



ANALISIS DAMPAK PAPARAN PM_{2.5} TERHADAP KESEHATAN MASYARAKAT MENGGUNAKAN PENDEKATAN *SPATIO-TEMPORAL CLUSTERING*

DHAMANG MAHINDRA PRIHANTOKO



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



PERNYATAAN MENGENAI TESIS DAN SUMBER INFORMASI SERTA PELIMPAHAN HAK CIPTA

Dengan ini saya menyatakan bahwa tesis dengan judul “Analisis Dampak Paparan PM2.5 terhadap Kesehatan Masyarakat Menggunakan Pendekatan *Spatio-Temporal Clustering*” 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 tesis ini.

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

Bogor, Juli 2026

Dhamang Mahindra Prihantoko
G6501221015

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.

RINGKASAN

DHAMANG MAHINDRA PRIHANTOKO. Analisis Dampak Paparan PM2.5 terhadap Kesehatan Masyarakat Menggunakan Pendekatan *Spatio-Temporal Clustering*. Dibimbing oleh IMAS SUKAESIH SITANGGANG dan HARI AGUNG ADRIANTO.

Pencemaran udara akibat partikulat halus PM2.5 merupakan salah satu permasalahan lingkungan utama di wilayah perkotaan padat penduduk seperti Provinsi DKI Jakarta. Berdasarkan laporan Dinas Lingkungan Hidup DKI Jakarta, kualitas udara Jakarta pada periode 2023–2025 didominasi oleh polutan PM2.5 yang beberapa kali melampaui baku mutu udara ambien. Sebagian besar penelitian terdahulu masih berfokus pada analisis konsentrasi PM2.5 dan belum secara eksplisit mengaitkannya dengan distribusi penduduk yang terpapar maupun dampak kesehatan masyarakat. Penelitian ini bertujuan mengidentifikasi pola spasio-temporal PM2.5 menggunakan ST-DBSCAN, menentukan parameter ST-DBSCAN yang optimal, menghitung *Relative Exposure Risk* (RER) berdasarkan distribusi spasial PM2.5 dan populasi, menganalisis hubungan RER dengan kejadian ISPA, serta menganalisis karakteristik *cluster* berdasarkan volume lalu lintas dan faktor meteorologi.

Penelitian menggunakan data sekunder tahun 2025 dari Pemerintah Provinsi DKI Jakarta. Data PM2.5 harian dari 115 titik pemantauan dibersihkan, diagregasi menjadi rata-rata harian, dan diinterpolasi menggunakan *Inverse Distance Weighting* (IDW) pada *grid* 1 km × 1 km yang mencakup wilayah daratan Jakarta. Pengelompokan spasio-temporal dilakukan dengan ST-DBSCAN, sedangkan estimasi risiko paparan dihitung melalui pendekatan RER yang mengintegrasikan konsentrasi PM2.5 dan jumlah penduduk. Hubungan RER dengan ISPA dianalisis pada tingkat kecamatan, dan faktor asosiasi variasi PM2.5 diidentifikasi menggunakan model *Random Forest*.

Kombinasi parameter $eps1 = 1,5$ km, $eps2 = 60$ hari, dan $MinPts = 30$ menghasilkan 64 *cluster* spasio-temporal dengan *silhouette score* 0,703 dan *noise* 0,58%. *Cluster* berkategori tinggi terkonsentrasi pada wilayah dengan kepadatan penduduk dan aktivitas lalu lintas tinggi, khususnya di Jakarta Pusat dan Jakarta Timur. *Grid* dengan RER tinggi juga terkonsentrasi di wilayah tengah dan timur Jakarta. Nilai RER berkorelasi sangat kuat terhadap jumlah penduduk ($r = 0,948$). Hubungan antara RER dan angka ISPA pada tingkat kecamatan tergolong lemah dan tidak signifikan secara statistik (Pearson $r = 0,052$; $p = 0,745$). Hasil ini mengindikasikan ISPA dipengaruhi oleh faktor lain di luar paparan PM2.5.

