

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1. Tinjauan Pustaka

Beberapa penelitian sebelumnya telah mengkaji sistem serupa dengan pendekatan berbeda. Misalnya, penelitian oleh Hafidudin dan Farikha (2020) mengembangkan sistem deteksi bencana tanah longsor menggunakan sensor accelerometer dan gyroscope yang dihubungkan ke ESP32 dan dikomunikasikan melalui LoRa. Sistem ini terbukti mampu memantau kondisi kemiringan lereng secara real-time dan mengirimkan data ke pusat monitoring berbasis web. Namun, sistem ini memerlukan kalibrasi yang kompleks dan sensitif terhadap getaran lingkungan lain sehingga rawan menghasilkan false alarm[5].

Penelitian lain oleh Nurjihan dan Hasani (2024) mengembangkan prototipe sistem pendeteksi longsor berbasis Internet of Things menggunakan sensor tilt switch dan ESP32 yang dilengkapi dengan komunikasi LoRa. Sistem ini dirancang untuk mendeteksi perubahan kemiringan pada tanah atau lereng dan mengirimkan data secara nirkabel. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem bekerja efektif di daerah dengan keterbatasan jaringan seluler. Namun, pendekatan ini belum melibatkan komponen sensor mekanik sederhana seperti pull switch yang justru lebih cepat dalam mendeteksi gangguan fisik pada struktur tanah[6].

Selain itu, Haddad dan Salim (2025) melakukan penelitian tentang implementasi Wireless Sensor Network untuk deteksi tanah longsor berbasis ESP32 dan LoRa. Sistem mereka menggunakan berbagai sensor lingkungan yang terhubung dalam jaringan nirkabel dan dikendalikan oleh ESP32. Meski mampu memantau parameter lingkungan seperti kelembaban dan tekanan, sistem tersebut memiliki keterbatasan dalam memberikan peringatan instan

karena bergantung pada data prediktif, bukan deteksi langsung akibat pergerakan fisik seperti sistem pull switch[7].

Dari tinjauan terhadap beberapa studi di atas, terlihat adanya research gap dalam penerapan sensor mekanik sederhana namun efektif seperti pull switch dalam sistem deteksi tanah longsor berbasis IoT. Sebagian besar studi masih berfokus pada sensor kemiringan atau kelembaban tanah yang membutuhkan pemrosesan data lanjutan dan tidak selalu memberikan respons cepat terhadap perubahan fisik. Oleh karena itu, penelitian ini hadir dengan pendekatan berbeda mengintegrasikan sensor pull switch sebagai sistem pemicu utama, diproses oleh ESP32, dan ditransmisikan menggunakan LoRa E220 dengan output peringatan lokal berupa LCD, sirine, dan lampu rotator, sehingga sistem dapat bekerja secara mandiri tanpa bergantung pada konektivitas internet atau layanan berbasis cloud. Pendekatan ini menawarkan sistem yang lebih tanggap terhadap kejadian nyata dan dapat diterapkan secara luas di wilayah dengan infrastruktur terbatas.

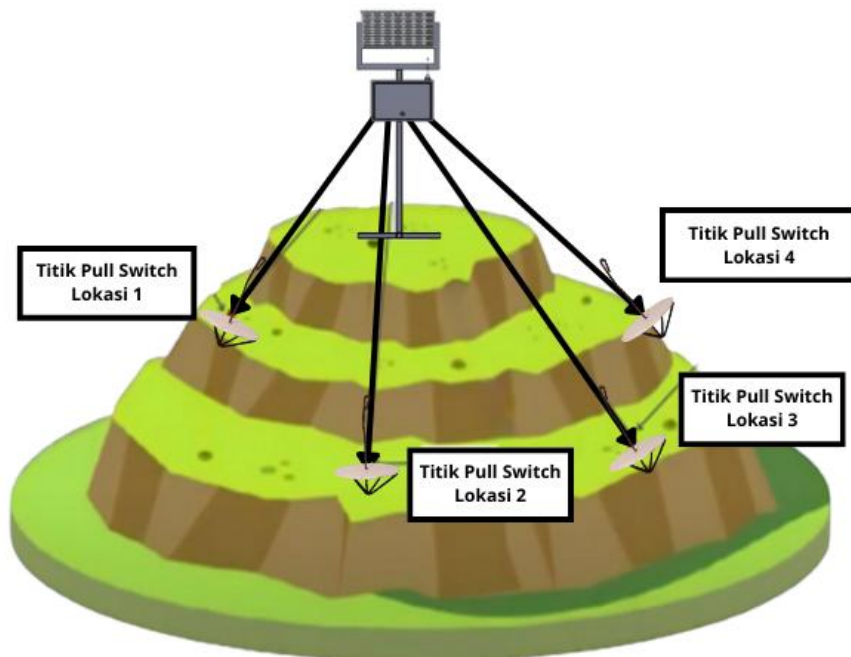
2.2. Dasar Teori

2.2.1. Tanah Longsor

Tanah longsor adalah perpindahan material penyusun lereng berupa batuan, tanah, bahan rombakan, atau campuran dari keduanya, yang bergerak ke bawah akibat pengaruh gravitasi[8]. Fenomena ini bisa dipicu oleh perubahan tiba-tiba atau perlahan-lahan terhadap komposisi tanah, struktur batuan, tata air, dan vegetasi di lereng.

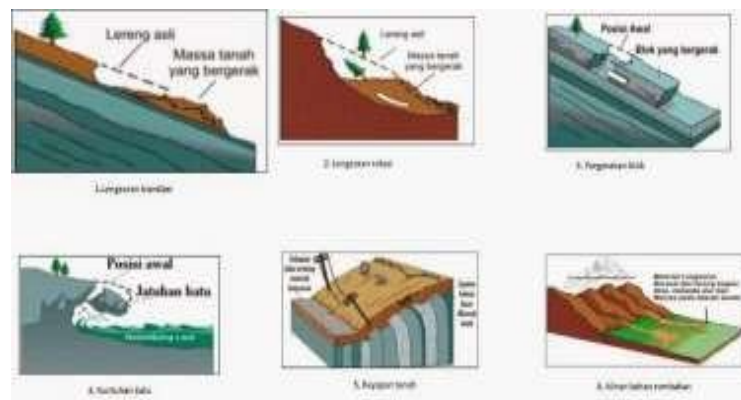
Dalam proses terjadinya tanah longsor diawali ketika gaya dorong yang bekerja pada lereng, misalnya akibat beban bangunan, curah hujan tinggi, atau getaran gempa, melebihi gaya penahan tanah yang berasal dari kohesi dan gesekan dalam tanah. Kondisi ini semakin diperparah oleh meningkatnya tekanan air pori akibat infiltrasi air hujan serta proses pelapukan kimiawi yang menyebabkan penurunan kekuatan tanah. Ketika keseimbangan gaya tersebut terganggu, massa tanah akan bergerak mengikuti

arah kemiringan lereng dan berkembang menjadi pergerakan tanah atau longsor. Pergerakan tanah inilah yang menjadi indikator awal bahaya dan perlu dideteksi sedini mungkin melalui sistem pemantauan.



