



© 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



**RANCANG BANGUN SISTEM MONITORING DAN
PREDIKSI KUALITAS UDARA BERBASIS IOT
MENGUNAKAN KOMUNIKASI LORA DAN
*LONG SHORT-TERM MEMORY (LSTM)***

Sub Judul:

**PREDIKSI KONSENTRASI PARTIKULAT PM2.5
MENGUNAKAN SENSOR PMS5003 DENGAN
ALGORITMA *LONG SHORT-TERM MEMORY*
*(LSTM)***

**POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA**

SKRIPSI

Muhammad Alif Zul Ikhsan

2203431006

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



**RANCANG BANGUN SISTEM MONITORING DAN
PREDIKSI KUALITAS UDARA BERBASIS IOT
MENGUNAKAN KOMUNIKASI LORA DAN
*LONG SHORT-TERM MEMORY (LSTM)***

Sub Judul:

**PREDIKSI KONSENTRASI PARTIKULAT PM2.5
MENGUNAKAN SENSOR PMS5003 DENGAN
ALGORITMA *LONG SHORT-TERM MEMORY*
(LSTM)**

SKRIPSI

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

Muhammad Alif Zul Ikhsan

2203431006

**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 yang dikutip maupun dirujuk dinyatakan benar.

Yang bertanda tangan di bawah ini adalah Pembimbing Tugas Akhir

Nama Mahasiswa : Muhammad Alif Zul Ikhsan
NIM : 2203431006
Program Studi : Instrumentasi dan Kontrol Industri
Judul Tugas Akhir : Rancang Bangun Sistem Monitoring dan
Prediksi Kualitas Udara Berbasis IoT
Menggunakan Komunikasi LoRa dan Long
Short-Term Memory
Sub Judul Tugas Akhir : Prediksi Konsentrasi Partikulat PM2.5
Menggunakan Sensor PMS5003 dengan
Algoritma *Long Short-Term Memory (LSTM)*

25, Juni 2026

**POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA**


Muhammad Alif Zul Ikhsan



© 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

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

Skripsi di ajukan oleh :
Nama Mahasiswa : Muhammad Alif Zul Ikhsan
NIM : 2203431006
Program Studi : Instrumentasi dan Kontrol Industri
Judul Tugas Akhir : Rancang Bangun Sistem Monitoring dan Prediksi Kualitas Udara Berbasis IoT Menggunakan Komunikasi LoRa dan Long Short-Term Memory

Telah diuji oleh tim penguji dalam Sidang Tugas Akhir pada 26 Juni 2026 dan dinyatakan LULUS/~~TIDAK LULUS~~:

Pembimbing 1

Prihatin Oktivasari, S.Si., M.Si.
NIP. 197910062003122001

Pembimbing 2

Yurixa Sakhinatul Putri, S.Si., M.T.
NIP. 199607072024062002



Ketua Jurusan Teknik Elektro

Dr. Murie Dwivaniti, S.T., M.T.
NIP. 197803312003122002

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

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa, karena atas rahmat dan karunia-Nya penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini. Tugas Akhir ini berjudul "Prediksi Konsentrasi Partikulat PM2.5 Menggunakan Sensor PMS5003 dengan Algoritma *Long Short-Term Memory (LSTM)*". Dalam proses penyusunan Tugas Akhir ini, penulis memperoleh banyak ilmu pengetahuan, bantuan, dan dukungan dari berbagai pihak, baik secara langsung maupun tidak langsung. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Dr. Murie Dwiyanti, S.T., M.T., selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro;
2. Sulis Setiowati, S.Pd., M.Eng., selaku Kepala Program Studi Instrumentasi dan Kontrol Industri;
3. Prihatin Oktivasari, S.Si., M.Si. dan Yurixa Sakhinatul Putri, S.Si., M.T., selaku Dosen Pembimbing yang telah meluangkan waktu, tenaga, dan pikiran untuk membimbing penulis dalam penyusunan Tugas Akhir ini;
4. Orang tua penulis yang telah memberikan doa serta dukungan moral dan material;
5. Reza Fadhilah, selaku rekan satu tim Tugas Akhir yang telah membantu, penyelesaian Tugas Akhir ini;
6. Rekan-rekan IKI A Angkatan 22 atas bantuan, dukungan, dan kebersamaan selama masa perkuliahan.
7. Syarifatunnisa, selaku orang terdekat penulis yang selalu memberikan semangat dan dukungan selama penyusunan Tugas Akhir;

Akhir kata, Semoga Tugas Akhir ini dapat memberikan manfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan dan teknologi.

Depok, 25 Juni 2026

Muhammad Alif Zul Ikhsan

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

ABSTRAK

Polusi udara, khususnya partikulat halus PM2.5, merupakan ancaman serius bagi kesehatan masyarakat di kawasan perkotaan karena kemampuannya menembus sistem pernapasan dan memicu komplikasi kesehatan jangka panjang yang serius. Penelitian ini merancang dan merealisasikan sistem monitoring dan prediksi kualitas udara berbasis *Internet of Things (IoT)* yang mengintegrasikan komunikasi nirkabel LoRa dengan model deep learning *Long Short-Term Memory (LSTM)*. Sistem menggunakan sensor PMS5003 untuk mengukur konsentrasi partikulat (PM1.0, PM2.5, PM10) dan sensor BMP280 untuk memperoleh data suhu serta tekanan udara, dengan data sensor dikirimkan melalui LoRa dari *node node transmitter* ke *receiver* sebelum diunggah ke *Firebase Cloud* untuk pemantauan secara *real-time*. Arsitektur LSTM multivariat bertumpuk (*stacked*), dengan panjang riwayat (*lookback*) 60 menit untuk memprediksi konsentrasi PM2.5 pada 30 menit ke depan, dilatih menggunakan data deret waktu yang telah dikumpulkan. Evaluasi model pada data pengujian menghasilkan nilai RMSE sebesar 25,159 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, MAE sebesar 13,659 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, MAPE sebesar 18,28%, dan R^2 sebesar 0,8739, yang menunjukkan tingkat akurasi prediksi dan kemampuan generalisasi yang baik. Nilai prediksi PM2.5 selanjutnya diklasifikasikan ke dalam lima kategori kualitas udara berdasarkan standar BMKG melalui Sistem Peringatan Dini (*Early Warning System/EWS*) yang terintegrasi, dengan akurasi klasifikasi keseluruhan sebesar 86,0%. Hasil ini menunjukkan bahwa sistem yang dikembangkan dapat berfungsi tidak hanya sebagai alat pemantau kualitas udara secara *real-time*, tetapi juga sebagai alat prediktif yang mampu memberikan peringatan dini untuk mendukung langkah mitigasi yang tepat waktu terhadap potensi penurunan kualitas udara.

Kata kunci: PM2.5, *Long Short-Term Memory (LSTM)*, LoRa, *Early Warning System*.



