

SKRIPSI
ANALISIS KONSENTRASI KOMPONEN UTAMA PM 2.5
MENGGUNAKAN CITRA SATELIT MULTITEMPORAL TERHADAP
AERONET



Disusun Oleh :
Mohamad Khalif
21.25.018

PROGRAM STUDI TEKNIK GEODESI S-1
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL
MALANG
2025

**LEMBAR PERSETUJUAN
PROPOSAL SKRIPSI**

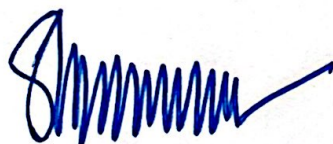
**ANALISIS KONSENTRASI KOMPONEN UTAMA PM 2.5 MENGGUNAKAN CITRA SATELIT
MULTITEMPORAL TERHADAP AERONET**

Skripsi

**Diajukan Untuk Memenuhi Persyaratan Dalam Mencapai Gelar Sarjana
Teknik (ST) Strata Satu (S-1) Teknik Geodesi, Fakultas Teknik Sipil Dan
Perencanaan, Institut Teknologi Nasional Malang**

**Disusun Oleh:
Mohamad Khalif
21.25.018**

**Menyetujui,
Dosen Pembimbing I**



**Silvester Sari Sai, ST., MT.
NIP.P. 1030600413**

**Menyetujui,
Dosen Pembimbing II**



**Alifah Noraini, ST., MT.
NIP.P. 1031500478**

**Menyetujui,
Ketua Program Studi Teknik Geodesi S-1**



**Dedy Kurnia Sunaryo, ST., MT.
NIP.Y. 1039500280**



PT. BNI (PERSERO) MALANG
BANK NIAGA MALANG

PERKUMPULAN PENGELOLA PENDIDIKAN UMUM DAN TEKNOLOGI NASIONAL MALANG
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
PROGRAM PASCASARJANA MAGISTER TEKNIK

Kampus I : Jl. Bendungan Sigura-gura No. 2 Telp. (0341) 551431 (Hunting), Fax. (0341) 553015 Malang 65145
Kampus II : Jl. Raya Karanglo, Km 2 Telp. (0341) 417636 Fax. (0341) 417634 Malang

BERITA ACARA UJIAN SEMINAR HASIL SKRIPSI
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN

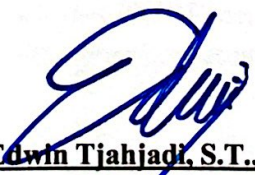
NAMA : MOHAMAD KHALIF
NIM : 21.25.018
JURUSAN : TEKNIK GEODESI
JUDUL : ANALISIS KONSENTRASI KOMPONEN UTAMA PM2.5
MENGGUNAKAN CITRA SATELIT MULTITEMPORAL
TERHADAP AERONET

Telah Dipertahankan di Hadapan Panitia Penguji Ujian Skripsi Jenjang Strata Satu (S-1)
Program Studi Teknik Geodesi, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Institut Teknologi
Nasional Malang dan Diterima untuk Memenuhi Persyaratan Memperoleh Gelar Sarjana
Strata Satu (S-1) Bidang Teknik Geodesi

Pada Hari/Tanggal : Jum'at 101 Agustus 2025
Dengan Nilai : B+

Panitia Ujian Skripsi

Ketua Penguji


Martinus Edwin Tjahjadi, S.T., M.GeoMSc., P.hD.
NIP.Y. 1030600413

Dosen Penguji I

Dosen Pendamping

Dosen Penguji II


Feny Arafah, S.T., M.T.
NIP.P. 1031500516


Silvester Sari Sai, S.T., M.T.
NIP.P. 1030600413


Alifah Noraini, S.T., M.T.
NIP.P. 1031500478

ANALISIS KONSENTRASI KOMPONEN UTAMA PM 2.5 MENGUNAKAN CITRA SATELIT MULTITEMPORAL TERHADAP AERONET

Mohamad Khalif (21.25.018)

Dosen Pembimbing I : Silvester Sari Sai, ST., MT.

Dosen Pembimbing II : Alifah Noraini, ST., MT.

