

**ESTIMASI TINGKAT POLUSI UDARA PADA AREA PUBLIK  
MENGUNAKAN SEGMENTASI CITRA DAN VALIDASI  
TERHADAP DATA SENSOR KUALITAS UDARA**

**SKRIPSI**

**Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat untuk Memperoleh Kelulusan  
Jenjang Strata Satu Pada program Studi Teknik Informatika**

**Oleh**  
**Muhamad Reypi**  
**2255201224**



**PROGRAM STUDI TEKNIK INFORMATIKA  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH BENGKULU  
2026**

## LEMBAR PERSETUJUAN

### ESTIMASI TINGKAT POLUSI UDARA PADA AREA PUBLIK MENGUNAKAN SEGMENTASI CITRA DAN VALIDASI TERHADAP DATA SENSOR KUALITAS UDARA

Oleh  
Muhamad Reypi  
2255201224

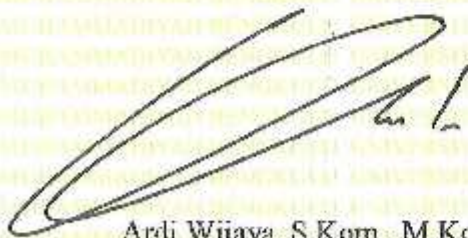
Tugas Akhir ini Telah Diterima dan Disahkan  
untuk Memenuhi Persyaratan Mencapai Gelar  
SARJANA KOMPUTER (S.Kom)

Pada  
PROGRAM STUDI TEKNIK INFORMATIKA  
FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH BENGKULU

Bengkulu, 15 Juni 2026  
Disetujui oleh

Ketua Program Studi,

Dosen Pembimbing,



Ardi Wijaya, S.Kom., M.Kom  
NP.198805112014081181



Rozali Toyib, S.Kom., M.Kom  
NIDN. 0204067303

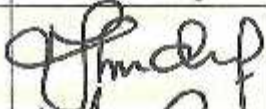
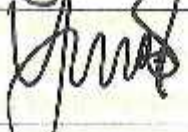
## LEMBAR PERSETUJUAN HASIL REVISI

### ESTIMASI TINGKAT POLUSI UDARA PADA AREA PUBLIK MENGUNAKAN SEGMENTASI CITRA DAN VALIDASI TERHADAP DATA SENSOR KUALITAS UDARA

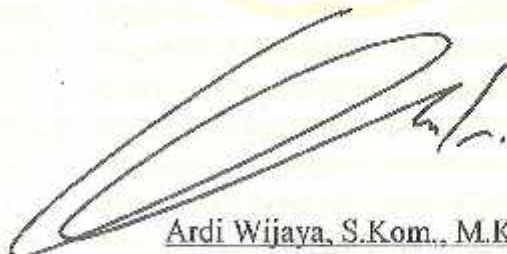
Oleh  
Muhamad Reypi  
2255201224

Telah Melakukan Revisi Sesuai dengan Perubahan  
dan Perbaikan yang Diminta Pada Saat Sidang Tugas Akhir

Bengkulu, 29 Juli 2026  
Menyetujui

| No | Nama Dosen                       | Keterangan    | Tanda Tangan                                                                          |
|----|----------------------------------|---------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. | Dr. Yulia Darmi, S.Kom., M.Kom   | Ketua Penguji |  |
| 2. | Yovi Apridiansyah, S.Kom., M.Kom | Penguji 1     |  |
| 3. | Rozali Toyib, S.Kom., M.Kom      | Penguji 2     |  |

Mengetahui  
Ketua Program Studi Teknik Informatika



Ardi Wijaya, S.Kom., M.Kom  
NP.198805112014081181

## LEMBAR PENGESAHAN

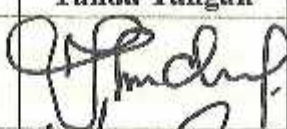
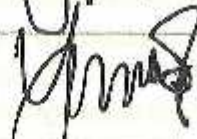
### ESTIMASI TINGKAT POLUSI UDARA PADA AREA PUBLIK MENGUNAKAN SEGMENTASI CITRA DAN VALIDASI TERHADAP DATA SENSOR KUALITAS UDARA

#### SKRIPSI

Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat untuk Memperoleh Kelulusan  
Jenjang Strata pada Program Studi Teknik Informatika