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

ABSTRACT

Air pollution, particularly fine particulate matter (PM_{2.5}), poses a serious threat to public health in urban areas due to its capacity to penetrate the respiratory system and cause severe long-term health complications. This study presents the design and implementation of an IoT-based air quality monitoring and prediction system that integrates LoRa wireless communication with a Long Short-Term Memory (LSTM) deep learning model. The system employs a PMS5003 sensor to measure particulate concentrations (PM_{1.0}, PM_{2.5}, PM₁₀) and a BMP280 sensor to capture temperature and atmospheric pressure, with sensor data transmitted via LoRa from a node transmitter node to a receiver node before being uploaded to Firebase Cloud for real-time monitoring. A multivariate stacked LSTM architecture, using a 60-minute lookback window to forecast PM_{2.5} concentration 30 minutes ahead, was trained on the collected time-series data. Model evaluation on the testing dataset yielded an RMSE of 25.159 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, an MAE of 13.659 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, a MAPE of 18.28%, and an R^2 of 0.8739, indicating good predictive accuracy and generalization capability. The predicted PM_{2.5} values were further classified into five air quality categories based on BMKG standards through an integrated Early Warning System (EWS), which achieved an overall classification accuracy of 86.0%. These results demonstrate that the proposed system can function not only as a real-time air quality monitor but also as a predictive tool capable of providing early warnings to support timely mitigation actions against potential air quality degradation.

Keywords: *PM_{2.5}, LoRa, Long Short-Term Memory (LSTM), LoRa, Early Warning System.*



DAFTAR ISI

HALAMAN SAMPUL SKRIPSI	i
HALAMAN JUDUL SKRIPSI.....	ii
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS.....	iii
LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI	iv
KATA PENGANTAR	v
ABSTRAK	vi
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR GAMBAR.....	xi
DAFTAR TABEL.....	xii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xiii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah.....	4
1.3 Tujuan.....	5
1.4 Luaran.....	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	7
2.1 State of The Art	7
2.2 Kualitas Udara dan Partikulat.....	10
2.2.1 Kualitas Udara	10
2.2.2 Partikulat Udara (PM1.0, PM2.5, PM10).....	11
2.3 Parameter Sensor dan Sistem Akuisisi Data	13
2.3.1 Sensor PMS5003.....	13
2.3.2 Sensor BMP280	14
2.2.3 Mikrokontroler ESP32.....	15
2.2.4 Internet of Things (IoT)	16
2.2.5 LoRa SX1278.....	17
2.4 Long Short-Term Memory (LSTM).....	18
2.4.1 Arsitektur dan Mekanisme Gerbang LSTM	18
2.4.2 Sistem Peringatan Dini (Early Warning System)	21
2.5 Metrik Evaluasi Model	23
2.5.1 Root Mean Square Error (RMSE)	23

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

2.5.2 Mean Absolute Error (MAE)	23
2.5.3 Mean Absolute Percentage Error (MAPE)	24
2.5.4 Koefisien Determinasi (R^2)	24
BAB III PERANCANGAN DAN REALISASI	26
3.1 Rancangan Alat	26
3.1.1 Deskripsi Alat	26
3.1.2 Spesifikasi Alat	27
3.1.3 Instrumen Pengujian	28
3.1.4 Desain Alat	29
3.1.5 Prediksi Kualitas Udara menggunakan Algoritma Model LSTM	30
3.1.6 Sistem Peringatan Dini (Early Warning System)	33
3.1.7 Block Diagram	35
3.2 Realisasi Alat	37
BAB IV PEMBAHASAN	40
4.1 Pengujian Sensor BMP280 dan PMS5003	40
4.1.1 Deskripsi Pengujian	40
4.1.2 Prosedur Pengujian	42
4.1.3 Metode Evaluasi Akurasi Sensor	42
4.1.4 Perbandingan Nilai Sensor BMP280 dan Weather.com	43
4.1.5 Perbandingan Nilai Sensor PMS5003 dan Weather.com	46
4.3 Pengujian Pengiriman Data ke <i>Cloud</i> (Firebase)	50
4.4 Pengembangan dan Pelatihan Model LSTM	50
4.4.1 Persiapan Data untuk Model LSTM	50
4.4.2 Pengujian Arsitektur <i>Layer</i> LSTM	54
4.4.3 Hasil Perbandingan Arsitektur 1 Layer dengan 2 Layer	56
4.4.4 Perbandingan Akurasi Klasifikasi Berdasarkan PM2.5	57
4.4.5 Konfigurasi Pelatihan Model	57
4.5 Evaluasi dan Perbandingan Model Prediksi	60
4.5.1 Metrik Evaluasi	60
4.5.2 Hasil Evaluasi Model LSTM	61
4.5.3 Mekanisme Penentuan Ambang Batas PM2.5	62
4.6.4 Pengujian Sistem Peringatan Dini	64
4.7 Hasil Prediksi Konsentrasi PM2.5	68
4.7.1 Visualisasi Hasil Prediksi	68



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

4.7.2 Analisis Akurasi Prediksi.....	69
4.7.3 Data Hasil Pengujian Prediksi PM2.5.....	71
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	73
5.1 Kesimpulan.....	73
5.2 Saran.....	74
DAFTAR PUSTAKA	76
LAMPIRAN.....	78



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 GAMBAR

Gambar 2. 1 Sensor PMS5003	13
Gambar 2. 2 Sensor BMP280	14
Gambar 2. 3 Mikrokontroler ESP32-S3	15
Gambar 2. 4 Logo IOT	16
Gambar 2. 5 LoRa SX1278	17
Gambar 2. 6 LSTM	18
Gambar 2. 7 Arsitektur LSTM	19
Gambar 3. 1 Desain 3D	29
Gambar 3. 2 Diagram Alur LSTM	30
Gambar 3. 3 Alur Diagram Sistem Peringatan Dini	33
Gambar 3. 4 Block Diagram Sistem	35
Gambar 3. 5 Realisasi Node transmitter	37
Gambar 3. 6 Realisasi Receiver	39
Gambar 4. 1 Perbandingan Suhu Sensor BMP280 dengan Data Weather.com	44
Gambar 4. 2 Kalibrasi Sensor BMP280 Tekanan Udara	46
Gambar 4. 3 Grafik Perbandingan Konsentrasi PM2.5 Sensor PMS5003 dengan Data Weather.com	49
Gambar 4. 4 Tampilan Firebase Menerima Data Monitoring Kualitas Udara	50
Gambar 4. 5 Pemilihan Fitur LSTM	51
Gambar 4. 6 Pembersihan Outlier Sensor	51
Gambar 4. 7 Segmentasi Sesi Rekaman	52
Gambar 4. 8 Penyelarasan Waktu (Resampling)	52
Gambar 4. 9 Normalisasi Data	53
Gambar 4. 10 Training Loss dan Validation Loss	59
Gambar 4. 11 Klasifikasi Nilai PM2.5	63
Gambar 4. 12 Confusion Matrix	66
Gambar 4. 13 Hasil Prediksi PM2.5	68