ABSTRAK

Partikulat halus (PM_{2.5}) berdiameter $\leq 2,5 \mu\text{m}$ menimbulkan risiko serius terhadap lingkungan dan kesehatan, terutama di kota besar seperti Jakarta. Meski curah hujan meningkat, konsentrasi PM_{2.5} sering kali tetap tinggi dan melampaui ambang batas paparan harian dan tahunan WHO. Penelitian ini bertujuan menganalisis korelasi pengukuran AOD dari satelit terhadap AERONET serta konsentrasi spasial dan temporal PM_{2.5} di Jakarta dan sekitarnya dari tahun 2021 hingga 2024 menggunakan citra satelit multitemporal dan data AERONET. Landsat-8 OLI dan Sentinel-2A dievaluasi menggunakan metode *Relative Percentage Error* dari metode *Dispersion Coefficient* (DC) dan peran metode *Ångström Exponent* (AE) sebagai acuan dari proses rescaling dan penentuan dari 2 size distribution lalu *Normalized Gradient Aerosol Index* (NGAI) untuk mengidentifikasi sumber aerosol utama antropogenik, biomassa, dan debu. Sentinel-2A memberikan estimasi dengan korelasi AOD yang baik dengan korelasi terhadap AOD AERONET pada rata-rata $R^2 = 0,93$. Namun, anomali data tahun 2022 menurunkan korelasi signifikan antar band hal ini diduga akibat gangguan awan atau sensor. Jika tahun 2022 dikecualikan meningkat dengan rata-rata $R^2 = 0.85$, hasil ini menunjukkan pengaruh kuat dari estimasi AOD antara pengukuran satelit dan AERONET. Klasifikasi NGAI menunjukkan tren konsentrasi terendah pada 2021 dengan dampak dari (Pemberlakuan Pembatasan Kegiatan Masyarakat (PPKM) darurat.

Kata Kunci: Aerosol; AOD; Koefisien Dispersi; Kualitas Udara; PM_{2.5}.

ANALYSIS OF PM_{2.5} MAJOR COMPONENT CONCENTRATIONS USING MULTITEMPORAL SATELLITE IMAGERY AND AERONET

Mohamad Khalif (21.25.018)

Academic Supervisor I : Silvester Sari Sai, ST., MT.

Academic Supervisor II : Alifah Noraini, ST., MT.

ABSTRACT

Fine particulate matter (PM_{2.5}) with a diameter of $\leq 2.5 \mu\text{m}$ poses a serious risk to the environment and health, especially in big cities like Jakarta. Despite increased rainfall, PM_{2.5} concentrations often remain high and exceed the WHO daily and annual exposure thresholds. This study aims to analyze the correlation of AOD measurements from satellites to AERONET as well as spatial and temporal concentrations of PM_{2.5} in Jakarta and its surroundings from 2021 to 2024 using multitemporal satellite imagery and AERONET data. Landsat-8 OLI and Sentinel-2A were evaluated using the Relative Percentage Error method of the Dispersion Coefficient (DC) method and the role of the Ångström Exponent (AE) method as a reference for the rescaling process and determination of the 2 size distributions and then the Normalized Gradient Aerosol Index (NGAI) to identify the main sources of anthropogenic aerosols, biomass, and dust. Sentinel-2A provided an estimate with a good correlation of AOD with a correlation to AOD of AERONET at an average of $R^2 = 0.93$. However, the anomaly of the 2022 data lowered the significant correlation between bands, this is suspected to be due to cloud or sensor interference. If the year 2022 is excluded increases by an average of $R^2 = 0.85$, these results show a strong influence of AOD estimation between satellite measurements and AERONET. The NGAI classification shows the lowest concentration trend in 2021 with the impact of the emergency (Enforcement of Community Activity Restrictions (PPKM)).

Keywords: *Aerosol; Air Quality; AOD; Dispersion Coefficient; PM_{2.5}.*

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Mohamad Khalif
NIM : 21.25.018
Program Studi : Teknik Geodesi
Fakultas : Fakultas Teknik Sipil Dan Perencanaan

Menyatakan yang sesungguhnya bahwa skripsi saya yang berjudul:

ANALISIS KONSENTRASI KOMPONEN UTAMA PM 2.5 MENGGUNAKAN CITRA SATELIT MULTITEMPORAL TERHADAP AERONET

Adalah hasil karya saya sendiri dan bukan menjiplak atau menduplikat serta tidak mengutip atau menyadur dari hasil karya orang lain kecuali disebutkan sumbernya.

Malang, 1 Agustus 2025

Yang membuat pernyataan



Mohamad Khalif
21.25.018

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Tuhan yang Maha Esa atas berkat dan rahmatnya sehingga penulis dapat menyelesaikan Proposal Penelitian yang berjudul **"ANALISIS KONSENTRASI KOMPONEN UTAMA PM 2.5 MENGGUNAKAN CITRA SATELIT MULTITEMPORAL TERHADAP AERONET"** Proposal penelitian ini disusun untuk melengkapi persyaratan dalam mengajukan Skripsi pada Program Studi Teknik Geodesi S-1, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Institut Teknologi Nasional Malang.

