

Institut Teknologi Nasional Malang

SKRIPSI – TEKNIK ELEKTRONIKA KENDALI DAN INSTRUMENTASI

PERANCANGAN SISTEM DETEKSI TANAH LONGSOR DALAM PETA DIGITAL DAERAH RAWAN BENCANA MENGGUNAKAN SENSOR IMU DAN CURAH HUJAN DENGAN PENGOLAHAN SECARA *FUZZY*

Devan Arya Danindra
NIM 2212052

Dosen Pembimbing
Bima Romadhon parada Dian Palevi, ST., MT.
Ir. Kartiko Ardi Widodo, MT.

PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO S-1
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Nasional Malang
2026

Institut Teknologi Nasional Malang

SKRIPSI - TEKNIK ELEKTRONIKA KENDALI DAN INSTRUMENTASI

PERANCANGAN SISTEM DETEKSI TANAH LONGSOR DALAM PETA DIGITAL DAERAH RAWAN BENCANA MENGGUNAKAN SENSOR IMU DAN CURAH HUJAN DENGAN PENGOLAHAN SECARA *FUZZY*

Devan Arya Danindra
NIM 2212052

Dosen Pembimbing
Bima Romadhon Parada D. P., ST., MT.
Ir. Kartiko Ardi Widodo, MT.

PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO S-1
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Nasional Malang
2026

PERANCANGAN SISTEM DETEKSI TANAH LONGSOR DALAM PETA DIGITAL DAERAH RAWAN BENCANA MENGGUNAKAN SENSOR IMU DAN CURAH HUJAN DENGAN PENGOLAHAN SECARA *FUZZY*

SKRIPSI

Devan Arya Danindra
2212052

Diajukan Untuk Memenuhi Sebagian Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada
Program Studi Teknik Elektronika Kendali dan Instrumentasi
Institut Teknologi Nasional Malang

Diperiksa dan Disetujui

Dosen Pembimbing I	**Dosen Pembimbing II**
Bima Romadhon Parada Dian Palevi, ST., MT.	Ir. Kartiko Ardi Widodo, MT.
NIP. P. 1031900575	NIP. Y. 1030400475

Mengetahui:

Ketua Program Studi Teknik Elektro S-1

Dr. Irmalia Suryani Faradisa, ST., MT.
NIP. P. 1030000365

MALANG
Juli, 2026

ABSTRAK

PERANCANGAN SISTEM DETEKSI TANAH LONGSOR DALAM PETA DIGITAL DAERAH RAWAN BENCANA MENGGUNAKAN SENSOR IMU DAN CURAH HUJAN DENGAN PENGOLAHAN SECARA *FUZZY*

Devan Arya Danindra, NIM : 2212052
Dosen Pembimbing I : Bima Romadhon Parada D.P., ST., MT.
Dosen Pembimbing II : Ir. Kartiko Ardi Widodo, MT.

Penelitian ini merancang sistem deteksi tanah longsor yang mengintegrasikan sensor IMU untuk membaca kemiringan dan percepatan linier serta sensor curah hujan ke dalam antarmuka peta digital. Sistem ini berarsitektur dua lapis, yakni perangkat pengirim di lapangan dan perangkat penerima yang terhubung ke komputer melalui komunikasi LoRa. Komputer bertindak sebagai pusat pengolahan yang menyaring sinyal menggunakan algoritma *Moving Average*, lalu mengeksekusinya menggunakan Logika *Fuzzy Mamdani* dengan 75 basis aturan untuk menentukan tingkat kerawanan (Aman, Waspada, Siaga, dan Awas). Hasil pengujian menunjukkan penyimpangan rata-rata pembacaan kemiringan sebesar 1,22%, sedangkan fluktuasi statis percepatan linier sebesar 0,08 m/s² berhasil diturunkan menjadi 0,004 m/s². Sensor penakar hujan memiliki ketelitian 0,38 mm per jungkitan. Pada pengujian LoRa, tingkat keberhasilan pengiriman mencapai 100% pada jarak 50 meter dan 90% pada 100 meter, namun menyusut ke 40% pada jarak 200 meter akibat halangan rintangan. Pemfilteran sinyal *Moving Average* terbukti mampu mereduksi lonjakan data sensor hingga 64,8% (dari 0,6386 m/s² menjadi 0,2245 m/s²). Nilai akhir tingkat kerawanan divisualisasikan secara langsung pada dasbor peta digital dalam wujud indikator warna lingkaran (*heatmap*), sekaligus mentransmisikan instruksi balik ke lapangan untuk memicu alarm suara ketika tingkat bahaya meningkat.

