



**ANALISIS DAN IMPLEMENTASI *FORWARD KINEMATICS*
PADA ROBOT LENGAN TIGA DERAJAT KEBEBASAN
BERBASIS MOTOR *STEPPER***

Tugas Akhir

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar
Sarjana Terapan Program Studi Diploma IV Teknologi Rekayasa Otomasi

Disusun oleh :

Muhammad Rafi Raditya Hakim 40040319650075

**PROGRAM STUDI TEKNOLOGI REKAYASA OTOMASI
DEPARTEMEN TEKNOLOGI INDUSTRI
SEKOLAH VOKASI
UNIVERSITAS DIPONEGORO
SEMARANG**

2026

HALAMAN PERSETUJUAN

TUGAS AKHIR

**ANALISIS DAN IMPLEMENTASI *FORWARD KINEMATICS* PADA ROBOT
LENGAN TIGA DERAJAT KEBEBASAN BERBASIS MOTOR *STEPPER***

Diajukan oleh :

Muhammad Rafi Raditya Hakim 40040319650075

TELAH DISETUJUI DAN DITERIMA BAIK OLEH

Dosen Pembimbing,



Rofiq Cahyo Prayogo, S.T., M.T.

NIP. 199505292024061001

Tanggal : 25/06/2026

Mengetahui,

Ketua Prodi Teknologi Rekayasa
Otomasi Departemen Teknologi
Industri Sekolah Vokasi Universitas
Dipoengoro



Priyo Sasmoko, S.T., M.Eng

NIP. 197009161998021001

Tanggal : 25/06/2026

HALAMAN PENGESAHAN

TUGAS AKHIR
ANALISIS DAN IMPLEMENTASI *FORWARD KINEMATICS* PADA
ROBOT LENGAN TIGA DERAJAT KEBEBASAN BERBASIS MOTOR
STEPPER

Diajukan oleh:

Muhammad Rafi Raditya Hakim

40040319650075

Telah diujikan dan dinyatakan lulus oleh Tim Penguji

Pada Tanggal 25 Bulan Juni Tahun 2026

Ketua Tim Penguji/Pembimbing



Rofiq Cahyo Prayogo, S.T., M.T.

NIP. 199505292024061001

Penguji I



Aulia Istiqomah, SST., M.T.

NIP. 199306122024062002

Penguji II



Priyo Sasmoko, S.T., M.Eng

NIP. 197009161998021001

Mengetahui,

Ketua Program Studi S.Tr Teknologi Rekayasa Otomasi

Departemen Teknologi Industri Sekolah Vokasi

Universitas Diponegoro



(Priyo Sasmoko, S.T., M.Eng)

NIP. 197009161998021001

INTISARI

Penelitian tugas akhir ini berjudul "Analisis dan Implementasi *Forward kinematics* pada Robot Lengan Tiga Derajat Kebebasan Berbasis Arduino". Tujuan dari penelitian ini adalah merancang dan mengimplementasikan model *Forward kinematics* pada robot lengan 3 DOF, menerapkan perhitungan tersebut pada program mikrokontroler Arduino, menampilkan hasil perhitungan melalui komunikasi serial ke antarmuka GUI berbasis Python, serta menganalisis pengaruh perubahan sudut sendi terhadap posisi *end-effector* dalam ruang kartesian tiga dimensi.

Metode penelitian yang digunakan meliputi studi literatur, penentuan parameter robot dengan panjang *Link* pertama dan kedua masing-masing 140 mm, penyusunan persamaan *Forward kinematics* berbasis trigonometri, implementasi firmware pada Arduino Mega 2560 Mini Pro menggunakan bahasa C++ dengan motor *Stepper* NEMA 17 dan driver A4988, serta pengembangan antarmuka GUI menggunakan Python dengan library tkinter dan matplotlib untuk visualisasi 3D. Pengujian dilakukan melalui enam kombinasi sudut yang mencakup posisi *Home*, translasi sepanjang sumbu X positif dan negatif, translasi sepanjang sumbu Y positif dan negatif, serta kembali ke posisi *Home*.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa implementasi *Forward kinematics* pada robot lengan 3 DOF berhasil diimplementasikan dengan baik. Perhitungan posisi *end-effector* menghasilkan koordinat kartesian yang konsisten dengan ekspektasi geometri robot. Visualisasi 3D yang diintegrasikan dalam GUI mampu menampilkan konfigurasi lengan robot secara *real-time* sesuai dengan perubahan sudut sendi. Komunikasi serial antara Arduino dan GUI berjalan stabil dengan format data yang terstruktur. Seluruh titik uji berada dalam zona *Workspace* aman dengan nilai Z berkisar antara 103,77 mm hingga 163,78 mm dan jarak radial R antara 91,71 mm dan 217,00 mm. Berdasarkan hasil penelitian, *Forward kinematics* berbasis persamaan trigonometri sederhana terbukti efektif untuk aplikasi robot lengan 3 DOF dan dapat dikembangkan lebih lanjut dengan penambahan *inverse kinematics*, sensor *feedback*, dan *path planning*.

