

Design and Construction of an Internet of Things-Based Landslide Early Detection System in Landslide-Prone Areas

Sidik Prasetyo^{1*}, Rudi Susanto², Pramono³

^{1,3} Teknik Informatika, Fakultas Ilmu Komputer, Universitas Duta Bangsa Surakarta, Surakarta, 57154, Indonesia

² Fakultas Ilmu Komputer, Universitas Duta Bangsa Surakarta, Surakarta, 57154, Indonesia

Informasi Artikel

Diterima : 3 Mei 2025
Revisi : 10 Mei 2025
Publikasi : 20 Juni 2025

Kata Kunci:

ESP32
IoT
Longsor
Pemantauan Lingkungan
Sistem Peringatan Dini

ABSTRAK

Longsor merupakan salah satu bencana alam yang sering terjadi di Indonesia karena kondisi geografis yang didominasi wilayah pegunungan dan perbukitan, ditambah dengan curah hujan yang tinggi. Bencana longsor ini dapat menimbulkan kerugian besar serta korban jiwa dikarenakan belum adanya sistem yang dapat memberikan peringatan secara real-time sebagai tindakan preventif. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan membangun sistem deteksi dini longsor berbasis Internet of Things (IoT) yang mampu mendeteksi kondisi lingkungan yang berpotensi terjadinya longsor secara real-time. Sistem menggunakan mikrokontroler ESP32 sebagai pusat kendali yang terhubung dengan sensor hujan (YL-83), sensor kemiringan (MPU6050), dan sensor kelembaban tanah (Capacitive Soil Moisture). Data dari sensor dikirimkan melalui RESTful API dan WebSocket dengan koneksi WiFi ke website monitoring. Sistem juga dilengkapi dengan buzzer dan LED RGB sebagai indikator peringatan apabila terdeteksi kondisi lingkungan yang berpotensi terjadinya longsor. Untuk sumber daya, digunakan baterai 18650 yang dapat diisi ulang dan dikombinasikan dengan modul Step-Up dan Module Charger J5019 untuk menjaga kestabilan tegangan. Hasil pengujian yang dilakukan pada lingkungan uji didapat 40 data percobaan dengan pembacaan sensor yang stabil dan seluruh komponen dapat berfungsi dengan baik serta dapat menampilkan data pada website monitoring. Sistem ini menawarkan solusi praktis untuk mendukung mitigasi bencana di wilayah rawan longsor.

ABSTRACT

Landslides are one of the natural disasters that often occur in Indonesia due to the geographical conditions dominated by mountainous and hilly areas, coupled with high rainfall. Landslides can cause huge losses and casualties due to the absence of a system that can provide real-time warnings as a preventive measure. This research aims to design and build an Internet of Things (IoT)-based landslide early detection system that is able to detect environmental conditions that have the potential for landslides in real-time. The system uses an ESP32 microcontroller as the control center connected with a rain sensor (YL-83), a tilt sensor (MPU6050), and a soil moisture sensor (Capacitive Soil Moisture). Data from the sensors is sent via RESTful API and WebSocket with WiFi connection to the monitoring website. The system is also equipped with a buzzer and RGB LED as a warning indicator if environmental conditions are detected that have the potential for landslides. For a power source, a rechargeable 18650 battery is used and combined with a Step-Up and Charger Module J5019 to maintain voltage stability. The test results conducted in the test environment obtained 40 experimental data with stable sensor readings, and all components can function properly and can display data on the monitoring website. This system offers a practical solution to support disaster mitigation in landslide-prone areas.

This is an open-access article under the [CC BY-SA](#) license



***Penulis Koresponden**

Email: 210103142@mhs.udb.ac.id

Cara sitasi IEEE:

S. Prasetyo, R. Susanto & Pramono "Design and Construction of an Internet of Things-Based Landslide Early Detection System in Landslide-Prone Areas" *Journal of Artificial Intelligence and Software Engineering (J-AISE)*, vol. 5, no. 2, pp. 458-474, Juni 2025. doi: 10.30811/jaise.v5i2.6847

1. PENDAHULUAN

Indonesia merupakan salah satu negara dengan tingkat kerawanan bencana alam yang tinggi, salah satunya adalah bencana tanah longsor. Faktor geografis negara yang didominasi oleh wilayah pegunungan dan perbukitan, ditambah dengan curah hujan yang tinggi, menyebabkan banyak daerah di Indonesia sangat rentan terhadap bencana longsor [1]. Berdasarkan data Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB), dalam lima tahun terakhir telah terjadi ratusan kejadian tanah longsor yang menimbulkan kerugian material serta korban jiwa dalam jumlah yang signifikan.

Selain kondisi geografis, perubahan iklim global dan intensitas hujan ekstrem juga menjadi salah satu pemicu utama terjadinya longsor, terutama di daerah dengan kemiringan lereng yang curam. Aktivitas manusia seperti penebangan liar, pembukaan lahan, dan pembangunan tanpa memperhatikan aspek konservasi lingkungan turut memperparah kondisi ini [2].

Sistem peringatan dini tanah longsor yang ada saat ini masih menghadapi berbagai keterbatasan, terutama dalam aspek akurasi, kecepatan penyampaian informasi, dan keterbatasan jangkauan infrastruktur. Banyak sistem peringatan dini tanah longsor yang masih bersifat konvensional sehingga belum mampu memberikan informasi secara *real-time*. Oleh karena itu, sering kali terjadi keterlambatan dalam proses evakuasi [3]. Di sisi lain, daerah-daerah rawan longsor umumnya memiliki keterbatasan akses terhadap listrik dan jaringan komunikasi, yang semakin mempersulit penerapan sistem pemantauan yang efektif [4].

Untuk mengatasi permasalahan tersebut, diperlukan pengembangan sebuah sistem peringatan dini berbasis *Internet of Things (IoT)* yang dapat mendeteksi kondisi lingkungan yang berpotensi terjadinya longsor secara *real-time*. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan membangun sistem deteksi dini longsor berbasis *Internet of Things (IoT)* dengan menggunakan ESP32 sebagai pusat kendali dan integrasi sensor kemiringan (MPU6050) yang digunakan untuk mendeteksi kemiringan serta pergerakan tanah, sensor hujan (YL-83) yang digunakan untuk mengukur curah hujan, dan sensor kelembaban tanah (*Capacitive Soil Moisture*) untuk mengukur kadar air dalam tanah dengan pendekatan algoritma *Threshold-based Detection*. Sistem ini dikembangkan menggunakan metode *Research and Development (R&D)* dengan model *ADDIE (Analysis, Design, Development, Implementation, Evaluation)* untuk menjamin pengembangan yang sistematis dan terstruktur. Melalui teknologi *Internet of Things (IoT)*, data dapat dikirimkan secara langsung ke pusat pemantauan dan dapat diakses melalui platform digital, sehingga memungkinkan untuk dilakukan tindakan preventif sebelum terjadi bencana longsor.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Penelitian Terkait

Sudah terdapat beberapa penelitian sebelumnya yang telah mengembangkan sistem deteksi tanah longsor berbasis teknologi *Internet of Things (IoT)*. Dalam penelitian Rosa Mega Utama dkk (2022) mereka merancang alat deteksi tanah longsor dengan menggunakan mikrokontroler NodeMCU ESP8266 dan sensor MPU6050 untuk memantau percepatan dan kemiringan tanah secara *real-time*. Sistem ini berhasil memberikan informasi status tanah (aman, waspada, dan peringatan) dengan tingkat kesalahan rata-rata sebesar 0,419%. Data dikirimkan dan ditampilkan melalui aplikasi mobile berbasis Firebase dan MIT App Inventor, meskipun terdapat jeda transmisi sekitar tiga detik [5].

Penelitian lain yang dilakukan oleh Tedy Jonedo Sembiring dkk (2023) melakukan pengembangan sistem pendeteksi longsor berbasis *Internet of Things (IoT)* dengan metode penginderaan berat. Sistem ini

mengintegrasikan beberapa sensor seperti sensor kelembaban tanah, sensor getaran, dan sensor photodiode. Informasi peringatan dikirimkan secara *real-time* melalui aplikasi Telegram berdasarkan ambang batas tertentu. Ketika indikator seperti kelembaban tinggi atau getaran terdeteksi, sistem secara otomatis mengirimkan peringatan seperti “SIAGA”, “BAHAYA”, hingga “TERJADI LONGSOR”, untuk meningkatkan kewaspadaan masyarakat [6].

Danang Setiya Raharya dkk (2024) memperkenalkan sistem DinSoR (Deteksi dan Monitoring Longsor *Real-time*), sebuah sistem peringatan dini longsor berbasis *Internet of Things (IoT)* yang mengintegrasikan sensor ultrasonik dan sensor kelembaban tanah. Sistem ini dikembangkan untuk meningkatkan efektivitas dalam pemantauan longsor di wilayah rawan bencana. Sistem peringatan dikirimkan melalui aplikasi WhatsApp ketika sistem mendeteksi kondisi kritis berdasarkan kondisi lingkungan yang dideteksi oleh sensor [3].

