

## DAFTAR ISI

HALAMAN PERSETUJUAN SKRIPSI.....	i
PERNYATAAN BEBAS PLAGIARISASI .....	ii
KATA PENGANTAR .....	iii
DAFTAR ISI.....	v
DAFTAR GAMBAR .....	vii
DAFTAR TABEL.....	ix
INTISARI .....	x
ABSTRACT.....	xi
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	3
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4 Tujuan Penelitian.....	3
1.5 Manfaat Penelitian.....	4
1.6 Metodologi Penelitian .....	4
1.7 Sistematika Penulisan.....	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA .....	7
BAB III LANDASAN TEORI.....	11
3.1 Robot <i>Humanoid</i> .....	11
3.2 Kinematika Robot <i>Humanoid</i> .....	12
3.2.1 Forward Kinematics .....	13
3.3 Model Pendulum Terbalik.....	16
3.4.1 Sensor Akselerometer .....	19
3.4.2. Sensor Giroskop .....	20
3.5 <i>Zero-Moment Point (ZMP)</i> dan <i>Support Polygon</i> .....	21
3.6 Linear Quadratic Regulator .....	22
3.7 Kurva Bezier ( <i>Bezier Curve</i> ).....	24
BAB IV METODE PENELITIAN .....	25
4.1 Alat dan bahan.....	25
4.2 Tahapan penelitian .....	27
4.3 Analisis Sistem.....	29
4.4 Rancangan Konfigurasi Robot .....	31
4.5 Rancangan Elektronika Robot.....	31
4.6 Rancangan Pola Gerak Tangan dan Berjalan Robot .....	32
4.7 Rancangan Algoritma Pola Berjalan dengan Gerak Tangan.....	36
4.8 Rancangan Sistem Kendali Keseimbangan .....	40

4.8.1	Representasi Model ke Persamaan <i>State Space</i> .....	40
4.8.2	Setpoint .....	42
4.8.3	Sensor Umpan Balik .....	42
4.8.4	Fullstate Feedback Controller .....	42
4.8.5	Final Control Element.....	43
4.9	Rancangan Simulasi Keseimbangan .....	45
4.10	Pengujian Sistem.....	46
4.10.1	Pengujian Jalan Robot Tanpa Gerakan Tangan .....	46
4.10.2	Pengujian Gerakan Tangan Ketika Posisi Diam .....	46
4.10.3	Pengujian Berjalan dengan Gerak Tangan Berubah Signifikan.....	46
BAB V IMPLEMENTASI.....		48
5.1	Implementasi Perangkat Keras .....	48
5.1.1	Implementasi Mekanik.....	48
5.1.2	Implementasi Elektronik .....	49
5.2	Implementasi Algoritma Berjalan dengan Gerakan Tangan .....	49
5.2.1	Implementasi Pola Langkah dan Gerakan Tangan .....	50
5.2.2	Implementasi Konversi Nilai COM ke ZMP .....	51
5.3	Implementasi Sistem Kendali.....	52
5.4	Pengujian Sistem .....	55
5.4.1	Pengujian Jalan Robot tanpa Gerakan Tangan .....	55
5.4.2	Pengujian Gerakan Tangan ketika Posisi Kaki Diam .....	55
5.4.3	Pengujian Berjalan dengan Perubahan Gerak Tangan Secara Signifikan .....	55
BAB VI HASIL DAN PEMBAHASAN .....		57
6.1	Hasil Pengujian Jalan Robot tanpa Gerakan Tangan .....	57
6.2	Hasil Pengujian Gerakan Tangan ketika Posisi Kaki Diam .....	58
6.3	Hasil Pengujian Berjalan dengan Perubahan Gerak Tangan secara Signifikan .....	61
BAB VII PENUTUP .....		70
7.1	Kesimpulan.....	70
7.2	Saran.....	71
DAFTAR PUSTAKA .....		72

