UNIVERSITAS DIPONEGORO

RANCANG BANGUN ROBOT ARM 6-DOF DENGAN WORKSPACE LINEAR 1,2 METER

LAPORAN PROYEK AKHIR

WILDAN WAHYU MAHAROBIG
40040221650028

PROGRAM STUDI SARJANA TERAPAN
REKAYASA PERANCANGAN MEKANIK
SEKOLAH VOKASI UNIVERSITAS DIPONEGORO

SEMARANG
JUNI 2026

UNIVERSITAS DIPONEGORO

RANCANG BANGUN ROBOT ARM 6-DOF DENGAN WORKSPACE LINEAR 1,2 METER

LAPORAN PROYEK AKHIR

Diajukan sebagai salah satu syarat
untuk memperoleh gelar Sarjana Terapan Teknik

WILDAN WAHYU MAHAROBIG
40040221650028

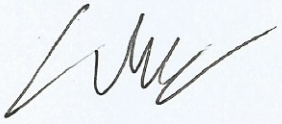
PROGRAM STUDI SARJANA TERAPAN
REKAYASA PERANCANGAN MEKANIK
SEKOLAH VOKASI UNIVERSITAS DIPONEGORO

SEMARANG
JUNI 2026

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

Proyek Akhir ini adalah hasil karya saya sendiri,
dan semua sumber baik yang dikutip maupun yang
dirujuk telah saya nyatakan dengan benar.

NAMA : WILDAN WAHYU MAHAROBIG
NIM : 40040221650028
Tanda Tangan :



Tanggal : 10 Juni 2026

KEMENTERIAN PENDIDIKAN, KEBUDAYAAN,
RISET DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS DIPONEGORO
SEKOLAH VOKASI
PROGRAM STUDI

Jalan Prof. Sudarto, S.H Tembalang Semarang
Kode Pos 50275
Telp/Fax (024) 7471379
Laman www.vokasi.undip.ac.id
e-mail Vokasi@live.undip.ac.id

SURAT TUGAS PROYEK AKHIR

No. : 492/PA/RPM/X/2025

Dengan ini diberikan Tugas Proyek Akhir untuk mahasiswa berikut:

Nama	:	Wildan Wahyu Maharobig
NIM	:	40040221650028
Judul Proyek Akhir	:	Rancang Bangun Robot Arm 6-DOF dengan Workspace Linear 1,2 meter
Dosen Pembimbing	:	Prof. Dr. Eng. Munadi, S.T., M.T.
NIP	:	197706012003121004

Isi Tugas:

1. Merancang dan membuat desain mekanik robot arm 6-DOF sesuai dengan kebutuhan spesifikasi teknis proyek akhir.
2. Menganalisis kinematika, meliputi penyusunan parameter Denavit-Hartenberg, perhitungan forward kinematics, dan inverse kinematics robot arm.
3. Melaksanakan proses manufaktur robot arm menggunakan metode yang sesuai, serta merakit hasil manufaktur menjadi sistem yang utuh.

Demikian agar diselesaikan selama-lamanya 6 bulan terhitung sejak diberikan tugas ini dan diwajibkan konsultasi sedikitnya 12 kali demi kelancaran penyelesaian tugas.

Semarang, 12 September 2025
Ketua Prodi Sarjana Terapan
Rekayasa Perancangan Mekanik

Dr. Sri Utami Handayani, S.T., M.T.
19760915200312200l

Tembusan:

1. Ketua Prodi
2. Bagian pengajaran
3. Mahasiswa ybs

HALAMAN PENGESAHAN

Proyek Akhir ini diajukan oleh :

NAMA	: WILDAN WAHYU MAHAROBIG
NIM	: 40040221650028
Program Studi	: Sarjana Terapan Rekayasa Perancangan Mekanik
Judul Proyek Akhir	: Rancang Bangun Robot Arm 6-DOF dengan Workspace Linear 1,2 meter

Telah disetujui oleh Dosen Pembimbing dan diajukan sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk menyelesaikan Tugas Akhir pada Program Studi Sarjana Terapan Rekayasa Perancangan Mekanik Sekolah Vokasi Universitas Diponegoro.