Kata Kunci: *Sistem Deteksi Longsor, Logika Fuzzy, Sensor IMU dan Curah Hujan, LoRa, Peta Digital.*

ABSTRACT

DESIGN OF A DETECTION SYSTEM TO SUPPORT ELECTRONIC MAPPING OF LANDSLIDE-PRONE AREAS USING FUZZY-BASED RAINFALL AND LAND SLOPE SENSORS

Devan Arya Danindra, NIM : 2212052
Supervisor I : Bima Romadhon Parada D.P., ST., MT.
Supervisor II : Ir. Kartiko Ardi Widodo, MT.

This research designs a landslide detection system that integrates an IMU sensors to read tilt and linear acceleration along with a rainfall sensor into a digital map interface. The system employs a two-layer architecture, consisting of a transmitter device in the field and a receiver device connected to a computer using LoRa communication. The computer acts as the processing center, filtering signals using the Moving Average algorithm and subsequently executing the Mamdani Fuzzy Logic with 75 rule bases to determine the vulnerability level (Safe, Caution, Alert, and Danger). The test results indicate an average deviation of 1.22% for the tilt reading, while the linear acceleration static fluctuation of 0.08 m/s^2 was successfully reduced to 0.004 m/s^2. The rain gauge sensor exhibits a precision of 0.38 mm per tip. During the LoRa testing, the transmission success rate reached 100% at 50 meters and 90% at 100 meters, but it decreased to 40% at 200 meters due to physical obstructions. The Moving Average signal filtering proved capable of reducing sensor data spikes by 64.8% (from 0.6386 m/s^2 to 0.2245 m/s^2). The final vulnerability level value is directly visualized on the digital map dashboard as a circular color indicator (heatmap), while simultaneously transmitting a feedback instruction to the field to trigger the audio alarm when the hazard level escalates.

Keywords: *Landslide Detection System, Fuzzy Logic, IMU and Rain Gauge Sensors, LoRa, Digital Map.*

KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Allah SWT karena atas karunia kuasaNya, penulis dapat menyelesaikan penulisan skripsi ini. Penulisan skripsi ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik Industri, ITN Malang. Penulis menyadari bahwa penulisan skripsi ini masih memiliki banyak kekurangan. Karenanya, penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun dalam rangka peningkatan pembelajaran terus-menerus. Banyak pihak yang telah membantu dalam penulisan skripsi ini. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Kedua orang tua dan Keluarga yang selalu memberikan semangat, dukungan dan Doa kepada penulis.
2. Bapak Bima Romadhon Parada Dian Palevi, ST., MT. selaku Dosen Pembimbing 1 yang selalu membimbing dengan penuh kesabaran.
3. Bapak Ir. Kartiko Ardi Widodo, MT selaku Dosen Pembimbing 2 yang selalu membimbing dengan penuh kesabaran.
4. Ibu Dr. Irmalia Suryani Faradisa, ST., MT. Selaku Kepala Program Studi Teknik Elektro-S1
5. Bapak dan Ibu Dosen Elektro-S1 yang senantiasa membantu setiap kesulitan yang penulis temui.
6. Teman-teman Teknik Elektro angkatan 2022 yang senantiasa telah membantu dan memberikan dukungan dan doanya.
7. Semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu per satu yang telah membantu dan mendukung hingga terselesainya tugas akhir ini baik secara langsung maupun tidak langsung.

Dan semua pihak yang telah membantu dalam penulisan skripsi ini, namun tidak dapat disebutkan satu persatu. Akhir kata, penulis berharap skripsi ini dapat memberikan manfaat yang seluas-luasnya bagi perkembangan ilmu pengetahuan. Panjang umur perjuangan, panjang umur pengetahuan.

Malang, Juli 2026

Penulis

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR i
DAFTAR ISI ii
DAFTAR GAMBAR vii
DAFTAR TABEL x
BAB I PENDAHULUAN 1
1.1 Latar Belakang 1
1.2 Rumusan Masalah 2
1.3 Batasan Masalah 3
1.4 Tujuan Penelitian 3
1.5 Manfaat Penelitian 4
1.5.1 Bagi Mahasiswa 4
1.5.2 Bagi Institusi (Kampus) 4
1.5.3 Bagi Masyarakat 4
1.6 Sistematika Penulisan 4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA 7
2.1 Penelitan Terdahulu 7
2.2 Tanah Longsor 12
2.3 Curah Hujan 14
2.4 Peta Digital 15
2.5 Inertial Measuring Unit (IMU) 16
2.5.1 Gyroscope 17
2.5.2 Accelerometer 18
2.5.3 IMU DFRobot AHRS BNO055 19
2.5.4 Degree of Freedom (DoF) 20
2.5.5 Sudut *Euler* 21

