

**RANCANG BANGUN SISTEM PEMANTAUAN GETARAN  
TANAH BERBASIS IOT DENGAN KLASIFIKASI POTENSI  
LONGSOR MENGGUNAKAN SVM**

**SKRIPSI**

**DISUSUN OLEH**

**RIDHO PRATAMA**

**2209020213**



**UMSU**

Unggul | Cerdas | Terpercaya

**PROGRAM STUDI TEKNOLOGI INFORMASI  
FAKULTAS ILMU KOMPUTER DAN TEKNOLOGI INFORMASI  
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA**

**MEDAN**

**2026**

**RANCANG BANGUN SISTEM PEMANTAUAN GETARAN  
TANAH BERBASIS IOT DENGAN KLASIFIKASI POTENSI  
LONGSOR MENGGUNAKAN SVM**

**SKRIPSI**

**Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana  
Komputer (S.Kom) dalam Program Studi Teknologi Informasi, pada Fakultas  
Ilmu Komputer dan Teknologi Informasi, Universitas Muhammadiyah  
Sumatera Utara**

**RIDHO PRATAMA**

**NPM. 2209020213**

**PROGRAM STUDI TEKNOLOGI INFORMASI  
FAKULTAS ILMU KOMPUTER DAN TEKNOLOGI INFORMASI  
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA**

**MEDAN**

**2026**

**LEMBAR PENGESAHAN**

Judul Skripsi : Rancang Bangun Sistem Pemantauan Getaran  
Tanah Berbasis Iot Dengan Klasifikasi Potensi  
Longsor Menggunakan Svm

Nama Mahasiswa : Ridho Pratama

NPM : 2209020213

Program Studi : Teknologi Informasi

Menyetujui

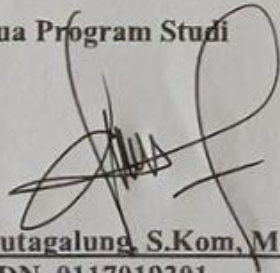
Komisi Pembimbing



(Mahardika Abdi Prawira Tanjung, M.Kom)

NIDN. 0117088902

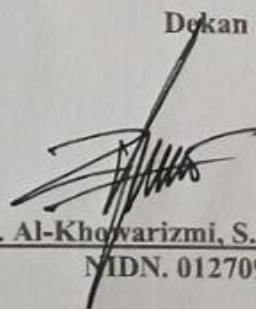
Ketua Program Studi



(Fatma Sari Hutagalung, S.Kom, M.Kom)

NIDN. 0117019301

Dekan



(Dr. Al-Khoirizmi, S.Kom., M.Kom.)

NIDN. 0127099201

PERNYATAAN ORISINALITAS

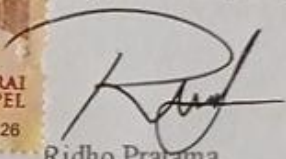
**RANCANG BANGUN SISTEM PEMANTAUAN GETARAN  
TANAH BERBASIS IOT DENGAN KLASIFIKASI POTENSI  
LONGSOR MENGGUNAKAN SVM**

SKRIPSI

Dengan ini saya menyatakan bahwa karya tulis ini disusun berdasarkan hasil kerja saya sendiri, kecuali kutipan dan rangkuman yang sumbernya telah disebutkan.

Medan, Maret 2026  
Yang membuat pernyataan



  
Ridho Pratama  
NPM. 2209020213

**PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI  
KARYA ILMIAH UNTUK KEPENTINGAN  
AKADEMIS**

Sebagai bagian dari sivitas akademika Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

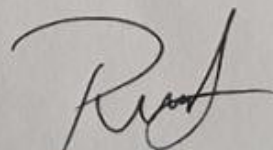
Nama : Ridho Pratama  
NPM : 2209020213  
Program Studi : Teknologi Informasi  
Karya Ilmiah : Skripsi

Dalam rangka mendukung perkembangan ilmu pengetahuan, saya memberikan kepada Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara Hak Bebas Royalti Non-Eksklusif (Non-Exclusive Royalty-Free Right) atas karya ilmiah skripsi saya yang berjudul "Rancang Bangun Sistem Pemantauan Getaran Tanah Berbasis IoT Dengan Klasifikasi Potensi Longsor Menggunakan SVM", beserta perangkat pendukungnya apabila diperlukan. Dengan diberikannya Hak Bebas Royalti Non-Eksklusif ini, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara berwenang untuk menyimpan, mengalihkan media atau format, mengelola dalam bentuk pangkalan data, merawat, serta memublikasikan skripsi tersebut tanpa perlu meminta persetujuan kembali dari saya, dengan ketentuan bahwa nama saya tetap dicantumkan sebagai penulis serta sebagai pemegang atau pemilik hak cipta.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan sebenar-benarnya untuk dapat dipergunakan sebagaimana mestinya.

Medan, Maret 2026

Yang membuat pernyataan



Ridho Pratama

NPM. 2209020213

## RIWAYAT HIDUP

### DATA PRIBADI

Nama Lengkap : Ridho Pratama  
Tempat dan Tanggal Lahir : Medan, 22 Oktober 2004  
Alamat Rumah : Dusun X Gg.Harapan I  
Telepon/Faks/HP : 0831 6924 4826  
E-mail : ridhoprtma84@gmail.com  
Instansi Tempat Kerja : -  
Alamat Kantor : -

### DATA PENDIDIKAN

SD : SD NEGERI 104197 TAMAT: 2016  
SMP : SMP SWASTA PAB 9 KLAMBIR V TAMAT: 2019  
SMA : SMA NEGERI 1 HAMPARAN PERAK TAMAT: 2022

## KATA PENGANTAR

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Alhamdulillah rabbi ‘aalamiin, segala puji dan syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT atas limpahan rahmat, karunia, serta hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul:

**“RANCANG BANGUN SISTEM PEMANTAUAN GETARAN TANAH  
BERBASIS IoT DENGAN KLASIFIKASI POTENSI LONGSOR  
MENGUNAKAN SVM”**

Skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Komputer (S.Kom) pada Program Studi Teknologi Informasi, Fakultas Ilmu Komputer dan Teknologi Informasi, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara. Penulis menyadari bahwa penyusunan skripsi ini tidak terlepas dari bantuan, bimbingan, dukungan, doa, serta motivasi dari berbagai pihak. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis menyampaikan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Prof. Dr. Agusani, M.AP., selaku Rektor Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara
2. Bapak Dr. Al-Khowarizmi, s.Kom., M.Kom. selaku Dekan Fakultas Ilmu Komputer dan Teknologi Informasi (FIKTI) UMSU.
3. Ibu Dr. Firaahmi Rizky, S.Kom., M.Kom., selaku Wakil Dekan I Fakultas Ilmu Komputer dan Teknologi Informasi (FIKTI) UMSU.
4. Bapak Mhd Basri, S.Si., M.Kom., selaku Wakil Dekan III Fakultas Ilmu Komputer dan Teknologi Informasi (FIKTI) UMSU.
5. Ibu Fatma Sari Hutagalung, S.Kom., M.Kom., selaku Ketua Program Studi Teknologi Informasi
6. Bapak Mahardika Abdi Prawira Tanjung, S.Kom., M.Kom., selaku Dosen Pembimbing yang telah meluangkan waktu, memberikan arahan, masukan, serta bimbingan dengan penuh kesabaran hingga skripsi ini dapat diselesaikan.

7. Seluruh Bapak/Ibu Dosen dan Staf di Fakultas Ilmu Komputer dan Teknologi Informasi yang telah membantu penulis selama masa perkuliahan dan proses administrasi penyusunan proposal skripsi.
8. Kedua orang tua dan keluarga penulis yang selalu memberikan doa, dukungan moral maupun materi, serta menjadi sumber semangat penulis dalam menyelesaikan studi.

Penulis menyadari bahwa proposal skripsi ini masih jauh dari sempurna, baik dari segi penyusunan maupun isi, karena keterbatasan pengetahuan dan pengalaman penulis. Oleh karena itu, penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang membangun demi perbaikan dan penyempurnaan di masa mendatang. Semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi pembaca dan dapat memberikan kontribusi untuk pengembangan ilmu pengetahuan, khususnya pada bidang Internet of Things (IoT), pemantauan getaran tanah, serta klasifikasi potensi longsor menggunakan Support Vector Machine (SVM).

# **Rancang Bangun Sistem Pemantauan Getaran Tanah Berbasis Iot Dengan Klasifikasi Potensi Longsor Menggunakan Svm**

## **ABSTRAK**

Tanah longsor merupakan salah satu bencana alam yang berpotensi menimbulkan kerugian besar, baik berupa korban jiwa, kerusakan lingkungan, maupun kerusakan infrastruktur. Oleh karena itu, diperlukan sistem pemantauan yang mampu memberikan informasi kondisi tanah secara cepat, real-time, dan akurat. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan membangun sistem pemantauan getaran tanah berbasis Internet of Things (IoT) dengan klasifikasi potensi longsor menggunakan metode Support Vector Machine (SVM). Sistem ini menggunakan sensor MPU6050 untuk membaca data getaran atau percepatan tanah, serta mikrokontroler ESP8266 untuk mengirimkan data melalui jaringan Wi-Fi ke server. Data yang diperoleh kemudian melalui proses pengolahan, ekstraksi fitur, dan klasifikasi ke dalam tiga kategori kondisi, yaitu Aman, Waspada, dan Bahaya. Hasil klasifikasi ditampilkan melalui LCD, dashboard web, serta dapat mengaktifkan relay sebagai media peringatan ketika sistem mendeteksi kondisi berbahaya. Berdasarkan hasil evaluasi model, metode SVM mampu menghasilkan performa klasifikasi yang sangat baik dengan nilai akurasi sebesar 99,79%, serta nilai precision, recall, dan F1-score yang tinggi pada setiap kelas. Dengan demikian, sistem yang dibangun dapat digunakan sebagai prototipe pemantauan getaran tanah berbasis IoT yang mendukung upaya mitigasi dan peringatan dini potensi longsor secara lebih efektif.

**Kata kunci:** IoT, tanah longsor, getaran tanah, MPU6050, ESP8266, SVM, akurasi.

## ***Design and Development of an IoT-Based Ground Vibration Monitoring System with Landslide Potential Classification Using SVM***

### ***ABSTRACT***

*Landslides are natural disasters that can cause significant losses, including human casualties, environmental damage, and infrastructure destruction. Therefore, a monitoring system is required to provide fast, real-time, and accurate information regarding ground conditions. This study aims to design and develop an Internet of Things (IoT)-based ground vibration monitoring system with landslide potential classification using the Support Vector Machine (SVM) method. The system uses an MPU6050 sensor to read ground vibration or acceleration data and an ESP8266 microcontroller to transmit the data to a server through a Wi-Fi network. The collected data are then processed through feature extraction and classified into three condition categories: Safe, Alert, and Danger. The classification results are displayed on an LCD, presented through a web-based dashboard, and can activate a relay as a warning mechanism when the system detects a dangerous condition. Based on the model evaluation results, the SVM method achieved excellent classification performance with an accuracy of 99.79%, along with high precision, recall, and F1-score values for each class. Therefore, the developed system can be used as an IoT-based ground vibration monitoring prototype to support landslide mitigation and early warning efforts more effectively.*

***Keywords:*** *IoT, landslide, ground vibration, MPU6050, ESP8266, SVM, accuracy.*

## DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN .....	iii
PERNYATAAN ORISINALITAS.....	iv
PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI .....	v
RIWAYAT HIDUP .....	vi
KATA PENGANTAR.....	vii
DAFTAR ISI .....	xi
DAFTAR TABEL.....	xiii
DAFTAR GAMBAR .....	xiv
BAB I PENDAHULUAN .....	1
1.1. Latar Belakang Masalah.....	1
1.2. Rumusan Masalah .....	4
1.3. Batasan Masalah.....	4
1.4. Tujuan Penelitian.....	5
1.5. Manfaat Penelitian .....	6
BAB II LANDASAN TEORI .....	7
2.1 Internet Of Things .....	7
2.1.1 Sistem Monitoring Berbasis Wi-Fi.....	7
2.2 Konsep Dasar Tanah Longsor .....	8
2.2.1 Faktor Penyebab dan Pemicu Longsor.....	8
2.2.2 Indikator Fisik Yang Dapat Dipantau.....	9
2.3 Mikrokontroler .....	9
2.3.1 ESP8266.....	10
2.3.2 Sensor MPU6050 .....	11
2.3.3 LCD.....	13
2.3.4 Relay .....	13
2.3.5 Buzzer .....	14
2.3.6 Kabel Jumper .....	14
2.3.7 NodeMCU Base Board .....	15
2.4 Web Server .....	15
2.5 Arudino IDE .....	16
2.6 Draw Io.....	17
2.7 Prinsip Kerja dan Data Keluaran.....	17
2.8 Tahapan Penerapan SVM Pada Penelitian Ini.....	19
2.9 Flowchart.....	20
2.10 Penelitian Terdahulu.....	21
2.11 Analisis Gap .....	22
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	23
3.1 Metode Penelitian.....	23
3.2 Prosedur Penelitian.....	24
3.3 Flowchart Sistem.....	27
3.4 Lokasi dan Jadwal Penelitian .....	31
3.4.1 Lokasi Penelitian.....	31
3.4.2 Jadwal Penelitian.....	32
3.5 Alat dan Bahan Penelitian .....	33
3.5.2 Perangkat Lunak (Software): .....	34

3.6 Perancangan Prototipe.....	34
3.7 Diagram Blok.....	35
3.8 Rancangan Web.....	36
<b>BAB IV HASIL PEMBAHASAN .....</b>	<b>37</b>
4.1 Hasil Pembahasan Sistem .....	37
4.1.1 Implementasi Perangkat Keras.....	38
4.1.2 Implementasi Perangkat Lunak.....	40
4.1.3 Implementasi Alur Kerja Sistem .....	40
4.1.4 Implementasi Tampilan Informasi pada LCD dan Dashboard.....	42
4.2 Hasil Pengujian Sistem .....	44
4.2.1 Pengujian Pembacaan Sensor MPU6050.....	45
4.2.2 Pengujian Koneksi Wi-Fi dan Pengiriman Data ke Server .....	47
4.2.3 Pengujian Tampilan LCD dan Aktivasi Relay .....	48
4.3 Hasil Pengolahan Data dan Klasifikasi SVM .....	49
4.3.1 Pembentukan Dataset dan Karakteristik Data.....	50
4.3.2 Tahap Preprocessing Data .....	51
4.3.3 Pelatihan Model SVM.....	53
4.3.4 Hasil Evaluasi Model Klasifikasi.....	55
4.4 Hasil Monitoring pada Dashboard Web .....	57
4.4.1 Implementasi Dashboard Web sebagai Media Monitoring.....	59
4.4.2 Informasi yang Ditampilkan pada Dashboard.....	60
4.4.3 Hasil Pengamatan Tampilan Dashboard .....	62
4.4.4 Kesimpulan Sementara Hasil Monitoring Dashboard .....	63
4.5 Pembahasan.....	63
4.5.1 Pembahasan Kinerja Sistem IoT .....	64
4.5.2 Pembahasan Data Getaran dan Proses Pengolahan Data .....	65
4.5.3 Pembahasan Hasil Klasifikasi SVM .....	65
4.5.4 Pembahasan Dashboard Web sebagai Media Monitoring.....	66
4.5.5 Implikasi dan Makna Hasil Penelitian .....	66
4.5.5 Kesimpulan Pembahasan .....	67
4.6 Evaluasi.....	68
<b>BAB V PENUTUP .....</b>	<b>70</b>
5.1 Kesimpulan .....	70
5.2 Saran.....	71
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>72</b>

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Perbandingan ESP dengan mikrokontroler lain .....	10
Tabel 2.2 Spesifikasi Mikrokontroler ESP8266 .....	11
Tabel 2.3 Spesifikasi sensor MPU6050 .....	12
Tabel 2.4 Dataset .....	18
Tabel 2. 5 Flowchard.....	20
Tabel 2.6 Penelitian Terdahulu.....	21
Tabel 3.1 Jadwal Penelitian.....	32
Tabel 3.2 Alat Penelitian .....	33
Tabel 3.3 Perangkat Lunak.....	34
Tabel 4.1 Hasil Pengujian Pembacaan Sensor MPU6050.....	46
Tabel 4.2 Hasil Pengujian Koneksi Wi-Fi dan Pengiriman Data .....	47
Tabel 4.3 Hasil Pengujian LCD dan Relay .....	48
Tabel 4.4 Hasil Evaluasi Model SVM.....	56

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Mikrokontroler ESP8266 .....	10
Gambar 2.2 Sensor MPU6050 .....	12
Gambar 2.3 LCD .....	13
Gambar 2.4 Relay.....	13
Gambar 2.5 Buzzer .....	14
Gambar 2.6 Kabel Jumper.....	14
Gambar 2.7 NodeMCU Base Board.....	15
Gambar 3.1 Alur Penelitian.....	24
Gambar 3.2 Flowchard Sistem.....	28
Gambar 3.3 Perancangan Prototipe.....	34
Gambar 3.4 Diagram Blok .....	35
Gambar 3.5 Rancangan web .....	36
Gambar 4.1 Prototipe rancangan alat .....	39
Gambar 4.2 Tampilan LCD saat berjalan.....	43
Gambar 4.3 Tampilan dashboard web hasil monitoring .....	43
Gambar 4.4 Lokasi pengujian sistem di Tirtanadi Sibolangit .....	44
Gambar 4.5 Proses pengujian pembacaan sensor MPU6050 .....	46
Gambar 4.6 Tampilan LCD pada kondisi Aman .....	48
Gambar 4.7 Dataset hasil pembacaan sensor .....	50
Gambar 4.8 Pelatihan Model SVM.....	54
Gambar 4.9 Hasil evaluasi model SVM.....	57
Gambar 4.10 Tampilan dashboard web.....	57
Gambar 4.11 Grafik perubahan data sensor pada dashboard .....	59
Gambar 4.12 Informasi yang di tampilkan pada dashboard .....	61

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1. Latar Belakang Masalah**

Bencana longsor masih menjadi ancaman serius, terutama di wilayah dengan kondisi tanah labil dan lereng curam. Salah satu masalah yang sering terjadi adalah keterlambatan informasi mengenai perubahan kondisi tanah, sehingga potensi longsor baru disadari ketika tanda bahaya sudah jelas atau bahkan saat kejadian berlangsung. Pemantauan manual juga memiliki keterbatasan karena membutuhkan waktu, tenaga, dan tidak selalu bisa dilakukan secara rutin, apalagi pada lokasi yang sulit dijangkau.

