

PENGEMBANGAN MODEL PREDIKSI RISIKO KESEHATAN AKIBAT PAPARAN PM2.5 MENGGUNAKAN LSTM DI DAERAH KHUSUS JAKARTA

NASYWA NOZUMI



**PROGRAM SARJANA ILMU KOMPUTER
SEKOLAH SAINS DATA MATEMATIKA DAN INFORMATIKA
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2026**



@Hak cipta milik IPB University

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

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

PERNYATAAN MENGENAI SKRIPSI DAN SUMBER INFORMASI SERTA PELIMPAHAN HAK CIPTA

Dengan ini saya menyatakan bahwa skripsi dengan judul “Pengembangan Model Prediksi Risiko Kesehatan Akibat Paparan PM2.5 Menggunakan LSTM di Daerah Khusus Jakarta” adalah karya saya dengan arahan dari dosen pembimbing dan belum diajukan dalam bentuk apa pun kepada perguruan tinggi mana pun. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan maupun tidak diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dalam teks dan dicantumkan dalam Daftar Pustaka di bagian akhir skripsi ini.

Dengan ini saya melimpahkan hak cipta dari karya tulis saya kepada Institut Pertanian Bogor.

Bogor, Agustus 2026

Nasywa Nozumi
G6401221048



@Hak cipta milik IPB University

IPB University



IPB University
— Bogor Indonesia —

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

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

© Hak Cipta milik IPB, tahun 2026
Hak Cipta dilindungi Undang-Undang

Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan atau menyebutkan sumbernya. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik, atau tinjauan suatu masalah, dan pengutipan tersebut tidak merugikan kepentingan IPB.

Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apa pun tanpa izin IPB.



ABSTRAK

NASYWA NOZUMI. Pengembangan Model Prediksi Risiko Kesehatan Akibat Paparan PM2.5 Menggunakan LSTM di Daerah Khusus Jakarta. Dibimbing oleh MUHAMMAD ASYHAR AGMALARO dan IMAS SUKAESIH SITANGGANG.

Penurunan kualitas udara akibat PM2.5 menjadi masalah kesehatan serius di Daerah Khusus Jakarta yang menempati posisi ke-15 di dunia. Penelitian ini bertujuan mengembangkan kerangka prediksi risiko kesehatan akibat paparan PM2.5 dengan mengintegrasikan data PM2.5, *Aerosol Optical Depth* (AOD), meteorologi ERA5, dan data Infeksi Saluran Pernapasan Akut (ISPA) dari Sistem Kewaspadaan Dini dan Respon (SKDR) Kementerian Kesehatan Republik Indonesia. Model *Long Short-Term Memory* (LSTM) digunakan untuk memprediksi konsentrasi PM2.5 dan jumlah kasus ISPA dengan memanfaatkan hubungan yang tidak linear serta pola keterkaitan antarvariabel dari waktu ke waktu, sehingga mampu merepresentasikan kondisi kualitas udara dan risiko kesehatan masyarakat pada periode mendatang. Model *forecasting* PM2.5 menghasilkan RMSE 4,0397, MAE 3,1963, MAPE 18,5326%, R^2 0,7933, model prediksi ISPA menghasilkan RMSE 1912,8461, MAE 1503,7368, MAPE 3,7482%, dan R^2 0,9414. Analisis menunjukkan hubungan langsung PM2.5 dan ISPA relatif lemah, namun keterkaitan meningkat hingga 0,215 pada selang waktu 8 minggu yang mengindikasikan adanya dampak yang tidak langsung muncul. Hasil kombinasi prediksi PM2.5 dan prediksi ISPA pada tahun 2026 yaitu didominasi oleh risiko kesehatan kategori sedang. Kerangka yang dikembangkan berpotensi digunakan sebagai *early warning system* untuk mendukung mitigasi risiko kesehatan akibat polusi udara di Daerah Khusus Jakarta.