Ketiga penelitian tersebut menunjukkan bahwa terdapat potensi besar dalam penerapan *Internet of Things (IoT)* untuk sistem peringatan dini tanah longsor. Namun, dari sistem yang sudah ada masih terdapat beberapa tantangan seperti keterbatasan dalam integrasi *multi-sensor*, keakuratan dalam pendeteksian berdasarkan ambang batas, serta keefektifan dalam pengiriman data secara *real-time* terutama dalam wilayah terpencil yang minim infrastruktur. Penelitian ini mengembangkan sistem dengan mengintegrasikan sensor kelembaban tanah, sensor hujan, dan sensor kemiringan menggunakan pendekatan *Threshold-based Detection* yang lebih adaptif dan modular. Berbeda dengan sistem DinSoR yang hanya memanfaatkan dua sensor dan sistem yang berbasis ESP8266, sistem ini menggunakan ESP32 dan tiga sensor dan beberapa komponen lain yang digunakan sebagai peringatan lokal seperti *buzzer* dan *LED*. Selain itu, sistem ini dirancang memiliki dua sumber daya dimana terdapat sumber daya langsung dari adaptor dan juga dari baterai, jadi ketika tidak ada listrik yang terhubung melalui adaptor maka sistem ini akan menggunakan baterai sebagai sumber daya. Kemudahan dalam *deployment* juga memungkinkan sistem ini dapat dipasang lebih cepat dan fleksibel. Pendekatan pengembangan dengan menggunakan model *ADDIE (Analysis, Design, Development, Implementation, Evaluation)* juga diterapkan untuk menjamin kualitas dan keandalan sistem secara menyeluruh.

2.2. Landasan Teori

2.2.1. Longsor

Longsor merupakan suatu peristiwa geologi yang disebabkan oleh adanya pergerakan massa batuan maupun tanah. Secara garis besar longsor disebabkan oleh lokasi dan kondisi geografis yang berupa pegunungan dan lereng dengan curah hujan yang tinggi sehingga menyebabkan tanah menjadi tidak stabil [5].

2.2.2. Internet of Things (IoT)

Internet of Things (IoT) merupakan konsep teknologi yang memungkinkan objek fisik (*things*) untuk saling terhubung dan berkomunikasi melalui jaringan internet. Objek-objek tersebut dilengkapi dengan sensor, perangkat lunak, serta teknologi pendukung lainnya yang memungkinkan pengumpulan, pertukaran, dan analisis data secara otomatis tanpa intervensi manusia secara langsung [7]. Teknologi ini memfasilitasi komunikasi antar *device* melalui kabel ataupun nirkabel dan juga memungkinkan perangkat dikenali secara unik dan mampu mengirimkan informasi lingkungan melalui sistem digital yang saling terintegrasi [8]. Dengan demikian, IoT membuka peluang besar dalam otomasi sistem, pengambilan keputusan berbasis data *real-time*, serta peningkatan efisiensi dalam berbagai bidang, termasuk sistem peringatan dini bencana.

2.2.3. Modul ESP32

ESP32 merupakan mikrokontroler generasi terbaru yang dikembangkan oleh Espressif Systems sebagai penerus dari ESP8266. Mikrokontroler ini dirancang dengan efisiensi biaya dan konsumsi daya yang rendah, serta telah dilengkapi dengan modul WiFi dan Bluetooth dual-mode yang terintegrasi, menjadikannya sangat ideal untuk diaplikasikan dalam sistem berbasis *Internet of Things (IoT)* [9]. Kemampuan konektivitas nirkabel ini memungkinkan ESP32 untuk bertindak sebagai perangkat independen maupun sebagai komponen pendukung dalam jaringan sistem yang lebih besar. ESP32 menawarkan fleksibilitas dan kapabilitas tinggi dalam mendukung pengembangan berbagai aplikasi berbasis *Internet of Things (IoT)*, termasuk sistem monitoring dan deteksi bencana secara *real-time*.

2.2.4. Sensor Kelembaban Tanah

Sensor kelembaban tanah merupakan perangkat yang digunakan untuk mendeteksi tingkat kelembaban atau kadar air yang terkandung di dalam tanah. Prinsip kerja sensor ini didasarkan pada

sensitivitas konduktor terhadap muatan listrik yang dipengaruhi oleh kandungan air dalam media tanah [10]. Dalam penelitian ini, digunakan sensor kelembaban tanah tipe *Capacitive Soil Moisture*, yang beroperasi berdasarkan perubahan nilai kapasitansi akibat variasi kadar air di sekitar sensor. Sensor ini memanfaatkan dua pelat elektroda yang membentuk kapasitor, di mana tanah berfungsi sebagai medium dielektrik. Ketika kadar air tanah meningkat, konstanta dielektrik tanah juga meningkat, sehingga nilai kapasitansi mengalami perubahan. Perubahan kapasitansi ini selanjutnya dikonversi menjadi sinyal analog yang dapat dibaca oleh mikrokontroler untuk menentukan tingkat kelembaban tanah secara akurat.

2.2.5. *Sensor Hujan*

Sensor hujan merupakan perangkat yang bekerja berdasarkan perubahan resistansi pada permukaan pelat konduktornya akibat adanya tetesan air [11]. Sensor ini biasanya terdiri dari dua pelat tembaga yang disusun dalam bentuk kisi, menyerupai susunan sisir. Ketika permukaan sensor basah akibat air hujan, resistansi antara kedua pelat menurun, sehingga memungkinkan arus listrik mengalir lebih mudah. Sebaliknya, saat permukaan sensor kering, resistansinya meningkat secara signifikan [12]. Pada penelitian ini digunakan sensor hujan YL-83 yang dilengkapi dengan modul kontrol berbasis op-amp (seperti LM393) untuk mengubah sinyal resistif menjadi sinyal digital yang dapat dibaca oleh mikrokontroler.

2.2.6. *Sensor Kemiringan*

Sensor kemiringan digunakan untuk mendeteksi perubahan orientasi atau sudut kemiringan suatu objek. Penelitian ini menggunakan modul sensor MPU6050, yaitu sensor inersial yang mengintegrasikan akselerometer dan giroskop dalam satu chip. Akselerometer berfungsi untuk mengukur percepatan linear terhadap tiga sumbu (x, y, dan z), yang memungkinkan deteksi getaran dan posisi relatif suatu objek terhadap gaya gravitasi. Giroskop pada MPU6050 digunakan untuk mengukur kecepatan sudut (rotasi) terhadap sumbu-sumbu tersebut. Sensor ini dapat berkomunikasi dengan mikrokontroler melalui protokol I2C atau SPI, sehingga data akselerasi dan rotasi dapat diakses untuk analisis kemiringan dan deteksi gerakan [13].

2.2.7. *Buzzer*

Buzzer adalah komponen aktuator yang dapat mengubah sinyal listrik menjadi gelombang suara. Salah satu jenis *buzzer* yang umum digunakan dalam sistem peringatan adalah *buzzer piezoelektrik*, yang memiliki keunggulan dalam hal biaya, ukuran yang ringkas, serta kemudahan integrasi dalam sistem elektronik. *Buzzer* sering diaplikasikan dalam sistem alarm, peringatan bahaya, dan perangkat notifikasi lainnya karena kemampuannya menghasilkan suara yang cukup kuat sebagai penanda atau indikasi [14].

2.2.8. *LED RGB 140C05*

LED RGB 140C05 merupakan jenis dioda pemancar cahaya yang terdiri dari tiga komponen *LED* berwarna merah (*Red*), hijau (*Green*), dan biru (*Blue*) yang digabungkan dalam satu paket. Dengan mengatur intensitas dari masing-masing warna dasar tersebut, *LED* ini mampu menghasilkan spektrum warna yang luas. Karena fleksibilitas warnanya, *LED RGB* sering digunakan dalam aplikasi tampilan, pencahayaan dekoratif, serta sebagai indikator status dalam sistem elektronik [15].

2.2.9. *Baterai 18650*

Baterai 18650 merupakan jenis baterai *lithium-ion* berbentuk silinder dengan dimensi standar diameter 18 mm dan panjang 65 mm. Baterai ini banyak diaplikasikan pada berbagai perangkat elektronik seperti laptop, power bank, senter, serta sistem berbasis *Internet of Things (IoT)* dan robotika karena memiliki kapasitas energi yang tinggi, yakni berkisar antara 1500 hingga 3500 mAh dan tegangan nominal 3.7V [16]. Keunggulan baterai ini meliputi kemampuannya untuk diisi ulang (*rechargeable*), memiliki siklus hidup panjang, dan mampu memberikan arus besar yang dibutuhkan oleh perangkat elektronik berdaya tinggi. Namun demikian, baterai 18650 rentan terhadap kondisi *overcharge*, *over-discharge*, dan arus berlebih, sehingga umumnya dipadukan dengan sistem proteksi seperti *Battery Management System (BMS)* untuk menjaga keamanan dan stabilitas operasionalnya.

2.2.10. *Step Up J5019*

Step-up Converter J5019 adalah modul penguat tegangan sekaligus pengisi daya (*charger*) yang dirancang untuk menaikkan tegangan input antara 4.5V hingga 8V menjadi tegangan output yang dapat diatur hingga 27V, dengan arus maksimum 2A. Modul ini menggunakan teknik konversi *switching regulator*, yang menjadikannya lebih efisien dibandingkan regulator linier, karena menghasilkan panas yang lebih sedikit serta daya yang lebih stabil [17]. *Step Up J5019* dilengkapi potensiometer untuk pengaturan tegangan *output* secara manual dan sistem proteksi terhadap arus lebih dan panas berlebih, sehingga ideal digunakan

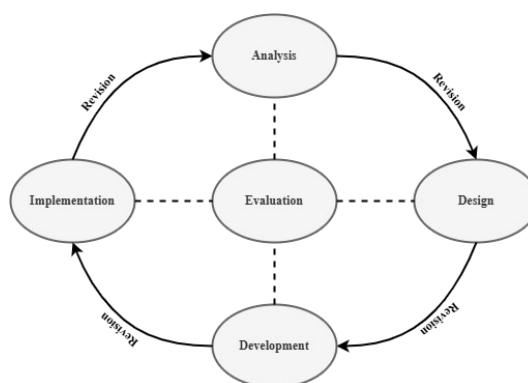
dalam proyek-proyek elektronik portabel seperti *Internet of Things (IoT)*, catu daya tenaga surya, dan *power bank*.

