

**ANALISIS *SPATIOTEMPORAL* SEBARAN TITIK PANAS DAN
PARTICULATE MATTER (PM2.5) DI PROVINSI RIAU, JAMBI,
DAN SUMATERA SELATAN**

YASMIN LUKMAN



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

@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 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.



PERNYATAAN MENGENAI TESIS DAN SUMBER INFORMASI SERTA PELIMPAHAN HAK CIPTA

Dengan ini saya menyatakan bahwa tesis dengan judul Analisis *Spatiotemporal* Sebaran Titik Panas dan *Particulate Matter* (PM2.5) di Provinsi Riau, Jambi dan Sumatera Selatan 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, Agustus 2025

Yasmin Lukman
G6501211068



RINGKASAN

YASMIN LUKMAN. Analisis *Spatiotemporal* Sebaran Titik Panas dan *Particulate Matter* (PM2.5) di Provinsi Riau, Jambi dan Sumatera Selatan. Dibimbing oleh IMAS SUKAESIH SITANGGANG dan MEDRIA KUSUMA DEWI HARDHIENATA

Kebakaran hutan dan lahan (karhutla) merupakan bencana ekologis yang berdampak luas terhadap lingkungan dan kesehatan masyarakat, khususnya melalui peningkatan konsentrasi *particulate matter* $\leq 2,5$ mikron (PM2.5). Ketiga provinsi dalam studi ini Riau, Jambi, dan Sumatera Selatan mengalami karhutla intens hampir setiap musim kemarau. Namun, studi mengenai dampak karhutla terhadap kualitas udara di wilayah ini masih terbatas, terutama dalam konteks spasial-temporal yang terintegrasi. Oleh karena itu, dibutuhkan penelitian yang mampu mengkaji sebaran titik panas sekaligus mengestimasi konsentrasi PM2.5 secara spasial dan temporal untuk memperoleh gambaran yang lebih komprehensif mengenai karhutla dan dampaknya terhadap kualitas udara.

Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi pola spasial-temporal sebaran titik panas dan mengestimasi konsentrasi PM2.5 di wilayah studi menggunakan metode *Spatiotemporal Density-Based Spatial Clustering of Applications with Noise* (ST-DBSCAN). Metode *Spatiotemporal Kernel Density Estimation* (STKDE) juga diimplementasi, tujuannya untuk memvisualisasikan kepadatan kemunculan titik panas secara kontinu dalam dimensi ruang dan waktu, sehingga memberikan gambaran yang lebih detail mengenai distribusi dan dinamika kejadian kebakaran hutan dan lahan. Data yang digunakan terdiri dari titik panas dan *Aerosol Optical Depth* (AOD) dari sensor MODIS selama Agustus hingga Oktober 2023. Parameter utama pada ST-DBSCAN adalah ϵ_1 sebagai ambang kedekatan spasial antar titik (dalam derajat lintang/bujur) dan ϵ_2 sebagai ambang kedekatan temporal (dalam satuan hari). Konsentrasi PM2.5 dihitung dengan mengonversi nilai AOD berdasarkan model regresi linier global.

Hasil analisis menunjukkan bahwa algoritma ST-DBSCAN berhasil membentuk 214 kluster dari 8.221 titik panas. Parameter terbaik ditemukan pada $\epsilon_1 = 0,18^\circ$, $\epsilon_2 = 5$ hari, dan $min_samples = 3$. Persentase *noise* rata-ratanya sekitar 31% di Riau, 23% di Jambi dan 12% di Sumatera Selatan. Metode STKDE menggunakan pendekatan *voxel* sampling, yaitu pembagian ruang-waktu ke dalam unit tiga dimensi (*voxel* atau *volumetric pixel*) yang merepresentasikan lokasi geografis (x, y) serta dimensi waktu (t) secara bersamaan. Dalam penelitian ini, ukuran setiap *voxel* ditetapkan sebesar 1×1 km secara spasial dan 1 hari secara temporal, sehingga setiap *voxel* merepresentasikan satu “kotak” spasial kecil dalam satuan hari. Total lebih dari 25 juta *voxel* dianalisis, dengan *density ratio* tertinggi sebesar 0,55 tercatat di Provinsi Sumatera Selatan, menandakan distribusi kejadian kebakaran yang cukup merata di seluruh wilayah.

