

BAB V

KESIMPULAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil perancangan, implementasi, pengujian, dan analisis yang telah dilakukan pada robot arm RNV3 3 DOF menggunakan metode inverse kinematics, dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Metode inverse kinematics berhasil diimplementasikan pada robot arm RNV3 3 DOF untuk mengubah koordinat target X, Y, Z menjadi sudut joint Rot, Low, dan High.
2. Pengujian inverse kinematics dilakukan pada 6 posisi referensi, yaitu Awal, Kanan, Kiri, Maju Turun, Mundur Naik, dan Diagonal, dengan variasi ± 10 mm pada sumbu X, Y, dan Z sehingga menghasilkan total 42 skenario pengujian.
3. Seluruh hasil pengujian inverse kinematics berstatus VALID dan menghasilkan error matematis sebesar 0 mm. Hal ini menunjukkan bahwa algoritma inverse kinematics mampu menghitung sudut joint dengan tepat sesuai koordinat target yang diberikan.
4. Pada pengujian akurasi posisi, diperoleh error total sebesar 7,07 mm sampai 11,18 mm. Error terbesar terjadi pada posisi Maju Turun dan Diagonal karena pada posisi tersebut lengan robot berada pada konfigurasi yang lebih extended.
5. Error terbesar dominan terjadi pada sumbu Y, sedangkan error pada sumbu X bernilai 0 mm. Hal ini menunjukkan bahwa pergerakan horizontal pada sumbu X relatif stabil, sedangkan pergerakan pada sumbu Y masih dipengaruhi oleh kondisi mekanik robot.
6. Pengujian repeatability menunjukkan hasil yang sangat baik dengan error average 0 mm, error maximum 0 mm, error minimum 0 mm, dan success rate 100%. Hasil ini menunjukkan bahwa sistem mampu menghasilkan perhitungan yang konsisten ketika diberikan input yang sama.

7. Visualisasi 3D dan workspace berhasil membantu dalam memverifikasi konfigurasi robot sebelum robot bergerak. Seluruh posisi pengujian berada di dalam area workspace sehingga dapat dihitung menggunakan metode inverse kinematics.
8. Monitoring posisi real-time berhasil menampilkan grafik pergerakan robot berdasarkan koordinat X, Y, dan Z terhadap waktu. Namun, analisis akurasi tetap dilakukan berdasarkan pengukuran manual karena grafik monitoring hanya menunjukkan data dari sistem.
9. Error posisi fisik yang masih terjadi tidak disebabkan oleh perhitungan inverse kinematics, tetapi lebih dipengaruhi oleh faktor mekanik seperti backlash gear servo, defleksi lengan robot, toleransi assembly, resolusi motor, dan kemungkinan kesalahan pengukuran manual.
10. Secara keseluruhan, sistem inverse kinematics pada robot arm RNV3 berhasil memenuhi tujuan penelitian, yaitu mampu mengendalikan robot menuju posisi target secara konsisten. Namun, akurasi fisik robot masih perlu ditingkatkan melalui kalibrasi, kompensasi error, dan perbaikan pada aspek mekanik serta kontrol.

Adapun keterbatasan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut: (1) sistem pengendalian bersifat open-loop tanpa sensor feedback posisi, sehingga akurasi sistem sangat bergantung pada kondisi mekanik robot; (2) pengukuran posisi aktual dilakukan secara manual sehingga hasil pengukuran dipengaruhi oleh keterbatasan presisi alat dan metode pengukuran; (3) pengujian hanya dilakukan pada skenario yang menghasilkan solusi VALID, tanpa mencakup pengujian pada kondisi batas workspace, singularitas, maupun joint limit; dan (4) pengujian repeatability yang dilakukan merupakan pengujian konsistensi perhitungan matematis, bukan repeatability posisi fisik robot secara langsung.

5.2 Saran Pengembangan

Berdasarkan hasil pengujian dan analisis yang telah dilakukan, terdapat beberapa saran untuk pengembangan sistem selanjutnya, yaitu:

1. Melakukan kalibrasi ulang pada robot agar posisi awal dan sudut joint lebih sesuai dengan koordinat aktual robot.
2. Menambahkan kompensasi error berdasarkan data pengujian manual agar posisi target dapat dikoreksi secara otomatis.
3. Meningkatkan rigiditas mekanik robot agar defleksi lengan dapat dikurangi, terutama pada posisi yang extended.
4. Mengurangi backlash pada gear servo atau mekanisme transmisi agar gerakan robot lebih presisi.
5. Menggunakan motor, driver, atau encoder dengan resolusi yang lebih baik agar kontrol sudut joint lebih akurat.
6. Menambahkan sensor feedback seperti encoder atau sensor posisi untuk mendukung sistem closed-loop control.
7. Memperbaiki metode pengukuran manual dengan menggunakan alat ukur yang lebih presisi agar data error yang diperoleh lebih akurat.
8. Menambahkan pengujian dengan variasi beban pada end-effector untuk mengetahui pengaruh beban terhadap akurasi dan defleksi robot.
9. Mengembangkan GUI agar dapat menampilkan data error, kompensasi posisi, dan status robot secara lebih lengkap.
10. Melakukan pengujian dalam jangka waktu yang lebih lama untuk mengetahui kestabilan sistem secara keseluruhan.