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 State of The Art	7
Tabel 2. 2 Klasifikasi kualitas udara PM2.5	22
Tabel 3. 1 Spesifikasi Alat	27
Tabel 3. 2 Instrumen Pengujian	28
Tabel 4. 1 Peralatan Pengujian	41
Tabel 4. 2 Perbandingan Nilai Sensor Suhu BMP280 dengan weather.com.....	43
Tabel 4. 3 Perbandingan Nilai Sensor Suhu BMP280 dengan weather.com.....	45
Tabel 4. 4 Perbandingan Nilai Sensor PMS5003 dengan weather.com	47
Tabel 4. 5 Perbandingan Nilai Sensor PMS5003 dengan BMKG.....	48
Tabel 4. 6 Arsitektur Model LSTM 1 Layer untuk Prediksi PM2.5.....	54
Tabel 4. 7 Arsitektur Model LSTM 2 Layer untuk Prediksi PM2.5.....	55
Tabel 4. 8 Perbandingan Arsitektur LSTM 1 Layer dengan 2 Layer	56
Tabel 4. 9 Tabel Akurasi Klasifikasi berdasarkan Arsitektur LSTM 1 Layer dengan 2 Layer.....	57
Tabel 4. 10 Parameter Model LSTM	58
Tabel 4. 11 Hasil Evaluasi Model.....	61
Tabel 4. 12 Rentang Kategori Konsentrasi PM2.5.....	63
Tabel 4. 13 Hasil Evaluasi Klasifikasi pm2.5 Model LSTM.....	64
Tabel 4. 14 Tabel Analisis Prediksi LSTM	70
Tabel 4. 15 Hasil Prediksi PM2.5 menggunakan Model LSTM	71



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 LAMPIRAN

Lampiran 1 Daftar Riwayat Hidup.....	78
Lampiran 2. Program LSTM.....	79
Lampiran 3. Hasil Pengujian Prediksi PM2.5 menggunakan Model LSTM	89
Lampiran 4. Dokumentasi Alat.....	90



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

Kualitas udara di wilayah perkotaan menjadi permasalahan yang kian mengkhawatirkan seiring dengan laju pertumbuhan penduduk, ekspansi sektor industri, dan tingginya intensitas penggunaan kendaraan bermotor (Septiani et al., 2025). Berbagai kontaminan kimiawi seperti karbon monoksida (CO), nitrogen oksida (NO_x), ozon (O₃), senyawa organik volatil (VOC), sulfur dioksida (SO₂), serta partikel tersuspensi berukuran mikro meliputi PM₁, PM_{2.5}, dan PM₁₀ turut mencemari *Layer* atmosfer. Akumulasi polutan-polutan tersebut tidak hanya berdampak pada penurunan kualitas ekosistem, tetapi juga berimplikasi serius terhadap kesehatan masyarakat secara luas. (Dyana et al., 2025). Dibandingkan polutan udara lainnya, PM_{2.5} dinilai sebagai yang paling mengancam kesehatan manusia. Ukurannya yang sangat kecil menjadikan partikel ini mampu melewati mekanisme pertahanan saluran napas dan langsung masuk ke dalam paru-paru. Paparan yang berlangsung secara berkepanjangan terhadap PM_{2.5} diketahui dapat memperburuk kondisi pernapasan dan memicu penyakit berat seperti asma, kanker paru, penyakit paru kronis, serta berbagai komplikasi kardiovaskular. (Neza Putri Karenina, 2026).

Selain aktivitas industri, proses urbanisasi turut memberikan kontribusi nyata terhadap memburuknya kualitas udara di lingkungan perkotaan (Carolyn & Kurniati, 2025). Kepadatan penduduk yang terus meningkat di wilayah kota secara langsung mendorong tingginya mobilitas masyarakat, yang pada akhirnya berimplikasi pada lonjakan jumlah kendaraan bermotor yang beroperasi setiap harinya. Tingginya volume kendaraan ini menghasilkan emisi gas buang dalam jumlah besar yang secara konsisten menjadikannya sebagai salah satu kontributor dominan pencemaran udara di kawasan perkotaan.



© 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 pemantauan kualitas udara tidak hanya berfungsi untuk memantau kondisi lingkungan, tetapi juga sebagai media edukasi guna meningkatkan kesadaran masyarakat tentang pentingnya menjaga kualitas udara (Nadziroh et al., 2025). Penelitian terdahulu hanya mengembangkan sistem pemantauan kualitas udara berbasis *Internet of Things (IoT)* yang menyajikan informasi kondisi udara secara *real-time* (Mashuri & Zulfa, 2022). Sistem tersebut belum mampu memberikan informasi mengenai perubahan kualitas udara di masa mendatang. Konsentrasi partikulat dapat mengalami fluktuasi yang cepat akibat perubahan aktivitas manusia maupun kondisi lingkungan, sehingga diperlukan kemampuan prediksi untuk mendukung pengambilan keputusan yang lebih cepat dan efektif.

Mayoritas sistem pemantauan kualitas udara berbasis IoT yang ada saat ini masih mengandalkan Wi-Fi maupun jaringan seluler sebagai jalur transmisi data. Kedua teknologi tersebut menghadapi sejumlah kendala fundamental, khususnya dalam hal cakupan jangkauan yang terbatas, konsumsi energi yang relatif tinggi, serta beban biaya operasional yang tidak efisien apabila diterapkan pada sistem pemantauan yang beroperasi secara kontinu. Kondisi ini mendorong kebutuhan akan solusi komunikasi alternatif yang mampu mentransmisikan data dalam jarak jauh dengan efisiensi daya yang lebih baik. Teknologi Long Range (LoRa) salah satu jawaban atas permasalahan tersebut, yakni sebuah protokol komunikasi nirkabel yang dikembangkan khusus untuk ekosistem IoT dengan keunggulan konsumsi daya rendah dan jangkauan transmisi yang luas, menjadikannya pilihan tepat untuk aplikasi monitoring lingkungan.

Arsitektur sistem pemantauan kualitas udara, sensor berperan sebagai elemen kritis yang secara langsung menentukan keandalan dan akurasi data yang dikumpulkan. Sensor PMS5003 menjadi pilihan utama dalam penelitian ini mengingat kemampuannya mengukur konsentrasi partikulat PM1.0, PM2.5, dan PM10 secara simultan dan berkelanjutan dengan sensitivitas yang memadai, serta kompatibilitasnya yang baik dengan berbagai platform IoT.

Sebagai komplemen, sensor BMP280 digunakan untuk memperoleh data



© 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

parameter meteorologi berupa suhu dan tekanan atmosfer yang diketahui memiliki pengaruh terhadap dinamika penyebaran partikulat di udara. Kombinasi data dari kedua sensor ini tidak hanya berguna untuk menggambarkan kondisi kualitas udara pada saat pengukuran berlangsung, melainkan juga membentuk basis data historis yang menjadi fondasi proses pemodelan prediktif menggunakan algoritma *Long Short-Term Memory (LSTM)*.