Pada kesempatan ini, penulis menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Umi, Abi dan Kakak yang selalu memberikan dukungan moral, doa, dan semangat serta finansial yang tiada henti selama proses penyusunan proposal ini.

Pada kesempatan ini juga penulis menyampaikan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

- Bapak Krishna Himawan Subiyanto, S.T., M.Sc. Selaku Mentor Penelitian
- Bapak Silvester Sari Sai, S.T., M.T. Selaku pembimbing I
- Ibu Alifah Noraini, S.T., M.T. Selaku pembimbing II

selaku dosen pembimbing skripsi yang telah memberikan banyak ilmu, arahan, serta bimbingan kepada penulis selama proses penyusunan proposal ini.

Penulis berharap proposal penelitian ini dapat menjadi salah satu kontribusi dalam pengembangan teknologi pemantauan dan pemetaan kualitas udara di Indonesia, khususnya melalui pendekatan penginderaan jauh dan data satelit. Diharapkan pula hasil dari penelitian ini dapat digunakan sebagai bahan pertimbangan dalam pengambilan keputusan terkait pengendalian polusi udara serta mendukung upaya mitigasi dampak pencemaran terhadap kesehatan masyarakat dan lingkungan. Akhir kata, penulis mengucapkan terima kasih.

Malang, 1 September 2025



Mohamad Khalif

DAFTAR ISI

SKRIPSI.....	i
LEMBAR PERSETUJUAN	ii
BERITA ACARA UJIAN SEMINAR HASIL SKRIPSI.....	iii
ABSTRAK	iv
<i>ABSTRACT</i>	v
SURAT PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI.....	vi
KATA PENGANTAR.....	vii
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL.....	xiv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Tujuan dan Manfaat	4
1.4 Batasan Masalah.....	4
1.5 Sistematika Penulisan	5
BAB II DASAR TEORI.....	6
2.1 Aerosol.....	6
2.2 AERONET	8
2.3 Pengindraan Jauh.....	9
2.3.1 Analisis <i>Multitemporal</i>	11
2.4 Kebutuhan <i>Pre-Processing</i>	12
2.4.1 <i>Cloud Noise</i>	12
2.4.2 Reflektansi TOA (<i>Top of Atmosfer</i>).....	13
2.5 <i>Dispersion Coefficient</i>	14
2.6 <i>Ångström Exponent</i>	16
2.7 <i>Normalized Gradient Aerosol Index</i> (NGAI).....	17
2.8 Konsentrasi PM 2.5	18
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	22
3.1 Lokasi dan Waktu Penelitian.....	22
3.2 Alat dan Bahan.....	22
3.3 Diagram Alir	24
3.4 Langkah Pengerjaan.....	26

