

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil perancangan, implementasi, dan pengujian menyeluruh, penelitian ini menyimpulkan bahwa sistem yang dibangun telah berhasil menyelesaikan permasalahan utama terkait pengawasan penggunaan knalpot tidak standar secara otomatis. Solusi yang ditawarkan terbukti efektif dalam memantau ambang batas kebisingan lingkungan tanpa mengabaikan validitas data bukti pelanggaran. Berikut adalah rincian kesimpulan yang diperoleh dari hasil pengujian sistem:

1. Performa akuisisi sensor INMP441 Sensor mikrofon digital INMP441 yang terhubung ke ESP32 berhasil melakukan akuisisi suara kendaraan dengan baik pada seluruh variasi jarak (0–15 meter).
2. Implementasi metode *Fuzzy Logic* pada sistem terbukti dapat mengklasifikasikan jenis knalpot (Normal atau Racing) dengan akurasi sistem mencapai 92,85% pada kondisi statis serta mencapai akurasi 100% pada kondisi kendaraan bergerak dengan rentang kecepatan 10–40 km/jam.
3. Efektivitas capture gambar esp32-cam subsistem kamera ESP32-CAM mampu mendokumentasikan kendaraan pelanggar secara otomatis dengan tingkat keberhasilan perekaman gambar mencapai 100% pada berbagai kondisi pencahayaan dan mencapai akurasi 88.57% pada pengambilan gambar dengan variasi kecepatan kendaraan
4. Kecepatan dan keandalan pengiriman data sistem berhasil mengirimkan data notifikasi pelanggaran secara *real-time* dengan tingkat keberhasilan pengiriman mencapai 100% dengan delay *trigger* antara ESP32 ke ESP32-CAM selama 0,068 detik, delay pengiriman notifikasi Telegram 4,27 detik dan delay pengiriman website *monitoring* membutuhkan waktu rata-rata tepat 5 detik.
5. Stabilitas dan durabilitas sistem jangka panjang pengujian operasional secara kontinu selama 10 jam 10 menit (pukul 07.30–17.40 WIB) di portal parkir

kampus menunjukkan stabilitas perangkat keras yang tinggi tanpa mengalami *overheating* ataupun *crash* program. Jaringan komunikasi menuju Telegram Bot dan server Firebase tetap terhubung dengan baik, meskipun ditemukan satu keterbatasan kritis berupa munculnya 1 kejadian *false positive* akibat kondisi lalu lintas padat ketika dua kendaraan (knalpot standar dan racing) melintas secara bersamaan dalam satu bidang pandang kamera.

5.2 Saran

Demi pengembangan sistem yang lebih sempurna di masa mendatang, terdapat beberapa saran yang dapat dipertimbangkan, antara lain:

1. Kalibrasi dan kompensasi nilai desibel perlu dilakukan penambahan nilai kalibrasi rumus konversi desibel berbasis logaritmik di dalam pemrograman ESP32. Hal ini penting untuk meminimalkan selisih pembacaan desibel antara sensor INMP441 dan *Sound Level Meter* (SLM) standar agar nilai absolut yang dihasilkan oleh sistem menjadi lebih akurat.
2. Implementasi sound source localization untuk mengatasi kendala *false positive* ketika beberapa kendaraan melintas secara bersamaan (*multi-vehicle*), disarankan untuk menambahkan metode pembacaan arah datang suara (*sound source localization*) menggunakan susunan mikrofon (*microphone array*) agar sistem dapat mengisolasi dan mendeteksi secara spesifik kendaraan mana yang menghasilkan kebisingan.
3. Penerapan *object tracking* atau *ai vision* disarankan untuk menambahkan pemrosesan citra digital tingkat lanjut pada ESP32-CAM. Fitur ini berguna agar kamera dapat mengunci fokus dan melacak plat nomor atau kendaraan yang teridentifikasi melakukan pelanggaran secara presisi meskipun dalam kondisi bergerak cepat.
4. Optimalisasi desain fisik dan lensa kamera untuk mengurangi risiko gambar kendaraan terpotong pada kecepatan tinggi (35–40 km/jam), disarankan untuk memodifikasi posisi/ketinggian pemasangan modul ESP32-CAM di lapangan

atau mengganti lensa bawaan kamera OV2640 dengan jenis lensa *wide-angle* (sudut pandang lebih lebar) guna memperluas bidang pandang (*field of view*).

5. Mekanisme penanganan data antrean (Queue System) mengingat pengiriman data ke Telegram dan Firebase sangat bergantung pada stabilitas jaringan Wi-Fi), disarankan untuk mengimplementasikan sistem antrean data (*data queue*) atau penyimpanan lokal sementara (menggunakan kartu SD/EEPROM) agar tidak terjadi kehilangan bukti pelanggaran apabila terdapat dua pelanggaran knalpot racing yang terjadi dalam jeda waktu yang sangat rapat.

