

KLASIFIKASI WILAYAH PERLINDUNGAN DAN PENGELOLAAN MUTU UDARA (WPPMU) JABODETABEK BERBASIS INDEKS BIOFISIK, $PM_{2.5}$, DAN FAKTOR METEOROLOGI

NISA RIZKA YUNIARTI



**DEPARTEMEN GEOFISIKA DAN METEOROLOGI
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
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 “Klasifikasi Wilayah Perlindungan Dan Pengelolaan Mutu Udara (WPPMU) Jabodetabek Berbasis Indeks Biofisik, $PM_{2.5}$, dan Faktor Meteorologi” 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, Juli 2026

Nisa Rizka Yuniarti
G2401221024



@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.



ABSTRAK

NISA RIZKA YUNIARTI. Klasifikasi Wilayah Perlindungan dan Pengelolaan Mutu Udara (WPPMU) Jabodetabek Berbasis Indeks Biofisik, $PM_{2.5}$, dan Faktor Meteorologi. Dibimbing oleh ANA TURYANTI.

Batas Wilayah Perlindungan dan Pengelolaan Mutu Udara (WPPMU) di Jabodetabek belum ditetapkan resmi, meskipun PP Nomor 22 Tahun 2021 membagi WPPMU menjadi tiga kelas. Penelitian ini bertujuan mengklasifikasikan WPPMU di Jabodetabek, menganalisis karakteristik tiap kelas, serta menguji hubungan $PM_{2.5}$ dengan faktor meteorologi antarkelas selama periode 2022–2023. Klasifikasi dilakukan pada 13 kabupaten/kota di Jabodetabek menggunakan parameter indeks vegetasi (NDVI) dan indeks keterbangunan (NDBI) dari citra Landsat 8/9, konsentrasi $PM_{2.5}$, serta variabel meteorologi dari data GEOS-CF periode 2022–2023. Variabel dibobot menggunakan *Entropy Weight Method* dan dikelompokkan melalui K-Means *clustering*, menghasilkan Kabupaten Bogor Kelas I, Kota Bogor, Kabupaten Tangerang, dan Kabupaten Bekasi Kelas II, serta sembilan wilayah Kelas III (*Silhouette Score* 0,4381, *Davies-Bouldin Index* 0,5741). NDVI menjadi variabel menentukan dengan bobot 58,8%, melebihi bobot konsentrasi $PM_{2.5}$ dan NDBI. Suhu, kelembapan, dan tinggi lapisan batas atmosfer berbeda antarkelas, sedangkan angin zonal berkorelasi dengan $PM_{2.5}$. Kruskal-Wallis mengonfirmasi perbedaan $PM_{2.5}$ antarkelas ($p < 0,05$). Analisis kecamatan menunjukkan variasi kelas, dengan Bogor 57,5% Kelas I, 30,0% Kelas II, 12,5% Kelas III, Tangerang 48,3% Kelas I, 34,5% Kelas II, 17,2% Kelas III, dan Bekasi 56,5% Kelas I, 39,1% Kelas II, 4,3% Kelas III. $PM_{2.5}$ melampaui baku mutu Permen LH/BPLH Nomor 5 Tahun 2026 pada keempat skenario koreksi bias.

Kata kunci: faktor meteorologi, K-Means, NDVI-NDBI, $PM_{2.5}$, WPPMU



@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.



ABSTRACT

NISA RIZKA YUNIARTI. Classification of Air Quality Protection and Management Zones (WPPMU) in Jabodetabek Based on Biophysical Indices, PM_{2.5}, and Meteorological Factors. Supervised by ANA TURYANTI.