3.4.1 Akuisisi Data	26
3.4.2 <i>Pre-Processing data</i>	27
3.4.3 <i>Log-Linear Ångström Exponent</i>	27
3.4.4 <i>Dispersion Coefficient</i>	29
3.4.5 NGAI (<i>Normalized Gradient Aerosol Indeks</i>).....	35
3.4.6 Konsentrasi PM 2.5.....	41
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	46
4.1 Kecocokan Citra Terhadap Metode <i>Dispersion Coefficient</i>	46
4.2 Hasil Pengolahan Data AOD.....	54
4.3 Konsentrasi Komponen Utama PM2.5	58
BAB V PENUTUP.....	71
5.1 Kesimpulan	71
5.2 Saran	72
DAFTAR PUSTAKA	73
LAMPIRAN	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Klasifikasi aerosol (hydroterra.com, 2022).....	7
Gambar 2. 2 Profil rata-rata penyerapan partikel secara vertikal (Sumber: Spinhirne et al., 1980).....	7
Gambar 2. 3 AERONET (aeronet.gsfc.nasa.gov, 2025).....	9
Gambar 2. 4 Metode pengambilan informasi pada sensor (Ruiz, 2009)	10
Gambar 2. 5 Sensor pasif dan aktif (Ruiz, 2009)	11
Gambar 2. 6 Analisis multitemporal perubahan lahan (Abdi, 2020)	12
Gambar 2. 7 Proses deteksi awan (ard.maxar.com, 2021).....	13
Gambar 2. 8 Range Operation pada <i>Window Size</i>	15
Gambar 2. 9 Distribusi frekuensi (R. Lyman Ott, 2010)	20
Gambar 3. 1 Lokasi Penelitian (Google Earth Pro, 2025)	22
Gambar 3. 2 <i>Function</i> log-linear <i>Ångström Exponent</i>	28
Gambar 3. 3 <i>Function</i> log-linear <i>Ångström Exponent</i>	28
Gambar 3. 4 Kode utama log-linear <i>Ångström Exponent</i>	29
Gambar 3. 5 Kode utama log-linear <i>Ångström Exponent</i>	29
Gambar 3. 6 Hasil log-linear <i>Ångström Exponent</i>	29
Gambar 3. 7 <i>Range operation Function</i> menggunakan <i>dispersion</i>	30
Gambar 3. 8 <i>Range operation Function</i> menggunakan <i>dispersion</i>	30
Gambar 3. 9 kode utama dari perhitungan <i>dispersion</i>	31
Gambar 3. 10 kode utama dari perhitungan <i>dispersion</i>	31
Gambar 3. 11 kode utama dari perhitungan <i>dispersion</i>	32
Gambar 3. 12 Tampilan <i>workspace</i> perhitungan <i>dispersion</i> ukuran jendela	32
Gambar 3. 13 Hasil perhitungan <i>dispersion</i> dengan ukuran jendela	33
Gambar 3. 14 Perhitungan <i>dispersion coefficient</i> pada semua <i>band</i>	33
Gambar 3. 15 Penerapan rumus <i>dispersion coefficient</i> pada <i>function</i>	34
Gambar 3. 16 <i>Recall code function</i> perhitungan <i>dispersion coefficient</i> pada semua <i>band</i>	34
Gambar 3. 17 Hasil perhitungan <i>dispersion coefficient</i> pada <i>band 2</i>	34
Gambar 3. 18 <i>code</i> melihat visual hasil	34
Gambar 3. 19 Hasil dari visual perhitungan <i>dispersion coefficient</i> pada <i>band 2</i> ..	35

Gambar 3. 20 Pembuatan <i>File Function</i>	35
Gambar 3. 21 Pembuatan <i>File Function</i>	36
Gambar 3. 22 Pembuatan kode <i>recall Function</i>	36
Gambar 3. 23 Hasil visual Perhitungan AE	37
Gambar 3. 24 Hasil nilai Alpha	37
Gambar 3. 25 Perhitungan AE 2 panjang gelombang	38
Gambar 3. 26 Pembuatan Plot NGAI	38
Gambar 3. 27 Pembuatan Plot NGAI	38
Gambar 3. 28 Pembuatan Plot NGAI	38
Gambar 3. 29 Pembuatan Plot NGAI	39
Gambar 3. 30 Pembuatan Plot NGAI	39
Gambar 3. 31 Pembuatan Plot NGAI	39
Gambar 3. 32 Pembuatan Plot NGAI	40
Gambar 3. 33 Hasil plot sebaran AOD vs NGAI	40
Gambar 3. 34 Pembuatan kode visualisasi hasil NGAI	40
Gambar 3. 35 Pembuatan kode visualisasi hasil NGAI	41
Gambar 3. 36 Visualisasi hasil NGAI	41
Gambar 3. 37 Perhitungan konsentrasi PM2.5	41
Gambar 3. 38 Pembuatan kode statistik konsentrasi PM2.5	42
Gambar 3. 39 Pembuatan kode statistik konsentrasi PM2.5	42
Gambar 3. 40 Pembuatan kode statistik konsentrasi PM2.5	43
Gambar 3. 41 Pembuatan kode statistik konsentrasi PM2.5	43
Gambar 3. 42 Pembuatan kode statistik konsentrasi PM2.5	43
Gambar 3. 43 Pembuatan kode statistik konsentrasi PM2.5	44
Gambar 3. 44 Pembuatan <i>file function</i> perhitungan luas area	44
Gambar 3. 45 <i>Recall function</i> perhitungan luas area	44
Gambar 3. 46 Hasil perhitungan luas area	45
Gambar 4. 1 Grafik regresi linier antara AOD band 2 citra Sentinel-2 terhadap AOD AERONET	48
Gambar 4. 2 Grafik regresi linier antara AOD band 3 citra Sentinel-2 terhadap AOD AERONET	49