Estimasi PM2.5 menunjukkan konsentrasi tertinggi di Provinsi Riau dengan nilai rata-rata maksimum mencapai $96,71 \mu\text{g}/\text{m}^3$, jauh di atas ambang batas aman harian menurut WHO ($50 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Rata-rata estimasi PM2.5 selama periode penelitian tercatat sebesar $50,51 \mu\text{g}/\text{m}^3$ di Riau, $48,16 \mu\text{g}/\text{m}^3$ di Jambi, dan $41,59 \mu\text{g}/\text{m}^3$ di Sumatera Selatan. Konsentrasi tinggi umumnya ditemukan pada kluster berukuran besar dan berdurasi lebih dari lima hari. Temuan ini mengindikasikan bahwa titik panas dengan intensitas tinggi dan kemunculan berulang memberikan kontribusi

signifikan terhadap pencemaran udara. Penelitian ini berhasil mengintegrasikan analisis spasial-temporal titik panas dengan estimasi PM_{2.5} berbasis satelit secara efektif. Hasilnya dapat dimanfaatkan untuk mendukung sistem peringatan dini karhutla serta perumusan kebijakan mitigasi berbasis data, khususnya di wilayah tropis yang belum memiliki infrastruktur pemantauan kualitas udara secara langsung.

Kata kunci: AOD, dampak karhutla, karhutla, ST-DBSCAN, STKDE

@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.



SUMMARY

YASMIN LUKMAN. Spatiotemporal Analysis of Fire Hotspots and Particulate Matter (PM2.5) in Riau, Jambi, and South Sumatra Provinces. Supervised by IMAS SUKAESIH SITANGGANG and MEDRIA KUSUMA DEWI HARDHIENATA.

Forest and land fires (karhutla) are ecological disasters that have widespread impacts on the environment and public health, particularly through the increase of particulate matter ≤ 2.5 microns (PM2.5) concentrations. The three provinces in this study, namely Riau, Jambi, and South Sumatra, experience intense fires almost every dry season. However, studies on the impact of forest and land fires on air quality in these regions remain limited, especially in an integrated spatiotemporal context. Therefore, research is needed that can simultaneously examine hotspot distribution and estimate PM2.5 concentrations in space and time to provide a more comprehensive understanding of forest and land fires and their impact on air quality.

This study aims to identify the spatiotemporal patterns of hotspot distribution and estimate PM2.5 concentrations in the study area using the Spatiotemporal Density-Based Spatial Clustering of Applications with Noise (ST-DBSCAN) method. The Spatiotemporal Kernel Density Estimation (STKDE) method was also implemented to visualize hotspot density continuously in both spatial and temporal dimensions, providing a more detailed picture of the distribution and dynamics of forest and land fire events. The data used consisted of hotspot points and Aerosol Optical Depth (AOD) from the MODIS sensor during August to October 2023. The main parameters in ST-DBSCAN are ϵ_1 , which represents the spatial proximity threshold between points (in degrees latitude or longitude), and ϵ_2 , which represents the temporal proximity threshold (in days). PM2.5 concentrations were calculated by converting AOD values based on a global linear regression model.

The analysis results showed that the ST-DBSCAN algorithm successfully formed 214 clusters from 8,221 hotspot points. The optimal parameters were found to be $\epsilon_1 = 0.18^\circ$, $\epsilon_2 = 5$ days, and $\text{min_samples} = 3$. The average noise percentage was approximately 31% in Riau, 23% in Jambi, and 12% in South Sumatra. The STKDE method applied a voxel sampling approach, which divides space-time into three-dimensional units (voxels or volumetric pixels) that represent geographic location (x, y) and temporal dimension (t) simultaneously. In this study, each voxel was set to a spatial resolution of 1×1 km and a temporal resolution of 1 day, meaning each voxel represents a small spatial box for one day. A total of more than 25 million voxels were analyzed, with the highest density ratio of 0.55 recorded in South Sumatra, indicating a relatively even distribution of fire events across the province.

The PM2.5 estimation showed the highest concentrations in Riau Province, with a maximum average value reaching $96.71 \mu\text{g}/\text{m}^3$, far exceeding the WHO daily safe limit of $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$. The average PM2.5 estimation during the study period was $50.51 \mu\text{g}/\text{m}^3$ in Riau, $48.16 \mu\text{g}/\text{m}^3$ in Jambi, and $41.59 \mu\text{g}/\text{m}^3$ in South Sumatra. High concentrations were generally found in large clusters lasting more than five days. These findings indicate that high-intensity and recurrent hotspots contribute significantly to air pollution. This study successfully integrated spatiotemporal hotspot analysis with satellite-based PM2.5 estimation effectively. The results can be used to support early warning systems for forest and land fires as well as to formulate data-

driven mitigation policies, particularly in tropical regions that lack direct air quality monitoring infrastructure.

