



DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
HALAMAN PERNYATAAN	iii
NASKAH SOAL TUGAS AKHIR	iv
HALAMAN PERSEMBAHAN	v
HALAMAN MOTTO	vi
INTISARI	vii
ABSTRACT	viii
KATA PENGANTAR	ix
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR GAMBAR	xix
DAFTAR TABEL	xxi
DAFTAR NOTASI	xxii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang Masalah	1
1.2. Perumusan Masalah	2
1.3. Batasan Masalah	2
1.4. Tujuan dan Manfaat Perancangan	2
1.5. Tinjauan Umum	3
1.5.1. Kilas Sejarah Robot	4
1.5.2. Klasifikasi Robot Industri	7
1.5.2.1. Peralatan seperti robot	8
1.5.2.2. Berdasarkan sistem koordinat	10
1.5.2.3. Berdasarkan sistem pengendalian	13
BAB II ROBOT MOTOMAN SK506-X	15
2.1. Komponen Utama Robot Motoman SK506-X	15



2.1.1. <i>Manipulator</i>	15
2.1.2. <i>Peralatan Sensor</i>	16
2.1.3. <i>Alat Pengendali</i>	16
2.1.4. <i>Power Conversion Unit</i>	17
BAB III KINEMATIKA DAN DINAMIKA	19
3.1. <i>Kinematika</i>	19
3.1.1. <i>Forward Kinematic</i>	19
3.1.2. <i>Denavit-Hartenberg Representation</i>	20
3.1.3. <i>Langkah Penyusunan Kerangka Koordinat</i>	21
3.1.4. <i>Persamaan Kinematika Manipulator</i>	23
3.2. <i>Analisa Kinematika Robot Motoman SK506-X</i>	24
3.2.1. <i>Koordinat Ujung Manipulator pada Posisi 1</i>	24
3.2.2. <i>Koordinat Ujung Manipulator pada Posisi 2</i>	25
3.2.3. <i>Koordinat Ujung Manipulator pada Posisi 3</i>	26
3.2.4. <i>Koordinat Ujung Manipulator pada Posisi 4</i>	27
3.2.5. <i>Koordinat Ujung Manipulator pada Posisi 5</i>	28
3.3. <i>Dinamika</i>	29
3.3.1. <i>Newton-Euler Formulae</i>	30
3.4. <i>Analisa Dinamika Robot Kawasaki SK506-X</i>	31
3.4.1. <i>Torsi Joint pada Posisi 1</i>	32
3.4.2. <i>Torsi Joint pada Posisi 2</i>	40
3.4.3. <i>Torsi Joint pada Posisi 3</i>	43
3.4.4. <i>Torsi Joint pada Posisi 4</i>	45
3.4.5. <i>Torsi Joint pada Posisi 5</i>	48
BAB IV PERANCANGAN SISTEM TRANSMISI	51
4.1. <i>Perancangan Sistem Transmisi Joint 6</i>	51
4.1.1. <i>Pemilihan Reduction Gear</i>	52
4.1.1.1. <i>Perhitungan torsi output rata-rata, T_m</i>	53
4.1.1.2. <i>Kecepatan input rata-rata, T_m</i>	54
4.1.1.3. <i>Perhitungan umur reduction gear</i>	55
4.1.1.4. <i>Pengecekan pilihan sementara reduction</i>	55