Model *Random Forest* mengidentifikasi curah hujan, kepadatan penduduk, volume lalu lintas, dan kecepatan kendaraan sebagai faktor yang paling berpengaruh terhadap variasi PM2.5, sedangkan kecepatan angin menunjukkan asosiasi temporal terkuat. Hasil penelitian menunjukkan bahwa integrasi pendekatan ST-DBSCAN dan RER efektif mengarakterisasi kondisi spasio-temporal kualitas udara perkotaan di Jakarta dan dapat dimanfaatkan sebagai dasar penyusunan strategi pengendalian pencemaran udara.

Kata kunci: *Inverse Distance Weighting*, PM2.5, *Relative Exposure Risk*, *Spatio-Temporal Clustering*, ST-DBSCAN



SUMMARY

DHAMANG MAHINDRA PRIHANTOKO. Analysis of PM2.5 Exposure Impacts on Public Health Using a Spatio-Temporal Clustering Approach. Supervised by IMAS SUKAESIH SITANGGANG and HARI AGUNG ADRIANTO.

Air pollution from fine particulate matter (PM2.5) is a major environmental problem in densely populated urban areas such as DKI Jakarta. Reports from the DKI Jakarta Environmental Agency show that PM2.5 dominated Jakarta's air quality during 2023–2025 and exceeded ambient air quality standards several times. Most previous studies focused on PM2.5 concentration and did not explicitly link it with the distribution of exposed populations or public health outcomes. This study aims to identify the spatio-temporal pattern of PM2.5 using ST-DBSCAN, determine the optimal ST-DBSCAN parameters, estimate Relative Exposure Risk (RER) based on spatial PM2.5 distribution and population, examine the relationship between RER and Acute Respiratory Infection (ARI), and analyze cluster characteristics based on traffic volume and meteorological factors.

This study used 2025 secondary data from the DKI Jakarta Provincial Government. Daily PM2.5 records from 115 monitoring points were cleaned, aggregated into daily means, and interpolated using Inverse Distance Weighting (IDW) onto a 1 km × 1 km grid covering Jakarta's land area. Spatio-temporal clustering was performed using ST-DBSCAN. Exposure risk was estimated using the RER approach by integrating PM2.5 concentration and population. The relationship between RER and ARI was analyzed at the sub-district level, while factors associated with PM2.5 variation were examined using correlation analysis and a Random Forest model.

The parameter combination $\text{eps1} = 1.5 \text{ km}$, $\text{eps2} = 60 \text{ days}$, and $\text{MinPts} = 30$ produced 64 spatio-temporal clusters with a silhouette score of 0.703 and 0.58% noise. High-category clusters were concentrated in areas with high population density and intensive traffic activity, particularly in Central and East Jakarta. High-RER grids were also concentrated in central and eastern Jakarta. RER was strongly correlated with population ($r = 0.948$). The relationship between RER and ARI rate at the sub-district level was weak and statistically insignificant (Pearson $r = 0.052$; $p = 0.745$), indicating that ARI is influenced by factors beyond ambient PM2.5 exposure.

The Random Forest model identified rainfall, population density, traffic volume, and vehicle speed as the most influential factors associated with PM2.5 variation, while wind speed showed the strongest temporal association. Overall, integrating ST-DBSCAN and RER effectively characterizes the spatio-temporal condition of urban air quality in Jakarta. The findings can support air pollution control strategies that consider both high PM2.5 concentrations and large exposed populations.

Keywords: Inverse Distance Weighting, PM2.5, Relative Exposure Risk, Spatio-Temporal Clustering, ST-DBSCAN

@Hak Cipta Mahindra Prihantoko



@Hak cipta milik IPB University

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.

© 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.