Gambar 2. 1. Pergerakan Tanah Longsor

Dari Gambar 2.1. diatas, menjelaskan pergerakan tanah akibat longsor dideteksi menggunakan sistem pemantauan berbasis sensor mekanik. Sensor dipasang pada beberapa titik rawan di lereng dan dihubungkan dengan pasak berbentuk jangkar kapal yang dilapisi karet pada bagian atasnya. Ketika terjadi pergerakan tanah atau longsor, material tanah yang bergerak akan mengenai karet pelapis pasak sehingga menimbulkan gaya tarik. Gaya tarik tersebut akan mengaktifkan sensor pull switch, yang kemudian dibaca oleh sistem sebagai indikasi awal terjadinya pergerakan tanah. Dengan pendekatan ini, sistem mampu mendeteksi kejadian longsor berdasarkan perubahan fisik langsung pada lereng, sehingga peringatan dapat diberikan lebih cepat.



Gambar 2. 2 Jenis-jenis Tanah Longsor

Dari gambar 2.1 di atas, terdapat jenis-jenis tanah longsor yang secara umum diklasifikasikan menjadi enam tipe utama berdasarkan mekanisme pergerakan massa tanah dan bentuk bidang gelincirnya, yaitu:

1. Longsor Translasi

Longsor ini ditandai dengan pergerakan massa tanah dan batuan pada bidang gelincir yang berbentuk rata atau menggelombang landai. Jenis ini umumnya terjadi pada lereng yang tersusun atas material homogen atau pada bidang lemah seperti batas antara dua lapisan tanah atau batuan yang berbeda. Longsor translasi memiliki arah gerakan yang lurus dan cenderung menyebabkan penurunan lereng secara menyeluruh[8].

2. Longsor Rotasi

Pergerakan tanah pada longsor ini mengikuti lintasan berbentuk setengah lingkaran (cekung ke atas) yang dikenal sebagai bidang gelincir melengkung. Longsor ini sering dijumpai pada lereng dengan lapisan tanah hasil pelapukan yang tebal dan jenuh air. Pasca-kejadian, longsor rotasi biasanya membentuk kontur permukaan yang bergelombang dan menyebabkan kerusakan topografi yang khas[8].

3. Pergerakan Blok (Block Slide)

Jenis longsor ini melibatkan massa batuan besar yang berpindah sebagai satu kesatuan atau blok utuh pada bidang gelincir yang datar. Fenomena ini umum terjadi pada batuan berlapis seperti batu lempung atau batu pasir yang memiliki rekahan. Pergerakan blok bersifat cepat dan bisa terjadi secara tiba-tiba apabila ada gangguan eksternal seperti guncangan atau penggalian[8].

4. Runtuhan Batu (Rock Fall)

Runtuhan batu terjadi ketika fragmen batuan lepas dari tebing curam dan jatuh bebas akibat hilangnya penyangga alami, pelapukan, atau getaran. Jenis ini sangat cepat dan berbahaya, terutama di daerah pegunungan atau jalanan yang berada di bawah tebing terjal. Runtuhan batu dapat mengakibatkan kerusakan berat pada infrastruktur dan kendaraan[8].

5. Rayapan Tanah (Soil Creep)

Rayapan tanah merupakan jenis pergerakan massa tanah yang berlangsung sangat lambat, bahkan memerlukan waktu bertahun-tahun untuk terlihat dampaknya. Meskipun gerakannya nyaris tidak terasa, jenis ini dapat merusak fondasi bangunan, tiang listrik, dan saluran air secara bertahap. Rayapan terjadi akibat pengaruh gaya gravitasi dalam jangka panjang, ditambah fluktuasi suhu dan kelembapan[8].

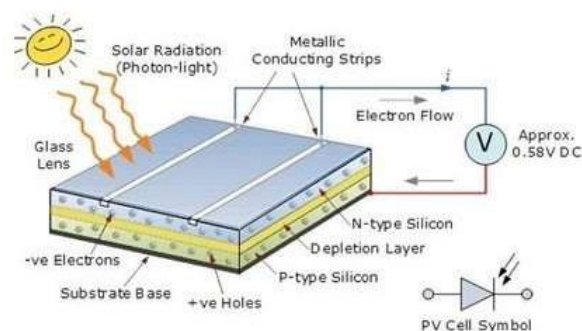
6. Aliran Bahan Rombakan (Debris Flow)

Jenis longsor ini terdiri atas campuran tanah, batu, dan air yang bergerak menuruni lereng dengan kecepatan tinggi menyerupai aliran lumpur. Aliran bahan rombakan umumnya terjadi setelah hujan lebat atau letusan gunung berapi, serta mampu menjangkau wilayah yang

sangat jauh dari sumber longsor. Karena daya rusaknya yang tinggi, jenis ini sering menimbulkan kerusakan infrastruktur dan korban jiwa dalam skala besar[8].

2.2.2. Panel Surya

Panel surya merupakan perangkat elektronik yang berfungsi mengubah energi cahaya matahari menjadi energi listrik melalui prinsip efek fotovoltai[9]. Panel surya terdiri atas sejumlah sel surya (solar cell) yang tersusun secara seri dan paralel dalam satu modul untuk menghasilkan tegangan dan arus listrik sesuai kebutuhan. Panel surya menjadi komponen utama dalam sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS), terutama dalam skala rumah tangga yang bertujuan menyediakan suplai listrik secara mandiri dan berkelanjutan.



Gambar 2. 3 Cara Kerja Panel Surya

Dari Gambar 2.2 di atas menjelaskan panel surya yang tersusun dari banyak sel surya (photovoltaic cell), yang sebagian besar terbuat dari material semikonduktor, seperti silikon. Setiap sel surya memiliki dua lapisan utama: lapisan silikon tipe-N (N-type) di bagian atas dan lapisan silikon tipe-P (P-type) di bagian bawah. Lapisan tipe-N mengandung kelebihan elektron (bermuatan negatif), sementara lapisan tipe-P memiliki kelebihan lubang (hole), yaitu tempat kosong yang dapat ditempati elektron (bermuatan positif). Di antara kedua lapisan ini terdapat area yang disebut lapisan deplesi (depletion layer).

Ketika cahaya matahari, yang terdiri dari partikel-partikel energi yang disebut foton, menabrak sel surya, energi dari foton diserap oleh elektron di lapisan silikon. Energi dari foton diserap oleh elektron, yang membuatnya terlepas dari atomnya, menciptakan pasangan elektron-lubang. Karena lapisan deplesi memiliki medan listrik internal, elektron yang bebas akan ditarik ke lapisan tipe-N, sedangkan lubang akan ditarik ke lapisan tipe-P. Hal ini menciptakan perbedaan potensial atau tegangan.