	<i>gear</i>	
4.1.2.	Perhitungan <i>Bevel Gear</i> 1 dan 2	55
4.1.2.1.	Dimensi <i>bevel gear</i> 1 dan 2	56
4.1.2.2.	Analisa kekuatan <i>bevel gear</i> terhadap tegangan lengkung	56
4.1.2.3.	Analisa kekuatan <i>bevel gear</i> terhadap tegangan kontak	58
4.1.3.	Perhitungan <i>Spur Gear</i> 1 dan 2	59
4.1.3.1.	Dimensi <i>spur gear</i> 1 dan 2	59
4.1.3.2.	Analisa kekuatan <i>spur gear</i> terhadap tegangan lengkung	60
4.1.3.3.	Analisa kekuatan <i>spur gear</i> terhadap tegangan kontak	60
4.1.4.	Perhitungan Poros 1	60
4.1.4.1.	Analisa gaya pada arah horisontal	61
4.1.4.2.	Analisa gaya pada arah vertikal	62
4.1.4.3.	Analisa kekuatan poros	64
4.1.5.	Pemilihan Bantalan A dan B	64
4.1.5.1.	Bantalan A	65
4.1.5.2.	Bantalan B	66
4.1.6.	Perhitungan <i>Spur Gear</i> 3 dan 4	66
4.1.6.1.	Dimensi <i>spur gear</i> 3 dan 4	67
4.1.6.2.	Analisa kekuatan <i>spur gear</i> terhadap tegangan lengkung	68
4.1.6.3.	Analisa kekuatan <i>spur gear</i> terhadap tegangan kontak	68
4.1.7.	Perhitungan Poros 3	69
4.1.7.1.	Analisa gaya pada arah horisontal	70
4.1.7.2.	Analisa gaya pada arah vertikal	70
4.1.7.3.	Analisa kekuatan poros	72
4.1.8.	Pemilihan Bantalan E dan F	72



4.1.9. Analisa Kekuatan Rangka Lengan	72
4.1.10. Pemilihan Motor Listrik	74
4.2. Perancangan Sistem Transmisi Joint 5	74
4.2.1. Pemilihan <i>Reduction Gear</i>	75
4.2.1.1. Perhitungan torsi <i>output</i> rata-rata, T_m	75
4.2.1.2. Kecepatan <i>input</i> rata-rata, Nm	76
4.2.1.3. Perhitungan umur <i>reduction gear</i>	77
4.2.1.4. Pengecekan pilihan sementara <i>reduction gear</i>	77
4.2.2. Perhitungan <i>Bevel Gear</i> 5 dan 6	77
4.2.2.1. Dimensi <i>bevel gear</i> 5 dan 6	77
4.2.2.2. Analisa kekuatan <i>bevel gear</i> terhadap tegangan lengkung	78
4.2.2.3. Analisa kekuatan <i>bevel gear</i> terhadap tegangan kontak	79
4.2.3. Perhitungan <i>Spur Gear</i> 5 dan 6	79
4.2.3.1. Dimensi <i>spur gear</i> 5 dan 6	79
4.2.3.2. Analisa kekuatan <i>spur gear</i> terhadap tegangan lengkung	80
4.2.3.3. Analisa kekuatan <i>spur gear</i> terhadap tegangan kontak	81
4.2.4. Perhitungan Poros 4	81
4.2.4.1. Analisa gaya pada arah horisontal	82
4.2.4.2. Analisa gaya pada arah vertikal	82
4.2.5. Pemilihan Bantalan G dan H	84
4.2.6. Analisa Kekuatan Rangka Lengan	84
4.2.7. Pemilihan Motor Listrik	85
4.3. Perancangan Sistem Transmisi Joint 4	85
4.3.1. Pemilihan <i>Reduction Gear</i>	86
4.3.1.1. Perhitungan torsi <i>output</i> rata-rata, T_m	86
4.3.1.2. Kecepatan <i>input</i> rata-rata, Nm	87