2.2.11. Sensor Arus dan Tegangan INA219

Sensor INA219 merupakan modul pengukuran arus, tegangan, dan daya berbasis antarmuka komunikasi I2C yang dirancang untuk memantau konsumsi daya suatu perangkat elektronik secara real-time. Sensor ini mampu mengukur arus hingga ± 3.2 A, tegangan hingga 26 V, dan menghitung daya (*watt*) secara otomatis. Dengan tingkat akurasi yang tinggi, INA219 banyak digunakan dalam aplikasi seperti pemantauan baterai, manajemen daya sistem tenaga surya, serta perangkat-perangkat *Internet of Things (IoT)* yang membutuhkan efisiensi konsumsi energi [17]. Sensor ini dapat beroperasi pada tegangan 3.3V atau 5V, sehingga kompatibel dengan berbagai jenis mikrokontroler termasuk Arduino, ESP8266, dan ESP32.

3. METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode *Research and Development (R&D)* dengan pendekatan model pengembangan *ADDIE (Analysis, Design, Development, Implementation, Evaluation)*. Model ini dipilih karena memberikan struktur sistematis dalam proses pengembangan, yang mencakup tahapan analisis kebutuhan, perancangan sistem, pengembangan produk, implementasi pada skenario nyata, serta evaluasi terhadap hasil pengembangan [18]. Berikut merupakan tahapan penelitian dengan *Research and Development (R&D)* dengan model pengembangan *ADDIE*:



Gambar 1. Metode Pengembangan Sistem

Pada tahap *Analysis* (analisis sistem), dilakukan identifikasi kebutuhan sistem yang akan dikembangkan, termasuk analisis spesifikasi perangkat keras dan perangkat lunak, serta perencanaan penempatan sistem di lingkungan yang sesuai. Selanjutnya, pada tahap *Design* (perancangan sistem), dilakukan perancangan arsitektur sistem secara keseluruhan, termasuk skematik hardware, desain basis data, perancangan antarmuka website, serta penyusunan diagram alir proses sistem. Tahap *Development* (pengembangan sistem) meliputi proses pembuatan rangkaian perangkat keras, pemrograman mikrokontroler, pembuatan aplikasi monitoring berbasis web, serta integrasi seluruh komponen sistem. Tahap berikutnya adalah *Implementation* (implementasi sistem), yaitu pemasangan sistem di lingkungan uji. Pada tahap ini dilakukan pengujian konektifitas antar perangkat, verifikasi pengiriman data dari sensor ke server, serta penyesuaian tampilan data pada *website monitoring*. Terakhir, pada tahap *Evaluation* (evaluasi sistem), dilakukan pengujian terhadap akurasi sensor, reliabilitas sistem, kemampuan sistem dalam melakukan pemantauan secara *real-time*, serta analisis terhadap kinerja sistem secara keseluruhan. Hasil pengujian ini didokumentasikan untuk menjadi dasar evaluasi dan pengembangan lebih lanjut.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Analisis Sistem

Sistem deteksi tanah longsor ini dibuat untuk mempermudah dalam pemantauan tanda-tanda bencana longsor dengan memperhatikan parameter lingkungan berupa kemiringan tanah, kelembaban tanah, dan curah hujan. Dalam perancangan sistem monitoring tanah longsor ini diperlukan beberapa alat dan bahan. Alat dan bahan dalam pembuatan sistem ini meliputi perangkat keras (*hardware*) dan perangkat lunak (*software*).

Perangkat keras yang digunakan dalam penelitian ini ditampilkan pada Tabel 1. Sistem ini dibangun

menggunakan modul ESP32 Wroom karena memiliki konektivitas WiFi dan memiliki tingkat efisiensi daya yang tinggi [19]. Sensor-sensor yang digunakan seperti sensor MPU6050 yang digunakan untuk mendeteksi pergerakan dan kemiringan tanah, sensor YL-83 yang digunakan untuk mengukur curah hujan, serta sensor *Capacitive Soil Moisture* yang digunakan untuk mengukur kadar air dalam tanah. Dalam sistem ini sumber daya diperoleh dari baterai 18650 dan diatur melalui sistem kelistrikan yang dilengkapi dengan modul *Step-Up* dan *Charger J5019*.

Seluruh komponen elektronik disusun diatas *PCB dot matrix double layer* untuk memastikan konektivitas antar komponen. Konektor, kabel jumper, dan pin *header* memudahkan dalam perakitan dan pemeliharaan sistem. Seluruh komponen disusun dalam *casing black box* untuk menjaga kerapian dan keamanan sirkuit.

Tabel 1. Kebutuhan Perangkat Keras

Hardware	Spesifikasi
Laptop	Intel® Core™ i5-11300H, 8 GB, 512 GB, Wifi
Kabel USB	Kabel USB type C
Mikrokontroler	ESP 32 Wroom
Sensor	MPU6050, YL-83, <i>Capacitive Soil Moisture</i> , INA219
Kabel Jumper	Female to Male, Female to Female
Wadah	Casing Black Box Elektronik
Baterai	Baterai 18650
Wadah Baterai	Baterai Holder X1
PCB	PCB Dot Matrix Thru Hole Double Layer
Saklar	Push button ON/OFF
Buzzer	Buzzer Speaker Aktive 3V
LED RGB	LED RGB 140C05
Step Up	Step Up + Module Charger J5019
Konektor	Konektor XH2.54 2 pin female dan male
Sekrup	Sekrup Box Elektronik
Pin Header	Pin Header Female Strip Single Row

Perangkat lunak yang digunakan dalam penelitian ini ditampilkan pada Tabel 2. Penggunaan *software* disesuaikan dengan kebutuhan pengembangan sistem, pemrograman mikrokontroler, desain antarmuka, dan komunikasi data.

Tabel 2. Kebutuhan Perangkat Lunak

Software	Spesifikasi
Sistem Operasi	Windows 11
Text Editor	Arduino IDE, Visual Studio Code
Desain	Figma, Fritzing
Antarmuka	Framework NextJS
Database	Supabase, Websocket
Browser	Microsoft Edge
Komunikasi	RestFul API, WiFi

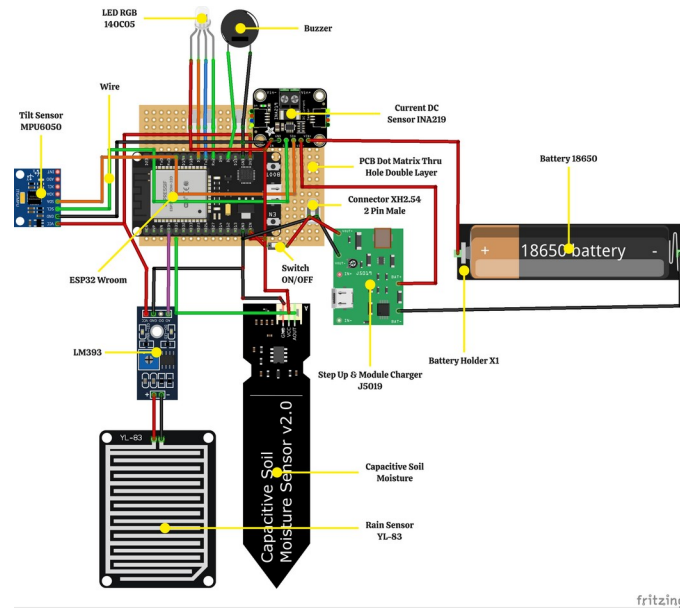
Sistem operasi Windows 11 digunakan sebagai lingkungan kerja utama karena mendukung semua perangkat lunak yang dibutuhkan. Arduino IDE digunakan untuk pemrograman mikrokontroler ESP32, sedangkan untuk Visual Studio Code digunakan untuk pengembangan antarmuka berbasis web dengan menggunakan framework NextJS.

Untuk desain antarmuka dan perancangan sirkuit, digunakan Figma dan Fritzing. Komunikasi data dilakukan dengan melalui RESTful API yang diakses melalui WiFi, serta pengolahan data disimpan dalam database supabase yang mendukung komunikasi *real-time* melalui WebSocket. Browser Microsoft Edge digunakan untuk pengujian dan menampilkan antarmuka hasil pengembangan secara langsung di perangkat lokal.