TIM PENGUJI

Pembimbing	: Prof. Dr. Eng. Munadi, S.T., M.T.	( )
Penguji 1	: Bambang Setyoko, ST, M.Eng	( )
Penguji 2	: Alaya Fadllu Hadi M., S.T., M.Eng.	( )

Semarang, 7 Juni 2026

Ketua Program Studi Sarjana Terapan
Rekayasa Perancangan Mekanik

Dr. Sri Utami Handayani, S.T., M.T.
NIP. 197609152003122001

HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI PROYEK AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

Sebagai civitas akademika Universitas Diponegoro, saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama	: Wildan Wahyu Maharobig
NIM	: 40040221650028
Jurusan/Program Studi	: Sarjana Terapan Rekayasa Perancangan Mekanik
Departemen	: Teknologi Industri
Fakultas	: Sekolah Vokasi
Jenis Karya	: Proyek Akhir

Demi pengembangan ilmu pengetahuan menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Diponegoro **Hak Bebas Royalti Non eksklusif** (*Non-exclusive Royalty Free Right*) atas karya ilmiah saya yang berjudul :

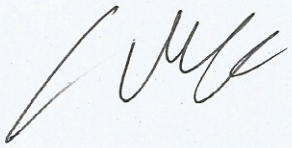
"Rancang Bangun Robot Arm 6-DOF dengan Workspace Linear 1,2 meter"

Beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti/ Non eksklusif ini Universitas Diponegoro berhak menyimpan, mengalih media/ formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat dan memublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Semarang
Pada Tanggal : 10 Juni 2026

Yang menyatakan



Wildan Wahyu Maharobig

KATA PENGANTAR

Dengan mengucapkan puji syukur kepada Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan karunia-Nya kepada penulis, sehingga penulis dapat menyelesaikan Proposal Proyek Akhir dengan judul "Rancang Bangun Robot Arm 6-DOF dengan Workspace Linear 1,2 meter" sebagai salah satu syarat dalam menyelesaikan pendidikan pada Program Studi D4 Rekayasa Perancangan Mekanik, Sekolah Vokasi Universitas Diponegoro.

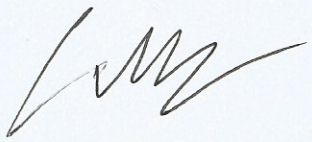
Penyusunan proposal proyek akhir ini tentunya tidak terlepas dari dukungan berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Prof. Dr. Ir. Budiyono, M. Si., selaku Dekan Sekolah Vokasi Universitas Diponegoro Semarang.
2. Dr. Sri Utami Handayani, S.T., M.T., selaku Ketua Program Studi Sarjana Terapan Rekayasa Perancangan Mekanik Sekolah Vokasi Universitas Diponegoro Semarang.
3. Prof. Dr. Eng. Munadi, S.T., M.T., selaku Dosen Pembimbing Proyek Akhir yang telah membimbing selama penyusunan Proyek Akhir.
4. Bapak Didik Ariwibowo, S.T., M.T., selaku Dosen Pembimbing proyek yang telah membimbing selama perancangan dan pembangunan proyek.
5. Seluruh dosen, teknisi, dan staf yang telah memberikan ilmu selama masa perkuliahan.
6. Kedua orang tua serta keluarga yang telah senantiasa memberikan doa dan semangat serta dukungan.

7. Teman tim proyek akhir dan teman-teman magang yang telah membantu dalam proses pembangunan proyek ini.

Penulis menyadari bahwa masih banyak kekurangan dan keterbatasan ilmu dalam penyusunan laporan ini, maka segala bentuk kritik dan saran yang membangun sangat penulis harapkan. Semoga laporan ini bisa bermanfaat bagi penulis sendiri khususnya dan para pembaca secara umum.

