

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil perancangan, pengujian, serta analisis data pada *prototype Smart Rotary Parking*, dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut:

Kinerja Perangkat Keras dan Sistem Kelistrikan. Sistem catu daya yang terdiri dari *power supply* 12 VDC dan *buck converter* LM2596 terbukti mampu mendistribusikan daya secara stabil pada kondisi berbeban penuh, dengan persentase *error* tegangan masing-masing sebesar 1,17% dan 0,2%. Modul identifikasi RFID RC522 berfungsi optimal dengan jarak baca efektif antara 0 hingga 4,5 cm, ditandai dengan penurunan tegangan sinyal MISO yang konsisten sebesar 10,3 mV saat kartu dipindai. Aktuator motor servo SG90 untuk mekanisme gerbang beroperasi dengan akurasi dan keterulangan sudut (*repeatability*) mencapai 100% pada posisi 0°, 90°, dan 180°.

Integrasi Komunikasi IoT dan Antarmuka HMI. Transmisi telemetri data berformat JSON menggunakan protokol MQTT menuju broker HiveMQ dan aplikasi Android (MIT App Inventor) berjalan andal dengan latensi rata-rata 243,03 ms dan Koefisien Variasi sebesar 8,51%. Komunikasi serial UART antara ESP32 Master dan Slave berhasil mengeksekusi instruksi tanpa kehilangan data, sementara layar LCD 16x2 I2C, OLED SSD1306, beserta aplikasi HMI mencapai tingkat keberhasilan 100% dalam menampilkan pembaruan status sistem secara *real-time*.

Efisiensi Alur *Check-In* dan *Check-Out*. Keseluruhan alur akses gerbang memiliki tingkat keberhasilan operasional 100%. Proses *check-in* membutuhkan waktu rata-rata 5,23 detik per pergeseran satu slot akibat adanya proses validasi visual melalui ESP-CAM. Proses *check-out* berjalan lebih cepat dengan rata-rata 2,40 detik per pergeseran slot karena sistem langsung berpatokan pada pembacaan posisi mekanik dari sensor Hall.

Keandalan Logika Sistem, Pewaktuan, dan Penyimpanan Data. Logika pengambilan keputusan berbasis *rule-based* mampu menentukan fase masuk dan keluar secara instan dalam satu kali penempelan kartu (*single tap*), serta merespons kondisi parkir penuh dengan latensi hanya 248,07 ms. Pencatatan durasi parkir internal menggunakan fungsi `millis()` terbukti sangat presisi dengan rata-rata *error* 0,68% (selisih 0,33 detik) dibandingkan pengukuran manual. Fitur pencadangan data komplementer menggunakan *Non-Volatile Storage* (NVS) berhasil mempertahankan dan memulihkan memori ketersediaan slot beserta koordinat posisi mekanik secara utuh pasca pemutusan daya mendadak.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian, pengujian, serta keterbatasan yang ditemukan pada pengembangan sistem *gate Smart Rotary Parking* ini, berikut adalah beberapa saran dan rekomendasi tingkat lanjut yang dapat diimplementasikan pada penelitian selanjutnya:

1. Mengimplementasikan sistem pembayaran nontunai menggunakan QRIS yang di-*generate* secara dinamis oleh ESP32 Master berdasarkan durasi parkir aktual yang tercatat melalui fungsi `millis()`. Status verifikasi pembayaran melalui *payment gateway* menjadi prasyarat sebelum instruksi GATE_OUT dieksekusi, sehingga palang keluar hanya terbuka setelah transaksi berhasil dikonfirmasi.
2. Bermigrasi ke *broker* MQTT privat (*self-hosted* Mosquitto/EMQX atau layanan berbayar dengan *Service Level Agreement*), disertai penerapan mekanisme penyimpanan data sementara (*store-and-forward buffer*) pada ESP32 Master, sehingga data transaksi tetap tersimpan lokal dan terkirim ulang otomatis apabila koneksi ke *broker* terputus.
3. Menambahkan sistem manajemen daya berbasis baterai cadangan (BMS/UPS) atau panel surya agar alat dan sistem mikrokontroler tetap beroperasi secara kontinu meskipun terjadi pemadaman arus listrik utama.
4. Memanfaatkan fitur autentikasi sektor berbasis kunci kriptografi (*Crypto1*) yang tersedia pada kartu MIFARE Classic dan didukung pustaka MFRC522,

sehingga validasi akses tidak hanya bergantung pada UID, tetapi juga memverifikasi kunci autentikasi yang tidak dapat dibaca maupun diduplikasi tanpa otorisasi.