



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



**Sistem Prediksi Bencana Banjir dan Tanah Longsor dengan
Metode Deep Learning Long Short-Term Memory (LSTM)
Berbasis MultiSensor**

Sub Judul:

**Sistem Prediksi Risiko Tanah Longsor Menggunakan Long Short-
Term Memory (LSTM) Berbasis Kelembapan dan Kemiringan
Tanah**

SKRIPSI

Syabilla Anandhira Muzzaki

2203431040

**PROGRAM STUDI INSTRUMENTASI DAN KONTROL
INDUSTRI**

**JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
POLITEKNIK NEGERI JAKARTA**

2026



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



**Sistem Prediksi Bencana Banjir dan Tanah Longsor dengan
Metode Deep Learning Long Short-Term Memory (LSTM)
Berbasis MultiSensor**

Sub Judul:

**Sistem Prediksi Risiko Tanah Longsor Menggunakan Long Short-
Term Memory (LSTM) Berbasis Kelembapan dan Kemiringan
Tanah**

SKRIPSI

**Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar
Sarjana Terapan**

**Syabilla Anandhira Muzzaki
2203431040**

**PROGRAM STUDI INSTRUMENTASI DAN KONTROL
INDUSTRI**

**JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
POLITEKNIK NEGERI JAKARTA**

2026



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

Skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk telah saya nyatakan dengan benar.

Nama : Syabilla Anandhira Muzzaki

NIM : 2203431040

Tanda Tangan :

Tanggal : 2 Juli 2026



**POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA**



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

Skripsi diajukan oleh :

Nama : Syabilla Anandhira Muzzaki
NIM : 2203431040
Program Studi : D4 Instrumentasi dan Kontrol Industri
Judul Skripsi : Sistem Prediksi Risiko Tanah Longsor Menggunakan Long Short-Term Memory (LSTM) Berbasis Sensor Kelembapan dan Kemiringan Tanah

Telah diuji oleh tim penguji dalam Sidang Skripsi pada 2 Juli 2026 dan dinyatakan **LULUS**

Pembimbing : Hariyanto S.Pd., M.T.
NIP. 199101282020121008

()

Depok, 15 Juli 2026

Disahkan oleh

Ketua Jurusan Teknik Elektro



Dr., Murie Dwiyaniti, S.T, M.T.

NIP. 197803312003122002



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa, karena atas rahmat, hidayah, dan kekuatan-Nya, skripsi yang berjudul **“Sistem Prediksi Risiko Tanah Longsor Menggunakan Long Short-Term Memory (LSTM) Berbasis Sensor Kelembapan dan Kemiringan Tanah”** ini dapat diselesaikan dengan baik. Penyusunan skripsi ini merupakan salah satu syarat akademik untuk memperoleh gelar Sarjana di Politeknik Negeri Jakarta.

Proses pengerjaan skripsi ini melibatkan berbagai tahapan yang kompleks, mulai dari integrasi perangkat keras untuk akuisisi data multisensor, kendala teknis dalam proses pengambilan data, hingga tahap analisis yang membutuhkan ketelitian tinggi. Namun, setiap hambatan yang dihadapi sepanjang proses ini justru memberikan pengalaman berharga bagi penulis untuk meningkatkan kapasitas keilmuan, ketekunan, serta kemampuan pemecahan masalah secara ilmiah.

Keberhasilan penyusunan skripsi ini tidak lepas dari dukungan, bimbingan, dan doa dari berbagai pihak. Oleh karena itu, dengan segala ketulusan hati, penulis ingin menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Ibu Dr., Murie Dwiyaniti, S.T., M.T., selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Jakarta.
2. Ibu Sulis Setiowati, S.Pd., M.Eng., selaku Ketua Program Studi Instrumentasi dan Kontrol Industri Politeknik Negeri Jakarta.
3. Bapak Hariyanto, S.Pd., M.T. selaku Dosen Pembimbing yang telah memberikan arahan, serta bimbingan yang sangat berharga dalam penyempurnaan sistem dan pemodelan penelitian ini.
4. Ibu Sri Haryati, yang senantiasa memberikan doa, kasih sayang, kesabaran, serta dukungan moral dan material yang tidak pernah putus kepada penulis. Terima kasih atas setiap pengorbanan, perhatian, dan semangat yang diberikan sehingga penulis dapat melalui setiap proses perkuliahan dan menyelesaikan penelitian ini dengan baik.
5. Bapak Chairul Muzzaki, yang selalu memberikan dukungan, motivasi, serta kepercayaan kepada penulis dalam menyelesaikan studi ini. Terima kasih atas waktu, tenaga, dan pikiran yang telah diberikan, serta atas kesediaannya



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

untuk terjun langsung membantu penulis dalam proses pengerjaan dan perakitan fisik alat penelitian ini hingga dapat diselesaikan dengan baik.

6. Shifa Laudya Fatiha, selaku saudara penulis yang senantiasa bersedia mendengarkan setiap keluhan, memberikan dukungan, serta menemani penulis selama menjalani masa perkuliahan dan proses penyusunan tugas akhir ini.
7. Laura Gracella dan Shofiyah Zahidah, atas kerja sama, diskusi yang intensif, serta saling membantu dan mendukung satu sama lain sejak tahap perancangan sistem, proses pengerjaan, hingga pengujian model penelitian ini selesai dilaksanakan.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari kata sempurna. Masih ada ruang yang luas untuk perbaikan dan pengembangan lebih lanjut. Oleh karena itu, kritik dan saran yang membangun sangat penulis harapkan demi kesempurnaan karya-karya selanjutnya.

Akhir kata, semoga skripsi ini dapat memberikan kontribusi nyata, pemikiran baru, serta manfaat bagi perkembangan ilmu pengetahuan dan masyarakat luas.

Depok, 10 Juni 2026

Syabilla Anandhira Muzzaki

**POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA**



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Sistem Prediksi Risiko Tanah Longsor Menggunakan Long Short-Term Memory (LSTM) Berbasis Kelembapan dan Kemiringan Tanah

Abstrak

Tanah longsor merupakan salah satu bencana hidrometeorologi paling mematikan di Indonesia. Sistem peringatan dini yang ada umumnya hanya mengandalkan satu parameter dan ambang batas statis sehingga tidak mampu menangkap pola temporal perubahan kondisi tanah yang mendahului kejadian longsor. Penelitian ini merancang sistem prediksi risiko tanah longsor skala laboratorium menggunakan model Long Short-Term Memory (LSTM) berbasis data multisensor kelembapan tanah (soil moisture) dan kemiringan lereng (gyroscope MPU6050) yang diakuisisi secara real-time melalui ESP32, sekaligus menentukan ukuran sliding window time-series yang optimal. Pengujian dilakukan melalui tiga tahap: akumulasi dataset bertahap dalam lima percobaan, optimasi sliding window dengan variasi window size 5, 10, 15, 20, dan 30 timestep, serta evaluasi model pada maket lereng skala laboratorium. Akurasi model meningkat dari 91% pada Percobaan 1 (2.294 sampel) menjadi 98,31% pada Percobaan 5 (7.404 sampel data sensor riil), dengan F1-Score kelas Siaga meningkat dari 0,34 menjadi 0,91 seiring integrasi data sensor riil. Konfigurasi window size 30 timestep dengan lead time 15 detik terbukti optimal dengan validation accuracy 94,63% dan validation loss 0,158396. Pada pengujian 40 sampel representatif, model mencapai recall 100% pada kelas Waspada dan Awas tanpa miss detection. Hasil ini membuktikan bahwa model LSTM dengan optimasi sliding window mampu memprediksi risiko tanah longsor secara akurat berbasis data multisensor dan berpotensi menjadi fondasi sistem peringatan dini longsor yang lebih adaptif.