Tanah longsor merupakan salah satu bencana geologi yang sering menimbulkan korban jiwa, kerusakan infrastruktur, dan kerugian ekonomi. Upaya mitigasi yang efektif menuntut adanya pemantauan kondisi lereng secara berkelanjutan serta mekanisme peringatan dini yang mampu menangkap perubahan kondisi sebelum terjadi kegagalan lereng. Dalam beberapa tahun terakhir, pendekatan data-driven (statistik dan machine learning) semakin banyak digunakan untuk mendukung prediksi/peringatan longsor karena mampu memodelkan fenomena yang kompleks dari data observasi (Tehrani et al., 2022).

Pemantauan potensi longsor di lapangan hingga saat ini masih menghadapi berbagai kendala, khususnya terkait kondisi geografis lokasi lereng yang umumnya berada di daerah perbukitan atau pegunungan dengan tingkat aksesibilitas yang rendah. Situasi tersebut menyebabkan proses pengambilan data secara manual atau offline sulit dilakukan secara berkala, sehingga berisiko menimbulkan keterlambatan dalam pengolahan data dan penetapan langkah mitigasi. Berdasarkan

kajian terhadap sistem “*Landslide Monitor*”, metode pemantauan yang mengandalkan kunjungan langsung ke lokasi terbukti kurang efektif dalam mendukung prediksi dan pengambilan keputusan secara real-time. Oleh sebab itu, diperlukan penerapan sistem pemantauan yang terintegrasi dengan sensor, teknologi IoT, serta model prediksi guna meningkatkan kecepatan dan ketepatan informasi (Rawat & Barthwal, 2024).

Perkembangan Internet of Things (IoT) dan Wireless Sensor Network (WSN) menjadi peluang kuat untuk menjawab masalah tersebut. WSN/IoT memungkinkan pemasangan node sensor di lereng untuk mengukur parameter penting (misalnya parameter geoteknik/hidrologi/meteorologi), mengirimkannya ke server/cloud, lalu menampilkannya dalam bentuk dashboard atau notifikasi peringatan. Literatur review terbaru juga menunjukkan tren pemanfaatan WSN untuk pemantauan longsor/rockfall sebagai solusi yang lebih fleksibel dan dapat dikembangkan untuk pemantauan jangka panjang (Ragnoli et al., 2023).

Pada konteks penelitian ini, fokus pemantauan diarahkan pada getaran tanah sebagai salah satu indikator dinamika pergerakan massa tanah/batuan. Dalam kajian seismologi lingkungan dan pemantauan longsor, sinyal getaran (ambient vibration/microseismic) dapat merekam proses-proses seperti creep-slip (pergerakan lambat) dan perubahan mekanisme internal lereng. Penelitian berbasis vibrasi ambien juga digunakan untuk memahami perilaku lereng tidak stabil, sedangkan studi lain menunjukkan bahwa microseismic signals yang terekam sensor seismik pada longsor dapat diklasifikasikan menggunakan algoritma machine learning untuk membantu interpretasi proses pergerakan lereng (Maresca et al., 2022).

Review Earth-Science menyoroti pemantauan longsor menggunakan seismic ambient noise correlation dan relevansinya untuk aplikasi peringatan dini, meskipun tetap ada tantangan pada pemrosesan dan pengaruh fluktuasi lingkungan (Le Breton et al., 2021).

Meski demikian, data getaran lapangan umumnya bersifat berisik (noisy) dan dipengaruhi banyak faktor (aktivitas manusia, hujan, perubahan kondisi tanah, dan lain-lain). Banyak implementasi awal sistem monitoring mengandalkan pendekatan ambang batas (threshold), tetapi pendekatan ini berisiko menghasilkan false alarm jika tidak disertai analisis pola data yang memadai. Studi sistem IoT-cloud untuk deteksi/prediksi longsor menunjukkan kombinasi pemantauan sensor real-time dengan model pembelajaran (termasuk ensemble learning) untuk meningkatkan kualitas deteksi/peringatan (Sharma et al., 2023).

Di sinilah klasifikasi berbasis machine learning menjadi penting untuk mengubah data getaran menjadi informasi “potensi longsor” yang lebih operasional (misalnya kelas *aman-waspada-bahaya*). Salah satu algoritma yang relevan adalah Support Vector Machine (SVM).

Penelitian pada jurnal *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment* (2022) membahas bahwa SVM banyak dipakai dalam prediksi kerentanan longsor serta membandingkan berbagai varian SVM (kernel, semi-supervised, ensemble), dengan hasil yang menunjukkan performa kompetitif untuk tugas prediksi. (Fang et al., 2022) Pada konteks Indonesia, studi terbaru (2025) untuk pemetaan kerentanan longsor di Bengkulu juga melibatkan SVM dan melaporkan performa tinggi (AUC > 0,95 untuk SVM pada studi tersebut), yang menguatkan relevansi SVM sebagai kandidat model klasifikasi/penilaian risiko.

Berdasarkan uraian tersebut, penelitian “Rancang Bangun Sistem Pemantauan Getaran Tanah Berbasis IoT dengan Klasifikasi Potensi Longsor Menggunakan SVM” menjadi relevan karena menggabungkan akuisisi data getaran secara real-time melalui node sensor IoT, pengiriman data jarak jauh yang hemat daya, serta analisis cerdas menggunakan SVM untuk mengklasifikasikan tingkat potensi longsor sehingga hasil monitoring lebih mudah ditindaklanjuti sebagai peringatan dini. Pendekatan integrasi IoT dan Machine learning untuk monitoring dan peringatan longsor juga sejalan dengan publikasi metode monitoring/forecasting yang memanfaatkan IoT untuk mengelola data serta mengirim peringatan ke perangkat pengguna.

### **1.2. Rumusan Masalah**

Agar penelitian berjalan lebih terarah dan tetap berfokus pada permasalahan utama, maka perlu ditetapkan beberapa rumusan masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana merancang dan membangun sistem IoT untuk pemantauan getaran tanah yang mampu mengirim dan menyimpan data secara real-time?
2. Bagaimana mengolah data getaran tanah (preprocessing dan ekstraksi fitur) agar dapat digunakan sebagai masukan model klasifikasi potensi longsor?
3. Bagaimana menerapkan metode SVM untuk mengklasifikasikan potensi longsor berdasarkan data getaran tanah, serta bagaimana kinerja model dan sistem (mis. akurasi klasifikasi dan latensi pengiriman data)?

### **1.3. Batasan Masalah**

Berdasarkan permasalahan terkait yang sudah di uraikan sebelumnya, terdapat beberapa Batasan masalah pada penelitian ini, antara lain:

1. Parameter utama yang dipantau dalam penelitian ini adalah getaran tanah (misalnya percepatan/getaran dari sensor), tanpa memasukkan parameter lain seperti curah hujan, kelembapan tanah, (kecuali jika ditambahkan sebagai pengembangan).
2. Sistem yang dibangun berupa prototipe rancang bangun, dengan pengujian dilakukan pada skenario simulasi/terbatas (misalnya uji laboratorium, miniatur lereng, atau uji lapangan skala kecil).
3. Klasifikasi potensi longsor dibatasi menjadi kelas diskrit, misalnya:  
kelas: Aman – Waspada – Bahaya
4. Sistem IoT difokuskan pada fungsi monitoring, klasifikasi, dan tampilan status (dashboard/notifikasi sederhana), dan belum mencakup implementasi penuh sistem peringatan dini resmi (SOP evakuasi, sirine massal).

#### **1.4. Tujuan Penelitian**

Berdasarkan dari rumusan masalah di atas, adapun tujuan penelitian yang dapat dari penelitian ini adalah:

1. Merancang dan membangun sistem IoT untuk memantau getaran tanah secara real-time.
2. Melakukan preprocessing dan ekstraksi fitur dari data getaran sebagai input klasifikasi.
3. Menerapkan SVM untuk mengklasifikasikan potensi longsor dan mengevaluasi akurasi serta kinerja pengiriman data.

## **1.5 Manfaat Penelitian**

Adapun manfaat penelitian yang dapat dari penelitian ini adalah:

1. Menghasilkan prototipe sistem pemantauan getaran tanah berbasis IoT (ESP8266 dan MPU6050) yang dapat bekerja secara real-time.
2. Menyediakan klasifikasi potensi longsor menjadi 3 kelas (Aman, Waspada, Bahaya) menggunakan metode SVM agar informasi lebih mudah dipahami.
3. Membantu peringatan dini sederhana melalui output LCD dan relay (misalnya untuk buzzer/lampu) sehingga dapat dikembangkan untuk penggunaan di area rawan.

## **BAB II**

### **LANDASAN TEORI**

#### **2.1 Internet Of Things**

Internet of Things (IoT) adalah teknologi yang membuat perangkat atau objek fisik dapat terhubung ke internet dan saling bertukar data secara otomatis tanpa perlu intervensi manusia. Teknologi ini mengandalkan sensor, konektivitas jaringan, serta sistem kontrol otomatis untuk membantu dan menyederhanakan berbagai aktivitas.

(Susanto et al., 2022) Internet of Things atau disingkat dengan istilah IoT merupakan teknologi yang menginovasi benda-benda sekitar dengan internet agar aktivitas sehari-hari menjadi lebih mudah dan efisien. Internet of Things adalah teknologi yang memungkinkan benda-benda di sekitar kita terhubung dengan Internet. Pentingnya Internet of Things dapat dilihat dengan semakin banyaknya diterapkan dalam berbagai lini kehidupan saat ini. IoT memberikan kita banyak gagasan untuk turut berperan serta dalam berbagai segi perkembangan mulai dari hal mikro hingga makro di seluruh dunia. Internet of things menjadikannya sebuah bidang penelitian tersendiri sejak berkembangnya teknologi internet (IT) dan media komunikasi lain.

Dengan kemampuan monitoring dan kontrol jarak jauh, IoT mendukung otomatisasi dan efisiensi kerja, namun tetap menghadapi tantangan seperti keamanan data dan infrastruktur yang kompleks

##### **2.1.1 Sistem Monitoring Berbasis Wi-Fi**

(Mega Utama, 2022) mengembangkan alat deteksi longsor berbasis IoT menggunakan NodeMCU ESP8266 dan MPU6050 untuk membaca percepatan

(sumbu x-y-z) dan kemiringan, serta memantau data secara real-time melalui aplikasi/layanan daring. Riset ini relevan karena menggunakan kombinasi perangkat yang sama dengan penelitian ini (ESP8266 dan MPU6050), Serta menerapkan keluaran status bertingkat, amun belum menekankan klasifikasi berbasis ML.

penelitian ini diposisikan untuk mengisi celah berupa klasifikasi berbasis pola data (bukan sekadar ambang), yaitu membangun sistem ESP8266 + MPU6050 + Wi-Fi yang melakukan ekstraksi fitur dari sinyal getaran/IMU dan mengklasifikasikan potensi longsor menjadi 3 kelas (Aman–Waspada–Bahaya) menggunakan Support Vector Machine (SVM), serta menampilkan hasil ke LCD dan memicu indikator melalui relay.

## **2.2 Konsep Dasar Tanah Longsor**

Tanah longsor adalah pergerakan massa tanah/batuan menuruni lereng ketika gaya pendorong (misalnya berat massa tanah, beban tambahan, tekanan air pori, getaran) lebih besar dari pada gaya penahan (kohesi dan gesekan internal). Dalam mitigasi, pemahaman “kondisi aktivitas” lereng penting karena berbagai teknik pemantauan memiliki akurasi dan keterlambatan (time delay) yang berbeda. (Del Soldato et al., 2024).

### **2.2.1 Faktor Penyebab dan Pemicu Longsor**

Secara umum, faktor pemicu atau penyebab longsor dapat dikelompokkan sebagai berikut:

1. Geometri lereng : kemiringan, tinggi, dan bentuk lereng memengaruhi kestabilan.

2. Sifat material tanah/batuan : kekuatan geser (kohesi & sudut geser) menentukan ketahanan lereng terhadap gaya pendorong.
3. Air/kelembaban dan cuaca : peningkatan kadar air dapat menurunkan kekuatan tanah dan meningkatkan peluang gagal lereng.
4. Aktivitas manusia : pemotongan lereng, perubahan tata guna lahan, dan beban tambahan dapat meningkatkan risiko.
5. Getaran : gempa, lalu lintas, atau alat berat dapat menjadi pemicu instabilitas lereng.

### **2.2.2 Indikator Fisik Yang Dapat Dipantau**

Berbagai penelitian monitoring longsor menunjukkan bahwa indikator yang sering dipantau yaitu getaran/percepatan (vibration/acceleration), Pola umum sistem monitoring modern adalah node sensor → komunikasi → server/cloud → dashboard/peringatan, sehingga indikator-indikator sesuai kebutuhan dan tujuan sistem.

### **2.3 Mikrokontroler**

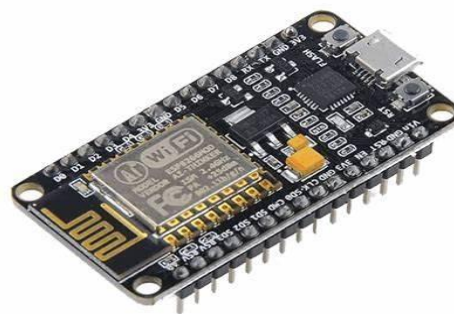
Mikrokontroler (microcontroller/MCU) adalah “komputer kecil” dalam satu chip yang mengintegrasikan unit pemroses, memori (RAM & memori program), serta periferan input/output, sehingga cocok untuk menjalankan fungsi kendali pada sistem tertanam (embedded) yang umumnya dibatasi oleh daya, ukuran, dan biaya; banyak kajian juga menekankan bahwa MCU biasanya kecil, hemat daya, murah, dan menggabungkan CPU dan periferan serta flash dan SRAM di dalam chip. (Elsts & McConville, 2021)

### 2.3.1 ESP8266

ESP8266 adalah chip/modul IoT berkemampuan Wi-Fi yang sering dipakai sebagai “otak” perangkat karena dapat berperan sebagai mikrokontroler yang terintegrasi dengan modul Wi-Fi, sehingga perangkat bisa menjalankan program embedded sekaligus terhubung ke jaringan untuk aplikasi seperti smart home/mesh network, monitoring, dan komunikasi ringan (mis. MQTT). (Fuada & Hendriyana, 2022).

Tabel 2.1 Perbandingan ESP dengan mikrokontroler lain

Perbandingan	Ringkasan
ESP8266 vs ESP32	ESP32 punya Wi-Fi + Bluetooth (BLE/Classic) dan resource lebih besar; ESP8266 cocok untuk IoT Wi-Fi sederhana dan murah.
ESP8266 vs Arduino Uno	ESP8266 sudah Wi-Fi built-in dan lebih kencang; Arduino Uno lebih mudah untuk pemula tetapi tanpa Wi-Fi bawaan.
ESP8266 vs RP2040 (Pico)	RP2040 unggul untuk I/O real-time dan RAM lebih lega namun tanpa Wi-Fi; ESP8266 unggul karena langsung siap Wi-Fi untuk IoT.



Gambar 2.1 Mikrokontroler ESP8266

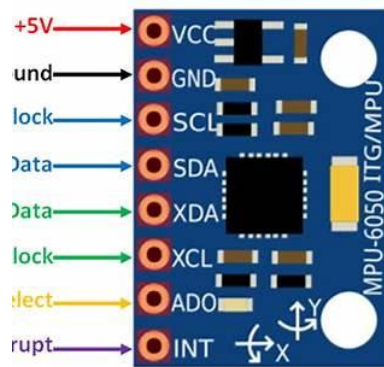
Sumber : <https://www.techiesms.com/product/nodemcu-esp8266-development-board-cp2102/>

Tabel 2.2 Spesifikasi Mikrokontroler ESP8266

Parameter	Spesifikasi
CPU	32-bit Tensilica L106 (single-core)
Clock	80 MHz (default), hingga 160 MHz
Wi-Fi	2.4 GHz, IEEE 802.11 b/g/n
Mode Wi-Fi	Station (STA), SoftAP (AP), STA+AP
Memori (SRAM)	± ~160 KB (efektif tergantung konfigurasi)
Flash	Eksternal (SPI flash), umum 1–4 MB (tergantung modul/board)
Tegangan kerja	3.0–3.6 V (umumnya 3.3 V)
GPIO	Hingga ±17 GPIO (tidak semua keluar di tiap modul)
ADC	1 channel (A0), 10-bit (range tergantung board)
Antarmuka	UART, SPI, I2C (umumnya software), I2S

### 2.3.2 Sensor MPU6050

MPU6050 adalah Inertial Measurement Unit (IMU) 6-sumbu yang menggabungkan accelerometer 3-sumbu dan gyroscope 3-sumbu dalam satu chip. Sensor ini banyak dipakai pada sistem monitoring karena dapat membaca percepatan/getaran sekaligus perubahan orientasi/kemiringan secara kontinu. Pada penelitian deteksi longsor berbasis IoT, MPU6050 dimanfaatkan untuk membaca percepatan sumbu x, y, z dan menurunkan nilai kemiringan tanah (Mega Utama, 2022).



Gambar 2.2 Sensor MPU6050

Sumber : <https://www.makershop.de/sensoren/bewegung/gy-521/>

Tabel 2.3 Spesifikasi sensor MPU6050

Komponen	Spesifikasi
Jenis sensor	IMU 6-axis: 3-axis gyroscope + 3-axis accelerometer; onboard DMP
Rentang gyroscope	$\pm 250 / \pm 500 / \pm 1000 / \pm 2000$ °/s (programmable)
Rentang accelerometer	$\pm 2 / \pm 4 / \pm 8 / \pm 16$ g (programmable)
Resolusi data	Digital output dengan ADC 16-bit untuk gyro dan accelerometer; sensor suhu digital
FIFO buffer	1024-byte FIFO untuk pembacaan burst
Antarmuka komunikasi	I2C Fast Mode sampai 400 kHz; alamat 7-bit b110100X (0x68/0x69 via pin AD0)
Tegangan suplai	VDD 2.375–3.46 V; VLOGIC 1.71 V sampai VDD (khusus MPU-6050)
Paket chip	QFN $4 \times 4 \times 0.9$ mm

### 2.3.3 LCD

Layar karakter 16×2 untuk menampilkan informasi (mis. sudut, status koneksi, atau status relay). Antarmuka I2C membuat wiring lebih sederhana (cukup SDA/SCL + VCC/GND). (Mubarok & Dwi Yunianto Budi Ismadi, n.d.).