Kemajuan pesat dalam bidang kecerdasan buatan membuka peluang baru untuk mentransformasi sistem monitoring konvensional menjadi platform yang memiliki kapabilitas prediktif. Dalam konteks pemodelan data deret waktu, *Long Short-Term Memory (LSTM)* telah dikenal luas sebagai salah satu arsitektur deep learning yang paling efektif. Sebagai evolusi dari Recurrent Neural Network (RNN), LSTM dilengkapi dengan mekanisme gerbang yang memungkinkan model mempertahankan informasi dalam rentang waktu yang bervariasi sekaligus mengatasi permasalahan gradien yang menghilang, sebuah kelemahan mendasar yang kerap ditemui pada RNN konvensional. Kemampuan tersebut menjadikan LSTM sangat relevan untuk diaplikasikan dalam memprediksi fluktuasi konsentrasi PM_{2.5} yang bersifat dinamis dan dipengaruhi oleh beragam variabel lingkungan secara bersamaan.

Kajian terhadap penelitian-penelitian sebelumnya mengungkapkan bahwa implementasi IoT dalam domain pemantauan kualitas udara pada umumnya masih terbatas pada fungsi monitoring secara *real-time*, sementara upaya untuk mengintegrasikan teknologi komunikasi LoRa dengan pendekatan deep learning berbasis LSTM guna memprediksi konsentrasi PM_{2.5} masih jarang dijumpai dalam literatur yang ada. Padahal, penggabungan fungsi pemantauan dan prediksi dalam satu sistem terpadu berpotensi menghasilkan informasi yang jauh lebih komprehensif, sehingga dapat dijadikan landasan pengambilan langkah antisipasi sebelum konsentrasi polutan mencapai ambang batas yang membahayakan kesehatan publik.

Berdasarkan permasalahan tersebut, penelitian ini merancang dan merealisasikan sebuah sistem terpadu untuk pemantauan dan prediksi kualitas



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

udara berbasis IoT yang mengintegrasikan teknologi komunikasi LoRa dengan algoritma LSTM. Sistem menggunakan sensor PMS5003 sebagai perangkat akuisisi data konsentrasi partikulat PM2.5 secara *real-time*, yang selanjutnya diteruskan melalui jaringan LoRa menuju model LSTM untuk menghasilkan proyeksi konsentrasi PM2.5 pada periode berikutnya. Sinergi antara sensor PMS5003, infrastruktur komunikasi LoRa, dan model prediktif LSTM diproyeksikan dapat menghasilkan sebuah sistem yang tidak hanya berfungsi sebagai alat pemantau kualitas udara, tetapi juga mampu menyediakan informasi prediktif sebagai dasar sistem peringatan dini terhadap potensi penurunan kualitas udara.

1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dijelaskan, rumusan masalah yang dapat diajukan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana merancang dan merealisasikan sistem monitoring kualitas udara berbasis IoT yang mengintegrasikan sensor PMS5003 dan BMP280 dengan komunikasi LoRa untuk memperoleh data PM1.0, PM2.5, PM10, suhu, dan tekanan udara secara *real-time*?
2. Bagaimana mempersiapkan dan memproses data hasil pengukuran sensor menjadi *dataset* yang siap digunakan sebagai masukan model prediksi?
3. Bagaimana menerapkan algoritma *Long Short-Term Memory (LSTM)* untuk memprediksi konsentrasi PM2.5 berdasarkan data historis hasil pengukuran sensor?
4. Bagaimana kinerja model LSTM yang dikembangkan dalam memprediksi konsentrasi PM2.5, dilihat dari metrik RMSE, MAE, MAPE, dan R^2 ?
5. Bagaimana mengintegrasikan hasil prediksi PM2.5 ke dalam sistem peringatan dini (*early warning system*) berbasis kategori ambang batas PM2.5, serta bagaimana akurasi klasifikasinya?



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

1.3 Tujuan

1. Merancang dan membangun sistem monitoring kualitas udara berbasis *Internet of Things (IoT)* menggunakan sensor PMS5003 dan BMP280 serta komunikasi LoRa untuk memperoleh data PM1.0, PM2.5, PM10, suhu, dan tekanan udara secara *real-time*.
2. Memproses data hasil pengukuran sensor melalui tahap *preprocessing* (pembersihan *outlier*, segmentasi sesi, *resampling*, dan normalisasi) menjadi *dataset* yang siap digunakan untuk pemodelan.
3. Mengembangkan model prediksi konsentrasi PM2.5 menggunakan algoritma *Long Short-Term Memory (LSTM)* berdasarkan data historis hasil pengukuran sensor.
4. Mengevaluasi kinerja model LSTM yang dikembangkan menggunakan metrik RMSE, MAE, MAPE, dan R^2 pada data pengujian.
5. Mengintegrasikan hasil prediksi PM2.5 ke dalam sistem peringatan dini (*early warning system*) yang mengklasifikasikan kondisi kualitas udara berdasarkan kategori ambang batas PM2.5, serta mengevaluasi akurasi klasifikasinya.

1.4 Luaran

Luaran yang dihasilkan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Sistem/alat monitoring kualitas udara berbasis IoT-LoRa yang terdiri atas *node transmitter*, *receiver*, dan *dashboard* Firebase untuk pemantauan PM1.0, PM2.5, PM10, suhu, dan tekanan udara secara *real-time*.
2. *Dataset* kualitas udara yang telah diproses (dibersihkan, disegmentasi, dan dinormalisasi), siap digunakan untuk pemodelan *machine learning*.
3. Model prediksi konsentrasi PM2.5 berbasis algoritma *Long Short-Term Memory (LSTM)* multivariat dengan arsitektur *stacked* dua *Layer*.
4. Hasil evaluasi kinerja model LSTM pada data pengujian menggunakan metrik RMSE, MAE, MAPE, dan R^2 .



© 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

5. Sistem peringatan dini (*early warning system*) berbasis hasil prediksi PM2.5 yang mengklasifikasikan kondisi kualitas udara ke dalam lima kategori (Baik, Sedang, Tidak Sehat, Sangat Tidak Sehat, Berbahaya) beserta hasil evaluasi akurasi klasifikasinya.
6. Dokumentasi teknis implementasi, meliputi arsitektur model, konfigurasi pelatihan, alur *preprocessing* data, dan analisis hasil prediksi.



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

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil perancangan, pengujian, dan evaluasi yang telah dilakukan pada penelitian "Rancang Bangun Sistem Monitoring dan Prediksi Kualitas Udara Berbasis IoT Menggunakan Komunikasi LoRa dan *Long Short-Term Memory (LSTM)*", dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Sistem monitoring kualitas udara berbasis IoT yang mengintegrasikan sensor PMS5003 (PM1.0, PM2.5, PM10) dan sensor BMP280 (suhu dan tekanan udara) dengan komunikasi LoRa SX1278 berhasil dirancang dan direalisasikan. Sistem mampu mengirimkan data dari node transmitter ke receiver secara nirkabel dan meneruskannya ke Firebase Cloud untuk pemantauan secara real-time, sehingga menjawab rumusan masalah dan tujuan pertama penelitian.
2. Data hasil pengukuran sensor berhasil diproses melalui tahap preprocessing meliputi pembersihan outlier berdasarkan rentang fisik sensor yang wajar, segmentasi sesi berdasarkan jeda waktu antar-perekaman, resampling, dan normalisasi menggunakan StandardScaler, sehingga menghasilkan dataset yang siap digunakan sebagai masukan model prediksi. Tahap ini menjawab rumusan masalah dan tujuan kedua penelitian.
3. Model prediksi konsentrasi PM2.5 berhasil dikembangkan menggunakan algoritma LSTM dengan arsitektur dua *Layer* LSTM (64 dan 32 unit) yang dilengkapi Dropout 0,2, Dense 16 unit dengan aktivasi ReLU, dan satu neuron output linear, menggunakan lookback 60 menit untuk memprediksi konsentrasi PM2.5 pada horizon 30 menit ke depan. Model dilatih dengan optimizer Adam (learning rate 0,0003), loss function Huber, serta mekanisme Early Stopping,



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

ReduceLROnPlateau, dan ModelCheckpoint, sehingga menjawab rumusan masalah dan tujuan ketiga penelitian.