Kata kunci: LSTM, *Sliding Window*, Time-Series, Tanah Longsor



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Landslide Risk Prediction System Using Long Short-Term Memory (LSTM) Based on Soil Moisture and Slope Inclination

Abstract

Landslides are among the most fatal hydrometeorological disasters in Indonesia. Existing early warning systems generally rely on a single environmental parameter and static thresholds, limiting their ability to capture temporal patterns in soil conditions that precede a landslide event. This study designs a laboratory-scale landslide risk prediction system using a Long Short-Term Memory (LSTM) model based on multisensor soil moisture and slope tilt data (MPU6050 gyroscope) acquired in real-time through an ESP32 microcontroller, while determining the optimal time-series sliding window size. Testing was conducted in three stages: gradual dataset accumulation across five trials, sliding window optimization with window size variations of 5, 10, 15, 20, and 30 timesteps, and model evaluation on a laboratory-scale slope model. Model accuracy improved consistently from 91% in Trial 1 (2,294 samples) to 98.31% in Trial 5 (7,404 real sensor samples), with the Siaga class F1-Score increasing from 0.34 to 0.91 following real sensor data integration. A window size of 30 timesteps with a 15-second lead time proved optimal, achieving a validation accuracy of 94.63% and a validation loss of 0.158396. On 40 representative sample tests, the model achieved 100% recall for the Waspada and Awas classes with zero miss detection. These findings demonstrate that an LSTM model with sliding window optimization can accurately predict landslide risk from multisensor data, offering a foundation for developing a more adaptive early warning system.

Keywords: *Landslide, LSTM, Sliding Window, Time-Series*

**POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA**



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

DAFTAR ISI

HALAMAN SAMPUL.....	i
HALAMAN JUDUL	ii
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS	iii
LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI	iv
KATA PENGANTAR.....	v
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	viii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR GAMBAR.....	xiv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	4
1.3 Batasan Masalah.....	4
1.4 Tujuan	5
1.5 Luaran	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	6
2.1. <i>State of The Art</i>	6
2.2. Landasan Teori.....	10
2.2.1. Bencana Tanah Longsor.....	10
2.2.2. Faktor Penyebab Tanah Longsor	11
2.2.2.1. Curah Hujan	11
2.2.2.2. Kondisi Tanah	12
2.2.2.3. Aktivitas Manusia	13
2.2.2.4. Tingkat Risiko Tanah Longsor.....	14
2.2.3. Deep Learning.....	16
2.2.3.1 Long Short-Term Memory (LSTM).....	17
2.2.4. Window Time-Series (Sliding Window)	19
2.2.5. Evaluasi Model.....	21
2.2.5.1 Confusion Matrix	22



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

2.2.5.2	Accuracy	22
2.2.5.3	Precision.....	23
2.2.5.4	Recall.....	24
2.2.5.5	F1-Score	24
2.2.6.	Komponen Sistem	25
2.2.6.1.	Mikrokontroler ESP32	25
2.2.6.2.	Sensor Capacitive Soil Moisture.....	26
2.2.6.3.	Sensor Gyroscope MPU6050	28
BAB III PERENCANAAN DAN REALISASI.....		30
3.1	Rancangan Alat.....	30
3.1.1.	Deskripsi Alat	30
3.1.2.	Cara Kerja Alat	33
3.1.3.	Diagram Blok	35
3.1.4.	Spesifikasi Alat	36
3.1.5.	Deskripsi Alat Sub-sistem.....	38
3.1.6.	Cara Kerja Alat Sub-sistem.....	39
3.1.7.	Diagram Blok Sub-sistem	41
3.2	Realisasi Alat	42
3.2.1	Realisasi Hardware.....	42
3.2.1.1	Desain Alat.....	42
3.2.1.2	Spesifikasi Media Tanah.....	44
3.2.1.3	Wiring Diagram	45
3.2.1.4	Gambaran Fisik Alat	46
3.2.2	Realisasi Software.....	49
3.2.2.1	Dataset dan Eksplorasi Data	49
3.2.2.2	Preprocessing dan Pembentukan Sekuens	51
3.2.2.3	Arsitektur Model dan Hasil Pelatihan.....	53
3.2.2.4	Evaluasi Model.....	55
BAB IV PEMBAHASAN.....		58
4.1	Pengujian Akumulasi Dataset	58
4.1.1	Deskripsi Pengujian	58
4.1.2	Prosedur Pengujian	59



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

4.1.3	Data Hasil Pengujian.....	60
4.1.3.1	Percobaan 1	60
4.1.3.2	Percobaan 2	62
4.1.3.3	Percobaan 3	64
4.1.3.4	Percobaan 4	65
4.1.3.5	Percobaan 5	67
4.1.4	Analisis Data Hasil Pengujian.....	69
4.2	Pengujian Optimasi Sliding Window.....	70
4.2.1	Deskripsi Pengujian	71
4.2.2	Prosedur Pengujian	71
4.2.3	Data Hasil Pengujian.....	72
4.2.4	Analisis Data Hasil Pengujian.....	72
4.3	Pengujian Model LSTM.....	74
4.3.1	Deskripsi Pengujian	75
4.3.2	Prosedur Pengujian	75
4.3.3	Data Hasil Pengujian.....	77
4.3.4	Analisis Data Hasil Pengujian.....	80
BAB V	PENUTUP.....	86
5.1	Simpulan	86
5.2	Saran.....	87
DAFTAR PUSTAKA.....		88
DAFTAR RIWAYAT HIDUP		xvi



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Spesifikasi Fisik	36
Tabel 3.2 Spesifikasi Komponen	37
Tabel 3.3 Pin Diagram Sensor	45
Tabel 3.4 Keterangan Komponen Fisik Alat.....	47
Tabel 3.5 Keterangan Komponen Box Panel Elektronik	48
Tabel 3.6 Spesifikasi Dataset Tanah Longsor.....	49
Tabel 3.7 Klasifikasi Tingkat Risiko Tanah Longsor.....	50
Tabel 3.8 Preprocessing dan Pembentukan Sekuens	52
Tabel 3.9 Perbandingan Hasil Grid Search Window Size	53
Tabel 3.10 Arsitektur Model Vanilla LSTM.....	53
Tabel 3.11 Hyperparameter Pelatihan Model LSTM.....	54
Tabel 3.12 Confusion Matrix Model LSTM pada Data Test	56
Tabel 3.13 Classification Report Model LSTM Prediksi Tanah Longsor	56
Tabel 4.1 Distribusi Kelas Dataset Percobaan 1	61
Tabel 4.2 Hasil Pelatihan Model LSTM pada Simulasi 1.....	61
Tabel 4.3 Classification Report Model LSTM pada Percobaan 1	62
Tabel 4.4 Distribusi Kelas Dataset Percobaan 2	62
Tabel 4.5 Hasil Pelatihan Model LSTM pada Percobaan 2	63
Tabel 4.6 Classification Report Model LSTM pada Percobaan 2	63
Tabel 4.7 Distribusi Kelas Dataset Percobaan 3	64
Tabel 4.8 Hasil Pelatihan Model LSTM pada Simulasi 3.....	64
Tabel 4.9 Classification Report Model LSTM pada Percobaan 3	65
Tabel 4.10 Distribusi Kelas Dataset Percobaan 4	66
Tabel 4.11 Hasil Pelatihan Model LSTM pada Percobaan 4	66
Tabel 4.12 Classification Report Model LSTM pada Percobaan 4	67
Tabel 4.13 Distribusi Kelas Dataset Percobaan 5	67
Tabel 4.14 Hasil Pelatihan Model LSTM pada Percobaan 5	68
Tabel 4.15 Classification Report Model LSTM pada Percobaan 5	68
Tabel 4.16 Hasil Pelatihan LSTM dari Akumulasi Dataset.....	69
Tabel 4.17 Hasil Perbandingan Sliding Window	72



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Tabel 4.18 Spesifikasi Perangkat dan Parameter Pengujian EWS Longsor	76
Tabel 4.19 Data Hasil Pengujian Model LSTM EWS Longsor.....	77
Tabel 4.20 Confusion Matrix Hasil Pengujian EWS Longsor	81
Tabel 4.21 Metrik Evaluasi Model LSTM EWS Longsor per Kelas	84





Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Bencana Tanah Longsor	10
Gambar 2.2 Arsitektur LSTM	17
Gambar 2.3 Mikontroler ESP32	25
Gambar 2.4 Capacitive Soil Moisture Sensor	26
Gambar 2.5 Sensor Gyroscope MPU6050	28
Gambar 3.1 Flowchart Cara Kerja Alat	33
Gambar 3.2 Diagram Blok Sistem	35
Gambar 3.3 Flowchart Sub - Sistem LSTM-L	39
Gambar 3.4 Diagram Blok Sub - Sistem LSTM-L	41
Gambar 3.5 Desain 3D Alat	43
Gambar 3.6 Wiring Diagram Sistem	45
Gambar 3.7 Prototipe Simulator Lereng Tampak Keseluruhan	47
Gambar 3.8 Box Panel Elektronik	48
Gambar 3.9 Distribusi Kelas Label Risiko pada Dataset	50
Gambar 3.10 Kurva Training dan Validation Loss/Accuracy Model LSTM	55
Gambar 3.11 Confusion Matrix LSTM pada Data Test	55
Gambar 3.12 Visualisasi Metrik Evaluasi Per Kelas	56

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia merupakan negara yang rentan terhadap bencana alam, khususnya tanah longsor. Faktor cuaca ekstrem, curah hujan tinggi, serta kondisi geografis Indonesia yang terdiri dari wilayah pegunungan dan perbukitan menjadikan negara ini sangat rawan terhadap bencana hidrometeorologi (Adfy & Marzuki, 2021). Data Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB) menunjukkan bahwa tanah longsor merupakan salah satu jenis bencana yang paling sering terjadi dan paling mematikan di Indonesia, dengan frekuensi antara 591 hingga 1.326 kejadian per tahun selama periode 2018–2023 (BPS & BNPB, 2025). Sepanjang tahun 2025, BNPB mencatat 3.223 kejadian bencana alam, di mana tanah longsor dinyatakan sebagai bencana dengan kontribusi korban jiwa tertinggi di luar dampak Siklon Senyar, dengan 330 kejadian yang menyebabkan 237 orang meninggal dunia dan 31 orang hilang (BNPB, 2025).

Beberapa kejadian tanah longsor berskala besar di wilayah Aceh, Sumatera Utara, dan Sumatera Barat pada akhir November 2025 menjadi bukti nyata bahwa bencana hidrometeorologi masih menjadi permasalahan serius yang belum tertangani secara optimal. Rangkaian bencana tersebut mengakibatkan lebih dari 1.100 orang meninggal dunia dan ribuan kepala keluarga terpaksa mengungsi karena rumah mereka rusak atau terendam air (BNPB, 2025). Kondisi ini menegaskan pentingnya upaya mitigasi bencana yang lebih efektif, khususnya melalui pengembangan sistem prediksi tanah longsor yang lebih akurat dan tepat waktu untuk meminimalisir dampak yang ditimbulkan.

Meskipun berbagai upaya telah dilakukan dalam mitigasi bencana, seperti peringatan dini dan sistem pemantauan, kemampuan untuk memprediksi tanah longsor secara akurat dan *real-time* masih sangat terbatas. Sistem konvensional umumnya hanya mengandalkan satu parameter lingkungan seperti curah hujan, sehingga belum mampu merepresentasikan kompleksitas faktor penyebab tanah longsor secara menyeluruh (Daud et al., 2025). Selain itu, sistem berbasis ambang batas statis (*threshold-based*) bersifat reaktif dan tidak mampu menangkap pola temporal perubahan kondisi fisik tanah yang mendahului kejadian longsor



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

(Ebrahim et al., 2024). Penelitian terdahulu tentang sistem peringatan dini berbasis sensor di Indonesia juga menunjukkan bahwa pemantauan parameter tunggal menghasilkan deteksi yang kurang komprehensif dibandingkan pendekatan multisensor (Mamintada & Lisangan, 2023).

Tanah longsor tidak terjadi secara tiba-tiba, melainkan didahului oleh perubahan kondisi fisik tanah yang dapat dideteksi lebih awal. Dua parameter kritis yang merepresentasikan kondisi kestabilan lereng adalah kadar kelembapan tanah (*soil moisture*) dan perubahan kemiringan lereng yang diukur melalui sensor *gyroscope*. Peningkatan kadar air tanah yang melampaui batas kapasitas jenuh akan menaikkan berat massa tanah sekaligus menurunkan kekuatan geser tanah, sementara pergeseran sudut kemiringan yang terdeteksi sensor *gyroscope* merupakan indikasi langsung terjadinya deformasi massa tanah yang dapat berkembang menjadi longsor skala penuh (Mega Utama et al., 2022a). Pemantauan simultan kedua parameter ini memberikan gambaran kondisi lereng yang jauh lebih komprehensif dibandingkan pemantauan parameter tunggal, sebagaimana telah dibuktikan oleh beberapa penelitian berbasis prototipe di Indonesia menggunakan kombinasi sensor kelembapan dan akselerometer/*gyroscope* (Mamintada & Lisangan, 2023).

Penelitian terdahulu menunjukkan berbagai pendekatan dalam memprediksi kejadian tanah longsor. Pada tingkat prototipe berbasis sensor, Mujahid et al. (2020) telah merancang sistem peringatan dini tanah longsor berbasis IoT menggunakan sensor MPU6050 untuk kemiringan lereng dan soil moisture YL-69 untuk kelembapan tanah, dengan data dikirim secara nirkabel ke platform cloud. Utama et al. (2022) turut membuktikan kelayakan sensor MPU6050 dalam mengukur percepatan dan kemiringan tanah secara real-time dalam konteks sistem deteksi longsor berbasis IoT dengan rata-rata error sebesar 0,419%. Mamintada & Lisangan (2023) kemudian mengembangkan sistem berbasis Wireless Sensor Network menggunakan sensor hygrometer dan akselerometer MPU6050 yang mampu memantau kondisi lereng secara real-time dengan pendekatan nilai ambang batas. Sementara itu, pada pendekatan berbasis model prediktif, Lin et al. (2022) membuktikan bahwa model LSTM dan variannya mampu memprediksi pergerakan



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

displacement tanah longsor secara akurat dengan memisahkan komponen tren dan periodik pada data deret waktu menggunakan metode Weighted Moving Average.

Meskipun berbagai pendekatan tersebut telah memberikan kontribusi yang berarti, masih terdapat keterbatasan yang signifikan. Penelitian berbasis sensor di Indonesia seperti Mamintada & Lisangan (2023) dan Mujahid et al. (2020) masih menggunakan pendekatan ambang batas statis (rule-based threshold) tanpa mekanisme prediksi adaptif berbasis pola historis, sehingga tidak mampu mengenali pola temporal yang mendahului kejadian longsor. Utama et al. (2022) hanya memanfaatkan single sensor MPU6050 tanpa integrasi data kelembapan tanah yang merupakan faktor pemicu utama. Sedangkan Lin et al. (2022) menggunakan data geologi skala besar yang tidak bersumber dari sensor IoT langsung, sehingga tidak dapat diterapkan pada sistem peringatan dini berbasis sensor lapangan secara langsung. Secara keseluruhan, belum ada penelitian yang mengintegrasikan data multisensor kelembapan dan kemiringan tanah secara simultan ke dalam model LSTM dan mengkaji pengaruh ukuran sliding window time-series terhadap performa prediksinya secara sistematis.

Salah satu parameter kritis yang menentukan performa model LSTM dalam memproses data deret waktu multisensor adalah ukuran sliding window time-series. Sliding window mendefinisikan panjang interval data historis yang digunakan sebagai input untuk memprediksi kondisi masa mendatang. Pemilihan ukuran window yang tidak tepat menyebabkan model kehilangan pola temporal penting atau justru memasukkan noise yang menurunkan akurasi prediksi. Dalam konteks prediksi perpindahan lereng, penggunaan sliding window pada model LSTM berbasis data sensor terbukti mampu meningkatkan akurasi prediksi secara signifikan dibandingkan pendekatan tanpa optimasi window (Lin et al., 2022). Namun, kajian sistematis tentang pengaruh variasi ukuran sliding window pada data multisensor kelembapan dan kemiringan tanah skala laboratorium belum pernah dilakukan sebelumnya, sehingga menjadi celah penelitian (research gap) yang perlu diisi.

