BAB V
KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini menyajikan kesimpulan dari seluruh tahapan pelaksanaan proyek akhir berdasarkan hasil dan pembahasan yang telah diuraikan pada bab sebelumnya, serta saran untuk pengembangan lebih lanjut.

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil perancangan, analisis, simulasi, manufaktur, dan perakitan yang telah dilakukan, dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Desain robot arm dengan konfigurasi Articulated 6-DOF telah berhasil ditentukan sesuai kebutuhan simulasi proses pengelasan rangka kendaraan roda tiga. Konfigurasi ini memungkinkan end-effector mencapai posisi dan orientasi yang diperlukan di dalam ruang kerja, sebagaimana divalidasi melalui simulasi Gazebo terhadap delapan titik welding pada bak motor.
2. Konfigurasi aktuator berupa stepper motor NEMA 23 yang dikombinasikan dengan planetary gearbox dan timing belt telah memenuhi kebutuhan torsi operasional pada seluruh joint utama, dengan safety factor sebesar 3,40 pada Joint 3; 4,70 pada Joint 2; dan 5,46 pada Joint 1 terhadap payload 2 kg.
3. Robot arm memiliki jangkauan kerja maksimum sebesar 1.248,45 mm, memenuhi target workspace linear minimum 1,2 m. Realisasi fisik telah berhasil diwujudkan melalui proses CNC milling, CNC turning, 3D print DLP, dan 3D print FDM.

4. Analisis kekuatan struktur menunjukkan seluruh elemen kritis berada dalam batas aman, dengan safety factor baut berkisar 2,15-13,7 dan tegangan puntir poros yaitu 4,53-10,78 MPa yang mana jauh di bawah batas izin Aluminium 6061 sebesar 160,1 MPa.

5.2 Saran

Berdasarkan pelaksanaan dan hasil proyek akhir ini, berikut adalah beberapa saran untuk pengembangan lebih lanjut:

1. Optimasi Bobot Struktur. Desain mekanik saat ini memiliki safety factor yang cukup tinggi pada beberapa komponen, terutama pada poros dan baut. Hal ini mengindikasikan adanya potensi optimasi bobot struktur melalui *topology optimization* atau pengurangan ketebalan material pada area yang memiliki tegangan rendah, sehingga dapat mengurangi beban inersia dan meningkatkan kecepatan gerak robot.
2. Peningkatan Material dan Proses Manufaktur. Beberapa komponen yang saat ini dibuat menggunakan 3D print (DLP dan FDM) seperti pulley dan komponen planetary gear memiliki keterbatasan kekuatan mekanis dibandingkan komponen hasil permesinan logam. Untuk penggunaan jangka panjang dan beban operasional yang lebih berat, disarankan mengganti komponen-komponen tersebut dengan material logam yang dimanufaktur menggunakan proses permesinan seperti *wire-cut EDM*.
3. Pengembangan Gearbox Reducer Custom. Planetary gearbox yang digunakan saat ini memiliki backlash yang sangat besar, sehingga berdampak negatif terhadap akurasi posisi end-effector. Untuk

pengembangan selanjutnya, disarankan merancang dan membuat gearbox reducer sendiri dengan tipe yang memiliki backlash kecil, seperti cycloidal drive atau harmonic drive, yang disesuaikan dengan kebutuhan rasio reduksi dan torsi pada masing-masing joint. Apabila sumber daya dan waktu tidak memungkinkan untuk mengembangkan gearbox reducer secara mandiri, alternatif yang dapat dilakukan adalah memperpendek panjang lengan bawah (saat ini 650 mm) dan lengan atas (saat ini 574,95 mm). Dengan memperpendek lengan, pengaruh backlash terhadap kesalahan posisi di ujung lengan dapat berkurang, meskipun dengan konsekuensi berkurangnya workspace linear robot.

4. Seluruh link saat ini seluruhnya memakai plat lurus yang mana memiliki kekakuan terbatas yang menyebabkan defleksi sehingga memperbesar kesalahan posisi end-effector di samping backlash transmisi. Maka disarankan membuat link menggunakan metode pengecoran (*casting*) agar lebih rigid.