4. Hasil evaluasi pada data testing menunjukkan bahwa model LSTM memperoleh nilai RMSE sebesar 25,159 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, MAE sebesar 13,659 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, MAPE sebesar 18,28%, dan R^2 sebesar 0,8739. Nilai-nilai ini menunjukkan bahwa model memiliki tingkat akurasi prediksi yang baik ($\text{MAPE} < 20\%$) dan mampu menjelaskan sekitar 87,39% variasi data aktual PM2.5, sehingga menjawab rumusan masalah dan tujuan keempat penelitian.
5. Sistem peringatan dini (Early Warning System) yang mengklasifikasikan hasil prediksi PM2.5 ke dalam lima kategori kualitas udara berbasis standar BMKG (Baik, Sedang, Tidak Sehat, Sangat Tidak Sehat, Berbahaya) berhasil diintegrasikan dengan model LSTM dan memperoleh akurasi klasifikasi keseluruhan sebesar 86,0%. Performa terbaik diperoleh pada kategori Baik (F1-Score 0,961), sedangkan performa terendah terjadi pada kategori Tidak Sehat (F1-Score 0,775) akibat kemiripan rentang konsentrasi dengan kategori di sekitarnya. Hasil ini menjawab rumusan masalah dan tujuan kelima penelitian.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, terdapat beberapa saran untuk pengembangan dan penyempurnaan sistem pada penelitian selanjutnya:

1. Perlu dilakukan penambahan variasi data, khususnya pada kondisi konsentrasi PM2.5 tinggi dan kejadian lonjakan mendadak, agar model LSTM dapat belajar dari lebih banyak kasus ekstrem dan mengurangi kecenderungan *underestimate* pada kondisi tersebut.
2. Performa model pada kategori Tidak Sehat masih menjadi yang paling rendah dibandingkan kategori lain; penelitian selanjutnya dapat mengeksplorasi penyesuaian ambang batas klasifikasi, penambahan



© 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

fitur input, atau teknik *fine-tuning* khusus pada rentang konsentrasi yang berdekatan untuk meningkatkan akurasi klasifikasi pada kategori tersebut.

3. Arsitektur model dapat dikembangkan lebih lanjut, misalnya dengan mencoba varian *Bidirectional LSTM (BiLSTM)*, GRU, atau pendekatan *hybrid* (LSTM dikombinasikan dengan CNN atau mekanisme *attention*), untuk membandingkan performa dan mencari arsitektur yang lebih optimal dalam memprediksi konsentrasi PM2.5.
4. Jangkauan dan keandalan komunikasi LoRa perlu diuji lebih lanjut pada kondisi lingkungan yang lebih beragam (jarak yang lebih jauh, hambatan bangunan, serta cuaca ekstrem) untuk memastikan keandalan sistem pada skala penerapan yang lebih luas.
5. Penambahan jumlah *node* sensor pada lokasi yang lebih banyak dan beragam dapat dilakukan untuk meningkatkan representativitas data serta memungkinkan pemetaan kualitas udara yang lebih komprehensif di suatu wilayah.
6. Sistem peringatan dini dapat dikembangkan lebih lanjut dengan menambahkan fitur notifikasi otomatis (misalnya melalui aplikasi *mobile* atau pesan instan) kepada pengguna ketika prediksi PM2.5 melewati ambang batas tertentu, sehingga respons mitigasi dapat dilakukan lebih cepat.
7. Diperlukan pengujian jangka panjang (durasi pengambilan data yang lebih lama dan mencakup berbagai musim) untuk mengevaluasi konsistensi dan stabilitas performa model serta sistem secara menyeluruh dalam kondisi operasional nyata.

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

- Ariyanto, A. S. S., Triwibowo, D. N., Ashari, I. A., & Haryono, R. C. S. (2026). Implementasi dan evaluasi kinerja sistem IoT multi-sensor berbasis ESP32 untuk pemantauan dan peringatan dini lingkungan secara real-time. 9(1), 118–125.
- Buelvas, J., Danny, M., Tob, D. P., & Aguirre, V. J. (2023). Data quality in IoT-based air quality monitoring systems: A systematic mapping study.
- Carolyn, V., & Kurniati, E. (2025). Tantangan pembangunan perkotaan terhadap urbanisasi, kemacetan di Jakarta: Analisis permasalahan dan solusi. *Jurnal Ilmu Ekonomi*, 4(1), 252–273. <https://doi.org/10.59827/jie.v4i1.222>
- Damayanti, T. V., & Handriyono, R. E. (2022). Monitoring kualitas udara ambien melalui stasiun pemantau kualitas udara Wonorejo, Kebonsari dan Tandes Kota Surabaya. *Environmental Engineering Journal ITATS*, 2(1), 11–18. <https://doi.org/10.31284/j.envitats.2022.v2i1.2897>
- Dyana, J., Amelia, J., Davita, R., Arafah, S. A., Sede, Y. I., & Hidayati, A. R. (2025). Dampak bahaya pencemaran udara terhadap kesehatan masyarakat di perkotaan. *Jurnal Ilmiah Wahana Pendidikan*, 11(1), 132.
- Jabbar, W. A., Subramaniam, T., Emelio, A., Iqmal, M., Ib, S., Wu, W., & Oliveira, M. A. de. (2022). Internet of Things LoRaWAN-based IoT system implementation for long-range outdoor air quality monitoring. *Internet of Things*, 19, 100540. <https://doi.org/10.1016/j.iot.2022.100540>
- Karenina, N. P. (2026). Studi kualitas udara ambien berdasarkan konsentrasi PM2.5 dan NO₂ di kawasan industri Batamindo, Kota Batam. *Jurnal Teknik Lingkungan*, 1(1). <https://publikasi.feliciajurnal.com/index.php/JTL>
- Mashuri, & Zulfa. (2022). *Sistem monitoring dan pendukung keputusan kualitas udara di Kota Semarang menggunakan IoT*.
- Milniadi, A. D., & Adiwijaya, N. O. (2023). Analisis perbandingan model ARIMA dan LSTM dalam peramalan harga penutupan saham (studi kasus: 6 kriteria kategori saham menurut Peter Lynch). *SIBATIK Journal: Jurnal Ilmiah Bidang Sosial, Ekonomi, Budaya, Teknologi, dan Pendidikan*, 2(6), 1683–1692. <https://doi.org/10.54443/sibatik.v2i6.798>
- Nadziroh, F., Sa'adah, N., Aswoyo, B., Astawa, I. G. P., Puspitorini, O., Santoso, T. B., Ridwan, M., Wijayanti, A., Kurniajaya, M., Wahyu, G. A., Yudha, K. T., Raihan, D., & Salwadilla, I. S. (2025). Sistem monitoring kualitas udara sebagai media edukasi kesadaran lingkungan bagi masyarakat perkotaan. *Jurnal Inovasi Hasil Pengabdian Masyarakat (JIPEMAS)*, 8(2), 454–466. <https://doi.org/10.33474/jipemas.v8i2.23491>