Oleh  
Muhamad Reypi  
2255201224

Bengkulu, 29 Juli 2026

| No | Nama Dosen                       | Keterangan    | Tanda Tangan                                                                          |
|----|----------------------------------|---------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. | Dr. Yulia Darmi, S.Kom., M.Kom   | Ketua Penguji |   |
| 2. | Yovi Apridiansyah, S.Kom., M.Kom | Penguji 1     |  |
| 3. | Rozali Toyib, S.Kom., M.Kom      | Penguji 2     |  |

Mengesahkan  
Dekan Fakultas Teknik



RG Guntur Alam, M.Kom., Ph. D  
NP.197301012000041040

## SURAT PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa :

- 1) Naskah Skripsi ini adalah asli dan belum pernah diajukan untuk mendapatkan gelar akademik, baik di Universitas Muhammadiyah Bengkulu maupun perguruan tinggi lainnya.
- 2) Skripsi ini murni merupakan karya penelitian saya sendiri dan tidak menjiplak karya pihak lain. Dalam hal ada bantuan atau arahan dari pihak lain maka telah saya sebutkan identitas dan jenis bantuannya di dalam lembar ucapan terima kasih.
- 3) Scandainya ada karya pihak lain yang ternyata memiliki kemiripan dengan karya saya ini, maka hal ini adalah di luar pengetahuan saya dan terjadi tanpa kesengajaan dari pihak saya.

Pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya dan apabila di kemudian hari terbukti adanya kebohongan dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik sesuai norma yang berlaku di Universitas Muhammadiyah Bengkulu.

Bengkulu, 29 Juli 2026

Yang membuat pernyataan



Muhamad Reypi  
NPM. 2255201224

## **MOTTO**

**"Hayatuna Kulluha Ibadatun"**

**"Dari Orang Tua, Demi Orang Tua, Untuk Orang Tua"**

**"Selalu ada harga dalam sebuah proses. Nikmati saja lelah-lelah itu.**

**Lebarkan lagi rasa sabar itu. Semua yang kau investasikan untuk  
menjadikan dirimu serupa yang kau impikan, mungkin tiak akan salalu  
berjalan lancar. Tapi gelombang-gelombang itu yang nanti akan kau  
ceritakan"**

## **PERSEMBAHAN**

Alhamdulillah, puji syukur kepada Allah SWT atas segala rahmat dan hidayah-Nya, yang telah memberi saya kekuatan, kesehatan, dan kesabaran untuk menyelesaikan skripsi ini dengan baik. Skripsi ini saya persembahkan kepada :

1. Terima kasih yang tak terhingga saya sampaikan kepada Ayah saya (Pit Yupiter) dan Ibu saya (Helna Dewi), yang telah menjadi pilar kehidupan saya dan memberikan dukungan tanpa henti. Doa dan kasih sayang kalian menjadi sumber inspirasi dalam perjalanan ini.
2. Kepada Aa saya (Roby Restu Ilahi), dan Ayuk saya (Beby Sebriani, A.Md.M.Tr.U), Adek Saya (Meisyah Helnia) terima kasih atas doa, semangat, dan keceriaan yang selalu kalian berikan. Kehadiran kalian menjadi salah satu alasan terbesar saya untuk terus berjuang dan tidak menyerah dalam menyelesaikan pendidikan ini. Semoga pencapaian ini bisa menjadi contoh dan motivasi Adik mu ini agar terus belajar, bermimpi besar, dan meraih cita-cita yang diinginkan.
3. Kepada Dosen Pembimbing Bapak Rozali Toyib., S.Kom, M.Kom Terima kasih atas bimbingan, arahan, dan kesabaran yang diberikan selama proses penulisan skripsi ini. Saya beruntung memiliki pembimbing seperti Bapak yang selalu membimbing dan memberikan wawasan yang berharga.

## DAFTAR RIWAYAT HIDUP

### 1. Identitas Pribadi



Nama : Muhamad Reypi  
TTL : Manna, 06 Desember 2002  
Agama : Islam  
Anak Ke : 3  
Alamat : Jl.Letnan Tukiran  
Kelurahan : Pasar Baru  
Kecamatan : Kota Manna  
Kab. : Bengkulu Selatan

