



DAFTAR ISI

HALAMAN PERSETUJUAN.....	iii
PERNYATAAN.....	iv
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL.....	xiii
INTISARI	xiv
ABSTRACT.....	xv
BAB I PENDAHULUAN	16
1.1. Latar Belakang.....	16
1.2. Rumusan Masalah	18
1.3. Batasan Masalah.....	18
1.4. Tujuan Penelitian.....	18
1.5. Manfaat Penelitian.....	18
1.6. Metodologi Penelitian	18
1.7. Sistematika Penulisan.....	19
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	1
BAB III LANDASAN TEORI.....	4
3.1. Robot <i>Quadruped</i>	4
3.2. Kinematika Robot <i>Quadruped</i>	5
3.3. <i>Inertial Measurement Unit</i>	6
3.3.1. Akselerometer dan Giroskop	6
3.4. <i>Model Pendulum Terbalik</i>	7
3.5. <i>Linear Quadratic Regulator</i>	8
BAB IV METODE PENELITIAN.....	11
4.1. Tahapan Penelitian	11
4.2. Analisis Sistem	13
4.3. Rancangan Perangkat Keras	15
4.3.1. Rancangan Mekanik	15
4.3.2. Rancangan Elektronik.....	17
4.4. Rancangan Algoritme Berjalan	18
4.4.1. <i>Inverse Kinematics</i> Kaki Robot.....	18
4.4.2. Gerak <i>Swing</i> Kaki Robot	21
4.4.3. Pola <i>Gait</i> Robot	24
4.5. Rancangan Kalkulasi Titik Pusat Massa	25



4.5.1.	<i>Forward Kinematics</i> Robot	25
4.5.2.	Kalkulasi Pusat Massa Robot Saat Mengalami Kemiringan	30
4.6.	Rancangan Sistem Kendali	32
4.6.1.	Persamaan <i>State Space</i> Model Sistem	36
4.7.	Rencana Pengujian Sistem	41
4.7.1.	Rencana Pengujian <i>Support Polygon</i> Robot.....	43
4.7.2.	Rencana Pengujian Jalan Robot pada Permukaan yang Tidak Rata.....	44
BAB V IMPLEMENTASI.....		47
5.1.	Implementasi Perangkat Keras	47
5.1.1.	Implementasi Elektronik.....	47
5.1.2.	Implementasi Mekanik	48
5.2.	Implementasi Pola Langkah Robot	48
5.3.	Implementasi Kalkulasi Titik Pusat Massa	49
5.4.	Parameter Simulasi Sistem	55
5.5.	Pengujian <i>Support Polygon</i> Robot	56
5.6.	Pengujian Jalan Robot pada Permukaan yang Tidak Rata	57
5.6.1.	Pengujian Jalan Robot pada Permukaan dengan Perbedaan Ketinggian 1 cm.....	57
5.6.2.	Pengujian Jalan Robot pada Permukaan dengan Perbedaan Ketinggian 2 cm.....	58
5.6.3.	Pengujian Jalan Robot pada Permukaan dengan Perbedaan Ketinggian Campuran.....	58
BAB VI HASIL DAN PEMBAHASAN		60
6.1.	Hasil Pengujian <i>Support Polygon</i> Robot.....	60
6.1.1.	<i>Support Polygon</i> Robot saat Semua Kaki Robot Menapak	60
6.1.2.	<i>Support Polygon</i> Robot saat Kaki 3 Mengayun	62
6.1.3.	<i>Support Polygon</i> Robot saat Kaki 1 Mengayun	64
6.1.4.	<i>Support Polygon</i> Robot saat Kaki 2 Mengayun	65
6.1.5.	<i>Support Polygon</i> Robot saat Kaki 0 Mengayun	67
6.2.	Hasil Pengujian Jalan Robot pada Permukaan yang Tidak Rata... 69	
6.2.1.	Hasil Pengujian Jalan Robot pada Permukaan dengan Perbedaan Ketinggian 1 cm	69
6.2.2.	Hasil Pengujian Jalan Robot pada Permukaan dengan Perbedaan Ketinggian 2 cm	76