Semarang, 12 September 2025



Wildan Wahyu Maharobig

ABSTRAK

RANCANG BANGUN ROBOT ARM 6-DOF DENGAN WORKSPACE LINEAR 1,2 METER

Proyek akhir ini bertujuan merancang, menganalisis, dan merealisasikan robot arm 6-DOF dengan workspace linear 1,2 meter sebagai model pengembangan sistem robotika berskala sedang di teaching factory Program Studi D4 Rekayasa Perancangan Mekanik Sekolah Vokasi Universitas Diponegoro, dengan konteks kebutuhan proses pengelasan rangka bak motor roda tiga pada PT Viar Motor Indonesia. Robot arm menggunakan konfigurasi Articulated (Anthropomorphic) dengan konstruksi utama berbahan aluminium dan aktuator berupa stepper motor NEMA 23 yang dikombinasikan dengan planetary gearbox serta timing belt pada setiap joint. Perancangan kinematika dilakukan melalui parameter Denavit-Hartenberg untuk forward kinematics dan metode analitik geometris closed-form untuk inverse kinematics, di mana Joint 1-3 menyelesaikan posisi menggunakan hukum cosinus. Hasil perancangan menunjukkan jangkauan kerja maksimum sebesar 1248,45 mm yang memenuhi target minimum 1,2 meter. Analisis kekuatan komponen mekanik menunjukkan safety factor baut berkisar 2,15-13,7 dan tegangan puntir poros sebesar 4,53-10,78 MPa, jauh di bawah batas izin material. Simulasi kinematika dan dinamika menggunakan Gazebo dengan kontroler PID untuk memverifikasi bahwa robot mampu menjangkau seluruh delapan titik welding pada bak motor. Proses manufaktur meliputi CNC milling dan CNC turning sebanyak 53 komponen, 3D print DLP sebanyak 7 komponen, dan 3D print FDM sebanyak 11 komponen. Hasil perakitan menunjukkan seluruh komponen terintegrasi dengan baik dan setiap joint dapat bergerak sesuai derajat kebebasan yang dirancang.

Kata kunci : robot arm, 6-DOF, kinematika, simulasi, manufaktur

ABSTRACT

DESIGN AND BUILD OF 6-DOF ROBOT ARM WITH 1.2 METER LINEAR WORKSPACE

This final project aims to design, analyze, and realize a 6-DOF robot arm with a 1.2-meter linear workspace as a medium-scale robotics development model for the teaching factory of the D4 Mechanical Design Engineering Study Program, Vocational School, Universitas Diponegoro, within the context of the welding process requirements for three-wheeled motorcycle cargo bed frames at PT Viar Motor Indonesia. The robot arm employs an Articulated (Anthropomorphic) configuration with an aluminum-based main structure and NEMA 23 stepper motor actuators combined with planetary gearboxes and timing belts at each joint. Kinematic design is carried out using Denavit-Hartenberg parameters for forward kinematics and a closed-form analytical geometric method for inverse kinematics, where Joints 1–3 solve the position using the law of cosines. The design results show a maximum reach of 1248.45 mm, meeting the minimum target of 1.2 meters. Mechanical component strength analysis indicates bolt safety factors ranging from 2.15 to 13.7 and shaft torsional stresses of 4.53–10.78 MPa, well below the material allowable limit. Kinematic and dynamic simulations using Gazebo with a PID controller verify that the robot is capable of reaching all eight welding points on the cargo bed. The manufacturing process comprises 53 components produced by CNC milling and CNC turning, 7 components by DLP 3D printing, and 11 components by FDM 3D printing. The assembly results demonstrate that all components are well integrated and each joint is able to move according to its designed degrees of freedom.

Keywords : robot arm, 6-DOF, kinematics, simulation, manufacturing

DAFTAR ISI

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS ii
SURAT TUGAS iii
HALAMAN PENGESAHAN iv
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI PROYEK AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS v
KATA PENGANTAR vi
ABSTRAK viii
ABSTRACT ix
DAFTAR ISI x
DAFTAR TABEL xiv
DAFTAR GAMBAR xv
DAFTAR NOTASI DAN SIMBOL xviii
BAB I PENDAHULUAN 1
1.1 Latar Belakang 1
1.2 Rumusan Masalah 3
1.3 Batasan Masalah 3
1.4 Tujuan 4
1.5 Luaran 4
1.6 Sistematika Penulisan Laporan 4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA 6
2.1 Konsep Dasar Robot Arm 6-DOF 6
2.1.1 Struktur Umum Robot Arm 6
2.1.2 Derajat Kebebasan (*Degrees of Freedom*) 7
2.1.3 Konfigurasi 6-DOF dalam Robot Arm 8
2.1.4 *End effector* 10
2.1.5 Ruang Kerja (*Workspace*) 11
2.2 Kinematika 12
2.2.1 Kinematika Maju (*Forward kinematics*) 13
2.2.2 Kinematika Terbalik (*Inverse kinematics*) 13