Gambar 2. 3 LCD

Sumber : <https://techiesms.com/product/16x2-lcd-display-blue-backlight/>

### 2.3.4 Relay

Saklar elektronik yang memungkinkan ESP8266 mengontrol beban (mis. alarm, buzzer, lampu) dengan memutus/menyambung arus ke beban. Pada sistem otomasi, relay sering dipakai untuk mengontrol perangkat (fan/lampu) secara jarak jauh. (Mahindrakar et al., n.d.).



Gambar 2.4 Relay

Sumber : <https://www.arduinoindonesia.id/2024/02/mengenal-modul-relay-arduino-cara-kerja-dan-aplikasi-praktis.html>

### 2.3.5 Buzzer

Buzzer merupakan komponen output pada mikrokontroler yang berfungsi menghasilkan suara sebagai indikator atau peringatan. Pada alat ini, buzzer digunakan untuk memberikan notifikasi audio saat sistem mendeteksi kondisi tertentu. Penggunaan buzzer membantu pengguna mengetahui status alat dengan cepat dan mudah.



Gambar 2.5 Buzzer

Sumber : <https://www.aranacorp.com/en/using-a-buzzer-with-arduino/>

### 2.3.6 Kabel Jumper

Kabel jumper biasa digunakan pada project board atau alat prototyping agar lebih mudah untuk memperbaiki rangkaian. Pin konektor yang terdapat pada ujung kabel terdiri dari konektor male dan konektor female. Konektor male berfungsi untuk menusuk dan konektor female untuk ditusuk.



Gambar 2.6 Kabel Jumper

Sumber : <https://www.edukasielektronika.com/2023/05/kabel-jumper-pengertian-dan-jenis-jenisnya.html>

### 2.3.7 NodeMCU Base Board

NodeMCU yang dipasang pada base board ini merupakan papan pengembangan yang menggunakan ESP8266, yaitu sebuah Wi-Fi SoC yang dirancang untuk kebutuhan perangkat terhubung internet. ESP8266 memiliki kemampuan jaringan Wi-Fi terintegrasi dan dapat digunakan baik sebagai pengendali utama maupun sebagai modul komunikasi pada sistem tertanam. Karakteristik ini menjadikan NodeMCU sangat sesuai untuk aplikasi monitoring dan kontrol jarak jauh berbasis IoT (About This Guide, n.d.).



Gambar 2.7 NodeMCU Base Board

Sumber : <https://www.anodas.lt/en/nodemcu-base-esp8266-breadboard-plate>

### 2.4 Web Server

Web server adalah perangkat lunak yang berfungsi menerima permintaan (request) dari klien melalui protokol HTTP/HTTPS, memproses permintaan tersebut, lalu mengirimkan respons berupa konten web (misalnya HTML, CSS, JavaScript, JSON API, gambar, dan berkas lainnya). Dalam sistem layanan web modern, web server tidak hanya melayani konten statis, tetapi juga berperan sebagai pengelola koneksi, terminasi TLS/SSL, pengaturan routing, serta penghubung

(gateway) antara klien dan aplikasi backend. HTTP sendiri didefinisikan sebagai protokol application-level yang bersifat stateless dan menjadi fondasi pertukaran pesan pada sistem informasi hypertext terdistribusi. Standar semantik HTTP (metode, status code, header fields, dan konsep inti lain) dijelaskan pada RFC 9110 yang berlaku lintas versi HTTP (HTTP/1.1, HTTP/2, dan HTTP/3) (Fielding et al., 2022).

## 2.5 Arudino IDE

Arduino IDE (Integrated Development Environment) merupakan perangkat lunak yang digunakan sebagai lingkungan pengembangan untuk papan Arduino. Melalui Arduino IDE, pengguna dapat menulis program yang disebut sketch, melakukan kompilasi untuk mengubah kode menjadi instruksi yang dapat dijalankan oleh mikrokontroler, serta mengunggah (upload) program tersebut ke board melalui koneksi USB/serial. Dengan demikian, Arduino IDE berperan sebagai penghubung utama antara komputer dan perangkat Arduino dalam proses pembuatan, pengujian, dan penerapan sistem berbasis mikrokontroler.



Gambar 2.8 Arduino

Sumber : <https://microcontrollerslab.com/introduction-arduino-ide/>

## 2.6 Draw Io

Draw.io (yang dikenal juga sebagai diagrams.net) merupakan aplikasi untuk membuat diagram secara visual dengan metode drag-and-drop, sehingga pengguna dapat menyusun representasi alur proses maupun struktur sistem secara lebih mudah dan terstruktur. Dalam konteks dokumentasi akademik dan teknis, draw.io sering digunakan untuk membuat berbagai diagram seperti flowchart, UML, ERD, DFD, diagram jaringan, dan diagram arsitektur sistem, karena menyediakan banyak bentuk (shapes) dan konektor untuk menggambarkan hubungan antar komponen.



Gambar 2.9 Draw Io

Sumber : [https://seeklogo.com/vector-logo/451991/draw-io#google\\_vignette](https://seeklogo.com/vector-logo/451991/draw-io#google_vignette)

## 2.7 Prinsip Kerja dan Data Keluaran

MPU6050 menghasilkan data utama:

1. Percepatan ( $a_x$ ,  $a_y$ ,  $a_z$ ) dari accelerometer (mewakili getaran/gerak linier).
2. Kecepatan sudut ( $g_x$ ,  $g_y$ ,  $g_z$ ) dari gyroscope (mewakili gerak rotasi/perubahan orientasi).
3. Beberapa modul juga menyediakan bacaan temperatur internal untuk kompensasi.

Berdasarkan spesifikasi produk, MPU-60x0 memiliki ADC 16-bit untuk accelerometer dan gyroscope, dengan rentang accelerometer yang dapat dipilih  $\pm 2g$ ,  $\pm 4g$ ,  $\pm 8g$ ,  $\pm 16g$  dan rentang gyroscope  $\pm 250$ ,  $\pm 500$ ,  $\pm 1000$ ,  $\pm 2000$  °/s (dps). (MPU-6000 and MPU-6050 Product Specification Revision 3.4 MPU-6000/MPU-6050 Product Specification, 2013).

Untuk kebutuhan “indikator getaran”, data percepatan sering diringkas menjadi magnitudo:

$$a_{mag} = \sqrt{a_x^2 + a_y^2 + a_z^2}$$

Nilai  $a_{mag}$  kemudian diolah (misal per window) menjadi fitur seperti RMS, variansi, puncak (peak), dan lainnya untuk klasifikasi.

Tabel 2.4 Dataset

No	Timestamp	ax (g)	ay (g)	az (g)	a_mag (g)	a_dynamic (g)	Label
1	2026-01-05 10:15:00.000	0.005	-0.004	1.002	1.002	0.002	Aman
2	2026-01-05 10:15:00.020	-0.006	0.003	0.998	0.998	0.002	Aman
3	2026-01-05 10:15:00.040	0.004	0.002	1.001	1.001	0.001	Aman
4	2026-01-05 10:15:00.060	-0.003	-0.005	1.003	1.003	0.003	Aman
5	2026-01-05 10:15:00.080	0.040	0.035	0.965	0.967	0.033	Waspada
6	2026-01-05 10:15:00.100	0.055	0.048	0.955	0.960	0.040	Waspada
7	2026-01-05 10:15:00.120	0.070	0.060	0.945	0.955	0.045	Waspada
8	2026-01-05 10:15:00.140	0.180	0.150	0.890	0.925	0.075	Bahaya
9	2026-01-05 10:15:00.160	0.220	0.190	0.870	0.919	0.081	Bahaya
10	2026-01-05 10:15:00.180	0.250	0.210	0.850	0.915	0.085	Bahaya

## 2.8 Tahapan Penerapan SVM Pada Penelitian Ini

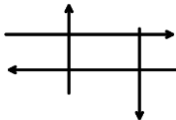
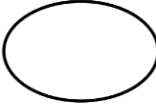
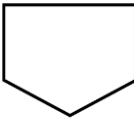
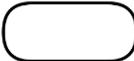

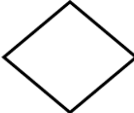



Agar SVM bekerja optimal pada data getaran/IMU, tahapan yang disarankan adalah:


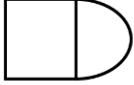
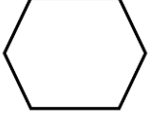
1. Akuisisi data percepatan (mis.  $a_x$ ,  $a_y$ ,  $a_z$  atau magnitudo) dari MPU6050 per interval waktu.
2. Segmentasi (windowing) data menjadi potongan waktu tertentu (mis. 1–5 detik) sebagai satu sampel.
3. Ekstraksi fitur per window (contoh fitur domain waktu: mean, RMS, variance, peak-to-peak; opsional fitur frekuensi).
4. Standardisasi fitur (wajib disarankan) karena SVM sensitif terhadap skala fitur.
5. Pelatihan model SVM (kernel Linear/RBF) dan tuning parameter C dan gamma menggunakan validasi silang/grid search agar tidak overfitting.
6. Evaluasi model menggunakan confusion matrix serta accuracy, precision, recall, dan F1-score per kelas.

Sebagai contoh penerapan SVM pada konteks longsor di Indonesia, studi pemetaan kerawanan longsor di Bengkulu membandingkan beberapa model (LR, RF, SVM, XGB) dan melaporkan SVM menghasilkan performa tinggi (akurasi dan AUC terbaik pada studi tersebut) (Abdo et al., 2022).

## 2.9 Flowchart

Tabel 2. 5 Flowchart

Simbol	Nama	Fungsi
	Flow	Simbol yang digunakan untuk menggabungkan antara simbol yang satu dengan simbol lain.
	On-page	Simbol untuk keluar-masuk atau penyambungan proses dalam lembar kerja yang sama.
	Off-page	Simbol untuk keluar-masuk atau penyambungan proses dalam lembar kerja yang berbeda.
	Terminator	Simbol yang menyatakan awal atau akhir suatu program.
	Process	Simbol yang menyatakan suatu proses yang dilakukan.
	Decision	Simbol yang menunjukkan kondisi tertentu yang akan menghasilkan dua kemungkinan jawaban yaitu ya atau tidak.
	Input/Output	Simbol yang menyatakan proses input atau output.
	Manual Operation	Simbol yang menyatakan proses input atau output tanpa tergantung peralatan.
	Document	Simbol yang menyatakan bahwa input berasal dari dokumen dalam bentuk fisik atau output yang perlu dicetak.

	Predefine Process	Simbol untuk pelaksanaan suatu bagian (sub-program).
	Display	Simbol yang menyatakan peralatan atau output yang digunakan.
	Preparation	Simbol yang menyatakan penyediaan tempat/penyiapan untuk memberikan nilai awal sebelum proses dijalankan.

## 2.10 Penelitian Terdahulu

Tabel 2.6 Penelitian Terdahulu

No	Judul	Pengarang (Tahun)	Kesimpulan
1	Rancang Bangun Alat Deteksi Tanah Longsor Berbasis IoT dengan NodeMCU ESP8266 dan MPU6050	Utama dkk. (2022)	Sistem IoT dengan ESP8266+MPU6050 mampu memantau percepatan/kemiringan secara real-time dan menampilkan status kondisi. Penentuan status masih berbasis aturan/ambang sehingga belum memanfaatkan model ML.
2	Rancangan dan Implementasi Sistem Deteksi Longsor Berbasis SMS dan Progressive Web Apps	Priyadi dkk. (2022)	Sistem deteksi longsor terintegrasi SMS dan PWA dapat memberikan peringatan dini ketika kondisi berbahaya terdeteksi. Pengambilan keputusan umumnya menggunakan ambang batas parameter sensor.
3	Design of a Prototype of Soil Condition Monitoring System Based on Telegram Messenger Bot	Mahdifikia dkk. (2022)	Prototipe monitoring kondisi tanah memanfaatkan sensor (termasuk IMU/kemiringan) dan mengirim informasi melalui Telegram Bot. Sistem efektif untuk pemantauan jarak jauh, namun keputusan bahaya masih rule-based/threshold.

## 2.11 Analisis Gap

Pada penelitian sebelumnya tentang monitoring/peringatan dini longsor umumnya masih menentukan status bahaya dengan ambang batas atau aturan sederhana. Pendekatan ini kurang adaptif karena data getaran cenderung *noisy* sehingga berisiko memunculkan *false alarm*. Di sisi lain, penggunaan SVM pada kajian longsor lebih banyak diterapkan untuk pemetaan kerawanan wilayah berbasis parameter spasial/lingkungan, bukan untuk mengklasifikasikan sinyal getaran tanah secara real-time dari perangkat IoT. Karena itu, penelitian ini menghadirkan kebaruan berupa integrasi sistem IoT berbasis ESP8266–MPU6050 dengan pengolahan data (windowing dan ekstraksi fitur) serta klasifikasi SVM untuk menghasilkan tiga status Aman, Waspada, dan Bahaya secara real-time, sekaligus mengevaluasi akurasi model dan latensi sistem end-to-end.

## **BAB III**

### **METODOLOGI PENELITIAN**

#### **3.1 Metode Penelitian**

Penelitian ini menggunakan metode Research and Development (R&D) karena tujuan utamanya adalah merancang dan mengembangkan sebuah sistem, bukan hanya melakukan pengamatan atau analisis data. Metode ini dipilih karena sesuai dengan kebutuhan penelitian yang menghasilkan prototipe sistem pemantauan getaran tanah berbasis Internet of Things (IoT) serta klasifikasi potensi longsor menggunakan SVM.

Tahapan penelitian diawali dengan identifikasi masalah, yaitu perlunya pemantauan kondisi lereng secara real-time untuk memberikan informasi dini terkait potensi terjadinya longsor. Selanjutnya dilakukan studi literatur melalui jurnal dan referensi terkait, khususnya mengenai pemantauan longsor berbasis IoT, pemrosesan sinyal getaran, serta penerapan Support Vector Machine (SVM) untuk klasifikasi. Pada tahap ini juga ditentukan konsep keluaran sistem berupa tiga kelas kondisi, yaitu Aman, Waspada, dan Bahaya.

Setelah itu, sistem dirancang dengan memanfaatkan sensor MPU6050 sebagai pembaca percepatan/getaran, kemudian diintegrasikan dengan mikrokontroler ESP8266 yang terhubung melalui WiFi. Hasil klasifikasi ditampilkan melalui LCD, serta relay digunakan sebagai aktuator peringatan (misalnya untuk mengaktifkan buzzer atau lampu indikator). Data yang diperoleh dari sensor dikirim ke platform monitoring/server untuk diproses, dilakukan ekstraksi fitur, lalu diklasifikasikan menggunakan model SVM.

Tahap akhir adalah pengujian dan evaluasi, meliputi pengujian pembacaan sensor, kestabilan koneksi IoT, serta pengukuran performa model klasifikasi

(misalnya melalui akurasi dan confusion matrix). Dengan pendekatan R&D, keluaran penelitian ini tidak hanya berupa laporan, tetapi juga prototipe sistem yang dapat diuji dan digunakan sebagai solusi pemantauan getaran tanah dan klasifikasi potensi longsor.

### 3.2 Prosedur Penelitian

Penelitian perancangan Sistem Pemantauan Getaran Tanah Berbasis IoT dengan Klasifikasi Potensi Longsor menggunakan SVM ini meliputi beberapa tahapan pelaksanaan yang akan ditunjukkan melalui diagram metode/alur penelitian pada bagian berikutnya.



Gambar 3.1 Alur Penelitian

Berdasarkan diagram alir di atas, tahapan metode penelitian dalam perancangan Sistem Pemantauan Getaran Tanah Berbasis IoT dengan Klasifikasi Potensi Longsor Menggunakan SVM dijelaskan sebagai berikut:

1. Studi Literatur

Tahap ini dilakukan untuk mengumpulkan referensi dari jurnal, buku, dan artikel ilmiah terkait tanah longsor, pemantauan lereng, sensor getaran/IMU (MPU6050), konsep Internet of Things (IoT), serta metode Support Vector Machine (SVM). Studi literatur juga digunakan untuk menentukan parameter yang akan diamati, konsep keluaran 3 kelas (Aman, Waspada, Bahaya), serta metode evaluasi yang digunakan.

2. Perancangan Alat

Pada tahap ini dilakukan pemilihan dan perancangan komponen sistem, meliputi penggunaan ESP8266 sebagai mikrokontroler utama, MPU6050 sebagai sensor pembaca getaran/percepatan, serta LCD dan relay sebagai output informasi dan peringatan. Selain itu, dirancang juga alur pengiriman data melalui WiFi ke server/platform monitoring agar data dapat diproses dan dipantau.

3. Pembuatan Sistem

Tahap pembuatan sistem mencakup perakitan hardware (rangkaiannya ESP8266, MPU6050, LCD, relay pada breadboard) serta pembuatan software. Software meliputi program ESP8266 untuk membaca sensor dan mengirim data, serta pembuatan sistem di sisi server untuk menerima data, menyimpan data, melakukan pengolahan, dan menampilkan hasil monitoring.

#### 4. Pengambilan Data

Pada tahap ini dilakukan proses pengumpulan data getaran dari sensor MPU6050 untuk membentuk dataset. Data diambil berdasarkan skenario tiga kondisi yaitu Aman, Waspada, dan Bahaya (sesuai rancangan pengujian). Data yang terkumpul kemudian digunakan sebagai data latih dan data uji untuk model SVM.

#### 5. Proses Pengujian

Sistem yang telah dibuat diuji untuk memastikan seluruh fungsi berjalan sesuai rancangan, mulai dari pembacaan sensor, kestabilan koneksi WiFi, pengiriman data ke server, hingga tampilan status pada LCD serta aktivasi relay. Pengujian juga dilakukan untuk melihat respon sistem saat terjadi perubahan intensitas getaran.

#### 6. Pelatihan dan Penyetelan SVM

Tahap ini meliputi pengolahan data hasil pengambilan (windowing dan ekstraksi fitur), kemudian dilakukan pelatihan model SVM untuk mengklasifikasikan potensi longsor ke dalam 3 kelas. Parameter SVM (misalnya C dan gamma jika menggunakan kernel RBF) disetel untuk mendapatkan performa terbaik.

#### 7. Evaluasi

Evaluasi dilakukan untuk menilai kinerja sistem dan model klasifikasi. Kinerja model dievaluasi menggunakan metrik seperti confusion matrix, accuracy, precision, recall, dan F1-score. Selain itu, kinerja sistem IoT dievaluasi dari sisi keandalan pembacaan sensor, latensi pengiriman data, serta ketepatan output (LCD dan relay) sesuai kelas hasil prediksi.