### 2. Nama Orang Tua

Nama Ayah : Pit Yupiter

Pekerjaan : PNS

Nama Ibu : Helna Dewi

Pekerjaan : IRT

### 3. Riwayat Pendidikan

TK.Pembina Bengkulu Selatan : 2008–2009

SD Negeri 22 Bengkulu Selatan : 2009–2015

SMP Negeri 4 Bengkulu Selatan : 2015–2018

SMA Negeri 5 Bengkulu Selatan : 2018–2021

Universitas Muhammadiyah Bengkulu : 2022–2026

## ABSTRAK

### ESTIMASI TINGKAT POLUSI UDARA PADA AREA PUBLIK MENGUNAKAN SEGMENTASI CITRA DAN VALIDASI TERHADAP DATA SENSOR KUALITAS UDARA

Nama : Muhamad Reypi

NPM : 2255201224

Pembimbing : Rozali Toyib., S.Kom., M.Kom

Penelitian ini mengembangkan sebuah sistem estimasi tingkat polusi udara berbasis pengolahan citra digital yang diintegrasikan dengan validasi menggunakan sensor CO<sub>2</sub>, dibangun dalam platform aplikasi desktop berbasis Python. Metode yang digunakan meliputi segmentasi citra pada ruang warna HSV dengan pendekatan thresholding multi-zona untuk mendeteksi area asap, kabut, dan polutan visual lainnya, dilanjutkan dengan ekstraksi fitur berupa rasio area polusi, entropi tekstur, mean intensitas, standar deviasi, dan saturasi rata-rata yang kemudian dikombinasikan menjadi skor komposit sebagai dasar klasifikasi ke dalam tiga kategori yaitu Rendah, Sedang, dan Tinggi. Secara paralel, sistem juga menganalisis citra display sensor CO<sub>2</sub> melalui deteksi rasio warna indikator hijau, kuning, dan merah untuk menghasilkan estimasi konsentrasi gas CO<sub>2</sub> di udara. Validasi silang antara kedua metode dilakukan terhadap 100 pasang citra untuk mengukur tingkat konsistensi hasil klasifikasi. Hasil evaluasi menggunakan confusion matrix menunjukkan akurasi keseluruhan sistem sebesar 70,00% dengan Macro Precision 37,90%, Macro Recall 45,93%, dan Macro F1-Score 36,70%. Kelas Tinggi memiliki kinerja terbaik dengan F1-Score 81,53%, sedangkan kelas Sedang mencapai F1-Score 28,57% dan kelas Rendah belum berhasil terdeteksi akibat ketidakseimbangan distribusi data. Hasil validasi silang menunjukkan tingkat kesepakatan antara segmentasi citra dan sensor CO<sub>2</sub> sebesar 37%, yang dikategorikan perlu perbaikan, dan mencerminkan perbedaan dimensi pengukuran antara kenampakan visual polusi dan konsentrasi gas secara langsung. Sistem yang dibangun telah dilengkapi dengan antarmuka grafis interaktif, visualisasi confusion matrix, dan fitur ekspor laporan Excel multi-sheet yang mencakup detail hasil, evaluasi kinerja, analisis sensor, serta kesimpulan dan rekomendasi otomatis..

**Kata Kunci:** Polusi udara, Segmentasi citra, HSV, sensor CO<sub>2</sub>, Klasifikasi, Confusion Matrix, Validasi silang, Python

## **ABSTRACT**

### **AIR POLLUCION LEVEL ESTIMACION IN PUBLIC AREAS USING IMAGE SEGMENTATION AND VALIDATION AGAINST AIR QUALITY SENSOR DATA**

Name : Muhamad Reypi

Student Id : 2255201224

Supervisor : Rozali Toyib., S.Kom., M.Kom

*This study develops an air pollution level estimation system based on digital image processing, integrated with validation using a CO<sub>2</sub> sensor, and implemented as a Python-based desktop application. The proposed method employs image segmentation in the HSV color space using a multi-zone thresholding approach to detect smoke, haze, and other visual pollutants. Feature extraction is then performed by calculating the pollution area ratio, texture entropy, mean intensity, standard deviation, and average saturation. These features are combined into a composite score that serves as the basis for classifying air pollution levels into three categories: Low, Moderate, and High. In parallel, the system analyzes images of the CO<sub>2</sub> sensor display by detecting the color ratio of green, yellow, and red indicators to estimate atmospheric CO<sub>2</sub> concentration levels. Cross-validation between the two methods was conducted using 100 paired images to evaluate the consistency of classification results. Evaluation results based on a confusion matrix indicate an overall system accuracy of 70.00%, with a Macro Precision of 37.90%, Macro Recall of 45.93%, and Macro F1-Score of 36.70%. The High category demonstrated the best performance, achieving an F1-Score of 81.53%, while the Moderate category obtained an F1-Score of 28.57%. The Low category could not be effectively detected due to data distribution imbalance. Cross-validation results showed a 37% agreement rate between image segmentation and CO<sub>2</sub> sensor measurements, indicating that further improvements are required. This result also reflects the fundamental difference between visual pollution indicators and direct gas concentration measurements. The developed system is equipped with an interactive graphical user interface, confusion matrix visualization, and a multi-sheet Excel report export feature that includes detailed results, performance evaluation, sensor analysis, as well as automatically generated conclusions and recommendations.*