ABSTRAK

Penelitian ini membahas analisis dan implementasi *Forward kinematics* pada robot lengan tiga derajat kebebasan berbasis motor *Stepper*. *Forward kinematics* digunakan untuk menghitung posisi ujung lengan robot berdasarkan sudut setiap sendi dan panjang *Link*. Sistem yang dikaji menggunakan tiga buah motor *Stepper* sebagai aktuator utama, dengan parameter panjang *Link* pertama 14 cm dan *Link* kedua 14 cm. Perhitungan dilakukan menggunakan persamaan trigonometri ruang sederhana sehingga koordinat siku dan *end-effector* dapat diketahui dalam sumbu X, Y, dan Z dengan satuan sentimeter. Implementasi perangkat lunak dilakukan pada platform Arduino dengan komunikasi serial untuk memasukkan nilai sudut θ_0 , θ_1 , dan θ_2 . Hasil perhitungan menunjukkan bahwa perubahan sudut sendi berpengaruh langsung terhadap posisi akhir lengan robot. Laporan ini juga membahas landasan teori robotika, metode perancangan, implementasi program, pengujian, analisis hasil, serta kesimpulan dan saran pengembangan.

Kata kunci: *forward kinematics*, robot lengan, *Stepper*, Arduino, *end-effector*, derajat kebebasan

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa karena laporan tugas akhir ini dapat disusun dengan baik. Laporan ini membahas perancangan dan implementasi *Forward kinematics* pada robot lengan tiga derajat kebebasan. Topik ini dipilih karena *Forward kinematics* merupakan dasar penting dalam sistem robotika, khususnya untuk memahami hubungan antara sudut sendi dan posisi ujung robot.

Penulis menyadari bahwa laporan ini masih dapat dikembangkan lebih lanjut. Oleh karena itu, kritik dan saran yang membangun sangat diharapkan agar penelitian ini dapat menjadi lebih baik dan bermanfaat bagi pengembangan sistem robotika sederhana berbasis mikrokontroler.

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN.....	3
INTISARI.....	4
ABSTRAK	5
KATA PENGANTAR	6
DAFTAR ISI.....	7
DAFTAR GAMBAR	10
DAFTAR TABEL.....	12
BAB I PENDAHULUAN	13
1.1 Latar Belakang	13
1.2 Rumusan Masalah	15
1.3 Tujuan Penelitian	15
1.4 Batasan Masalah.....	16
1.5 Manfaat Tugas Akhir	16
1.6 Sistematika Penulisan	16
BAB II LANDASAN TEORI	19
2.1 Robotika	19
2.2 Robot Arm RNV3	20
2.3 Komponen Utama dan Elektronika.....	21
2.3.1 Arduino	21
2.3.2 Motor <i>Stepper</i>	23
2.3.3 Driver Motor (A4988 <i>Stepper</i> Driver)	25
2.3.4 Sensor Posisi (Endstop/Limit Switch)	26
2.3.5 <i>End-effector</i> (Varian Gripper).....	28
2.3.6 <i>Power Management & Switching</i> (Mosfet LG1-LG3).....	29
2.4 Robot Manipulator Tiga Derajat Kebebasan.....	32
2.5 Trigonometri pada Robot Planar.....	32
2.6 <i>Forward kinematics</i>	33
2.6.1 Parameter Denavit-Hartenberg.....	34
2.6.2 Matriks Transformasi Homogen	35
2.6.3 Matriks Transformasi Total.....	37