Mengingat besarnya dampak tanah longsor dan keterbatasan metode yang ada, penelitian ini mengusulkan optimasi sliding window time-series pada model LSTM untuk prediksi risiko tanah longsor berbasis data multisensor, yaitu sensor



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengizinkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

kelembapan tanah (soil moisture) dan sensor kemiringan berbasis gyroscope (MPU6050). Penelitian ini dilakukan pada skala laboratorium sebagai tahap validasi awal, dengan mensimulasikan kondisi lereng yang rentan longsor dalam lingkungan terkontrol menggunakan ESP32 sebagai platform akuisisi data terintegrasi. Pendekatan skala laboratorium dipilih karena memungkinkan pengumpulan data multisensor secara terkontrol dengan variasi kondisi yang terukur, sehingga pengaruh ukuran sliding window dapat dikaji secara sistematis dan terisolasi dari variabilitas lapangan yang tinggi. Hasil penelitian ini diharapkan dapat menghasilkan konfigurasi window yang optimal sebagai fondasi pengembangan sistem peringatan dini tanah longsor yang lebih akurat dan adaptif di Indonesia.

1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan penjabaran melalui latar belakang tersebut, maka dapat dirumuskan beberapa masalah pada penelitian ini sebagai berikut:

1. Bagaimana merancang dan mengembangkan sistem prediksi risiko tanah longsor skala laboratorium menggunakan model *Long Short-Term Memory* (LSTM) berbasis data sensor kelembapan tanah dan kemiringan tanah?
2. Bagaimana menentukan ukuran *window time-series* yang optimal pada model LSTM untuk menghasilkan akurasi prediksi risiko tanah longsor tertinggi berdasarkan data yang diperoleh dari pengujian skala laboratorium?

1.3 Batasan Masalah

1. Pengujian sistem dilakukan dalam skala laboratorium menggunakan media tanah simulasi, bukan pada kondisi lereng atau lapangan yang sesungguhnya.
2. Sensor yang digunakan terbatas pada sensor kelembapan tanah dan sensor kemiringan tanah sebagai input data multisensor pada model LSTM.
3. Ukuran *window time-series* yang diuji dibatasi pada variasi 5, 10, 15, 20 dan 30 titik data untuk menentukan konfigurasi optimal.
4. Model yang dikembangkan hanya memprediksi tingkat risiko tanah longsor dalam kategori kelas (Waspada/Siaga/Awas), bukan memprediksi waktu kejadian longsor secara presisi.



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

5. Arsitektur deep learning yang digunakan terbatas pada metode *Long Short-Term Memory* (LSTM) tanpa kombinasi dengan metode deep learning lainnya.
6. Parameter tanah yang disimulasikan dibatasi pada kondisi kelembapan dan kemiringan tanpa memperhitungkan faktor geologi, jenis tanah, atau kondisi cuaca eksternal.

1.4 Tujuan

Berdasarkan rumusan masalah di atas, maka tujuan dari penelitian ini yaitu:

1. Merancang dan mengembangkan sistem prediksi risiko tanah longsor skala laboratorium menggunakan model *Long Short-Term Memory* (LSTM) berbasis data sensor kelembapan tanah dan kemiringan tanah.
2. Menentukan ukuran *window time-series* yang optimal pada model LSTM untuk menghasilkan akurasi prediksi risiko tanah longsor tertinggi berdasarkan data hasil pengujian skala laboratorium.

1.5 Luaran

Luaran yang diharapkan dari pelaksanaan penelitian tugas akhir ini sebagai berikut:

1. Tugas Akhir
2. Publikasi Jurnal
3. Model prediksi bencana tanah longsor berbasis LSTM yang mampu mengolah data multisensor sebagai pendukung sistem peringatan dini bencana hidrometeorologi.

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

BAB V PENUTUP

5.1 Simpulan

Berdasarkan hasil perancangan, pengujian, dan pembahasan yang telah dilakukan pada bab sebelumnya mengenai pengembangan sistem prediksi risiko tanah longsor skala laboratorium menggunakan model *Long Short-Term Memory* (LSTM), maka dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Sistem prediksi risiko tanah longsor skala laboratorium berbasis LSTM telah berhasil dirancang dan dikembangkan menggunakan integrasi data multisensor kelembapan tanah (*soil moisture*) dan kemiringan lereng (*gyroscope* MPU6050) yang diakuisisi melalui ESP32. Keberhasilan ini ditunjukkan oleh efektivitas skema akumulasi dataset secara bertahap (Percobaan 1–5) yang mampu meningkatkan akurasi model secara signifikan dari 91% (2.294 sampel) menjadi 98,31% (7.404 sampel data riil). Integrasi data multisensor tersebut juga berhasil memperbaiki keseimbangan distribusi kelas dan mengoptimalkan performa kelas minoritas (Siaga) dengan peningkatan *F1-Score* dari 0,34 menjadi 0,91. Selain itu, model LSTM final ini terbukti sangat andal saat diuji langsung pada maket lereng menggunakan 40 sampel representatif, di mana sistem mampu mendeteksi seluruh kondisi 'Waspada' dan 'Awat' dengan tingkat *recall* mencapai 100% tanpa adanya *miss detection*, sehingga sangat layak digunakan sebagai dasar peringatan dini risiko tanah longsor berbasis kategori kelas.
2. Ukuran *window time-series* yang paling optimal pada model LSTM telah berhasil ditentukan melalui pengujian sistematis terhadap berbagai variasi ukuran *window*. Hasil pengujian menunjukkan bahwa konfigurasi *window size* 30 timestep dengan *lead time* 15 detik menghasilkan performa terbaik, dengan nilai *validation accuracy* tertinggi sebesar 94,63% dan *validation loss* terendah sebesar 0,158396. Secara fisis, ukuran *window* 30 detik ini sangat relevan dengan karakteristik maket lereng, di mana transisi perubahan kondisi antar-kelas terjadi secara gradual dalam beberapa detik. Konteks historis selama 30 detik tersebut terbukti memadai untuk



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

menangkap pola temporal pergerakan tanah tanpa menimbulkan *noise* yang berlebihan pada model.

3. Secara keseluruhan, penelitian ini telah berhasil menjawab seluruh rumusan masalah dan memenuhi tujuan yang dicanangkan. Penggunaan pendekatan berbasis pola temporal menggunakan model LSTM yang dioptimasi dengan metode *sliding window* terbukti mampu mengatasi keterbatasan sistem peringatan dini konvensional. Berbeda dengan sistem konvensional yang umumnya hanya bergantung pada parameter tunggal dan ambang batas statis (*threshold-based*), sistem yang dikembangkan dalam penelitian ini menawarkan pendekatan yang lebih cerdas, dinamis, dan akurat dalam memprediksi risiko bencana tanah longsor.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, terdapat beberapa saran untuk pengembangan lebih lanjut sebagai berikut.

1. Pengujian di lapangan, Penelitian ini masih berbasis simulasi data sensor pada delapan skenario di skala laboratorium. Uji coba langsung pada kondisi lereng nyata perlu dilakukan agar data yang diperoleh lebih variatif dan representatif, sehingga ketahanan model terhadap noise dan kondisi lingkungan aktual dapat teruji secara lebih menyeluruh.
2. Penambahan fitur sensor, Model saat ini hanya mengandalkan dua input, yaitu *soil_pct* dan *tilt*. Penambahan sensor curah hujan, tekanan air pori, atau pergerakan permukaan tanah disarankan karena parameter-parameter tersebut merupakan indikator penting risiko longsor yang berpotensi meningkatkan akurasi dan kemampuan generalisasi model.
3. Eksplorasi arsitektur yang lebih kompleks, Arsitektur LSTM yang digunakan masih tergolong sederhana. Perbandingan dengan arsitektur lain seperti Stacked LSTM, Bidirectional LSTM, atau hybrid CNN-LSTM perlu dilakukan untuk melihat apakah peningkatan kompleksitas model benar-benar berdampak signifikan terhadap akurasi prediksi pada dataset sensor tanah longsor ini.