## 8. Hasil dan Pembahasan

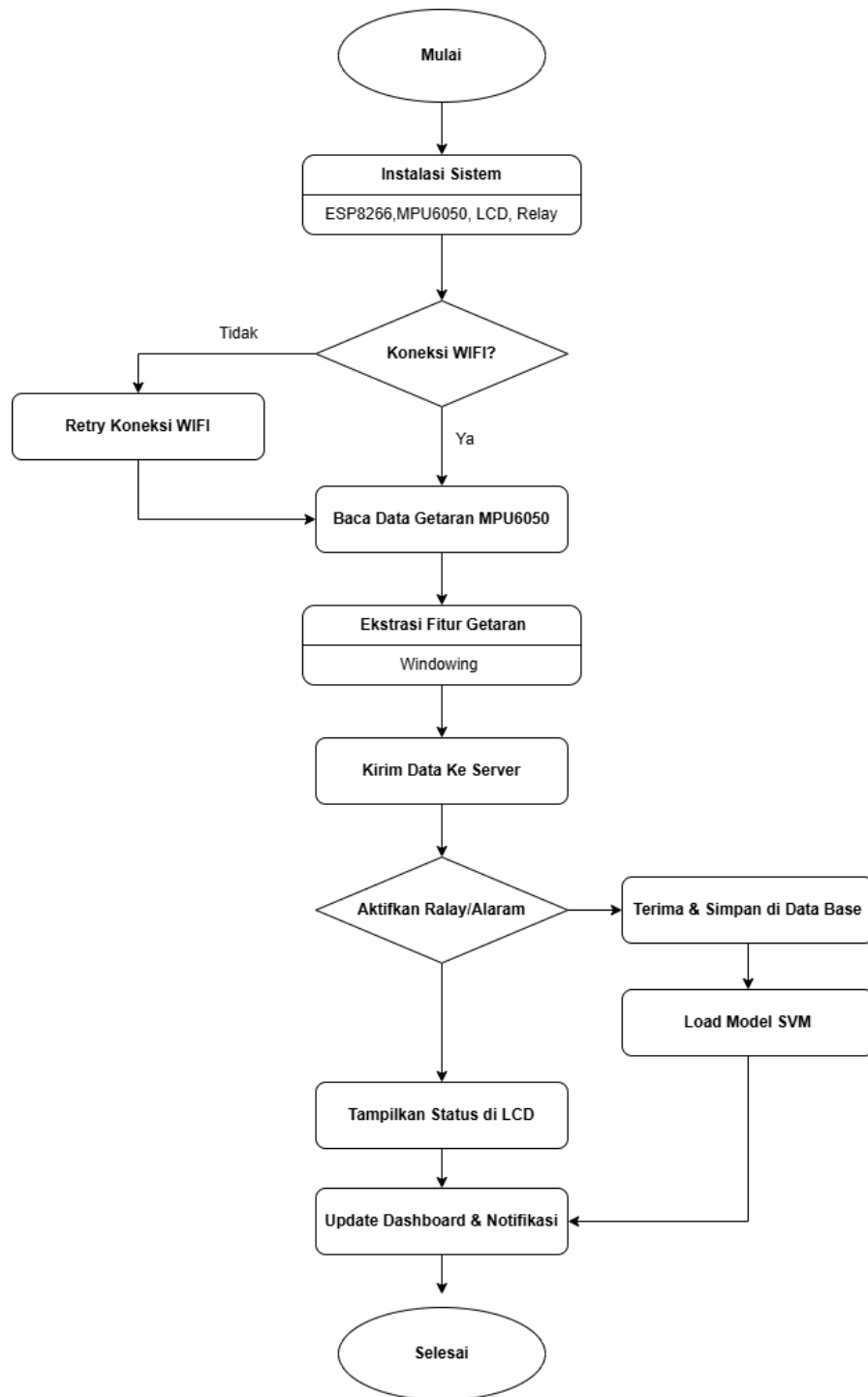
Tahap ini membahas hasil penelitian secara keseluruhan, meliputi analisis data getaran yang diperoleh, performa model SVM dalam membedakan kelas Aman–Waspada–Bahaya, serta analisis kinerja sistem IoT. Pada bagian ini juga dijelaskan keterbatasan sistem dan peluang pengembangan.

## 9. Selesai

Penelitian dinyatakan selesai apabila seluruh tahapan telah dilakukan, sistem mampu berjalan sesuai rancangan, serta menghasilkan keluaran klasifikasi dan peringatan yang sesuai dengan tujuan penelitian.

### **3.3 Flowchart Sistem**

Sistem yang dibuat pada penelitian ini bertujuan untuk memantau getaran tanah secara real-time menggunakan teknologi IoT. Sensor MPU6050 digunakan untuk membaca getaran, lalu data dibaca oleh ESP8266 dan dikirim melalui WiFi ke server. Di server, data getaran akan dibagi per beberapa detik (windowing) dan diambil nilai-nilai pentingnya (ekstraksi fitur) agar lebih mudah dianalisis. Setelah itu, data diproses menggunakan metode SVM untuk menentukan kondisi getaran menjadi tiga kategori, yaitu Aman, Waspada, atau Bahaya. Hasilnya ditampilkan pada LCD, dan jika kondisi terdeteksi Bahaya, sistem akan menyalakan relay/alarm sebagai peringatan. Selain itu, informasi kondisi juga dapat ditampilkan pada dashboard agar pengguna bisa memantau keadaan secara terus-menerus.



Gambar 3.2 Flowchart Sistem

Berdasarkan Flowchart Sistem di atas, tahapan metode penelitian dalam perancangan Sistem Pemantauan Getaran Tanah Berbasis IoT dengan Klasifikasi Potensi Longsor Menggunakan SVM dijelaskan sebagai berikut:

## 1. Mulai → Inisialisasi Sistem

Sistem dinyalakan lalu semua komponen disiapkan:

- a. ESP8266 sebagai mikrokontroler & pengirim data via WiFi
- b. MPU6050 sebagai sensor getaran (accelerometer/gyro)
- c. LCD untuk menampilkan status
- d. Relay/Alarm untuk peringatan (mis. buzzer/lampu)

Output tahap ini: perangkat siap bekerja dan masuk ke pengecekan koneksi.

## 2. Keputusan: Koneksi WiFi

Sistem mengecek apakah ESP8266 berhasil terhubung ke jaringan WiFi.

- a. Jika TIDAK terhubung → masuk ke proses Retry Koneksi WiFi  
Artinya ESP akan mengulang koneksi sampai berhasil (biasanya juga bisa menampilkan “WiFi Connecting...” di LCD).
- b. Jika YA terhubung → lanjut ke pembacaan sensor.

Tujuan tahap ini: memastikan data bisa dikirim ke server (karena sistemmu real-time dan berbasis IoT).

## 3. Baca Data Getaran MPU6050

Setelah koneksi aman, ESP8266 membaca data getaran dari MPU6050.

Biasanya yang dibaca:

- a. akselerasi sumbu X, Y, Z (dan gyro jika dipakai)

Data ini masih mentah (raw).

## 4. Ekstraksi Fitur Getaran (Windowing & Feature Extraction)

Data mentah tidak langsung diklasifikasi satu per satu, tapi:

1. dikumpulkan per window waktu (misalnya 1–5 detik),
2. lalu dihitung fitur-fitur statistik, misalnya:

- a. mean, standar deviasi,
- b. RMS,
- c. peak (puncak getaran),
- d. dan fitur lain yang kamu tetapkan.

Tujuannya: membuat data jadi lebih “representatif” untuk model SVM dan lebih stabil terhadap noise.

#### 5. Kirim Data ke Server

Fitur (atau data raw + fitur) lalu dikirim ke server melalui jaringan (umumnya HTTP/MQTT) agar:

- a. bisa disimpan,
- b. bisa diproses,
- c. dan dipakai untuk klasifikasi.

#### 6. Server: Terima & Simpan ke Database

Server menerima data lalu menyimpannya ke database (beserta timestamp).

Ini penting untuk:

- a. histori pemantauan,
- b. visualisasi dashboard,
- c. evaluasi/rekap data.

#### 7. Server: Load Model SVM → Prediksi Kelas

Server memanggil model SVM yang sudah dilatih (training dilakukan sebelumn sebelumnya dari dataset). Kemudian model memprediksi kelas:

- a. Aman
- b. Waspada
- c. Bahaya

## 8. Aksi Output (LCD + Relay/Alarm) + Update Dashboard

Setelah hasil klasifikasi keluar:

1. Jika hasil = Bahaya
  - a. Sistem mengaktifkan relay/alarm
  - b. menampilkan informasi bahaya di LCD
  - c. mengupdate dashboard/notifikasi
2. Jika hasil = Aman/Waspada
  - a. Sistem hanya menampilkan status di LCD
  - b. tetap update dashboard/notifikasi (mis. status dan grafik)

Intinya: relay/alarm hanya aktif saat kondisi “Bahaya”.

### **3.4 Lokasi dan Jadwal Penelitian**

#### **3.4.1 Lokasi Penelitian**

Penelitian ini dilaksanakan di kawasan Tirtanadi Sibolangit, Kabupaten Deli Serdang, Sumatera Utara. Lokasi ini dipilih karena memiliki karakteristik topografi berupa perbukitan dan kemiringan lereng yang berpotensi mengalami pergerakan tanah, sehingga relevan sebagai area pengujian sistem pemantauan getaran tanah berbasis Internet of Things (IoT). Tirtanadi Sibolangit merupakan wilayah yang berada pada kawasan dataran tinggi dengan kondisi tanah yang dipengaruhi oleh faktor curah hujan, struktur tanah, serta aktivitas lingkungan sekitar. Karakteristik tersebut menjadikan lokasi ini representatif untuk pengujian sistem monitoring getaran tanah yang bertujuan mendeteksi indikasi awal potensi longsor.

Pemilihan Tirtanadi Sibolangit sebagai lokasi penelitian diharapkan dapat memberikan gambaran yang lebih realistis terhadap performa sistem dalam kondisi lapangan sebenarnya, khususnya dalam hal kestabilan pembacaan sensor, kualitas

transmisi data, serta akurasi klasifikasi potensi longsor menjadi kategori Aman, Waspada, dan Bahaya.

Dengan dilaksanakannya penelitian di lokasi ini, sistem yang dirancang tidak hanya diuji dalam kondisi simulasi, tetapi juga divalidasi pada lingkungan dengan karakteristik lereng yang nyata, sehingga meningkatkan relevansi dan kontribusi penelitian terhadap pengembangan sistem peringatan dini berbasis IoT.

### 3.4.2 Jadwal Penelitian

Tabel 3.1 Jadwal Penelitian

Kegiatan	Waktu Kegiatan																			
	Des 2025				Jan 2026				Feb 2026				Mar 2026				Apr 2026			
	Minggu ke				Minggu ke				Minggu ke				Minggu ke				Minggu ke			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Pengajuan Judul	■	■																		
Penyusunan Proposal BAB I - BAB III			■	■	■	■	■	■												
Perakitan Alat									■	■	■	■								
Pengujian Sistem															■	■	■	■		

### 3.5 Alat dan Bahan Penelitian

Adapun alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian Rancang Bangun Sistem Pemantauan Getaran Tanah Berbasis IoT dengan Klasifikasi Potensi Longsor Menggunakan SVM adalah sebagai berikut:

#### 3.5.1 Perangkat Keras (Hardware):

Tabel 3.2 Alat Penelitian

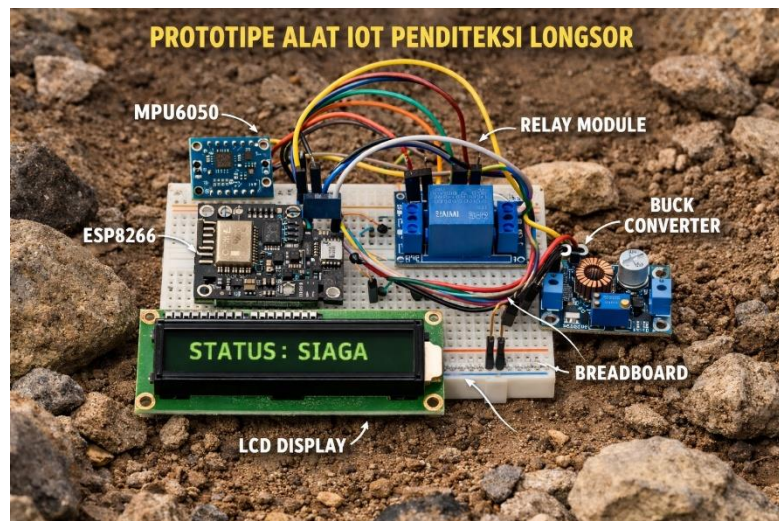
No	Nama Alat	Fungsi
1	ESP8266 (NodeMCU)	Mikrokontroler utama untuk membaca sensor, memproses data sederhana, dan mengirim data melalui WiFi.
2	Sensor MPU6050	Mendeteksi getaran/percepatan (dan dapat membaca kemiringan) sebagai data utama pemantauan.
3	LCD (16x2 / LCD I2C)	Menampilkan status hasil klasifikasi potensi longsor (Aman, Waspada, Bahaya) dan informasi singkat.
4	Relay Module (1 Channel)	Mengaktifkan perangkat peringatan (mis. buzzer/lampu) sesuai kondisi, terutama saat status Bahaya.
5	Breadboard	Media perakitan prototipe tanpa penyolderan agar rangkaian mudah dirangkai dan diuji.
6	Buck Converter	Menurunkan dan menstabilkan tegangan listrik
7	Kabel Jumper	Menghubungkan ESP8266 dengan MPU6050, LCD, dan relay pada breadboard.
8	Catu Daya (USB 5V/Adaptor)	Memberikan suplai daya untuk ESP8266 dan komponen rangkaian.
9	WiFi /Hotspot	Menyediakan koneksi internet agar data dapat dikirim ke server/cloud untuk pemantauan dan klasifikasi.

### 3.5.2 Perangkat Lunak (Software):

Tabel 3.3 Perangkat Lunak

NO	NAMA	FUNGSI
1.	Arduino IDE	Software yang digunakan untuk menulis kode program, melakukan kompilasi, dan mengunggah program ke mikrokontroler ESP8266 melalui koneksi USB.
2.	Visual Studio Code	sebagai editor kode sumber gratis dan kuat untuk pengembangan aplikasi, menawarkan fitur seperti IntelliSense (penyelesaian kode pintar), debugging
3.	Wokwi	Digunakan untuk mensimulasikan rangkaian ESP8266 dan sensor secara virtual sebelum perakitan alat dilakukan secara nyata.
4.	Web Server	Web Server IoT untuk menampilkan data sensor secara real-time, monitoring jarak jauh, dan pengendalian perangkat dan sebagai media pengiriman notifikasi secara otomatis kepada pengguna jika terdapat kondisi tertentu
5.	Draw.io	Digunakan untuk membuat diagram sistem seperti flowchart, dan ilustrasi proses kerja sistem.

### 3.6 Perancangan Prototipe



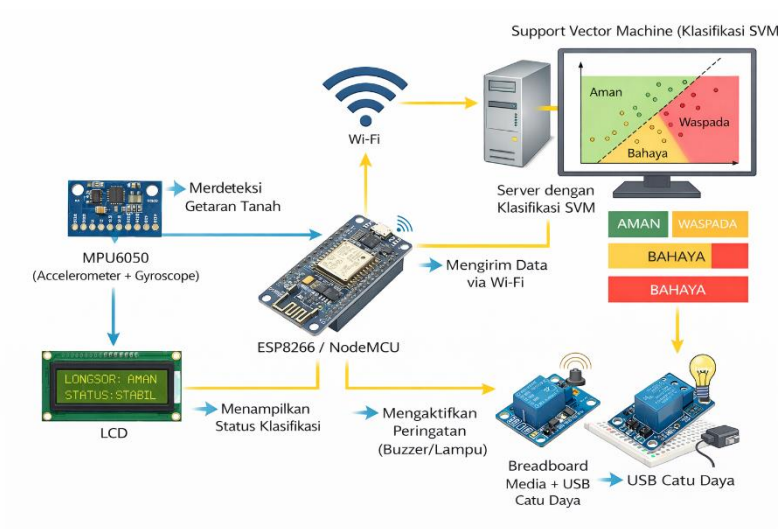
Gambar 3.3 Perancangan Prototipe

Prototipe alat IoT untuk mendeteksi potensi longsor. Alat ini menggunakan sensor MPU6050 untuk membaca getaran dan kemiringan. Data sensor kemudian

diproses oleh ESP8266, yang berfungsi sebagai pengendali sekaligus mengirim informasi melalui Wi-Fi. Status kondisi ditampilkan pada LCD, Jika terdeteksi perubahan yang berbahaya, relay akan aktif untuk menyalakan peringatan seperti lampu. Sementara itu, buck converter digunakan untuk menstabilkan tegangan agar rangkaian bekerja dengan baik.

### 3.7 Diagram Blok

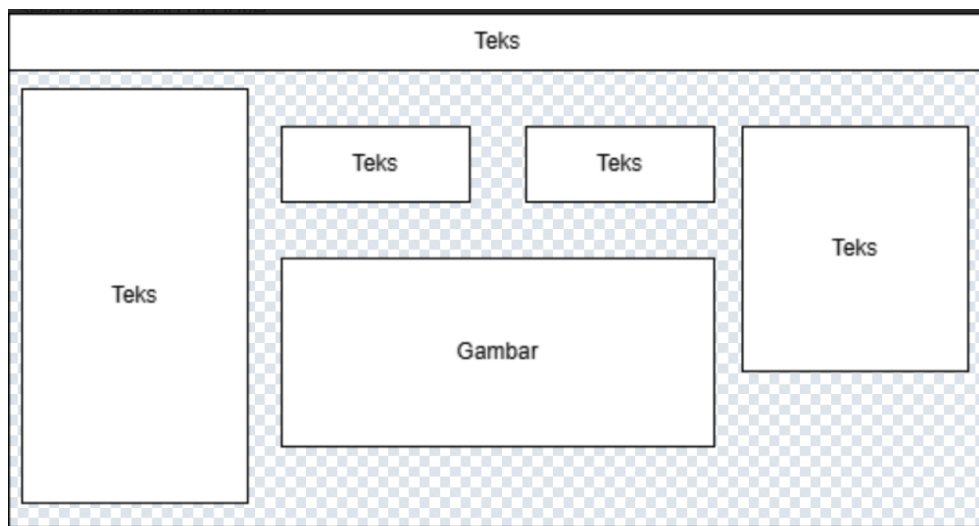
Diagram blok menggambarkan alur kerja sistem pemantauan getaran tanah berbasis IoT yang menggunakan mikrokontroler ESP8266. Sistem ini dirancang untuk membaca data getaran/percepatan dari sensor MPU6050, kemudian mengirimkan data melalui WiFi ke server untuk diproses dan diklasifikasikan menggunakan Support Vector Machine (SVM) menjadi tiga kelas potensi longsor (Aman, Waspada, Bahaya). Hasil klasifikasi selanjutnya ditampilkan pada LCD dan dapat mengaktifkan relay sebagai indikator/peringatan. Berikut ditampilkan gambar beserta penjelasan setiap blok fungsionalnya.



