, 2010.
- [4] A. G. Wicaksana and B. Winardi, "Analisa Pengaruh Perubahan Temperatur dan Irradiasi pada Tegangan, Arus, dan Daya keluaran PLTS," *TRANSIENT J. Ilm. Tek. Elektro UNDIP*, vol. 6, no. 2, pp. 1–8, 2017.
- [5] Cerita Maluku Utara, "Diduga Curi Meteran Listrik, Mantan Karyawan PLN Tobelo Diringkus Polisi." [Online]. Available: <https://kumparan.com/ceritamalukuutara/diduga-curi-meteran-listrik-mantan-karyawan-pln-tobelo-diringkus-polisi-1v8NTVxizOw/1>
- [6] M. Agustinus, "Pencuri Panel Surya di Papua Beroperasi Malam Hari, Bawa Panah dan Golok Baca artikel detikfinance, 'Pencuri Panel Surya di Papua Beroperasi Malam Hari, Bawa Panah dan Golok' selengkapnya <https://finance.detik.com/energi/d-3332550/pencuri-panel-surya-di-p>," detikfinance. Accessed: Nov. 08, 2024. [Online]. Available: <https://finance.detik.com/energi/d-3332550/pencuri-panel-surya-di-papua-beroperasi-malam-hari-bawa-panah-dan-golok>
- [7] A. H. Syauqi, "Duh! Onderdil Lampu PJU Tenaga Surya di Klaten Jadi Sasaran Maling Baca artikel detikjateng, 'Duh! Onderdil Lampu PJU Tenaga Surya di Klaten Jadi Sasaran Maling' selengkapnya <https://www.detik.com/jateng/berita/d-6276430/duh-onderdil-lampu-pju-tenaga-surya>," detikjateng. Accessed: Nov. 08, 2024. [Online]. Available: <https://www.detik.com/jateng/berita/d-6276430/duh-onderdil-lampu-pju-tenaga-surya-di-klaten-jadi-sasaran-maling>
- [8] Fajar Ihwani Sidiq, "Panel Surya Bantuan Buat Kelompok Tani di Lampung Tengah Dicuri, Kerugian Rp 29 Juta Artikel ini telah tayang di [TribunLampung.co.id](https://tribunlampung.co.id) dengan judul Panel Surya Bantuan Buat Kelompok Tani di Lampung Tengah Dicuri, Kerugian Rp 29 Juta, <https://lampung.tribunn>," tribunlampungtenang. Accessed: Nov. 08, 2024. [Online]. Available: <https://lampung.tribunnews.com/2023/11/02/panel-surya-bantuan-buat-kelompok-tani-di-lampung-tengah-dicuri-kerugian-rp-29-juta>
- [9] S. Amin and W. Agus Nurtiyanto, "ANALYSIS OF HOUSE ROOF PLTS

BASED ON THE PVSyst APPLICATION IN HOUSING IN BANJAR SERANG DISTRICT ANALISA PLTS ATAP RUMAH BERBASIS APLIKASI PVSyst DI PERUMAHAN BANJAR SERANG REGENCY,” *J. Sci. Res. Dev.*, vol. 6, no. 1, pp. 735–754, 2024, [Online]. Available: <https://idm.or.id/JSCR/inde>

- [10] I. O. Sagita, “Panduan Lengkap Tentang PLTS Ground-Mounted untuk Kebutuhan Energi Ramah Lingkungan,” *bataraenergy*. Accessed: Nov. 08, 2024. [Online]. Available: <https://www.batarienergy.com/id/post/panduan-lengkap-tentang-plts-ground-mounted-untuk-kebutuhan-energi-ramah-lingkungan>
- [11] R. D. J. Kartika Sari and A. Murdianto, “Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya Skala Industri Berbasis PVsyst,” *JEECOM J. Electr. Eng. Comput.*, vol. 5, no. 2, pp. 171–179, 2023, doi: 10.33650/jeecom.v5i2.6645.
- [12] M. Rifqi and A. Fauzan, “Perancangan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Dengan Sistem On-Grid Sebagai Catu Daya Tambahan Pada Atap Gedung Widya Robotics NAUFAL NUR RAFI, Muhammad Rifqi Al Fauzan, S.Si., M.Sc.,” 2024.
- [13] Samsurizal;, K. T. Mauriraya;, M. Fikri;, N. Pasra;, and Christiono;, “Buku PLTS.pdf,” 2021.
- [14] K. K. Patel, S. M. Patel, and P. G. Scholar, “Internet of Things-IOT: Definition, Characteristics, Architecture, Enabling Technologies, Application & Future Challenges,” *Int. J. Eng. Sci. Comput.*, vol. 6, no. 5, pp. 1–10, 2016, doi: 10.4010/2016.1482.
- [15] U. R. J. Eiva, T. M. Fahim, S. S. Islam, and M. A. Ullah, “Design, performance, and techno-economic analysis of a rooftop grid-tied PV system for a remotely located building,” *IET Renew. Power Gener.*, no. May, pp. 1–17, 2023, doi: 10.1049/rpg2.12793.
- [16] M. S. Ali, N. N. Rima, M. I. H. Sakib, and M. F. Khan, “Helioscope Based Design of a MWp Solar PV Plant on a Marshy Land of Bangladesh and Prediction of Plant Performance with the Variation of Tilt Angle,” *GUB J. Sci. Eng.*, vol. 5, no. 1, pp. 1–5, 2018, doi: 10.3329/gubjse.v5i1.47893.
- [17] B. Setiawan, I. Triyanti, A. Walid, R. Prasetyo, V. Umro, and D. Cahya, “Aplikasi solidwork untuk rancangan CAD 3D pada mesin 3D printer 2x2x2 meter,” *J. Eltek*, vol. 19, no. 2, pp. 9–16, 2021, doi: 10.33795/eltek.v19i2.283.
- [18] SNI, “Persyaratan Umum Instalasi Listrik 2011 (PUIL 2011),” *DirJen Ketenagalistrikan*, vol. 2011, no. PUIL, pp. 1–133, 2011.
- [19] R. Fish and L. Geddes, “Educación Popular en la elaboración de materiales para capacitación en TICs para el desarrollo social,” *Open Access J. Plast. Surg.*, vol. 9, pp. 407–421, 2009.

- [20] Q. Yang, Z. Wang, L. Zhu, D. Zou, and H. Guo, "Safety analysis of live working operators under zero potential," *E3S Web Conf.*, vol. 152, pp. 1–6, 2020, doi: 10.1051/e3sconf/202015203011.
- [21] C. N. Voltage, D. Skin, and W. Skin, "Electric Shock Advisory," no. 1000.
- [22] Wayne Storr, "Electrical Energy." [Online]. Available: <https://www.electronics-tutorials.ws/dccircuits/electrical-energy.html>
- [23] O. A. Omar, H. EL Fadil, N. E. El Fezazi, Z. Oumimoun, A. Ait Errouhi, and O. Choukai, "Real yields and PVSYST simulations: comparative analysis based on four photovoltaic installations at Ibn Tofail University," *Energy Harvest. Syst.*, vol. 11, no. 1, pp. 1–17, 2024, doi: 10.1515/ehs-2023-0064.