**Keywords:** Air Pollution, Image Segmentation, HSV, CO<sub>2</sub> Sensor, Classification, Confusion Matrix, Cross-Validation, Python.

## KATA PENGANTAR

### *Assalamualaikum Warahmatullahi Wabarakatuh*

Puji syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT, yang telah melimpahkan rahmat, hidayah, serta karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penyusunan skripsi ini dengan judul " Estimasi Tingkat Polusi Udara Pada Area Publik Menggunakan Segmentasi Citra Dan Validasi Terhadap Data Sensor Kualitas Udara". Skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Komputer di Program Studi Teknik Informatika, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Bengkulu. Penulis juga mengucapkan terima kasih sebesar besarnya kepada semua pihak yang telah membantu dan memberikan dukungan selama proses penelitian hingga penulisan skripsi selesai kepada :

1. Bapak Dr. Susiyanto, M. Si., selaku Rektor Universitas Muhammadiyah
2. Bapak RG Guntur Alam, M.Kom, Ph.D, selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Bengkulu.
3. Bapak Ardi Wijaya, S. Kom., M. Kom., selaku Ketua Program Studi Fakultas Teknik Informatika Universitas Muhammadiyah Bengkulu.
4. Bapak Rozali Toyib., S. Kom., M. Kom., atas bimbingan, arahan, dan kesabaran yang luar biasa selama proses penyusunan skripsi ini
5. Ayah, Ibu, Aa, Ayuk, Adek dan semua pihak yang secara langsung maupun tidak langsung telah membantu dalam penyusunan skripsi ini.

6. Kepada seseorang yang tak kalah penting kehadirannya, Yuspi Putri Karimah, A.Md.M. Terima kasih telah menjadi bagian dalam proses perjalanan hidup penulis menyusun skripsi . berkontribusi baik tenaga, waktu, menemani, mendukung, serta menghibur penulis dalam kesedihan , mendengarkan keluh kesah dan meyakinkan penulis untuk pantang menyerah hingga penyusunan skripsi ini selesai.

**Walaikumsalam Warahmatullahi Wabarakatuh**

Bengkulu, 24 Juli 2026  
Penulis

Muhamad Reypi  
NPM. 2255201224

## DAFTAR ISI

|                                                                  |      |
|------------------------------------------------------------------|------|
| LEMBAR PERSETUJUAN .....                                         | ii   |
| LEMBAR PERSETUJUAN HASIL REVISI.....                             | iii  |
| LEMBAR PENGESAHAN .....                                          | iv   |
| SURAT PERNYATAAN .....                                           | v    |
| MOTTO .....                                                      | vi   |
| PERSEMBAHAN.....                                                 | vii  |
| DAFTAR RIWAYAT HIDUP .....                                       | viii |
| ABSTRAK .....                                                    | ix   |
| ABSTRACT .....                                                   | x    |
| KATA PENGANTAR.....                                              | xi   |
| DAFTAR ISI.....                                                  | xii  |
| DAFTAR TABEL .....                                               | xiii |
| DAFTAR GAMBAR.....                                               | xiv  |
| <b>BAB 1 PENDAHULUAN</b>                                         |      |
| 1.1 Latar Belakang .....                                         | 1    |
| 1.2 Pertanyaan penelitian .....                                  | 4    |
| 1.3 Tujuan Penelitian .....                                      | 5    |
| 1.4 Kerangka Kerja Penelitian ( <i>Research Framework</i> )..... | 5    |
| <b>BAB II TINJAUAN LITERATUR</b>                                 |      |
| 2.1 Penelitian Terkait .....                                     | 9    |
| 2.2 Pengolahan Citra Digital .....                               | 13   |
| 2.3 <i>Preprocessing</i> .....                                   | 15   |
| 2.4 <i>Polusi Udara</i> .....                                    | 16   |

|                                        |    |
|----------------------------------------|----|
| 2.5 <i>Sensor Kualitas Udara</i> ..... | 19 |
| 2.6 <i>Segmentasi Citra</i> .....      | 20 |
| 2.7 <i>Open Cv</i> .....               | 22 |
| 2.8 <i>Phyton</i> .....                | 23 |
| 2.9 Visual Studio Code.....            | 25 |
| 2.10 Pengujian .....                   | 26 |