Keywords: AOD, fire impact, forest and land fires, ST-DBSCAN, STKDE

@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 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.

**ANALISIS *SPATIOTEMPORAL* SEBARAN TITIK PANAS DAN
PARTICULATE MATTER (PM2.5) DI PROVINSI RIAU, JAMBI,
DAN SUMATERA SELATAN**

YASMIN LUKMAN

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

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

@Hak cipta milik IPB University

IPB University





@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.

Penguji Luar Komisi Pembimbing pada Ujian Tesis:
Hari Agung Adrianto S.Kom., M.Si., Ph.D.



Judul Tesis : Analisis *Spatiotemporal* Sebaran Titik Panas dan *Particulate Matter* (PM2.5) di Provinsi Riau, Jambi dan Sumatera Selatan

Nama : Yasmin Lukman

NIM : G6501211068

Disetujui oleh

Pembimbing 1:

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



Pembimbing 2:

Dr. Medria K D Hardhienata, S.Komp



Diketahui oleh

Ketua Program Studi:

Dr. Toto Haryanto, S.Kom., M.Si

NIP 197501301998022001



Dekan Sekolah Sains Data, Matematika, dan Informatika:

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

NIP 196607021993021001



Tanggal Ujian:

6 Agustus 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 Januari 2023 sampai bulan Juli 2025 ini ialah analisis spasial-temporal titik panas dan PM2.5 menggunakan algoritma ST-DBSCAN dan estimasi PM2.5 berbasis data AOD MODIS, dengan judul “Analisis Spasial-Temporal Titik Panas dan PM2.5 di Riau, Jambi, dan Sumatera Selatan”.

Terima kasih penulis ucapkan kepada para pembimbing, Prof. Dr. Ir. Imas Sukaesih Sitanggang, M.Sc. dan Dr. Medria Kusuma Dewi Hardhienata, S.Si., M.Si., yang telah membimbing dan banyak memberi saran. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada, moderator seminar, dan penguji luar komisi pembimbing. Ungkapan terima kasih juga disampaikan kepada Ayah, Ibu, dan Suami yang telah memberikan dukungan, doa, dan kasih sayangnya.

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

Bogor, Agustus 2025

Yasmin Lukman
G6501211068

DAFTAR ISI

DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xiv
I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan	4
1.4 Manfaat	4
1.5 Ruang Lingkup	4
II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Kebakaran Hutan dan Lahan (Karhutla)	5
2.2 Wilayah Studi: Provinsi Riau, Jambi dan Sumatera Selatan	6
2.3 Titik Panas dari Sensor MODIS (<i>Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer</i>)	7
2.4 Particulate Matter (PM2.5) dan Estimasinya	9
2.5 Algoritma STKDE (<i>Space-Time Kernel Density Estimation</i>)	11
2.6 Algoritma ST-DBSCAN (<i>Spatio Temporal Density-Based Spatial Clustering of Applications with Noise</i>)	13
2.7 Evaluasi Cluster dengan <i>Silhouette Score</i>	15
III METODE	18
3.1 Data dan Area Penelitian	18
3.2 Tahapan Penelitian	20
3.3 Praproses Data	21
3.4 Perhitungan STKDE	21
3.5 Perhitungan ST-DBSCAN	22
3.6 Perhitungan PM2.5 dan Spatiotemporal Matching	23
3.7 Lingkungan Pengembangan	23
IV HASIL DAN PEMBAHASAN	25
4.1 Data Penelitian dan Praproses	25
4.2 Analisis Kerapatan Spatiotemporal dengan STKDE	27
4.3 Hasil Klaster Titik Panas Menggunakan ST-DBSCAN	31
4.4 Perhitungan PM 2.5	50
V SIMPULAN DAN SARAN	54
5.1 Simpulan	54
5.2 Saran	55
DAFTAR PUSTAKA	56
LAMPIRAN	61
RIWAYAT HIDUP	77



DAFTAR TABEL

1	Atribut data titik panas MODIS	19
2	Dataset pada file HDF MODIS AOD	20
3	Detail Voxel Dimensi per Provinsi	28
4	<i>Bandwidth</i> dan <i>density ratio</i> per Provinsi	29
5	Performa ST-DBSCAN dengan Variasi Parameter di wilayah studi	32
6	Referensi Parameter ST-DBSCAN pada penelitian terdahulu	332