The boundaries of Air Quality Protection and Management Areas (WPPMU) in Jabodetabek remain unestablished, though Government Regulation No. 22/2021 divides WPPMU into three classes. This study classifies WPPMU, analyzes each class's characteristics, and examines the relationship between PM_{2.5} and meteorological factors across classes during 2022–2023. Classification covered 13 regencies/cities in Jabodetabek using vegetation index (NDVI) and built-up index (NDBI) from Landsat 8/9 imagery, PM_{2.5} concentrations, and meteorological variables from GEOS-CF for 2022–2023. Variables were weighted using Entropy Weight Method and grouped through K-Means clustering, with Bogor Regency as Class I, Bogor City, Tangerang, and Bekasi Regencies as Class II, and nine remaining regions as Class III (Silhouette Score 0,4381, Davies-Bouldin Index 0,5741). NDVI was the determining variable, weighted 58,8%, exceeding PM_{2.5} concentration and NDBI. Air temperature, relative humidity, and planetary boundary layer height differed across classes, while zonal wind correlated with PM_{2.5}. Kruskal-Wallis confirmed differences in PM_{2.5} between classes ($p < 0,05$). District-level analysis showed class variation, with Bogor 57,5% Class I, 30,0% Class II, 12,5% Class III, Tangerang 48,3% Class I, 34,5% Class II, 17,2% Class III, and Bekasi 56,5% Class I, 39,1% Class II, 4,3% Class III. PM_{2.5} exceeded Permen LH/BPLH No. 5/2026 standards under four bias-correction scenarios.

Keywords: K-Means, meteorological factor, NDVI-NDBI, PM_{2.5}, WPPMU



@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.



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.



@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.

KLASIFIKASI WILAYAH PERLINDUNGAN DAN PENGELOLAAN MUTU UDARA (WPPMU) JABODETABEK BERBASIS INDEKS BIOFISIK, $PM_{2.5}$, DAN FAKTOR METEOROLOGI

NISA RIZKA YUNIARTI

Skripsi
sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar
Sarjana Sains pada
Program Studi Meteorologi Terapan

**DEPARTEMEN GEOFISIKA DAN METEOROLOGI
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
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 Skripsi:

- 1 Dr. Rahmat Hidayat, S.Si., M.Si.
- 2 Sonni Setiawan, S.Si., M.Si.

Judul Skripsi : Klasifikasi Wilayah Perlindungan dan Pengelolaan Mutu Udara (WPPMU) Jabodetabek Berbasis Indeks Biofisik, PM_{2.5}, dan Faktor Meteorologi

Nama : Nisa Rizka Yuniarti
NIM : G2401221024

Disetujui oleh

Pembimbing:
Dr. Ana Turyanti, S.Si., M.T.



Diketahui oleh

Ketua Departemen Geofisika dan Meteorologi:
Dr. Ana Turyanti, S.Si., M.T.
NIP 197107071998032002



Tanggal Ujian:
14 Juli 2026

Tanggal Lulus:



@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.

PRAKATA

Puji dan syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah Subhanahu wa Ta'ala atas segala rahmat, karunia, dan ridha-Nya sehingga karya ilmiah ini berhasil diselesaikan. Penelitian yang dilaksanakan sejak bulan November 2025 hingga Juli 2026 ini mengangkat tema pencemaran atmosfer dengan judul "Klasifikasi Wilayah Perlindungan dan Pengelolaan Mutu Udara (WPPMU) Jabodetabek Berbasis Indeks Biofisik, PM_{2.5}, dan Faktor Meteorologi."

Penyusunan karya ilmiah ini tidak lepas dari doa, dukungan, bantuan, bimbingan, serta motivasi dari berbagai pihak. Dengan penuh rasa syukur, penulis mengucapkan terima kasih setulus-tulusnya kepada:

1. Ibu Dr. Ana Turyanti, S.Si., M.T., selaku dosen pembimbing skripsi yang telah meluangkan waktu, tenaga, dan pikiran untuk membimbing penulis dengan penuh kesabaran. Terima kasih atas setiap arahan, masukan, motivasi, dan ilmu yang diberikan sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan baik.
2. Bapak Dr. I Putu Santikayasa, S.Si., M.Sc., selaku dosen pembimbing akademik yang telah memberikan arahan dan membantu penulis selama menjalani proses akademik di IPB University.
3. Seluruh dosen dan tenaga kependidikan Departemen Geofisika dan Meteorologi, IPB University, yang telah memberikan ilmu, bantuan, dan pengalaman berharga selama masa perkuliahan.
4. Bapak Yayat dan Ibu Tuti, orang tua penulis yang selalu memberikan kasih sayang, doa, dukungan, nasihat, dan kepercayaan kepada penulis. Terima kasih atas segala doa, cinta, dan kasih sayang yang tidak pernah putus.
5. Kakak penulis, Rizky Maulana Yusup, yang selalu menjadi sosok yang penulis andalkan. Terima kasih atas segala perhatian, dukungan, bantuan, dan kasih sayang yang selalu diberikan tanpa pamrih. Terima kasih telah menjadi teladan melalui setiap pengorbanan, kerja keras, dan ketulusan. Segala kebaikan yang telah diberikan akan selalu menjadi kebanggaan dan rasa syukur bagi penulis.
6. Seluruh keluarga besar penulis, khususnya kakek, nenek, tante, dan sepupu, yang senantiasa memberikan doa, perhatian, dan dukungan kepada penulis.
7. Aud dan Dea, yang selalu kebersamai penulis selama masa perkuliahan. Terima kasih karena selalu hadir di setiap proses, baik dalam suka maupun duka. Segala perhatian, bantuan, dan kebersamaan yang diberikan akan selalu menjadi kenangan yang berharga bagi penulis.
8. Guncis, Andin, Erlita, Yacin, dan Zia, yang telah menjadi teman seperjalanan penulis selama menempuh pendidikan. Terima kasih atas segala bantuan, dukungan, dan kebersamaan yang telah diberikan. Penulis sangat bersyukur dapat mengenal dan melewati masa perkuliahan bersama kalian.
9. Sandra, Manda, dan Pasha, sahabat penulis sejak bangku SMP. Terima kasih karena selalu memberikan doa, dukungan, dan semangat, serta tetap menjadi bagian dari perjalanan penulis hingga saat ini.



@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.



10. Rifa, Deska, Aufa, Nindya, Fadhilah, dan keluarga NIM 24, yang selalu memberikan dukungan dan semangat kepada penulis. Terima kasih telah memberikan begitu banyak energi positif.
11. Ditania, Purwietha, Fathania, Nadyah, dan Aziziah, selaku teman seperjuangan bimbingan yang telah berbagi ilmu, pengalaman, masukan, serta saling mendukung selama proses penelitian dan penyusunan skripsi.
12. Seluruh keluarga Civitas Gahar serta teman-teman lain yang tidak dapat penulis sebutkan satu per satu. Terima kasih atas segala bantuan, dukungan, doa, pengalaman, dan kebersamaan yang telah diberikan selama penulis menempuh pendidikan. Setiap kebaikan yang diberikan menjadi bagian yang berarti dalam perjalanan penulis hingga menyelesaikan masa studi.

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

Bogor, Juli 2026

Nisa Rizka Yuniarti



@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.

DAFTAR ISI

DAFTAR TABEL	xix
DAFTAR GAMBAR	xix
DAFTAR LAMPIRAN	xix
I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Tujuan	2
1.3 Manfaat	2
II TINJAUAN PUSTAKA	3
2.1 Karakteristik dan Dampak PM _{2.5}	3
2.2 Wilayah Perlindungan dan Pengelolaan Mutu Udara (WPPMU)	4
2.3 NDVI dan NDBI sebagai Indikator Biofisik dalam Analisis Distribusi Spasial PM _{2.5}	5
2.4 Data Model Atmosfer GEOS-CF dan Faktor Meteorologi	6
2.5 Metode Klasifikasi dan Pembobotan	7
2.6 Uji Statistik Nonparametrik untuk Analisis PM _{2.5}	8
III METODE	9
3.1 Waktu dan Tempat	9
3.2 Alat dan Bahan	9
3.3 Tahapan Penelitian	10
IV HASIL DAN PEMBAHASAN	19
4.1 Karakteristik Indeks Biofisik NDVI dan NDBI	19
4.2 Validasi PM _{2.5} GEOS-CF dengan Observasi DKI Jakarta	21
4.3 Koreksi Overestimasi PM _{2.5}	23
4.4 Klasifikasi WPPMU Berbasis EWM dan K-Means <i>Clustering</i>	25
4.5 Profil Karakteristik Per Kelas WPPMU	28
4.6 Pola Temporal dan Musiman PM _{2.5}	30
4.7 Perbedaan Konsentrasi PM _{2.5} Antarkelas WPPMU	33
4.8 Hubungan Variabel Meteorologi dengan PM _{2.5}	34
4.9 Sensitivitas terhadap Baku Mutu Permen LH/BPLH Nomor 5 Tahun 2026	37
4.10 Analisis Heterogenitas Kecamatan	40
V SIMPULAN DAN SARAN	43
5.1 Simpulan	43
5.2 Saran	43
DAFTAR PUSTAKA	45
LAMPIRAN	49
RIWAYAT HIDUP	55



