

**PERUMUSAN KINEMATIKA ROBOT
MANIPULATOR DALAM KOORDINAT UMUM
DENGAN EMPAT DERAJAT KEBEBASAN**

SKRIPSI



**Diajukan kepada
Universitas Pendidikan Ganesha
Untuk Memenuhi Salah Satu Persyaratan dalam Menyelesaikan
Program Sarjana Pendidikan Fisika**

**Oleh
I N Widya Artha
NIM 1913021030**

**PROGRAM STUDI PENDIDIKAN FISIKA
JURUSAN FISIKA DAN PENGAJARAN IPA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS PENDIDIKAN GANESHA
SINGARAJA
2023**

SKRIPSI

**DIAJUKAN UNTUK MELENGKAPI TUGAS
DAN MEMENUHI SYARAT-SYARAT UNTUK
MENCAPAI GELAR SARJANA PENDIDIKAN**

Menyetujui

Pembimbing I,



Dr. Luh Putu Budi Yasmini, S.Pd., M.Sc.
NIP. 19840222 200912 2 008

Pembimbing II,



Dr. I Gede Aris Gunadi, S.Si., M.Kom.
NIP. 19770318 200812 1 004

Skripsi oleh I N Widya Artha ini
telah dipertahankan didepan dewan penguji
pada tanggal 04 Juli 2023

Dewan Penguji,



Dr. Ida Bagus Putu Mardana, M.Si.
NIP. 196408271991021001

(Penguji I)



I Gede Arjana, S.Pd., M.Sc., RWTH.
NIP. 199112262020121009

(Penguji II)



Dr. Luh Putu Budi Yasmini, S.Pd., M.Sc.
NIP. 198402222009122008

(Penguji III)



Dr. I Gede Aris Gunadi, S.Si., M.Kom.
NIP. 197703182008121004

(Penguji IV)

Diterima oleh Panitia Ujian Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Pendidikan Ganesha guna memenuhi syarat-syarat untuk mencapai
gelar sarjana Pendidikan

Pada:

Hari : Selasa
Tanggal : 18 Juli 2023

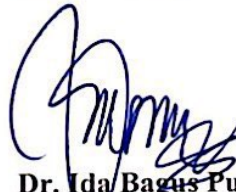
Mengetahui,

Ketua Ujian,



Dr. I Wayan Sukra Warpala, S.Pd., M.Sc.
NIP. 196710131994031001

Sekretaris Ujian,



Dr. Ida Bagus Putu Mardana, M.Si.
NIP. 196408271991021001



Mengesahkan
Wakil Rektor Bidang Akademik dan Kerjasama

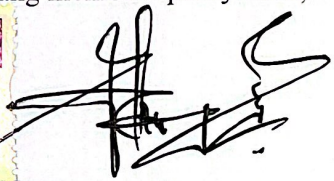
Prof. Dr. Gede Rasben Dantes, S.T., M.T.I.
NIP. 197502212003121001

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa karya tulis yang berjudul “**Perumusan Kinematika Robot Manipulator dalam Koordinat Umum dengan Empat Derajat Kebebasan**” beserta seluruh isinya adalah benar-benar karya sendiri dan saya tidak melakukan penjiplakan dan pengutipan dengan cara-cara yang tidak sesuai dengan etika yang berlaku dalam masyarakat keilmuan. Atas pernyataan ini, saya siap menanggung risiko/sanksi yang dijatuhkan kepada saya apabila kemudian ditemukan adanya pelanggaran atas etika keilmuan dalam karya saya ini atau ada klaim terhadap keaslian karya saya ini.

Singaraja, 23 Februari 2023
Yang membuat pernyataan,




I N Widya Artha
NIM 1913021030

PRAKATA

Puji syukur penulis ucapkan kehadirat Tuhan Yang Maha Esa, karena atas berkat rahmat dan karunia-Nya penulis dapat menyelesaikan skripsi ini tepat pada waktunya. Adapun judul skripsi ini yakni **“Perumusan Kinematika Robot Manipulator dalam Koordinat Umum dengan Empat Derajat Kebebasan”**. Pada kesempatan ini, penulis ingin menyampaikan terima kasih yang setulus-tulusnya kepada:

1. Dr. Ida Bagus Putu Mardana, M.Si., selaku Koordinator Program Studi Pendidikan Fisika atas segala arahan, informasi dan semangat yang diberikan selama proses penyusunan skripsi ini.
2. Ibu Dr. Luh Putu Budi Yasmini, S. Pd., M. Sc. selaku dosen pembimbing I yang telah banyak memberikan bimbingan, saran, dan memotivasi penulis secara maksimal dalam penyusunan skripsi.
3. Bapak Dr. I Gede Aris Gunadi, S. Si., M. Kom. selaku dosen pembimbing II yang telah banyak memberikan bimbingan, saran serta arahan secara maksimal dalam penyusunan skripsi.
4. Bapak dan Ibu Dosen di lingkungan Program Studi Pendidikan Fisika yang telah memfasilitasi dengan baik dan banyak memberikan motivasi kepada penulis selama menempuh Pendidikan di Program Studi Pendidikan Fisika.