DAFTAR GAMBAR

1	Ilustrasi tipe karhutla (A) <i>Grassfire</i> ; (B) <i>Shrubfire</i> ; (C) <i>Crown Fire</i> (Ricci <i>et al.</i> 2021)	5
2	Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan. 2024. Grafik Titik Panas Indonesia 2020-2024	6
3	Peta Adiministrasi Provinsi Riau, Jambi dan Sumatera Selatan (Sumber: GADM atau <i>Global Administrative Areas</i> 2023)	7
4	Penjelasan tentang cara satelit memantau karhutla (Schroeder <i>et al.</i> 2016)	8
5	Visualisasi pergerakan spasial titik panas harian di kawasan Taim <i>Ecological Reserve</i> , Brasil, selama periode 26–31 Maret 2013 (<i>Julian Day</i> 85–90) berdasarkan data MODIS 1 km. (Sumber: NASA 2025a)	8
6	Visualisasi ukuran dan penetrasi PM2.5 ke dalam sistem pernapasan manusia (diadaptasi dari Yang <i>et al.</i> 2020)	9
7	Contoh visualisasi data <i>global Aerosol Optical Depth</i> (AOD) pada bulan Oktober 2023. Semakin gelap warna oranye menunjukkan konsentrasi aerosol yang semakin tinggi. (Sumber: NASA <i>Earth Observatory</i>)	10
8	Perbedaan distribusi dan nilai KDE. Sumber: <i>Statsmodels Developers</i> (2021)	12
9	<i>Kernel density estimation</i> dari pola titik. Sumber: McMillen dan Doran (2006)	12
10	Ilustrasi pengaruh bandwidth (<i>h</i>) terhadap hasil estimasi kepadatan pada metode Kernel Density Estimation (KDE). (Sumber: Setiawan <i>et al.</i> (2016)) (A) Nilai $h = 0,1$; (B) Nilai $h = 0,6$; (C) Nilai $h = 3$	13
11	Istilah-istilah dasar pada DBSCAN (Jia <i>et al.</i> 2024)	14
12	Tahapan clustering pada DBSCAN (Lee <i>et al.</i> 2024)	14
13	Rekapitulasi luas karhutla dari tahun 2020 sampai dengan tahun 2024. (A) Provinsi Riau; (B) Provinsi Jambi; (C) Provinsi Sumatera Selatan; (D) Perbandingan antara ketiga provinsi di wilayah studi. (Sumber data: Sipongi 2025)	18
14	Tahapan Penelitian	20
15	Tren temporal perbuan titik panas sepanjang tahun 2023	25
16	<i>Mapping</i> titik panas pada Provinsi Riau (Agustus hingga Oktober 2023)	26
17	<i>Mapping</i> spasial <i>overlap</i> antara data titik panas dan data AOD	25

18	Grafik ketersediaan harian data titik panas dan AOD berdasarkan jumlah baris data	27
19	Visualisasi contoh grid x dan y yang terbentuk di Provinsi Riau	28
20	<i>Scatter plot</i> 3D untuk STKDE Values Provinsi Jambi bulan Agustus hingga Oktober	29
21	<i>Scatter plot</i> 3D untuk STKDE Values Provinsi Sumatera Selatan bulan Agustus hingga Oktober	30
22	<i>Scatter plot</i> 3D untuk STKDE Values Provinsi Riau bulan Agustus hingga Oktober	31
23	Hasil <i>clustering</i> dengan kombinasi parameter pertama di Provinsi Riau. (A) Agustus 2023; (B) September 2023; (C) Oktober 2023	34
24	<i>Scatter plot</i> 3D hasil <i>clustering</i> dengan kombinasi parameter pertama di Provinsi Riau. (A) Agustus 2023; (B) September 2023; (C) Oktober 2023	34
25	Distribusi <i>Silhouette Score clustering</i> dengan kombinasi parameter pertama di Provinsi Riau	35
26	Hasil <i>clustering</i> dengan kombinasi parameter pertama di Provinsi Jambi. (A) Agustus 2023; (B) September 2023; (C) Oktober 2023	35
27	<i>Scatter plot</i> 3D hasil <i>clustering</i> dengan kombinasi parameter pertama di Provinsi Jambi. (A) Agustus 2023; (B) September 2023; (C) Oktober 2023	36
28	Hasil <i>clustering</i> dengan kombinasi parameter pertama di Provinsi Sumatera Selatan. (A) Agustus 2023; (B) September 2023; (C) Oktober 2023	37
29	<i>Scatter plot</i> 3D hasil <i>clustering</i> dengan kombinasi parameter pertama di Provinsi Sumatera Selatan. (A) Agustus 2023; (B) September 2023; (C) Oktober 2023	36
30	Distribusi <i>Silhouette Score clustering</i> dengan kombinasi parameter pertama di Provinsi Sumatera Selatan	37
31	Hasil <i>clustering</i> dengan kombinasi parameter kedua di Provinsi Riau. (A) Agustus 2023; (B) September 2023; (C) Oktober 2023	38
32	<i>Scatter plot</i> 3D hasil <i>clustering</i> dengan kombinasi parameter kedua di Provinsi Riau. (A) Agustus 2023; (B) September 2023; (C) Oktober 2023	39
33	Distribusi <i>Silhouette Score clustering</i> dengan kombinasi parameter kedua di Provinsi Riau	39
34	Hasil <i>clustering</i> dengan kombinasi parameter kedua di Provinsi Jambi. (A) Agustus 2023; (B) September 2023; (C) Oktober 2023	40
35	<i>Scatter plot</i> 3D hasil <i>clustering</i> dengan kombinasi parameter kedua di Provinsi Jambi. (A) Agustus 2023; (B) September 2023; (C) Oktober 2023	40
36	Distribusi <i>Silhouette Score clustering</i> dengan kombinasi parameter kedua di Provinsi Jambi	40
37	Hasil <i>clustering</i> dengan kombinasi parameter kedua di Provinsi Sumatera Selatan. (A) Agustus 2023; (B) September 2023; (C) Oktober 2023	41
38	<i>Scatter plot</i> 3D hasil <i>clustering</i> dengan kombinasi parameter kedua di Provinsi Sumatera Selatan. (A) Agustus 2023; (B) September 2023; (C) Oktober 2023	42