Kata kunci: ERA5, Jakarta, kualitas udara, LSTM, PM2.5, risiko kesehatan.



ABSTRACT

NASYWA NOZUMI. Development of a Health Risk Prediction Model for PM2.5 Exposure Using LSTM in Special Capital Region of Jakarta. Supervised by MUHAMMAD ASYHAR AGMALARO and IMAS SUKAESIH SITANGGANG.

The decline in air quality caused by fine particulate matter (PM2.5) has become a major public health concern in the Special Capital Region of Jakarta, which ranks 15th among the world's most polluted cities. This study aimed to develop a health risk prediction framework for PM2.5 exposure by integrating PM2.5 concentration data, Aerosol Optical Depth (AOD), ERA5 meteorological variables, and Acute Respiratory Infection (ARI) data obtained from the Early Warning Alert and Response System (EWARS) of the Ministry of Health of the Republic of Indonesia. A Long Short-Term Memory (LSTM) model was employed to predict PM2.5 concentrations and ARI cases by capturing nonlinear relationships and temporal dependencies among variables, enabling the model to represent future air quality conditions and public health risks. The PM2.5 forecasting model achieved an RMSE of 4,0397, an MAE of 3,1963, a MAPE of 18,5326%, and an R^2 of 0,7933. Meanwhile, the ARI prediction model achieved an RMSE of 1912,8461, an MAE of 1503,7368, a MAPE of 3,7482%, and an R^2 of 0,9414. The analysis indicated that the direct relationship between PM2.5 and ARI was relatively weak; however, the correlation increased to 0,215 at an eight-week lag, suggesting a delayed health effect following PM2.5 exposure. The combination of PM2.5 forecasts and ARI predictions for 2026 was dominated by the moderate health risk category. The proposed framework has the potential to serve as an early warning system to support public health risk mitigation associated with air pollution in the Special Capital Region of Jakarta.

Keywords: air quality, ERA5, health risk, Jakarta, LSTM, PM2.5.

PENGEMBANGAN MODEL PREDIKSI RISIKO KESEHATAN AKIBAT PAPARAN PM2.5 MENGGUNAKAN LSTM DI DAERAH KHUSUS JAKARTA

NASYWA NOZUMI

Skripsi
sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar
Sarjana pada
Program Studi Ilmu Komputer

**PROGRAM SARJANA ILMU KOMPUTER
SEKOLAH SAINS DATA MATEMATIKA DAN INFORMATIKA
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2026**

@Hak cipta milik IPB University

IPB University





@Hak cipta milik IPB University

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

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



Judul Skripsi : Pengembangan Model Prediksi Risiko Kesehatan Akibat Paparan PM2.5 Menggunakan LSTM di Daerah Khusus Jakarta

Nama : Nasywa Nozumi
NIM : G6401221048

@Hak cipta milik IPB University

Disetujui oleh

Pembimbing 1:

Muhammad Asyhar Agmalaro, S. Si, M. Kom
NIP. 198603312012121001

Pembimbing 2:

Prof. Dr. Imas Sukaesih Sitanggang, S. Si, M. Kom
NIP. 197501301998022001

Diketahui oleh

Ketua Program Sarjana Ilmu Komputer:

Dr. Sony Hartono Wijaya, S. Kom, M. Kom
NIP. 198108092008121002

Tanggal Ujian:
7 Juli 2026

Tanggal Lulus:



PRAKATA

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah subhanaahu wa ta'ala atas segala karunia-Nya sehingga karya ilmiah ini berhasil diselesaikan. Tema yang dipilih dalam penelitian yang dilaksanakan sejak bulan Desember 2025 sampai bulan April 2026 ini ialah pengembangan prediksi risiko kesehatan berbasis data lingkungan, dengan judul “Pengembangan Model Prediksi Risiko Kesehatan Akibat Paparan PM2.5”. Terima kasih penulis ucapkan kepada Ayah, Ibu, serta seluruh keluarga besar yang telah memberikan dukungan, doa, dan kasih sayangnya serta dukungan mental yang terus diberikan hingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir dengan terus bersemangat.