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

DAFTAR PUSTAKA

- Adfy, D. M., & Marzuki, M. (2021). Analisis Kerawanan Bencana Longsor dari Karakteristik Hujan, Pergerakan Tanah dan Kemiringan Lereng di Kabupaten Agam. *Jurnal Fisika Unand*, 10(1), 8–14. <https://doi.org/10.25077/jfu.10.1.8-14.2021>
- Aisah, E., & Gofar, N. (2022). Studi Pengaruh Curah Hujan Terhadap Stabilitas Lereng Menggunakan Program Perisi. *Jurnal Rekayasa Sipil (JRS-Unand)*, 18(2), 133. <https://doi.org/10.25077/jrs.18.2.133-147.2022>
- Alvin Mamintada, R., & Alfond Lisangan, E. (2023). *SIMULASI SISTEM PREDIKSI TANAH LONGSOR MENGGUNAKAN HYGROMETER DAN AKSELEROMETER BERBASIS WIRELESS SENSOR NETWORK*.
- Ansar, S. S. A., Rahmawati, A., & Arrahman, R. D. (2024). Peninjauan Bencana Alam akibat Deforestasi Hutan dan Tantangan Penegakkan Hukum mengenai Kebijakan Penebangan Hutan Berskala Besar di Indonesia. *Indonesian Journal of Law and Justice*, 1(4), 11. <https://doi.org/10.47134/ijlj.v1i4.2740>
- Azhari, M., Situmorang, Z., & Rosnelly, R. (2021). Perbandingan Akurasi, Recall, dan Presisi Klasifikasi pada Algoritma C4.5, Random Forest, SVM dan Naive Bayes. *JURNAL MEDIA INFORMATIKA BUDIDARMA*, 5(2), 640. <https://doi.org/10.30865/mib.v5i2.2937>
- Daud, A. Y., Syafri, S., & Jaya, B. (2025). Analisis Mitigasi Bencana Tanah Longsor Di Kecamatan Kalukku Kabupaten Mamuju. *Urban and Regional Studies Journal*, 7(2), 190–203. <https://doi.org/10.35965/ursj.v7i2.6043>
- Diponegoro, M. H., Kusumawardani, S. S., & Hidayah, I. (2021). Tinjauan Pustaka Sistematis: Implementasi Metode Deep Learning pada Prediksi Kinerja Murid (Implementation of Deep Learning Methods in Predicting Student Performance: A Systematic Literature Review). *Jurnal Nasional Teknik Elektro Dan Teknologi Informasi* |, 10(2), 131–138.
- Dwi Nugroho, D., & Nugroho, H. (2020). Analisis Kerentanan Tanah Longsor Menggunakan Metode Frequency Ratio di Kabupaten Bandung Barat,



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Jawa Barat Landslide Vulnerability Analysis Using Frequency Ratio Method in West Bandung Regency, West Java. *Geoid: Journal of Geodesy and Geomatics*, 16(1), 8–18.

Ebrahim, K. M. P., Fares, A., Faris, N., & Zayed, T. (2024). Exploring time series models for landslide prediction: a literature review. In *Geoenvironmental Disasters* (Vol. 11, Number 1). Springer Science and Business Media Deutschland GmbH. <https://doi.org/10.1186/s40677-024-00288-3>

Fadli, M., & Saputra, R. A. (2023). KLASIFIKASI DAN EVALUASI PERFORMA MODEL RANDOM FOREST UNTUK PREDIKSI STROKE. *JT: Jurnal Teknik*, 12, 72–80. <http://jurnal.umt.ac.id/index.php/jt/index>

Hakim, L., Sobri, A., Sunardi, L., & Nurdiansyah, D. (2025). Prediksi penyakit jantung berbasis mesin learning dengan menggunakan metode k-nn. *Jurnal Digital Teknologi Informasi*, 7(2), 14. <https://doi.org/10.32502/digital.v7i2.9429>

Isnaini, R. (2019). Analisis Bencana Tanah Longsor di Wilayah Provinsi Jawa Tengah. *Islamic Management and Empowerment Journal*, 1(2), 143–160. <https://doi.org/10.18326/imej.v1i2.143-160>

Jaén-Vargas, M., Leiva, K. M. R., Fernandes, F., Goncalves, S. B., Silva, M. T., Lopes, D. S., & Olmedo, J. J. S. (2022). Effects of sliding window variation in the performance of acceleration-based human activity recognition using deep learning models. *PeerJ Computer Science*, 8. <https://doi.org/10.7717/PEERJ-CS.1052>

Kamal Wisyaldin, M., Maya Luciana, G., & Pariaman, H. (2020). Pendekatan Long Short-Term Memory untuk Memprediksi Kondisi Motor 10 kV pada PLTU Batubara. *KILAT Vol. 9, No. 2*, 9(2), 311–318. <https://doi.org/10.33322/kilat.v9i2.997>

Karuru, R. S., Lioni, C. Z., Mantong, T. M. P., Ramadhan, B. R., & Payung, F. R. (2025). Kajian Hidrologi untuk Mitigasi Longsor di Kawasan Jalan Sisi Lumajang. *Civil Engineering Journal on Research and Development*. <https://new.jurnal.untad.ac.id/index.php/renstra>



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

- Lin, Z., Sun, X., & Ji, Y. (2022). Landslide Displacement Prediction Model Using Time Series Analysis Method and Modified LSTM Model. *Electronics (Switzerland)*, 11(10). <https://doi.org/10.3390/electronics11101519>
- Marganiswati, Y. T., Maharani, Y. N., Cahyadi, T. A., Prasetya, J. D., & Prastistho, W. (2025). Analisis Ambang Batas Curah Hujan Dengan Pendekatan Statistik Median di Daerah Rawan Longsor Samigaluh, Kulon Progo. *Euler : Jurnal Ilmiah Matematika, Sains Dan Teknologi*, 13(3), 403–410. <https://doi.org/10.37905/euler.v13i3.34962>
- Mega Utama, R., Sucahyo, I., & Yantidewi, M. (2022). RANCANG BANGUN ALAT DETEKSI TANAH LONGSOR BERBASIS IOT DENGAN NODEMCU ESP8266 DAN MPU6050. In *Jurnal Ilmu dan Inovasi Fisika* (Vol. 06, Number 02).
- Mujahid, S., Irawan, B., & Setianingsih, C. (2020). *PERANCANGAN PROTOTIPE SISTEM PERINGATAN DINI TANAH LONGSOR BERBASIS INTERNET OF THINGS* *Prototype Design of Warning System For Landslide Based On Internet Of Things*.
- Rahmawati, A., Sulandari, W., Subanti, S., & Yudhanto, Y. (2023). Penerapan Metode Reccurent Neural Network dengan Pendekatan Long Short-Term Memory (LSTM) untuk Meramalkan Harga Saham Hybe Corporation. *Jurnal Bumigora Information Technology (BITE)*, 5(1), 65–76. <https://doi.org/10.30812/bite/v5i1.2973>
- Remetwa, D. P. A., Cahyadi, L., Ferdinand, F. V., Saputra, K. V. I., & Teja, K. (2025). ANALYSIS OF LONG SHORT – TERM MEMORY (LSTM) PARAMETERS IN PREDICTING IHSG. *JOHME: Journal of Holistic Mathematics Education*, 9(2), 213–224. <https://doi.org/10.19166/johme.v9i2.10220>
- Setyawan, A., Suseno, J. E., Winesthi, R. D., & Otaviana, S. A. (2020). Peringatan Dini Tanah Longsor Berdasarkan Kelembaban Tanah Secara Jarak Jauh Menggunakan Sensor FC-28 dan Node MCU. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 18(2), 242–246. <https://doi.org/10.14710/jil.18.2.242-246>



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Sunardi, & Nuriyadi, M. (2025). Pengembangan Mikrokontroler ESP 32 Sebagai Alat Akusisi Data Untuk Monitoring Kinerja Sistem Refrigerasi Dan Tata Udara. *INDONESIAN JOURNAL OF LABORATORY*, 8(2), 37–42.