2.6 Sensor Rain Gauge (Tipping Bucket) 23
2.6.1 Transduser Hall Effect A3144 25
2.7 Mikrokontroller ESP32 26
2.8 Modul GPS GY-NEO6M 28
2.9 Lo-Ra SX1278 433MHz 29
2.10 Buck-Boost Converter XL6009 31
2.10.1 IC XL6009 33
2.11 *Low Dropout* (LDO) Regulator AMS1117 34
2.12 Baterai Li-ion 18650 35
2.13 Buzzer 37
2.14 Noise Filtering 38
2.14.1 Moving Average Filter 38
2.15 Fuzzy Logic 39
2.15.1 Himpunan Fuzzy 40
2.15.2 Fungsi Keanggotaan 40
2.15.3 Variabel Linguistik 45
2.15.4 Fuzzy Rule Base 45
2.15.5 Proses Inferensi Fuzzy 46
2.15.6 Proses Defuzzyfikasi 48
2.16 Data Logger 50
2.17 Microsoft Visual Studio Code 51
2.18 Bahasa Pemrograman Python 52
2.19 WebGIS 53
2.20 Leaflet.js 53
2.21 Komunikasi Serial 54
2.22 Komunikasi UART 54

2.23 Komunikasi I2C 55
BAB III METODOLOGI PENELITIAN 57
3.1 Rancangan Sistem 57
3.1.1 Rancangan Sistem *Node* Sensor 58
3.1.2 Rancangan Sistem *Node Sink* 60
3.2 Blok Diagram Sistem 61
3.2.1 Blok Diagram Sistem Keseluruhan 61
3.2.2 Diagram Blok Akuisisi data 62
3.2.3 Diagram Blok Pengolahan data 64
3.3 Diagram Alir Proses 65
3.3.1 Diagram Alir Node 65
3.3.2 Diagram Alir Node Sink 67
3.4 Perancangan Perangkat Keras 68
3.4.1 Perancangan Perangkat Keras Node Sensor 68
3.4.2 Perancangan Perangkat Keras Sink (Gateway Receiver) ... 71
3.5 Konfigurasi Program 71
3.5.1 Program Node 71
3.5.2 Program Sink Node 75
BAB IV PENGUJIAN DAN ANALISIS SISTEM 77
4.1 Gambaran Umum Sistem 77
4.2 Implementasi Perangkat Keras 77
4.2.1 Implementasi *Node* Sensor 78
4.2.2 Implementasi *Node Sink* 79
4.2.3 Implementasi *Gateway* dan *Server* pada PC 80
4.3 Pengujian IMU 81
4.3.1 Pengujian *Gyroscope* IMU 81

4.3.2 Pengujian *Accelerometer* IMU 84
4.4 Implementasi Sensor Curah Hujan 89
4.4.1 Pengujian dan Kalibrasi Sensor Curah Hujan 90
4.5 Pengujian Modul GPS GY-NEO6M 95
4.6 Pengujian Modul Komunikasi LoRa 98
4.6.1 Pengujian LoRa Jarak 0 Meter 100
4.6.2 Pengujian LoRa Jarak 50 Meter 101
4.6.3 Pengujian LoRa Jarak 100 Meter 101
4.6.4 Pengujian LoRa Jarak 150 Meter 102
4.6.5 Pengujian LoRa Jarak 200 Meter 103
4.6.6 Hasil dan Analisis Pengujian LoRa 103
4.7 Implementasi dan Pengujian Moving Average Filter 104
4.7.1 Pengujian *Moving Average* pada Kemiringan Lahan (*Tilt*) 105
4.7.2 Pengujian *Moving Average* pada Percepatan Linear (*LiA*) 108
4.7.3 Hasil dan Analisis Pengujian *Moving Average* 112
4.8 Implementasi Logika Fuzzy Mamdani 113
4.8.1 Input Data Fuzzy 113
4.8.2 Fungsi Keanggotaan 113
4.8.3 Penerapan Fuzzy Rule Base 115
4.8.4 Inferensi Fuzzy 116
4.8.5 Defuzzifikasi 117
4.8.6 Hasil Tingkat Risiko 117
4.8.7 Analisis Hasil Fuzzy 119
4.9 Implementasi Peta Digital 119
4.10 Hasil Pengujian Keseluruhan Sistem 121
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN 123