2.7 Komunikasi Serial.....	38
BAB III METODOLOGI.....	39
3.1 Metode Penelitian.....	39
3.2 Blok Diagram.....	39
3.3 Flowchart Sistem Kerja.....	41
3.4 Rancangan Sistem.....	42
3.5 Parameter Robot.....	44
3.6 Persamaan yang Digunakan.....	45
3.7 Implementasi Program.....	46
3.8 Metode Pengujian.....	47
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	48
4.1 Pengujian <i>Forward kinematics</i>	48
4.1.1 Validasi Titik Uji Dasar.....	48
4.1.2 Validasi Batas <i>Workspace</i>	67
4.1.3 Validasi Konversi Sudut-ke-Langkah.....	68
4.1.4 Hasil Pengujian.....	69
4.2 Akurasi Posisi.....	70
4.3 <i>Repeatability</i>	74
4.4 Grafik Hasil di GUI.....	75
4.4.1 Grafik Chart Preset Demo Akademik.....	76
4.4.2 Gambar 3D Preset Demo Akademik.....	77
4.5 Hasil Pengujian Numerik.....	81
4.6 Analisis Konsistensi Antarmuka GUI dan Firmware.....	82
4.7 Relevansi terhadap Pengembangan Robot.....	83
BAB V PENUTUP.....	85
5.1 Kesimpulan.....	85
5.2 Saran.....	86
DAFTAR PUSTAKA.....	87
LAMPIRAN.....	89
Lampiran 1. Program Python VSCode.....	89
Lampiran 2. Desain <i>Interface</i> (GUI).....	107

Lampiran 3. Program Platformio VSCode.....	108
Lampiran 4. Program C++ VSCode.....	109
Lampiran 5. Desain 3D Robot RNV3	120
Lampiran 6. Data Excel Pengujian Robot.....	121

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Robot RNV3.....	20
Gambar 2.2 Arduino Mega 2560 Mini Pro	22
Gambar 2.3 Motor <i>Stepper</i> Nema17 17HS4401	24
Gambar 2.4 Driver Motor (A4988 <i>Stepper</i> Driver)	25
Gambar 2.5 Sensor A3144	26
Gambar 2.6 Gripper Vakum.....	28
Gambar 2.7 Gripper Servo	28
Gambar 2.8 Gripper Pneumatic.....	28
Gambar 2.9 MOSFET PWM <i>Trigger Switch</i> Module 15A	29
Gambar 3.1 Blok Diagram	40
Gambar 3.2 Flowchart Sistem Kerja.....	41
Gambar 3.3 Wiring Robot.....	43
Gambar 3.4 Parameter Robot.....	44
Gambar 4.1 Step 1 - <i>Home</i>	59
Gambar 4.2 Step 2 - X+ (Kanan)	60
Gambar 4.3 Step 3 - X- (Kiri)	61
Gambar 4.4 Step 4 - Y+ (Depan)	63
Gambar 4.5 Step 5 - Y- (Belakang)	64
Gambar 4.6 Step 6 - HOME (Kembali)	66
Gambar 4.7 Salah Satu Foto Pengukuran Manual Menggunakan Penggaris	71
Gambar 4.8 Tampilan Utama GUI.....	75
Gambar 4.9 Grafik Chart Preset Demo Akademik	76
Gambar 4.10 3D Step 1	77
Gambar 4.11 3D Step 2.....	78
Gambar 4.12 3D Step 3	78
Gambar 4.13 3D Step 4.....	79
Gambar 4.14 3D Step 5.....	80

Gambar 4.15 3D Step 6..... 80

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Spesifikasi Arduino Mega 2560 Mini Pro	22
Tabel 2.2 Spesifikasi Motor <i>Stepper</i> Nema17 17HS4401	24
Tabel 2.3 Spesifikasi Driver Motor (A4988 <i>Stepper</i> Driver)	25
Tabel 2.4 Spesifikasi Sensor A3144	27
Tabel 2.5 Spesifikasi MOSFET PWM <i>Trigger Switch Module</i> 15A.....	31
Tabel 2.6 Parameter D-H	34
Tabel 4.1 Pengujian Validasi Titik Dasar	49
Tabel 4.2 Hasil Validasi Batas <i>Workspace</i>	68
Tabel 4.3 Hasil Validasi Konversi Sudut ke Langkah	69
Tabel 4.4 Hasil Perhitungan <i>Forward kinematics</i> Preset Demo Akademik	70
Tabel 4.5 Data Pengukuran Manual Posisi <i>End-effector</i>	71
Tabel 4.6 Perbandingan Posisi <i>End-effector</i> antara Hasil Pengukuran Manual dan Hasil Perhitungan <i>Forward kinematics</i> dari GUI.	72
Tabel 4.7 Hasil Pengujian <i>Repeatability</i>	74
Tabel 4.8 Sampel Uji Numerik <i>Forward kinematics</i>	82