

BAB V KESIMPULAN

A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan mengenai *rancang bangun alat penghitung jumlah pengunjung otomatis berbasis esp32 sebagai upaya pencegahan overkapasitas ruangan*, dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut:

1. Sistem menunjukkan kinerja andal dalam kondisi operasional normal, dengan akurasi deteksi arah gerakan sebesar 96,7% dan waktu respons rata-rata 480-520 ms di bawah ambang batas 500 ms untuk sistem real-time interaktif. Mekanisme debounce delay (100 ms) dan sensor locking time (1 detik) terbukti efektif mencegah *double-counting* dalam skenario pengujian standar, sementara fungsi mode darurat ganda (fisik & web server) berjalan konsisten tanpa mengganggu integritas data log aktivitas.
2. Konfigurasi solenoid lock tipe *normally closed* menghasilkan sistem *fail-secure*, yang meningkatkan keamanan akses dengan menjaga pintu tetap terkunci saat gangguan daya. Namun, pendekatan ini menciptakan *trade-off* mendasar antara aspek keamanan (*security*) dan keselamatan (*safety*), karena berpotensi menghambat evakuasi darurat seperti kebakaran. Meskipun mitigasi risiko telah disediakan melalui *emergency override* ganda, sistem ini belum sepenuhnya memenuhi prinsip *life safety* yang mensyaratkan pembukaan otomatis saat terjadi kegagalan daya.

Secara keseluruhan, penelitian ini berhasil menunjukkan bahwa rancang bangun sistem monitoring pengunjung berbasis ESP32 dapat diwujudkan dengan komponen terjangkau dan logika kontrol yang transparan, sekaligus mengungkap pentingnya integrasi prinsip *life safety*, stabilitas termal, dan keandalan jaringan dalam desain sistem otomasi berbasis mikrokontroler.

B. Saran/rekomendasi

Pengembangan sistem selanjutnya disarankan memprioritaskan aspek keselamatan pengguna dengan mengimplementasikan mekanisme penguncian bertipe fail-safe (Normally Open) atau menambahkan mekanisme emergency release berbasis sensor asap dan tombol manual. Hal ini diperlukan untuk memastikan pintu dapat membuka secara otomatis saat terjadi gangguan daya akibat insiden darurat seperti kebakaran, sehingga memenuhi prinsip *life safety* dalam desain sistem keamanan fisik dan mengurangi risiko terjebak bagi pengguna di dalam ruangan.

Selain itu, perlu dilakukan peningkatan pada aspek stabilitas operasional dan akurasi perangkat keras. Disarankan menggunakan catu daya (PSU/trafo) yang lebih memadai dengan kapasitas arus yang cukup untuk mengoperasikan solenoid

lock tanpa menyebabkan penurunan tegangan pada mikrokontroler. Manajemen thermal seperti pemasangan heatsink atau cooling fan serta pemisahan sumber daya antara ESP32 dan aktuator juga perlu diterapkan untuk mencegah degradasi performa akibat overheating. Untuk meningkatkan akurasi deteksi, sensor infrared proximity dapat diganti dengan teknologi yang lebih presisi seperti sensor Time-of-Flight (ToF) atau diintegrasikan dengan sistem pengenalan wajah (face recognition) guna memvalidasi identitas pengunjung dan meminimalisir kesalahan penghitungan pada kondisi kerumunan.

Selain peningkatan teknologi sensor, aspek desain akses masuk juga perlu diperhatikan. Sistem berbasis sensor proximity memiliki keterbatasan dalam membedakan arah pergerakan pengguna ketika beberapa orang melintas secara bersamaan atau bergerak bolak-balik di area sensor. Oleh karena itu, pada implementasi nyata disarankan penggunaan desain pintu satu arah (one-way access) yang memisahkan jalur masuk dan keluar sehingga proses penghitungan jumlah pengunjung dapat berlangsung lebih akurat. Alternatif lainnya adalah dengan menambahkan konfigurasi multi-sensor atau metode deteksi arah berbasis pasangan sensor (dual-beam) yang mampu mengidentifikasi pergerakan masuk dan keluar secara lebih presisi, sehingga sistem dapat menangani berbagai skenario lalu lintas pengguna di area pintu.

Penelitian ini dapat dikembangkan lebih lanjut dengan integrasi platform IoT cloud untuk pemantauan jarak jauh, logging data historis, dan notifikasi real-time, serta penambahan fitur pada antarmuka web seperti statistik pengunjung dan autentikasi pengguna. Dengan demikian, prototipe ini tidak hanya berfungsi sebagai alat monitoring lokal, tetapi juga sebagai bagian dari ekosistem ruang cerdas yang adaptif, skalabel, dan siap untuk implementasi nyata di masa mendatang.