@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.

DAFTAR TABEL

1	Jenis dan sumber data yang digunakan	9
2	Nilai perhitungan rata-rata NDVI dan NDBI Jabodetabek tahun 2022–2023	19
3	Metrik validasi per wilayah DKI Jakarta	21
4	Perbandingan metrik validasi skenario koreksi data GEOS-CF terhadap	24
5	Nilai rata-rata konsentrasi PM _{2.5} (μg/m ³) per wilayah untuk setiap skenario	24
6	Bobot EWM untuk variabel NDVI, NDBI, dan PM _{2.5}	25
7	Hasil klasifikasi WPPMU wilayah Jabodetabek	26
8	Perbandingan kelas WPPMU antarskenario koreksi PM _{2.5}	28
9	Profil karakteristik per kelas WPPMU	28
10	Profil biofisik dan meteorologi per wilayah Jabodetabek	29
11	Hasil uji Shapiro-Wilk PM _{2.5} per kelas WPPMU	33
12	Hasil uji Kruskal-Wallis PM _{2.5} antarkelas WPPMU	33
13	Korelasi spearman variabel biofisik dan meteorologi terhadap PM _{2.5}	35
14	Korelasi spearman variabel meteorologi terhadap PM _{2.5} per kelas	36
15	Perbandingan konsentrasi rata-rata PM _{2.5} (2022–2023) terhadap baku	38
16	Perbandingan konsentrasi rata-rata PM _{2.5} (2022–2023) terhadap baku	39

DAFTAR GAMBAR

1	Peta wilayah kajian	9
2	Diagram alir penelitian	18
3	Peta spasial NDVI dan NDBI Jabodetabek tahun 2022–2023	20
4	<i>Timeseries</i> konsentrasi PM _{2.5} GEOS-CF dan observasi DLH DKI Jakarta	22
5	<i>Scatterplot</i> konsentrasi PM _{2.5} GEOS-CF dan observasi DLH DKI Jakarta	23
6	<i>Elbow method</i> untuk keempat skenario koreksi PM _{2.5}	25
7	Peta klasifikasi WPPMU Jabodetabek	27
8	<i>Timeseries</i> PM _{2.5} per kelas WPPMU Jabodetabek tahun 2022–2023	31
9	Pola musiman PM _{2.5} kelas WPPMU Jabodetabek tahun 2022–2023	32
10	<i>Heatmap</i> uji <i>Post-Hoc</i> Dunn	34
11	<i>Heatmap</i> korelasi spearman variabel meteorologi dengan PM _{2.5}	36
12	Peta klasifikasi WPPMU Kecamatan	41

DAFTAR LAMPIRAN

1	Baku mutu udara per kelas WPPMU	51
2	Hasil klasifikasi kelas WPPMU per kecamatan Kabupaten Bogor	52
3	Hasil klasifikasi kelas WPPMU per kecamatan Kabupaten Tangerang	53
4	Hasil klasifikasi kelas WPPMU per kecamatan Kabupaten Bekasi	54



@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.