Gambar 3.4 Diagram Blok

Diagram blok di atas menggambarkan rancangan sistem pemantauan getaran tanah berbasis IoT yang dirancang untuk memantau aktivitas getaran/percepatan tanah secara real-time. Data dari sensor kemudian diproses untuk melakukan klasifikasi potensi longsor menggunakan metode SVM sehingga menghasilkan status Aman, Waspada, atau Bahaya.

### 3.8 Rancangan Web



Gambar 3.5 Rancangan web

## **BAB IV**

### **HASIL PEMBAHASAN**

#### **4.1 Hasil Pembahasan Sistem**

Pada penelitian ini telah dilakukan implementasi sistem pemantauan getaran tanah berbasis Internet of Things (IoT) dengan klasifikasi potensi longsor menggunakan metode Support Vector Machine (SVM). Implementasi sistem merupakan tahap realisasi dari rancangan yang telah dijelaskan pada bab sebelumnya, baik dari sisi perangkat keras maupun perangkat lunak. Sistem yang dibangun dirancang agar mampu membaca data getaran tanah secara real-time menggunakan sensor MPU6050, mengirimkan data melalui jaringan Wi-Fi dengan bantuan mikrokontroler ESP8266, kemudian memproses data tersebut pada sisi server untuk menentukan tingkat potensi longsor ke dalam tiga kategori, yaitu Aman, Waspada, dan Bahaya. Hasil klasifikasi selanjutnya ditampilkan pada LCD, dikirim ke dashboard web, serta digunakan untuk mengaktifkan relay sebagai media peringatan ketika sistem mendeteksi kondisi berbahaya.

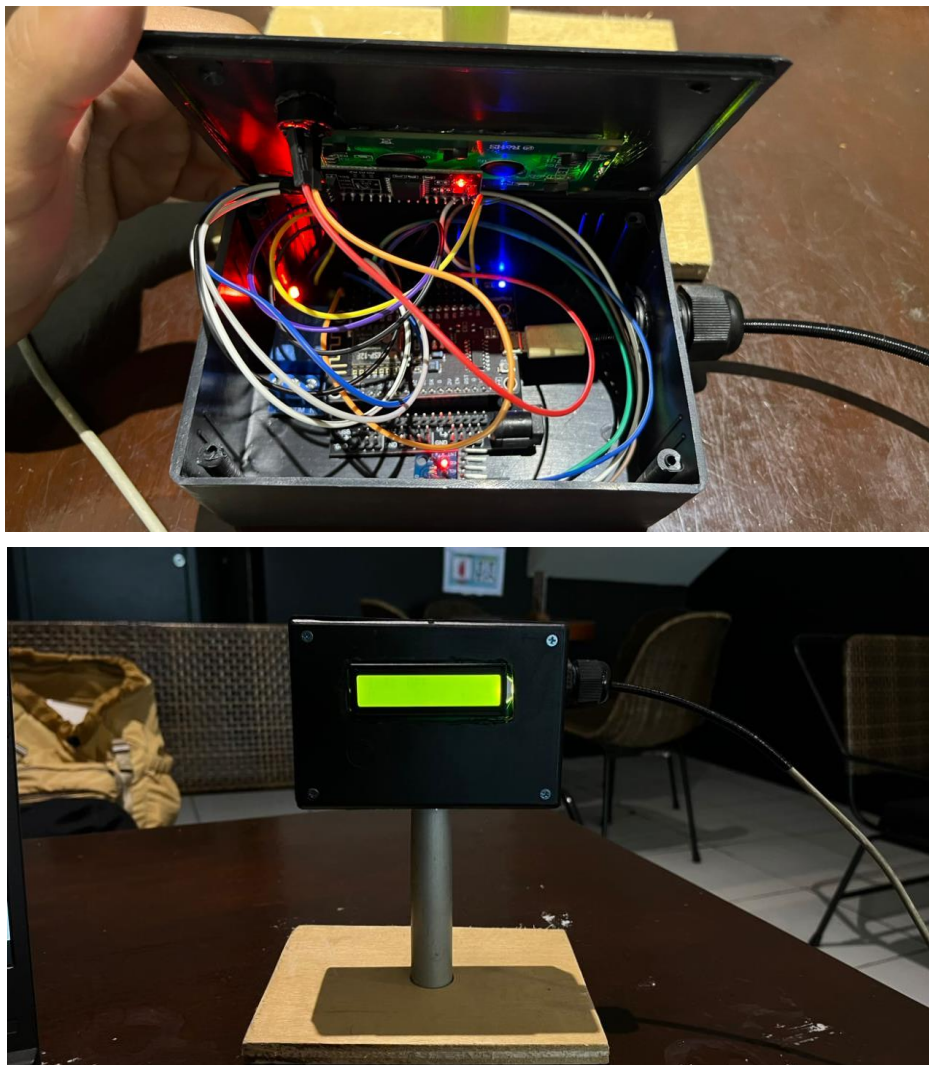
Implementasi sistem pada penelitian ini tidak hanya berfokus pada pembuatan prototipe alat, tetapi juga pada integrasi antarkomponen agar seluruh alur kerja dapat berjalan secara utuh. Dengan demikian, sistem tidak hanya berfungsi sebagai alat pembaca sensor, melainkan sebagai sebuah sistem monitoring yang terdiri atas proses akuisisi data, pengiriman data, pemrosesan data, klasifikasi, dan penyajian informasi kepada pengguna. Tahap implementasi menjadi penting karena pada tahap inilah rancangan konseptual pada diagram blok, flowchart sistem, dan rancangan prototipe diwujudkan menjadi alat yang dapat diuji secara langsung.

#### **4.1.1 Implementasi Perangkat Keras**

Implementasi perangkat keras dilakukan dengan merangkai seluruh komponen utama yang telah ditentukan pada tahap perancangan, yaitu ESP8266 (NodeMCU), sensor MPU6050, LCD 16x2 berbasis I2C, relay module, breadboard, buck converter, kabel jumper, catu daya, serta koneksi Wi-Fi/hotspot sebagai media komunikasi data. ESP8266 digunakan sebagai pusat kendali sistem yang bertugas membaca data dari sensor, mengelola proses komunikasi data, dan mengatur keluaran sistem. Sensor MPU6050 berfungsi sebagai komponen utama untuk mendeteksi perubahan getaran atau percepatan pada sumbu x, y, dan z yang menjadi data masukan utama dalam penelitian ini. LCD digunakan untuk menampilkan status sistem dan hasil klasifikasi, sedangkan relay dipakai untuk mengaktifkan perangkat peringatan seperti buzzer atau lampu ketika kondisi terdeteksi berbahaya. Sementara itu, buck converter digunakan untuk menjaga kestabilan tegangan agar seluruh rangkaian dapat bekerja dengan baik.

Pada tahap perakitan, seluruh komponen dihubungkan sesuai dengan fungsi masing-masing. Sensor MPU6050 dihubungkan ke ESP8266 melalui jalur komunikasi I2C untuk mengirimkan data pembacaan sensor. LCD I2C juga dihubungkan ke ESP8266 agar informasi status sistem dapat ditampilkan secara langsung pada perangkat. Relay dihubungkan ke salah satu pin output digital ESP8266 sehingga dapat dikendalikan secara otomatis berdasarkan hasil klasifikasi. Rangkaian prototipe disusun di atas breadboard agar memudahkan proses pengujian, perbaikan, dan penyesuaian koneksi selama penelitian berlangsung.

Hasil implementasi perangkat keras menunjukkan bahwa seluruh komponen utama dapat dirakit menjadi satu kesatuan sistem yang saling terhubung. ESP8266 dapat berfungsi sebagai pengendali utama, MPU6050 mampu memberikan data pembacaan getaran, LCD dapat menampilkan informasi sistem, dan relay dapat bekerja sebagai aktuator peringatan. Dengan demikian, secara fisik prototipe sistem telah berhasil direalisasikan sesuai dengan rancangan yang telah dibuat pada bab sebelumnya.



Gambar 4.1 Prototipe rancangan alat

#### **4.1.2 Implementasi Perangkat Lunak**

Selain perangkat keras, implementasi sistem juga dilakukan pada sisi perangkat lunak. Perangkat lunak yang digunakan dalam penelitian ini meliputi Arduino IDE untuk pemrograman ESP8266, Visual Studio Code untuk pengembangan kode pada sisi server atau dashboard, Wokwi untuk simulasi awal rangkaian, web server sebagai media penerimaan dan penyajian data, serta Draw.io yang sebelumnya digunakan untuk merancang diagram sistem. Pada tahap implementasi, program pada ESP8266 dibuat agar mampu melakukan inisialisasi perangkat, membaca data sensor MPU6050, melakukan koneksi ke jaringan Wi-Fi, serta mengirimkan data hasil pembacaan ke server secara berkala.

#### **4.1.3 Implementasi Alur Kerja Sistem**

Secara operasional, sistem yang telah diimplementasikan bekerja melalui beberapa tahapan. Tahap pertama dimulai ketika perangkat dinyalakan. Pada kondisi ini ESP8266 akan melakukan inisialisasi seluruh komponen yang terhubung, yaitu sensor MPU6050, LCD, serta relay. Setelah itu, sistem melakukan pengecekan koneksi Wi-Fi. Jika koneksi ke jaringan belum berhasil, maka ESP8266 akan terus mencoba melakukan koneksi ulang hingga jaringan tersedia. Tahap ini penting karena sistem dirancang sebagai sistem IoT yang membutuhkan koneksi internet agar data dapat dikirim ke server.

Setelah koneksi berhasil diperoleh, sensor MPU6050 mulai membaca data percepatan atau getaran dari lingkungan sekitar. Data yang dibaca berupa nilai akselerasi pada sumbu x, y, dan z. Nilai-nilai ini merupakan data mentah yang selanjutnya menjadi dasar untuk membentuk indikator getaran tanah. Pada implementasinya, data sensor tidak selalu langsung digunakan satu per satu, tetapi dikumpulkan terlebih dahulu dalam rentang waktu tertentu untuk membentuk

window data. Proses ini bertujuan agar data yang diproses menjadi lebih stabil dan lebih representatif terhadap kondisi aktual getaran yang terjadi.

Setelah data terkumpul dalam window tertentu, sistem melakukan ekstraksi fitur. Fitur-fitur yang digunakan antara lain dapat berupa mean, standar deviasi, RMS, variansi, peak, atau fitur statistik lain yang telah ditentukan pada tahap perancangan model. Tahap ekstraksi fitur ini merupakan bagian penting dalam implementasi sistem karena model SVM tidak menggunakan data mentah secara langsung, melainkan menggunakan fitur-fitur yang mewakili pola getaran. Dengan demikian, hasil klasifikasi yang diperoleh diharapkan lebih stabil dan lebih akurat dibandingkan apabila hanya menggunakan satu nilai pembacaan sensor saja.

Selanjutnya, data hasil ekstraksi fitur dikirim ke server melalui jaringan Wi-Fi. Pada tahap ini, ESP8266 berperan sebagai pengirim data, sedangkan server berperan sebagai penerima dan pemroses data. Server yang menerima data akan menyimpan data tersebut ke dalam basis data beserta waktu pengambilan data. Penyimpanan ini diperlukan agar data dapat digunakan untuk histori monitoring, evaluasi sistem, serta visualisasi pada dashboard web. Selain itu, keberadaan basis data juga memudahkan proses analisis jika pada tahap berikutnya diperlukan peninjauan kembali terhadap data-data yang telah terekam.

Setelah data diterima dan disimpan, server akan memanggil model SVM yang telah melalui tahap pelatihan sebelumnya. Model ini kemudian melakukan prediksi terhadap data yang masuk dan menghasilkan keluaran berupa kategori kondisi, yaitu Aman, Waspada, atau Bahaya. Tahap ini menjadi inti dari implementasi sistem cerdas pada penelitian, karena sistem tidak hanya membaca

dan menampilkan data sensor, tetapi juga mampu memberikan interpretasi terhadap kondisi getaran tanah berdasarkan pola data yang telah dipelajari model SVM.

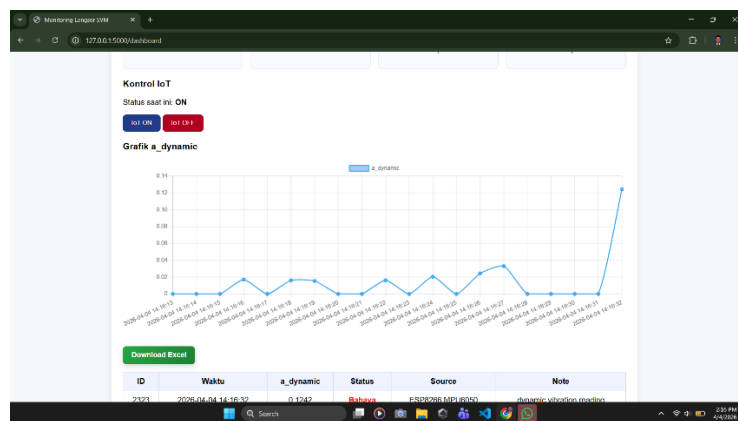
Hasil klasifikasi yang dihasilkan server kemudian digunakan untuk memperbarui tampilan sistem. Pada kondisi Aman dan Waspada, status akan ditampilkan pada LCD dan dashboard sebagai informasi monitoring kepada pengguna. Namun apabila hasil klasifikasi menunjukkan kondisi Bahaya, sistem akan menjalankan aksi tambahan berupa aktivasi relay yang dapat digunakan untuk menyalakan buzzer peringatan. Dengan mekanisme tersebut, sistem tidak hanya berfungsi sebagai alat pemantau, tetapi juga sebagai media peringatan dini sederhana yang dapat memberikan respons otomatis terhadap kondisi yang dianggap berisiko.

#### **4.1.4 Implementasi Tampilan Informasi pada LCD dan Dashboard**

Pada implementasi sistem ini, informasi hasil klasifikasi ditampilkan melalui dua media utama, yaitu LCD pada perangkat dan dashboard web pada sisi pengguna. LCD berfungsi sebagai media tampilan lokal yang dapat langsung dibaca di lokasi alat dipasang. Melalui LCD, pengguna dapat mengetahui status sistem seperti kondisi koneksi, proses pembacaan data, dan hasil klasifikasi terakhir. Keberadaan LCD sangat membantu karena memungkinkan sistem tetap memberikan informasi meskipun pengguna tidak sedang membuka dashboard web.



Gambar 4.2 Tampilan LCD saat berjalan



Gambar 4.3 Tampilan dashboard web hasil monitoring



Gambar 4.4 Lokasi pengujian sistem di Tirtanadi Sibolangit

## 4.2 Hasil Pengujian Sistem

Pengujian sistem dilakukan untuk mengetahui tingkat keberhasilan implementasi alat dan perangkat lunak yang telah dirancang pada tahap sebelumnya. Tahap ini merupakan bagian yang sangat penting dalam penelitian, karena melalui pengujian dapat diketahui apakah sistem yang dibangun telah mampu bekerja sesuai tujuan penelitian, yaitu memantau getaran tanah secara real-time, mengirimkan data ke server, melakukan klasifikasi potensi longsor menggunakan metode Support Vector Machine (SVM), serta menampilkan hasil klasifikasi melalui media output yang telah disediakan. Sesuai dengan rancangan penelitian, pengujian sistem tidak hanya berfokus pada performa model klasifikasi, tetapi juga mencakup aspek fungsional dari perangkat IoT, seperti pembacaan sensor, kestabilan koneksi Wi-Fi, latensi pengiriman data, serta ketepatan keluaran pada LCD dan relay.

Tahap pengujian dalam penelitian ini dibagi menjadi beberapa bagian, yaitu pengujian pembacaan sensor MPU6050, pengujian koneksi Wi-Fi dan pengiriman data ke server, pengujian tampilan LCD dan relay, serta pengujian integrasi sistem secara keseluruhan. Melalui pembagian tersebut, analisis yang dihasilkan menjadi lebih sistematis dan dapat menunjukkan kontribusi masing-masing komponen

terhadap performa akhir sistem. Selain itu, pengujian ini juga digunakan untuk mengidentifikasi kemungkinan kendala yang muncul selama sistem bekerja, baik dari sisi perangkat keras, perangkat lunak, maupun komunikasi data.

#### **4.2.1 Pengujian Pembacaan Sensor MPU6050**

Pengujian pertama dilakukan pada sensor MPU6050 sebagai komponen utama dalam proses akuisisi data getaran. Sensor ini digunakan untuk membaca data percepatan pada tiga sumbu, yaitu sumbu x, sumbu y, dan sumbu z. Dalam penelitian ini, data percepatan tersebut menjadi dasar untuk membentuk indikator getaran tanah, yang selanjutnya diolah menjadi fitur-fitur tertentu untuk keperluan klasifikasi. Pada tahap ini, tujuan utama pengujian adalah untuk memastikan bahwa sensor mampu memberikan data yang stabil pada kondisi getaran rendah, responsif terhadap perubahan getaran, dan menghasilkan perbedaan nilai yang cukup jelas pada masing-masing kondisi pengujian.

Pada pelaksanaan pengujian, sensor diletakkan pada objek atau media uji, kemudian sistem dijalankan untuk membaca data pada beberapa skenario intensitas getaran. Untuk kondisi Aman, sistem diuji pada keadaan dengan getaran minimum atau mendekati stabil. Untuk kondisi Waspada, sistem diuji pada keadaan dengan getaran sedang atau mulai meningkat. Adapun untuk kondisi Bahaya, pengujian dilakukan pada intensitas getaran yang lebih besar sehingga dapat mewakili kondisi gangguan yang signifikan. Dari hasil pengujian tersebut, diperoleh bahwa sensor mampu membedakan perubahan intensitas getaran melalui kenaikan nilai percepatan yang terbaca pada masing-masing sumbu. Nilai yang dihasilkan juga menunjukkan pola yang konsisten dengan konsep tiga kelas yang telah ditetapkan sebelumnya, yaitu Aman, Waspada, dan Bahaya.