Untuk memanfaatkan energi tersebut, sel surya dilengkapi dengan strip logam konduktif yang bertindak sebagai elektroda. Sehingga Strip tersebut mengumpulkan elektron bebas dari lapisan tipe-N dan lubang dari lapisan tipe-P. Ketika kedua elektroda ini dihubungkan melalui sebuah sirkuit eksternal (misalnya, ke lampu), elektron akan mengalir dari lapisan tipe-N ke lapisan tipe-P untuk mengisi lubang. Aliran elektron inilah yang dikenal sebagai arus listrik. Jadi, panel surya pada dasarnya menciptakan aliran elektron yang terus-menerus selama ada cahaya matahari, menghasilkan listrik arus searah (DC) yang kemudian bisa digunakan untuk menyalakan perangkat elektronik.

Jenis panel surya dibedakan berdasarkan struktur kristal semikonduktor yang digunakan dalam sel fotovoltaik. Secara umum, terdapat tiga jenis utama panel surya, yaitu:

1. Panel Surya Monokristalin merupakan panel surya yang terbuat dari satu kristal silikon murni yang dicairkan, panel monokristalin memiliki ciri fisik berwarna hitam pekat. Karena kemurniannya, elektron dapat bergerak dengan lebih leluasa, menghasilkan efisiensi konversi yang berkisar 15% - 20%[9].
2. Panel Surya Polikristalin merupakan panel surya yang dibuat dari beberapa kristal silikon yang dilebur bersama, sehingga menghasilkan tampilan yang berbintik-bintik kebiruan. Proses pembuatannya lebih sederhana dan murah dibandingkan monokristalin. Efisiensinya sedikit lebih rendah, biasanya berkisar antara 15-17%[9].

3. Panel Surya *Thin-film Cell* merupakan panel surya yang memiliki lapisan tipis material fotovoltaik (seperti silikon amorf, kadmium telurida, atau tembaga indium gallium selenide) yang diendapkan pada permukaan seperti kaca, plastik, atau logam. Efisiensi dari panel surya jenis ini berkisar 8,5%[9].

2.2.2.1. Menentukan Kebutuhan Modul Panel Surya

Dalam perancangan sistem tenaga listrik berbasis panel surya, diperlukan perhitungan daya keluaran modul agar sesuai dengan kebutuhan energi. Besarnya kapasitas sistem ditentukan oleh jumlah beban listrik yang digunakan dan lamanya waktu pemakaian. Besarnya kapasitas sistem ditentukan oleh jumlah dan jenis beban listrik yang digunakan, serta durasi waktu operasional beban tersebut. Apabila sistem dirancang untuk beroperasi selama 24 jam, maka panel surya harus memiliki kemampuan untuk menyuplai energi secara langsung pada siang hari sekaligus mengisi baterai sebagai sumber cadangan energi yang digunakan pada malam hari. Sebaliknya, apabila sistem hanya dirancang untuk kebutuhan 12 jam, maka jumlah modul panel surya yang digunakan relatif lebih sedikit dibandingkan sistem dengan durasi penuh 24 jam.

$$Total\ Daya\ Pemakaian = \frac{(Jumlah\ beban \times daya\ beban) \times lama\ pemakaian\ beban}{efisiensi} \quad (2.1)$$

Selanjutnya perhitungan daya yang dikeluarkan modul panel surya. Untuk sebagian besar wilayah di Indonesia, bahwa panel surya membutuhkan sekitar 4-8 jam sinar matahari sehari. Sehingga untuk menghitung banyaknya panel surya yang digunakan, dengan rumus berikut:

$$PV = \frac{Total\ Daya\ Pemakaian}{Waktu\ Optimal} \quad (2.2)$$

Kemudian menghitung berapa jumlah modul panel:

$$Jumlah\ Modul = \frac{PV\ (W)}{Daya\ Panel\ (Wp)} \quad (2.3)$$

2.2.3. SCC (Solar Charge Controller)

Solar Charge Controller (SCC) berfungsi sebagai pengatur daya pada sistem PLTS, mengendalikan arus searah dari modul surya ke baterai. Selain itu, SCC juga mengatur penyaluran daya dari baterai ke beban. Fungsi utamanya adalah melindungi baterai dari kerusakan akibat overcharging (pengisian berlebih) dengan menghentikan proses pengisian ketika kapasitas baterai penuh, serta mencegah over-discharging (pengosongan berlebih) dengan memutus aliran arus ke beban ketika tegangan baterai menurun ke batas aman[10].

Salah satu jenis SCC yang banyak digunakan pada sistem PLTS di Indonesia adalah Solar Charge Controller tipe Pulse Width Modulation (PWM). SCC tipe PWM memiliki cara kerja dengan cara mengatur pengisian baterai menggunakan modulasi pulsa untuk mengontrol aliran arus. Saat baterai penuh, tegangan secara bertahap diturunkan untuk mencegah overcharging. Kelebihan utama dari SCC tipe PWM adalah harga yang relatif terjangkau dan ketersediaannya yang luas di pasaran, sehingga sering digunakan pada sistem PLTS skala kecil. Namun demikian, SCC PWM hanya menyesuaikan tegangan keluaran baterai dengan panel surya dan tidak mampu melakukan pengisian jika tegangan panel lebih rendah dibandingkan dengan tegangan baterai. Dengan keterbatasan ini, penggunaan SCC PWM lebih sesuai untuk aplikasi sederhana dengan kebutuhan daya yang tidak terlalu besar.



Gambar 2. 4 SCC PWM (Pulse With Modulation)

2.2.3. Baterai *Lithium-Ion*

Baterai merupakan perangkat yang berfungsi menyimpan energi listrik dalam bentuk energi kimia, yang kemudian dikonversi kembali menjadi energi listrik guna menghasilkan arus listrik sesuai kebutuhan[11]. Secara umum, baterai tersusun atas dua elektroda utama, yaitu anoda dan katoda, yang dipisahkan oleh larutan elektrolit. Larutan ini berfungsi sebagai media penghantar ion, memungkinkan terjadinya reaksi elektrokimia yang menghasilkan aliran listrik.



Gambar 2. 5 Baterai Li-Ion

Pada Gambar 2.4 diatas merupakan salah satu jenis baterai isi ulang yang paling banyak digunakan pada sistem ini adalah baterai Lithium-Ion (Li-ion). Baterai ini menggunakan senyawa lithium sebagai material aktif pada elektroda dan dikenal memiliki densitas energi yang tinggi, umur pakai yang panjang, serta tingkat self-discharge yang rendah dibandingkan dengan jenis

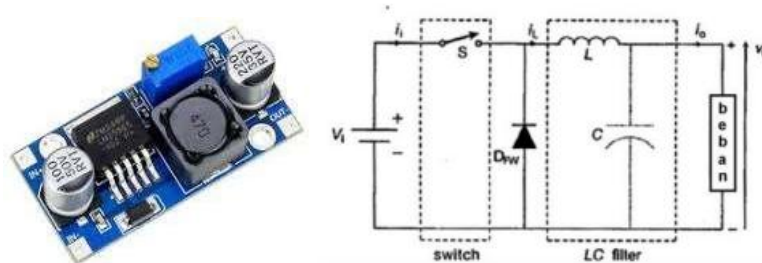
baterai isi ulang lainnya. Karena keunggulan tersebut, baterai lithium-ion banyak dimanfaatkan pada berbagai perangkat elektronik dan sistem berbasis energi terbarukan, termasuk sistem yang menggunakan sumber daya dari panel surya.