4.2. Perancangan Sistem

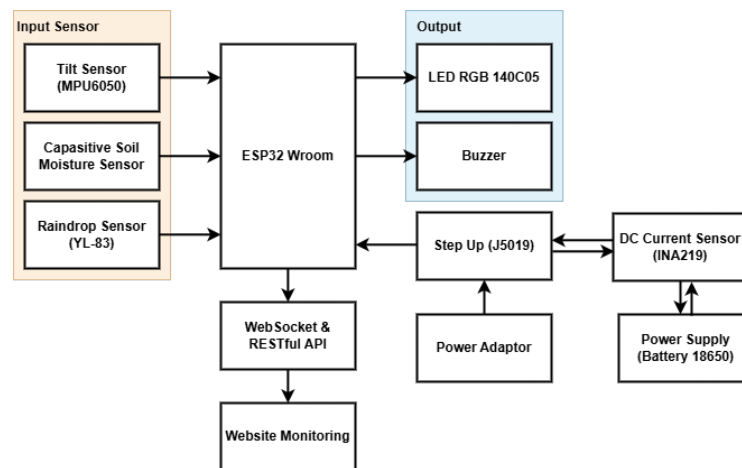
Perancangan sistem merupakan tahapan penting dalam pengembangan sistem deteksi dini longsor, yang bertujuan untuk merancang arsitektur keseluruhan dari perangkat keras dan perangkat lunak. Dalam tahap ini dilakukan perancangan komponen utama seperti:

4.2.1. Perancangan Skematik Perangkat Keras



Gambar 2. Skematik Perangkat Keras Sistem

Seperti terlihat pada Gambar 2. perancangan perangkat keras sistem deteksi dini longsor ini menggunakan mikrokontroler ESP32 sebagai unit kendali utama yang terintegrasi dengan beberapa sensor. Sensor kelembaban tanah menggunakan *Capacitive Soil Moisture Sensor v2.0*, sedangkan sensor curah hujan menggunakan *YL-83 Rain Sensor*. Untuk mendeteksi kemiringan atau pergeseran tanah, digunakan sensor MPU6050. Sistem peringatan lokal terdiri dari *buzzer* dan *LED* sebagai indikator saat kondisi berpotensi longsor terdeteksi [20]. Seluruh rangkaian memperoleh catu daya dari baterai 18650 yang distabilkan menggunakan modul *Step Up* dan *Charger J5019*, sehingga sistem dapat beroperasi secara portabel di area rawan longsor.

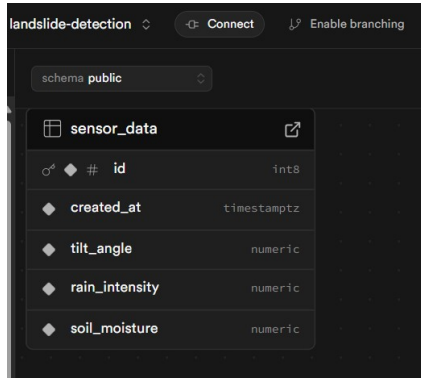


Gambar 3. Diagram Blok Sistem

Diagram blok sistem yang terlihat pada Gambar 3. ini menggambarkan arsitektur dari sistem deteksi dini longsor berbasis *Internet of Things (IoT)*. Sistem ini menggunakan ESP32 Wroom sebagai pusat kendali yang menerima data dari berbagai sensor, seperti MPU6050 untuk mendeteksi kemiringan tanah, sensor kelembaban tanah *Capacitive Soil Moisture*, dan sensor hujan YL-83. Data dari sensor diproses oleh ESP32, kemudian dikirim ke platform pemantauan melalui WebSocket dan RESTful API untuk ditampilkan secara *real-time* pada *website monitoring*. Untuk notifikasi lokal, sistem dilengkapi dengan *LED RGB 140C05* dan *buzzer* sebagai indikator peringatan. Sumber daya sistem berasal dari baterai 18650 yang distabilkan menggunakan modul *Step Up J5019*, serta dapat dipantau penggunaannya melalui sensor arus DC INA219. Terdapat juga opsi power adaptor sebagai alternatif sumber daya tambahan.

4.2.2. Perancangan Basis Data

Pada penelitian ini peneliti menggunakan database supabase. Peneliti memilih database supabase karena sesuai jika diaplikasikan dalam sistem *Internet of Things (IoT)* dengan diintegrasikan website berbasis NextJS. Selain itu database supabase juga sudah memiliki API yang dapat digunakan untuk pengambilan data tanpa perlu membuat *backend* tambahan. Selain itu juga, database supabase juga memiliki fitur *real-time* sehingga sangat cocok jika digunakan untuk perangkat *Internet of Things (IoT)* yang membutuhkan pengiriman data secara akurat dan cepat.

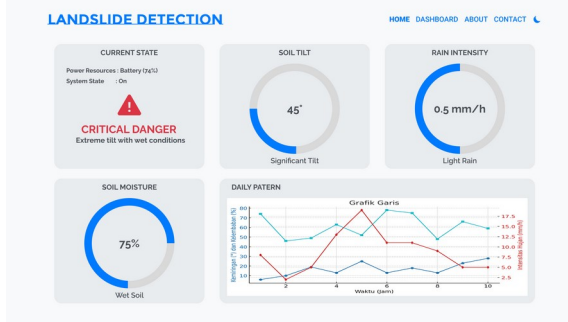


Gambar 4. Rancangan Database Sistem

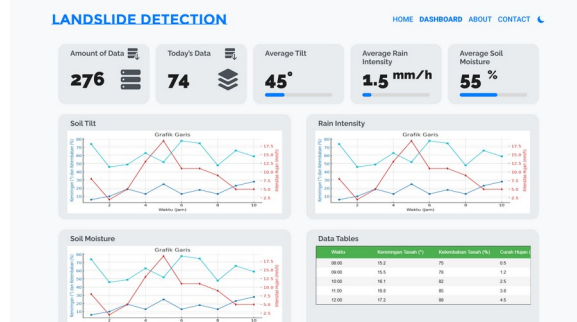
Gambar 4. menjelaskan bagaimana struktur data yang digunakan pada sistem ini. Struktur data diatas digunakan untuk menyimpan data-data hasil dari perekaman sensor. Dalam hal ini kolom *id* dan *created_at* akan dibuat secara otomatis ketika data masuk, sedangkan untuk kolom *tilt_angle* digunakan untuk menyimpan data hasil perekaman sensor MPU6050, kolom *rain_intensity* digunakan untuk menyimpan data hasil perekaman sensor YL-83, kolom *soil_moisture* digunakan untuk menyimpan data hasil dari perekaman sensor *Capacitive Soil Moisture*.

4.2.3. Perancangan Antarmuka Website Monitoring

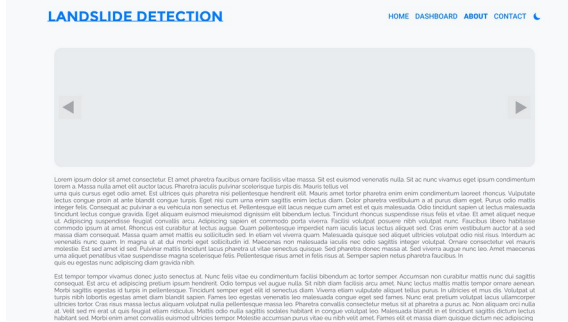
Dalam perancangan antarmuka website, peneliti menggunakan aplikasi figma untuk membuat desain dari antarmuka *website monitoring*. Disini peneliti membuat beberapa bagian seperti halaman *home*, *dashboard*, *about*, dan *contact*. Berikut merupakan hasil dari desain yang dirancang.



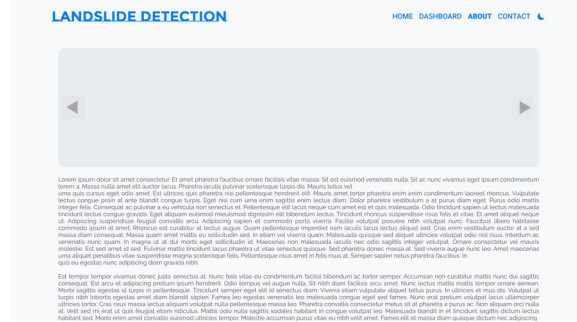
Gambar 5. Tampilan Home Light Mode



Gambar 6. Tampilan Dashboard Light Mode

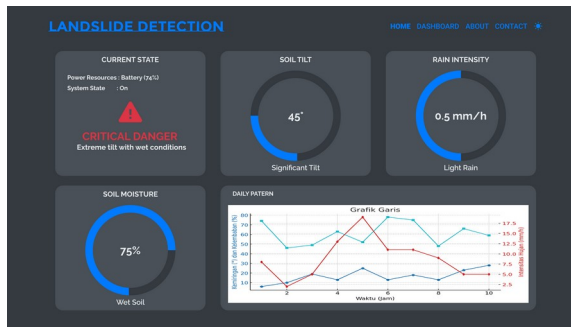


Gambar 7. Tampilan About Light Mode



Gambar 8. Tampilan Contact Light Mode

Dari Gambar 5., Gambar 6., Gambar 7., dan Gambar 8. merupakan hasil dari desain *website monitoring* yang akan dibangun. Dari keempat gambar tersebut merupakan tampilan dari setiap halaman ketika mode terang (*Light Mode*). Tampilan *Light Mode* ini memiliki antarmuka yang *clean* sehingga memudahkan dalam pembacaan konten website.