2.3 Material Mekanik 14
2.3.1 Aluminium 15
2.3.2 PLA (*Polylactic Acid*) 17
2.3.3 Resin (*Photopolymer Resin*) 17
2.4 Komponen Mekanik 18
2.4.1 *Bearing* 18
2.4.2 *Pulley* dan *Timing Belt* 20
2.4.3 Fastener dan Aksesori 22
2.5 Aktuator Robot Arm 24
2.5.1 Jenis Aktuator 24
2.5.2 Kriteria Pemilihan Aktuator 26
2.5.3 Prinsip Kerja Stepper Motor 26
2.6 Analisis Beban dan Kekuatan Struktur 28
2.6.1 Beban Statis 29
2.6.2 Beban Kerja (*Payload*) 30
2.6.3 Beban Dinamis dan Inersia (*Dynamic and Inertial Load*) 31
2.6.4 Beban Reaksi dari Aktuator (*Reaction Torque*) 32
2.6.5 *Finite Element Analysis* (FEA) 32
2.6.6 *Safety factor* (Faktor Keamanan) 33
2.7 Manufaktur 34
2.7.1 *Fitting* 35
2.7.2 CNC Milling 36
2.7.3 CNC Turning 36
2.7.4 FDM 3D *Printing* 36
2.7.5 DLP 3D *Printing* 37
BAB III METODOLOGI 38
3.1 Diagram Alir 38
3.2 Perancangan Robot 39
3.2.1 Penentuan Spesifikasi Sementara Desain 39
3.2.2 Desain Konseptual 40
3.2.3 Simulasi Momen dan Kalkulasi Rasio Reduksi 41
3.2.4 Finalisasi Desain untuk Manufaktur (DFM) 45
3.2.5 Simulasi Workspace Robot 49
3.3 DH Parameter 51

3.3.1 Penentuan frame koordinat setiap joint 53
3.3.2 Penyusunan Tabel Denavit-Hartenberg 55
3.4 Forward kinematics 56
3.4.1 Matriks Transformasi Tiap Joint 56
3.4.2 Transformasi Total 57
3.4.3 Implementasi Numerik 58
3.5 Inverse kinematics 58
3.5.1 Analisis Geometris 59
3.5.2 Solusi Numerik 61
3.6 Manufaktur 61
3.6.1 Proses CNC milling 62
3.6.2 Proses CNC *turning* 62
3.6.3 Proses FDM 3D *printing* 62
3.6.4 Proses DLP 3D *printing* 63
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN 64
4.1 Evaluasi Hasil Perancangan 64
4.1.1 Validasi Desain 64
4.1.2 Kalkulasi Torsi Keluaran Joint 3 67
4.1.3 Kalkulasi Torsi Keluaran Joint 2 69
4.1.4 Kalkulasi Torsi Keluaran Joint 1 71
4.1.5 Kalkulasi Konsumsi Power Motor 73
4.2 Kalkulasi Kekuatan Komponen Mekanik 75
4.2.1 Kalkulasi Baut Joint 3 76
4.2.2 Kalkulasi Baut Joint 2 78
4.2.3 Kalkulasi Baut Joint 1 79
4.2.4 Kalkulasi Poros Joint 3 82
4.2.5 Kalkulasi Poros Joint 2 83
4.2.6 Kalkulasi Poros Joint 1 84
4.2.7 Kalkulasi Bearing Joint 4 85
4.2.8 Kalkulasi Bearing Joint 3 87
4.2.9 Kalkulasi Bearing Joint 2 89
4.2.10 Kalkulasi Bearing Joint 1 90
4.3 Simulasi Kinematika dan Dinamika 91
4.3.1 Konfigurasi Model Robot 92