Gambar 4.5 Proses pengujian pembacaan sensor MPU6050

Tabel 4.1 Hasil Pengujian Pembacaan Sensor MPU6050

No	Tanggal	Nilai	Status	Perangkat	Keterangan
2322	2026-04-04 14:16:31	0.0000	Aman	ESP8266 MPU6050	dynamic vibration reading
2321	2026-04-04 14:16:30	0.0000	Aman	ESP8266 MPU6050	dynamic vibration reading
2320	2026-04-04 14:16:29	0.0000	Aman	ESP8266 MPU6050	dynamic vibration reading
2319	2026-04-04 14:16:28	0.0000	Aman	ESP8266 MPU6050	dynamic vibration reading
2318	2026-04-04 14:16:27	0.0330	Waspada	ESP8266 MPU6050	dynamic vibration reading
2317	2026-04-04 14:16:26	0.0243	Waspada	ESP8266 MPU6050	dynamic vibration reading
2316	2026-04-04 14:16:25	0.0000	Aman	ESP8266 MPU6050	dynamic vibration reading
2315	2026-04-04 14:16:24	0.0204	Waspada	ESP8266 MPU6050	dynamic vibration reading
2314	2026-04-04 14:16:23	0.0000	Aman	ESP8266 MPU6050	dynamic vibration reading
2313	2026-04-04 14:16:22	0.0162	Aman	ESP8266 MPU6050	dynamic vibration reading
2312	2026-04-04 14:16:21	0.0000	Aman	ESP8266 MPU6050	dynamic vibration reading
2311	2026-04-04 14:16:20	0.0000	Aman	ESP8266 MPU6050	dynamic vibration reading
2310	2026-04-04 14:16:19	0.0154	Aman	ESP8266 MPU6050	dynamic vibration reading
2309	2026-04-04 14:16:18	0.0161	Aman	ESP8266 MPU6050	dynamic vibration reading
2308	2026-04-04 14:16:17	0.0000	Aman	ESP8266 MPU6050	dynamic vibration reading
2307	2026-04-04 14:16:16	0.0170	Aman	ESP8266 MPU6050	dynamic vibration reading
2306	2026-04-04 14:16:15	0.0000	Aman	ESP8266 MPU6050	dynamic vibration reading

Berdasarkan tabel tersebut, dapat dijelaskan bahwa semakin tinggi intensitas getaran yang diberikan, maka semakin besar pula nilai percepatan dan indikator getaran dinamis yang dihasilkan sensor. Temuan ini mendukung penggunaan MPU6050 sebagai sensor utama dalam sistem pemantauan getaran tanah berbasis IoT.

#### 4.2.2 Pengujian Koneksi Wi-Fi dan Pengiriman Data ke Server

Pada tahap pengujian ini, beberapa parameter yang diamati meliputi waktu yang dibutuhkan perangkat untuk terhubung ke jaringan, keberhasilan pengiriman data, kestabilan koneksi selama sistem berjalan, dan latensi dari perangkat ke server. Pengujian dilakukan dengan menyalakan sistem, menghubungkannya ke jaringan hotspot atau Wi-Fi yang tersedia, kemudian mengamati apakah perangkat mampu mempertahankan koneksi selama proses pembacaan dan pengiriman data berlangsung. Selanjutnya, data hasil sensor diamati pada sisi server untuk memastikan bahwa data benar-benar diterima, disimpan, dan siap diproses.

Tabel 4.2 Hasil Pengujian Koneksi Wi-Fi dan Pengiriman Data

No	Parameter Pengujian	Hasil
1	Waktu koneksi awal ke Wi-Fi	3 detik
2	Jumlah data berhasil terkirim	17 data
3	Jumlah data gagal terkirim	0 data
4	Persentase keberhasilan pengiriman	100%
5	Rata-rata latensi pengiriman	0,3 detik

Berdasarkan tabel tersebut, pembahasan dapat diarahkan pada tingkat keandalan sistem dalam melakukan transmisi data. Apabila persentase pengiriman data tinggi dan latensi relatif kecil, maka sistem dapat dinyatakan cukup baik untuk

mendukung proses pemantauan dan klasifikasi secara real-time. Sebaliknya, apabila masih terdapat kegagalan pengiriman yang cukup besar, maka bagian ini dapat digunakan untuk membahas perlunya optimasi jaringan, mekanisme retry, atau penyimpanan sementara pada perangkat sebelum data dikirim ulang.

#### 4.2.3 Pengujian Tampilan LCD dan Aktivasi Relay

Setelah pembacaan sensor dan pengiriman data berjalan, tahap pengujian berikutnya diarahkan pada media keluaran sistem, yaitu LCD dan relay. Pada rancangan penelitian, LCD digunakan sebagai media tampilan lokal yang menampilkan status kondisi sistem, sedangkan relay digunakan sebagai aktuator peringatan ketika hasil klasifikasi menunjukkan kondisi Bahaya. Dengan demikian, pengujian pada bagian ini bertujuan untuk memastikan bahwa keluaran yang dihasilkan sistem telah sesuai dengan logika keputusan yang dirancang.



Gambar 4.6 Tampilan LCD pada kondisi Aman

Tabel 4.3 Hasil Pengujian LCD dan Relay

No	Hasil Klasifikasi	Tampilan LCD	Kondisi Relay	Keterangan
1	Aman	Tampil sesuai	Aktif	Sesuai rancangan
2	Waspada	Tampil sesuai	Aktif	Sesuai rancangan
3	Bahaya	Tampil sesuai	Aktif	Sesuai rancangan

Melalui tabel tersebut, dapat dijelaskan bahwa keluaran sistem telah menunjukkan kesesuaian antara status hasil klasifikasi dengan aksi yang dijalankan perangkat. Kesesuaian ini menjadi indikator penting bahwa integrasi antara bagian sensor, proses klasifikasi, dan aktuator telah berjalan secara sinkron.

### **4.3 Hasil Pengolahan Data dan Klasifikasi SVM**

Pada penelitian ini, tahap pengolahan data dan klasifikasi merupakan bagian yang sangat penting karena berfungsi mengubah data getaran tanah hasil pembacaan sensor menjadi informasi kondisi yang lebih bermakna. Data yang diperoleh dari sensor MPU6050 tidak langsung digunakan sebagai dasar penentuan status potensi longsor, tetapi terlebih dahulu melalui beberapa tahapan pengolahan agar karakteristik sinyal getaran dapat direpresentasikan dengan lebih baik. Pendekatan ini dipilih karena data getaran yang diperoleh dari sensor pada umumnya bersifat dinamis, fluktuatif, dan rentan terhadap gangguan atau noise, sehingga apabila digunakan secara langsung tanpa pengolahan pendahuluan dapat menurunkan kualitas hasil klasifikasi. Dalam penelitian ini, tahapan pengolahan data dilakukan secara sistematis mulai dari pembentukan dataset, segmentasi data menggunakan windowing, ekstraksi fitur, standardisasi fitur, pelatihan model Support Vector Machine (SVM), hingga evaluasi performa model menggunakan beberapa metrik pengujian.

ID	Waktu	a_dynamic	Status	Source	Note
2323	2026-04-04 14:18:32	0.1242	Bahaya	ESP8266 MPU6050	dynamic vibration reading
2322	2026-04-04 14:18:31	0.0000	Aman	ESP8266 MPU6050	dynamic vibration reading
2321	2026-04-04 14:18:30	0.0000	Aman	ESP8266 MPU6050	dynamic vibration reading
2320	2026-04-04 14:18:29	0.0000	Aman	ESP8266 MPU6050	dynamic vibration reading
2319	2026-04-04 14:18:28	0.0000	Aman	ESP8266 MPU6050	dynamic vibration reading
2318	2026-04-04 14:18:27	0.0330	Waspada	ESP8266 MPU6050	dynamic vibration reading
2317	2026-04-04 14:18:26	0.0243	Waspada	ESP8266 MPU6050	dynamic vibration reading
2316	2026-04-04 14:18:25	0.0000	Aman	ESP8266 MPU6050	dynamic vibration reading
2315	2026-04-04 14:18:24	0.0204	Waspada	ESP8266 MPU6050	dynamic vibration reading
2314	2026-04-04 14:18:23	0.0000	Aman	ESP8266 MPU6050	dynamic vibration reading
2313	2026-04-04 14:18:22	0.0162	Aman	ESP8266 MPU6050	dynamic vibration reading
2312	2026-04-04 14:18:21	0.0000	Aman	ESP8266 MPU6050	dynamic vibration reading
2311	2026-04-04 14:18:20	0.0000	Aman	ESP8266 MPU6050	dynamic vibration reading

Gambar 4.7 Dataset hasil pembacaan sensor

### 4.3.1 Pembentukan Dataset dan Karakteristik Data

Dataset pada penelitian ini dibentuk dari hasil pembacaan sensor MPU6050 yang menghasilkan data percepatan pada tiga sumbu, yaitu ax, ay, dan az. Selain ketiga parameter utama tersebut, data juga direpresentasikan dalam bentuk parameter turunan seperti a\_mag yang menunjukkan magnitudo percepatan total serta a\_dynamic yang menggambarkan komponen dinamis dari getaran. Seluruh data kemudian diberi label sesuai dengan kondisi pengujian yang telah dirancang, yaitu Aman, Waspada, dan Bahaya. Struktur dataset ini menunjukkan bahwa penelitian tidak hanya mengandalkan satu parameter tunggal, tetapi memanfaatkan kombinasi beberapa nilai pengukuran agar karakteristik getaran dapat direpresentasikan secara lebih komprehensif.

Berdasarkan contoh dataset yang telah disajikan pada Tabel 2.4, terdapat kecenderungan pola yang berbeda antar kelas. Pada kondisi Aman, nilai percepatan relatif kecil dan stabil, dengan nilai a\_dynamic berada pada rentang yang sangat rendah. Pada kondisi Waspada, nilai getaran mulai mengalami peningkatan yang ditunjukkan oleh kenaikan nilai a\_dynamic. Sementara itu, pada kondisi Bahaya, nilai getaran menunjukkan perubahan yang lebih tinggi dan lebih fluktuatif

dibanding dua kelas sebelumnya. Perbedaan pola ini menunjukkan bahwa data yang diperoleh dari sensor memiliki potensi yang baik untuk dipelajari oleh model klasifikasi, karena masing-masing kelas memiliki karakteristik yang dapat dibedakan secara numerik.

Secara akademik, pembentukan dataset menjadi tahapan awal yang sangat menentukan terhadap kualitas model klasifikasi. Model SVM bekerja dengan membentuk batas keputusan berdasarkan pola pada ruang fitur. Oleh sebab itu, semakin jelas perbedaan karakteristik antar kelas, maka semakin besar pula peluang model untuk menghasilkan klasifikasi yang baik. Sebaliknya, apabila distribusi data antar kelas terlalu tumpang tindih, maka proses pembelajaran akan menjadi lebih sulit dan berpotensi menurunkan performa model. Dalam konteks penelitian ini, keberadaan tiga kelas diskrit yang telah dirancang sejak awal menunjukkan bahwa sistem diarahkan untuk menghasilkan keputusan yang operasional dan mudah dipahami pengguna, bukan sekadar menampilkan nilai sensor mentah.

#### **4.3.2 Tahap Preprocessing Data**

Sebelum model SVM dilatih, data mentah hasil pembacaan sensor terlebih dahulu melalui tahap preprocessing. Tahap ini dilakukan karena data getaran dari MPU6050 diperoleh secara kontinu terhadap waktu, sehingga satu titik pembacaan saja belum cukup untuk mewakili kondisi getaran secara keseluruhan. Sesuai dengan rancangan pada metodologi penelitian, data dibagi ke dalam beberapa potongan waktu tertentu melalui proses windowing, misalnya dalam interval 1–5 detik, sehingga setiap window dapat dianggap sebagai satu sampel pengamatan. Pendekatan ini digunakan agar informasi pola getaran dalam suatu interval waktu tetap terjaga dan model tidak hanya merespons lonjakan nilai sesaat.

Proses windowing memiliki peran penting dalam penelitian ini karena memungkinkan sistem untuk menangkap kecenderungan perilaku sinyal getaran dalam suatu rentang waktu tertentu. Dengan demikian, data yang diproses menjadi lebih stabil dan lebih representatif terhadap kondisi sebenarnya. Pada sistem monitoring berbasis sinyal, penggunaan data mentah secara langsung sering kali menyebabkan model menjadi terlalu sensitif terhadap noise, sehingga hasil klasifikasi mudah berubah akibat gangguan kecil. Oleh karena itu, segmentasi data melalui windowing merupakan langkah yang tepat untuk mereduksi pengaruh fluktuasi sesaat dan meningkatkan kualitas sampel yang akan digunakan pada tahap berikutnya.

Setelah data dibagi ke dalam beberapa window, tahap selanjutnya adalah ekstraksi fitur. Dalam rancangan penelitian, fitur-fitur yang digunakan berasal dari domain waktu, seperti mean, RMS, variance, peak, standar deviasi, atau fitur statistik lain yang dianggap relevan. Tahap ekstraksi fitur dilakukan dengan tujuan mengubah data mentah yang jumlahnya banyak menjadi sekumpulan parameter yang lebih ringkas, tetapi tetap mampu menggambarkan karakteristik utama dari sinyal getaran. Melalui pendekatan ini, model SVM tidak perlu mempelajari seluruh data mentah secara langsung, melainkan cukup mempelajari pola dari fitur-fitur yang telah dirancang untuk mewakili perilaku getaran.

Secara teoritis, penggunaan fitur statistik dalam penelitian ini sangat sesuai untuk data getaran. Nilai mean dapat menggambarkan kecenderungan rata-rata sinyal dalam suatu interval, RMS menunjukkan kekuatan atau energi getaran, variance dan standar deviasi menunjukkan tingkat sebaran data, sedangkan peak dapat menunjukkan amplitudo puncak dari getaran yang terjadi. Dengan

mengombinasikan beberapa fitur tersebut, representasi data menjadi lebih kaya dan lebih informatif dibandingkan hanya menggunakan satu parameter. Hal ini penting karena kondisi Aman, Waspada, dan Bahaya tidak selalu dapat dibedakan hanya dari satu nilai batas saja, melainkan lebih tepat dianalisis sebagai pola yang terdiri atas beberapa ciri statistik secara bersamaan.

Setelah fitur diperoleh, tahap preprocessing dilanjutkan dengan standarisasi fitur. Tahap ini diperlukan karena metode SVM sensitif terhadap perbedaan skala antar fitur. Apabila suatu fitur memiliki rentang nilai yang jauh lebih besar dibandingkan fitur lainnya, maka fitur tersebut dapat mendominasi proses pembentukan hyperplane dan membuat model menjadi bias. Dengan melakukan standarisasi, seluruh fitur diubah ke dalam skala yang sebanding sehingga masing-masing fitur dapat berkontribusi secara lebih proporsional. Dalam konteks penelitian ini, standarisasi menjadi tahapan yang penting agar model SVM dapat bekerja secara optimal dan menghasilkan keputusan yang lebih stabil.

#### **4.3.3 Pelatihan Model SVM**

Setelah tahap preprocessing selesai dilakukan, data hasil ekstraksi fitur kemudian digunakan untuk melatih model Support Vector Machine (SVM). Metode ini dipilih karena memiliki kemampuan yang baik dalam menangani masalah klasifikasi, khususnya ketika data memiliki pola yang tidak selalu dapat dipisahkan secara sederhana. SVM bekerja dengan membentuk batas pemisah atau hyperplane terbaik yang mampu memisahkan data antar kelas dengan margin yang maksimum. Dalam penelitian ini, model SVM digunakan untuk membedakan tiga kelas kondisi getaran, yaitu Aman, Waspada, dan Bahaya, berdasarkan pola fitur yang telah diperoleh dari data sensor.

```
1 from pathlib import Path
2 import pandas as pd
3 import joblib
4 from sklearn.pipeline import make_pipeline
5 from sklearn.preprocessing import StandardScaler
6 from sklearn.svm import SVC
7
8 BASE_DIR = Path(".").resolve().parent
9 DATA_DIR = BASE_DIR / "data" / "training_data.csv"
10 MODEL_DIR = BASE_DIR / "models"
11 MODEL_PATH = MODEL_DIR / "svm_model.pkl"
12
13 df = pd.read_csv(DATA_DIR)
14 X = df[["dynamic"]]
15 y = df["label"]
16
17 model = make_pipeline(
18     StandardScaler(),
19     SVC(kernel="rbf", C=10, gamma="scale")
20 )
21
22 model.fit(X, y)
23
24 MODEL_DIR.mkdir(parents=True, exist_ok=True)
25 joblib.dump(model, MODEL_PATH)
26
27 print(f"Model berhasil disimpan di: {MODEL_PATH}")
28
```

```
1 a,dynamic,label
2 0.000,Amem
3 0.001,Amem
4 0.006,Amem
5 0.009,Amem
6 0.012,Amem
7 0.015,Amem
8 0.029,Amem
9 0.029,Maspada
10 0.024,Maspada
11 0.022,Maspada
12 0.032,Maspada
13 0.038,Maspada
14 0.044,Maspada
15 0.050,Maspada
16 0.053,Maspada
17 0.069,Muhaya
18 0.079,Muhaya
19 0.088,Muhaya
20 0.099,Muhaya
21 0.108,Muhaya
22 0.129,Muhaya
23 0.159,Muhaya
24 0.189,Muhaya
```

```
10:45:14.18 [P]/Apr/2020 15:08:00 [GET] /api/status HTTP/1.1 200 -
10:45:14.18 [P]/Apr/2020 15:08:00 [GET] /dashboard HTTP/1.1 200 -
10:45:14.18 [P]/Apr/2020 15:08:00 [GET] /api/status HTTP/1.1 200 -
10:45:14.18 [P]/Apr/2020 15:08:00 [GET] /api/chart-data HTTP/1.1 200 -
10:45:14.18 [P]/Apr/2020 15:08:00 [GET] /api/status HTTP/1.1 200 -
```

Gambar 4.8 Pelatihan Model SVM

Pada tahap pelatihan, dataset yang telah diproses dibagi menjadi data latih dan data uji. Data latih digunakan untuk membangun model, sedangkan data uji digunakan untuk mengevaluasi kemampuan generalisasi model terhadap data yang belum pernah dilihat sebelumnya. Dalam metodologi penelitian juga telah dijelaskan bahwa model SVM dapat menggunakan kernel Linear atau RBF, kemudian parameternya seperti C dan gamma dapat disetel untuk memperoleh performa terbaik. Proses ini menunjukkan bahwa pelatihan model tidak hanya sekadar menjalankan algoritma, tetapi juga melibatkan penyesuaian konfigurasi agar model yang dihasilkan benar-benar sesuai dengan karakteristik data penelitian.