Dalam rancang bangun sistem peringatan pergerakan tanah longsor berbasis mikrokontroler ESP32 dan modul transmisi LoRa E220, baterai lithium-ion berperan sebagai salah satu sumber dari rangkaian sistem pengirim (transmitter) yang menjaga sistem tetap beroperasi secara berkelanjutan. Selain itu, baterai ini juga berfungsi sebagai penyimpan energi dari panel surya yang kemudian digunakan untuk menghidupkan sistem pada malam hari atau saat kondisi cuaca mendung ketika produksi daya listrik menurun.

Prinsip kerja baterai lithium-ion didasarkan pada pergerakan ion lithium antara anoda dan katoda melalui media elektrolit. Ketika proses pengisian daya berlangsung, ion lithium bergerak dari katoda menuju anoda dan tersimpan di lapisan grafit. Sebaliknya, pada saat proses pengosongan daya, ion lithium berpindah kembali dari anoda ke katoda sehingga menghasilkan aliran elektron melalui rangkaian luar yang digunakan untuk menyuplai arus listrik ke beban. Proses ini bekerja melalui reaksi redoks yang bersifat reversibel, sehingga memungkinkan baterai diisi ulang berkali-kali tanpa mengalami penurunan performa yang signifikan apabila digunakan sesuai spesifikasi.

Dengan demikian, baterai lithium-ion berperan sangat vital dalam mendukung keandalan sistem, baik sebagai penyedia daya utama bagi mikrokontroler ESP32 dan modul LoRa E220, maupun sebagai cadangan energi untuk memastikan seluruh sensor dapat beroperasi secara optimal dan menghasilkan data yang akurat meskipun terjadi perubahan kondisi lingkungan.

2.2.4. Buck Converter



Gambar 2. 6 Buck Converter

Buck converter merupakan salah satu jenis DC–DC converter yang berfungsi untuk menurunkan tegangan masukan (*input*) menjadi tegangan keluaran (*output*) yang lebih rendah, sehingga sering disebut sebagai step-down converter[11]. Buck converter banyak digunakan pada sistem elektronika karena memiliki efisiensi yang tinggi dan mampu menghasilkan tegangan keluaran yang stabil dibandingkan dengan regulator linear. Prinsip dasar kerja buck converter adalah mengatur besar tegangan keluaran dengan cara mengendalikan waktu nyala (on) dan mati (off) dari saklar semikonduktor daya secara cepat menggunakan sinyal PWM (Pulse Width Modulation)

Rangkaian buck converter terdiri dari beberapa komponen utama yang saling bekerja untuk menghasilkan tegangan keluaran yang stabil, yaitu sebagai berikut:

1. Sakelar (Switch)

Saklar pada buck converter umumnya berupa transistor daya seperti MOSFET atau IGBT. Komponen ini berfungsi untuk menghubungkan dan memutus aliran arus dari sumber tegangan ke rangkaian induktor. Proses pensaklaran dikendalikan oleh sinyal PWM, sehingga lamanya kondisi ON dan OFF dapat diatur sesuai dengan kebutuhan tegangan keluaran.

2. Dioda Freewheeling (Dfw)

Dioda freewheeling berfungsi sebagai jalur alternatif bagi arus induktor ketika saklar berada dalam kondisi OFF. Keberadaan dioda ini sangat penting untuk menjaga agar arus induktor tidak terputus secara tiba-tiba, karena pemutusan arus secara mendadak dapat menimbulkan lonjakan tegangan (spike) yang berpotensi merusak komponen rangkaian.

3. Induktor (L)

Induktor berperan sebagai penyimpan energi dalam bentuk medan magnet saat saklar berada dalam kondisi ON. Ketika saklar OFF, energi yang tersimpan pada induktor akan dilepaskan dan dialirkan ke beban melalui dioda freewheeling. Mekanisme ini membuat aliran arus menuju beban menjadi lebih kontinu dan stabil.

4. Kapasitor (C)

Kapasitor berfungsi untuk menyaring riak (ripple) tegangan yang timbul akibat proses pensaklaran pada buck converter. Dengan adanya kapasitor, tegangan keluaran menjadi lebih halus dan stabil sehingga aman digunakan untuk menyuplai beban elektronik yang sensitif, seperti mikrokontroler dan modul komunikasi. Dalam pembuatan sistem rancang bangun peringatan dini pergerakan tanah longsor berbasis mikrokontroler ESP32 dan modul komunikasi LoRa E220, Buck Converter digunakan sebagai pengatur tegangan agar seluruh rangkaian menerima suplai daya yang sesuai dengan kebutuhan operasional. Komponen ini berfungsi memastikan kestabilan suplai daya bagi modul sensor, komunikasi, dan kendali, serta melindungi perangkat dari potensi kerusakan akibat tegangan berlebih. Dengan efisiensi tinggi, bentuk yang ringkas, dan karakteristik yang andal, Buck Converter menjadi solusi ideal untuk aplikasi sistem elektronika portabel maupun berbasis energi terbarukan.

2.2.5. Mikrokontroler ESP32

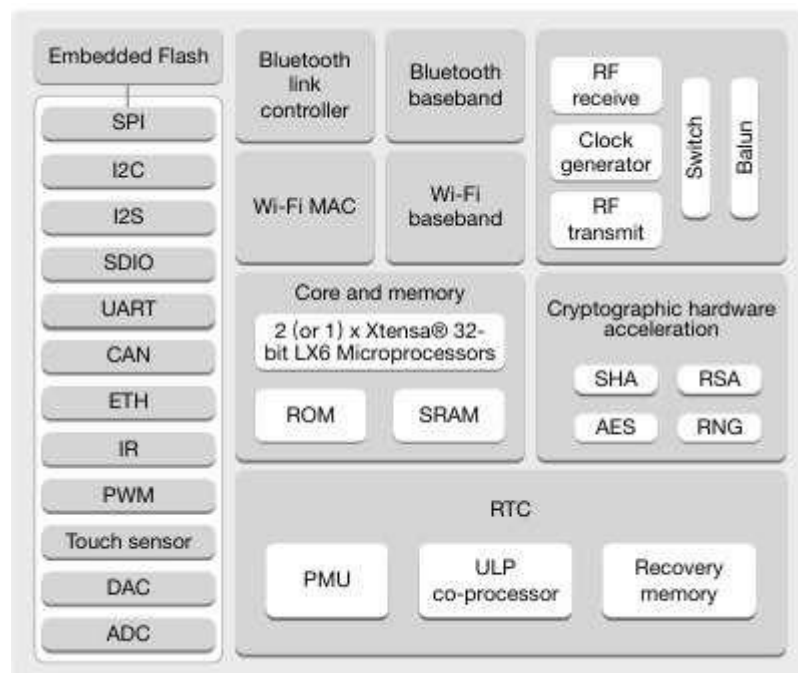
Mikrokontroler ESP32 adalah sebuah mikrokontroler yang dikembangkan oleh Espressif Systems. Mikrokontroler ini dirancang untuk aplikasi Internet of Things (IoT) karena memiliki kemampuan fitur konektivitas Wi-Fi dan Bluetooth yang terintegrasi[12]. Mikrokontroler ini memiliki kemampuan prosesor ganda (dual-core) dengan arsitektur Xtensa® LX6, dilengkapi dengan modul ADC, DAC, PWM, antarmuka SPI, I2C, dan UART. Keunggulan ESP32 dibanding pendahulunya (ESP8266) terletak pada kecepatan pemrosesan lebih tinggi, konsumsi daya rendah, dan dukungan berbagai mode deep sleep sehingga cocok digunakan pada sistem yang memerlukan efisiensi energi seperti peringatan dini tanah longsor berbasis IoT. Pada proyek akhir ini penulis menggunakan ESP32 DevKit V1 sebagai mikrokontroler. Adapun bentuk dari modul ESP32 DevKit V1 dapat dilihat pada Gambar 2.6 dibawah.