### **BAB III ANALISIS MASALAH DAN PERANCANGAN PROGRAM**

|                                                  |    |
|--------------------------------------------------|----|
| 3.1 Analisis Masalah .....                       | 33 |
| 3.2 Metode Pelaksana.....                        | 32 |
| 3.3 Perancangan Program.....                     | 37 |
| 3.3.1 Perancangan Arsitektur Sistem .....        | 37 |
| 3.3.2 Perancangan Antarmuka Pengguna (GUI) ..... | 40 |

### **BAB IV IMPLEMENTASI DAN UJI COBA**

|                                                      |    |
|------------------------------------------------------|----|
| 4.1 Implementasi .....                               | 43 |
| 4.1.1 Persiapan Dataset Citra Polusi Udara.....      | 43 |
| 4.1.2 Tahap Preprocessing .....                      | 45 |
| 4.1.3 Segmentasi Citra .....                         | 46 |
| 4.1.4 Tahapan Ekstraksi Fitur .....                  | 48 |
| 4.1.5 Tahap Tahapan Klasifikasi Tingkat Polusi ..... | 48 |
| 4.1.6 Tahap Evaluasi Kinerja Model.....              | 49 |
| 4.2 Uji Coba .....                                   | 50 |
| 4.2.1 Input Data Citra.....                          | 50 |
| 4.2.2 Proses Preprocessing .....                     | 51 |
| 4.2.3 Segmentasi .....                               | 52 |
| 4.2.4 Ekstraksi Fitur .....                          | 54 |
| 4.2.5 Klasifikasi Tingkat Polusi .....               | 55 |
| 4.2.6 Evaluasi Kinerja Confussion Matrix .....       | 57 |
| 4.2.7 Uji Sensor Co <sub>2</sub> .....               | 63 |

## **BAB V KESIMPULAN DAN SARAN**

|                     |    |
|---------------------|----|
| 5.1 Kesimpulan..... | 70 |
| 5.2 Saran.....      | 71 |

## **DAFTAR PUSTAKA**

## **LAMPIRAN**

## DAFTAR TABEL

|                                                                                    |    |
|------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabel 1.1 Tabel Framwork Penelitian.....                                           | 5  |
| Tabel 4.1 Tabel Hasil Analisis Citra Polusi Udara .....                            | 59 |
| Tabel 4.2 Tabel Ringkasa Hasil Penelitian .....                                    | 60 |
| Tabel 4.3 Tabel Konfusion Matrix.....                                              | 61 |
| Tabel 4.4 Tabel Keseluruhan Hasil Confusion Matrik .....                           | 61 |
| Tabel 4.5 Tabel Hasil Uji Sensor Co <sub>2</sub> .....                             | 64 |
| Tabel 4.6 Tabel Hasil Perbandingan Segmentasi Dan Uji Sensor Co <sub>2</sub> ..... | 66 |
| Tabel 4.7 Tabel Kesimpulan Hasil.....                                              | 68 |

## DAFTAR GAMBAR

|                                                              |    |
|--------------------------------------------------------------|----|
| Gambar 2.1 Gambar Contoh Poulusi Udara .....                 | 17 |
| Gambar 2.1 Gambar Alat Pengukur Kualita Udara .....          | 20 |
| Gambar 3.1 Gambar Proses Tahapan Pelaksanaan Ekperimen ..... | 33 |
| Gambar 3.2 Gambar Flowchart Sistem Polusi.....               | 35 |
| Gambar 3.2 Gambar Perancangan Arsitektur sistem .....        | 38 |
| Gambar 3.3 Gambar Desain Antar Muka GUI .....                | 41 |
| Gambar 4.1 Gambar Dataset Citra Polusi Uadara .....          | 44 |
| Gambar 4.2 Gambar Citra Polusi Udara Dengan Sensor .....     | 45 |
| Gambar 4.3 Gambar Tahapan Processing.....                    | 46 |
| Gambar 4.3 Gambar Tahapan Segmentasi Citra.....              | 47 |
| Gambar 4.4 Gambar Input Citra .....                          | 50 |
| Gambar 4.5 Gambar Prapemerosesan Citra .....                 | 52 |
| Gambar 4.6 Gambar Peroses Segmentasi .....                   | 53 |
| Gambar 4.7 Gambar Ekstraksi Fitur .....                      | 55 |
| Gambar 4.8 Gambar Klasifikasi Tingkat Polusi .....           | 56 |
| Gambar 4.9 Gambar Evaluasi Kinerja .....                     | 58 |
| Gambar 4.10 Gambar Uji Sensor Co <sub>2</sub> .....          | 63 |
| Gambar 4.10 Gamabar Grafik Kesepakatan Validasi .....        | 72 |