Surayana, N. N., & Purwanto, T. D. (2023). Sistem Pemantauan Pergerakan Dan Kemiringan Tanah Sebagai Peringatan Dini Terhadap Tanah Longsor Berbasis IOT. *Jurnal TEKNO*, 109–116.

Warsiti, Kusdiyono, Risman, & Ristiawan, A. (2020). KAJIAN KARAKTERISTIK NILAI CBR CAMPURAN TANAH MERAH DENGAN KAPUR. *Bangun Rekaprima: Majalah Ilmiah Pengembangan Rekayasa, Sosial Dan Humaniora*, 6(1), 58–68.

Yudistira, D., & Ikhsan, M. (2025). Integrasi Sistem IoT untuk Pemantauan Cuaca Real-Time dan Prediksi Curah Hujan berbasis LSTM. *Edumatic: Jurnal Pendidikan Informatika*, 9(3), 758–767. <https://doi.org/10.29408/edumatic.v9i3.32425>

Yusuf, M. R., & Sumarlin, S. (2025). Penerapan Deep Learning untuk Deteksi Anomali dalam Jaringan Keamanan Siber Menggunakan Recurrent Neural Networks (RNNs). *Blend Sains Jurnal Teknik*, 3(4), 460–470. <https://doi.org/10.56211/blendsains.v3i4.800>



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

DAFTAR RIWAYAT HIDUP



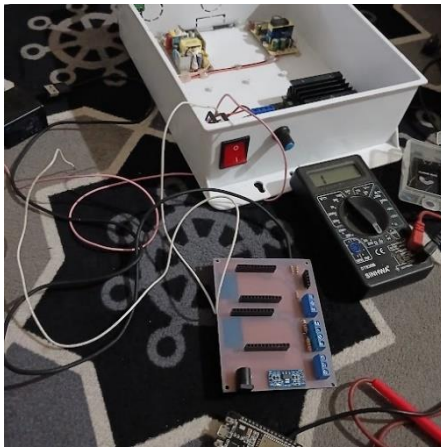
Penulis yang bertanda tangan di bawah ini, bernama lengkap Syabilla Anandhira Muzzaki, lahir di Jakarta pada tanggal 14 Juni 2004. Penulis berjenis kelamin perempuan dan beragama Islam. Saat ini penulis berdomisili di Jakarta Utara. Penulis dapat dihubungi melalui _____ alamat _____ e-mail syabillamuzzaki14@gmail.com. Riwayat pendidikan formal penulis dimulai dari SDN 010 Petang Kebon Baru, Jakarta Utara, yang diselesaikan pada tahun 2016. Selanjutnya, pendidikan tingkat menengah pertama ditempuh di SMPN 279 Jakarta Utara dan diselesaikan pada tahun 2019. Pendidikan tingkat menengah atas diselesaikan di SMAN 92 Jakarta Utara pada tahun 2022. Saat ini penulis sedang menyelesaikan pendidikan Diploma IV (D-IV) di Politeknik Negeri Jakarta, Program Studi Teknik Elektro, konsentrasi _____ Instrumentasi _____ dan _____ Kontrol _____ Industri.

**POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA**

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Lampiran 1 Dokumentasi Pengerjaan



Perakitan Control Box



Kalibrasi Sensor



Pengambilan Dataset Awal



Pengujian Model dengan Laptop



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Lampiran 2 Kode Program

1. Import Library

```
import numpy as np
import pandas as pd
import matplotlib.pyplot as plt
import seaborn as sns

from sklearn.preprocessing import MinMaxScaler
from sklearn.metrics import classification_report, confusion_matrix,
f1_score, precision_score, recall_score, accuracy_score
from sklearn.model_selection import train_test_split

import tensorflow as tf
from tensorflow.keras.models import Sequential
from tensorflow.keras.layers import LSTM, Dense, Dropout
from tensorflow.keras.optimizers import Adam
from tensorflow.keras.callbacks import ModelCheckpoint, EarlyStopping
from tensorflow.keras.utils import plot_model
```

2. Upload Dataset

```
file_name = "dataset_longsor_final.csv"
df = pd.read_csv(file_name)
df.head(30)
```

3. Eksplorasi Data (Info dan Statistik Deskriptif)

```
print(df.info())

print("\nJumlah data total:", len(df))

print("\nMissing values:\n", df.isnull().sum())

print("\nStatistik Deskriptif:")

print(df[['soil_pct', 'tilt']].describe())
```




Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

4. Preprocessing: Timestamp, Labeling, Hysteresis, dan Scaling

```
df = df.rename(columns={'Waktu_Lokal': 'timestamp'})
df['timestamp'] = pd.to_datetime(df['timestamp'], errors='coerce')
df = df.dropna(subset=['timestamp'])
df = df.sort_values('timestamp').reset_index(drop=True)
```

```
def assign_label(row):
    soil_pct = row['soil_pct']
    tilt = row['tilt']
    if tilt >= 30.0 or soil_pct >= 90.0:
        return 2
    elif (5.0 <= tilt < 30.0) or (40.0 <= soil_pct < 90.0):
        return 1
    else:
        return 0
```

```
df['label_raw'] = df.apply(assign_label, axis=1)
```

```
def apply_hysteresis(labels, n=10):
    labels = list(labels)
    out = []
    confirmed = labels[0]
    pending_label, pending_count = None, 0
    for lab in labels:
        if lab == confirmed:
            pending_label, pending_count = None, 0
        else:
            if lab == pending_label:
```



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

```

        pending_count += 1
    else:
        pending_label, pending_count = lab, 1
    if pending_count >= n:
        confirmed = pending_label
        pending_label, pending_count = None, 0
    out.append(confirmed)
    return out

HYSTERESIS_N = 10
df['label'] = apply_hysteresis(df['label_raw'].values, n=HYSTERESIS_N)

raw_changes = (df['label_raw'] != df['label_raw'].shift(1)).sum()
final_changes = (df['label'] != df['label'].shift(1)).sum()
print(f'Pergantian label sebelum hysteresis : {raw_changes}')
print(f'Pergantian label sesudah hysteresis : {final_changes}')

feature_cols = ['soil_pct', 'tilt']
target_col = 'label'

X_raw = df[feature_cols].values
y_raw = df[target_col].values

scaler = MinMaxScaler()
X_scaled = scaler.fit_transform(X_raw)

print("Shape fitur setelah scaling:", X_scaled.shape)
print("Shape label:", y_raw.shape)

print(f"\nNilai MIN per fitur -> soil_pct: {scaler.data_min_[0]:.4f} | tilt:
{scaler.data_min_[1]:.4f}")

```




Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

```
print(f'Nilai MAX per fitur -> soil_pct: {scaler.data_max_[0]:.4f} | tilt:
{scaler.data_max_[1]:.4f}')
```

```
print("\n" + "="*45)
```

```
print(f'{"DISTRIBUSI LABEL":^45}')
```

```
print("="*45)
```

```
counts = pd.Series(y_raw).value_counts().sort_index()
```

```
percentages = pd.Series(y_raw).value_counts(normalize=True).sort_index() * 100
```

```
status_mapping = {0: 'Waspada (0)', 1: 'Siaga (1)', 2: 'Awat (2)'}
```

```
print(f'{"Status":<15} {"Jumlah Data":<15} {"Persentase":<15}')
```

```
print("-"*45)
```

```
for idx in counts.index:
```

```
print(f'{"status_mapping[idx]:<15} {"str(counts[idx]):<15} {"percentages[idx]:.2f}%'
      ")")
```

```
print("="*45)
```

```
df_scaled = pd.DataFrame(X_scaled, columns=feature_cols)
```

```
df_scaled['label'] = y_raw
```

```
print("\nTabel Data Setelah Normalisasi MinMaxScaler:")
```

```
display(df_scaled.head(15))
```

