

DAFTAR ISI

HALAMAN PERSETUJUAN	iii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIARISASI	iv
KATA PENGANTAR.....	v
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR GAMBAR.....	ix
DAFTAR TABEL	xi
INTISARI.....	viii
ABSTRACT.....	ix
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.....	3
1.6 Kontribusi Penelitian.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
BAB III LANDASAN TEORI	9
3.1 Robot Humanoid	9
3.2 Model Pendulum Terbalik.....	11
3.3 Model Cart Table.....	13
3.4 <i>Inertia Measurement Unit</i> (IMU)	16
3.4.1 Data akselerometer	17
3.4.2 Data giroskop	18
3.5 Sistem Kendali.....	19
3.6 Linear Quadratic Regulator	21
3.7 Kinematika	22
3.4.3 Forward kinematics.....	23
3.4.4 Inverse kinematics	25
3.8 <i>Robot Operating System</i> (ROS)	27
BAB IV ANALISIS DAN RANCANGAN SISTEM.....	28
4.1 Analisa Sistem	28
4.2 Rancangan Sistem	29

4.3	Komponen dan Peralatan	35
4.4	Tahap Penelitian	38
4.5	Rancangan Elektronis.....	40
4.6	Rancangan Mekanik.....	42
4.7	Rancangan Pola Jalan.....	44
4.8	Sistem Kendali <i>Fullstate</i> Feedback.....	49
4.9	Perancangan Algoritma.....	53
4.10	Perancangan Algoritma.....	57
BAB V IMPLEMENTASI.....		60
5.1	Implementasi Elektronik	60
5.2	Implementasi Mekanik	61
5.3	Implementasi Pola Jalan	62
5.4	Implementasi Sistem Kendali.....	64
5.5	Implementasi ROS.....	65
5.6	Pengujian Fase Menggeser ke Sisi Kiri	66
5.7	Pengujian Fase Mengangkat Kaki Kanan.....	67
5.8	Pengujian Fase Menggeser CoM Kedepan.....	67
5.9	Pengujian Fase Mengangkat Kaki Kiri	68
5.10	Pengujian Fase Kembali ke Posisi Awal.....	68
5.11	Pengujuan Gerak Menaiki Tangga	69
BAB VI HASIL DAN PEMBAHASAN		70
6.1	Hasil Pengujian Kestabilan pada Fase Menggeser ke sisi Kiri	72
6.2	Hasil Pengujian Fase Mengangkat Kaki Kanan.....	75
6.3	Hasil Pengujian Fase Menggeser CoM Kedepan.....	79
6.4	Hasil Pengujian Fase Mengangkat Kaki Kiri.....	82
6.5	Hasil Pengujian Fase Kembali ke Posisi Awal	84
6.6	Hasil Pengujuan Gerak Menaiki Tangga.....	87
BAB VII PENUTUP		96
7.1	Kesimpulan.....	96
7.2	Saran	96
DAFTAR PUSTAKA		97