5.1 Kesimpulan 123
5.2 Saran..... 123
DAFTAR PUSTAKA 124
LAMPIRAN..... 131

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Ilustrasi Bencana Longsor 13
Gambar 2. 2 Ilustrasi Terjadinya Longsor yang diakibatkan oleh curah hujan yang masuk ke dalam tanah 14
Gambar 2. 3 Contoh Tampilan Peta Digital berbasis WebGIS 16
Gambar 2. 4 DFRobot IMU AHRS BNO055 19
Gambar 2. 5 Degree of Freedom IMU 21
Gambar 2. 6 Sudut Euler X, Y, Z 22
Gambar 2. 7 Sensor Rain gauge 23
Gambar 2. 8 Diagram Sensor Rain Gauge 24
Gambar 2. 9 Transduser hall Effect A3144 25
Gambar 2. 10 ESP32-WRoom-32U beserta Pinout-nya 26
Gambar 2. 11 Modul GPS GY-NEO6M 28
Gambar 2. 12 Modul Lora SX1278 30
Gambar 2. 13 Modul Buck-Boost Converter XL6009 31
Gambar 2. 14 Diagram Skematik Buck-Boost Converter 32
Gambar 2. 15 IC XL6009 33
Gambar 2. 16 Modul Regulator LDO AMS1117 3.3V 34
Gambar 2. 17 Skematik Regulator Tegangan AMS1117 3.3V 35
Gambar 2. 18 Baterai Li-Ion 18650 3.7V 36
Gambar 2. 19 Buzzer Piezoelektrik 37
Gambar 2. 20 Representasi Linear Naik 41
Gambar 2. 21 Representasi Linear turun 42
Gambar 2. 22 Representasi Kurva Segitiga 43
Gambar 2. 23 Representasi Kurva Trapesium 44
Gambar 2. 24 Representasi Kurva Bahu 45
Gambar 3. 1 Rangkaian Sistem Node 58
Gambar 3. 2 Rangkaian Sistem Sink 60
Gambar 3. 3 Diagram blok Sistem keseluruhan 61
Gambar 3. 4 Diagram Blok Akuisisi data pada Node 62
Gambar 3. 5 Diagram blok Pengolahan Data 64
Gambar 3. 6 Diagram Alir Sistem pada Node 65
Gambar 3. 7 Diagram Alir Sink 67
Gambar 3. 8 Diagram Wiring IMU 68
Gambar 3. 9 Diagram Wiring Sensor Rain gauge 69
Gambar 3. 10 Diagram Wiring LoRa Transmitter 70
Gambar 3. 11 Diagram Wiring GPS 70
Gambar 3. 12 Diagram Wiring Lora receiver 71

Gambar 3. 13 Program Pengambilan Data Orientasi, Perhitungan Kemiringan Lahan, dan Resultan Getaran Struktur Tanah dari Register Sensor IMU BNO055. 72
Gambar 3. 14 Fungsi Interupsi Sensor Rain Gauge. 73
Gambar 3. 15 Fungsi Interrupt Service Routine (ISR) dan Penanganan Debounce Mekanis Perhitungan Akumulasi Volume Tinggi Curah Hujan. 73
Gambar 3. 16 Pemanggilan fungsi GPS untuk mendapatkan Informasi garis Lintang, Bujur dan ketinggian. 74
Gambar 3. 17 Modul LoRa Pengirim dengan frekuensi 433 MHz. 74
Gambar 3. 18 Variabel data yang dikirm LoRa 75
Gambar 3. 19 Inisialisasi Modul LoRa Penerima dengan frekuensi 433 MHz. 76
Gambar 4. 1 Implementasi Keseluruhan Sistem 78
Gambar 4. 2 Implementasi perangkat *Node* Sensor 79
Gambar 4. 3 Implementasi Perangkat Node Sink 80
Gambar 4. 4 Grafik LiA Sumbu-X (527 Sampel) 85
Gambar 4. 5 Grafik LiA Sumbu-Y (527 Sampel) 85
Gambar 4. 6 Grafik LiA Sumbu-Z (527 Sampel) 86
Gambar 4. 7 Grafik LiA Total (527 Sampel) 86
Gambar 4. 8 Grafik LiA Sumbu-X Setelah Koreksi (527 Sampel) 88
Gambar 4. 9 Grafik LiA Sumbu-Y Setelah Koreksi (527 Sampel) 88
Gambar 4. 10 Grafik LiA Sumbu-Z Setelah Koreksi (527 Sampel) 88
Gambar 4. 11 Grafik LiA Total Setelah Koreksi (527 Sampel) 89
Gambar 4. 12 Pengukuran Jari-Jari Corong Penampang 90
Gambar 4. 13 Diagram Ukuran Fisik Sensor Curah Hujan 91
Gambar 4. 14 Proses Menakar Air 120 ml. 92
Gambar 4. 15 Dokumentasi pengujian GPS di Lapangan Terbuka 96
Gambar 4. 16 Kondisi Modul GPS NEO-6M saat Indikator LED Menyala 96
Gambar 4. 17 Titik Pengujian LoRa 98
Gambar 4. 18 Program Konfigurasi LoRa 99
Gambar 4. 19 Program Keluaran LoRa dengan format CSV 100
Gambar 4. 20 Grafik Perbandingan Keseluruhan Data Kemiringan Lahan Sebelum dan Sesudah Filter MA 106
Gambar 4. 21 Grafik Perbandingan Data Kemiringan Lahan pada Rentang Sampel ke-1114 hingga 1133 108
Gambar 4. 22 Grafik Perbandingan Keseluruhan Data Percepatan Linear Sebelum dan Sesudah Filter MA 110