Gambar 2. 7 ESP32 DEVKIT V1

Modul ini berfungsi sebagai access point, dimana perangkat diluar ESP32. DevKit V1 dapat berkomunikasi setelah selesai mengakses ESP32. ESP32 bisa diakses dengan menggunakan laptop (PC), dan hasil dari akses tersebut akan diteruskan ke LoRa transmitter, kemudian dari LoRa transmitter menuju LoRa receiver (penerima).

2.2.5.1. Bagian Mikrokontroler ESP 32



Gambar 2. 8 Bagian Mikrokontroler ESP32

Dari Dari gambar diatas merupakan bagian bagian yang ada didalam mikrokontroller ESP32 berikut penjelasan secara detail:

1. Core dan Memory : bagian ini merupakan inti dari pemrosesan suatu data, menjalankan kode program, dan menyimpan program yang akan dieksekusi atau dijalankan.
2. Peripheral Interfaces : pada bagian ini berfungsi sebagai artamuka untuk komunikasi seperti SPI, I2C, I2S, SDIO, UART, TWAI, ETH, RMT, PWM, Touch Sensor, DAC, ADC, Timers.
3. Bluetooth Link Controller dan Bluetooth Baseband : Pada bagian berfungsi menangani komunikasi Bluetooth. Bagian Bluetooth Link Controller bertugas menangani koneksi dan pengaturan tingkat rendah Bluetooth. Bluetooth Baseband berfungsi untuk memproses data bluetooth, termasuk pengkodean dan penguraian sinyal.
4. Wi-Fi MAC dan Wi-Fi Baseband : pada bagian ini berfungsi

mengelola koneksi WI-FI. Bagian Wi-Fi MAC (Media Access Control) berfungsi mengatur protokol akses jaringan. Wi-Fi Baseband berfungsi mengelola sinyal radio Wi-Fi, termasuk modulasi dan demodulasi.

5. RF (Radio Frequency) :pada bagian ini memiliki fungsi untuk transmisi dan penerimaan sinyal RF.
6. Cryptographic Hardware Acceleration :bagian ini memilki fungsi untuk melakukan enkripsi dan dekripsi untuk meningkatkan keamanan data.
7. RTC (Real-Time Clock) : pada bagian ini menangani fungsi yang melibatkan waktu dan pengoperasian daya rendah.
- 8.

2.2.5.2. Konvigurasi PIN Mikrokontroler ESP 32 DEVKIT V1

Pada board ESP32 DEVKIT V1 terdapat 30 pin, 26 pin sebagai GPIO (General Purpose Input Output) yang berfungsi untuk mendukung berbagai kebutuhan dalam proyek elektronika maupun Internet of Things (IoT). Berikut fungsi masing masing pin pada board ESP32 DEVKIT V1.

Tabel 2. 1 Konfigurasi Pin ESP32 DevKit V1

Pin	GPIO	Fungsi Utama	Fungsi Alternatif
EN	-	Enable Chip	-
VIN	-	Tegangan Input (5V-12V)	-
GND	-	Ground	-
3.3V	-	Output Tegangan 3.3V	-
IO36	GPIO36	ADC1_CH0	Sensor_VP
IO39	GPIO39	ADC1_CH3	Sensor_VN
IO34	GPIO34	ADC1_CH6	Input Only
IO35	GPIO35	ADC1_CH7	Input Only
IO32	GPIO32	ADC1_CH4, Touch9	-
IO33	GPIO33	ADC1_CH5, Touch8	-
IO25	GPIO25	ADC2_CH8, DAC1	-
IO26	GPIO26	ADC2_CH9, DAC2	-
IO27	GPIO27	ADC2_CH7, Touch7	-

Pin	GPIO	Fungsi Utama	Fungsi Alternatif
IO14	GPIO14	ADC2_CH6, Touch6	HSPI_CLK
IO12	GPIO12	ADC2_CH5, Touch5	HSPI_MISO
IO13	GPIO13	ADC2_CH4, Touch4	HSPI_MOSI
IO15	GPIO15	ADC2_CH3, Touch3	HSPI_CS0
IO2	GPIO2	ADC2_CH2, Touch2	-
IO0	GPIO0	ADC2_CH1, Touch1	Mode Boot
IO4	GPIO4	ADC2_CH0, Touch0	HSPI_CS1
IO16	GPIO16	GPIO Umum	ULP_WAKE
IO17	GPIO17	GPIO Umum	-
IO5	GPIO5	GPIO Umum	VSPI_CS0
IO18	GPIO18	GPIO Umum	VSPI_CLK
IO19	GPIO19	GPIO Umum	VSPI_MISO
IO21	GPIO21	GPIO Umum	I2C SDA
IO22	GPIO22	GPIO Umum	I2C SCL
IO23	GPIO23	GPIO Umum	VSPI_MOSI
IO1	GPIO1	UART TX0	Debug Serial Output
IO3	GPIO3	UART RX0	Debug Serial Input

2.2.6. Power Supply SMPS

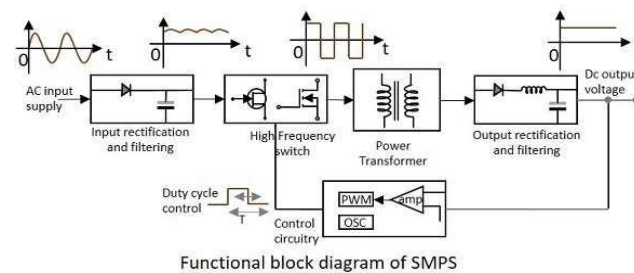


Gambar 2. 9 Switch Mode Power Supply (SMPS)

Switch Mode Power Supply (SMPS) merupakan jenis catu daya yang dirancang untuk mengubah tegangan AC 220 V dari jaringan listrik PLN menjadi tegangan DC. Tegangan DC yang dihasilkan terjadi karena adanya proses switch ON dan OFF pada frekuensi tinggi dengan rangkaian osilator dan transformator frekuensi tinggi sehingga dapat menghasilkan perubahan arus AC. Penggunaan power supply ini memiliki efisiensi yang lebih besar

karena proses switching transistor daya sedikit berkurang. Dalam perancangan Tugas Akhir ini, digunakan SMPS dengan spesifikasi keluaran 5 Volt dan arus 5 Ampere.

