

MODEL *SPATIO-TEMPORAL CLUSTERING* UNTUK ESTIMASI PM2.5 DI JAKARTA

LUTFIAH NURSABILIYANTI



PROGRAM SARJANA ILMU KOMPUTER
SEKOLAH SAINS DATA, MATEMATIKA, DAN INFORMATIKA
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2025

- 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.

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 menggunakan 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 “Model *Spatio-Temporal Clustering* untuk Estimasi PM2.5 di 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 2025

Lutfiah Nursabiliyanti
G6401211041

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.

ABSTRAK

LUTFIAH NURSABILIYANTI. Model *Spatio-Temporal Clustering* untuk Estimasi PM2.5 di Jakarta. Dibimbing oleh IMAS SUKAESIH SITANGGANG dan HENDRA RAHMAWAN.

PM2.5 memiliki dampak buruk terhadap kesehatan manusia karena dapat menembus hingga alveoli paru-paru dan saat ini pemantauan kualitas udara di Jakarta cakupannya belum menyeluruh. Selain itu, sebaran PM2.5 cenderung bervariasi secara spasial dan temporal. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk membuat model estimasi PM2.5 di Jakarta berdasarkan data Himawari AOD dan cuaca pada tahun 2022 hingga 2024 menggunakan Random Forest Regressor dan *clustering* menggunakan ST-DBSCAN. Hasil penelitian menunjukkan model estimasi PM2.5 terbaik didapatkan dengan $R^2 = 0,63$ dan $MAE = 8,035$. Hasil *clustering* terbaik menghasilkan koefisien Silhouette sebesar 0,75 pada sub *dataset* musim hujan (Desember – Februari) 2023. *Cluster* yang terbentuk yaitu tiga *cluster* yang terdiri dari 2.094, 1.458, dan 878 titik data dan 45 titik *noise* dengan rata-rata PM2.5 tiap *cluster* melebihi batas aman yang ditetapkan Menteri LHK dan WHO, yaitu 70,12 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 62,71 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, dan 52,18 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Hasil penelitian ini diharapkan dapat membantu pemerintah dan pihak lain yang terkait dalam merancang kebijakan dan strategi pengendalian polusi udara di Jakarta.

Kata kunci: AOD, Himawari, PM2.5, *Spatio-Temporal Clustering*, ST-DBSCAN

ABSTRACT

LUTFIAH NURSABILIYANTI. Spatio-Temporal Clustering Model for PM2.5 Estimation in Jakarta. Supervised by IMAS SUKAESIH SITANGGANG of 1st SUPERVISOR and HENDRA RAHMAWAN of 2nd SUPERVISOR.

PM2.5 has negative impacts on human health because it can penetrate into lung alveoli and currently air quality monitoring in Jakarta is not comprehensive. In addition, the distribution of PM2.5 tends to vary spatially and temporally. Therefore, this study aims to create PM2.5 estimation model in Jakarta based on Himawari AOD and weather data in 2022 to 2024 using Random Forest Regressor and clustering using ST-DBSCAN. The results showed that the best PM2.5 estimation model was obtained with $R^2 = 0,63$ and $MAE = 8,035$. The best clustering result produced a Silhouette coefficient of 0,75 on the 2023 rainy season (December – February) sub dataset. Three clusters were formed consisting of 2.094, 1.458, and 878 data points and 45 noise points with the average PM2.5 in each cluster exceeding the safe limits set by the Minister of Environment and Forestry and WHO, which are 70,12 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 62,71 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, and 52,18 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. The results of this study are designed to help the government and other related stakeholders in designing air pollution control policies and strategies in Jakarta.

Keywords: AOD, Himawari, PM2.5, *Spatio-Temporal Clustering*, ST-DBSCAN.

- 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 2025
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.

MODEL *SPATIO-TEMPORAL CLUSTERING* UNTUK ESTIMASI PM2.5 DI JAKARTA

LUTFIAH NURSABILIYANTI

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
2025**

- 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 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 : Model *Spatio-Temporal Clustering* untuk Estimasi PM2.5 di Jakarta

Nama : Lutfiah Nursabiliyanti

NIM : G6401211041

Disetujui oleh

Pembimbing 1:

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

Pembimbing 2:

Dr. Hendra Rahmawan, S.Kom., M.T.

Diketahui oleh

Ketua Program Sarjana Ilmu Komputer:

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

NIP 19810809 200812 1002

Tanggal Ujian:
15 Juli 2025

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 Agustus 2024 sampai bulan Agustus 2025 ini ialah analisis kualitas udara, dengan judul “Model *Spatio-Temporal Clustering* untuk Estimasi PM2.5 di Jakarta”.