Gambar 4. 23 Grafik Perbandingan Data Percepatan Linear pada Rentang Sampel ke-1114 hingga 1133 112
Gambar 4. 24 Grafik Kurva Keanggotaan Variabel Kemiringan 114
Gambar 4. 25 Grafik Kurva Keanggotaan Variabel Curah Hujan Harian 115
Gambar 4. 26 Grafik Kurva Keanggotaan Variabel Percepatan Linear 115
Gambar 4. 27 Grafik Riwayat Skor Risiko Fuzzy pada Antarmuka *Web* Peta Digital 118
Gambar 4. 28 Visualisasi Pemataan Daerah Rawan Longsor 120
Gambar 4. 29 Visualiasi Heatmap Circle yang menampilkan warna kuning (WASPADA)..... 121

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Spesifikasi teknis IMU (Bosch Sensortec, 2021) 19
Tabel 2. 2 Spesifikasi Teknis ESP32 (Espressif, 2025) 26
Tabel 2. 3 Spesifikasi Lo-Ra SX1278 433 MHz (Semtech, 2015)..... 30
Tabel 2. 4 Spesifikasi Baterai..... 36
Tabel 3. 1 Konfigurasi GPIO pada Node Sensor 59
Tabel 3. 2 Konfigurasi GPIO pada Sink 61
Tabel 4. 1 Data Uji Gyroscope..... 82
Tabel 4. 2 Hasil Pengujian Statis Akselerometer (527 Sampel)..... 85
Tabel 4. 3 Data Akselerometer Setelah Koreksi Mean Centering dan Zero Adjustment 87
Tabel 4. 4 Spesifikasi Fisik sensor Curah hujan 91
Tabel 4. 5 Hasil Pengujian dengan 600 ml air. 92
Tabel 4. 6 Hasil Pengujian Modul GPS NEO-6M 97
Tabel 4. 7 Distribusi Kategori Kualitas HDOP 97
Tabel 4. 8 Konfigurasi Parameter LoRa..... 99
Tabel 4. 9 Hasil uji LoRa jarak 0 meter 100
Tabel 4. 10 Hasil uji LoRa jarak 50 meter 101
Tabel 4. 11 Hasil uji LoRa jarak 100 meter 102
Tabel 4. 12 Hasil uji LoRa jarak 150 meter 102
Tabel 4. 13 Hasil uji LoRa jarak 200 meter 103
Tabel 4. 14 Hasil Pengujian Keseluruhan Komunikasi LoRa 104
Tabel 4. 15 Perbandingan Data Kemiringan (1606 sampel) 105
Tabel 4. 16 Perbandingan Data Kemiringan Lahan pada Sampel ke-1114 hingga 1133 107
Tabel 4. 17 Perbandingan data percepatan Linear (1606 Sampel) 109
Tabel 4. 18 Perbandingan Data Percepatan Linear pada Sampel ke-1114 hingga 1133 111
Tabel 4. 19 Nilai Linguistik Variabel Kemiringan Lahan..... 114
Tabel 4. 20 Nilai Linguistik Variabel Curah Hujan 114
Tabel 4. 21 Nilai Linguistik Variabel Percepatan Linear..... 115
Tabel 4. 22 Rule Base Dengan Percepatan Linear Normal 116
Tabel 4. 23 Rule Base Dengan Percepatan Linear Sedang 116
Tabel 4. 24 Rule Base Dengan Percepatan Linear Tinggi..... 116
Tabel 4. 25 Rentang Nilai Output ke Tingkat Potensi Longsor 118
Tabel 4. 26 Skenario Pengujian Validasi Logika Fuzzy 119