4.3.1.3.	Perhitungan umur <i>reduction gear</i>	87
4.3.1.4.	Pengecekan pilihan sementara <i>reduction gear</i>	87
4.3.2.	Perhitungan <i>Spur Gear</i> 7 dan 8	88
4.3.2.1.	Dimensi <i>spur gear</i> 7 dan 8	88
4.3.2.2.	Analisa kekuatan <i>spur gear</i> terhadap tegangan lengkung	89
4.3.2.3.	Analisa kekuatan <i>spur gear</i> terhadap tegangan kontak	89
4.3.3.	Perhitungan Poros 5	89
4.3.4.	Pemilihan Bantalan I dan J	90
4.3.5.	Analisa Kekuatan Rangka Lengan	90
4.3.6.	Pemilihan Motor Listrik	91
4.4.	Perancangan Sistem Transmisi Joint 3	91
4.4.1.	Pemilihan <i>Reduction Gear</i>	92
4.4.1.1.	Torsi <i>output</i> rata-rata, T_m	92
4.4.1.2.	Kecepatan <i>input</i> rata-rata, N_m	92
4.4.1.3.	Perhitungan umur <i>reduction gear</i>	92
4.4.1.4.	Pengecekan pilihan sementara <i>reduction gear</i>	93
4.4.2.	Analisa Kekuatan Rangka Lengan	93
4.4.3.	Pemilihan Motor Listrik	94
4.5.	Perancangan Sistem Transmisi Joint 2	94
4.5.1.	Pemilihan <i>Reduction Gear</i>	95
4.5.1.1.	Perhitungan torsi <i>output</i> rata-rata, T_m	95
4.5.1.2.	Kecepatan <i>input</i> rata-rata, N_m	95
4.5.1.3.	Perhitungan umur <i>reduction gear</i>	96
4.5.1.4.	Pengecekan pilihan sementara <i>reduction gear</i>	96
4.5.2.	Analisa Kekuatan Rangka Lengan	97
4.5.3.	Pemilihan Motor Listrik	97



4.6. Perancangan Sistem Transmisi Joint 1	98
4.6.1. Perhitungan <i>Spur Gear</i> 9 dan 10	99
4.6.1.1. Dimensi <i>spur gear</i> 9 dan 10	99
4.6.1.2. Analisa kekuatan <i>spur gear</i> terhadap tegangan lengkung	100
4.6.1.3. Analisa kekuatan <i>spur gear</i> terhadap tegangan kontak	100
4.6.2. Perhitungan <i>Spur Gear</i> 11 dan 12	101
4.6.2.1. Dimensi <i>spur gear</i> 11 dan 12	101
4.6.2.2. Analisa kekuatan <i>spur gear</i> terhadap tegangan lengkung	102
4.6.2.3. Analisa kekuatan <i>spur gear</i> terhadap tegangan kontak	102
4.6.3. Perhitungan <i>Spur Gear</i> 13 dan 14	103
4.6.3.1. Dimensi <i>spur gear</i> 13 dan 14	103
4.6.3.2. Analisa kekuatan <i>spur gear</i> terhadap tegangan lengkung	104
4.6.3.3. Analisa kekuatan <i>spur gear</i> terhadap tegangan kontak	104
4.6.4. Perhitungan Poros 6	104
4.6.4.1. Analisa gaya pada arah horisontal	105
4.6.4.2. Analisa gaya pada arah vertikal	106
4.6.5. Pemilihan Bantalan K dan L	107
4.6.5.1. Bantalan K	107
4.6.5.2. Bantalan L	108
4.6.6. Perhitungan Poros 7	108
4.6.6.1. Analisa gaya pada arah horisontal	109
4.6.6.2. Analisa gaya pada arah vertikal	110
4.6.7. Pemilihan Bantalan M dan N	111
4.6.7.1. Bantalan M	111
4.6.7.2. Bantalan N	112