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1 Joint dan Link pada robot <i>humanoid</i> (Kajita et al., 2014)	9
Gambar 3.2 Gaya pada robot <i>humanoid</i> ketika berjalan (Kajita et al., 2014)	10
Gambar 3.3 Gaya Reaksi Ideal Robot Stabil (Popovic et al., 2005)	11
Gambar 3.4 Robot <i>Humanoid</i> dimodelkan sebagai Pendulum Terbalik Linear (Kajita et al., 2014)	12
Gambar 3.5 Model cart-table (Kajita et al., 2014)	15
Gambar 3.6 Gambaran 6-Degree of Freedom (DoF) (Starlino, 2009)	17
Gambar 3.7 Akselerometer (a) normal, (b) kondisi +X, (c) kondisi -Z, dan (d) berotasi sumbu Y (Starlino, 2009).....	17
Gambar 3.8 Ruang vektor representasi akselerometer (Starlino, 2009).....	18
Gambar 3.9 Ruang vektor representasi gyrometer (Starlino, 2009)	18
Gambar 3.10 Blok diagram dasar sistem kendali umpan balik.....	19
Gambar 3.11 Respons sistem dalam grafik <i>step input</i>	20
Gambar 3.12 Bagan alir sistem dengan matriks control K (Ogata, 2010).....	21
Gambar 3.13 Konsep gerak rotasi sendi robot (Kajita et al., 2014).....	23
Gambar 3.14 Koordinat sistem satu <i>link</i> (Kajita et al., 2014)	24
Gambar 3.15 Koordinat sistem dari <i>double link</i> (Kajita et al., 2014)	25
Gambar 3.16 <i>Inverse kinematics</i> kaki kanan (Kajita et al., 2014)	25
Gambar 4.1 Konfigurasi robot <i>humanoid</i>	28
Gambar 4.2 Pusat massa tiap <i>link</i> robot ketika melangkah dengan kaki kiri	32
Gambar 4.3 Diagram Blok Sistem Kendali LQR	37
Gambar 4.4 Tahapan Penelitian.....	40
Gambar 4.5 Rancangan Sistem Elektronik	41
Gambar 4.6 Desain mekanik robot <i>humanoid</i>	43
Gambar 4.7 <i>State</i> 1 titik CoM berpindah dari tengah ke sisi kiri	45
Gambar 4.8 <i>State</i> kedua: ayunan kaki kanan	46
Gambar 4.9 perpindahan CoM pada fase ketiga	46
Gambar 4.10 perpindahan CoM pada fase keempat.....	47
Gambar 4.11 Perpindahan CoM fase kelima	47
Gambar 4.12 Skema robot jalan menaiki tangga.....	48
Gambar 4.13 Alur Perancangan Sistem Kendali	50
Gambar 4.14 Diagram Alir Algoritma Robot	54
Gambar 4.15 Diagram alir prosedur Setup	55
Gambar 4.16 Diagram alir Pembuatan Pola Berjalan	55
Gambar 4.17 Diagram Alir Prosedur Kendali	56
Gambar 4.18 Prosedur Kendali <i>Forward Kinematic</i>	57
Gambar 5.1 Desain papan sirkuit.....	60
Gambar 5.2 Papan sirkuit yang sudah di cetak.....	60
Gambar 5.3 Implementasi Mekanik.....	61
Gambar 5.4 Program Fungsi Bezzier 2 Dimensi dan 4 Dimensi	63
Gambar 5.5 Implementasi Pola Langkah Robot.....	63