Penulis dapat menyelesaikan penelitian ini tentunya dengan bantuan dari banyak pihak. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih sebesar-besarnya kepada:

- Orang tua dan adik penulis yang telah memberikan dukungan, doa, dan kasih sayang kepada penulis selama perkuliahan hingga proses penelitian dan penyusunan,
- Ibu Prof. Dr. Imas Sukaesih Sitanggang, S.Si., M.Kom., dan Bapak Dr. Hendra Rahmawan, S.Kom., M.T. selaku dosen pembimbing skripsi yang senantiasa membimbing dan banyak memberi saran serta arahan selama penelitian,
- c. Bapak Muhammad Asyhar Agmalaro, S.Si., M.Kom. yang senantiasa membantu memberi saran dan arahan selama penelitian,
- d. Atul, Aul, Cilla, Dinda, Syifa, Tata, Della, Nisa, serta seluruh teman penulis yang tidak dapat disebutkan satu per satu yang selalu memberikan semangat, dukungan, motivasi, dan menemani penulis selama masa perkuliahan, penelitian, hingga penulisan skripsi ini.

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

Bogor, Agustus 2025

Lutfiah Nursabiliyanti

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.

DAFTAR ISI

DAFTAR TABEL	viii
DAFTAR GAMBAR	viii
I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan	2
1.4 Manfaat	2
1.5 Ruang Lingkup	2
II TINJAUAN PUSTAKA	3
2.1 <i>Particulate Matter (PM) 2.5</i>	3
2.2 <i>Aerosol Optical Depth</i>	5
2.3 Himawari 8 dan 9	5
2.4 Random Forest Regressor	6
2.5 Spatio-Temporal Density-Based Spatial Clustering of Applications with Noise	7
III METODE	9
3.1 Data Penelitian	9
3.2 Tahapan Penelitian	10
IV HASIL DAN PEMBAHASAN	13
4.1 Pengumpulan Data	13
4.2 Praproses dan Eksplorasi Data	13
4.3 Pemodelan RFR	19
4.4 Evaluasi Model RFR	19
4.5 Estimasi PM2.5	20
4.6 <i>Clustering</i> ST-DBSCAN	21
4.7 Evaluasi <i>Cluster</i>	21
4.8 Visualisasi <i>Cluster</i>	22
V SIMPULAN DAN SARAN	27
5.1 Simpulan	27
5.2 Saran	27
DAFTAR PUSTAKA	29
RIWAYAT HIDUP	32



DAFTAR TABEL

1	Lokasi SPKUA dan LCS di Jakarta	3
2	Atribut data pengukuran kualitas udara	9
3	Atribut data cuaca	10
4	Atribut data AOD	10
5	Koordinat delapan titik pengukuran kualitas udara di Jakarta	13
6	Contoh hasil <i>feature selection</i> dan <i>data transformation</i> data PM2.5	13
7	Statistik deskriptif data PM2.5	14
8	Contoh hasil transformasi atribut <i>Name</i>	15
9	Statistik deskriptif data AOD	15
10	Korelasi atribut prediktor terhadap target model estimasi PM2.5	17
11	Jumlah baris sub <i>dataset</i> untuk <i>clustering</i>	18
12	Nilai yang diuji pada <i>hyperparameter tuning</i> pemodelan RFR	19
13	Hasil evaluasi model RFR	19
14	Contoh hasil estimasi PM2.5	21
15	Nilai yang diuji pada <i>hyperparameter tuning clustering</i> ST-DBSCAN	21
16	Kombinasi parameter ST-DBSCAN terbaik setiap sub <i>dataset</i> PM2.5	22
17	Statistik deskriptif PM2.5 pada setiap <i>cluster</i> DJF 2023	22
18	Rata-rata PM2.5 tiap <i>clsuter</i> pada seluruh sub <i>dataset</i>	25

DAFTAR GAMBAR

1	Tampilan peta sebaran PM2.5 portal Kualitas Udara Jakarta	4
2	Ilustrasi metode RFR	6
3	Tahapan penelitian	10
4	Tren rata-rata PM2.5 setiap musim pada tahun 2022 hingga 2024	14
5	Tren rata-rata AOD setiap musim pada tahun 2022 hingga 2024	16
6	Ilustrasi irisan <i>grid cell</i> AOD dengan titik SPKUA dan LCS	16
7	<i>Boxplot</i> PM2.5	17
8	<i>Feature importance</i> model RFR terbaik	20
9	Visualisasi <i>cluster</i> (a) DJF, (b) MAM, (c) JJA, (d) SON tahun 2022	23
10	Visualisasi <i>cluster</i> (a) DJF, (b) MAM, (c) JJA, (d) SON tahun 2023	24
11	Visualisasi <i>cluster</i> (a) DJF, (b) MAM, (c) JJA, (d) SON tahun 2024	24
12	Diagram batang rata-rata PM2.5 setiap <i>cluster</i> per musim (a) DJF, (b) MAM, (c) JJA, (d) SON	26

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 menggunakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.