5. Visualisasi Distribusi Label

```
label_counts = df['label'].value_counts().sort_index()
```

```
label_names = {0: 'Waspada (0)', 1: 'Siaga (1)', 2: 'Awat (2)'}
```

```
fig, axes = plt.subplots(1, 2, figsize=(12, 4))
```



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

```

colors = ['#2ecc71', '#f39c12', '#e74c3c']
axes[0].bar(
    [label_names[k] for k in label_counts.index],
    label_counts.values, color=colors
)
axes[0].set_title('Distribusi Kelas Label', fontsize=13, fontweight='bold')
axes[0].set_xlabel('Kelas')
axes[0].set_ylabel('Jumlah Sampel')
for i, v in enumerate(label_counts.values):
    axes[0].text(i, v + 5, str(v), ha='center', fontweight='bold')

axes[1].pie(
    label_counts.values,
    labels=[label_names[k] for k in label_counts.index],
    colors=colors, autopct='%1.1f%%', startangle=140
)
axes[1].set_title('Proporsi Kelas Label', fontsize=13, fontweight='bold')

plt.tight_layout()
plt.savefig('distribusi_label.png', dpi=150, bbox_inches='tight')
plt.show()
print(label_counts)

```

6. Pembentukan Sekuens (Sliding Window) dan Grid Search Optimasi

```

def create_sliding_window(X, y, window_size, lead_time):
    X_win, y_win = [], []
    for i in range(0, len(X) - window_size - lead_time):
        X_win.append(X[i : i + window_size])

```




Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

```

y_win.append(y[i + window_size + lead_time])
return np.array(X_win), np.array(y_win)

window_size = [5, 10, 15, 20, 30]
LEAD_TIME = 15

log_eksperimen = []

print(f'== MEMULAI PROSES GRID SEARCH (TOTAL {len(window_size)}
KOMBINASI) ==')

for w_size in window_size:
    print(f'Mengevaluasi -> WINDOW SIZE: {w_size} | LEAD TIME:
    {LEAD_TIME}')

    X_tmp, y_tmp = create_sliding_window(X_scaled, y_raw,
                                        window_size=w_size,
                                        lead_time=LEAD_TIME)

    X_tr, X_val, y_tr, y_val = train_test_split(
        X_tmp, y_tmp, test_size=0.2, random_state=42, stratify=y_tmp
    )

    model_test = Sequential([
        LSTM(32, input_shape=(X_tr.shape[1], X_tr.shape[2])),
        Dropout(0.2),
        Dense(3, activation='softmax')
    ])

    model_test.compile(optimizer='adam',

```



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

```

loss='sparse_categorical_crossentropy',
metrics=['accuracy'])

callback_tuning = EarlyStopping(monitor='val_loss', patience=5,
                                restore_best_weights=True)

model_test.fit(X_tr, y_tr, epochs=30, batch_size=64,
               validation_data=(X_val, y_val),
               callbacks=[callback_tuning], verbose=0)

y_val_pred = np.argmax(model_test.predict(X_val, verbose=0), axis=1)
val_loss, val_accuracy = model_test.evaluate(X_val, y_val, verbose=0)

log_eksperimen.append({
    'window_size':    w_size,
    'lead_time':      LEAD_TIME,
    'val_accuracy':    val_accuracy,
    'val_loss':        val_loss,
    'val_precision':   precision_score(y_val, y_val_pred, average='weighted',
zero_division=0),
    'val_recall':      recall_score(y_val, y_val_pred, average='weighted',
zero_division=0),
    'f1_score_weighted': f1_score(y_val, y_val_pred, average='weighted',
zero_division=0)
})

df_hasil_grid = pd.DataFrame(log_eksperimen)
df_hasil_grid = df_hasil_grid.sort_values(
    by=['f1_score_weighted', 'val_accuracy', 'val_loss'],

```




Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

```

ascending=[False, False, True]
).reset_index(drop=True)

print(f"\n>>> Seluruh {len(window_size)} Kombinasi Berhasil Dievaluasi!")
print(df_hasil_grid.to_string())

best      = df_hasil_grid.iloc[0]
WINDOW_SIZE = int(best['window_size'])

print("\n=====")
print(" KONFIGURASI TERBAIK YANG DIPILIH OTOMATIS")
print("=====")
print(f' -> WINDOW SIZE Terpilih : {WINDOW_SIZE}')
print(f' -> LEAD TIME      : {LEAD_TIME}')
print("=====")
X_win, y_win = create_sliding_window(X_scaled, y_raw,
                                     window_size=WINDOW_SIZE,
                                     lead_time=LEAD_TIME)

7. Pembagian Data Train dan Test
TEST_SIZE = 0.2

X_train, X_test, y_train, y_test = train_test_split(
    X_win,
    y_win,
    test_size=TEST_SIZE,
    stratify=y_win
)

```



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

```
print("Dimensi Akhir X_train :", X_train.shape)
```

```
print("Dimensi Akhir X_test :", X_test.shape)
```

8. Arsitektur Model LSTM

```
def build_vanilla_lstm(window_size, n_features, lstm_units, dropout_rate,
n_classes, lr):
```

```
    model = Sequential(name='Vanilla_LSTM_Longsor')
```

```
    model.add(LSTM(
```

```
        units=lstm_units,
```

```
        input_shape=(window_size, n_features),
```

```
        return_sequences=False,
```

```
        name='lstm_layer'
```

```
    ))
```

```
    model.add(Dropout(rate=dropout_rate, name='dropout_layer'))
```

```
    model.add(Dense(
```

```
        units=n_classes,
```

```
        activation='softmax',
```

```
        name='output_layer'
```

```
    ))
```

```
    model.compile(
```

```
        optimizer=tf.keras.optimizers.Adam(learning_rate=lr),
```

```
        loss='sparse_categorical_crossentropy',
```

```
        metrics=['accuracy']
```

```
    )
```




Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

```
return model
```

```
AMBIL_WINDOW_SIZE = WINDOW_SIZE
```

```
N_FEATURES = X_train.shape[2]
```

```
LSTM_UNITS = 64
```

```
DROPOUT_RATE = 0.2
```

```
N_CLASSES = 3
```

```
LEARNING_RATE = 0.001
```

```
model = build_vanilla_lstm(
    window_size=int(AMBIL_WINDOW_SIZE),
    n_features=N_FEATURES,
    lstm_units=LSTM_UNITS,
    dropout_rate=DROPOUT_RATE,
    n_classes=N_CLASSES,
    lr=LEARNING_RATE
)
```

```
print("\n" + "="*50)
```

```
print(" ARSITEKTUR MODEL LSTM")
```

```
print("="*50)
```

```
model.summary()
```

9. Visualisasi Arsitektur Model

```
try:
```

```
plot_model(
```

```
model,
```



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

```

to_file='arsitektur_model.png',
show_shapes=True,
show_layer_names=True,
rankdir='TB',
dpi=96
)
from IPython.display import Image
display(Image('arsitektur_model.png'))
except Exception as e:
    print(f' plot_model memerlukan graphviz: {e}')
    print("Install dengan: !apt-get install graphviz && pip install pydot")
10. Training Model dengan Callbacks
callbacks = [
    ModelCheckpoint(
        filepath='model_longsor_best.h5',
        monitor='val_accuracy',
        save_best_only=True,
        mode='max',
        verbose=1
    ),
    EarlyStopping(
        monitor='val_loss',
        patience=15,
        restore_best_weights=True,
        verbose=1
    )
]

```




Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

```
history = model.fit(
    X_train, y_train,
    epochs=100,
    batch_size=16,
    validation_split=0.1,
    callbacks=callbacks,
    verbose=1
)
```

11. Visualisasi Kurva Loss dan Akurasi Training

```
def plot_training_history(history):
    best_loss_epoch = np.argmin(history.history['val_loss'])
    best_acc_epoch = np.argmax(history.history['val_accuracy'])

    plt.figure(figsize=(14, 5))

    plt.subplot(1, 2, 1)
    plt.plot(history.history['loss'], label='Train Loss', color='blue')
    plt.plot(history.history['val_loss'], label='Val Loss', color='orange')
    plt.axvline(best_loss_epoch, color='red', linestyle='--', alpha=0.7, label=f'Best Epoch ({best_loss_epoch})')
    plt.title('Training & Validation Loss')
    plt.xlabel('Epochs')
    plt.ylabel('Loss')
    plt.legend()
    plt.grid(alpha=0.3)

    plt.subplot(1, 2, 2)
    plt.plot(history.history['accuracy'], label='Train Accuracy', color='green')
```