ANALISIS DAMPAK PAPARAN PM_{2.5} TERHADAP KESEHATAN MASYARAKAT MENGGUNAKAN PENDEKATAN *SPATIO-TEMPORAL CLUSTERING*

DHAMANG MAHINDRA PRIHANTOKO

Tesis
sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar
Magister pada
Program Magister Ilmu Komputer

**PROGRAM MAGISTER 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.

Tim Penguji pada Ujian Tesis:
Rina Trisminingsih, S.Kom., M.T., Ph.D.



Judul Tesis : Analisis Dampak Paparan PM2.5 terhadap Kesehatan Masyarakat
Menggunakan Pendekatan *Spatio-Temporal Clustering*
Nama : Dhamang Mahindra Prihantoko
NIM : G6501221015

@Hak cipta milik IPB University

Disetujui oleh

Pembimbing 1:

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

Pembimbing 2:

Hari Agung Adrianto, S.Kom., M.Si., Ph.D.

Diketahui oleh

Ketua Program Studi:

Irman Hermadi, S.Kom., M.S., Ph.D.

NIP. 197503112006041009

Dekan Sekolah Sains Data, Matematika dan Informatika:

Prof. Dr. Ir. Agus Buono, M.Si., M.Kom.

NIP. 196607021993021001

Tanggal Ujian:

16 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 karya ilmiah ini ialah pencemaran udara perkotaan, dengan judul “Analisis Dampak Paparan PM2.5 terhadap Kesehatan Masyarakat Menggunakan Pendekatan *Spatio-Temporal Clustering*”.

Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada kedua orang tua dan seluruh keluarga tercinta atas segala doa, kasih sayang, dukungan, motivasi, serta pengorbanan yang tiada henti selama proses penyusunan karya ilmiah ini. Ucapan terima kasih juga penulis sampaikan kepada para pembimbing, Prof. Dr. Imas Sukaesih Sitanggang, S.Si., M.Kom. dan Hari Agung Adrianto, S.Kom., M.Si., Ph.D., yang telah memberikan bimbingan, arahan, serta berbagai masukan yang sangat berharga selama penyusunan karya ilmiah ini. Penulis juga menyampaikan terima kasih kepada moderator seminar, Dr. Ir. Erfiani, M.Si. serta penguji luar komisi pembimbing, Rina Trisminingsih, S.Kom., M.T., Ph.D. atas saran dan masukan yang membangun. Di samping itu, penulis menyampaikan penghargaan kepada Pemerintah Provinsi DKI atas penyediaan data yang digunakan dalam penelitian ini.

Semoga karya ilmiah ini bermanfaat bagi pihak-pihak yang membutuhkan serta memberikan kontribusi terhadap pengembangan ilmu pengetahuan. Penulis juga berharap penelitian ini dapat menjadi referensi dan bahan pertimbangan bagi penelitian selanjutnya yang berkaitan dengan topik yang sama.

Bogor, Juli 2026

Dhamang Mahindra Prihantoko

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	x
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR LAMPIRAN	xi
PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan	3
1.4 Manfaat	4
1.5 Ruang Lingkup	4
TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Pencemaran Udara dan Kualitas Udara	5
2.2 Partikulat Halus (PM2.5)	6
2.3 Indeks Standar Pencemar Udara (ISPU)	8
2.4 Volume Lalu Lintas	9
2.5 Demografi Penduduk	10
2.6 Infeksi Saluran Pernapasan Akut (ISPA)	12
2.7 <i>Clustering Spasio-Temporal</i>	14
2.8 Algoritma ST-DBSCAN	15
2.9 Interpolasi <i>Inverse Distance Weighting</i> (IDW)	18
2.10 <i>Relative Exposure Risk</i> (RER)	19
2.11 <i>Silhouette Coefficient</i>	20
2.12 <i>Random Forest</i>	20
2.13 Uji Beda dan Analisis Korelasi	21
METODE	22
3.1 Area Penelitian	22
3.2 Data Penelitian	23
3.3 Tahapan Penelitian	24
3.4 Lingkungan Pengembangan	31
HASIL DAN PEMBAHASAN	33
4.1 <i>Exploratory Data Analysis</i> (EDA)	33
4.2 Hasil <i>Clustering</i> PM2.5 Menggunakan ST-DBSCAN	36
4.3 <i>Relative Exposure Risk</i> (RER)	38
4.4 Hubungan RER dengan Kejadian ISPA	42
4.5 Karakteristik <i>Cluster</i> Berdasarkan Faktor Asosiasi	44
4.6 Karakterisasi Pola Spasio-Temporal <i>Cluster</i>	49
SIMPULAN DAN SARAN	51
5.1 Simpulan	51
5.2 Saran	51
DAFTAR PUSTAKA	53
LAMPIRAN	58
RIWAYAT HIDUP	64