5. Teristimewa kepada keluarga penulis Bapak I Nyoman Seriada, Ibu Ni Nyoman Niti, Kakak I Wayan Sri Adi Wiryana, dan Kakak I Made Griya Adi Parta yang selalu memberikan semangat dan motivasi, baik dari segi finansial maupun psikis penulis. Terima kasih atas doa yang tidak pernah putus serta kasih sayang yang telah diberikan sejak awal dimulainya perkuliahan sampai pada selesainya skripsi ini.
6. Teman-teman Pendidikan Fisika Angkatan 2019 yang selalu setia menemani dalam hal suka maupun duka, yang selalu sigap dalam membantu dan memberikan motivasi kepada penulis sejak awal dimulainya perkuliahan sampai pada selesainya skripsi ini.
7. Gusti Ayu Putu Nevi Dia Pratiwi yang selalu memberikan semangat, bantuan serta dukungan kepada penulis mulai dari tahap persiapan, penyusunan hingga selesainya skripsi ini.
8. Semua pihak yang tidak bisa disebutkan satu per satu yang telah membantu penyusunan skripsi ini.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari kata sempurna. Oleh karena itu, kritik dan saran dari semua pihak yang bersifat membangun selalu penulis harapkan demi kesempurnaan skripsi ini. Akhir kata, penulis berharap agar skripsi ini dapat bermanfaat bagi pembaca.

Singaraja, 23 Februari 2023

Penulis.

DAFTAR ISI

	HALAMAN
PRAKATA	i
ABSTRAK	iii
DAFTAR ISI	iv
DAFTAR GAMBAR	vii
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR LAMPIRAN	x
DAFTAR SIMBOL	xi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Batasan Masalah.....	5
1.3 Rumusan Masalah	5
1.4 Tujuan Penelitian	6
1.5 Manfaat Penelitian	6
BAB II KAJIAN PUSTAKA	8
2.1 Robot.....	8
2.1.1 Definisi Robot.....	8
2.1.2 Komponen Dasar Robot.....	9
2.1.3 Robot Lengan (<i>Manipulator</i>).....	11
2.1.4 Konsep Dasar Robot Lengan (<i>Manipulator</i>)	14
2.2 Benda Tegar	16
2.3 Transformasi Benda Tegar	17
2.4 Gerak Rotasi pada \mathbb{R}^3	20
2.4.1 Matriks Rotasi	21
2.4.2 Rotasi bagi Transformasi Benda Tegar.....	25
2.4.3 Koordinat Eksponensial untuk Rotasi.....	26

2.5 Gerak Benda Tegar Pada R^3	30
2.5.1 Representasi Homogen.....	32
2.5.2 Koordinat Eksponensial untuk Gerak Benda Tegar dan <i>Twist</i>	36
2.5.3 Sekrup (<i>screw</i>)	39
2.6 Kecepatan dari Benda Tegar	45
2.6.1 Kecepatan Rotasi.....	45
2.6.2 Kecepatan Benda Tegar	47
2.6.3 Kecepatan dari Sebuah Gerak Screw	51
2.7 Parameter Denavit Hartenberg.....	52
BAB III METODE PENELITIAN	56
3.1 Desain Penelitian.....	56
3.2 Variabel Penelitian.....	57
3.3 Sumber Data.....	57
3.4 Prosedur Penelitian.....	57
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	60
4.1 Analisa Robot Lengan (<i>Manipulator</i>) dengan 4 Derajat Kebebasan (4-DoF)	60
4.2 Persamaan Kinematika Maju Gerak Robot Lengan (<i>Manipulator</i>) dengan 4 Derajat Kebebasan (4-DoF)	65
4.2.1 Transformasi Matriks Homogen untuk setiap Lengan ke- <i>i</i>	65
4.2.2 Transformasi Matriks Homogen untuk Pergerakan <i>Joint</i> Menuju Lengan ke- <i>i</i>	68
4.2.3 Persamaan Kinematika Maju untuk Robot Lengan (<i>Manipulator</i>) dengan 4 Derajat Kebebasan (4-DoF)	71
4.3 Visualisasi Pergerakan Robot Lengan (<i>Manipulator</i>) dengan 4 Derajat Kebebasan Menggunakan <i>Software</i> Matlab.....	74
4.4 Contoh Pergerakan Robot Lengan (<i>Manipulator</i>) dengan 4 Derajat Kebebasan (4-DoF) Menggunakan Persamaan Kinematika Maju.....	76
BAB V SIMPULAN DAN SARAN	81