4.6.8. Analisa Kekuatan Rangka Lengan	112
4.6.9. Pemilihan Motor Listrik	113
4.7. Analisa Terhadap Defleksi	114
4.7.1. Defleksi link keempat	115
4.7.2. Defleksi link ketiga	116
4.7.3. Defleksi link kedua	117
4.7.4. Defleksi link pertama	117
BAB V ALAT PENDUKUNG DAN PERAWATAN	119
5.1. Sensor	119
5.1.1. <i>Internal State Sensor</i>	119
5.1.1.1. Potensiometer	120
5.1.1.2. Synchro	120
5.1.1.3. Resolver	121
5.1.1.4. Inductosyn	121
5.1.1.5. Linear variable differential transformer	121
5.1.1.6. Optical interrupter	122
5.1.1.7. Optical encoder	122
5.1.1.8. DC tachometer	123
5.1.1.9. Accelerometer	124
5.1.2. <i>External State Sensor</i>	124
5.1.2.1. Proximity sensor	125
5.1.2.2. Sensor sentuhan dan gesekan	125
5.1.2.3. Sensor gaya dan torsi	126
5.2. <i>Controller</i>	126
5.3. <i>Pneumatic Unit</i>	127
BAB VI KESIMPULAN DAN PENUTUP	128
6.1. Spesifikasi Robot	128
6.2. Analisa Kinematika	129
6.3. Analisa Dinamika	129
6.4. Perancangan Sistem Transmisi	130



6.5. Penutup	131
DAFTAR PUSTAKA	132
LAMPIRAN	
A. Perhitungan Kinematika dan Dinamika	133
B. Pemilihan Reduction Gear dari Nabtesco (www.nabtesco.com)	144
C. Spesifikasi Motor Listrik dari Tamagawa Seiki (www.tamagawa-seiki.com)	154
D. Material Roda Gigi	170
E. Katalog Bantalan dari SKF	173



DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1.	Robot ASIMO	3
Gambar 1.2.	Robot QRIO	3
Gambar 1.3.	Peralatan <i>Exoskeleton</i>	8
Gambar 1.4.	<i>Telecherics</i>	9
Gambar 1.5.	<i>Locomotive Mechanism</i>	9
Gambar 1.6.	<i>Silindrical Coordinates Robot</i>	10
Gambar 1.7.	<i>Spherical Coordinates Robot</i>	10
Gambar 1.8.	<i>Pure Spherical Robot</i>	11
Gambar 1.9.	<i>Parallelogram Jointed Robot</i>	11
Gambar 1.10.	<i>Jointed Cylindrical Robot</i>	12
Gambar 1.11.	<i>Cantilevered Cartesian Robot</i>	12
Gambar 1.12.	<i>Gantry Robot</i>	13
Gambar 2.1.	Robot Motoman SK506X	17
Gambar 4.1.	Sistem Transmisi Joint 6	52
Gambar 4.2.	Komponen Mekanik Joint 6	52
Gambar 4.3.	Tooth Form Factor, q_k	57
Gambar 4.4.	Gaya-gaya yang dialami Poros 1	61
Gambar 4.5.	Gaya Arah Horizontal pada Poros 1	62
Gambar 4.6.	Gaya Arah Verikal pada Poros 1	62
Gambar 4.7.	Posisi Gear pada Joint 4, 5 dan 6	67
Gambar 4.8.	Gaya-gaya yang dialami Poros 3	69
Gambar 4.9.	Gaya Horizontal pada Poros 3	70
Gambar 4.10.	Gaya Vertikal pada Poros 3	71
Gambar 4.11	Sistem Transmisi Joint 5	75
Gambar 4.12.	Komponen Mekanik Joint 5	75
Gambar 4.13.	Gaya-gaya yang dialami Poros 4	81
Gambar 4.14.	Gaya Horizontal pada Poros 4	82



Gambar 4.15.	Gaya Vertikal pada Poros 4	83
Gambar 4.16.	Sistem Transmisi Joint 4	86
Gambar 4.17.	Komponen mekanik Joint 4	86
Gambar 4.18.	Sistem Transmisi Joint 3	91
Gambar 4.19.	Sistem Transmisi Joint 2	95
Gambar 4.20.	Sistem Transmisi Joint 1	99
Gambar 4.21.	Gaya-gaya yang dialami Poros 6	105
Gambar 4.22.	Gaya Horizontal pada Poros 6	105
Gambar 4.23.	Gaya Vertikal pada Poros 6	106
Gambar 4.24.	Gaya-gaya yang dialami Poros 7	109
Gambar 4.25.	Gaya Horizontal pada Poros 7	110
Gambar 4.26.	Gaya Vertikal pada Poros 7	110