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

```
plt.plot(history.history['val_accuracy'], label='Validation Accuracy',
color='red')
```

```
plt.axvline(best_acc_epoch, color='purple', linestyle='--', alpha=0.7,
label=f'Best Epoch ({best_acc_epoch})')
```

```
plt.title('Training & Validation Accuracy')
```

```
plt.xlabel('Epochs')
```

```
plt.ylabel('Accuracy')
```

```
plt.legend()
```

```
plt.grid(alpha=0.3)
```

```
plt.tight_layout()
```

```
plt.savefig('training_history.png')
```

```
plt.show()
```

```
plot_training_history(history)
```

12. Evaluasi Model Akhir

```
target_names = ['Waspada (0)', 'Siaga (1)', 'Awas (2)']
```

```
loss, accuracy = model.evaluate(X_test, y_test, verbose=0)
```

```
print("\n" + "="*50)
```

```
print(" SKOR KETEPATAN AI (AKURASI DATA UJI)")
```

```
print("="*50)
```

```
print(f'Test Loss : {loss:.4f}')
```

```
print(f'Test Accuracy : {accuracy:.4f}')
```

```
print("="*50)
```

```
y_pred = np.argmax(model.predict(X_test, verbose=0), axis=1)
```

```
report_dict = classification_report(y_test, y_pred, labels=[0, 1, 2],
```

```
target_names=target_names,
```

```
zero_division=0, output_dict=True)
```




Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

```
print(f"\nAkurasi : {report_dict['accuracy']:.4f}")
print(f"Presisi : {report_dict['weighted avg']['precision']:.4f}")
print(f"Recall : {report_dict['weighted avg']['recall']:.4f}")
print(f"F1-Score : {report_dict['weighted avg']['f1-score']:.4f}")
```

```
print("\n>>> Klasifikasi Laporan Per Kelas:")
print(classification_report(y_test, y_pred, labels=[0, 1, 2],
                           target_names=target_names, zero_division=0))
```

```
cm = confusion_matrix(y_test, y_pred, labels=[0, 1, 2])
```

```
plt.figure(figsize=(7, 6))
sns.heatmap(cm, annot=True, fmt='d', cmap='Blues',
            xticklabels=target_names,
            yticklabels=target_names)
```

```
plt.title('Confusion Matrix: Deteksi Longsor')
plt.xlabel('Predicted')
plt.ylabel('Actual')
plt.tight_layout()
plt.show()
```

13. Evaluasi Model: Visualisasi Metrik Per Kelas

```
target_names = ['Waspada (0)', 'Siaga (1)', 'Awat (2)']
CLASS_NAMES = target_names
```

```
loss, accuracy = model.evaluate(X_test, y_test, verbose=0)
print("\n" + "="*55)
print(" SKOR KETEPATAN AI (AKURASI DATA UJI)")
print("="*55)
print(f" Test Loss : {loss:.4f}")
```



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

```

print(f' Test Accuracy : {accuracy:.4f}')
print("="*55)

y_pred = np.argmax(model.predict(X_test, verbose=0), axis=1)

report_str = classification_report(y_test, y_pred, labels=[0,1,2],
                                   target_names=target_names, zero_division=0)
report_dict = classification_report(y_test, y_pred, labels=[0,1,2],
                                   target_names=target_names,
                                   zero_division=0, output_dict=True)

print("\n" + "="*55)
print(" CLASSIFICATION REPORT")
print("="*55)
print(report_str)
print(f' Akurasi : {report_dict['accuracy']:.4f}')
print(f' Presisi : {report_dict['weighted avg']['precision']:.4f}')
print(f' Recall : {report_dict['weighted avg']['recall']:.4f}')
print(f' F1-Score : {report_dict['weighted avg']['f1-score']:.4f}')
print("="*55)

metrics_df = pd.DataFrame(report_dict).T
metrics_cls = metrics_df.loc[CLASS_NAMES, ['precision', 'recall', 'f1-
score']].astype(float)

COLORS = ['#3498db', '#2ecc71', '#e74c3c']

fig, ax = plt.subplots(figsize=(9, 5))
fig.patch.set_facecolor('#f8f9fa')
ax.set_facecolor('white')

```



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

```
x = np.arange(len(CLASS_NAMES))

width = 0.25

bars = [
    ax.bar(x - width, metrics_cls['precision'], width, label='Precision',
           color=COLORS[0], alpha=0.88, edgecolor='white', linewidth=0.5),
    ax.bar(x, metrics_cls['recall'], width, label='Recall',
           color=COLORS[1], alpha=0.88, edgecolor='white', linewidth=0.5),
    ax.bar(x + width, metrics_cls['f1-score'], width, label='F1-Score',
           color=COLORS[2], alpha=0.88, edgecolor='white', linewidth=0.5),
]

ax.set_xticks(x)
ax.set_xticklabels(CLASS_NAMES, fontsize=10)
ax.set_ylim(0, 1.18)
ax.set_ylabel('Score', fontsize=11)
ax.set_title('Per-Class Precision, Recall & F1-Score',
             fontsize=12, fontweight='bold', pad=12)
ax.legend(loc='upper right', fontsize=9, framealpha=0.8)
ax.grid(axis='y', alpha=0.3, linestyle='--')
ax.spines[['top', 'right']].set_visible(False)

for bar_group in bars:
    ax.bar_label(bar_group, fmt='%.2f', padding=3, fontsize=8,
                 fontweight='bold')

plt.tight_layout()
plt.savefig('per_class_metrics.png', dpi=150, bbox_inches='tight',
           facecolor=fig.get_facecolor())
```




© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

```
plt.show()
```

```
print(" Grafik disimpan ke 'per_class_metrics.png")
```

14. Simpan Model

```
model.save("model_lstm_longsor.h5")
```

```
print("Model berhasil disimpan sebagai model_lstm_longsor.h5")
```

15. Penyimpanan Scaler (save_scaler.py)

```
import joblib
```

```
import os
```

```
from sklearn.preprocessing import MinMaxScaler
```

```
DATA_PATH = "dataset_longsor.csv"
```

```
FEATURES = ["tilt", "soil_pct"]
```

```
SCALER_PATH = "scaler_lstm_longsor.pkl"
```

```
if not os.path.exists(DATA_PATH):
```

```
    raise FileNotFoundError(
```

```
        f"File '{DATA_PATH}' tidak ditemukan.\n"
```

```
        "Pastikan file CSV ada di direktori yang sama dengan script ini."
```

```
    )
```

```
df = pd.read_csv(DATA_PATH)
```

```
print(f'Data dimuat : {len(df)} baris, kolom = {list(df.columns)}")
```

```
scaler_global = MinMaxScaler()
```

```
scaler_global.fit(df[FEATURES].values)
```

```
joblib.dump(scaler_global, SCALER_PATH)
```

```
print(f"\n Scaler global disimpan → {SCALER_PATH}")
```

```
print(f' Feature range : {dict(zip(FEATURES, scaler_global.data_range_))}")
```

```
print(f' Feature min   : {dict(zip(FEATURES, scaler_global.data_min_))}")
```



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

```
print(f' Feature max   : {dict(zip(FEATURES, scaler_global.data_max_))}')
loaded = joblib.load(SCALER_PATH)
sample = df[FEATURES].head(3).values
transformed = loaded.transform(sample)
print(f'\n Verifikasi transform (3 baris pertama):')
print(f' Raw       : {sample.tolist()}')
print(f' Scaled    : {transformed.tolist()}')
print("\nSelesai. File yang dihasilkan:")
print(f' - {SCALER_PATH}                (global scaler)')
print(f' - scaler_per_pengujian.pkl      (scaler tiap pengujian)')
```

**POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA**