



© 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 *Sliding Window Time Series* pada LSTM untuk Prediksi
Risiko Banjir Berbasis Sensor Curah Hujan dan Tinggi Muka Air**

**POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA**

SKRIPSI

Shofiyah Zahidah

2203431023

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 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 *Sliding Window Time Series* pada LSTM untuk Prediksi
Risiko Banjir Berbasis Sensor Curah Hujan dan Tinggi Muka Air**

SKRIPSI

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

**POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA**

Shofiyah Zahidah

2203431023

**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 mengumumkan 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 : Shofiyah Zahidah

NIM : 2203431023

Tanda Tangan :

Tanggal : 02 Juli 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 mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

Skripsi Diajukan oleh:

Nama : Shofiyah Zahidah
NIM : 2203431023
Program Studi : Instrumentasi & Kontrol Industri
Judul Skripsi : Sistem *Sliding Window Time Series* pada LSTM untuk Prediksi Risiko Banjir Berbasis Sensor Curah Hujan dan Tinggi Muka Air

Telah diuji oleh tim penguji dalam sidang skripsi pada Kamis, 02 Juli 2026 dan dinyatakan **LULUS**.

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

**POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA**

Depok, 15 Juli 2026

Disahkan oleh

Ketua Jurusan Teknik Elektro



Dr. Murie Dwiyanti, 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 syukur saya panjatkan kepada Tuhan yang Maha Esa, karena atas berkat dan rahmat-Nya, penulis dapat menyelesaikan skripsi ini. Penelitian skripsi ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Terapan Politeknik. Skripsi berjudul “Sistem *Sliding Window Time Series* pada LSTM untuk Prediksi Risiko Banjir Berbasis Sensor Curah Hujan dan Tinggi Muka Air” ini telah diselesaikan sebagai syarat kelulusan Sarjana Terapan. Penelitian ini mengembangkan sistem prediksi risiko banjir menggunakan model Long Short-Term Memory (LSTM) dengan optimasi panjang window data curah hujan dan tinggi muka air untuk menghasilkan klasifikasi yang akurat. Keberhasilan penyusunan skripsi ini tidak lepas dari dukungan berbagai pihak, sehingga penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Dr. Murie Dwiyanti, S.T., M.T. selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Jakarta;
2. Sulis Setiowati, S.Pd., M.Eng. selaku Kepala Program Studi Instrumentasi dan Kontrol Industri, Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Jakarta
3. Hariyanto, S.Pd., M.T. selaku Dosen Pembimbing yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk mengarahkan penulis dalam penyusunan skripsi ini;
4. Abi Yasin, Mama Neni, Kak Iqbal, Kak Ais, Fitri, Zeyn Javad yang senantiasa memberikan doa, kasih sayang, pengorbanan, serta dukungan tanpa henti sehingga menjadi sumber kekuatan, semangat, dan motivasi bagi penulis dalam setiap proses penyelesaian skripsi ini.
5. Laura dan Syabilla selaku teman seperjuangan penulis dalam penyusunan skripsi ini hingga selesai.
6. Seluruh teman dan pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu per satu, yang telah memberikan dukungan, bantuan, doa, dan semangat kepada penulis selama proses penyusunan skripsi ini.

Akhir kata, penulis berharap Tuhan Yang Maha Esa berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Semoga skripsi ini membawa manfaat bagi pengembangan ilmu.

Depok ,11 Juni 2026



Shofiyah Zahidah



© 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





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 *Sliding Window Time Series* pada LSTM untuk Prediksi Risiko Banjir Berbasis Sensor Curah Hujan dan Tinggi Muka Air

ABSTRAK

Banjir merupakan bencana hidrometeorologi yang sering terjadi dan berdampak signifikan terhadap kehidupan masyarakat, sehingga diperlukan sistem peringatan dini yang cepat dan akurat. Penelitian ini mengembangkan sistem prediksi risiko banjir real-time berbasis sensor menggunakan metode Long Short-Term Memory (LSTM) dengan optimasi konfigurasi sliding window. Sistem mengintegrasikan sensor tipping bucket rain gauge untuk curah hujan dan sensor ultrasonik JSN-SR04T untuk ketinggian air, yang dikirim secara periodik melalui ESP32. Data diproses melalui normalisasi Min-Max Scaler dan pembentukan sekuens sliding window, kemudian dilabeli ke dalam tiga kelas risiko (Aman, Siaga 2, Siaga 1) menggunakan logika ambang batas kombinasi curah hujan dan ketinggian air. Arsitektur model berupa Vanilla LSTM satu lapisan dengan 64 unit, dipilih agar ringan dan sesuai untuk Edge System. Optimasi window size melalui grid search pada lima kandidat {5, 10, 15, 20, 30} timestep dengan lead time konstan 15 timestep menghasilkan window size 20 timestep sebagai konfigurasi optimal berdasarkan validation loss terendah (0,3243). Pengujian volume dataset pada empat skenario menunjukkan peningkatan akurasi 72% (1.464 data) hingga 87% (5.859 data). Pengujian real-time menggunakan 504 data prediksi menghasilkan akurasi 89,3%, dengan performa terbaik pada kelas Siaga 1 (precision 99,7%, recall 98,7%) dan Siaga 2 (recall 99,3%), sementara kelas Aman menunjukkan keterbatasan akibat efek transisi pada window awal. Kebaruan penelitian ini terletak pada optimasi sliding window pada arsitektur LSTM ringan berbasis dua sensor hidrometeorologi yang diimplementasikan secara real-time pada Edge System untuk mendukung sistem peringatan dini banjir yang akurat dan efisien.

Kata kunci: Edge System, Long Short-Term Memory, sistem peringatan dini banjir, sliding window



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

Sliding Window Time Series System on LSTM for Flood Risk Prediction Based on Rainfall and Water Level Sensors

ABSTRACT

Floods are hydrometeorological disasters that frequently occur and significantly impact people's lives, requiring a fast, accurate early warning system. This study develops a real-time, wireless sensor-based flood risk prediction system using Long Short-Term Memory (LSTM) with sliding window optimization. The system integrates a tipping bucket rain gauge for rainfall and an ultrasonic JSN-SR04T sensor for water level, transmitted periodically via ESP32 to an inference server. Data is processed through Min-Max normalization and sliding window sequencing, then labeled into three risk classes (Aman/Safe, Siaga 2/Alert 2, Siaga 1/Alert 1) using a threshold logic combining rainfall and water level. The model is a single-layer Vanilla LSTM with 64 units, chosen for lightweight Edge System deployment. Grid search on five window size candidates {5, 10, 15, 20, 30} timesteps, with a constant lead time of 15 timesteps, yielded 20 timesteps as optimal based on the lowest validation loss (0.3243). Testing across ten dataset volume scenarios showed accuracy increasing from 72% (1,464 data) to 87% (5,859 data). Real-time testing using 504 prediction data achieved an overall accuracy of 89.3%, with the best performance on Siaga 1 (precision 99.7%, recall 98.7%) and Siaga 2 (recall 99.3%), while Aman showed limited performance due to a transition effect within the initial window. The novelty of this research lies in sliding window optimization on a lightweight LSTM architecture using two hydrometeorological sensors, implemented in real-time on an Edge System to support an accurate, efficient flood early warning system.

Keywords: *edge computing, flood early warning system, Internet of Things, Long Short-Term Memory, sliding window*

**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	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS.....	ii
LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI	iii
KATA PENGANTAR.....	iv
ABSTRAK	vi
ABSTRACT	vii
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR GAMBAR	xi
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.....	7
2.1 <i>State of The Art</i>	7
2.2 Landasan Teori	13
2.2.1 Banjir.....	13
2.2.2 Curah Hujan	13
2.2.3 Tinggi Muka Air.....	15
2.2.4 Long Short-Term Memory (LSTM).....	16
2.2.5 Prapemrosesan Data Normalisasi (MinMaxScaler).....	18
2.2.6 Sliding Window Time Series.....	19
2.2.7 Metrik Evaluasi Model.....	21
2.3 Komponen.....	24
2.3.1 Tipping Bucket Rain gauge.....	24
2.3.2 Sensor Ultrasonik JSN-SR04T.....	25
2.3.3 Mikrokontroler ESP32	27



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 III PERENCANAAN DAN REALISASI.....	29
3.1 Rancangan Alat	29
3.1.1 Deskripsi Alat.....	29
3.1.2 Cara kerja Alat.....	32
3.1.3 Spesifikasi Alat	36
3.1.4 Diagram Blok	41
3.2 Realisasi Sistem	43
3.2.1 Realisasi Hardware.....	43
3.2.2 Realisasi Software	46
BAB IV PEMBAHASAN.....	56
4.1 Pengujian I : Pengujian Akumulasi Dataset	56
4.1.1 Deskripsi Pengujian	56
4.1.2 Prosedur Pengujian	56
4.1.3 Data Hasil Pengujian.....	58
4.1.4 Analisis Data / Evaluasi	65
4.2 Pengujian II : Optimasi Sliding Window	66
4.2.1 Deskripsi Pengujian	67
4.2.2 Prosedur Pengujian	67
4.2.3 Data Hasil Pengujian.....	68
4.2.4 Analisa Data/Evaluasi.....	68
4.3 Pengujian III : Model LSTM	69
4.3.1 Deskripsi Pengujian	69
4.3.2 Prosedur Pengujian	70
4.3.3 Data Hasil Pengujian.....	70
4.3.4 Analisis Data/Evaluasi	73
BAB V PENUTUP	75
5.1 Simpulan	75
5.2 Saran.....	76
DAFTAR PUSTAKA.....	77
DAFTAR RIWAYAT HIDUP	xii
LAMPIRAN.....	xiii



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 2.1 Penelitian Terdahulu oleh (Hendrawati et al., 2025).....	7
Tabel 2.2 Penelitian Terdahulu oleh (Anugerah A., n.d.).....	8
Tabel 2.3 Penelitian Terdahulu oleh (Tussyifaa et al., 2026)	9
Tabel 2.4 Penelitian Terdahulu oleh (Amelia et al., 2026).....	11
Tabel 3.1 Spesifikasi Alat.....	36
Tabel 3.2 Spesifikasi Komponen.....	37
Tabel 3.3 Rangkaian Sistem	46
Tabel 3.4 Tabel Threshold	48
Tabel 3.5 Distribusi Kelas Label Risiko Banjir pada Dataset	48
Tabel 3.6 Tabel Konfigurasi Pembagian Dataset	49
Tabel 3.7 Konfigurasi Hyperparameter dan Parameter Model	51
Tabel 3.8 Arsitektur Modul LSTM.....	51
Tabel 3.9 Konfigurasi Penyimpanan Model.....	54
Tabel 4.1 Distribusi Kelas Dataset Percobaan 1	58
Tabel 4.2 Hasil Pelatihan Model LSTM pada Simulasi 1	58
Tabel 4.3 Classification Report Model LSTM pada Percobaan 1.....	59
Tabel 4.4 Distribusi Kelas Dataset Percobaan 2	60
Tabel 4.5 Hasil Pelatihan Model LSTM pada Simulasi 2	60
Tabel 4.6 Classification Report Model LSTM pada Percobaan 2.....	61
Tabel 4.7 Distribusi Kelas Dataset Percobaan 3	62
Tabel 4.8 Hasil Pelatihan Model LSTM pada Simulasi 3	62
Tabel 4.9 Classification Report Model LSTM pada Percobaan 3.....	63
Tabel 4.10 Distribusi Kelas Dataset Percobaan 4	64
Tabel 4.11 Hasil Pelatihan Model LSTM pada Simulasi 4	64
Tabel 4.12 Classification Report Model LSTM pada Percobaan 4.....	65
Tabel 4.13 Hasil Pelatihan LSTM dari Akumulasi Dataset	65
Tabel 4.14 Hasil Perbandingan Sliding Window	68
Tabel 4.15 Sampel Data Hasil Prediksi Model LSTM Real-Time.....	71
Tabel 4.16 Confusion Matrix Hasil Pengujian Model LSTM.....	72
Tabel 4.17 Classification Report Model LSTM pada Data Uji.....	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

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Bencana Banjir	13
Gambar 2.2 Arsitektur LSTM	16
Gambar 2.3 Tabel Confusion Matrix.....	21
Gambar 2.4 Tipping Bucket Rain Gauge.....	24
Gambar 2.5 Cara Kerja Sensor Ultrasonik.....	26
Gambar 2.6 Sensor JSN-SR04T	26
Gambar 2.7 Mikrokontroler ESP32	27
Gambar 3.1 Diagram Alir Cara Kerja Alat.....	32
Gambar 3.2 Flowchart Sub Sistem.....	35
Gambar 3.3 Diagram Blok Sistem Utama.....	41
Gambar 3.4 Diagram Blok Sub-Sistem.....	42
Gambar 3.5 Desain 3D Prototipe Alat	44
Gambar 3.6 Wiring Diagram Sistem.....	45
Gambar 3.7 Classification Report.....	53
Gambar 3.8 Confusion Matrix LSTM pada Data Test.....	54



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

Ancaman bencana hidrometeorologi di wilayah tropis seperti Indonesia terus mengalami peningkatan yang signifikan setiap tahunnya. Di antara berbagai fenomena alam yang terjadi, luapan air atau banjir menjadi ancaman paling konstan yang memicu kerusakan lingkungan dan kerugian materi yang besar. Data yang dirilis oleh Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB) menegaskan skala kedaruratan ini, di mana sepanjang tahun 2025 telah terjadi 3.176 peristiwa bencana di seluruh tanah air. Dari akumulasi tersebut, musibah banjir menempati urutan pertama dengan total 1.612 kejadian, yang berarti mencakup separuh dari seluruh bencana nasional (BNPB, 2025). Tingginya angka tersebut menuntut adanya pembenahan serius dalam sistem mitigasi agar dampak buruknya dapat ditekan.

Urgensi penanganan ini terlihat nyata dari rentetan genangan besar yang melumpuhkan berbagai kota dan memutus jalur logistik utama pada akhir tahun 2025. Peristiwa tersebut mengakibatkan gangguan masif pada sektor ekonomi lokal serta memaksa evakuasi ribuan warga akibat kenaikan debit air yang tidak terkendali (BNPB, 2025). Hingga saat ini, proses deteksi di lapangan masih terkendala oleh kondisi cuaca yang sangat fluktuatif, sehingga pemantauan secara manual tidak lagi adaptif untuk memprediksi pergerakan air. Keterbatasan informasi real-time ini membuat masyarakat kehilangan momentum krusial untuk mengamankan diri dan harta benda sebelum luapan air meluas (Wijayanto et al., 2024).

Meskipun instrumen peringatan dini sudah mulai dipasang di beberapa titik rawan, teknologi pemantauan yang digunakan saat ini masih memiliki kelemahan mendasar. Sebagian besar perangkat lokal di masyarakat masih bergantung pada laporan visual petugas atau instrumen mekanis tipe observatorium yang bekerja dengan nilai ambang batas statis. Pengukuran secara tradisional ini memakan waktu yang cukup lama dan memiliki risiko kesalahan manusia, yang berujung pada data yang kurang valid dan kurang efektif. Kelemahan utama dari metode konvensional ini adalah sifatnya yang reaktif dan tidak mampu menyediakan pemantauan *real-time*, yakni hanya memberikan alarm tanda bahaya ketika air sudah penuh tanpa



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

membaca tren kenaikan data pada waktu-waktu sebelumnya. Pola pemantauan yang tidak berkelanjutan ini sering kali menghasilkan keterlambatan sinyal evakuasi (Bangun, Verga Philipus, 2024)

Secara hidrologi, karakteristik banjir permukaan tidak terbentuk secara instan melainkan melalui tahapan akumulasi indikator alam yang saling berkaitan. Dua faktor paling menentukan dalam dinamika ini adalah volume curah hujan harian serta laju perubahan tinggi muka air sungai. Ketika hujan deras mengguyur suatu kawasan dalam waktu lama, air permukaan akan segera melampaui batas resapan tanah dan memicu aliran limpasan yang langsung menaikkan elevasi sungai hingga titik kritis. Untuk mentransformasikan dinamika fisik tersebut ke dalam bentuk *dataset* deret waktu, diperlukan instrumen *Automatic Rain Gauge* (ARG) presisi yang bekerja secara otonom. Volume curah hujan harian dapat diukur secara akurat menggunakan sensor *Tipping Bucket*, yang bekerja dengan menampung air melalui corong ke mekanisme jungkat-jungkit untuk mengonversi akumulasi air menjadi data digital seketika (Bangun, Verga Philipus, 2024). Sinkronisasi data curah hujan tersebut kemudian dipadukan dengan fluktuasi elevasi air yang direkam secara kontinu menggunakan sensor ultrasonik JSN-SR04T. Sensor ini dipilih karena *probe* dan kabelnya secara spesifik dirancang tahan air (*waterproof*), menjadikannya sangat relevan dan aman untuk aplikasi pemantauan eksterior. Secara komparatif, performa instrumen JSN-SR04T juga terbukti memiliki tingkat presisi tinggi dengan rata-rata persentase *error* pengukuran yang sangat rendah, yakni hanya sebesar 1,28% (Purwanto, 2019). Oleh sebab itu, mengintegrasikan pembacaan sekuensial berakurasi tinggi dari kedua parameter sensor ini secara bersamaan akan menghasilkan penilaian risiko luapan air yang jauh lebih utuh dan objektif dibandingkan jika hanya memantau satu variabel saja.

Untuk mengolah data sensor yang bergerak berdasarkan waktu (*time-series*), penggunaan algoritma kecerdasan buatan berbasis deret waktu telah terbukti menjadi solusi yang paling efektif. Kemampuan arsitektur Long Short-Term Memory (LSTM) dalam menangani data sekuensial menjadikannya sangat andal untuk memproyeksikan perubahan data lingkungan yang dinamis, karena algoritma ini dirancang untuk mempertahankan informasi penting dalam memori jangka panjang guna mempelajari hubungan temporal yang kompleks. Dalam konteks



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

deteksi dini banjir, penelitian yang dilakukan oleh (Wijayanto et al., 2024) telah membuktikan bahwa model LSTM mampu memprediksi pola data hidrologi secara akurat dengan nilai Root Mean Square Error (RMSE) sebesar 4,37. Di Indonesia, pemanfaatan pemodelan cerdas berbasis sensor real-time semacam ini terus dikembangkan guna mengklasifikasikan status kerawanan wilayah secara responsif, sehingga mampu menunjang efektivitas sistem peringatan dini bencana berbasis komunitas.

Kendati performa model prediktif terdahulu menunjukkan hasil yang menjanjikan, masih terdapat tantangan krusial dari aspek implementasi sistem di lapangan, terutama terkait efisiensi pemrosesan data pada perangkat *embedded* yang memiliki sumber daya terbatas. Banyak sistem pemantauan yang belum mempertimbangkan optimasi kebutuhan komputasi secara sistematis dalam jangka panjang, terutama pada perangkat yang beroperasi di daerah dengan suplai energi mandiri. Selain itu, riset-riset tersebut umumnya menetapkan urutan waktu (*sliding window*) secara konstan tanpa mengevaluasi pengaruh ukuran jendela memori (*sliding window*) terhadap akurasi dan beban kerja sistem. Pengabaian terhadap optimasi parameter ini berisiko membuat model kurang adaptif dalam mengenali anomali atau tren kenaikan air yang terjadi secara mendadak (Bangun, Verga Philipus, 2024).

Dalam pemrosesan data urutan waktu, penentuan dimensi *sliding window* memegang peranan yang sangat deterministik terhadap akurasi model. Konfigurasi ini mengatur panjang rekaman data historis yang harus dipelajari algoritma; jika terlalu pendek maka informasi krusial akan hilang, sedangkan jika terlalu panjang maka noise data akan ikut terbaca dan membebani komputasi. Pentingnya penyesuaian parameter ini selaras dengan hasil eksperimen (Tussyifaa et al., 2026) yang mengonfirmasi bahwa penggunaan 20 hari data historis mampu menghasilkan nilai Root Mean Square Error (RMSE) terendah sebesar 2,567, serta temuan (Wijayanto et al., 2024) yang menekankan bahwa pemilihan *N_Step* yang presisi sangat krusial dalam mengenali pola fluktuasi data hidrologi secara akurat. Mengingat studi mendalam mengenai variasi ukuran jendela waktu pada kombinasi data curah hujan (Tipping Bucket) dan tinggi muka air (JSN-SR04T) dalam skala laboratorium masih terbatas, riset ini hadir untuk mengisi celah tersebut. Landasan



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

utama penelitian ini adalah menguji optimasi sliding window pada jaringan LSTM melalui pengujian maket laboratorium yang terkontrol. Pendekatan ini dipilih agar pengumpulan data sensor berjalan presisi dan terisolasi dari ketidakpastian cuaca di lapangan, sehingga temuan mengenai konfigurasi *window* yang ideal ini diharapkan dapat menjadi fondasi bagi pengembangan sistem peringatan dini banjir yang lebih responsif dan reliabel dalam mendukung mitigasi bencana 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 bangun sistem prediksi banjir yang mengintegrasikan perangkat keras multisensor (sensor curah hujan dan tinggi muka air) pada skala laboratorium?
2. Bagaimana pengaruh variasi ukuran window time series terhadap performa model LSTM dalam mengklasifikasikan status risiko banjir, dan berapakah konfigurasi window optimal yang menghasilkan nilai F1-Score, Precision, dan Recall tertinggi?

1.3 Batasan Masalah

Dalam penyusunan skripsi ini, ditetapkan batasan masalah guna memastikan pembahasan lebih fokus dan terarah. Adapun batasan masalah tersebut adalah sebagai berikut:

1. Penelitian ini difokuskan murni pada prediksi klasifikasi status risiko bencana banjir.
2. Akuisisi data pada prototipe dilakukan menggunakan mikrokontroler dengan input dari dua jenis sensor: Tipping Bucket Rain Gauge untuk curah hujan dan sensor ultrasonik JSN-SR04T untuk tinggi muka air.
3. Pengujian dan validasi pemodelan LSTM dilakukan berdasarkan data dari skenario simulasi maket pada skala laboratorium.
4. Klasifikasi risiko luaran (output) direpresentasikan dalam 3 status peringatan bertingkat (ordinal), yaitu nilai 0 (Aman), 1 (Siaga 2), dan 2 (Siaga 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 mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

5. Target waktu prediksi ke depan (*Lead Time*) ditetapkan secara konstan, sehingga proses optimasi model murni difokuskan hanya pada pencarian variabel sliding window time series (jendela histori masa lalu).
6. Arsitektur AI yang digunakan dibatasi pada *Vanilla LSTM* (1 *layer* utama) agar ringan dijalankan pada *Edge Server*.
7. Evaluasi performa model secara spesifik menggunakan metrik klasifikasi *Machine Learning*, meliputi *Confusion Matrix*, *F1-Score*, *Precision*, dan *Recall*.
8. Pengujian optimasi sliding window time series dilakukan dengan mengevaluasi lima kandidat ukuran window, yaitu {5, 10, 15, 20, 30} timestep, menggunakan metode grid search untuk menentukan konfigurasi dengan performa klasifikasi terbaik berdasarkan nilai *validation loss* terkecil.
9. Model yang dihasilkan hanya digunakan untuk memprediksi tingkat risiko banjir pada skala maket laboratorium

1.4 Tujuan

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

1. Merealisasikan rancang bangun sistem prediksi banjir berskala maket laboratorium yang menggabungkan pembacaan sensor curah hujan dan tinggi muka air.
2. Menganalisis pengaruh berbagai skenario ukuran sliding window time series pada arsitektur LSTM terhadap performa deteksi status risiko menggunakan metrik evaluasi *F1-Score*, *Precision*, dan *Recall*.

1.5 Luaran

Luaran yang diharapkan dari pelaksanaan penelitian skripsi ini adalah sebagai berikut:

1. Laporan Skripsi
2. Publikasi Jurnal
3. Model *Vanilla LSTM* teroptimasi (dalam format file .h5 atau .tflite) untuk klasifikasi status banjir berbasis data multisensor, beserta hasil analisis komparatif konfigurasi sliding window time series terbaik.

4. Prototipe sistem akuisisi data sensor curah hujan dan tinggi muka air yang terintegrasi sebagai masukan *real-time* bagi model prediksi *Early Warning System* di *Edge Server*



© 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



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, implementasi, dan pengujian sistem prediksi risiko banjir menggunakan metode Long Short-Term Memory (LSTM) dengan optimasi sliding window pada penelitian “Optimasi Sliding Window pada LSTM untuk Prediksi Risiko Banjir Berbasis Sensor Curah Hujan dan Tinggi Muka Air”, dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut.

1. Pengujian pengaruh volume dataset (Pengujian I) menunjukkan bahwa penambahan jumlah data pelatihan memberikan pengaruh positif terhadap performa model LSTM, dengan peningkatan akurasi total sebesar 15% dari Percobaan 1 (1.464 data, akurasi 72%) hingga Percobaan 4 (5.859 data, akurasi 87%). Peningkatan paling signifikan terjadi pada rentang Percobaan 2–3 (2.929–4.394 data), yaitu sebesar 8%, sementara pada Percobaan 3–4 peningkatan akurasi mulai melandai menjadi 4% meski penambahan data lebih besar, menandakan model mulai mendekati titik saturasi. Model final tetap dilatih menggunakan keseluruhan dataset (5.859 data) karena train accuracy dan validation accuracy sama-sama stabil di kisaran 0,85 tanpa kesenjangan yang mengindikasikan overfitting, sehingga peningkatan performa yang melandai tersebut dinilai mencerminkan kemampuan generalisasi model yang sesungguhnya, bukan akibat keterbatasan data.
2. Pengujian optimasi sliding window (Pengujian II) melalui metode grid search terhadap lima kandidat window size {5, 10, 15, 20, 30} timestep menghasilkan window size 20 timestep sebagai konfigurasi optimal, dipilih berdasarkan nilai val_loss terendah (0,3243) dengan val_accuracy 87,90%. Meskipun bukan yang tertinggi secara akurasi, konfigurasi ini dinilai paling stabil dan paling mampu meminimalkan kesalahan prediksi secara keseluruhan, sehingga lebih tahan terhadap risiko overfitting dibandingkan window size yang lebih pendek.
3. Pengujian model secara real-time (Pengujian III) menggunakan 504 data prediksi yang dikumpulkan pada 30 Juni 2026 menunjukkan akurasi keseluruhan sebesar 89,3%. Performa model sangat baik pada kelas-kelas



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

kritis untuk sistem peringatan dini, yaitu Siaga 1 (precision 99,7%, recall 98,7%, F1-Score 99,3%) dan Siaga 2 (recall 99,3%, F1-Score 84,7%), yang menunjukkan model jarang melewatkan kondisi siaga maupun bahaya yang sebenarnya terjadi. Namun, kelas Aman menunjukkan performa terendah (precision, recall, dan F1-Score sebesar 0%), yang teridentifikasi disebabkan oleh efek transisi pada window pertama setelah fase pengumpulan data, bukan karena kesalahan pada logika threshold pelabelan, yang telah diverifikasi konsisten 100% terhadap aturan klasifikasi yang ditetapkan.

4. Mekanisme sliding window pada sistem inferensi real-time terbukti berjalan stabil, ditandai dengan jeda prediksi (Jeda_Prediksi_Detik) yang konsisten pada angka 49,01 detik selama fase aktif, yang menunjukkan bahwa frekuensi inferensi model dapat dikendalikan secara efisien tanpa terjadi penumpukan komputasi sekuensial.
5. Secara keseluruhan, sistem prediksi risiko banjir berbasis LSTM dengan optimasi sliding window yang dikembangkan pada penelitian ini telah berhasil diimplementasikan dan mampu mengklasifikasikan status risiko banjir (Aman, Siaga 2, dan Siaga 1) secara real-time berdasarkan data sensor curah hujan dan ketinggian air, dengan performa yang andal khususnya pada kelas-kelas yang paling kritis bagi efektivitas sistem peringatan dini.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian dan kendala yang ditemukan selama proses pengujian, terdapat beberapa saran yang dapat dijadikan bahan pertimbangan untuk pengembangan dan penyempurnaan sistem pada penelitian selanjutnya.

1. Perlu dilakukan penambahan data pelatihan khusus pada periode transisi awal sistem (segera setelah fase pengumpulan window pertama selesai), misalnya melalui augmentasi data atau perpanjangan durasi pengumpulan window awal, agar model dapat mengenali kelas Aman dengan lebih baik dan tidak terbawa pola transisi dari data sebelumnya.
2. Penelitian selanjutnya disarankan untuk menambah variasi dan jumlah data pada kelas Siaga 2 dan Aman, mengingat proporsi data kedua kelas tersebut lebih kecil dibandingkan kelas Siaga 1, sementara penambahan volume data secara umum telah mendekati titik saturasi performa.

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

- Amelia, H., Dewi, R., & Nita, S. (2026). *Ketinggian Air Dan Intensitas Hujan Berbasis Internet Of Things (Iot)*. 3(1), 16–24.
- Anugerah A. (N.D.). *Peramalan Tinggi Muka Air Menggunakan Long-Short Term Memory Dengan Mekanisme Multi-Head Attention*. 625–636.
- Bangun, Verga Philipus, K. L. T. (2024). *Mitor : Jurnal Teknik Elektro*.
- Cho, Minwoo Et Al. (2022). *Water Level Prediction Model Applying A Long Short-Term*.
- Hendrawati, T. D., Wicaksana, F. A., Kumaran, I., & Dzikri, M. (2025). *Sistem Peringatan Dini Banjir Berbasis Internet Of Things (Iot) Dengan Integrasi Multi-Sensor Dan Logika Fuzzy*. 10(2), 131–139.
<https://doi.org/10.31544/jtera.v10.i2.2025.131-140>
- Hercog, D., Lerher, T., & Truntiř, M. (2023). *Design And Implementation Of Esp32-Based Iot Devices. 1*.
- Heydarian, M., & Doyle, T. E. (2022). *Mlcm : Multi-Label Confusion Matrix*. 19083–19095.
- Jaén-Vargas, M., Miriam, K., Leiva, R., Fernandes, F., Silva, M. T., Lopes, D. S., Javier, J., & Olmedo, S. (2022). *Effects Of Sliding Window Variation In The Performance Of Acceleration-Based Human Activity Recognition Using Deep Learning Models*. 1–22. <https://doi.org/10.7717/Peerj-Cs.1052>
- Network, N. (2024). *Tidal Level Prediction Model Based On Vmd-Lstm*.
- Ouma, Y. O., Cheruyot, R., & Wachera, A. N. (2022). *Rainfall And Runoff Time-Series Trend Analysis Using Lstm Recurrent Neural Network And Wavelet Neural Network With Satellite-Based Meteorological Data: Case Study Of Nzoia Hydrologic Basin. Complex And Intelligent Systems*, 8(1), 213–236.
<https://doi.org/10.1007/S40747-021-00365-2>
- Purwanto. (2019). *Komparasi Sensor Ultrasonik Hc-Sr04 Dan Jsn-Sr04t Untuk*. 10(2), 717–724.
- Sabrina, V., Azka, M. A., & Sugianto, P. A. (2021). *Kajian Meteorologis Saat Kejadian Bencana Hidrometeorologis Di Maluku Utara*. 3(2), 15–16.
- Segovia-Cardozo, D. A., Diez-Herrero, A., Rodr, L., & Zubelzu, S. (2021).



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

Understanding The Mechanical Biases Of Tipping-Bucket Rain.

Setiawan, H., Jalil, M., S, M. E., Purwadi, F., Adios, S., Brata, A. W., & Jufda, A. S. (2020). *Analisis Penyebab Banjir Di Kota Samarinda*. 20(April), 39–43.

Tussyifaa, U., Eosina, P., & Setiawan, F. A. (2026). *Analisis Hari Pemantauan Yang Mempengaruhi Model Prediksi Curah Hujan Untuk Tujuh Hari Ke Depan Di Kota Bogor Menggunakan Metode Long Short-Term Memory*. 11(2), 1350–1362.