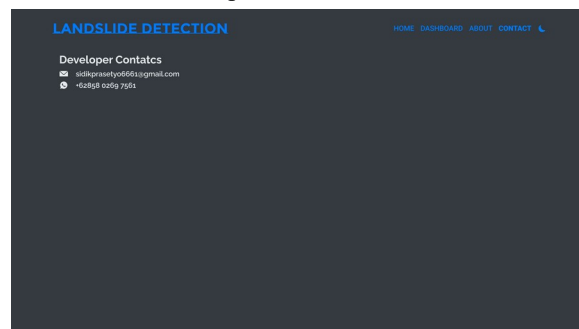
Gambar 9. Tampilan Home Dark Mode



Gambar 10. Tampilan Dashboard Dark Mode



Gambar 11. Tampilan About Dark Mode



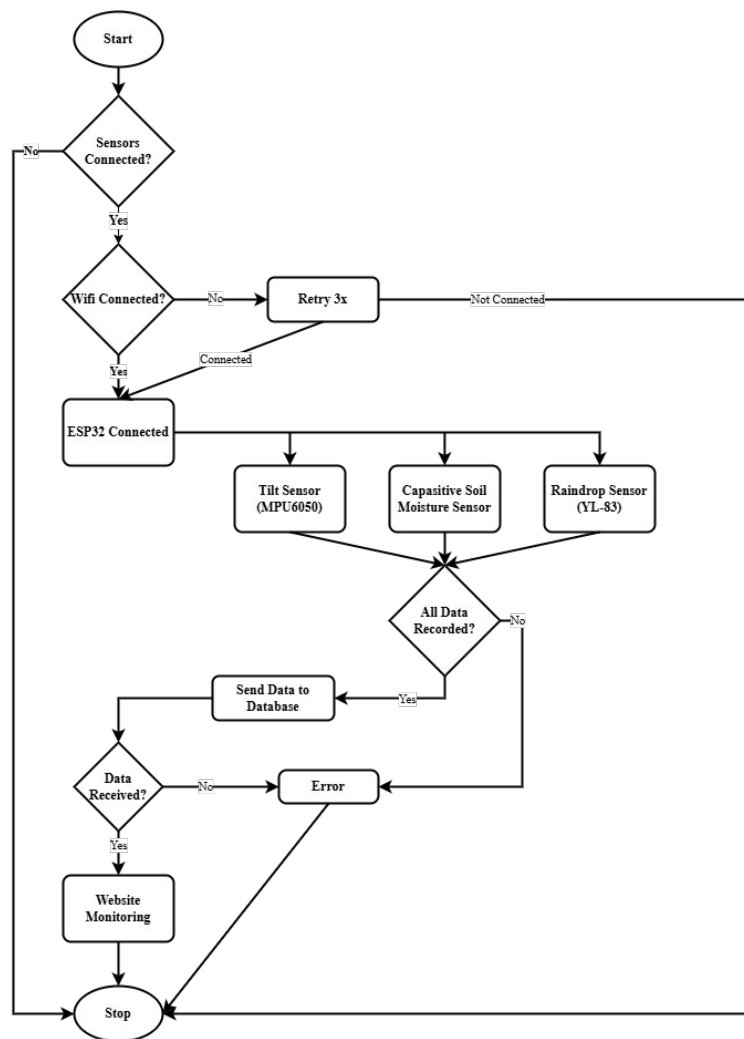
Gambar 12. Tampilan Contact Dark Mode

Dari Gambar 9., Gambar 10., Gambar 11., dan Gambar 12. merupakan hasil dari desain *website monitoring* yang akan dibangun. Dari keempat gambar tersebut merupakan tampilan website ketika dalam mode gelap (*Dark Mode*). Fitur *dark mode* ini diaplikasikan dalam *website monitoring* ini karena terkadang terdapat orang yang tidak suka dengan tampilan terlalu terang, sehingga dibuatlah tampilan ini, selain itu juga digunakan untuk menambahkan fitur pada website agar lebih interaktif dan responsif.

Pada *website monitoring* tersebut halaman *home* digunakan untuk menampilkan data secara *real-time* melalui websocket yang berupa indikator sistem, visualisasi *progress circle* dan juga menampilkan data dalam kurun waktu 24 jam yang diambil dari database pada bagian *daily-pattern*. Untuk bagian *dashboard* berisi mengenai data yang tersimpan dalam database, dalam halaman ini terdapat fitur untuk melihat data dalam kurun waktu 1 jam terakhir, 6 jam terakhir, dan 12 jam terakhir, selain itu juga terdapat fitur *refresh* data dan *download* data dengan format csv. Untuk visualisasi data berupa grafik dan juga terdapat tabel data. Untuk halaman *about* berisi mengenai penjelasan alat deteksi dini longsor, sedangkan halaman *contact* berisi informasi peneliti seperti email dan nomor hp. Selain beberapa fitur tersebut juga terdapat satu fitur yang bisa digunakan untuk merubah tampilan menjadi gelap maupun terang yaitu tombol untuk ubah mode.

4.2.4. Perancangan Diagram Alir Sistem

Diagram alir sistem merupakan diagram yang menjelaskan bagaimana sistem yang telah diciptakan dapat bekerja. Dalam hal ini peneliti membuat diagram alir sistem untuk mempermudah pembaca untuk memahami cara kerja sistem yang telah peneliti buat. Berikut merupakan diagram alir sistem dari alat deteksi dini longsor berbasis *Internet of Things (IoT)* yang dibuat peneliti:



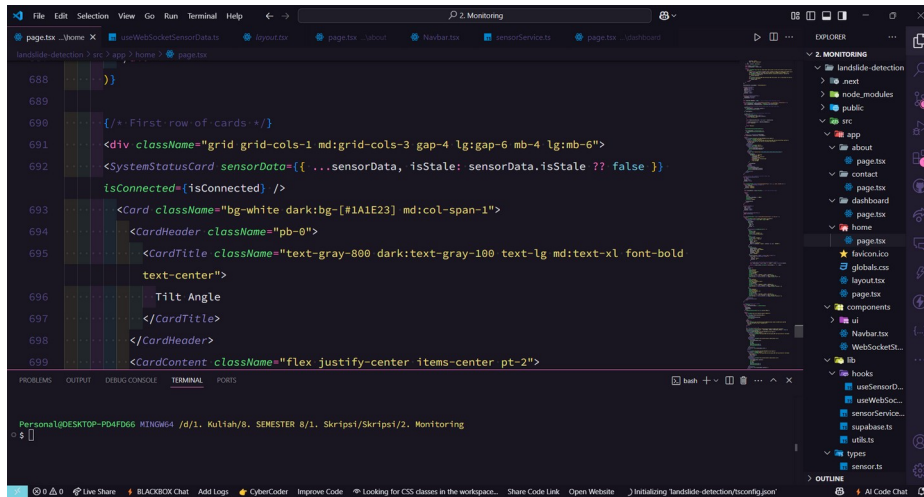
Gambar 13. Diagram Alir Sistem

Diagram alir sistem pada Gambar 13. menjelaskan bahwa sistem ini bekerja diawali dengan mendeteksi apakah sensor-sensor yang digunakan untuk monitoring parameter lingkungan terhubung atau tidak, jika tidak maka sistem akan berhenti. Namun, jika sistem mendeteksi sensor terpasang, maka sistem akan melakukan koneksi dengan WiFi dimana ketika terjadi kegagalan koneksi akan dilakukan perulangan selama 3 kali dalam kurun waktu 10 detik. Jika WiFi tidak terkoneksi maka sistem akan berhenti, namun jika WiFi terkoneksi sistem akan melanjutkan fungsi dimana sensor-sensor akan melakukan perekaman data. Ketika seluruh sensor dapat melakukan perekaman data data akan dikirimkan ke dalam database dan kemudian akan ditampilkan dalam *website monitoring*, namun jika terdapat kendala dalam perekaman data maupun penerimaan data maka akan terdapat error dan sistem akan berhenti.

4.3. Pengembangan Sistem

Pengembangan sistem merupakan tahapan dimana dilakukan pembuatan rangkaian hardware dan pengkodean sistem. Pada tahap ini juga dilakukan integrasi sistem untuk dilakukan pengujian pada tahapan selanjutnya.

Untuk yang pertama merupakan tahapan pembuatan rangkaian *hardware*. Rangkaian *hardware* sistem dibuat pada *PCB dot double layer* dimana seluruh komponen yang digunakan akan dihubungkan menggunakan kabel agar dapat berfungsi sebagaimana mestinya. Gambar 14. berikut merupakan gambar dari rangkaian hardware yang telah dibuat.



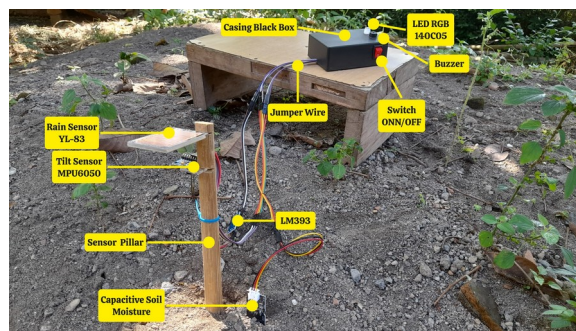
Gambar 16. Pengkodean Website Monitoring

Pada Gambar 16. merupakan sebagian tampilan dimana *website monitoring* diprogram. *Website monitoring* diprogram dengan menggunakan *Framework NextJS*. *Framework* ini dipilih karena sesuai dengan proyek *Internet of Things (IoT)* dimana dapat digunakan untuk menampilkan data secara *real-time*.

Untuk yang terakhir merupakan tahap integrasi dimana program dari mikrokontroler akan dihubungkan dengan program website monitoring. Dengan integrasi ini maka akan tercipta sebuah sistem monitoring berbasis *Internet of Things (IoT)* dengan memanfaatkan website sebagai media visualisasi data perekaman sensor. Sehingga seluruh data yang telah direkam oleh sensor akan dapat dikirimkan ke dalam database, setelah itu data yang berada dalam database dapat ditampilkan dalam *website monitoring*.