6.2.3. Hasil Pengujian Jalan Robot pada Permukaan dengan Perbedaan Ketinggian Campuran	79
BAB VII PENUTUP	85
7.1. Kesimpulan	85
7.2. Saran	86
DAFTAR PUSTAKA	87
LAMPIRAN	89



DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1 a) Bentuk robot mamalia; b) Bentuk robot sprawling (Zhong et al., 2019).....	4
Gambar 3.2 Hubungan antara <i>forward</i> dan <i>inverse kinematics</i> (Kucuk dan Bingul, 2007).....	5
Gambar 3.3 Susunan mekanik akselerometer 1 sumbu (Dadafshar, 2014)	6
Gambar 3.4 Rotasi tidak berpengaruh pada akselerometer (Dadafshar, 2014).....	7
Gambar 3.5 Susunan mekanik giroskop 1 sumbu (Dadafshar, 2014).....	7
Gambar 3.6 a) Pendulum terbalik pada manusia; b) Model pendulum terbalik (<i>Jazar, 2010</i>)	8
Gambar 3.7 Diagram blok kendali optimal pada sistem (Ogata, 2010).....	10
Gambar 4.1 Tahapan Penelitian	11
Gambar 4.2 Model 3D robot	15
Gambar 4.3 Konfigurasi kaki mamalia	16
Gambar 4.4 Urutan kaki robot <i>quadruped</i>	16
Gambar 4.5 Penomoran servo pada kaki robot	17
Gambar 4.6 Skematik rangkaian elektronik robot	18
Gambar 4.7 Diagram rangkaian elektronik robot	18
Gambar 4.8 Kaki robot tampak depan	19
Gambar 4.9 Kaki robot tampak samping	20
Gambar 4.10 Lintasan parabola dengan titik puncak (k, h)	22
Gambar 4.11 Lintasan parabola pada kaki robot	23
Gambar 4.12 Timing diagram pola langkah kaki robot	24
Gambar 4.13 Konfigurasi <i>frame</i> DH saat semua kaki dalam kondisi <i>stance</i>	26
Gambar 4.14 Konfigurasi DH pada Kaki 0 saat dalam kondisi <i>stance</i>	27
Gambar 4.15 Konfigurasi DH pada Kaki 1 saat dalam kondisi <i>stance</i>	27
Gambar 4.16 Konfigurasi DH pada Kaki 2 saat dalam kondisi <i>stance</i>	28
Gambar 4.17 Konfigurasi DH pada Kaki 3 saat dalam kondisi <i>stance</i>	28
Gambar 4.18 Konfigurasi DH saat Kaki 0 dalam posisi <i>swing</i>	30
Gambar 4.19. Robot mengalami perubahan sudut roll	31