4.3.2 Konfigurasi Parameter Simulasi 95
4.3.3 Implementasi Sistem Kontrol Joint Berbasis PID 97
4.3.4 Implementasi Inverse Kinematics Analitik Geometris 100
4.3.5 Hasil Simulasi 104
4.4 Manufaktur 107
4.4.1 Tabel Proses Manufaktur 107
4.4.2 Dokumentasi Proses Manufaktur 112
4.4.3 Hasil Akhir Perakitan Robot Arm 118
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN 121
5.1 Kesimpulan 121
5.2 Saran 122
DAFTAR PUSTAKA 124
LAMPIRAN 125
Lampiran 1. Tautan Video Simulasi Kinematika dan Dinamika 125
Lampiran 2. Tautan Video Contoh Operasional Gerak Robot 125
Lampiran 3. Drawing Ilustrasi Pengelasan (1/8) 126
Lampiran 4. Drawing *Exploded View* (2/8) 127
Lampiran 5. Drawing *Exploded Joint 1* (3/8) 128
Lampiran 6. Drawing *Exploded Joint 2* (4/8) 129
Lampiran 7. Drawing *Exploded Joint 3* (5/8) 130
Lampiran 8. Drawing *Exploded Joint 4* (6/8) 131
Lampiran 9. Drawing *Exploded Joint 5* (7/8) 132
Lampiran 10. Drawing *Exploded Joint 6* (8/8) 133

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Spesifikasi aluminium (Alloy 6061 atau setara) 16
Tabel 2.2 Spesifikasi aluminium (5052 atau setara) 16
Tabel 2.3 Spesifikasi polylactic acid - FDM 3D *print* 17
Tabel 2.4 Spesifikasi standard photopolymer resin - DLP 3D *print* 18
Tabel 3.1 Tabel Denavit-Hartenberg robot arm 6-DOF 1.2m 55
Tabel 4.1 Parameter Joint Konfigurasi Model 94
Tabel 4.2 Massa dan Momen Inersia Utama Setiap Link 95
Tabel 4.3 Parameter PID Setiap Joint 99
Tabel 4.4 Parameter Link Inverse Kinematics 100
Tabel 4.5 Koordinat Target Titik Welding 105
Tabel 4.6 Hasil Perhitungan Inverse Kinematics 105
Tabel 4.7 Tabel Komponen Manufaktur CNC Milling dan Turning 107
Tabel 4.8 Tabel Komponen Manufaktur FDM Printing 111
Tabel 4.9 Tabel Komponen Manufaktur DLP Printing 112

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 *Link* dan *joint* 7
Gambar 2.2 *Revolute joint* 8
Gambar 2.3 *Prismatic joint* 8
Gambar 2.4 Konfigurasi 6-DOF 9
Gambar 2.5 Konfigurasi *cartesian* 9
Gambar 2.6 Konfigurasi *articulated* 9
Gambar 2.7 Konfigurasi *SCARA* 9
Gambar 2.8 Konfigurasi *spherical* 9
Gambar 2.9 Konfigurasi *cylindrical* 10
Gambar 2.10 Contoh *end-effector* 11
Gambar 2.11 Kinematika 12
Gambar 2.12 *Tapered roller bearing* 19
Gambar 2.13 *Needle roller thrust* 19
Gambar 2.14 *Needle roller bearing* 19
Gambar 2.15 *Deep Groove Ball Bearing* 19
Gambar 2.16 *Trapezoidal profile* 20
Gambar 2.17 *Curvilinear profile* 20
Gambar 2.18 DC motor 24
Gambar 2.19 Servo motor 24
Gambar 2.20 Stepper motor 25
Gambar 2.21 Linear actuator 25
Gambar 2.22 Struktur stepper motor 27
Gambar 2.23 *Stepper motor pulse* 28
Gambar 2.24 *Fitting* 35
Gambar 3.1 Diagram alir 38
Gambar 3.2 Isometric dan dimensi bak kendaraan 3 roda 39
Gambar 3.4 Desain konsep isometric view dan right side view 41
Gambar 3.5 Top side view dengan dimensi bak 41
Gambar 3.6 Simulasi momen reaksi joint 2 42
Gambar 3.7 Simulasi momen reaksi joint 3 43
Gambar 3.8 Isometric view DFM 46
Gambar 3.9 Right side view DFM 46
Gambar 3.10 Joint 1 47
Gambar 3.11 Joint 2 47
Gambar 3.12 Joint 3 47
Gambar 3.13 Joint 4 47
Gambar 3.14 Joint 5 47