4.4. Implementasi Sistem

Tahapan implementasi merupakan tahapan dimana dilakukan pengujian sistem yang dilakukan pada lingkungan uji. Dalam hal ini sistem ini merupakan sistem deteksi dini longsor berbasis *Internet of Things (IoT)* maka dibutuhkan lingkungan uji yang menyerupai lingkungan asli alat ini dipergunakan. Dimana peneliti melakukan uji pada gundukan pasir yang direpresentasikan sebagai daerah perbukitan yang rawan longsor.



Gambar 17. Pengujian Sistem Pada Lingkungan Uji

Pada Gambar 17. ini menjelaskan bahwa sistem telah dipasang pada lingkungan uji. Kemudian sistem akan dilakukan pengujian untuk mengetahui apakah seluruh komponen dapat berfungsi dengan baik. Hasil dari pengujian sistem yang dilakukan pada lingkungan uji adalah sebagai berikut:

Tabel 3. Pengujian Awal

No	Pembacaan Sensor			Output	
	Kemiringan	Curah Hujan	Kelembaban Tanah	LED	Buzzer
1	0.60	0.00	28.00	Hijau	Mati
2	0.60	0.00	27.00	Hijau	Mati
3	0.60	0.00	27.00	Hijau	Mati
4	0.58	0.00	28.00	Hijau	Mati

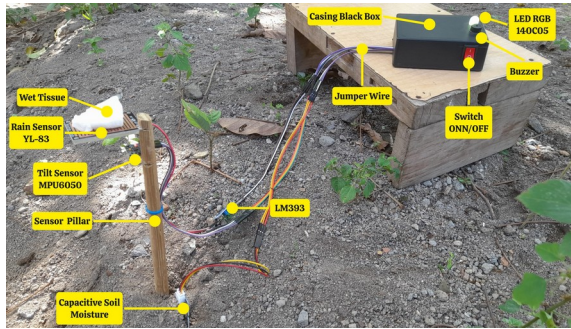
5	0.60	0.00	28.00	Hijau	Mati
6	0.59	0.00	28.00	Hijau	Mati
7	0.60	0.00	28.00	Hijau	Mati
8	0.61	0.00	28.00	Hijau	Mati
9	0.59	0.00	28.00	Hijau	Mati
10	0.59	0.00	28.00	Hijau	Mati

Hasil pengujian pada Tabel 3. ini merupakan pengujian alat pada lingkungan uji tanpa ada penambahan variabel uji lainnya. Dimana sistem hanya dipasang tanpa menambahkan variabel uji. Hasil dari pengujian ini menunjukkan bahwa kemiringan tanah normal, curah hujan tidak terdeteksi, dan kelembaban tanah normal, serta *LED* menyala hijau dan *buzzer* mati menandakan bahwa lingkungan aman. Dengan hasil seperti tabel diatas menunjukkan bahwa sistem sudah dapat berjalan dengan baik.

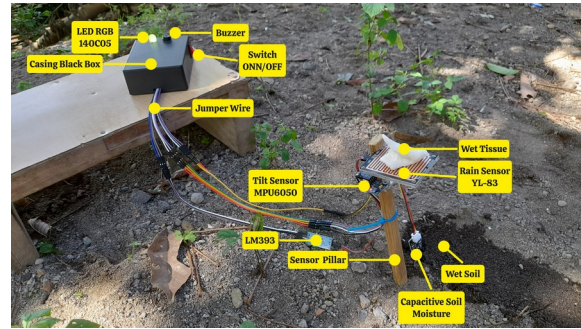
Parameter pengujian ini dilandaskan dari pembatasan maksimum nilai dari setiap sensor sebagai berikut:

1. Sensor kemiringan akan menampilkan indikator *Normal* ketika nilai sensor berada dibawah atau sama dengan 15° , akan menampilkan peringatan *Significant Tilt* ketika nilai sensor berada diantara 15.1° sampai dengan atau sama dengan 30° , dan akan menampilkan peringatan *Extreme Tilt* ketika nilai sensor diatas 30.1° [1].
2. Sensor hujan akan menampilkan indikator *No Rain* ketika nilai sensor berada di 0.00 mm/h, akan menampilkan peringatan *Light Rain* ketika nilai sensor berada di antara 0.00 mm/h sampai dengan atau sama dengan 5 mm/h, akan menampilkan peringatan *Moderate Rain* ketika nilai sensor berada diantara 5 mm/h sampai dengan atau sama dengan 10 mm/h, dan menampilkan *Heavy Rain* ketika nilai sensor berada diatas 10 mm/h [1].
3. Sensor kelembaban tanah akan menampilkan indikator *Normal* ketika nilai sensor berada dibawah atau sama dengan 40%, akan menampilkan peringatan *Moist Soil* ketika nilai sensor berada diantara 40% sampai dengan atau sama dengan 70%, dan akan menampilkan *Wet Soil* ketika nilai sensor diatas 70% [10].
4. *LED* mati menandakan sistem belum dinyalakan/berjalan, *LED* berwarna hijau menandakan bahwa kondisi lingkungan aman, *LED* berwarna orange menandakan kondisi lingkungan dalam keadaan darurat peringatan, sedangkan jika *LED* berwarna merah menandakan bahwa kondisi lingkungan berbahaya.
5. *Buzzer* mati menandakan bahwa sistem belum menyala/berjalan atau juga bisa dalam keadaan normal/kondisi aman, sedangkan ketika *buzzer* berbunyi seperti berbunyi pelan maka dapat diartikan sebagai keadaan darurat peringatan, sedangkan jika *buzzer* berbunyi cepat maka menandakan bahwa keadaan bahaya.

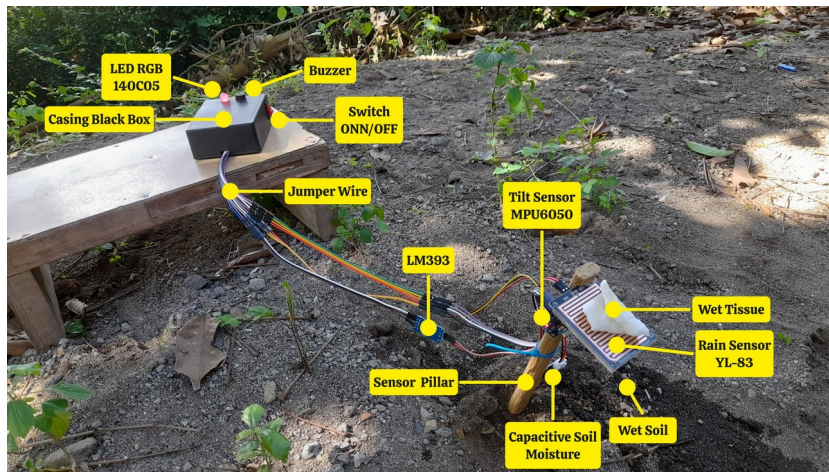
Untuk selanjutnya dilakukan pengujian dengan menambahkan beberapa variabel uji yaitu menambahkan air pada tanah yang terdapat sensor kelembaban tanah, menambahkan tisu yang diberikan air pada sensor hujan, dan memiringkan tiang yang terdapat sensor kemiringan, seperti pada Gambar 18., Gambar 19., dan Gambar 20. berikut:



Gambar 18. Penambahan Variabel Uji Pada Sensor Hujan



Gambar 19. Penambahan Variabel Uji Pada Sensor Kelembaban Tanah

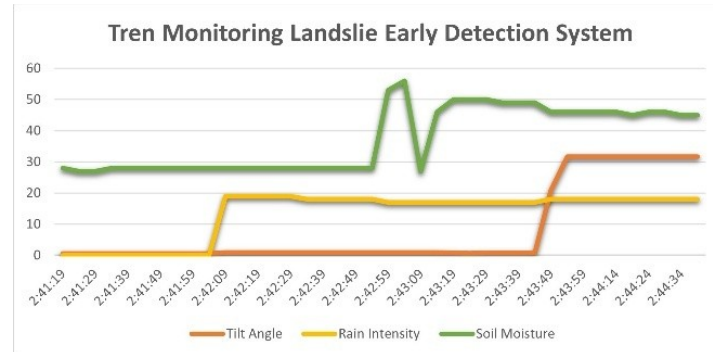


Gambar 20. Penambahan Variabel Uji Pada Sensor Kemiringan

Tabel 4. Pengujian Akhir

No	Pembacaan Sensor			Output	
	Kemiringan	Curah Hujan	Kelembaban Tanah	LED	Buzzer
1	0.90	19.00	28.00	Orange	Bunyi Pelan
2	0.89	19.00	28.00	Orange	Bunyi Pelan
3	0.91	19.00	28.00	Orange	Bunyi Pelan
4	0.89	19.00	28.00	Orange	Bunyi Pelan
5	0.91	19.00	28.00	Orange	Bunyi Pelan
6	0.90	18.00	28.00	Orange	Bunyi Pelan
7	0.89	18.00	28.00	Orange	Bunyi Pelan
8	0.89	18.00	28.00	Orange	Bunyi Pelan
9	0.93	18.00	28.00	Orange	Bunyi Pelan
10	0.92	18.00	28.00	Orange	Bunyi Pelan
11	0.91	17.00	53.00	Orange	Bunyi Pelan
12	0.91	17.00	56.00	Orange	Bunyi Pelan
13	0.92	17.00	27.00	Orange	Bunyi Pelan
14	0.97	17.00	46.00	Orange	Bunyi Pelan
15	0.87	17.00	50.00	Orange	Bunyi Pelan
16	0.75	17.00	50.00	Orange	Bunyi Pelan
17	0.78	17.00	50.00	Orange	Bunyi Pelan
18	0.79	17.00	49.00	Orange	Bunyi Pelan
19	0.80	17.00	49.00	Orange	Bunyi Pelan
20	0.81	17.00	49.00	Orange	Bunyi Pelan
21	20.91	18.00	46.00	Orange	Bunyi Pelan
22	31.67	18.00	46.00	Merah	Bunyi Cepat
23	31.68	18.00	46.00	Merah	Bunyi Cepat
24	31.67	18.00	46.00	Merah	Bunyi Cepat
25	31.65	18.00	46.00	Merah	Bunyi Cepat
26	31.68	18.00	45.00	Merah	Bunyi Cepat
27	31.65	18.00	46.00	Merah	Bunyi Cepat
28	31.69	18.00	46.00	Merah	Bunyi Cepat
29	31.67	18.00	45.00	Merah	Bunyi Cepat
30	31.68	18.00	45.00	Merah	Bunyi Cepat