© 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

- Puteri, D. I. (2023). Implementasi *Long Short-Term Memory (LSTM)* dan bidirectional Long Short-Term Memory (BiLSTM) dalam prediksi harga saham syariah. *Euler: Jurnal Ilmiah Matematika, Sains dan Teknologi*, 11(1), 35–43. <https://doi.org/10.34312/euler.v11i1.19791>
- Rosyd, A., Purnamasari, A. I., & Ali, I. (2024). Penerapan metode *Long Short-Term Memory (LSTM)* dalam memprediksi harga saham PT Bank Central Asia. *Jurnal Mahasiswa Teknik Informatika*, 8(1).
- Searle, N., Kaur, K., & Kelly, K. (2023). *Particulate matter sensor 2.3*. <https://www.elsevier.com/open-access/userlicense/1.0/>
- Suryantoro, H., & Kusriyanto, M. (2023). Sistem monitoring partikel (PM2.5) air purifier untuk mengetahui kualitas udara berbasis sensor PMS5003 dan Arduino. *Indonesian Journal of Laboratory*.
- Wahyudi, M. N. A., Budiyo, C. W., & Bakar, M. S. (2024). Soil temperature and moisture forecasting using exponential smoothing method based on *Mean Absolute Percentage Error*. 8.
- WHO global air quality guidelines. (2021).
- Zjavka, L. (2025). Solar and wind predictions using evolution differentiated modular and LSTM long-term modelling based on pattern correlations. *Research in Mathematics*, 12(1). <https://doi.org/10.1080/27684830.2025.2482311>

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

Lampiran 1 Daftar Riwayat Hidup



Penulis bernama Muhammad Alif Zul Ikhsan, anak pertama dari tiga bersaudara dan lahir di Bogor, 27 November 2004. Latar belakang pendidikan formal penulis dimulai dari MI Negeri Kota Bogor dan lulus pada tahun 2016. Kemudian melanjutkan pendidikan di SMP Taruna Terpadu dan lulus pada tahun 2019. Selanjutnya menempuh pendidikan menengah atas di SMA Taruna Terpadu dan lulus pada tahun 2022.

Setelah itu, penulis melanjutkan pendidikan pada jenjang Sarjana Terapan (S.Tr.) di Politeknik Negeri Jakarta, Jurusan Teknik Elektro, Program Studi Instrumentasi dan Kontrol Industri. Penulis dapat dihubungi melalui email ikhsanalifzul27@gmail.com

**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 2. Program LSTM

```
import numpy as np
import pandas as pd
import os
import matplotlib.pyplot as plt
import tensorflow as tf
from tensorflow.keras import Layers, models, callbacks,
regularizers
from tensorflow.keras.models import Sequential
from tensorflow.keras.Layers import LSTM, Dense, Dropout
from tensorflow.keras.optimizers import Adam
from tensorflow.keras.losses import Huber
from sklearn.preprocessing import StandardScaler
from sklearn.metrics import (
    confusion_matrix, ConfusionMatrixDisplay,
    precision_recall_fscore_support, accuracy_score
)

# Reproducibility
os.environ['TF_DETERMINISTIC_OPS'] = '1'
os.environ['TF_CUDNN_DETERMINISTIC'] = '1'
os.environ['PYTHONHASHSEED'] = '42'

np.random.seed(42)
tf.random.set_seed(42)

# — Parameter Utama

DATA_PATH = 'monitoring_ispu_pm25.xlsx' # path file data
FEATURES = ['pm1', 'pm25', 'pm10', 'suhu', 'tekanan'] # fitur
input
TARGET = 'pm25' # variabel yang
diprediksi
TARGET_IDX = FEATURES.index(TARGET)

LOOKBACK = 60 # panjang riwayat (menit)
HORIZON = 30 # jarak prediksi ke depan (menit)
HIDDEN = 64 # jumlah unit LSTM (ditingkatkan untuk
kapasitas lebih besar)
EPOCHS = 100 # maksimum epoch training (ditingkatkan untuk
belajar lebih lama)
BATCH_SIZE = 96 # ukuran batch (balanced untuk stabilitas dan
update frequency)
```




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

```
GAP_MENIT = 10    # ambang batas jeda antar-sesi rekaman
(menit)
```

```
print("✓ Library berhasil diimpor")
print(f"  Fitur input    : {FEATURES}")
print(f"  Target          : {TARGET}")
print(f"  Lookback          : {LOOKBACK} menit")
print(f"  Horizon           : {HORIZON} menit ke depan")
```

— 2.1 Load Data

```
df = pd.read_excel(DATA_PATH, sheet_name='Log Data')
df['waktu'] = pd.to_datetime(df['waktu'])
df = df.sort_values('waktu').reset_index(drop=True)
```

```
print(f"Data berhasil dimuat: {len(df),} baris")
print(f"Rentang waktu: {df['waktu'].min()} s/d
{df['waktu'].max()}")
print()
print("Cuplikan data awal:")
df[['waktu'] + FEATURES].head()
```

— 2.2 Pembersihan Outlier Sensor

```
# Nilai di luar rentang fisik yang wajar diganti NaN → akan
diinterpolasi saat resample
df.loc[(df['suhu'] < 10) | (df['suhu'] > 50), 'suhu'] = np.nan
df.loc[(df['tekanan'] < 950) | (df['tekanan'] > 1050),
'tekanan'] = np.nan
df.loc[(df['pm25'] < 0) | (df['pm25'] > 500), 'pm25'] = np.nan
df.loc[(df['pm1'] < 0) | (df['pm1'] > 500), 'pm1'] = np.nan
df.loc[(df['pm10'] < 0) | (df['pm10'] > 500), 'pm10'] = np.nan
```

```
outlier_suhu    = df['suhu'].isna().sum()
outlier_tekanan = df['tekanan'].isna().sum()
print(f"Outlier suhu yang dibersihkan    : {outlier_suhu}
baris")
print(f"Outlier tekanan yang dibersihkan : {outlier_tekanan}
baris")
```