Gambar 5.6 Program Mencari <i>Gain K</i> Pada LQR.....	64
Gambar 5.7 <i>Node</i> yang aktif pada ROS	66
Gambar 5.8 <i>Node</i> dan <i>Topic</i> yang aktif pada ROS	66
Gambar 5.9 Program Fase Menggeser Kesamping	66
Gambar 5.10 Program Fase Mengangkat Kaki Kanan.....	67
Gambar 5.11 Penalaan Kendali Robot Menaiki Tangga.....	67
Gambar 5.12 Penalaan Menggeser CoM kedepan	68
Gambar 5.13 Program Mengangkat Kaki Kiri.....	68
Gambar 5.14 Program Kembali ke Posisi Awal	69
Gambar 5.15 Program Fase Robot Menaiki Tangga	69
Gambar 6.1 Patokan Titik Koordinat CoM, Kaki Kiri, dan Kaki Kanan.....	71
Gambar 6.2 Fase Menggeser ke sisi kiri.....	73
Gambar 6.3 Respon fase menggeser ke sisi kiri sumbu x	74
Gambar 6.4 Respon fase menggeser ke sisi kiri sumbu y	74
Gambar 6.5 Perpindahan CoM Fase Menggeser ke Sisi Kiri dan <i>Support Polygon</i> -nya....	75
Gambar 6.6 Fase Mengangkat Kaki Kanan.....	76
Gambar 6.7 Respon fase mengangkat kaki kanan sumbu x	77
Gambar 6.8 Respon fase mengangkat kaki kanan sumbu y	78
Gambar 6.9 Perpindahan CoM Fase Mengangkat Kaki Kiri dan <i>Support Polygon</i> -nya.....	78
Gambar 6.10 Fase Menggeser CoM kedepan	79
Gambar 6.11 Grafik respon fase menggeser CoM kedepan sumbu x	80
Gambar 6.12 Respon fase menggeser CoM kedepan sumbu y	81
Gambar 6.13 Perpindahan CoM Fase Menggeser CoM kedepan Awal dan <i>Support Polygon</i> -nya	81
Gambar 6.14 Fase Mengangkat Kaki Kiri	82
Gambar 6.15 Respon fase mengangkat kaki kiri sumbu x	83
Gambar 6.16 Respon fase mengangkat kaki kiri sumbu y	83
Gambar 6.17 Perpindahan CoM Fase Mengangkat Kaki Kiri dan <i>Support Polygon</i> -nya...	84
Gambar 6.18 Fase Kembali ke Posisi Awal.....	85
Gambar 6.19 Respon fase Kembali ke Posisi Awal sumbu x.....	85
Gambar 6.20 Respon fase Kembali ke Posisi Awal sumbu y.....	86
Gambar 6.21 Perpindahan CoM Fase Kembali ke Posisi Awal dan <i>Support Polygon</i> -nya	87
Gambar 6.22 Gerak Robot Menaiki Tangga.....	87
Gambar 6.23 Respon CoM di Sumbu X Ketika Robot Menaiki Tangga	88
Gambar 6.24 Respon CoM di Sumbu Y Ketika Robot Menaiki Tangga	88
Gambar 6.25 Respon CoM di Sumbu X terhadap <i>Support Polygon</i> di Anak Tangga ke-189	
Gambar 6.26 Respon CoM di Sumbu X terhadap <i>Support Polygon</i> di Anak Tangga ke-289	
Gambar 6.27 Respon CoM di Sumbu X terhadap <i>Support Polygon</i> di Anak Tangga ke-392	
Gambar 6.28 Respon CoM di Sumbu X terhadap <i>Support Polygon</i> di Anak Tangga ke-492	
Gambar 6.29 Respon CoM di Sumbu Y terhadap <i>Support Polygon</i> di Anak Tangga ke-193	
Gambar 6.31 Respon CoM di Sumbu Y terhadap <i>Support Polygon</i> di Anak Tangga ke-394	
Gambar 6.32 Respon CoM di Sumbu Y terhadap <i>Support Polygon</i> di Anak Tangga ke-494	

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Hubungan penelitian ini dengan penelitian sebelumnya.....	7
Tabel 3.1 Penjelasan respons sistem	20
Tabel 4.1 Daftar Komponen	35
Tabel 4.2 Peralatan penunjang sistem.....	36
Tabel 4.3 Spesifikasi <i>servo</i> berdasarkan rancangan elektronis.....	42
Tabel 4.4 Spesifikasi besaran mekanik robot.....	43
Tabel 4.5 Spesifikasi <i>link</i> robot.....	44
Tabel 4.6 Batasan gerak sendi robot.....	44
Tabel 4.7 Rencana Pengujian	59
Tabel 5.1 Parameter Fisis Robot	61
Tabel 5.2 Batasan Kemampuan Sendi Robot	62
Tabel 5.3 Momen Inersia Robot <i>Humanoid</i>	64
Tabel 6.1 Penentuan nilai gain	70
Tabel 6.2 Koordinat Titik Awal CoM, Kaki Kiri, dan Kaki Kanan	72
Tabel 6.3 Parameter <i>Bezier</i> pada fase menggeser ke sisi kiri	72
Tabel 6.4 Parameter kurva <i>Bezier</i> pada fase mengangkat kaki kanan	76
Tabel 6.5 Parameter kurva <i>Bezier</i> pada fase menggeser CoM kedepan	79
Tabel 6.6 Parameter kurva <i>Bezier</i> pada fase mengangkat kaki kiri	82
Tabel 6.7 Parameter kurva <i>Bezier</i> pada fase menendang dengan kaki kanan	85
Tabel 6.8 <i>Overshoot</i> robot menaiki tangga.....	91