Gambar 4. 3 Grafik regresi linier antara AOD band 4 citra Sentinel-2 terhadap AOD AERONET	49
Gambar 4. 4 Kesalahan nilai AOD 3 x 3	50
Gambar 4. 5 Nilai rata-rata <i>window size</i> (2021, 2022, 2023 & 2024).....	50
Gambar 4. 6 Grafik regresi linier antara AOD band 2 citra Sentinel-2 terhadap AOD AERONET tanpa Tahun 2022	52
Gambar 4. 7 Grafik regresi linier antara AOD band 3 citra Sentinel-2 terhadap AOD AERONET tanpa Tahun 2022	52
Gambar 4. 8 Grafik regresi linier antara AOD band 4 citra Sentinel-2 terhadap AOD AERONET tanpa Tahun 2022	52
Gambar 4. 9 Kesalahan nilai AOD 13 x 13.....	53
Gambar 4. 10 Nilai rata-rata <i>window size</i> (2021, 2023 & 2024).....	54
Gambar 4. 11 Hasil AOD <i>band</i> 2 tahun 2021	54
Gambar 4. 12 Hasil AOD <i>band</i> 3 tahun 2021	55
Gambar 4. 13 Hasil AOD <i>band</i> 4 tahun 2021	55
Gambar 4. 14 Hasil AOD <i>band</i> 2 tahun 2022	55
Gambar 4. 15 Hasil AOD <i>band</i> 3 tahun 2022	56
Gambar 4. 16 Hasil AOD <i>band</i> 4 tahun 2022	56
Gambar 4. 17 Hasil AOD <i>band</i> 2 tahun 2023	56
Gambar 4. 18 Hasil AOD <i>band</i> 3 tahun 2023	57
Gambar 4. 19 Hasil AOD <i>band</i> 4 tahun 2023	57
Gambar 4. 20 Hasil AOD <i>band</i> 2 tahun 2024	57
Gambar 4. 21 Hasil AOD <i>band</i> 3 tahun 2024	58
Gambar 4. 22 Hasil AOD <i>band</i> 4 tahun 2024	58
Gambar 4. 23 Konsentrasi PM2.5 tahun 2021	60
Gambar 4. 24 Konsentrasi PM2.5 tahun 2022	61
Gambar 4. 25 Konsentrasi PM2.5 tahun 2023	61
Gambar 4. 26 Konsentrasi PM2.5 tahun 2024	62
Gambar 4. 27 Tingkat cakupan area PM2.5	62
Gambar 4. 28 Tingkat rata rata level PM2.5	63
Gambar 4. 29 Tingkat luas area.....	64
Gambar 4. 30 Rerata debu multitemporal	64

Gambar 4. 31 <i>Coefficient of variation</i> debu.....	66
Gambar 4. 32 Distribusi frekuensi PM2.5 tahun 2023	66
Gambar 4. 33 Rerata antropogenik multitemporal	67
Gambar 4. 34 <i>Coefficient of variation</i> antropogenik	67
Gambar 4. 35 Distribusi frekuensi PM2.5 tahun 2022	68
Gambar 4. 36 Rerata Biomassa multitemporal.....	68
Gambar 4. 37 <i>Coefficient of variation</i> biomassa	69

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Kelas tingkat kualitas udara PM2.5 (WHO, 2021)	19
Tabel 3. 1 Alat penelitian	23
Tabel 3. 2 Bahan penelitian.....	23
Tabel 4. 1 Kesalahan AOD Citra Landsat-8 OLI dan Sentinel-2A	46
Tabel 4. 2 Data AOD Citra Sentinel-2 dan AERONET	46
Tabel 4. 3 <i>Correlation coefficient</i> citra Sentinel-2 terhadap AERONET 2021	47
Tabel 4. 4 Correlation coefficient citra Sentinel-2 terhadap AERONET 2022.....	47
Tabel 4. 5 Correlation coefficient citra Sentinel-2 terhadap AERONET 2023.....	47
Tabel 4. 6 Correlation coefficient citra Sentinel-2 terhadap AERONET 2024.....	47
Tabel 4. 7 Total correlation coefficient citra Sentinel-2 terhadap AERONET	47
Tabel 4. 8 Data AOD band 2 Sentinel-2 dan AERONET	48
Tabel 4. 9 Data AOD <i>band</i> 3 Sentinel-2 dan AERONET.....	48
Tabel 4. 10 Data AOD band 4 Sentinel-2 dan AERONET	49
Tabel 4. 11 Kesalahan <i>Window Size</i> 3 x 3	50
Tabel 4. 12 Perbedaan AOD terhadap waktu pada tahun 2022.....	51
Tabel 4. 13 Kesalahan <i>Window Size</i> 13 x 13.....	53
Tabel 4. 14 Makna dan risiko dari setiap kelas PM2.5	59
Tabel 4. 15 Luas area	63
Tabel 4. 16 Rerata tingkat PM2.5	63