Ungkapan terima kasih juga disampaikan kepada para pembimbing, Bapak Muhammad Asyhar Agmalaro, S.Si, M.Kom sebagai pembimbing pertama saya yang telah membimbing dan banyak memberikan saran. Terima kasih juga disampaikan kepada dosen pembimbing kedua saya Ibu Prof. Dr. Imas Sukaesih Sitanggang, S.Si, M.Kom, yang telah memberikan bimbingan dan juga masukkan atas penelitian saya, Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada pembimbing akademik, moderator seminar, dan penguji luar komisi pembimbing. Di samping itu, penghargaan penulis sampaikan kepada Kementerian Kesehatan Republik Indonesia, terkhusus kepada Divisi *Public Health Emergency Operation Center* (PHEOC), Bapak Abuchori, Ibu Mela, Bapak Jaya, Ibu Endah, Bapak Adi, Mba Sasa, Mas Rama, Mba Anisa, Mba Dina, Bapak Epiet dan Mas Thoriq beserta staf Infeksi *Emerging* Kementerian Kesehatan Republik Indonesia yang telah membantu saya selama proses pengumpulan data penelitian.

Terima kasih juga saya ucapkan kepada seluruh rekan organisasi saya Duta IPB University, Rumah Kedua, Yatuhan Tolong, Sobat Bumi, Anak Bayu, OPPO Indonesia, Fasilkom UI, Saudara/i Manik, Mario, Firman, Bintang, Farid, Deflin, Nurulisa, Andrea, Nabil, Hanifah, Nisrina, Maysa, Tiffany, Azka, Michelle, Pinkan, Indra, Aulia Septavio, dan Fadil yang telah memberikan dukungan dengan sepenuh hati selama saya mengerjakan skripsi.

Semoga karya ilmiah ini bermanfaat bagi pihak yang membutuhkan dan bagi kemajuan ilmu pengetahuan.

Bogor, Agustus 2026

Nasywa Nozumi

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

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



DAFTAR ISI

DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR GAMBAR	xii
PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	8
1.3 Tujuan	8
1.4 Manfaat	9
1.5 Ruang Lingkup	9
TINJAUAN PUSTAKA	10
2.1 <i>Particulate Matter</i> 2.5 (PM2.5)	10
2.2 Pra proses Data Temporal	11
2.2.1 <i>Linear Interpolation</i>	11
2.2.2 <i>Min-max Normalization</i>	11
2.3 <i>Long-Short Term Memory</i>	12
2.4 <i>Web Scrapping</i> Sebagai Metode Pengumpulan Data	14
2.5 <i>Aerosol Optical Depth</i>	15
2.6 Variabel Meteorologi Reanalisis ERA5	15
2.6.1 Koefisien Korelasi Pearson (r)	19
2.6.2 Koefisien Korelasi Peringkat Spearman (ρ)	19
2.6.3 Tekanan Udara (<i>Mean Sea Level Pressure</i> dan <i>Surface Pressure</i>)	20
2.7 <i>Aerosol Optical Depth</i> (AOD) dan Hubungannya dengan PM2.5	21
2.8 Infeksi Saluran Pernapasan Akut (ISPA) dan Kaitannya dengan Polusi Udara	21
2.9 <i>Optimizer</i> (Adam)	22
2.10 Optuna	22
2.11 Algoritme <i>Tree-structured Parzen Estimator</i>	23
2.12 <i>Z-score</i> dan Standarisasi Data	24
2.13 <i>Air Quality Index</i> (AQI) dan Kategori Risiko Kesehatan Akibat PM2.5	25
2.14 Klasifikasi Berbasis Aturan (<i>Rule-Based Classification</i>)	26
III METODE	27
3.1 Data Penelitian	27
3.2 Peralatan Penelitian	28
3.3 Tahapan Penelitian	29
3.3.1 Pengumpulan Data	30
3.3.2 Pra Proses Data	30
3.3.3 Pembagian Data	31
3.3.4 Pembangunan Model	31
3.3.5 <i>Hyperparameter Tuning</i>	32
3.3.6 Evaluasi Model	
IV HASIL DAN PEMBAHASAN	
4.1 Karakteristik Data	35
4.2 Pra proses Data	40
4.2.1 Periode Data	41