Gambar 3.15 Joint 6 47
Gambar 3.16 Simulasi workspace tengah bak 50
Gambar 3.17 Simulasi workspace tepi bak 50
Gambar 3.18 DH parameter 52
Gambar 3.19 Frame koordinat robot 54
Gambar 4.1 Joints Translasi 65
Gambar 4.2 Joints Rotasi 65
Gambar 4.3 Jangkauan Maksimum 65
Gambar 4.4 Konfigurasi Geometris 66
Gambar 4.5 Massa Gabungan Joint 3 67
Gambar 4.6 Massa Gabungan Joint 2 69
Gambar 4.7 Massa Gabungan Joint 1 71
Gambar 4.8 Detail Joint 3 76
Gambar 4.9 Detail Joint 2 78
Gambar 4.10 Detail Joint 1 79
Gambar 4.11 Penamaan Mate Joints 93
Gambar 4.12 Pendefinisian Materials 93
Gambar 4.13 Pengaturan API Key 93
Gambar 4.14 Plugin JointStatePublisher 96
Gambar 4.15 Plugin ApplyJointForce 96
Gambar 4.16 Import Model Robot 97
Gambar 4.17 Parameter Physics 97
Gambar 4.18 Plugin Physics 97
Gambar 4.19 Plugin UserCommand 97
Gambar 4.20 Plugin SceneBroadcaster 97
Gambar 4.21 Diagram Kontrol PID 99
Gambar 4.22 Ilustrasi Geometri Inverse Kinematics 101
Gambar 4.23 Ilustrasi Titik Welding 104
Gambar 4.24 Posisi Awal 106
Gambar 4.25 Posisi Home 106
Gambar 4.26 Titik Welding 1 106
Gambar 4.27 Titik Welding 2 106
Gambar 4.28 Titik Welding 3 106
Gambar 4.29 Titik Welding 4 106
Gambar 4.30 Titik Welding 5 106
Gambar 4.31 Titik Welding 6 106
Gambar 4.32 Titik Welding 7 106
Gambar 4.33 Titik Welding 8 106
Gambar 4.34 Horizontal Band Saw 113
Gambar 4.35 Proses CNC Turning 113
Gambar 4.36 Mata Pisau Boring 113
Gambar 4.37 Persiapan Mata Cutting 114

Gambar 4.38 Z-Axis Zero Setter 114
Gambar 4.39 DIY Milling Jig 114
Gambar 4.40 Penggunaan Milling Jig 114
Gambar 4.41 Prosses Milling 115
Gambar 4.42 Proses 3D Print DLP 116
Gambar 4.43 Pembersihan Residu Resin 116
Gambar 4.44 Curing Resin 116
Gambar 4.45 Proses 3D Print FDM 117
Gambar 4.46 Assembly Joint 1 118
Gambar 4.47 Assembly Joint 1-3 118
Gambar 4.48 Hasil Perakitan Tampak 1 119
Gambar 4.49 Hasil Perakitan Tampak 2 119
Gambar 4.50 Hasil Perakitan Tampak 3 119
Gambar 4.51 Hasil Perakitan Tampak 4 119
Gambar 4.52 Hasil Perakitan Tampak 5 120

DAFTAR NOTASI DAN SIMBOL

Simbol	Keterangan	Halaman
θ_i	*Joint variable* (DH parameter)	13
a_i	*Link length* (DH parameter)	13
α_i	*Link twist* (DH parameter)	13
d_i	*Link offset* (DH parameter)	13
M	Momen lentur (N·m)	30
σ	Tegangan material (Pa, MPa)	30
I	Momen inersia penampang (m^4) / massa ($kg \cdot m^2$)	30
τ	Torsi (N·m); juga tegangan geser akibat puntir (Pa)	32
T	Torsi keluaran / torsi nominal motor (N·m)	33
SF	*Safety factor*	34
η	Efisiensi	44
i	Rasio reduksi transmisi	67
P	Daya / konsumsi daya motor (W)	73
π	Konstanta lingkaran (≈ 3,14159)	75
J	Momen inersia polar penampang (m^4)	76
s_o	*Static safety factor* (bearing)	84
C_o	*Static load rating* (kN) (bearing)	84
P_o	Beban statis ekuivalen (kN) (bearing)	84
Y_o	*Axial load factor* (bearing)	84
Kp, Ki, Kd	Gain proporsional, integral, derivatif (kontroler PID)	97
e(t)	*Error* / selisih posisi terhadap target (PID)	97
p	Posisi target *end-effector* (px, py, pz)	100
s	Jarak *planar shoulder* ke *wrist center* (IK)	100
φ, β, γ	Sudut bantu *inverse kinematics* (siku & bahu)	100