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 3. 1 Perputaran roll pitch yaw (Kajita et al., 2014) .....	11
Gambar 3. 2 Joint dan link robot humanoid (Kajita et al., 2014) .....	12
Gambar 3. 3 Hubungan antara forward kinematics dan inverse kinematics (Kucuk dan Bingul, 2009).....	13
Gambar 3. 4 Koordinat Denavit-Hartenberg klasik (Wang <i>et al.</i> , 2014).....	13
Gambar 3. 5 (a) <i>Invers kinematics</i> kaki kanan dilihat dari samping dan (b) dilihat dari depan robot (Kajita et al., 2014) .....	15
Gambar 3. 6 Pemodelan pendulum terbalik pada manusia (Fajrian Nugroho et al., 2017) .....	17
Gambar 3. 7 CoM berpusat pada titik putar (Kajita et al., 2014).....	18
Gambar 3. 8 Model pendulum terbalik (Jazar, 2010) .....	18
Gambar 3. 9 6 DoF pada Inertia Measurement Unit (Starlino, 2009) .....	19
Gambar 3. 10 Akselerometer (a) normal, (b) kondisi -x, (c) kondisi -z, dan .....	20
Gambar 3. 11 Representasi bentuk ruang vektor akselerometer (Starlino, 2009) .....	20
Gambar 3. 12 Representasi ruang vektor giroskop (Starlino, 2009).....	21
Gambar 3. 13 Representasi full contact dan partial contact pada support polygon (Kajita et al., 2014) .....	21
Gambar 3. 14 Gaya kontak antara permukaan kaki robot dengan bidang datar (Kajita et al., 2014) .....	22
Gambar 3. 15 Flowchart sistem dengan matriks kontrol K (Ogata, 2010) .....	23
Gambar 3. 16 Kurva bezier dengan empat titik kontrol.....	24
Gambar 4. 1 Tahapan penelitian .....	27
Gambar 4. 2 Konfigurasi robot humanoid .....	31
Gambar 4. 3 Desain PCB .....	32
Gambar 4. 4 Rangkaian elektronik .....	32
Gambar 4. 5 Pola jalan dan gerak tangan A.....	34
Gambar 4. 6 Pola jalan dan gerak tangan B.....	34
Gambar 4. 7 Pola jalan dan gerak tangan C .....	35
Gambar 4. 8 Pola jalan dan gerak tangan D.....	35
Gambar 4. 9 Bentuk area support polygon .....	36
Gambar 4. 10 Flowchart rancangan algoritma berjalan dengan gerak tangan.....	37
Gambar 4. 11 Flowchart proses inialisasi servo.....	38
Gambar 4. 12 Flowchart algoritma berjalan dengan gerakan tangan .....	39
Gambar 4. 13 Konversi CoM menjadi ZMP.....	40
Gambar 4. 14 Diagram sistem kendali.....	44
Gambar 4. 15 Flowchart simulasi rancangan sistem kendali.....	45
Gambar 5. 1 Implementasi rancangan mekanis .....	48
Gambar 5. 2 Implementasi papan elektronik .....	49
Gambar 5. 3 Potongan program pola langkah dan gerakan tangan .....	51
Gambar 5. 4 Potongan program pelacakan nilai CoM dan konversi ZMP .....	52
Gambar 5. 5 Potongan program mencari gain K .....	53
Gambar 5. 6 Implementasi program kendali.....	54
Gambar 6. 1 Grafik hasil pelacakan CoM jalan tanpa gerak tangan.....	57

Gambar 6. 2 Grafik hasil pengujian gerakan tangan ketika posisi kaki diam pada sumbu x .....	59
Gambar 6. 3 Grafik hasil pengujian gerakan tangan ketika posisi kaki diam pada sumbu y .....	60
Gambar 6. 4 Grafik pengujian jalan dengan gerakan tangan open-loop pada sumbu x.....	62
Gambar 6. 5 Grafik pengujian jalan dengan gerakan tangan open-loop pada sumbu y.....	63
Gambar 6. 6 Grafik pengujian jalan dengan gerakan tangan close-loop sumbu x	65
Gambar 6. 7 Grafik pengujian jalan dengan gerakan tangan close-loop sumbu y	65

## DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Korelasi penelitian ini dengan penelitian sebelumnya.....	9
Tabel 4.1 Komponen sistem.....	25
Tabel 4.2 Peralatan penunjang .....	26
Tabel 4. 3 Rencana pengujian sistem.....	47
Tabel 5. 1 Momen inersia robot .....	52
Tabel 6. 1 Tabel perbandingan kemiringan pengujian dengan metode open-loop dan close-loop pada sumbu x .....	66
Tabel 6. 2 Tabel Perbandingan kemiringan pengujian dengan metode open-loop dan close-loop pada sumbu y .....	66
Tabel 6. 3 Hasil matriks kendali .....	67
Tabel 6. 4 Data hasil respons sistem.....	68