Secara sistem kerja, power supply SMPS memiliki diagram blok sebagai berikut:



Gambar 2. 10 Diagram Blok Rangkaian SMPS

Pada gambar 2.6 menunjukkan bahwa power supply SMPS ini memiliki bagian – bagian dasar yaitu[13]:

1. Bagian Penyearah

Bagian penyearah bekerja untuk menyearahkan tegangan input AC bergelombang sinusoidal menjadi tegangan DC menggunakan komponen diode bridge untuk penyearah dan kapasitor elektrolit (elco) sebagai filter untuk membuang sisa riak tegangan setelah melalui diode bridge.

2. Bagian Pencacah

Bagian pencacah merupakan bagian power switching yang digunakan untuk mencacah tegangan DC dengan power switch ON dan OFF sehingga dapat menghasilkan tegangan pulsa – pulsa DC berfrekuensi tinggi.

3. SMPS Controller Driver

SMPS controller driver digunakan sebagai pembangkit pulsa PWM (pulsed with modulation) yang berisikan rangkaian osilator.

4. Trafo Switching

Trafo switching digunakan untuk mengatur output tegangan dari tegangan DC yang telah dicacah.

5. Penyearah dan Filtering

Penyearah dan filtering digunakan untuk menyearahkan kembali tegangan dari trafo switching karena tegangan tersebut masih berupa pulsa – pulsa frekuensi tinggi.

6. Loop Umpan Balik

Loop umpan balik digunakan untuk menstabilkan tegangan, di mana rangkaian loop umpan balik dari tegangan keluaran ke bagian primer sekaligus digunakan untuk mengendalikan PWM.

7. Rangkaian Komparator

Rangkaian komparator berfungsi sebagai pendeteksi jika ada perubahan tegangan keluaran.

2.2.7. LoRa E220



Gambar 2. 11 LoRa E220-900T22D

Gambar berikut memperlihatkan bentuk fisik modul LoRa E220-900T22D. LoRa (Long Range) merupakan salah satu teknologi modulasi nirkabel yang dirancang untuk memungkinkan pengiriman data pada jarak yang sangat jauh dengan konsumsi daya yang rendah. Saat ini, teknologi LoRa semakin populer dan banyak diimplementasikan dalam berbagai aplikasi, khususnya pada sistem berbasis Internet of Things (IoT) serta jaringan sensor nirkabel atau Wireless Sensor Network (WSN). Keunggulan LoRa terletak pada kemampuannya menjangkau area yang luas, sehingga menjadi solusi ideal untuk komunikasi perangkat yang tersebar di lokasi terpencil atau sulit dijangkau[14]. Berikut dibawah ini adalah spesifikasi dari LoRa.

Tabel 2. 2 Datasheet Module LoRa E220-900T22D

No.	Name	Direction	Function
1	M0	Input (weak pull-up)	Work with M1 to decide 4 working modes of module (not suspended, if not used, could be grounded).
2	M1	Input (weak pull-up)	Work with M0 to decide 4 working modes of module (not suspended, if not used, could be grounded).
3	RXD	Input	TTL UART inputs, connects to external TXD output pin.
4	TXD	Output	TTL UART outputs, connects to external RXD input pin.
5	AUX	Output	Used to indicate the working status of the module; the user wakes up the external MCU, and outputs low level during power-on self-check initialization; (can be left floating)
6	VCC	Input	Voltage range: 3.0~5.5V DC
7	GND	Input	Ground
8	Fixed hole	-	Fixed hole
9	Fixed hole	-	Fixed hole
10	Fixed hole	-	Fixed hole

2.2.8. Antena



Gambar 2. 12 Antena LoRa

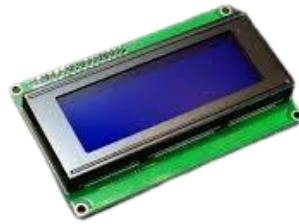
Antena merupakan komponen penting dalam sistem komunikasi nirkabel yang berfungsi sebagai penghubung antara sinyal listrik dan gelombang elektromagnetik yang merambat di udara. Dalam sistem transmisi data seperti LoRa (Long Range), antena berperan sebagai elemen transduser, yaitu mengubah sinyal listrik dari rangkaian pemancar menjadi gelombang elektromagnetik saat proses pengiriman, serta mengubah kembali gelombang elektromagnetik menjadi sinyal listrik saat proses penerimaan. Dengan kata lain, antena menjadi jembatan utama antara dunia elektronik dan ruang bebas (free space) untuk memungkinkan proses komunikasi dua arah.

Kinerja antenna sangat dipengaruhi oleh beberapa parameter utama seperti frekuensi kerja, gain, directivity, VSWR (Voltage Standing Wave Ratio), dan bandwidth. Parameter-parameter tersebut menentukan sejauh mana antenna mampu memancarkan atau menerima sinyal secara efisien dan efektif. Pemilihan jenis antenna yang tepat juga menjadi aspek penting dalam perancangan sistem komunikasi nirkabel. Misalnya, pada sistem komunikasi LoRa yang bekerja pada frekuensi 915 MHz atau 433 MHz, digunakan antenna jenis monopole atau helical yang memiliki karakteristik omnidireksional, sehingga mampu menjangkau area yang luas dan mendukung transmisi jarak menengah dengan daya rendah.

Dari segi prinsip kerja, antenna memanfaatkan fenomena radiasi elektromagnetik. Ketika arus bolak-balik mengalir melalui elemen konduktor antenna, medan listrik dan medan magnet terbentuk dan saling tegak lurus, menghasilkan gelombang elektromagnetik yang dapat merambat ke ruang bebas. Proses ini bersifat timbal balik (reciprocal), artinya antenna yang baik untuk memancarkan sinyal juga baik untuk menerima sinyal.

Dalam sistem komunikasi berbasis LoRa yang digunakan pada proyek rancang bangun peringatan dini pergerakan tanah longsor berbasis mikrokontroler ESP32, antenna memiliki fungsi vital untuk memastikan sinyal dapat dikirimkan dari node sensor ke node penerima dengan stabil meskipun berada di medan perbukitan atau wilayah dengan hambatan fisik. Pemilihan antenna yang tepat, seperti antenna helical atau monopole, menjadi kunci untuk memperoleh jangkauan komunikasi yang optimal tanpa membutuhkan daya transmisi besar. Dengan efisiensi tinggi dan konstruksi sederhana, antenna ini cocok untuk aplikasi lapangan yang bersifat mandiri (stand-alone system).

