

BAB V

PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan pengujian lengan robot 4 DOF untuk *pick and place* berbasis STM32 dengan sistem kendali melalui HMI Nextion yang sudah dilakukan, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Sistem kontrol berbasis mikrokontroler STM32F411CEU6 mampu menghasilkan sinyal PWM yang stabil untuk menggerakkan motor servo MG996R dan SG90 dengan akurasi pergerakan yang baik. Dari hasil pengukuran, perbedaan sudut antara target dan posisi aktual hanya berkisar $\pm 1-2^\circ$.
2. Sistem lengan robot ini dirancang dengan integrasi penuh antara aspek mekanik, elektronik, dan kontrol. Termasuk catu daya *stepdown* XL4016, sensor *proximity* infrared E18-D80NK, serta komunikasi data dengan Raspberry Pi 5, dan sistem kendali melalui HMI Nextion dapat berjalan secara sinkron dan stabil. Struktur mekanik disesuaikan agar mampu menahan beban kerja motor tanpa menyebabkan getaran berlebih.
3. Pengujian *inverse kinematics* menunjukkan bahwa lengan robot mampu melakukan proses *pick and place* dengan akurat berdasarkan masukan koordinat X, Y, dan Z dari HMI. Perhitungan sudut yang dihasilkan memiliki *error* sangat kecil, yaitu sekitar 0,04% hingga 1%. Nilai ini membuktikan bahwa posisi *end-effector* yang dicapai mendekati perhitungan teoritis. Secara keseluruhan, penerapan *inverse kinematics* berjalan efektif.
4. Berdasarkan hasil pengujian keseluruhan, sistem terbukti bekerja sesuai rancangan dalam mode otomatis maupun manual. Sensor infrared mampu mendeteksi objek secara efektif pada jarak 2–4 cm, dan sistem *garbage box* dapat menghitung jumlah barang cacat secara *real-time* hingga batas empat objek, dengan tampilan notifikasi “GARBAGE BOX PENUH” pada HMI Nextion.

5.2. Saran

Beberapa saran untuk pengembangan lengan robot 4 DOF untuk *pick and place* berbasis STM32 dengan sistem kendali melalui HMI Nextion ini lebih lanjut meliputi:

1. Disarankan untuk mengevaluasi kembali akurasi perhitungan *invers kinematics*, terutama untuk kasus posisi dengan sudut yang ekstrem.
2. Jika ingin menambah beban yang diangkat oleh robot lengan dapat memilih servo yang memiliki torsi lebih besar untuk menahan beban berat pada lengan robot terutama pada *joint base* dan *shoulder* yang memiliki beban terbesar jika dibandingkan dengan *joint* yang lain serta melakukan kalibrasi berkala pada motor servo.
3. Pengembangan sistem IoT yang dapat digunakan untuk *monitoring* dan mengontrol lengan robot dalam jarak yang jauh.

Dengan mengimplementasikan saran-saran ini, diharapkan lengan robot 4 DOF untuk *pick and place* berbasis STM32 dengan sistem kendali melalui HMI Nextion ini dapat beroperasi lebih efektif, responsif, dan dapat disesuaikan dengan masa yang akan datang.