Pemilihan kernel menjadi aspek yang penting dalam pelatihan model. Apabila data relatif dapat dipisahkan secara linear, maka kernel linear dapat memberikan hasil yang baik dengan kompleksitas yang lebih sederhana. Namun apabila data memiliki pola yang lebih kompleks dan tidak dapat dipisahkan secara linear, maka kernel RBF menjadi pilihan yang lebih sesuai karena mampu memetakan data ke ruang berdimensi lebih tinggi. Dalam penelitian ini, penggunaan SVM menunjukkan adanya pendekatan klasifikasi berbasis pola data,

yang merupakan kebaruan dibanding pendekatan terdahulu yang masih banyak mengandalkan threshold atau ambang batas sederhana. Dengan demikian, sistem yang dibangun tidak hanya membaca nilai sensor, tetapi juga belajar dari pola data getaran untuk menghasilkan keputusan yang lebih adaptif.

Secara metodologis, pelatihan model SVM pada penelitian ini menjadi titik penting yang membedakan sistem yang dirancang dari sistem monitoring konvensional. Apabila pada sistem berbasis ambang keputusan hanya ditentukan dari satu atau dua nilai batas tetap, maka pada penelitian ini keputusan diperoleh dari hasil pembelajaran model terhadap pola data yang lebih kompleks. Oleh karena itu, keberhasilan pelatihan model SVM tidak hanya menunjukkan bahwa algoritma dapat dijalankan, tetapi juga menunjukkan bahwa data getaran tanah dapat diolah menjadi informasi klasifikasi yang lebih cerdas dan lebih relevan untuk kebutuhan peringatan dini.

#### **4.3.4 Hasil Evaluasi Model Klasifikasi**

Setelah model selesai dilatih, tahap berikutnya adalah melakukan evaluasi terhadap performa model klasifikasi. Pada penelitian ini, evaluasi dilakukan menggunakan beberapa metrik, yaitu confusion matrix, accuracy, precision, recall, dan F1-score. Penggunaan metrik-metrik tersebut telah sesuai dengan metodologi penelitian, karena evaluasi model klasifikasi tidak cukup hanya dilihat dari akurasi secara keseluruhan, tetapi juga perlu dianalisis berdasarkan kemampuan model dalam mengenali setiap kelas secara lebih rinci.

Accuracy digunakan untuk menunjukkan persentase keseluruhan data yang berhasil diklasifikasikan dengan benar oleh model. Namun demikian, akurasi saja tidak selalu cukup untuk menggambarkan kualitas model, terutama jika distribusi

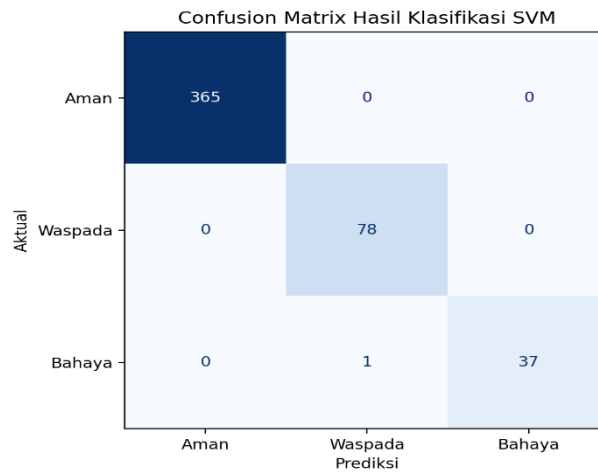
data antar kelas tidak seimbang. Oleh karena itu, digunakan pula metrik precision, recall, dan F1-score. Precision menunjukkan ketepatan model ketika memprediksi suatu kelas, recall menunjukkan kemampuan model dalam menemukan seluruh data aktual dari kelas tersebut, sedangkan F1-score memberikan ukuran keseimbangan antara precision dan recall. Dengan penggunaan beberapa metrik ini, evaluasi model menjadi lebih objektif dan lebih komprehensif.

Dalam penelitian ini, confusion matrix memiliki peran yang sangat penting karena dapat menunjukkan distribusi hasil prediksi model terhadap kelas sebenarnya. Melalui confusion matrix, dapat diketahui berapa banyak data kelas Aman yang berhasil dikenali dengan benar, berapa banyak data kelas Waspada yang masih tertukar dengan Aman atau Bahaya, serta berapa banyak data kelas Bahaya yang berhasil diidentifikasi secara tepat. Analisis confusion matrix sangat relevan dalam penelitian sistem peringatan dini, karena kesalahan klasifikasi pada kelas Bahaya memiliki konsekuensi yang lebih serius dibandingkan kesalahan pada kelas lainnya. Oleh sebab itu, interpretasi confusion matrix perlu disampaikan secara jelas dalam pembahasan hasil penelitian.

Tabel 4.4 Hasil Evaluasi Model SVM

<b>Kelas</b>	<b>Precision</b>	<b>Recall</b>	<b>F1-Score</b>
Aman	100%	100%	100%
Waspada	99%	100%	99%
Bahaya	100%	97%	99%

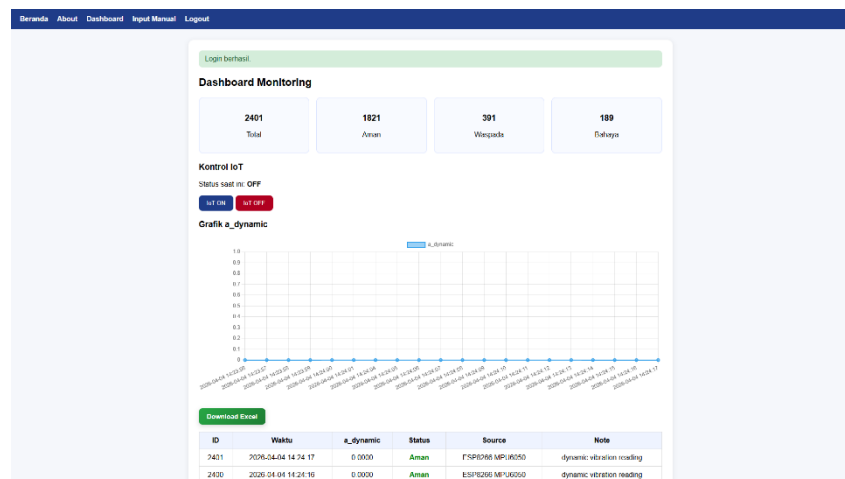
Accuracy = 99,79%



Gambar 4.9 Hasil evaluasi model SVM

#### 4.4 Hasil Monitoring pada Dashboard Web

Pada penelitian ini, dashboard web diimplementasikan sebagai media monitoring jarak jauh yang berfungsi menampilkan data hasil pembacaan sensor, status klasifikasi potensi longsor, serta informasi pendukung lain yang diperoleh dari proses pengolahan data di sisi server.



Gambar 4.10 Tampilan dashboard web

Keberadaan dashboard web merupakan bagian penting dari keseluruhan sistem, karena penelitian ini tidak hanya berfokus pada pembacaan sensor dan klasifikasi lokal pada perangkat, tetapi juga pada penyediaan informasi yang dapat

diakses secara lebih fleksibel oleh pengguna melalui jaringan internet. Dalam rancangan sistem yang telah dijelaskan pada bab sebelumnya, data dari sensor MPU6050 dibaca oleh ESP8266, dikirim melalui Wi-Fi ke server, kemudian diproses dan disajikan kembali dalam bentuk informasi yang lebih mudah dipahami, baik melalui LCD maupun dashboard berbasis web. Dengan demikian, dashboard web berfungsi sebagai antarmuka utama bagi pengguna untuk melakukan pemantauan kondisi sistem secara real-time tanpa harus berada langsung di lokasi alat dipasang.

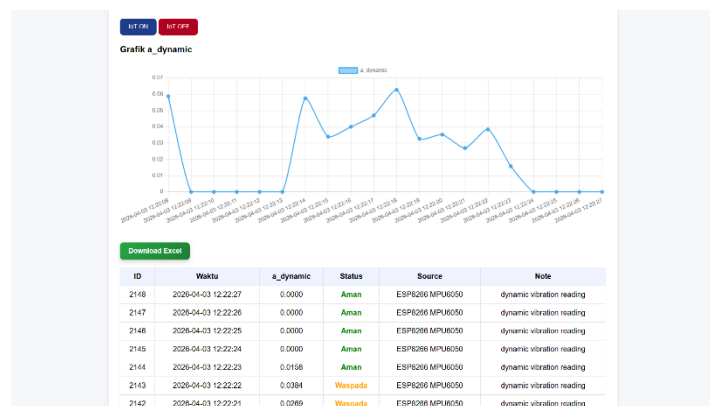
Secara konseptual, dashboard web pada penelitian ini menjadi representasi visual dari seluruh proses monitoring yang berlangsung pada sistem. Jika LCD berperan sebagai media tampilan lokal yang hanya dapat dilihat di dekat alat, maka dashboard web memberikan cakupan yang lebih luas karena dapat diakses dari perangkat lain selama terhubung dengan jaringan. Hal ini sejalan dengan konsep Internet of Things (IoT) yang menekankan kemampuan perangkat untuk saling terhubung dan bertukar data secara real-time melalui internet. Dalam konteks penelitian ini, penerapan dashboard web memperkuat fungsi sistem sebagai prototipe monitoring modern yang tidak hanya mampu membaca gejala fisik berupa getaran tanah, tetapi juga mampu menyampaikan hasil pemantauan secara cepat dan informatif kepada pengguna.

Selain sebagai media visualisasi, dashboard web juga memiliki peran penting dalam mendukung fungsi dokumentasi dan histori data. Pada flowchart sistem dijelaskan bahwa setelah data dikirim ke server, data tidak hanya dipakai untuk proses klasifikasi, tetapi juga disimpan ke database beserta timestamp. Penyimpanan ini penting karena memungkinkan sistem menyajikan histori

pemantauan, mendukung evaluasi performa sistem, serta memudahkan penelusuran kembali apabila sewaktu-waktu dibutuhkan analisis terhadap data yang telah terekam sebelumnya. Oleh karena itu, dashboard web dalam penelitian ini tidak hanya berfungsi sebagai tampilan sesaat, melainkan juga sebagai sarana rekam data monitoring yang mendukung aspek analitis dari sistem.

#### 4.4.1 Implementasi Dashboard Web sebagai Media Monitoring

Dashboard web pada penelitian ini diimplementasikan sebagai bagian dari perangkat lunak sistem yang berfungsi menerima, menampilkan, dan memperbarui informasi dari server secara berkala. Berdasarkan tabel perangkat lunak pada bab metodologi, web server digunakan untuk menampilkan data sensor secara real-time, monitoring jarak jauh, serta mendukung pengiriman notifikasi otomatis kepada pengguna jika terdapat kondisi tertentu. Hal ini menunjukkan bahwa dashboard tidak hanya dibuat sebagai pelengkap tampilan, tetapi memang dirancang sejak awal sebagai salah satu komponen utama dari sistem pemantauan berbasis IoT yang dibangun.



Gambar 4.11 Grafik perubahan data sensor pada dashboard

Pada implementasinya, dashboard web berfungsi sebagai titik temu antara data lapangan, proses komputasi, dan informasi bagi pengguna. Data getaran yang

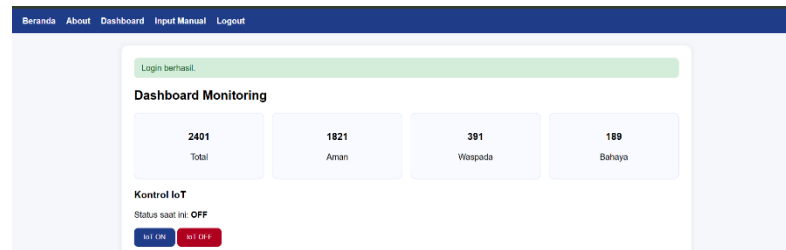
dibaca oleh sensor MPU6050 dikirimkan oleh ESP8266 melalui jaringan Wi-Fi menuju server. Selanjutnya, server menerima data tersebut, menyimpannya ke basis data, menjalankan proses pengolahan dan klasifikasi, lalu memperbarui tampilan dashboard sesuai hasil terbaru. Dengan alur ini, dashboard web dapat menampilkan kondisi sistem secara berkesinambungan selama perangkat aktif dan koneksi jaringan tersedia. Proses pembaruan yang berlangsung secara terus-menerus inilah yang menjadikan dashboard web relevan untuk digunakan sebagai sarana monitoring kondisi lereng atau getaran tanah secara real-time.

Dari sisi fungsional, implementasi dashboard web dalam penelitian ini menunjukkan bahwa hasil monitoring tidak hanya terbatas pada keluaran lokal seperti LCD dan relay. Dashboard memberikan nilai tambah karena pengguna dapat memantau sistem dari lokasi yang berbeda tanpa harus mengamati perangkat secara langsung. Hal ini sangat penting dalam konteks pemantauan kondisi tanah atau lereng, karena lokasi pengujian sering kali berada pada area yang tidak selalu mudah dijangkau. Dengan adanya dashboard, akses terhadap informasi menjadi lebih efisien, fleksibel, dan lebih sesuai dengan tujuan penelitian yang menekankan monitoring jarak jauh berbasis IoT.

#### **4.4.2 Informasi yang Ditampilkan pada Dashboard**

Berdasarkan rancangan sistem dan fungsi web server yang telah dijelaskan dalam naskah, dashboard web pada penelitian ini dirancang untuk menampilkan beberapa informasi utama yang berkaitan langsung dengan kondisi sistem dan hasil pemantauan. Informasi pertama adalah data sensor yang diperoleh dari MPU6050. Data ini dapat berupa nilai percepatan/getaran yang dibaca sensor, baik dalam bentuk data mentah maupun indikator yang telah diringkas untuk kebutuhan

monitoring. Informasi ini penting karena menjadi dasar utama dari seluruh proses klasifikasi yang dilakukan pada sistem.



Gambar 4.12 Informasi yang di tampilkan pada dashboard

Informasi kedua yang ditampilkan adalah status klasifikasi kondisi, yaitu kategori Aman, Waspada, atau Bahaya. Status ini merupakan hasil pengolahan data getaran menggunakan metode Support Vector Machine (SVM) pada sisi server. Dalam konteks penggunaan sistem, informasi status klasifikasi jauh lebih operasional dibanding hanya menampilkan angka mentah dari sensor, karena pengguna dapat langsung memahami kondisi yang sedang terjadi tanpa harus menginterpretasikan nilai akselerasi secara manual. Dengan demikian, dashboard berfungsi menerjemahkan data teknis menjadi informasi kondisi yang lebih sederhana dan lebih mudah digunakan sebagai dasar pengambilan keputusan.

Informasi ketiga adalah waktu atau timestamp pembacaan data. Keberadaan timestamp sangat penting karena menunjukkan kapan data diterima dan diproses oleh sistem. Dalam sistem monitoring real-time, waktu pembacaan menjadi elemen penting untuk menilai kontinuitas pengiriman data dan memastikan bahwa informasi yang tampil di dashboard merupakan data terbaru. Selain itu, timestamp juga berguna dalam proses evaluasi sistem, misalnya untuk menganalisis keterlambatan pengiriman data, kestabilan komunikasi, atau konsistensi pembacaan sensor selama pengujian berlangsung.

Informasi keempat adalah histori data monitoring. Karena server menyimpan data ke dalam database, dashboard dapat digunakan untuk menampilkan riwayat hasil pembacaan sensor dan hasil klasifikasi sebelumnya.

Histori ini penting untuk melihat perubahan kondisi dari waktu ke waktu, sehingga pengguna tidak hanya mengetahui kondisi saat ini, tetapi juga dapat mengamati pola kecenderungan getaran yang terjadi. Dalam konteks penelitian, histori data juga bermanfaat sebagai bahan evaluasi untuk menilai apakah sistem mampu bekerja secara stabil dalam durasi pengamatan tertentu.

#### **4.4.3 Hasil Pengamatan Tampilan Dashboard**

Dari hasil pemantauan pada dashboard, pengguna dapat mengamati perubahan kondisi yang terjadi berdasarkan data terbaru yang masuk dari sistem. Apabila getaran yang terbaca masih dalam kategori rendah, dashboard akan menampilkan status Aman. Ketika intensitas getaran meningkat dan masuk ke kategori transisi, dashboard menampilkan status Waspada. Selanjutnya, jika sistem mendeteksi pola getaran yang termasuk kategori berisiko tinggi, maka dashboard akan menampilkan status Bahaya sebagai bentuk informasi bahwa kondisi yang terukur memerlukan perhatian lebih lanjut. Pola tampilan bertingkat ini sangat penting karena membuat dashboard tidak hanya bersifat informatif, tetapi juga komunikatif dalam menyampaikan tingkat risiko kepada pengguna.

Hasil pengamatan pada dashboard juga memperlihatkan bahwa media ini efektif digunakan untuk memantau kondisi sistem secara terus-menerus. Dibandingkan hanya mengandalkan LCD pada perangkat, dashboard memberikan ruang yang lebih luas untuk menampilkan data dalam format yang lebih kaya, misalnya kombinasi antara angka pembacaan, label status, histori, dan grafik

perubahan data. Walaupun pada naskah Anda belum dijelaskan secara sangat rinci elemen visual yang dipakai, flowchart sistem telah menunjukkan bahwa update dashboard dapat mencakup status dan grafik. Karena itu, dashboard dalam penelitian ini dapat dipahami sebagai media visualisasi yang mendukung keterbacaan data dan mempermudah proses interpretasi hasil monitoring oleh pengguna.

#### **4.4.4 Kesimpulan Sementara Hasil Monitoring Dashboard**

Berdasarkan uraian di atas, dapat disimpulkan bahwa dashboard web pada penelitian ini telah berhasil diimplementasikan sebagai media monitoring jarak jauh yang menampilkan data sensor, waktu pembacaan, status klasifikasi, dan histori data secara real-time. Dashboard berfungsi sebagai antarmuka yang menghubungkan hasil pembacaan sensor dan proses klasifikasi dengan kebutuhan informasi pengguna. Dengan adanya dashboard, sistem yang dibangun tidak hanya mampu membaca getaran tanah dan menentukan status kondisi, tetapi juga mampu menyampaikan hasil pemantauan secara lebih luas, lebih informatif, dan lebih mudah diakses. Keberhasilan implementasi dashboard ini memperkuat bahwa penelitian telah berhasil mengintegrasikan perangkat IoT, server, basis data, dan tampilan web ke dalam satu sistem monitoring yang utuh.