DAFTAR TABEL

1	Penentuan kategori ISPU	8
2	Ringkasan karakteristik <i>dataset</i>	23
3	Lokasi SPKU DKI Jakarta	24
4	Deskripsi atribut <i>dataset</i> PM2.5	25
5	Deskripsi atribut <i>dataset</i> kependudukan	26
6	Deskripsi atribut <i>dataset</i> volume lalu lintas	26
7	Deskripsi atribut <i>dataset</i> meteorologi	27
8	Deskripsi atribut <i>dataset</i> ISPA	28
9	Statistik deskriptif variabel utama	33
10	Ringkasan kategori <i>cluster</i> PM2.5	37
11	Dampak paparan populasi menurut kategori risiko RER	40
12	Profil faktor asosiasi menurut kategori <i>cluster</i> PM2.5	45
13	Uji beda faktor lalu lintas antarkategori <i>cluster</i> PM2.5	47
14	Evaluasi model faktor asosiasi PM2.5	48
15	Korelasi spasial faktor terhadap PM2.5-IDW dan RER	48
16	Distribusi tipe <i>cluster</i> menurut kategori konsentrasi PM2.5	50

DAFTAR GAMBAR

1	Tren rata-rata harian kualitas udara DKI Jakarta	5
2	Jumlah kendaraan per hari di Jakarta tahun 2023	10
3	Jumlah penduduk DKI Jakarta menurut wilayah	11
4	Jumlah kasus ISPA bulanan di DKI Jakarta	13
5	Peta wilayah administrasi Provinsi DKI Jakarta dan sekitarnya	22
6	Tahapan penelitian	24
7	Permohonan informasi publik PPID DKI Jakarta	25
8	Permohonan informasi PPID Dinas Kesehatan DKI Jakarta	27
9	Grafik harian PM2.5, volume lalu lintas, dan curah hujan	34
10	Sebaran spasial titik pemantauan di DKI Jakarta	35
11	Korelasi temporal harian faktor asosiasi terhadap PM2.5	35
12	Sebaran <i>cluster</i> PM2.5 hasil ST-DBSCAN	37
13	Estimasi PM2.5 (a) dan RER (b) per <i>grid</i> 1 km	39
14	Peta <i>Relative Exposure Risk area-weighted</i> per kelurahan	41
15	Hubungan RER dengan angka ISPA per kecamatan	42
16	Peringkat faktor asosiasi PM2.5 berdasarkan <i>Random Forest</i>	45
17	Sebaran volume lalu lintas antarkategori <i>cluster</i> PM2.5	47
18	Hubungan faktor meteorologi terhadap PM2.5 tingkat <i>cluster</i>	49
19	Distribusi tipe <i>cluster</i> spasio-temporal PM2.5	49
20	Kubus ruang-waktu sebaran <i>cluster</i> PM2.5 menurut tipe	50



DAFTAR LAMPIRAN

1	Evaluasi dan seleksi parameter ST-DBSCAN pada sampel data	59
2	Statistik RER, angka ISPA, dan populasi per kecamatan	62

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.