4.2.2	Praproses <i>Missing Value</i>	41
4.3	Hasil Pemodelan PM2.5 Menggunakan LSTM	42
4.4	Hasil Pemodelan ISPA Menggunakan LSTM	44
4.5	Evaluasi Model	46
4.6	<i>Forecast</i> PM2.5 menggunakan LSTM	47
4.7	<i>Forecast</i> ISPA Menggunakan Model LSTM	48
4.8	Analisis Risiko Kesehatan	49
4.9	Klasifikasi Risiko Kesehatan	51
V	SIMPULAN DAN SARAN	54
5.1	Simpulan	54
5.2	Saran	54
	DAFTAR PUSTAKA	56
	RIWAYAT HIDUP	62





DAFTAR TABEL

1	Klasifikasi risiko kesehatan berdasarkan konsentrasi PM2.5, kategori AQI, dan potensi dampak ISPA	25
2	Klasifikasi risiko akhir	26
3	Data penelitian	27
4	Data penelitian(<i>lanjutan</i>)	28
5	Interpretasi nilai MAPE	33
6	Parameter terbaik model 1 PM2.5	42
7	Parameter terbaik model 2 ISPA	45
8	Hasil evaluasi model	47
9	Hasil <i>forecasting</i> LSTM PM2.5	48
10	Hasil <i>forecast</i> LSTM ISPA	49
11	Perubahan <i>forecasting</i>	51
12	Klasifikasi risiko kesehatan berdasarkan konsentrasi PM2.5, kategori AQI, dan potensi dampak ISPA	51
13	Klasifikasi risiko kesehatan berdasarkan konsentrasi PM2.5, kategori AQI, dan potensi dampak ISPA(<i>lanjutan</i>)	52
14	Klasifikasi risiko ISPA	52
15	Hasil prediksi risiko kesehatan	52

DAFTAR GAMBAR

1	Sumber dan komponen PM2.5 serta dampaknya terhadap kesehatan manusia	2
2	Mekanisme polusi udara partikulat (PM) terhadap sistem pernapasan	3
3	Nilai koefisien korelasi (r) pada 68 kota besar	4
4	Histogram distribusi nilai koefisien korelasi (r) pada tujuh wilayah	4
5	Diagram sebaran untuk konsentrasi PM2.5 dan AOD di 9 wilayah metropolitan	5
6	Arsitektur LSTM (Pyo <i>et al.</i> 2023)	12
7	Tahapan penelitian	29
8	<i>Heatmap</i> korelasi meteorologi dan lingkungan	35
9	<i>Heatmap</i> korelasi PM2.5	36
10	<i>Heatmap</i> korelasi ISPA	36
11	Korelasi fitur waktu	37
12	Tren ISPA mingguan	38
13	Tren tumpang tindih PM2.5 dan ISPA	38
14	Hubungan PM2.5 dan ISPA	39
15	Korelasi PM2.5 terhadap ISPA	40
16	Nilai PM2.5 aktual dan prediksi dari model LSTM	43
17	<i>Training loss</i> PM2.5 model LSTM	44
18	<i>Training loss</i> ISPA model LSTM	45
19	Nilai ISPA aktual dan prediksi dari model LSTM	46
20	<i>Forecast</i> PM2.5	50
21	<i>Forecast</i> ISPA	50