— 2.3 Segmentasi Sesi



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

```
# Sesi baru ditandai setiap kali ada jeda > GAP_MENIT menit
antar-baris
jeda_detik = df['waktu'].diff().dt.total_seconds()
df['segmen'] = (jeda_detik > GAP_MENIT * 60).cumsum()

print(f"\nJumlah segmen (sesi) rekaman:
{df['segmen'].nunique()}")

MIN_LEN = LOOKBACK + HORIZON + 5

# — 3.1 Resample per menit & filter segmen pendek

segmen_valid = []
for _, g in df.groupby('segmen'):
    g = g.set_index('waktu')[FEATURES]
    g_resampled = g.resample('1min').mean()
    g_resampled =
g_resampled.ffmpeg(limit=3).bfill(limit=3).dropna()
    if len(g_resampled) >= MIN_LEN:
        segmen_valid.append(g_resampled)

print(f"Segmen yang memenuhi syarat (>= {MIN_LEN} menit): "
      f"{len(segmen_valid)} dari {df['segmen'].nunique()}")

# — 3.2 Sliding Window

def buat_windows(segmen_list, train_frac=0.70, val_frac=0.15):

    X_train, y_train = [], []
    X_val, y_val = [], []
    X_test, y_test = [], []

    for seg in segmen_list:
        nilai = seg.values.astype(float)
        n_windows = len(nilai) - LOOKBACK - HORIZON + 1
        train_end = int(n_windows * train_frac)
        val_end = int(n_windows * (train_frac + val_frac))

        for t in range(n_windows):
            X = nilai[t : t + LOOKBACK, :]
            y = nilai[t + LOOKBACK + HORIZON - 1, TARGET_IDX]
            if t < train_end:
                X_train.append(X); y_train.append(y)
            elif t < val_end:
```



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

```

        X_val.append(X);    y_val.append(y)
    else:
        X_test.append(X);   y_test.append(y)

    return (np.array(X_train), np.array(y_train),
            np.array(X_val),   np.array(y_val),
            np.array(X_test),  np.array(y_test))

X_train, y_train, X_val, y_val, X_test, y_test =
    buat_windows(segmen_valid)

print(f"\nUkuran dataset:")
print(f"  Train : X={X_train.shape}, y={y_train.shape}")
print(f"  Val   : X={X_val.shape},   y={y_val.shape}")
print(f"  Test  : X={X_test.shape},  y={y_test.shape}")

# — Fit scaler hanya pada data train

scaler = StandardScaler()
scaler.fit(X_train.reshape(-1, len(FEATURES)))

def normalisasi_X(X):
    N, T, F = X.shape
    return scaler.transform(X.reshape(-1, F)).reshape(N, T, F)

def normalisasi_y(y):
    return (y - scaler.mean_[TARGET_IDX]) /
    scaler.scale_[TARGET_IDX]

def denormalisasi_y(y):
    return y * scaler.scale_[TARGET_IDX] +
    scaler.mean_[TARGET_IDX]

X_train = normalisasi_X(X_train)
y_train = normalisasi_y(y_train)
X_val    = normalisasi_X(X_val)
y_val    = normalisasi_y(y_val)
X_test   = normalisasi_X(X_test)
y_test   = normalisasi_y(y_test)

print("Parameter normalisasi (dari data train):")
print(f"{'Fitur':10s} {'Mean':>10s} {'Std':>10s}")
print("-" * 36)

```




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

```

for f, m, s in zip(FEATURES, scaler.mean_, scaler.scale_):
    print(f"{f:10s} {m:10.3f} {s:10.3f}")

# — 5.1 Definisi Arsitektur

def bangun_model(lookback, n_fitur):
    mmodel = Sequential([
        LSTM(64, return_sequences=True, input_shape=(lookback,
n_fitur)),
        Dropout(0.2),
        LSTM(32, return_sequences=False),
        Dropout(0.2),
        Dense(16, activation='relu'),
        Dense(1)
    ], name='LSTM_PM25')
    mmodel.compile(
        optimizer=Adam(learning_rate=0.0003, clipnorm=1.0),
        loss=Huber(),
        metrics=['mae']
    )
    return mmodel

model = bangun_model(LOOKBACK, len(FEATURES))
model.summary()

# — 5.2 Training

cb_early_stop = callbacks.EarlyStopping(
    monitor='val_loss', patience=15, restore_best_weights=True,
    verbose=1
)
cb_reduce_lr = callbacks.ReduceLROnPlateau(
    monitor='val_loss', factor=0.5, patience=5, min_lr=1e-6,
    verbose=1
)
cb_checkpoint = callbacks.ModelCheckpoint(
    'best_model.keras', monitor='val_loss', save_best_only=True,
    verbose=0
)

history = model.fit(
    X_train, y_train,
    validation_data=(X_val, y_val),

```



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

```

epochs=100,
batch_size=96,
callbacks=[cb_early_stop, cb_reduce_lr, cb_checkpoint],
verbose=1
)

print(f"\nTraining selesai pada epoch
{len(history.history['loss'])}")

# — 5.3 Kurva Training

plt.figure(figsize=(8, 4))
plt.plot(history.history['loss'], label='Train Loss (MSE)')
plt.plot(history.history['val_loss'], label='Validation Loss (MSE)')
plt.xlabel('Epoch')
plt.ylabel('Loss (MSE – skala ternormalisasi)')
plt.title('Kurva Training Model LSTM')
plt.legend()
plt.grid(alpha=0.3)
plt.tight_layout()
plt.savefig('kurva_training.png', dpi=150)
plt.show()

# — Prediksi & denormalisasi

def hitung_metrik_regresi(y_aktual, y_prediksi, nama_set):
    """Menghitung dan mencetak MAE, RMSE, MAPE, dan R²."""
    mae = np.mean(np.abs(y_aktual - y_prediksi))
    rmse = np.sqrt(np.mean((y_aktual - y_prediksi) ** 2))

    # MAPE: hanya dihitung pada nilai aktual > 5 µg/m³ (hindari
    pembagian mendekati nol)
    mask = y_aktual > 5
    mape = np.mean(np.abs((y_aktual[mask] - y_prediksi[mask]) /
y_aktual[mask])) * 100

    ss_res = np.sum((y_aktual - y_prediksi) ** 2)
    ss_tot = np.sum((y_aktual - y_aktual.mean()) ** 2)
    r2 = 1 - ss_res / ss_tot

    print(f"{'=' * 40}")
    print(f"  Evaluasi Regresi – {nama_set}")

```



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"{'=' * 40}")
print(f"  Jumlah sampel : {len(y_aktual):,}")
print(f"  MAE             : {mae:.3f}  µg/m³")
print(f"  RMSE            : {rmse:.3f}  µg/m³")
print(f"  MAPE            : {mape:.2f}  %")
print(f"  R²              : {r2:.4f}")
print()
return {'MAE': mae, 'RMSE': rmse, 'MAPE': mape, 'R2': r2}

y_pred_train = np.clip(denormalisasi_y(model.predict(X_train,
verbose=0).flatten()), 0, None)
y_pred_val    =
np.clip(denormalisasi_y(model.predict(X_val,    verbose=0).flatte
n()), 0, None)
y_pred_test   =
np.clip(denormalisasi_y(model.predict(X_test,   verbose=0).flatte
n()), 0, None)

y_true_train = denormalisasi_y(y_train)
y_true_val   = denormalisasi_y(y_val)
y_true_test  = denormalisasi_y(y_test)

metrik_train = hitung_metrik_regresi(y_true_train, y_pred_train,
'TRAIN SET')
metrik_val   =
hitung_metrik_regresi(y_true_val,   y_pred_val,   'VAL SET')
metrik_test  =
hitung_metrik_regresi(y_true_test,  y_pred_test,  'TEST SET')