2.2.9. LCD I2C



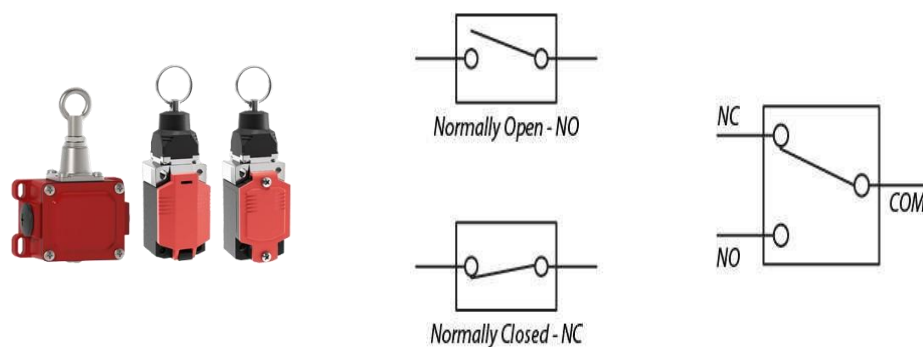
Gambar 2. 13 LCD I2C

LCD I2C adalah modul tampilan berbasis Liquid Crystal Display (LCD) yang dilengkapi antarmuka I2C (Inter-Integrated Circuit) sehingga komunikasi antara LCD dan mikrokontroler hanya membutuhkan dua jalur, yaitu SDA (data) dan SCL (clock). Prinsip kerjanya adalah mikrokontroler mengirim data melalui protokol I2C menuju IC expander (umumnya PCF8574), yang kemudian meneruskan sinyal ke pin-pin LCD (RS, E, dan data) untuk menampilkan karakter pada layar. Penggunaan antarmuka I2C membuat koneksi lebih sederhana dan hemat pin I/O, sehingga sangat sesuai untuk sistem berbasis ESP32 yang menggunakan banyak sensor dan modul komunikasi seperti LoRa.

Dalam rancang bangun pendeteksi tanah longsor berbasis pull switch, ESP32, dan LoRa, LCD I2C berfungsi sebagai media tampilan informasi status alat, seperti kondisi saklar tarik, ID node, dan pesan peringatan bahaya secara real-time. Tampilan ini mempermudah operator memantau kondisi tanpa harus mengakses aplikasi, sekaligus memberikan peringatan lokal ketika potensi longsor terdeteksi. Selain itu, LCD juga dapat menampilkan koordinat singkat untuk membantu identifikasi lokasi perangkat.

2.2.10. Saklar Tarik (*Pull Switch*)

Sakelar adalah komponen yang digunakan untuk memutuskan atau menghubungkan arus listrik dalam suatu rangkaian, biasanya terdiri dari dua bilah logam yang dapat bertekanan atau terpisah, tergantung kondisi sirkuit. Untuk memastikan keandalan dan ketahanan jangka panjang, kontak sakelar dibuat dari material yang tahan akan korosi. Sakelar batas (limit switch) merupakan tipe sakelar elektromekanik yang memiliki aktuator fisik; posisi kontak akan berpindah dari Normally Open (NO) ke Normally Closed (NC) atau sebaliknya saat aktuator tersebut didorong atau ditekan oleh objek tertentu. Sakelar ini hanya memiliki dua kondisi logika yaitu ON atau OFF.



Gambar 2. 14 Cara Kerja Saklar Tarik

Cara kerja sakelar pembatas diperlihatkan seperti gambar diatas. Dalam keadaan tidak aktif (tuas rol tidak tertekan), kontak N/O dalam keadaan terbuka dan kontak N/C dalam keadaan tertutup. Jika rol tertekan

dengan tekanan lebih besar daripada gaya pegas penahan tekanan (1), maka pengungkit (3) menarik plat penghubung kontak (8) ke atas sehingga kontak N/O terhubung dan kontak N/C terbuka. Bila tekanan pada rol hilang, pegas penahan tekanan (1) kembali ke posisi semula dan pegas penahan kontak (7) menekan plat penghubung kontak (8) ke bawah, akibatnya posisi kontak kembali seperti semula.

2.2.11. Relay

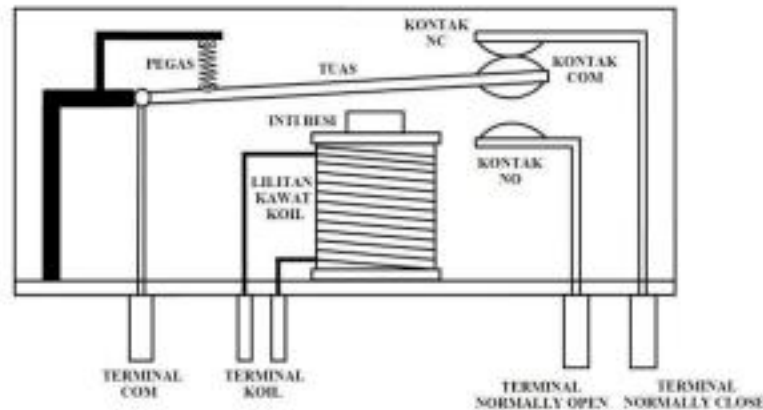


Gambar 2. 15 Relay

Relay merupakan komponen elektromekanik yang berfungsi sebagai saklar otomatis untuk menghubungkan atau memutus aliran listrik pada beban yang memerlukan arus dan tegangan lebih besar. Relay banyak digunakan dalam sistem kontrol karena memungkinkan perangkat berdaya rendah seperti mikrokontroler mengendalikan perangkat berdaya tinggi dengan lebih aman dan terisolasi. Dalam sistem peringatan dini, relay sangat penting karena mampu mengaktifkan aktuator seperti sirine dan lampu rotator secara otomatis ketika kondisi bahaya terdeteksi.

Prinsip kerja relay adalah memanfaatkan gaya elektromagnetik dari kumparan (coil) untuk menggerakkan kontak saklar di dalamnya. Ketika coil relay diberi arus listrik, coil akan membentuk medan magnet yang menarik armature (tuas besi) sehingga posisi kontak berubah dari kondisi awalnya. Relay umumnya memiliki terminal COM (Common), NO (Normally Open), dan NC (Normally Closed). Saat relay belum aktif, COM biasanya terhubung ke NC, sedangkan saat coil aktif, COM berpindah terhubung ke NO, sehingga arus listrik dapat mengalir menuju beban dan beban tersebut menyala. Proses

ini membuat relay bekerja seperti saklar manual, namun dioperasikan oleh sinyal listrik.

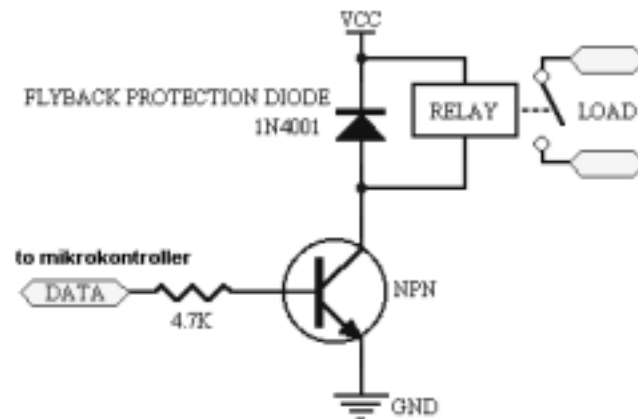


Gambar 2. 16 Struktur Relay

Gambar 2.16 merupakan struktur sederhana pada suatu relay dimana komponen tersebut terdiri dari:

1. Lilitan, berfungsi sebagai medan magnet buatan yang bersifat sementara. Ketika lilitan diberi arus listrik maka akan timbul medan magnet pada inti besi.
2. Kontaktor, berfungsi sebagai terminal kontak dari tuas yang bergerak, dalam konstruksi relay memiliki 2 titik kontak yaitu Normally Close (NC) dan Normally Open (NO).
3. Tuas merupakan bahan logam yang dapat bergerak naik dan turun, Tuas akan turun ketika tertarik medan elektromagnet dan akan kembali jika medan elektromagnet hilang.
4. Pegas, berfungsi untuk menarik tuas. ketika sifat elektromagnet hilang maka tuas akan tertarik menuju terminal NC.

