

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
PERNYATAAN.....	iv
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL	xi
INTISARI.....	xii
<i>ABSTRACT</i>	xiii
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.....	6
BAB III LANDASAN TEORI.....	9
3.1. Robot <i>Humanoid</i>	9
3.2. Kinematika Robot <i>Humanoid</i>	10
3.3. Model Pendulum Terbalik.....	11
3.3.1. Pendulum terbalik linier.....	12
3.4. <i>Inertial Measurement Unit</i> (IMU).....	13
3.4.1. Data akselerometer.....	13
3.4.2. Data giroskop	14
3.5. <i>Linear Quadratic Regulator</i> (LQR)	15
3.6. <i>Kalman Filter</i>	16
BAB IV ANALISIS DAN PERANCANGAN SISTEM.....	18
4.1. Tahapan Penelitian	18
4.2. Skenario Misi	20
4.3. Analisis Sistem.....	21
4.4. Penentuan Model Sistem	23
4.5. Rancangan Sistem Kendali.....	31
4.6. Rancangan Elektronik	36
4.7. Rancangan Mekanik	38
4.8. Rancangan Perangkat Lunak	39
4.8.1. Prosedur setup	40
4.8.2. Prosedur kendali.....	40
4.8.3. Prosedur sensor <i>fusion</i>	41
4.8.4. Prosedur <i>forward kinematics</i>	42
4.9. Rencana Pengujian	42
4.9.1. Pengujian sensor <i>fusion</i>	42
4.9.2. Pengujian sikap berdiri <i>humanoid</i> pada permukaan bidang miring	43

4.9.3. Pengujian gerak translasi <i>humanoid</i>	43
4.9.4. Pengujian jalan <i>humanoid</i> pada permukaan bidang miring	44
BAB V IMPLEMENTASI.....	45
5.1. Implementasi Elektronik	45
5.2. Implementasi Mekanik	45
5.3. Parameter Simulasi.....	46
5.4. Parameter Denavit Hartenberg	47
5.5. Pengujian sensor <i>fusion</i>	49
5.6. Pengujian Sikap Berdiri <i>Humanoid</i> pada Permukaan Bidang Miring ...	50
5.7. Pengujian Gerak Translasi <i>Humanoid</i>	50
5.8. Pengujian Jalan <i>Humanoid</i> pada Permukaan Bidang Miring.....	51
BAB VI HASIL DAN PEMBAHASAN	53
6.1. Hasil Pengujian Sensor <i>Fusion</i>	53
6.2. Hasil Pengujian Sikap Berdiri Humanoid pada Permukaan Bidang Miring.....	55
6.3. Hasil Pengujian Pergerakan Translasi <i>Humanoid</i>	58
6.3.1. Hasil pengujian gerak translasi pada sumbu <i>x</i>	59
6.3.2. Hasil pengujian gerak translasi pada sumbu <i>y</i>	62
6.4. Hasil Pengujian Jalan <i>Humanoid</i> pada Permukaan Bidang Miring	65
6.4.1. Hasil pengujian parameter langkah kaki	66
6.4.2. Hasil pengujian berjalan.....	67
BAB VII PENUTUP	77
7.1. Kesimpulan.....	77
7.2. Saran	77
DAFTAR PUSTAKA	78
LAMPIRAN	81