Gambar 4.20.. Robot mengalami perubahan sudut pitch	31
Gambar 4.21 a) Konversi nilai CoM ke dalam roll; b) Konversi nilai CoM ke dalam pitch	32
Gambar 4.22 Trigonometri dari konverter sistem kendali pada sumbu y	34
Gambar 4.23 Diagram blok sistem kendali robot	37
Gambar 4.24 Diagram alur simulasi sistem	41
Gambar 4.25 Diagram alur program	43
Gambar 4.26 Bentuk gundukan pada lapangan.....	44
Gambar 5.1 a) <i>Board</i> utama; b) <i>Board</i> tombol	47
Gambar 5.2 Implementasi mekanik robot.....	48
Gambar 5.3 Timing diagram pola langkah kaki robot	49
Gambar 5.4 Program metode LQR pada MATLAB	56
Gambar 5.5 Permukaan dengan perbedaan ketinggian 1 cm	57
Gambar 5.6 Permukaan dengan perbedaan ketinggian 2 cm	58
Gambar 5.7 Permukaan dengan perbedaan ketinggian campuran	58
Gambar 6.1 Support polygon robot saat semua kaki menapak.....	62
Gambar 6.2 <i>Support polygon</i> robot saat Kaki 3 terangkat	63
Gambar 6.3 <i>Support polygon</i> robot saat Kaki 1 terangkat	65
Gambar 6.4 <i>Support polygon</i> robot saat Kaki 2 terangkat	67
Gambar 6.5 <i>Support polygon</i> robot saat Kaki 0 terangkat	68
Gambar 6.6 Pitch robot pada ketinggian 1 cm dengan Q2	72
Gambar 6.7 <i>Roll</i> robot pada ketinggian 1 cm dengan Q2	72
Gambar 6.8 CoM y dengan Q1 pada ketinggian 1 cm.....	72
Gambar 6.9 CoM x dengan Q1 pada ketinggian 1 cm.....	73
Gambar 6.10 Pitch dan roll robot pada ketinggian 1 cm.....	73
Gambar 6.11 CoM y dengan Q2 pada ketinggian 1 cm.....	75
Gambar 6.12 CoM x dengan Q2 pada ketinggian 1 cm.....	75
Gambar 6.13 <i>Pitch</i> robot pada ketinggian 2 cm.....	77
Gambar 6.14 <i>Roll</i> robot pada ketinggian 2 cm	77
Gambar 6.15 <i>Pitch dan roll</i> robot pada ketinggian 2 cm.....	78
Gambar 6.16 CoM y dengan Q1 pada ketinggian 2 cm.....	79



Gambar 6.17 CoM x dengan Q1 pada ketinggian 2 cm.....	79
Gambar 6.18 <i>Pitch</i> robot pada ketinggian campuran.....	81
Gambar 6.19 <i>Roll</i> robot pada ketinggian campuran.....	82
Gambar 6.20 <i>Pitch</i> dan <i>roll</i> robot pada ketinggian campuran	82
Gambar 6.21 CoM y dengan Q1 pada ketinggian campuran	83
Gambar 6.22 CoM x dengan Q1 pada ketinggian campuran	83
Gambar 6.23 CoM y dengan Q2 pada ketinggian campuran	84
Gambar 6.24 CoM x dengan Q2 pada ketinggian campuran	84



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Tinjauan Pustaka	3
Tabel 4.1 Rencana pengujian sistem	45
Tabel 5.1 Parameter DH kaki <i>stance</i>	50
Tabel 5.2 Parameter DH kaki <i>swing</i>	50
Tabel 5.3 Parameter DH kaki <i>swing</i> (lanjutan)	51
Tabel 5.4 Nilai parameter r dan d saat kaki dalam posisi <i>stance</i> awal	52
Tabel 5.5 Nilai parameter r dan d saat kaki dalam posisi <i>swing</i>	52
Tabel 5.6 Nilai parameter r dan d saat kaki dalam posisi <i>swing</i> (lanjutan)	53
Tabel 5.7 Nilai parameter r dan d Kaki 3 setelah mengayun	54
Tabel 5.8 Nilai parameter r dan d Kaki 1 setelah mengayun	54
Tabel 5.9 Nilai parameter r dan d Kaki 2 setelah mengayun	54
Tabel 5.10 Nilai parameter r dan d Kaki 2 setelah mengayun (lanjutan)	55
Tabel 5.11 Nilai parameter r dan d Kaki 0 setelah mengayun	55
Tabel 5.12 Momen inersia komponen robot	55
Tabel 6.1 Hasil pengujian jangkauan titik pusat massa pada sumbu y	60
Tabel 6.2 Hasil pengujian jangkauan titik pusat massa pada sumbu x	61
Tabel 6.3 Hasil pengujian support polygon saat Kaki 3 terangkat	62
Tabel 6.4 Hasil pengujian support polygon saat Kaki 1 terangkat	64
Tabel 6.5 Hasil pengujian support polygon saat Kaki 2 terangkat	66
Tabel 6.6 Hasil pengujian support polygon saat Kaki 0 terangkat	68