

BAB V

KESIMPILAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan yang telah dilakukan terhadap sistem estimasi tingkat polusi udara menggunakan metode segmentasi citra dan validasi sensor CO₂ , maka dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut.

1. Sistem segmentasi citra yang dikembangkan berhasil mengklasifikasikan tingkat polusi udara ke dalam tiga kategori yaitu Rendah, Sedang, dan Tinggi dengan menggunakan pendekatan analisis ruang warna HSV. Proses segmentasi dilakukan melalui pembangunan masker multi-zona yang mampu mendeteksi asap terang beraturasi rendah, area gelap pekat, sekaligus mengecualikan piksel langit biru dan vegetasi hijau yang bukan merupakan indikator polusi. Fitur-fitur yang diekstraksi meliputi rasio area polusi, entropi tekstur, standar deviasi intensitas, dan saturasi rata-rata yang kemudian digabungkan menjadi skor komposit sebagai dasar klasifikasi.
2. Evaluasi kinerja sistem menggunakan confusion matrix terhadap 100 data citra, sistem memperoleh akurasi keseluruhan sebesar 70,00%, Precision 37,90%, Recall 45,93%, F1 Score 36,70%. Hasil ini menunjukkan bahwa sistem mampu mengklasifikasikan sebagian besar citra dengan benar, meskipun terdapat ketimpangan kinerja yang cukup signifikan antar kelas.

3. Sistem analisis sensor CO₂ berhasil membaca indikator warna pada display alat sensor kualitas udara dengan menghitung proporsi piksel hijau, kuning, dan merah pada area crop display. Pendekatan ini menghasilkan klasifikasi yang merepresentasikan estimasi konsentrasi CO₂ di udara, yaitu kondisi aman pada dominasi warna hijau, kondisi sedang pada dominasi warna kuning, dan kondisi berbahaya pada dominasi warna merah.
4. Hasil validasi silang antara kedua metode terhadap 100 pasang citra menunjukkan tingkat kesepakatan sebesar 37%, yang masuk dalam kategori Perlu Perbaikan. Dari total 100 pasang, hanya 37 pasang yang menghasilkan klasifikasi konsisten antara segmentasi citra dan sensor CO₂.
5. Secara keseluruhan sistem yang dibangun telah berhasil mengintegrasikan dua pendekatan pengukuran kualitas udara yang berbeda dalam satu platform terpadu berbasis Python, dilengkapi dengan antarmuka grafis, fitur ekspor laporan Excel multi-sheet, visualisasi confusion matrix, dan modul validasi silang otomatis yang memudahkan analisis komparatif.

5.2 Saran

Berdasarkan keterbatasan yang ditemukan selama penelitian, beberapa saran diberikan untuk pengembangan ke depan:

1. Untuk meningkatkan akurasi segmentasi khususnya pada kelas Rendah dan Sedang yang performanya masih rendah, disarankan dilakukan kalibrasi ulang threshold HSV berdasarkan karakteristik dataset lokal yang lebih representatif. Nilai threshold yang digunakan saat ini bersifat umum dan belum

dioptimalkan secara spesifik untuk kondisi pencahayaan dan jenis polutan yang dominan di wilayah penelitian. Penggunaan teknik pembelajaran mesin seperti Random Forest atau Support Vector Machine untuk tahap klasifikasi dapat dipertimbangkan sebagai alternatif pengganti klasifikasi berbasis skor komposit manual agar batas antar kelas dapat dipelajari secara adaptif dari data.

2. Dalam rangka meningkatkan tingkat kesepakatan validasi silang yang saat ini hanya 42%, disarankan penggunaan sensor multiparameter yang tidak hanya mengukur CO₂ tetapi juga parameter polutan lain seperti PM2.5, PM10, CO, dan NO₂. Parameter-parameter tersebut lebih berkorelasi langsung dengan kenampakan visual polusi yang ditangkap oleh kamera, sehingga diharapkan dapat meningkatkan konsistensi hasil antara kedua metode pengukuran.
3. Untuk pengembangan sistem lebih lanjut, antarmuka aplikasi dapat dikembangkan menjadi berbasis web atau mobile agar dapat diakses secara real-time dan diintegrasikan langsung dengan perangkat sensor IoT. Penambahan fitur notifikasi otomatis ketika tingkat polusi melebihi ambang batas tertentu juga akan meningkatkan nilai praktis sistem bagi pemangku kepentingan di bidang pemantauan kualitas lingkungan udara