#### **4.5 Pembahasan**

Berdasarkan hasil implementasi, pengujian sistem, pengolahan data, klasifikasi SVM, serta monitoring melalui dashboard web, dapat diketahui bahwa penelitian ini telah berhasil merealisasikan suatu prototipe sistem pemantauan getaran tanah berbasis Internet of Things (IoT) yang terintegrasi dengan metode klasifikasi Support Vector Machine (SVM). Sistem yang dibangun tidak hanya

berfungsi untuk membaca data getaran dari sensor MPU6050, tetapi juga mampu mengirimkan data secara real-time melalui ESP8266, memproses data pada sisi server, mengklasifikasikan kondisi ke dalam tiga kategori, yaitu Aman, Waspada, dan Bahaya, serta menampilkan hasilnya melalui LCD, relay, dan dashboard web. Hal ini menunjukkan bahwa penelitian telah menjawab tujuan utama yang dirumuskan pada bab pendahuluan, yaitu merancang sistem pemantauan getaran tanah secara real-time, melakukan pengolahan data sebagai masukan klasifikasi, dan menerapkan metode SVM untuk mendukung interpretasi kondisi potensi longsor.

Secara umum, hasil penelitian ini menunjukkan bahwa integrasi antara perangkat keras, perangkat lunak, dan model klasifikasi dapat diwujudkan dalam satu alur kerja yang utuh. Pada tahap awal, sensor MPU6050 berfungsi sebagai sumber utama data percepatan/getaran, sedangkan ESP8266 bertindak sebagai mikrokontroler utama sekaligus pengirim data melalui jaringan Wi-Fi. Selanjutnya, data yang diterima server diproses melalui tahapan windowing dan ekstraksi fitur, kemudian diklasifikasikan menggunakan SVM sebelum hasil akhirnya dikirimkan kembali ke media keluaran, yaitu LCD, relay/alarm, dan dashboard web. Alur kerja ini sesuai dengan flowchart sistem dan diagram blok yang telah dirancang pada bab metodologi, sehingga dapat dikatakan bahwa sistem yang dibangun telah bekerja sesuai rancangan konseptual penelitian.

#### **4.5.1 Pembahasan Kinerja Sistem IoT**

Dari sisi implementasi Internet of Things, penelitian ini menunjukkan bahwa pendekatan monitoring berbasis node sensor dan komunikasi jaringan memiliki potensi yang baik untuk diterapkan pada pemantauan getaran tanah. Salah

satu persoalan utama yang diangkat pada latar belakang penelitian adalah keterbatasan pemantauan manual, terutama pada lokasi lereng yang sulit dijangkau dan membutuhkan pengamatan yang berkelanjutan. Dengan memanfaatkan ESP8266 sebagai mikrokontroler yang telah memiliki kemampuan konektivitas Wi-Fi, sistem yang dibangun mampu mengirimkan data dari lokasi pengukuran menuju server untuk diproses dan ditampilkan kembali kepada pengguna. Dengan demikian, penelitian ini telah memberikan solusi yang lebih efisien dibandingkan pengamatan manual, karena informasi kondisi tidak lagi bergantung pada kehadiran operator di lokasi pengukuran.

#### **4.5.2 Pembahasan Data Getaran dan Proses Pengolahan Data**

Dari sisi data, penelitian ini menunjukkan bahwa sinyal getaran yang diperoleh dari MPU6050 memiliki pola yang dapat dimanfaatkan untuk membedakan tiga kondisi yang telah ditetapkan, yaitu Aman, Waspada, dan Bahaya. Pada naskah penelitian, data keluaran sensor direpresentasikan dalam bentuk percepatan sumbu  $a_x$ ,  $a_y$ ,  $a_z$ , serta parameter turunan seperti  $a\_mag$  dan  $a\_dynamic$ . Struktur data ini menunjukkan bahwa penelitian tidak semata-mata bergantung pada satu nilai pengukuran, tetapi memanfaatkan representasi data yang lebih kaya agar pola getaran dapat dianalisis dengan lebih baik. Dalam perspektif pengolahan sinyal, langkah ini penting karena fenomena getaran bersifat dinamis dan tidak selalu dapat dijelaskan hanya melalui satu variabel tunggal.

#### **4.5.3 Pembahasan Hasil Klasifikasi SVM**

Penggunaan metode Support Vector Machine (SVM) dalam penelitian ini menjadi salah satu unsur pembeda utama dibandingkan penelitian-penelitian sebelumnya yang masih banyak menggunakan pendekatan ambang batas atau

aturan sederhana. Pada analisis gap telah dijelaskan bahwa sistem monitoring longsor yang berbasis threshold cenderung kurang adaptif terhadap data getaran yang noisy, sehingga berpotensi menghasilkan **false alarm**. Dalam konteks tersebut, penggunaan SVM merupakan langkah yang relevan karena model ini mampu membentuk batas keputusan berdasarkan pola data hasil pembelajaran, bukan sekadar membandingkan satu nilai sensor terhadap ambang tertentu. Dengan demikian, klasifikasi yang dihasilkan diharapkan lebih robust terhadap variasi data dibandingkan pendekatan rule-based murni.

#### **4.5.4 Pembahasan Dashboard Web sebagai Media Monitoring**

Hasil monitoring pada dashboard web memperlihatkan bahwa penelitian ini tidak hanya berhasil membangun sistem klasifikasi pada tingkat perangkat, tetapi juga berhasil menghadirkan media visualisasi hasil secara jarak jauh. Dashboard berfungsi sebagai antarmuka yang menghubungkan data sensor, hasil klasifikasi, dan kebutuhan informasi pengguna. Dengan adanya dashboard, pengguna dapat memantau kondisi sistem tanpa harus berada di dekat alat, sehingga penelitian ini benar-benar mencerminkan penerapan konsep IoT dalam arti yang utuh, yaitu konektivitas, pemrosesan data, dan akses informasi melalui jaringan.

#### **4.5.5 Implikasi dan Makna Hasil Penelitian**

Hasil penelitian ini memiliki implikasi praktis dan akademik. Dari sisi praktis, sistem yang dibangun menunjukkan bahwa pemantauan getaran tanah secara real-time dapat dilakukan dengan memanfaatkan komponen yang relatif terjangkau, seperti ESP8266 dan MPU6050, lalu dikombinasikan dengan server dan dashboard untuk menghasilkan informasi yang dapat digunakan sebagai dasar peringatan dini sederhana. Dari sisi akademik, penelitian ini memperlihatkan bahwa

integrasi antara sensor, IoT, pengolahan sinyal, dan machine learning dapat menjadi pendekatan yang relevan untuk pengembangan sistem monitoring bencana berbasis data. Dengan demikian, penelitian ini tidak hanya menghasilkan prototipe, tetapi juga menunjukkan kerangka kerja yang dapat dikembangkan lebih lanjut pada penelitian berikutnya.

Namun demikian, hasil penelitian ini juga perlu dibaca dalam batasan yang telah ditetapkan. Penelitian masih difokuskan pada parameter utama berupa getaran tanah dan dilakukan pada skenario prototipe atau pengujian terbatas. Karena itu, hasil klasifikasi yang diperoleh masih menggambarkan performa sistem pada ruang lingkup penelitian yang terkontrol, belum sepenuhnya mewakili kompleksitas kondisi lapangan yang sesungguhnya. Dalam konteks sidang, penjelasan ini justru penting karena menunjukkan bahwa penulis memahami posisi penelitiannya secara proporsional, yaitu sebagai prototipe rancang bangun yang memiliki potensi dikembangkan, bukan sebagai sistem peringatan dini resmi yang sudah siap diterapkan secara penuh.

#### **4.5.5 Kesimpulan Pembahasan**

Berdasarkan keseluruhan hasil yang diperoleh, dapat dinyatakan bahwa penelitian ini berhasil menunjukkan kelayakan pendekatan sistem pemantauan getaran tanah berbasis IoT dengan klasifikasi potensi longsor menggunakan SVM. Keberhasilan tersebut terlihat dari tercapainya integrasi antarkomponen sistem, mulai dari sensor MPU6050, ESP8266, server, model SVM, LCD, relay, hingga dashboard web. Dari sisi akademik, hasil penelitian memperlihatkan bahwa data getaran tanah dapat diolah melalui tahapan preprocessing dan ekstraksi fitur untuk menghasilkan klasifikasi kondisi yang lebih operasional. Dari sisi implementasi,

sistem yang dibangun mampu mendukung pemantauan real-time dan memberikan keluaran yang lebih mudah dipahami oleh pengguna. Dengan demikian, penelitian ini memberikan kontribusi dalam bentuk prototipe sistem monitoring yang lebih adaptif dibanding pendekatan berbasis ambang batas sederhana, sekaligus membuka peluang pengembangan lebih lanjut menuju sistem peringatan dini yang lebih komprehensif.

#### **4.6 Evaluasi**

Berdasarkan hasil implementasi, pengujian, pengolahan data, klasifikasi SVM, dan monitoring melalui dashboard web, dapat dievaluasi bahwa sistem yang dibangun telah mampu menjalankan fungsi utamanya sesuai dengan tujuan penelitian. Sistem berhasil membaca data getaran tanah menggunakan sensor MPU6050, mengirimkan data melalui ESP8266 ke server, melakukan pengolahan data, serta mengklasifikasikan kondisi ke dalam tiga kategori, yaitu Aman, Waspada, dan Bahaya. Selain itu, hasil klasifikasi juga berhasil ditampilkan melalui LCD, dashboard web, dan relay sebagai bentuk peringatan dini sederhana.

Dari sisi performa model, metode Support Vector Machine (SVM) menunjukkan hasil yang sangat baik dalam proses klasifikasi. Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan, model memperoleh nilai accuracy sebesar **99,79%**, dengan nilai precision, recall, dan F1-score yang juga tinggi pada masing-masing kelas. Hasil confusion matrix menunjukkan bahwa sebagian besar data berhasil diklasifikasikan dengan benar, meskipun masih terdapat sedikit kesalahan klasifikasi pada kelas Bahaya yang diprediksi sebagai Waspada. Hal ini menunjukkan bahwa model SVM cukup efektif untuk digunakan dalam mengidentifikasi pola getaran tanah pada sistem yang dirancang.

Secara keseluruhan, hasil pada BAB IV menunjukkan bahwa prototipe sistem pemantauan getaran tanah berbasis IoT dengan klasifikasi potensi longsor menggunakan SVM telah bekerja dengan baik dan memenuhi tujuan penelitian. Meskipun demikian, sistem masih memiliki beberapa keterbatasan, baik dari sisi parameter yang digunakan, ketergantungan pada jaringan internet, maupun ruang lingkup pengujian yang masih terbatas. Oleh karena itu, hasil evaluasi ini dapat menjadi dasar bahwa sistem layak dijadikan prototipe awal dan memiliki potensi untuk dikembangkan lebih lanjut pada penelitian berikutnya.

## **BAB V PENUTUP**

### **5.1 Kesimpulan**

Berdasarkan hasil penelitian, maka dapat disimpulkan bahwa sistem yang dikembangkan telah berjalan sesuai dengan perancangan dan mampu memberikan informasi kondisi secara real-time. Hasil ini menunjukkan bahwa pendekatan yang digunakan dalam penelitian efektif dalam mendukung tujuan sistem. Sebagai berikut:

1. Penelitian ini berhasil merancang dan membangun sistem pemantauan getaran tanah berbasis Internet of Things (IoT) menggunakan sensor MPU6050 dan mikrokontroler ESP8266 untuk membaca serta mengirimkan data secara real-time.
2. Data getaran tanah yang diperoleh dari sensor dapat diolah melalui tahapan preprocessing, windowing, dan ekstraksi fitur sehingga dapat digunakan sebagai input pada model klasifikasi.
3. Metode Support Vector Machine (SVM) berhasil diterapkan untuk mengklasifikasikan kondisi potensi longsor ke dalam tiga kelas, yaitu Aman, Waspada, dan Bahaya.
4. Berdasarkan hasil evaluasi, model SVM menunjukkan performa yang sangat baik dengan nilai accuracy sebesar **99,79%**, serta nilai precision, recall, dan F1-score yang tinggi pada masing-masing kelas.
5. Sistem yang dibangun telah mampu menampilkan hasil monitoring melalui LCD dan dashboard web, serta memberikan peringatan sederhana melalui relay, sehingga dapat mendukung pemantauan kondisi getaran tanah secara lebih efektif.

## 5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian, pembahasan, dan keterbatasan sistem yang telah diuraikan pada bab sebelumnya, maka diperlukan beberapa saran sebagai bahan pengembangan untuk penelitian selanjutnya. Saran-saran ini diharapkan dapat menjadi masukan dalam penyempurnaan sistem, baik dari sisi perangkat keras, metode klasifikasi, maupun ruang lingkup pengujian, sehingga sistem yang dibangun dapat menjadi lebih akurat, andal, dan aplikatif pada kondisi lapangan yang sebenarnya.

1. Penelitian selanjutnya disarankan menambahkan parameter lain, seperti kelembapan tanah, curah hujan, atau kemiringan lereng, agar hasil klasifikasi menjadi lebih akurat dan komprehensif.
2. Jumlah dan variasi dataset perlu diperbanyak agar model SVM memiliki kemampuan generalisasi yang lebih baik terhadap kondisi lapangan yang beragam.
3. Sistem dapat dikembangkan dengan membandingkan SVM dengan metode klasifikasi lain untuk mengetahui algoritma yang paling sesuai pada kasus pemantauan getaran tanah.
4. Perangkat keras yang masih berupa prototipe perlu dikembangkan menjadi sistem yang lebih kokoh dan lebih siap digunakan pada kondisi lapangan sebenarnya.
5. Pengujian lapangan perlu dilakukan dalam skala yang lebih luas dan waktu yang lebih lama agar keandalan sistem dapat diketahui secara lebih mendalam.

## DAFTAR PUSTAKA

- Abdo, H. G., Almohamad, H., Al Dughairi, A. A., & Al-Mutiry, M. (2022). GIS-Based Frequency Ratio and Analytic Hierarchy Process for Forest Fire Susceptibility Mapping in the Western Region of Syria. *Sustainability*, *14*(8), 4668. <https://doi.org/10.3390/su14084668>
- Del Soldato, M., Solari, L., & Novellino, A. (2024). Landslide Monitoring and Mapping. In *Geosciences (Switzerland)* (Vol. 14, Issue 12). Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI). <https://doi.org/10.3390/geosciences14120350>
- Elsts, A., & McConville, R. (2021). Are microcontrollers ready for deep learning-based human activity recognition? *Electronics (Switzerland)*, *10*(21). <https://doi.org/10.3390/electronics10212640>
- Fang, Z., Wang, Y., Duan, H., Niu, R., & Peng, L. (2022). Comparison of general kernel, multiple kernel, infinite ensemble and semi-supervised support vector machines for landslide susceptibility prediction. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, *36*(10), 3535–3556. <https://doi.org/10.1007/s00477-022-02208-z>
- Fuada, S., & Hendriyana. (2022). Development of Scalable IoT-Based Smart Home Infrastructure Using ESP-Mesh. *Journal of Communications*, *17*(5), 373–385. <https://doi.org/10.12720/jcm.17.5.373-385>
- Le Breton, M., Bontemps, N., Guillemot, A., Baillet, L., & Larose, É. (2021). Landslide monitoring using seismic ambient noise correlation: challenges and applications. *Earth-Science Reviews*, *216*, 103518. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2021.103518>
- Mahindrakar, A., Kalal, R., Ravdive, A., Chougule, A., & Jagdale, V. (n.d.). *IoT-Based Smart Home Automation System Using NodeMCU*. [www.ijfmr.com](http://www.ijfmr.com)
- Maresca, R., Guerriero, L., Ruzza, G., Mascellaro, N., Guadagno, F. M., & Revellino, P. (2022). Monitoring ambient vibrations in an active landslide: Insights into seasonal material consolidation and resonance directivity. *Journal of Applied Geophysics*, *203*, 104705. <https://doi.org/10.1016/j.jappgeo.2022.104705>
- Mega Utama, R. (2022). Rancang Bangun Alat Deteksi Tanah Longsor Berbasis IoT dengan NodeMCU ESP8266 dan MPU6050. *Jurnal Ilmu Dan Inovasi Fisika*, *6*(2), 137–146. <https://doi.org/10.24198/jiif.v6i2.40054>

- MPU-6000 and MPU-6050 Product Specification Revision 3.4 MPU-6000/MPU-6050 Product Specification*. (2013).
- Muayad, M. K., & Saputro, H. (2025). Analisis Kinerja Sistem Pengisian Baterai Lithium-Ion Menggunakan Buck Converter LM2596 Pada Micropower Generation Berbasis Thermoelectric. *Nozel : Jurnal Pendidikan Teknik Mesin*, 7(3). <https://doi.org/10.20961/nozel.v7i3.105135>
- Mubarok, R., & Dwi Yuniarto Budi Ismadi, V. (n.d.). Rancang Bangun Sistem Monitoring Daya Listrik pada Motor Induksi 3 Fase Berbasis Internet of Things dengan NodeMCU ESP8266. *JPII*, 2(6), 388–395. <https://doi.org/10.14710/jpii.2024.25209>
- Peppler, K. A., Sedas, R. M., & Thompson, N. (2023). Paper Circuits vs. Breadboards: Materializing Learners' Powerful Ideas Around Circuitry and Layout Design. *Journal of Science Education and Technology*, 32(4), 469–492. <https://doi.org/10.1007/s10956-023-10029-0>
- Ragnoli, M., Scarsella, M., Leoni, A., Ferri, G., & Stornelli, V. (2023). Wireless Sensor Network-Based Rockfall and Landslide Monitoring Systems: A Review. *Sensors*, 23(16). <https://doi.org/10.3390/s23167278>
- Rizkina Utamy, A. (2023). *PROTOTYPE WIRELESS SENSOR NETWORK SISTEM PENGUKURAN DEBU DAN SUHU UDARA BERBASIS MQTT SERVER*. 10(2). <https://www.amazon.in/REES52-Traffic-Light->
- Sharma, A., Mohana, R., Kukkar, A., Chodha, V., & Bansal, P. (2023). An ensemble learning–based experimental framework for smart landslide detection, monitoring, prediction, and warning in IoT-cloud environment. *Environmental Science and Pollution Research*, 30(58), 122677–122699. <https://doi.org/10.1007/s11356-023-30683-6>
- Tehrani, F. S., Calvello, M., Liu, Z., Zhang, L., & Lacasse, S. (2022). Machine learning and landslide studies: recent advances and applications. *Natural Hazards*, 114(2), 1197–1245. <https://doi.org/10.1007/s11069-022-05423-7>
- Wang, C., Guo, W., Yang, K., Wang, X., & Meng, Q. (2022). Real-Time Monitoring System of Landslide Based on LoRa Architecture. *Frontiers in Earth Science*, 10. <https://doi.org/10.3389/feart.2022.899509>