

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil dan pembahasan perancangan, implementasi, dan pengujian sistem deteksi, peringatan dini, dan penanggulangan awal kebakaran berbasis *IoT* menggunakan ESP32-CAM pada gudang boks karton, dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Sistem deteksi dan peringatan dini kebakaran berbasis *IoT* untuk gudang boks karton berhasil dirancang dan diimplementasikan dengan mengintegrasikan sensor asap MQ-2, *flame sensor* atau sensor api, *buzzer*, modul relai, pompa air mini, dan Telegram Bot ke dalam satu kesatuan sistem yang mampu bekerja sesuai fungsinya masing-masing, sehingga menjawab rumusan masalah penelitian ini.
2. ESP32-CAM berhasil diimplementasikan sebagai pengendali utama sistem yang mengolah data dari sensor MQ-2 dan *flame sensor*, mengambil foto kondisi gudang melalui kamera OV2640, serta mengoordinasikan aktuator dan pengiriman notifikasi, dengan tingkat keberhasilan deteksi sebesar 100% pada skenario pengujian di area prototipe gudang.
3. Modul relai dan pompa air mini berhasil diintegrasikan sebagai sistem penanggulangan awal kebakaran, di mana aktuator lokal yaitu *buzzer* dan pompa air mini dapat merespons indikasi bahaya secara otomatis dengan waktu tunda rata-rata 0,4–0,8 detik setelah sensor mendeteksi asap atau nyala api, sehingga terbukti efektif meminimalkan risiko penyebaran api pada tahap awal.
4. Mekanisme pengiriman notifikasi peringatan kebakaran secara *real-time* melalui aplikasi Telegram berhasil diterapkan, di mana sistem mengirimkan notifikasi disertai foto kondisi gudang kepada pengguna dalam rentang waktu rata-rata 3–5 detik tergantung stabilitas koneksi internet, sehingga pengguna dapat memantau dan mengambil tindakan meskipun berada di lokasi yang berbeda.
5. Secara keseluruhan, sistem yang dibangun terbukti mampu meningkatkan kecepatan deteksi, mempercepat penyampaian informasi, serta memberikan respons awal penanggulangan kebakaran, sehingga dapat membantu

mengurangi risiko kerugian yang lebih besar di gudang boks karton sejalan dengan tujuan dan manfaat penelitian yang telah dirumuskan.

5.2 Saran

Terdapat beberapa saran untuk pengembangan sistem lebih lanjut agar kinerja dan cakupan sistem dapat ditingkatkan.

1. Sistem dapat diperluas dengan menambahkan sensor suhu seperti DHT22 atau sensor suhu inframerah dapat meningkatkan akurasi deteksi kebakaran. Kombinasi data dari sensor asap, sensor api, dan sensor suhu dapat mengurangi kemungkinan false alarm yang disebabkan oleh asap dari sumber selain kebakaran.
2. Sistem dapat dilengkapi dengan fitur penyimpanan data berbasis cloud seperti *Firebase* atau *ThingSpeak* untuk merekam riwayat pembacaan sensor dan kejadian peringatan secara otomatis. Data historis ini berguna untuk keperluan analisis dan evaluasi kondisi lingkungan gudang
3. Antarmuka pemantauan sistem dapat dikembangkan menjadi aplikasi *mobile* atau *dashboard* web yang menampilkan data sensor secara *real-time*, riwayat kejadian, serta kendali manual pompa air dan *buzzer*. Hal ini akan meningkatkan efisiensi respons, mempermudah pengawasan jarak jauh, dan mempercepat tindakan penanggulangan kebakaran.
4. Sistem dapat dikembangkan untuk mendukung pemantauan multi-area dengan beberapa titik sensor yang tersebar di berbagai sudut gudang. Dengan arsitektur modular yang telah dirancang, penambahan node sensor baru seharusnya dapat dilakukan tanpa mengubah logika program secara signifikan.
5. Penggunaan baterai cadangan seperti UPS mini disarankan untuk memastikan sistem tetap beroperasi meskipun terjadi gangguan pada pasokan listrik utama. Kelangsungan operasional sistem pada saat kondisi darurat sangat penting agar peringatan tetap dapat tersampaikan kepada pengguna.