5.1 Simpulan	81
5.2 Saran.....	82
DAFTAR PUSTAKA	83
LAMPIRAN.....	85



DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
Gambar 2.1 Ruang kerja dan contoh bentuk robot tipe Rectangular Coordinate .	11
Gambar 2.2 Ruang kerja dan contoh bentuk robot tipe Cylindrical Coordinate...	13
Gambar 2.3 Ruang kerja dan contoh bentuk robot tipe <i>Spherical Coordinate</i>	14
Gambar 2.4 Konfigurasi robot lengan dengan tiga derajat kebebasan.....	14
Gambar 2.5 Rotasi benda tegar terhadap suatu titik	21
Gambar 2.6 Lintasan titik ujung yang dihasilkan oleh rotasi terhadap sumbu ω .	26
Gambar 2.7 Kerangka koordinat untuk menentukan gerakan benda tegar	30
Gambar 2.8 Gerakan benda tegar yang dihasilkan oleh rotasi terhadap sumbu tetap	35
Gambar 2.9 (a) <i>Revolute Joint</i> dan (b) <i>Prismatic Joint</i>	37
Gambar 2.10 Gerakan Sekrup	40
Gambar 2.11 Gerakan umum sekrup	41
Gambar 2.12 Gerakan rotasi manipulator dengan satu derajat kebebasan.....	46
Gambar 2.13 Gerakan benda tegar yang dihasilkan oleh rotasi tentang sumbu tetap	50
Gambar 2.14 Panjang dan Putaran <i>link</i>	53
Gambar 2.15 <i>Offset</i> dan Sudut Putar.....	54
Gambar 3.1 Diagram Alur Penelitian.....	59
Gambar 4.1 Robot lengan (<i>manipulator</i>) dengan 4 derajat kebebasan (4-DoF)...	60
Gambar 4.2 Konfigurasi koordinat setiap <i>frame</i> pada robot lengan (<i>manipulator</i>) dengan 4 derajat kebebasan (4-DoF)	62
Gambar 4.3 Asumsi <i>frame li - 1</i> adalah <i>frame</i> sebelum <i>frame li</i>	63
Gambar 4.4 Asumsi parameter θ_i	63
Gambar 4.5 Asumsi parameter a_i	63
Gambar 4.6 Asumsi parameter a_i dan d_i	64
Gambar 4.7 Pergerakan <i>joint</i> 1 menuju <i>joint</i> 3 melalui <i>link</i> 1 dan <i>link</i> 2	69
Gambar 4.8 Pergerakan <i>joint</i> 3 menuju <i>joint</i> 5 melalui <i>link</i> 3 dan <i>link</i> 4	70
Gambar 4.9 Pergerakan <i>joint</i> 5 menuju <i>end effector</i> melalui <i>link</i> 5.....	71

Gambar 4.10 Pergerakan *joint* dari dasar menuju *end effector* 72
Gambar 4.11 Visualisasi keadaan awal robot lengan (*manipulator*) 76



DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
Tabel 4.1 Parameter Denavit Hartenberg untuk gerak robot lengan (<i>manipulator</i>) dengan 4 derajat kebebasan (4-DoF)	65
Tabel 4.2 Parameter Denavit Hartenberg untuk transformasi keadaan awal dari robot lengan (<i>manipulator</i>) dengan 4 derajat kebebasan (4-DoF)	74
Tabel 4.3 Contoh kasus robot lengan (<i>manipulator</i>) 4 derajat kebebasan (4-DoF) dengan berbagai variasi sudut rotasi yang diselesaikan dengan perhitungan manual	77
Tabel 4.4 Hasil visualisasi dari contoh kasus robot lengan (<i>manipulator</i>) 4 derajat kebebasan (4-DoF) dengan berbagai variasi sudut rotasi menggunakan <i>software</i> MatLab.....	77



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran	Halaman
Lampiran 01. Uraian Script pada Software MatLab.....	85
Lampiran 02. Perhitungan Manual dari Contoh Kasus.....	88
Lampiran 03. Riwayat Hidup.....	95



DAFTAR SIMBOL

Berikut ini merupakan daftar simbol yang digunakan dalam skripsi, yaitu sebagai berikut:



\mathbb{R}^3	: Matriks rotasi 3 dimensi
(g_*)	: Fungsi dalam bentuk vektor
p, q	: Titik sembarang
$r_i^T r_j$: Basis ortonormal
SO	: <i>Special Orthogonal</i>
so	: Ruang vektor semua <i>skew</i> matriks 3×3
SE	: <i>Special Euclidean</i>
ω	: sumbu rotasi
$\hat{\omega}$: <i>skew symmetric matrix</i>
θ	: Sudut rotasi
$e^{\hat{\omega}\theta}$: Matriks rotasi
$\hat{\xi}$: <i>Twist</i>
$\dot{p}(t)$: kecepatan <i>end effector</i>
l	: Sumbu gerakan <i>screw</i>
h	: <i>Pitch</i>
ω_{ab}^s	: Kecepatan sudut spasial
ω_{ab}^b	: Kecepatan sudut benda
\hat{V}_{ab}^s	: Kecepatan spasial benda
g	: Transformasi benda tegar atau matriks konfigurasi benda tegar
Ad_g	: Transformasi adjoint benda tegar
x, y, z	: <i>End effector</i> robot lengan (<i>manipulator</i>)