

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil perancangan, implementasi, dan pengujian yang telah dilakukan, maka dapat diperoleh beberapa kesimpulan:

1. Sistem kendali *Automatic Line Barrier* (ALB) berbasis *Finite State Machine* (FSM) menggunakan sensor ultrasonik pada *prototype* gerbang tol *free flow* berhasil dirancang dan diimplementasikan menggunakan mikrokontroler ESP32. FSM mampu mengatur urutan proses mulai dari pendeteksian kendaraan, identifikasi RFID, validasi data kendaraan, pembukaan palang, hingga penutupan palang sesuai kondisi sistem.
2. Sensor ultrasonik HY-SRF05 mampu mendeteksi keberadaan kendaraan dengan baik sesuai fungsi masing-masing sensor. Sensor ultrasonik 1 berfungsi sebagai pendeteksi awal kendaraan, sensor ultrasonik 2 menjaga keselamatan pada area gerbang dengan mempertahankan palang tetap terbuka selama kendaraan masih berada di bawah palang, sedangkan sensor ultrasonik 3 berhasil mendeteksi kendaraan yang diarahkan menuju jalur keluar.
3. Sensor ultrasonik HY-SRF05 memiliki kinerja tingkat akurasi dan konsistensi hasil pembacaan yang baik. Untuk pengujian akurasi, sensor ultrasonik 1 memiliki rata-rata selisih 0.09 cm dan rata-rata *error* 0.5%, sensor ultrasonik 2 memiliki rata-rata selisih 0.16 cm dan rata-rata *error* 0.9%, dan sensor ultrasonik 3 memiliki rata-rata selisih 0.15 cm dan rata-rata *error* 0.6%. Kemudian, untuk pengujian konsistensi, sensor ultrasonik 1 memiliki rata-rata selisih 0.19 cm dan 0.83% dalam 10 kali pengujian, sensor ultrasonik 2 memiliki rata-rata selisih 0.18 cm dan 0.7% dalam 10 kali pengujian, dan sensor ultrasonik 3 memiliki rata-rata selisih 0.16 cm dan 0.61% dalam 10 kali pengujian.
4. Pengujian terhadap sistem menunjukkan bahwa seluruh skenario operasi berhasil dijalankan sesuai rancangan, meliputi kendaraan valid, kendaraan

dengan saldo tidak mencukupi, kendaraan dengan tag tidak valid, serta kondisi dua kendaraan berurutan (*tailgating*). Pada setiap skenario tersebut, transisi *state* pada FSM berlangsung sesuai logika yang telah dirancang sehingga ALB dapat memberikan respon yang tepat terhadap setiap kondisi kendaraan. Pada pengujian verifikasi ulang ALB sebanyak 10 kali percobaan, seluruh percobaan juga berhasil sehingga diperoleh tingkat keberhasilan sebesar 100% pada kondisi pengujian yang dilakukan.

5. Berdasarkan hasil pengujian, sistem memiliki rata-rata waktu respons sebesar 2158,6 ms atau 2,1586 detik dan rata-rata waktu siklus pelayanan sebesar 3388,6 ms atau 3,3886 detik. Dibandingkan dengan penelitian pembanding, waktu respons sistem masih lebih panjang dibandingkan waktu pelayanan SLFF sebesar 0,6 detik, tetapi lebih singkat dibandingkan sistem *tapping card* sebesar 7,6 detik. Perbedaan dengan sistem SLFF disebabkan oleh cakupan pengukuran yang berbeda, karena waktu respons penelitian ini mencakup proses identifikasi RFID, validasi data, komunikasi dengan Firebase, dan eksekusi FSM hingga ALB membuka.
6. Secara keseluruhan, penelitian ini berhasil memenuhi tujuan yang telah ditetapkan, yaitu menghasilkan sistem kendali *Automatic Line Barrier* berbasis *Finite State Machine* (FSM) yang mampu mengendalikan *prototype* gerbang tol *free flow* secara otomatis berdasarkan informasi dari sensor ultrasonik dan proses identifikasi kendaraan.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, beberapa saran yang dapat diberikan untuk pengembangan sistem pada penelitian selanjutnya adalah:

1. Mengembangkan *prototype* menggunakan mekanisme penggerak palang yang memiliki kecepatan dan ketahanan lebih baik sehingga dapat diaplikasikan pada skala yang lebih besar.
2. Pengembangan sistem sensor agar dapat digunakan pada kondisi kendaraan dengan variasi ukuran dan posisi yang lebih beragam.

3. Mengoptimalkan proses komunikasi antara sistem dan basis data agar waktu respon keseluruhan sistem dapat menjadi lebih singkat, terutama ketika jumlah kendaraan yang dilayani meningkat.
4. Menambahkan metode deteksi kendaraan lain, seperti kamera atau sensor tambahan, sebagai sistem redundansi sehingga keandalan pendeteksian kendaraan dapat semakin meningkat.
5. Mengembangkan sistem agar mampu menangani kondisi lalu lintas yang lebih kompleks, seperti banyak kendaraan yang melintas secara berurutan atau bersamaan, sehingga performa sistem pada kondisi nyata dapat dievaluasi lebih lanjut.
6. Melakukan implementasi dan pengujian pada lingkungan yang menyerupai kondisi gerbang tol sebenarnya agar diperoleh hasil evaluasi yang lebih representatif terhadap penerapan sistem di lapangan.
7. Melakukan pengujian dengan jumlah percobaan yang lebih banyak dan variasi kondisi operasi yang lebih beragam untuk mengevaluasi kestabilan waktu respons sistem serta mengidentifikasi kemungkinan terjadinya keterlambatan pembukaan ALB pada kondisi operasional tertentu.
8. Menambahkan mekanisme pencatatan dan penyimpanan data proses secara terstruktur, meliputi waktu deteksi sensor, pembacaan RFID, validasi kendaraan, pemrosesan transaksi, perintah pembukaan, dan penutupan ALB. Data tersebut dapat digunakan sebagai *log* pemantauan untuk memudahkan penelusuran sumber masalah apabila terjadi keterlambatan atau kegagalan sistem.