Dalam suatu rangkaian relay biasanya tidak bekerja sendiri, dalam kontrol relay umumnya relay diatur oleh rangkaian pengendali relay atau driver relay.



Gambar 2. 17 Rangkaian Driver Relay

Gambar 2.17 adalah rangkaian driver relay yang dikendalikan oleh mikrokontroler. rangkaian ini berfungsi untuk mengaktifkan atau menonaktifkan relay menggunakan sinyal logika tegangan rendah dari mikrokontroler. Berikut ini penjelasan fungsi dari masing-masing komponen:

5. Mikrokontroler (DATA), berfungsi sebagai masukan sinyal logika digital biasanya 3.3V atau 5V ke basis transistor melalui resistor pembatas arus.
6. Resistor berfungsi sebagai pembatas arus yang masuk ke basis transistor. Hal ini mencegah arus berlebih yang dapat merusak transistor atau pin mikrokontroler.
7. Transistor NPN, berfungsi sebagai saklar elektronik yang mengatur relay. Ketika basis transistor menerima arus dari mikrokontroler, transistor akan berada dalam kondisi aktif sehingga arus dapat mengalir dari kolektor ke emitor dan mengaktifkan relay.
8. Relay, merupakan saklar elektromagnetik yang digunakan untuk mengontrol beban dengan arus atau tegangan yang lebih tinggi.
9. Dioda, berfungsi untuk melindungi transistor dari lonjakan tegangan induktif saat arus relay diputus. Dioda ini dirangkai secara parallel dengan lilitan relay.

Dalam sistem rancang bangun pendeteksi pergerakan tanah longsor berbasis ESP32 dan LoRa, relay berperan sebagai penghubung antara sistem kontrol (ESP32) dengan output peringatan (sirine dan rotator). Ketika pull switch mendeteksi pergerakan tanah dan ESP32 receiver menerima status bahaya dari LoRa, ESP32 akan mengirim sinyal logika ke relay sehingga relay aktif dan menyalakan sirine serta lampu rotator. Keunggulan penggunaan relay pada sistem ini adalah mampu mengendalikan beban berdaya besar tanpa membebani pin output ESP32, sehingga sistem menjadi lebih aman, stabil, dan efektif dalam memberikan peringatan lokal secara cepat tanpa bergantung pada jaringan internet.

2.2.12. Sirine



Gambar 2. 18 Sirine

Sirine merupakan perangkat peringatan akustik yang berfungsi memberikan sinyal bahaya melalui suara keras yang mampu menjangkau area luas. Alat ini sering digunakan dalam sistem peringatan dini bencana karena dapat menyampaikan tanda bahaya secara cepat, jelas, dan efektif kepada masyarakat di sekitarnya.

Prinsip kerja sirine adalah mengubah energi listrik menjadi energi suara menggunakan mekanisme elektromekanik atau elektronik. Pada jenis elektronik, sinyal listrik diperkuat melalui rangkaian penguat (amplifier) dan kemudian dikonversi oleh pengeras suara (speaker) atau buzzer menjadi gelombang suara dengan frekuensi tertentu. Suara yang dihasilkan memiliki

intensitas tinggi dan pola frekuensi khas agar mudah dikenali sebagai sinyal peringatan.

Dalam sistem rancang bangun pendeteksi tanah longsor berbasis ESP32 dan LoRa, sirine berperan sebagai aktuator yang diaktifkan secara otomatis ketika sensor atau pull switch mendeteksi adanya potensi bahaya. Fungsi utamanya adalah memberikan peringatan lokal secara langsung agar masyarakat dapat segera melakukan langkah antisipatif atau evakuasi sebelum informasi diteruskan melalui jaringan komunikasi. Keunggulan utama penggunaan sirine dalam sistem ini yaitu kemampuannya memberikan notifikasi instan tanpa bergantung pada jaringan internet atau sinyal telekomunikasi, sehingga tetap dapat berfungsi optimal di daerah rawan bencana dengan kondisi jaringan terbatas.

2.2.13. Lampu Rotator



Gambar 2. 19 Lampu Rotator

Lampu rotator merupakan alat peringatan visual yang dirancang untuk memancarkan cahaya yang berkedip atau berputar sehingga mampu menarik perhatian masyarakat pada saat terjadi keadaan darurat. Cara kerjanya mengandalkan suplai listrik untuk menyalakan lampu, sedangkan gerakan berputarnya muncul berkat motor penggerak atau pantulan cahaya dari reflektor yang bergerak. Saat ini, sebagian besar lampu rotator telah

menggunakan teknologi LED karena konsumsi dayanya rendah, usia pakainya panjang, serta menghasilkan cahaya yang sangat terang.

Dalam sistem pendeteksi tanah longsor berbasis pull switch, ESP32, dan LoRa, lampu rotator berperan sebagai penanda visual utama yang memberikan peringatan langsung kepada warga ketika sistem mendeteksi adanya ancaman longsor. Perangkat ini dikontrol oleh ESP32 melalui driver seperti relay, sehingga dapat bekerja bersama sirine sebagai peringatan ganda. Keberadaan lampu rotator menjadi sangat membantu terutama ketika suara sirine tidak dapat didengar dengan jelas karena jarak yang terlalu jauh atau kondisi lingkungan yang ramai. Oleh karena itu, penggunaan lampu rotator mampu meningkatkan keefektifan sistem peringatan dini melalui kombinasi sinyal cahaya dan suara yang mudah dikenali masyarakat.

2.2.14. Arduino IDE



Gambar 2. 20 Arduino IDE

Arduino IDE merupakan perangkat lunak pengembangan terintegrasi yang digunakan sebagai sarana untuk menulis, mengedit, mengompilasi, dan mengunggah program ke papan mikrokontroler berbasis Arduino maupun platform lain seperti ESP32. Lingkungan pengembangan ini menyediakan antarmuka yang sederhana dan mudah dipahami, sehingga memudahkan pengguna dalam proses pemrograman, mulai dari penulisan kode hingga

proses pengujian. Arduino IDE mendukung bahasa pemrograman berbasis C/C++ serta dilengkapi dengan berbagai library siap pakai yang dapat digunakan untuk mengakses fitur perangkat keras seperti sensor, modul komunikasi, dan aktuator. Selain itu, Arduino IDE bersifat lintas platform karena dapat dijalankan pada berbagai sistem operasi, sehingga banyak digunakan dalam pengembangan sistem tertanam, prototipe perangkat elektronik, serta penelitian dan pembelajaran di bidang mikrokontroler.