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Polusi udara merupakan fenomena nyata yang semakin sering dijumpai di berbagai wilayah perkotaan, khususnya pada area publik seperti jalan raya, persimpangan lalu lintas, terminal, dan taman kota. Peningkatan jumlah kendaraan bermotor, aktivitas industri, serta kepadatan penduduk menyebabkan kualitas udara di lingkungan perkotaan mengalami penurunan secara signifikan (Sriliani, Nusa Sebayang, 2024). Kondisi ini seringkali dapat diamati secara visual melalui keberadaan asap, kabut, atau menurunnya jarak pandang di suatu wilayah, yang menunjukkan adanya pencemaran udara pada tingkat tertentu.

Permasalahan yang terjadi adalah keterbatasan sistem pemantauan kualitas udara yang mampu menjangkau seluruh area publik secara merata dan berkelanjutan. Alat pemantau kualitas udara konvensional umumnya hanya dipasang pada titik-titik tertentu, sehingga data yang dihasilkan belum sepenuhnya merepresentasikan kondisi udara di seluruh wilayah. Selain itu, tidak semua daerah memiliki infrastruktur pemantauan yang memadai akibat keterbatasan biaya, sumber daya, dan pemeliharaan perangkat sensor.

Dampak dari permasalahan tersebut cukup serius, terutama terhadap kesehatan masyarakat dan kualitas lingkungan. Paparan polusi udara dalam jangka pendek maupun panjang dapat menyebabkan gangguan pernapasan, penyakit kardiovaskular, serta menurunkan kualitas hidup masyarakat. Di sisi lain,

kurangnya informasi kondisi udara secara real-time di area publik juga menyulitkan pemerintah dan masyarakat dalam mengambil tindakan preventif untuk mengurangi risiko kesehatan dan dampak lingkungan yang lebih luas.

Berbagai solusi dan teknologi telah dikembangkan untuk memantau kualitas udara, seperti penggunaan sensor partikulat (PM2.5 dan PM10), sensor gas, serta sistem Air Quality Monitoring System (AQMS) (Colléaux *et al.*, 2025). Meskipun teknologi tersebut mampu memberikan data kuantitatif yang akurat, biaya implementasi dan perawatan yang relatif tinggi menjadi kendala utama dalam penerapannya secara luas. Selain itu, ketergantungan pada perangkat keras khusus menyebabkan fleksibilitas sistem pemantauan menjadi terbatas.

Beberapa studi sebelumnya juga telah mengeksplorasi pemanfaatan citra visual untuk deteksi dan pemantauan kualitas udara. Penelitian oleh (Lin *et al.*, 2023) memperkenalkan pendekatan berbasis citra untuk mengaitkan persepsi publik terhadap kondisi udara dengan data dan visibilitas, menunjukkan bahwa fitur visual dapat membantu memperkirakan kualitas udara selain sensor klasik. Selain itu, (Ramadas and Abraham, 2023) menerapkan segmentasi citra pada data penginderaan jauh untuk mendeteksi polusi atmosfer dengan algoritma segmentasi yang intensif komputasi, memperlihatkan bahwa segmentasi gambar menjadi alat efektif dalam analisis kualitas udara. Sementara itu, penelitian oleh (Hardini *et al.*, 2023) menggunakan Convolutional Neural Networks (CNN) untuk memperkirakan indeks kualitas udara dari citra lanskap, mengukuhkan bahwa metode pembelajaran mesin pada citra digital dapat memberikan estimasi yang cukup akurat untuk monitoring kualitas udara

Berdasarkan tinjauan terhadap penelitian-penelitian sebelumnya, masih terdapat celah penelitian dalam pemanfaatan data visual sebagai alternatif atau pelengkap sistem pemantauan kualitas udara. Sebagian besar penelitian lebih berfokus pada data sensor numerik, sementara potensi citra digital yang tersedia dari kamera pengawas atau kamera lalu lintas belum dimanfaatkan secara optimal untuk mendeteksi tingkat polusi udara. Hal ini menunjukkan adanya peluang untuk mengembangkan pendekatan berbasis pengolahan citra dalam pemantauan kualitas udara.

