

BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil perancangan, realisasi perangkat keras dan lunak, serta serangkaian pengujian operasional yang telah dilakukan pada purwarupa *Smart Rotary Parking*, dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Peningkatan Efisiensi Waktu Operasional:

Penerapan sistem *rotary parking* terbukti mampu memangkas waktu pencarian ruang parkir secara signifikan dibandingkan metode parkir konvensional. Pengujian skenario penyimpanan (*Tap-in*) mencatat total durasi penyelesaian dari pembacaan kartu RFID, verifikasi visual slot kosong, hingga palang pintu masuk terbuka hanya membutuhkan waktu antara 8,97 detik hingga 23,20 detik untuk jarak keranjang terjauh. Sementara itu, pada siklus penjemputan (*Tap-out*), waktu pengambilan mobil berlangsung sangat cepat dan konsisten dengan rentang waktu 2,22 detik hingga 8,09 detik (rata-rata kecepatan putaran mekanik sebesar $\approx 2,5$ detik/slot).

2. Optimalisasi Penggunaan Lahan Melalui Mekanisme Parkir Vertikal:

Rancang bangun purwarupa *rotary parking* berdimensi 63 cm $\times$ 43 cm $\times$ 48 cm berhasil membuktikan efisiensi pemanfaatan ruang vertikal. Dengan luas tapak tanah (*ground footprint*) hanya sebesar 0,27 m², alat ini mampu menampung hingga 5 slot mobil miniatur. Hal ini merepresentasikan peningkatan kapasitas tampung hingga 5 kali lipat (400%) pada luasan lantai horizontal yang sama dibandingkan sistem parkir konvensional sebidang.

3. Keandalan dan Akurasi Sensor *Hall Effect* sebagai Counter Posisi:

Penggunaan sensor *Hall Effect* digital IC A3144 yang dipadukan dengan magnet *neodymium* pada jarak celah $\leq 0,5$ cm terbukti bekerja secara andal dengan tingkat keberhasilan yang hampir semuanya berhasil. Sinyal pulsa magnetik yang dikirimkan ke ESP32 Master mampu bertindak sebagai *counter* yang presisi.

4. Efektivitas Sistem Visi ESP32-CAM dan Penanganan Inersia Mekanik:

Metode pengolahan citra ringan (*Lightweight Image Processing*) berbasis *grayscale thresholding* (nilai ambang 170) dan analisis persentase kepadatan piksel pada area ROI (50%) sukses mengidentifikasi ketersediaan ruang slot parkir. Penerapan jeda

penstabilan mekanik (*Settle Time*) selama 1,5 detik terbukti efektif meredam ayunan inersia keranjang akrilik gantung bebas, mengeliminasi efek *motion blur*, dan mencegah kesalahan pembacaan status. Namun demikian, sistem memiliki keterbatasan mendasar dalam mendeteksi mobil miniatur berwarna putih cerah karena nilai intensitas pantulan cahayanya menyerupai lantai dasar keranjang.

5.2 Saran

Untuk pengembangan dan penyempurnaan sistem *Smart Rotary Parking* pada penelitian selanjutnya, disarankan beberapa hal berikut:

1. Pengembangan Algoritma Pengolahan Citra untuk Bodi Kendaraan Cerah: Sistem visi pada ESP32-CAM dapat ditingkatkan dengan mengganti metode *grayscale thresholding* sederhana menjadi segmentasi ruang warna HSV (*Hue, Saturation, Value*) atau ekstraksi fitur tepi (*Edge Detection* seperti algoritma *Sobel/Canny*), sehingga sistem tetap mampu mendeteksi kendaraan berwarna putih, perak, atau krem tanpa terpengaruh warna lantai keranjang.

2. Penambahan Ruang Pembacaan Tertutup dan Pencahayaan Mandiri (*Illumination Box*):

Untuk meminimalkan sensitivitas terhadap fluktuasi intensitas cahaya ruangan sekitar (*ambient light*), area titik inspeksi kamera di bagian bawah dapat dipasang penutup (*enclosure*) yang dilengkapi dengan lampu LED iluminasi konstan berkekuatan stabil.

3. Optimasi Mekanik Peredam Ayunan (*Damper / Guide Rail*):

Guna mengurangi waktu tunggu siklus (*Settle Time* 1,5 detik), kerangka mekanik dapat ditambahkan sistem rel penuntun (*guide rail*) atau peredam kejut mekanis di titik akses masuk/keluar, sehingga keranjang dapat langsung berhenti secara kaku (*rigid*) tanpa mengalami osilasi ayunan sisa.

4. Peningkatan Skalabilitas dan Integrasi Sistem Penuh:

Pada pengembangan skala industri nyata (*scale-up*), penggerak utama dapat diganti menggunakan motor induksi AC 3-fasa yang dilengkapi dengan *inverter* (VFD) untuk kendali percepatan/perlambatan yang lebih halus (*smooth acceleration/deceleration*), serta diintegrasikan secara komprehensif dengan sistem transaksi pembayaran nontunai dan aplikasi pemantauan berbasis cloud IoT