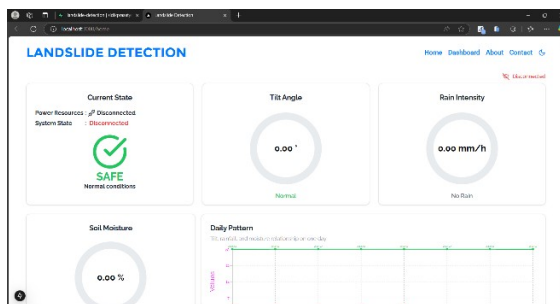
Dari Tabel 4. diperoleh data berjumlah 30 data dimana pengujian menunjukkan pembacaan sensor yang cenderung stabil. Selain itu komponen lain seperti *LED RGB* dan *buzzer* juga berfungsi dengan baik, serta data yang diperoleh dapat ditampilkan dalam *website monitoring*. Pada pengujian ini ditambahkan variabel uji pada setiap sensor yang mempengaruhi kondisi terjadinya longsor.



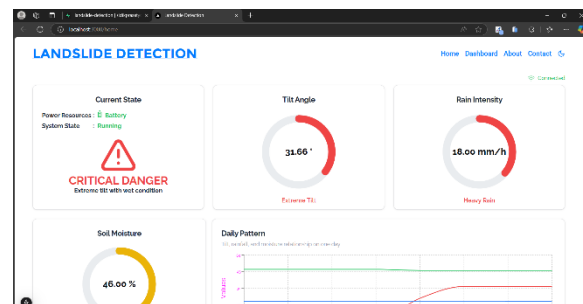
Gambar 21. Grafik Tren Monitoring

Gambar 21. diatas menunjukkan tren data *real-time* dari tiga parameter sensor yaitu sensor kemiringan, sensor curah hujan, dan sensor kelembaban tanah. Terdapat adanya peningkatan tajam pada sudut kemiringan diatas 30° , menunjukkan terdapat kondisi kritis. Curah hujan juga mengalami lonjakan yang signifikan dari 0 mm hingga 19 mm, sementara kelembaban tanah meningkat dari sekitar 27% ke lebih dari 50%. Grafik ini menunjukkan bahwa sistem dapat mendeteksi perubahan lingkungan secara cepat dan akurat, serta merepresentasikan sensor yang sesuai dengan status peringatan yang dikeluarkan sistem.

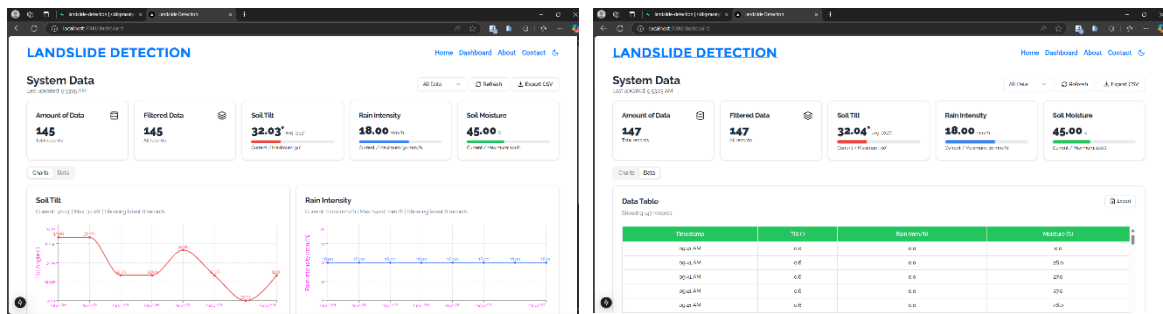
Untuk selanjutnya merupakan hasil dari tampilan *website monitoring* ketika melakukan beberapa uji yang telah dilakukan. Seperti pada Gambar 22. yang menampilkan tampilan ketika sistem belum terkoneksi dan belum berjalan, Gambar 23. merupakan tampilan ketika sistem berjalan dan website berhasil untuk menampilkan data yang dikirim, sedangkan untuk Gambar 24. merupakan *dashboard* data dimana data yang tersimpan dalam database ditampilkan dalam halaman ini, pada halaman *dashboard* terdapat beberapa fitur seperti melihat data 1 jam terakhir, 6 jam terakhir, dan 12 jam terakhir, selain itu juga terdapat fitur *refresh* data dan *download* data berupa file csv. Untuk Gambar 25. dan Gambar 26. merupakan halaman tambahan untuk menjelaskan sistem yang dibuat dan identitas pembuat website.



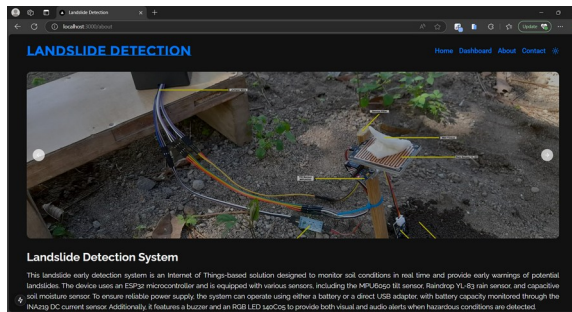
Gambar 22. Tampilan Ketika Sistem Belum Terhubung



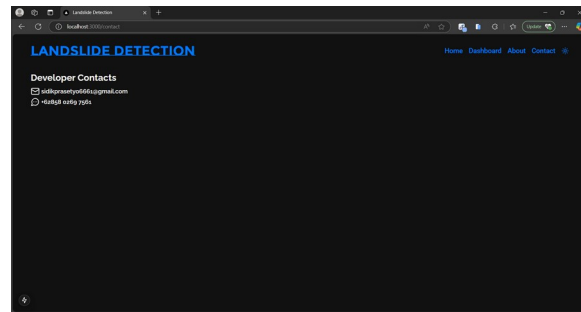
Gambar 23. Tampilan Ketika Sistem Berjalan



Gambar 24. Tampilan Dashboard Data



Gambar 25. Tampilan About



Gambar 26. Tampilan Contact

4.5. Evaluasi Sistem

Sistem pendeteksi dini longsor yang telah dikembangkan telah diuji dalam dua skenario lingkungan berbeda dengan menggunakan tiga jenis sensor utama, yaitu sensor kemiringan, sensor curah hujan, dan sensor kelembaban tanah. Berdasarkan hasil pengujian, sistem dapat memberikan performa yang baik dalam mendeteksi kondisi aman, waspada, dan bahaya secara *real-time*, disertai *output visual* menggunakan LED dan *output audio* menggunakan buzzer.

4.5.1. Analisis Statistik Pembacaan Sensor

Dalam analisis statistik pembacaan sensor ini dilakukan evaluasi terhadap kestabilan dan konsistensi pembacaan sensor dengan melakukan analisis sederhana terhadap data uji. Hasil analisis ditunjukkan pada tabel berikut:

Tabel 5. Analisis Statistik Pembacaan Sensor

Parameter	Rata-rata (Mean)	Deviasi Standar	Margin Error Sensor
Kemiringan (°)	8.236	13.176	±0.1°
Curah Hujan (mm)	13.375	7.844	±1 mm
Kelembaban Tanah (%)	37.35	10.314	±3%

Nilai deviasi standar yang tinggi pada sensor kemiringan menandakan adanya lonjakan kemiringan yang signifikan saat simulasi kondisi bahaya. Margin error masih berada dalam batas toleransi untuk pengukuran lingkungan.

4.5.2. Evaluasi Fungsional Sistem

Secara keseluruhan sistem yang berjalan sudah sangat baik, namun masih terdapat beberapa kendala, yaitu:

1. Sensor Kemiringan
Belum bisa menempatkan titik awal sensor kemiringan di 0°, namun bisa diatasi dengan melakukan kalibrasi posisi sebelum melakukan pemasangan dan dilakukan secara sangat presisi.
2. Pengiriman Data (WebSocket)
Secara umum pengiriman data berjalan lancar. Namun, terdapat delay aktual rata-rata sekitar 1.4 detik sampai dengan 2 detik. Hal tersebut disebabkan oleh ketidakstabilan koneksi WiFi. Delay ini masih bisa diterima untuk pemantauan lingkungan, namun bisa dioptimalkan dengan mengganti koneksi WiFi dengan koneksi yang lebih stabil.
3. Interval Pengiriman ke Database
Pengiriman data ke database dilakukan dalam jangka waktu setiap 5 detik untuk menghindari penumpukan data, sehingga kemungkinan data masih sedikit kurang akurat.