Wijayanto, A., Sugiharto, A., Santoso, R., Diponegoro, U., & Korespondensi, P. (2024). *Identifikasi Dini Curah Hujan Berpotensi Banjir Menggunakan Algoritma Long Short-Term Memory (Lstm) Dan Isolation Forest Early Identification Of Rainfall With Flood Potential Using Long Short-Term Memory (Lstm) And Isolation Forest Algorithms Case Stu*. 11(3). <https://doi.org/10.25126/itiik.938718>

**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 RIWAYAT HIDUP



Shofiyah Zahidah

Penulis Lulus dari SDN Cipinang Muaras 02 Pagi pada tahun 2015, SMP Tashfia Boarding School Bekasi tahun 2018, SMA Future Gate Boarding School Bekasi pada tahun 2021, dan kemudian melanjutkan kuliah Sarjana Terapan (S.Tr.T) di Politeknik Negeri Jakarta, jurusan Teknik Elektro, Program Studi Instrumentasi dan Kontrol Industri (2022-2026).

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 mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

LAMPIRAN

Lampiran 1 Kode Program ESP32 (Akuisisi Data Training)

```
#include <WiFi.h>
#include <PubSubClient.h>

// =====
// KONFIGURASI WIFI & MQTT
// =====
const char* WIFI_SSID      = "superbrave";
const char* WIFI_PASSWORD  = "nona1234";

const char* MQTT_BROKER    = "10.54.165.162";
const int   MQTT_PORT      = 1883;
const char* MQTT_TOPIC     = "banjir/data";

// =====
// KODE DATA LOGGER BANJIR (VIA KABEL USB SERIAL)
// Digunakan untuk pengambilan data training.
// =====

// Sensor Ultrasonik (Level Air)
const int   PIN_TRIG       = 5;
const int   PIN_ECHO       = 18;
const float TINGGI_SENSOR_DARI_DASAR = 35.0;

// Sensor Tipping Bucket (Curah Hujan)
const int   PIN_HUJAN      = 4;
const float MILIMETER_PER_TIP = 0.70;

// =====
// KONFIGURASI SAMPLING & DEBOUNCE
// =====
const unsigned long INTERVAL_PENGIRIMAN = 1000;
const unsigned long DEBOUNCE_DELAY     = 500;

// =====
// OBJEK & VARIABEL GLOBAL
// =====
WiFiClient  espClient;
PubSubClient client(espClient);

long jumlah_tip      = 0;
long tip_sebelumnya  = 0;
int siklus           = 0;

bool status_hujan_sebelumnya = LOW;
unsigned long waktu_tekan_terakhir = 0;
unsigned long lastSample = 0;
```



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

```
// =====  
//  OBJEK & VARIABEL GLOBAL  
// =====  
WiFiClient  espClient;  
PubSubClient client(espClient);  
  
long jumlah_tip      = 0;  
long tip_sebelumnya  = 0;  
int siklus           = 0;  
  
bool status_hujan_sebelumnya = LOW;  
unsigned long waktu_tekan_terakhir = 0;  
unsigned long lastSample = 0;  
  
// =====  
//  SETUP  
// =====  
void setup() {  
    Serial.begin(115200);  
  
    pinMode(PIN_TRIG, OUTPUT);  
    pinMode(PIN_ECHO, INPUT);  
    pinMode(PIN_HUJAN, INPUT_PULLUP);  
  
    delay(2000);  
    Serial.println("Sistem Logger Siap! Menunggu pengiriman data...");  
}
```

**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

```
// =====  
// LOOP  
// =====  
void loop() {  
    // -----  
    // 1. DETEKSI TIP HUJAN (POLLING + DEBOUNCE)  
    // -----  
    bool status_hujan_sekarang = !digitalRead(PIN_HUJAN);  
  
    if (status_hujan_sebelumnya == LOW && status_hujan_sekarang == HIGH) {  
        if (millis() - waktu_tekan_terakhir > DEBOUNCE_DELAY) {  
            jumlah_tip++;  
            waktu_tekan_terakhir = millis();  
            Serial.println("INFO_SENSOR: Mangkok njeglek! Hujan Bertambah.");  
        }  
    }  
    status_hujan_sebelumnya = status_hujan_sekarang;  
  
    // -----  
    // 2. SAMPLING & PENGIRIMAN DATA PER INTERVAL  
    // -----  
    if (millis() - lastSample >= INTERVAL_PENGIRIMAN) {  
        lastSample = millis();  
        siklus++;  
  
        // --- Curah Hujan ---  
        long tip_interval = jumlah_tip - tip_sebelumnya;  
        float curah_hujan = tip_interval * MILIMETER_PER_TIP;  
        tip_sebelumnya = jumlah_tip;  
  
        // --- Level Air (Ultrasonik) ---  
        digitalWrite(PIN_TRIG, LOW); delayMicroseconds(2);  
        digitalWrite(PIN_TRIG, HIGH); delayMicroseconds(10);  
        digitalWrite(PIN_TRIG, LOW);  
  
        long durasi = pulseIn(PIN_ECHO, HIGH, 30000);  
        float jarak_ke_air = (durasi * 0.034 / 2);  
  
        if (durasi == 0 || jarak_ke_air > TINGGI_SENSOR_DARI_DASAR) {  
            jarak_ke_air = TINGGI_SENSOR_DARI_DASAR;  
        }  
  
        // --- Output ke Serial (format CSV) ---  
        Serial.print(millis());  
        Serial.print(",");  
        Serial.print(siklus);  
        Serial.print(",");  
        Serial.print(curah_hujan, 2);  
        Serial.print(",");  
        Serial.println(level_air, 2);  
    }  
  
    delay(1000);  
}
```

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

Lampiran 2 Kode Program ESP32 Mode Inferensi

```
#include <WiFi.h>
#include <PubSubClient.h>

// =====
// KONFIGURASI WIFI & MQTT
// =====
const char* WIFI_SSID = "aminsukses";
const char* WIFI_PASSWORD = "12345678";

const char* MQTT_BROKER = "192.168.182.89"; // IP Jetson Nano
const int MQTT_PORT = 1883;
const char* MQTT_CLIENT_ID = "esp32_banjir_01";

// =====
// KONFIGURASI PIN & PARAMETER SENSOR
// PENTING: nilai & logika di bagian ini HARUS SAMA PERSIS
// dengan kode yang dipakai saat pengambilan data training,
// supaya tidak terjadi train-serving skew.
// =====
// Sensor Ultrasonik (Level Air)
const int PIN_TRIG = 5;
const int PIN_ECHO = 18;
const float TINGGI_SENSOR_DARI_DASAR = 35.0; // sama dengan kode training

// Sensor Tipping Bucket (Curah Hujan)
const int PIN_HUJAN = 4;
const float MILIMETER_PER_TIP = 0.70;

// =====
// KONFIGURASI SAMPLING
// =====
const unsigned long INTERVAL_PENGIRIMAN = 1000;
const unsigned long DEBOUNCE_DELAY = 100;

// =====
// OBJEK & VARIABEL GLOBAL
// =====
WiFiClient espClient;
PubSubClient client(espClient);

// Variabel interupsi HARUS pakai keyword 'volatile'
volatile long jumlah_tip = 0;
volatile unsigned long waktu_tekan_terakhir = 0;

int siklus = 0;
unsigned long lastSample = 0;
```