Oleh karena itu, penelitian ini mengusulkan pendekatan untuk mengestimasi tingkat polusi udara pada area publik menggunakan teknik segmentasi citra. Pendekatan ini memanfaatkan citra digital lingkungan untuk mengidentifikasi karakteristik visual yang berkaitan dengan keberadaan kabut, asap, atau penurunan visibilitas yang menjadi indikator pencemaran udara. Hasil analisis citra kemudian digunakan untuk mengestimasi tingkat polusi udara ke dalam kategori tertentu, yaitu rendah, sedang, dan tinggi. Untuk memastikan keandalan metode yang diusulkan, hasil estimasi yang diperoleh dari citra akan divalidasi dengan data sensor kualitas udara yang diperoleh dari platform pemantauan kualitas udara seperti data Air Quality Index (AQI) atau konsentrasi partikulat PM<sub>2.5</sub>. Dengan demikian, pendekatan berbasis pengolahan citra ini diharapkan dapat menjadi alternatif metode pemantauan kualitas udara yang lebih fleksibel dan ekonomis.

Metode segmentasi citra dipilih karena memiliki kemampuan untuk memisahkan area yang terindikasi polusi dari latar belakang citra berdasarkan

perbedaan karakteristik warna dan intensitas. Selain itu, penggunaan fitur visual yang diekstraksi dari hasil segmentasi memungkinkan proses klasifikasi dilakukan secara sederhana dan efisien.

Diharapkan penelitian ini dapat memberikan kontribusi dalam bentuk alternatif sistem pemantauan kualitas udara yang lebih ekonomis, fleksibel, dan mudah diterapkan. Selain itu, hasil penelitian ini diharapkan mampu menjadi dasar pengembangan sistem pemantauan lingkungan berbasis visi komputer serta memberikan referensi akademik bagi penelitian selanjutnya dalam bidang pengolahan citra digital dan pemantauan kualitas udara.

## **1.2 Pertanyaan Penelitian**

1. Bagaimana metode segmentasi citra berbasis thresholding dan pemisahan area polusi dapat digunakan untuk mengestimasi tingkat polusi udara pada citra area publik?
2. Fitur citra apa saja (mean intensitas, standar deviasi, dan entropi) yang paling signifikan dalam membedakan tingkat polusi udara kategori rendah, sedang, dan tinggi?
3. Seberapa akurat sistem klasifikasi berbasis segmentasi citra dalam mengklasifikasikan tingkat polusi udara ditinjau dari nilai akurasi, presisi, dan recall pada confusion matrix?

### 1.3 Tujuan Penelitian

1. Mengimplementasikan sistem estimasi tingkat polusi udara pada area publik dengan memanfaatkan teknik segmentasi citra digital serta memvalidasi hasil estimasi.
2. Mengekstrak fitur statistik citra berupa *mean* intensitas, standar deviasi, dan entropi, serta menganalisis kontribusi masing-masing fitur tersebut dalam proses klasifikasi tingkat polusi udara ke dalam tiga kategori, yaitu rendah, sedang, dan tinggi.
3. Mengevaluasi kinerja sistem klasifikasi yang telah dibangun dengan menggunakan *confusion matrix* sebagai dasar perhitungan nilai akurasi, presisi, dan *recall*.

### 1.4 Kerangka Kerja Penelitian (*Research Framework*)

Penelitian ini dilaksanakan melalui serangkaian tahapan sistematis yang dirancang untuk mendeteksi dan mengklasifikasikan tingkat polusi udara berbasis analisis citra digital. Berikut table framework penelitian.

Tabel 1. Framework Penelitian

| No | Tahapan Proses | Deskripsi Kegiatan                                                          | Input             | Output                    |
|----|----------------|-----------------------------------------------------------------------------|-------------------|---------------------------|
| 1  | Mulai          | Tahap awal pelaksanaan penelitian                                           | –                 | Proses penelitian dimulai |
| 2  | Akuisisi Citra | Pengumpulan citra digital area publik yang berpotensi tercemar polusi udara | Citra area publik | Dataset citra             |
| 3  | Pra-           | Penyesuaian ukuran citra,                                                   | Dataset citra     | Citra hasil               |

|   |                                  |                                                                                                                         |                                  |                                  |
|---|----------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|
|   | pemrosesan Citra                 | konversi warna dari RGB ke HSV, dan peningkatan kualitas citra                                                          |                                  | pra-pemrosesan                   |
| 4 | Segmentasi Citra                 | Pemisahan area yang terindikasi polusi udara dari latar belakang menggunakan metode thresholding                        | Citra pra-pemrosesan             | Citra hasil segmentasi           |
| 5 | Ekstraksi Fitur                  | Pengambilan ciri statistik dari hasil segmentasi berupa nilai rata-rata intensitas, standar deviasi, dan entropi        | Citra hasil segmentasi           | Data fitur citra                 |
| 6 | Klasifikasi Tingkat Polusi       | Pengelompokan tingkat polusi udara ke dalam kategori rendah, sedang, dan tinggi berdasarkan fitur citra                 | Data fitur citra                 | Hasil klasifikasi polusi         |
| 7 | Perbandingan dengan Ground Truth | Pembandingan hasil klasifikasi sistem dengan label sebenarnya dari dataset                                              | Hasil klasifikasi & label aktual | Data evaluasi                    |
| 8 | Confusion Matrix                 | Penghitungan dan visualisasi performa sistem menggunakan confusion matrix untuk memperoleh akurasi, presisi, dan recall | Data evaluasi                    | Confusion matrix & nilai kinerja |
| 9 | Selesai                          | Tahap akhir proses penelitian                                                                                           | Confusion matrix                 | Kesimpulan penelitian            |

Alur proses penelitian diawali dengan tahap akuisisi citra, yakni pengumpulan data citra digital dari area publik yang berpotensi mengalami pencemaran udara. Citra-citra tersebut kemudian dihimpun menjadi sebuah dataset yang akan digunakan sebagai bahan utama dalam proses analisis selanjutnya.

Setelah dataset citra diperoleh, tahap berikutnya adalah pra-pemrosesan citra yang bertujuan untuk meningkatkan kualitas dan keseragaman data sebelum dianalisis lebih lanjut. Pada tahap ini dilakukan penyesuaian ukuran citra, konversi ruang warna dari model RGB ke model HSV, serta peningkatan kualitas citra secara keseluruhan. Proses konversi ke ruang warna HSV dipilih karena representasi warna tersebut dinilai lebih sesuai untuk mendeteksi kondisi atmosfer yang terindikasi terdampak polusi udara.

Citra yang telah melewati tahap pra-pemrosesan selanjutnya diproses melalui tahap segmentasi citra. Pada tahap ini, area yang terindikasi mengandung polusi udara dipisahkan dari latar belakang menggunakan metode thresholding. Hasil segmentasi kemudian menjadi dasar bagi tahap ekstraksi fitur, di mana ciri-ciri statistik berupa nilai rata-rata intensitas piksel, standar deviasi, dan entropi diekstraksi dari setiap citra hasil segmentasi. Ketiga fitur statistik tersebut dipilih karena mampu merepresentasikan karakteristik visual dari kondisi udara yang diamati.

Fitur-fitur yang telah diekstraksi kemudian digunakan sebagai masukan dalam proses klasifikasi tingkat polusi udara. Sistem mengklasifikasikan kondisi udara ke dalam tiga kategori, yaitu rendah, sedang, dan tinggi, berdasarkan pola nilai fitur yang diperoleh dari setiap citra. Hasil klasifikasi yang dihasilkan oleh sistem selanjutnya dibandingkan dengan data label aktual yang telah tersedia dalam dataset sebagai ground truth, guna mengukur sejauh mana keakuratan sistem dalam melakukan pengenalan kondisi polusi udara.

Pada tahap akhir, evaluasi performa sistem dilakukan secara menyeluruh menggunakan confusion matrix. Melalui confusion matrix tersebut diperoleh sejumlah metrik kinerja yang mencakup nilai akurasi, presisi, dan recall. Hasil evaluasi ini menjadi tolok ukur objektif untuk menilai efektivitas metode yang diusulkan dalam mendeteksi dan mengklasifikasikan tingkat polusi udara berbasis citra digital, sekaligus menjadi dasar penarikan kesimpulan penelitian secara keseluruhan.