# — Visualisasi Aktual vs Prediksi (Test Set)

fig, axes = plt.subplots(2, 1, figsize=(12, 7))

# Plot 1: Time-series
axes[0].plot(y_true_test, label='Aktual', linewidth=1.2)
axes[0].plot(y_pred_test, label='Prediksi', linewidth=1.0,
alpha=0.8)
axes[0].set_title(f'PM2.5 Aktual vs Prediksi – Test Set
(Horizon: {HORIZON} menit)')
axes[0].set_xlabel('Indeks Sampel')
axes[0].set_ylabel('PM2.5 (µg/m³)')
axes[0].legend()
axes[0].grid(alpha=0.3)

```




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

```
# Plot 2: Scatter plot
batas_max = max(y_true_test.max(), y_pred_test.max()) * 1.05
axes[1].scatter(y_true_test, y_pred_test, alpha=0.3, s=10,
color='steelblue')
axes[1].plot([0, batas_max], [0, batas_max], 'r--',
linewidth=1.5, label='Ideal (y = ŷ)')
axes[1].set_xlabel('PM2.5 Aktual (µg/m³)')
axes[1].set_ylabel('PM2.5 Prediksi (µg/m³)')
axes[1].set_title(f"Scatter Plot – R² =
{metrik_test['R2']:.4f}")
axes[1].legend()
axes[1].grid(alpha=0.3)

plt.tight_layout()
plt.savefig('evaluasi_regresi.png', dpi=150)
plt.show()

# — Fungsi pemetaan kategori ISPU

KATEGORI_ISPU = ['Baik', 'Sedang', 'Tidak Sehat', 'Sangat Tidak
Sehat', 'Berbahaya']

def ke_kategori_pm25 (nilai):
    """Mengonversi nilai PM2.5 (µg/m³)."""
    if nilai <= 15:     return 'Baik'
    elif nilai <= 65:   return 'Sedang'
    elif nilai <= 150: return 'Tidak Sehat'
    elif nilai <= 250: return 'Sangat Tidak Sehat'
    else:               return 'Berbahaya'

def evaluasi_klasifikasi(y_aktual, y_prediksi, nama_set):
    """Mengevaluasi akurasi prediksi kategori ISPU dan
    menampilkan confusion matrix."""
    kat_aktual   = [ke_kategori_pm25(v) for v in y_aktual]
    kat_prediksi = [ke_kategori_pm25(v) for v in y_prediksi]

    label_hadir = [k for k in KATEGORI_ISPU if k in
set(kat_aktual) | set(kat_prediksi)]

    acc  = accuracy_score(kat_aktual, kat_prediksi)
    prec, rec, f1, sup = precision_recall_fscore_support(
```



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

```

        kat_aktual, kat_prediksi, labels=label_hadir,
        zero_division=0
    )
    cm = confusion_matrix(kat_aktual, kat_prediksi,
        labels=label_hadir)

    print(f"{'=' * 65}")
    print(f"  Evaluasi Klasifikasi - {nama_set}")
    print(f"{'=' * 65}")
    print(f"  {'Kategori':<22} {'Precision':>10} {'Recall':>8}
{'F1-Score':>10} {'Support':>8}")
    print(f"  {'-' * 60}")
    for kat, p, r, f, s in zip(label_hadir, prec, rec, f1, sup):
        print(f"    {kat:<22} {p:>10.3f} {r:>8.3f} {f:>10.3f}
{s:>8}")
    print(f"  {'-' * 60}")
    print(f"  Accuracy keseluruhan : {acc:.3f}
({acc*100:.1f}%)")
    print()

    fig, ax = plt.subplots(figsize=(7, 5))
    disp = ConfusionMatrixDisplay(confusion_matrix=cm,
        display_labels=label_hadir)
    disp.plot(ax=ax, cmap='Blues', colorbar=True)
    ax.set_title(f'Confusion Matrix - {nama_set}\nAccuracy:
{acc:.3f}')
    plt.xticks(rotation=35, ha='right')
    plt.tight_layout()
    plt.savefig(f'confusion_matrix_{nama_set.lower().replace("
", "_")}.png', dpi=150)
    plt.show()

    return acc

acc_train = evaluasi_klasifikasi(y_true_train, y_pred_train,
'TRAIN SET')
acc_val    =
evaluasi_klasifikasi(y_true_val,    y_pred_val,    'VAL SET')
acc_test   =
evaluasi_klasifikasi(y_true_test,   y_pred_test,   'TEST SET')

import joblib
import tensorflow as tf

```



© 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

```
import numpy as np

# Buat model baru dengan arsitektur yang sama (tanpa
quantization_config)
new_model = tf.keras.Sequential([
    tf.keras.layers.LSTM(64, return_sequences=True,
input_shape=(60, 5)),
    tf.keras.layers.Dropout(0.2),
    tf.keras.layers.LSTM(32),
    tf.keras.layers.Dropout(0.2),
    tf.keras.layers.Dense(16, activation='relu'),
    tf.keras.layers.Dense(1, activation='linear')
], name='LSTM_PM25')

# Build dan copy weights dari model yang sudah ditraining
new_model.build((None, 60, 5))
new_model.set_weights(model.get_weights())

# Simpan weights saja (format kompatibel)
new_model.save_weights('model_weights.weights.h5')

# Simpan scaler
joblib.dump(scaler, 'scaler_pm25.pkl')

print("Model weights tersimpan: model_weights.weights.h5")
print("Scaler tersimpan: scaler_pm25.pkl")
```

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. Hasil Pengujian Prediksi PM2.5 menggunakan Model LSTM

Waktu Prediksi	PM2.5 Aktual Saat Ini	Hasil Prediksi Model (Untuk +30 Menit)	Waktu Realisasi di Masa Depan	PM2.5 Aktual (+30 Menit)	Persentase Error
25/06/2026 00:41	93.0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	93.0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	25/06/2026 01:11	88.0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	5.68%
25/06/2026 00:42	94.0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	94.0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	25/06/2026 01:12	89.0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	5.62%
25/06/2026 00:43	95.0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	95.0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	25/06/2026 01:13	89.0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	6.74%
25/06/2026 00:44	96.0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	96.0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	25/06/2026 01:14	90.0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	6.67%
25/06/2026 00:45	93.0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	93.0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	25/06/2026 01:15	90.0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	3.33%
25/06/2026 00:46	93.0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	93.0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	25/06/2026 01:16	89.0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	4.49%
25/06/2026 00:47	90.0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	90.0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	25/06/2026 01:17	89.0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	1.12%
25/06/2026 00:48	93.0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	93.0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	25/06/2026 01:18	89.0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	4.49%
25/06/2026 00:49	97.0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	97.0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	25/06/2026 01:19	90.0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	7.78%
25/06/2026 00:50	93.0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	93.0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	25/06/2026 01:20	88.0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	5.68%



© 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



Lampiran 4. Dokumentasi Alat