Secara keseluruhan, sistem mampu melakukan deteksi lingkungan secara *multi-sensor* dan *real-time* dengan respon yang cukup akurat dan stabil. Evaluasi menunjukkan bahwa sistem memiliki potensi tinggi untuk diterapkan pada wilayah rawan longsor, dengan beberapa catatan dilakukan penambahan fitur kalibrasi otomatis pada sensor kemiringan, pengurangan delay transmisi melalui optimasi jaringan, dan penyesuaian interval penyimpanan data agar lebih akurat terhadap pembacaan perubahan lingkungan.

5. KESIMPULAN

Penelitian ini memiliki tujuan untuk menciptakan alat yang dapat digunakan untuk meminimalisir atau sebagai tindakan preventif dalam menanggulangi bencana tanah longsor. Dari hasil uji yang berjumlah 40 data tersebut sensor sudah bisa berfungsi dengan baik dan indikator lain juga sudah berfungsi sebagaimana mestinya. Namun, berdasarkan pengujian yang telah dilakukan masih terdapat beberapa kendala yang tidak begitu besar dan sistem dapat berjalan dengan baik dan siap untuk digunakan. Pembacaan sensor dapat diamati pada *website monitoring* dimana data yang dikirimkan melalui WebSocket tidak mengalami *delay* yang signifikan dimana *delay* tidak sampai lebih dari 2 detik, sedangkan data yang dikirim ke database supabase sudah baik dapat terkirim setiap 5 detik. Saran untuk penelitian selanjutnya yakni diperlukan koneksi internet yang lebih stabil agar pengiriman data tidak terhambat/*delay* serta masih diperlukan pengembangan yang lebih lanjut agar dapat tercipta alat yang lebih canggih dan dapat memberikan hasil yang konsisten dan akurat.

REFERENSI

- [1] M. I. Firdaus and E. Yuliani, "Kesesuaian Lahan Permukiman Terhadap Kawasan Rawan Bencana Longsor," *J. Kaji. Ruang*, vol. 1, no. 2, p. 216, 2022, doi: 10.30659/jkr.v1i2.20030.
- [2] M. A. Akbar, S. R. Utami, and C. Agustina, "Simulasi Pengukuran Longsor Pada Kemiringan Lereng Dan Ketebalan Seresah Yang Berbeda," *J. Tanah dan Sumberd. Lahan*, vol. 9, no. 2, pp. 321–327, 2022, doi: 10.21776/ub.jtsl.2022.009.2.12.
- [3] D. S. Raharya, N. Saurina, A. Setiawan, and I. Pratama, "Pemanfaatan Internet of Things untuk Monitoring Deteksi Tanah Longsor," *J. Serambi Eng.*, vol. IX, no. 4, pp. 11243–11250, 2024.
- [4] R. Fortunata, A. Rachmawati, and F. Usman, "Pengurangan Risiko Bencana Tanah Longsor Kecamatan Tukur," *Plan. Urban Reg. Environ.*, vol. 11, no. 0341, pp. 73–82, 2022.
- [5] R. Mega Utama, I. Suchahyo, and M. Yantidewi, "Rancang Bangun Alat Deteksi Tanah Longsor Berbasis IoT dengan NodeMCU ESP8266 dan MPU6050," *J. Ilmu dan Inov. Fis.*, vol. 6, no. 2, pp. 137–146, 2022, doi: 10.24198/jiif.v6i2.40054.
- [6] Tedy Jonedo Sembiring, Suriyanto Sitepu, and Imelda Sri Dumayanti, "Merancang Sistem Pendeteksi Tanah Longsor Menggunakan Metode Penginderaan Berat Berbasis Internet Of Things (IoT)," *J. Ilm. Tek. Inform.*, vol. 3, no. 2, pp. 50–58, 2023.
- [7] B. Satria, "IoT Monitoring Suhu dan Kelembaban Udara dengan Node MCU ESP8266," *sudo J. Tek. Inform.*, vol. 1, no. 3, pp. 136–144, 2022, doi: 10.56211/sudo.v1i3.95.
- [8] C. Rumampuk, G. C. Poekoel, V., and M. Rumagit, A., "Internet of Things-Based Indoor Air Quality Monitoring System Design Perancangan Sistem Monitoring Kualitas Udara Dalam Ruangan Berbasis Internet of Things," *J. Tek. Inform.*, vol. 17, no. 1, pp. 11–18, 2021, [Online]. Available: <https://ejournal.unsrat.ac.id/index.php/informatika/article/view/34212>
- [9] H. D. Chandra and . A., "Sistem Informasi Absensi RFID Berbasis Web Menggunakan ESP32 di PT Dharma Sentosa Marindo," *J. Ilm. Ilk. - Ilmu Komput. Inform.*, vol. 6, no. 1, pp. 76–86, 2023, doi: 10.47324/ilkoinfo.v6i1.168.
- [10] P. Rahardjo, "Sistem Penyiraman Otomatis Menggunakan Sensor Kelembaban Tanah Berbasis Mikrokontroler Arduino Mega 2560 Pada Tanaman Mangga Harum Manis Buleleng Bali," *Maj. Ilm. Teknol. Elektro*, vol. 21, no. 1, p. 31, 2022, doi: 10.24843/mite.2022.v21i01.p05.
- [11] D. Raihantoro, Y. Maulana, N. R. Setyadi, A. M. Said, and R. Susanto, "Alat Pendeteksi Hujan Dengan Sensor Raindrop," *Semin. Nas. Teknol. Inf. dan Bisnis 2024*, pp. 205–208, 2024.
- [12] M. bahrul Ulum and F. Badri, "Sistem Monitoring Cuaca Dan Peringatan Banjir Berbasis Iot Dengan Menggunakan Aplikasi Mit App Inventor," *J. Inform. dan Tek. Elektro Terap.*, vol. 11, no. 3, pp. 319–328, 2023, doi: 10.23960/jitet.v11i3.3088.
- [13] E. Tenda, Eric Alfonsius, Megastin M. Lumembang, and Eliasta Ketaren, "Early Warning System Untuk Potensi Bencana Longsor Dikota Manado Berbasis Internet of Things," *J. TIMES*, vol. 12, no. 2, pp. 64–70, 2023, doi: 10.51351/jtm.12.2.2023710.
- [14] A. Setiawan, E. Arlitasari, M. Zuhri, and A. Hendriana, "MONITORING PEMBERIAN PAKAN IKAN OTOMATIS MENGGUNAKAN IOT DI LABORATORIUM PERIKANAN SEKOLAH VOKASI IPB Aep," *JINTEKS (Jurnal Inform. Teknol. dan Sains)*, vol. 4, no. 3, pp. 108–116, 2022.
- [15] D. Zeni Aprianti and L. Nurpulaela, "Mengoptimalkan Efisiensi Energi Dengan Sensor Cahaya Lussy Ldr Pada Lampu Pintar," *JATI (Jurnal Mhs. Tek. Inform.)*, vol. 8, no. 3, pp. 3199–3207, 2024, doi: 10.36040/jati.v8i3.9646.
- [16] B. ANTO and D. B. PRATAMA, "Lithium-ion Battery Charger for BEV Applications Based on MF Full-bridge DC-DC Converter," *ELKOMIKA J. Tek. Energi Elektr. Tek. Telekomun. Tek. Elektron.*, vol. 11, no. 4, p. 1013, 2023, doi: 10.26760/elkomika.v11i4.1013.
- [17] A. M. Al Farizi, M. Widyartono, A. Chandra H, and W. Ariwibowo, "Monitoring Energi Listrik Generator Tenaga Surya Portabel Berbasis IoT Untuk Kebutuhan Listrik Didaerah Bencana," *J. Tek. Elektro*, vol. 12, no. 2, pp. 92–97, 2023, doi: 10.26740/jte.v12n2.p92-97.
- [18] Sulistiawati, E. Cipta, and E. Muchlis, "Analisis Bibliometrik Perkembangan Penelitian R&D Model ADDIE Pada Pembelajaran Matematika Dengan Vosviewer Tahun 2017-2022," *J. Pendidik. Mat. Sigma Didakt.*, vol. 10, no. 2, pp. 96–119, 2022, [Online]. Available: <https://ejournal.upi.edu/index.php/SIGMADIDAKTIKA/article/view/52509>
- [19] B. A. Nugroho, R. Susanto, and A. I. Pradana, "Pengembangan Alat Monitoring Kanopi Pada Sistem Smart Home Berbasis IoT (Internet of Things)," *G-Tech J. Teknol. Terap.*, vol. 8, no. 3, pp. 1787–1797, 2024, doi: 10.33379/gtech.v8i3.4533.
- [20] A. Ramadan, A. M. Fernanda, A. Tesalonika, and R. Susanto, "Sistem Pendeteksi Gempa Bumi Berbasis Arduino Dan

Mpu6050 Dengan Kearifan Lokal,” *Semin. Nas. Teknol. Inf. dan Bisnis 2024*, pp. 128–132, 2024.