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

```
// =====  
// FUNGSI INTERUPSI (ISR) HUJAN  
// =====  
void IRAM_ATTR hitungHujan() {  
    unsigned long waktu_sekarang = millis();  
    if (waktu_sekarang - waktu_tekan_terakhir > DEBOUNCE_DELAY) {  
        jumlah_tip++;  
        waktu_tekan_terakhir = waktu_sekarang;  
    }  
}  
  
// =====  
// KONEKSI WIFI  
// =====  
void connectWiFi() {  
    delay(10);  
    Serial.print("Menghubungkan ke WiFi");  
    WiFi.begin(WIFI_SSID, WIFI_PASSWORD);  
    while (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {  
        delay(500);  
        Serial.print(".");  
    }  
    Serial.println(" Terhubung!");  
    Serial.print("IP ESP32: ");  
    Serial.println(WiFi.localIP());  
}  
  
// =====  
// KONEKSI / RECONNECT MQTT  
// =====  
void connectMQTT() {  
    while (!client.connected()) {  
        Serial.print("Menghubungkan ke broker MQTT...");  
        String clientId = String(MQTT_CLIENT_ID) + "-" + String(random(0xffff), HEX);  
        if (client.connect(clientId.c_str())) {  
            Serial.println(" Terhubung!");  
        } else {  
            Serial.print(" Gagal, rc=");  
            Serial.print(client.state());  
            Serial.println(" coba lagi dalam 5 detik...");  
            delay(5000);  
        }  
    }  
}
```

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

```
// =====  
//  SETUP  
// =====  
void setup() {  
    Serial.begin(115200);  
    delay(300);  
  
    // Setup Pin Ultrasonik  
    pinMode(PIN_TRIG, OUTPUT);  
    pinMode(PIN_ECHO, INPUT);  
  
    // Setup Pin Sensor Hujan & Interupsi  
    pinMode(PIN_HUJAN, INPUT_PULLUP);  
    attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(PIN_HUJAN), hitungHujan, FALLING);  
  
    // Mulai Koneksi  
    connectWiFi();  
    client.setServer(MQTT_BROKER, MQTT_PORT);  
  
    delay(2000);  
    Serial.println("Sistem Logger Banjir (Mode Inferensi) Siap!");  
}  
  
// =====  
//  LOOP  
// =====  
void loop() {  
    // Jaga koneksi WiFi & MQTT tetap hidup  
    if (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {  
        connectWiFi();  
    }  
    if (!client.connected()) {  
        connectMQTT();  
    }  
    client.loop();  
  
    unsigned long now = millis();  
    if (now - lastSample >= INTERVAL_PENGIRIMAN) {  
        lastSample = now;  
        siklus++;  
  
        // -----  
        // 1. PROSES DATA CURAH HUJAN  
        // -----  
        noInterrupts();  
        long temp_tip = jumlah_tip;  
        interrupts();  
        float current_rain = temp_tip * MILIMETER_PER_TIP;
```

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. PROSES DATA ULTRASONIK (LEVEL AIR)  
// Logika di bawah ini IDENTIK dengan kode training,  
// jangan tambah cabang/threshold baru (mis. blind spot)  
// tanpa retrain model.  
// -----  
digitalWrite(PIN_TRIG, LOW); delayMicroseconds(2);  
digitalWrite(PIN_TRIG, HIGH); delayMicroseconds(10);  
digitalWrite(PIN_TRIG, LOW);  
  
long durasi = pulseIn(PIN_ECHO, HIGH, 30000);  
float jarak_ke_air = (durasi * 0.034 / 2);  
  
if (durasi == 0 || jarak_ke_air > TINGGI_SENSOR_DARI_DASAR) {  
    jarak_ke_air = TINGGI_SENSOR_DARI_DASAR;  
}  
float current_water = TINGGI_SENSOR_DARI_DASAR - jarak_ke_air;  
if (current_water < 0) current_water = 0.00;  
  
// -----  
// 3. KIRIM DATA (Serial untuk debug + MQTT untuk inferensi)  
// -----  
unsigned long waktu_kirim = millis();  
String payload = String(waktu_kirim) + "," + String(siklus) + "," +  
    String(current_rain, 2) + "," + String(current_water, 2);  
  
Serial.println("Kirim Banjir [Siklus " + String(siklus) + "]: " + payload);  
client.publish("sensor/banjir", payload.c_str());  
}
```

**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

Lampiran 3 Kode Training LSTM

```
#####  
# 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  
  
print("TensorFlow version:", tf.__version__)  
  
#####  
# UPLOAD DATASET  
#####  
from google.colab import files  
uploaded = files.upload()  
  
# Ganti nama file jika berbeda  
file_name = "simulasi_10.csv"  
  
df = pd.read_csv(file_name)  
df.head(30)  
#####  
# CEK DATA  
#####  
print(df.info())  
print("\nJumlah data total:", len(df))  
print("\nMissing values:\n", df.isnull().sum())  
print("\nStatistik Deskriptif:")  
print(df[['Curah_Hujan', 'Ketinggian_Air']].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 mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

```
#####
# 4. PREPROCESSING & NORMALISASI
#####
# Ubah timestamp ke datetime dan urutkan
# --- 1. Cek dan Rename Kolom Waktu ---
# GANTI 'waktu_sensor' dengan nama yang Anda temukan di Langkah 1!
df = df.rename(columns={'waktu_lokal': 'timestamp'})

# Lanjut konversi ke datetime
df['timestamp'] = pd.to_datetime(df['timestamp'], errors='coerce')
df = df.dropna(subset=['timestamp'])
df = df.sort_values('timestamp').reset_index(drop=True)

# --- 2. Labeling berdasarkan threshold maket ---
def assign_label(row):
    air = row['Ketinggian_Air']
    hujan = row['Curah_Hujan']

    if air >= 0.0 or (hujan >= 12.0 and air >= 4.0):
        return 2 # Slaga 1
    elif air >= 3.0 or hujan >= 5.0:
        return 1 # Slaga 2
    else:
        return 0 # Aman

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

# --- 3. Definisikan fitur dan target ---
feature_cols = ['Curah_Hujan', 'Ketinggian_Air']
target_col = 'label'

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

# --- 4. MinMaxScaler dari data aktual ---
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 -> Curah_Hujan: {scaler.data_min_[0]:.4f} | Ketinggian_Air: {scaler.data_min_[1]:.4f}")
print(f"\nNilai MAX per fitur -> Curah_Hujan: {scaler.data_max_[0]:.4f} | Ketinggian_Air: {scaler.data_max_[1]:.4f}")

# --- 5. Tampilkan distribusi label ---
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: 'Aman (0)', 1: 'Slaga 2 (1)', 2: 'Slaga 1 (2)'}

print(f'{"Status":<15}{"Jumlah Data":<15}{"Persentase":<15}')
print("-"*45)
for idx in counts.index:
    print(f'{"{status_mapping[idx]:<15}{counts[idx]:<15}{percentages[idx]:.2f}%"}')
print("="*45)

# --- 6. Tampilkan visual data hasil scaling ---
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))
```

