

BAB 5

PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil perancangan dan analisis pengujian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa sistem deteksi dini kebakaran berbasis IoT dan kecerdasan buatan (*Artificial Intelligence*) ini berhasil diimplementasikan dengan tingkat keberhasilan yang tinggi. Integrasi metode hibrida yang menggabungkan sensor gas MQ-2 untuk deteksi asap dan algoritma YOLOv11 untuk klasifikasi visual api terbukti efektif menghasilkan sistem yang reliabel dengan nilai *F1-Score* mencapai 0,98 dan akurasi rata-rata 96,14%. Mekanisme validasi silang (*cross-validation*) antara input sensorik dan visual mampu meminimalisir kesalahan deteksi, sementara fitur mitigasi aktif berupa penyemprotan air otomatis bekerja responsif dalam memadamkan api pada tahap awal (*early suppression*), menjadikan alat ini solusi proteksi yang komprehensif dibandingkan detektor konvensional pasif.

Meskipun demikian, evaluasi kinerja menunjukkan adanya batasan teknis pada aspek jangkauan deteksi dan stabilitas waktu respon akibat keterbatasan perangkat keras. Efektivitas deteksi sistem terbatas pada jarak maksimal 210 cm untuk api parafin dan 260 cm untuk kertas, di mana penurunan resolusi optik kamera ESP32 Wrover Cam pada jarak jauh menyebabkan degradasi detail visual yang signifikan. Selain itu, ketergantungan pada arsitektur *client server* via jaringan *Wi-Fi* memunculkan anomali keterlambatan respon (*latency*) melebihi 5 detik pada beberapa skenario uji jarak jauh. Hal ini mengindikasikan bahwa meskipun logika pemrograman berjalan optimal, performa *real time* sistem masih sangat dipengaruhi oleh kualitas infrastruktur jaringan dan spesifikasi lensa kamera yang digunakan.

5.2. Saran

Demi meningkatkan kinerja, keandalan, dan skalabilitas sistem untuk implementasi di lingkungan industri atau komersial yang lebih luas, penelitian selanjutnya disarankan untuk melakukan peningkatan pada spesifikasi perangkat keras dan arsitektur pemrosesan data. Fokus utama pengembangan sebaiknya diarahkan pada pengurangan latensi jaringan dan peningkatan resolusi visual agar

deteksi dapat dilakukan pada area yang lebih luas dengan respon yang lebih instan. Berikut adalah beberapa rekomendasi spesifik untuk pengembangan penelitian di masa mendatang:

1. Penerapan *Edge Computing* dengan Raspberry Pi. Disarankan untuk mengganti mikrokontroler ESP32 dengan *Single Board Computer* (SBC) seperti Raspberry Pi 4 atau 5. Peningkatan ini memungkinkan pemrosesan algoritma YOLO dijalankan langsung di perangkat (*on-device processing*) tanpa perlu mengirim gambar ke server/laptop terpisah. Hal ini akan memangkas ketergantungan pada kestabilan Wi-Fi secara drastis dan mempercepat waktu respon (*inference time*).
2. Peningkatan Modul Optik Kamera. Mengganti modul kamera standar dengan kamera yang memiliki resolusi lebih tinggi (misalnya Raspberry Pi Camera Module V3 atau kamera USB HD) dan fitur *Night Vision* yang lebih baik. Peningkatan ini diperlukan untuk memperluas jarak deteksi efektif di atas 3 meter dan menjaga akurasi sistem dalam kondisi pencahayaan yang sangat minim atau gelap total.
3. Integrasi Sumber Daya Cadangan (*Uninterruptible Power Supply*). Mengingat kebakaran sering kali memutus aliran listrik utama, penambahan modul baterai cadangan atau sistem UPS mini sangat krusial untuk memastikan alat (terutama pompa dan mikrokontroler) tetap dapat beroperasi dan mengirimkan notifikasi darurat saat listrik padam.
4. Perluasan Dataset Pelatihan. Memperkaya model YOLOv11 dengan dataset yang lebih variatif, termasuk skenario visual asap putih/hitam tanpa api, uap air (untuk membedakan dengan asap), serta kondisi visual gangguan cahaya (*glare*). Hal ini akan meningkatkan kekebalan sistem terhadap *false alarm* di lingkungan yang kompleks.