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1 <i>Link</i> dan <i>joint</i> pada robot <i>humanoid</i> (Kajita et al., 2014)	9
Gambar 3.2 Perputaran <i>roll</i> , <i>pitch</i> dan <i>yaw</i> (Kajita et al., 2014)	10
Gambar 3.3 Representasi <i>forward kinematics</i> dan <i>inverse kinematics</i>	11
Gambar 3.4 Model pendulum terbalik pada manusia	11
Gambar 3.5 Model pendulum terbalik (Jazar, 2010)	12
Gambar 3.6 Model pendulum terbalik pada sumbu <i>x</i> dan <i>z</i> (Kajita et al., 2014) .	12
Gambar 3.7 Gambaran 6-DOF (<i>Degree of Freedom</i>) (Starlino, 2009).....	13
Gambar 3.8 Akselerometer (a) normal, (b) kondisi +X, (c) kondisi -Z, dan (d) berotasi sumbu Y (Starlino, 2009).	14
Gambar 3.9 Ruang vektor representasi akselerometer (Starlino, 2009)	14
Gambar 3.10 Ruang vektor representasi giroskop (Starlino, 2009).....	15
Gambar 3.11 Operasi <i>Kalman Filter</i> (Welch dan Bishop, 2006)	17
Gambar 4.1 Tahapan penelitian	18
Gambar 4.2 Posisi berdiri <i>humanoid</i> ketika (a) sebelum dan (b) sesudah kendali	20
Gambar 4.3 Posisi urutan melangkah	21
Gambar 4.4 Posisi pergantian langkah tampak depan ketika (a) kaki kiri dan (b) kaki kanan sebagai kaki tumpuan	21
Gambar 4.5 Model pendulum terbalik pada sumbu <i>x</i>	24
Gambar 4.6 Konfigurasi robot <i>humanoid</i>	25
Gambar 4.7 <i>Humanoid</i> berjalan pada bidang diamati dari sumbu <i>x</i>	27
Gambar 4.8 <i>Humanoid</i> berdiri pada bidang miring diamati dari sumbu <i>x</i>	28
Gambar 4.9 <i>Humanoid</i> berjalan menanjak diamati dari sumbu <i>x</i>	29
Gambar 4.10 Sistem keseimbangan berjalan menanjak <i>humanoid</i> pada sudut putar <i>pitch</i>	30
Gambar 4.11 Blok diagram sistem kendali keseimbangan berjalan pada permukaan bidang miring	35
Gambar 4.12 Arsitektur sistem robot <i>humanoid</i>	37
Gambar 4.13 Skematik rancangan elektronik	38
Gambar 4.14 Rancangan mekanik robot <i>humanoid</i>	38
Gambar 4.15 Diagram alir program utama	39
Gambar 4.16 Diagram alir prosedur <i>setup</i>	40
Gambar 4.17 Diagram alir prosedur kendali.....	41
Gambar 4.18 Diagram alir prosedur sensor <i>fusion</i>	41
Gambar 4.19 Diagram alir prosedur <i>forward kinematics</i>	42
Gambar 5.1 Implementasi papan elektronik	45
Gambar 5.2 Implementasi mekanik robot <i>humanoid</i>	46
Gambar 5.3 Kode program perhitungan penguatan K pada Matlab	47
Gambar 5.4 Diagram kinematika Denavit Hartenberg	48
Gambar 5.5 Kode program sudut <i>pitch</i> menggunakan akselerometer	49
Gambar 5.6 Kode program sudut <i>pitch</i> menggunakan <i>kalman filter</i>	49
Gambar 5.7 Kode program kendali sikap berdiri	50
Gambar 5.8 Kode program kendali pergerakan translasi	51
Gambar 5.9 Pola berjalan pada sumbu <i>x</i> dengan kemiringan (a) 0°, (b) 10°	52

Gambar 5.10 Pola berjalan pada sumbu y tumpuan kaki (a) kiri, (b) kanan.....	52
Gambar 6.1 Grafik kalibrasi Sensor IMU	53
Gambar 6.2 Grafik hasil pengukuran sudut	54
Gambar 6.3 Grafik respon kendali sikap berdiri <i>humanoid</i> terhadap bidang	56
Gambar 6.4 Perbandingan respon kendali rotasi <i>pitch</i> dengan variasi nilai Q	60
Gambar 6.5 Respon kendali pergerakan traslasi sumbu x dan rotasi <i>pitch</i>	61
Gambar 6.6 Perbandingan respon kendali rotasi <i>roll</i> dengan variasi nilai Q	63
Gambar 6.7 Respon kendali pergerakan traslasi sumbu y dan rotasi <i>roll</i>	64
Gambar 6.8 Grafik respon sikap berdiri <i>humanoid</i> sebelum berjalan pada kemiringan bidang (a) 3° , (b) 6° , dan (c) 10°	68
Gambar 6.9 Pergerakan titik pusat massa mengikuti pola berjalan pada sumbu x langkah pertama	70
Gambar 6.10 Pergerakan titik pusat massa mengikuti pola berjalan pada sumbu y langkah pertama	71
Gambar 6.11 Pergerakan titik pusat massa mengikuti pola berjalan pada sumbu x langkah kedua.....	71
Gambar 6.12 Pergerakan titik pusat massa mengikuti pola berjalan pada sumbu y langkah kedua.....	72
Gambar 6.13 Pergerakan titik pusat massa mengikuti pola berjalan pada sumbu x langkah ketiga	72
Gambar 6.14 Pergerakan titik pusat massa mengikuti pola berjalan pada sumbu y langkah ketiga	73
Gambar 6.15 Pergerakan titik pusat massa mengikuti pola berjalan pada sumbu x langkah keempat.....	73
Gambar 6.16 Pergerakan titik pusat massa mengikuti pola berjalan pada sumbu y langkah keempat.....	74

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Korelasi penelitian	8
Tabel 4.1 Spesifikasi mekanik	39
Tabel 4.2 Rencana Pengujian Sistem	44
Tabel 5.1 Tabel momen inersia	46
Tabel 5.2 Parameter DH robot <i>humanoid</i>	49
Tabel 6.1 Hasil proses kalibrasi	53
Tabel 6.2 Nilai sudut hasil pengujian sudut <i>pitch</i>	55
Tabel 6.3 Kecenderungan <i>steady-state error</i> sikap berdiri	58
Tabel 6.4 Variasi nilai komponen Q pada gerak translasi sumbu <i>x</i>	60
Tabel 6.5 Variasi nilai komponen Q pada gerak translasi sumbu <i>y</i>	63
Tabel 6.6 Hasil pengujian variasi sudut <i>pitch</i> pergelangan kaki	66
Tabel 6.7 Perbandingan metode sistem kendali keseimbangan	76