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 mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

```
# =====
# PEMBENTUKAN SEKUENS DENGAN SLIDING WINDOW & GRID SEARCH OPTIMASI
# =====

# --- 1. Fungsi Pembentukan Sekuens Temporal ---
def create_sliding_window(X, y, window_size, lead_time):
    X_seq, y_seq = [], []
    for i in range(0, len(X) - window_size - lead_time):
        X_seq.append(X[i : i + window_size])
        y_seq.append(y[i + window_size + lead_time])
    return np.array(X_seq), np.array(y_seq)

# --- 2. Konfigurasi Grid Search ---
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',
                      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)
    })

# --- 3. Susun dan Urutkan Hasil ---
df_hasil_grid = pd.DataFrame(log_eksperimen)
df_hasil_grid = df_hasil_grid.sort_values(
    by=['val_loss', 'val_accuracy'],
    ascending=[True, False]
).reset_index(drop=True)

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

# --- 4. Kunci Parameter Terbaik ---
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("=====")

# --- 5. Bentuk Sekuens Final ---
X_seq, y_seq = create_sliding_window(X_scaled, y_raw,
                                     window_size=WINDOW_SIZE,
                                     lead_time=LEAD_TIME)
```

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

```
# =====
# PEMBAGIAN DATA TRAIN DAN TEST
# =====
TEST_SIZE = 0.2

# Membagi data 3D hasil sliding window (X_seq & y_seq) ke Train & Test set
X_train, X_test, y_train, y_test = train_test_split(
    X_seq,
    y_seq,
    test_size=TEST_SIZE,
    stratify=y_seq
)

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

# =====
# ARSITEKTUR MODEL LSTM
# =====
def build_vanilla_lstm(window_size, n_features, lstm_units, dropout_rate, n_classes, lr):
    """
    Vanilla LSTM:
    Input -> LSTM(04) -> Dropout(0.2) -> Dense(3, softmax)
    """
    model = Sequential(name='Vanilla_LSTM_Banjir')

    # Layer 1: Vanilla LSTM
    model.add(LSTM(
        units=lstm_units,
        input_shape=(window_size, n_features),
        return_sequences=False, # hanya output dari timestep terakhir
        name='lstm_layer'
    ))

    # Layer 2: Dropout regularisasi
    model.add(Dropout(rate=dropout_rate, name='dropout_layer'))

    # Layer 3: Dense output - Softmax untuk multi-class
    model.add(Dense(
        units=n_classes,
        activation='softmax',
        name='output_layer'
    ))

    # Kompilasi model
    model.compile(
        optimizer=tf.keras.optimizers.Adam(learning_rate=lr),
        loss='sparse_categorical_crossentropy',
        metrics=['accuracy']
    )
    return model

# =====
# PROSES PEMANGGILAN MODEL (DENGAN PERBAIKAN AKURASI DIMENSI)
# =====
AMBIL_WINDOW_SIZE = WINDOW_SIZE

N_FEATURES = X_train.shape[2]
LSTM_UNITS = 04
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()
```

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 mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

```

=====
# TRAINING MODEL DENGAN CALLBACKS
=====
callbacks = [
    # Simpan model dengan val_accuracy terbaik
    ModelCheckpoint(
        filepath='model_banjir_best.h5',
        monitor='val_accuracy',
        save_best_only=True,
        mode='max',
        verbose=1
    ),
    # Hentikan training jika tidak ada peningkatan selama 15 epoch
    EarlyStopping(
        monitor='val_loss',
        patience=15,
        restore_best_weights=True,
        verbose=1
    )
]

# Eksekusi proses training model
history = model.fit(
    X_train, y_train,
    epochs=30, # Batas maksimum epoch latihan
    batch_size=64,
    validation_split=0.1, # Mengambil 10% dari data train untuk validasi internal
    callbacks=callbacks,
    verbose=1
)

=====
# 5. VISUALISASI KURVA LOSS DAN AKURASI TRAINING
=====
def plot_training_history(history):
    # Mencari titik koordinat epoch terbaik
    best_loss_epoch = np.argmin(history.history['val_loss'])
    best_acc_epoch = np.argmax(history.history['val_accuracy'])

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

    # Subplot 1: Grafik Loss Curve
    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)

    # Subplot 2: Grafik Accuracy Curve
    plt.subplot(1, 2, 2)
    plt.plot(history.history['accuracy'], label='Train Accuracy', color='green')
    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()

# Panggil fungsi visualisasi kurva saing
plot_training_history(history)

```



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 mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

```
# =====  
# EVALUASI MODEL AKHIR  
# =====  
target_names = ['Aman (0)', 'Siaga 2 (1)', 'Siaga 1 (2)']  
  
# --- 1. Skor Akurasi Data Uji ---  
loss, accuracy = model.evaluate(X_test, y_test, verbose=0)  
print("\n" + "="*50)  
print(" SKOR KETEPATAN (AKURASI DATA UJI)")  
print("="*50)  
print(f"Test Loss      : {loss:.4f}")  
print(f"Test Accuracy : {accuracy:.4f}")  
print("="*50)  
  
# --- 2. Prediksi ---  
y_pred = np.argmax(model.predict(X_test, verbose=0), axis=1)  
  
# --- 3. Metrik Weighted ---  
report_dict = classification_report(y_test, y_pred, labels=[0, 1, 2],  
                                   target_names=target_names,  
                                   zero_division=0, output_dict=True)  
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}")  
  
# --- 4. Classification Report per Kelas ---  
print("\n>>> Klasifikasi Laporan Per Kelas:")  
print(classification_report(y_test, y_pred, labels=[0, 1, 2],  
                           target_names=target_names, zero_division=0))  
  
# --- 5. Confusion Matrix ---  
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 Banjir')  
plt.xlabel('Predicted')  
plt.ylabel('Actual')  
plt.tight_layout()  
plt.show()  
  
#####  
# SIMPAN MODEL  
#####  
model.save("model_lstm_banjir.h5")  
print("Model berhasil disimpan sebagai model_lstm_banjir.h5")
```