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1.	Spesifikasi Robot Motoman SK506X	18
Tabel 3.1.	Parameter umum link Robot Motoman SK506X	24
Tabel 3.2.	Parameter link Robot Motoman SK506X pada posisi 1	24
Tabel 3.3.	Parameter link Robot Motoman SK506X pada posisi 2	25
Tabel 3.4.	Parameter link Robot Motoman SK506X pada posisi 3	26
Tabel 3.5.	Parameter link Robot Kawasaki UX 200 pada posisi 4	27
Tabel 3.6.	Parameter link Robot Motoman SK506X pada posisi 5	28
Tabel 3.7.	Parameter link Motoman SK506X	32
Tabel 4.1.	Koefisien Material, Ym	58
Tabel 4.2.	Tegangan Tarik dan Luluh ASTM	63
Tabel 4.3.	<i>Properties of Aluminium</i>	73



DAFTAR NOTASI

n_A, n_R, n_s, n_p	putaran roda gigi (rpm)
${}^{i-1}A_i$	matriks transformasi joint i terhadap joint i-1
γ	berat jenis bahan (ton/m^3)
σ_a	tegangan tarik (N/mm^2)
$\bar{\sigma}_a$	tegangan tarik ijin (N/mm^2)
σ_b	tegangan lengkung (N/mm^2)
τ_s	tegangan geser (N/mm^2)
$\bar{\tau}_s$	tegangan geser ijin (N/mm^2)
Y_m	koefisien bahan (N/mm^2) ^{1/2}
Y_p	koefisien titik pitch
τ_y	tegangan luluh (N/mm^2)
ω	kecepatan sudut ($^\circ/\text{s}$)
F_t	gaya tangensial (N)
F_r	gaya radial (N)
F_a	gaya aksial (N)
q_e	faktor perbandingan kontak
q_k	faktor bentuk gigi
u	perbandingan diameter gear dengan pinion
Z_v	jumlah gigi virtual
δ	pitch cone angle bevel gear ($^\circ$)
Σ	sudut poros ($^\circ$)
d_m	diameter lingkaran tengah bevel gear (mm)
m_m	modul tengah bevel gear (mm)
R	jarak cone (mm)
δ_a	sudut muka ($^\circ$)
θ_a	sudut adendum bevel gear



σ_{bp}	tegangan lengkung ijin
P_{cp}	tegangan kontak ijin (N/mm^2)
θ_i	sudut joint ke-i ($^{\circ}$)
d_i	jarak joint (mm)
α	sudut tekan pada roda gigi ($^{\circ}$)
T	torsi (N m)
L	umur bantalan (jam)
T_e	torsi ekuivalen (N m)
M	momen lengkung (N m)
M_e	momen lengkung ekuivalen (N m)
I	momen inersia (m^4)
P	Daya (Watt)
P_p	tegangan kontak (N/mm^2)
Z	jumlah gigi
m	modul (mm)
i	angka transmisi
n_A, n_R, n_s, n_p	putaran roda gigi (rpm)
n_i	putaran joint ke-i
h_a	adendum (mm)
h_f	dedendum (mm)
h	tinggi gigi (mm)
p	lingkaran jarak (mm)
d	diameter lingkaran jarak roda gigi (mm)
d_a	diameter lingkaran ujung roda gigi (mm)
d_f	diameter lingkaran akar roda gigi (mm)
d_b	diameter lingkaran dasar roda gigi (mm)
s	tebal gigi pada lingkaran jarak (mm)
b	lebar gigi (mm)
k	faktor perbandingan diameter dalam dengan diameter luar poros
$q(t)$	vektor sambungan



- a_i jarak offset dari perpotongan sumbu Z_{i-1} dengan sumbu X_i ke kerangka koordinat ke- i sepanjang sumbu X_i (mm)
- α_i sudut offset dari sumbu Z_{i-1} ke sumbu Z_i terhadap sumbu X_i ($^\circ$)