39	Distribusi <i>Silhouette Score clustering</i> dengan kombinasi parameter kedua di Provinsi Sumatera Selatan	42
40	Hasil <i>clustering</i> dengan kombinasi parameter ketiga di Provinsi Riau. (A) Agustus 2023; (B) September 2023; (C) Oktober 2023	43
41	<i>Scatter plot</i> 3D hasil <i>clustering</i> dengan kombinasi parameter ketiga di Provinsi Riau. (A) Agustus 2023; (B) September 2023; (C) Oktober 2023	44
42	Distribusi <i>Silhouette Score clustering</i> dengan kombinasi parameter ketiga di Provinsi Riau	45
43	Hasil <i>clustering</i> dengan kombinasi parameter ketiga di Provinsi Jambi. (A) Agustus 2023; (B) September 2023; (C) Oktober 2023	46
44	<i>Scatter plot</i> 3D hasil <i>clustering</i> dengan kombinasi parameter ketiga di Provinsi Jambi. (A) Agustus 2023; (B) September 2023; (C) Oktober 2023	46
45	Distribusi <i>Silhouette Score clustering</i> dengan kombinasi parameter ketiga di Provinsi Jambi	47
46	Hasil <i>clustering</i> Provinsi Sumatera Selatan. (A) Agustus 2023; (B) September 2023; (C) Oktober 2023	48
47	<i>Scatter plot</i> 3D hasil <i>clustering</i> Provinsi Sumatera Selatan. (A) Agustus 2023; (B) September 2023; (C) Oktober 2023	48
48	Distribusi <i>Silhouette Score clustering</i> dengan kombinasi parameter ketiga di Provinsi Sumatera Selatan	49
49	Hasil perhitungan PM _{2.5} selama Agustus hingga Oktober per <i>cluster</i> Provinsi Riau	51
50	Hasil perhitungan PM _{2.5} selama Agustus hingga Oktober per <i>cluster</i> Provinsi Jambi	52
51	Hasil perhitungan PM _{2.5} selama Agustus hingga Oktober per <i>cluster</i> Provinsi Sumatera Selatan	53

DAFTAR LAMPIRAN

1	Hasil klaster titik panas menggunakan ST-DBSCAN kombinasi pertama ($\epsilon_1=0,01^\circ$, $\epsilon_2=5$, $\text{min_samples}=7$)	62
2	Hasil klaster titik panas menggunakan ST-DBSCAN kombinasi kedua ($\epsilon_1=0,15^\circ$, $\epsilon_2=5$, $\text{min_samples}=7$)	66
3	Hasil klaster titik panas menggunakan ST-DBSCAN kombinasi ketiga ($\epsilon_1=0,18^\circ$, $\epsilon_2=5$, $\text{min_samples}=3$)	69
4	Hasil perhitungan PM 2.5 pada tiap cluster hasil algoritma ST-DBSCAN	73