

DAFTAR ISI

| | |
|---|------|
| HALAMAN PERSETUJUAN SKRIPSI..... | ii |
| PERNYATAAN BEBAS PLAGIARISASI | iii |
| KATA PENGANTAR | iv |
| HALAMAN PERSEMBAHAN | vi |
| DAFTAR ISI..... | vii |
| DAFTAR GAMBAR | ix |
| DAFTAR TABEL..... | xi |
| INTISARI..... | xii |
| ABSTRACT..... | xiii |
| BAB I PENDAHULUAN | 1 |
| 1.1 Latar Belakang | 1 |
| 1.2 Rumusan Masalah | 2 |
| 1.3 Batasan Masalah..... | 3 |
| 1.4 Tujuan Penelitian..... | 3 |
| 1.5 Manfaat Penelitian..... | 3 |
| 1.6 Metodologi Penelitian | 3 |
| 1.7 Sistematika Penulisan..... | 4 |
| BAB II TINJAUAN PUSTAKA..... | 6 |
| BAB III LANDASAN TEORI..... | 10 |
| 3.1 Robot <i>Humanoid</i> | 10 |
| 3.1.1. Pusat massa..... | 11 |
| 3.1.2. <i>Support polygon</i> | 11 |
| 3.2 <i>Cart Table Model</i> | 12 |
| 3.3 Kinematika Robot..... | 13 |
| 3.3.1. <i>Forward kinematics</i> | 14 |
| 3.3.2. <i>Inverse kinematics</i> | 15 |
| 3.4 <i>Inertia Measurement Unit (IMU)</i> | 17 |
| 3.4.1. Sensor Akselerometer..... | 18 |
| 3.4.2. Sensor Giroskop | 19 |
| 3.5 <i>Linear Quadratic Regulator (LQR)</i> | 20 |
| 3.6 Logika <i>Fuzzy</i> | 21 |
| 3.6.1. Fungsi Keanggotaan <i>Fuzzy</i> | 21 |
| 3.6.2. Metode Fuzzifikasi Mamdani..... | 22 |
| 3.6.3. Defuzzifikasi | 22 |
| 3.7 <i>Robot Operating System (ROS)</i> | 23 |
| BAB IV ANALISIS DAN PERANCANGAN SISTEM..... | 24 |
| 4.1 Alat dan bahan..... | 24 |
| 4.2 Tahapan penelitian | 26 |
| 4.3 Analisis Sistem..... | 28 |

| | | |
|--|---|-----------|
| 4.4 | Rancangan Konfigurasi Robot | 32 |
| 4.5 | Rancangan Elektronika Robot..... | 33 |
| 4.6 | Rancangan Pola Berjalan..... | 34 |
| 4.7 | Rancangan Algoritma Robot | 38 |
| 4.8 | Rancangan Sistem Kendali Keseimbangan Berjalan | 40 |
| 4.9 | Rancangan Simulasi Sistem Kendali Keseimbangan Berjalan | 48 |
| 4.10 | Rancangan Pengujian Sistem | 49 |
| 4.10.1. | Rancangan pengujian berjalan di bidang datar..... | 49 |
| 4.10.2. | Rencana pengujian berjalan di bidang miring sumbu y (lateral) | 49 |
| 4.10.3. | Rencana pengujian berjalan di bidang miring sumbu x | 50 |
| BAB V IMPLEMENTASI..... | | 51 |
| 5.1 | Implementasi Perangkat Keras | 51 |
| 5.1.1. | Implementasi Mekanik | 51 |
| 5.1.2. | Implementasi Elektronik | 52 |
| 5.2 | Simulasi Sistem Kendali | 53 |
| 5.3 | Pengujian Kestabilan Berjalan di Bidang Datar..... | 59 |
| 5.4 | Pengujian berjalan di bidang miring sumbu y | 60 |
| 5.5 | Pengujian berjalan di bidang miring sumbu x | 61 |
| BAB VI HASIL DAN PEMBAHASAN | | 63 |
| 6.1 | Hasil Pengujian Kestabilan Robot Ketika Berjalan di Bidang Datar | 63 |
| 6.2 | Hasil Pengujian Kestabilan Berjalan di Bidang Miring Sumbu y | 66 |
| 6.2.1. | Hasil Pengujian Berjalan Naik | 67 |
| 6.2.2. | Hasil Pengujian Berjalan Turun | 70 |
| 6.3 | Hasil Pengujian Kestabilan Berjalan di Bidang Miring Sumbu x | 72 |
| 6.4 | Analisa respon sistem ketika berjalan di bidang datar dan bidang miring | 73 |
| BAB VII KESIMPULAN | | 75 |
| 7.1 | Kesimpulan..... | 75 |
| 7.2 | Saran | 75 |
| DAFTAR PUSTAKA | | 76 |

DAFTAR GAMBAR

| | |
|--|----|
| Gambar 3.1 Perputaran <i>roll</i> , <i>pitch</i> , dan <i>yaw</i> (Kajita <i>et al.</i> , 2014)..... | 10 |
| Gambar 3.2 <i>Link</i> dan <i>joint</i> robot <i>humanoid</i> | 11 |
| Gambar 3.3 <i>Support polygon</i> (Kajita <i>et al.</i> , 2014) | 12 |
| Gambar 3.4 Hubungan antara pusat massa dengan <i>support polygon</i> | 12 |
| Gambar 3.5 <i>Cart Table Model</i> | 13 |
| Gambar 3.6 Representasi hubungan antara <i>forward kinematics</i> dengan <i>inverse kinematics</i> (Kucuk dan Bingul, 2009)..... | 14 |
| Gambar 3.7 <i>frame</i> koordinat Denavit-Hartenberg klasik (Wang <i>et al.</i> , 2014) | 14 |
| Gambar 3.8 <i>Inverse Kinematics</i> kaki kanan (Kajita <i>et al.</i> , 2014) | 16 |
| Gambar 3.9 Gambaran <i>6-degree of freedom</i> (DoF) (Starlino, 2009)..... | 18 |
| Gambar 3.10 Akselerometer (a) normal, (b) kondisi -X, (c) kondisi-Z, dan (d) berotasi sumbu Y (Starlino, 2009) | 18 |
| Gambar 3.11 Ruang vector representasi akselerometer (Starlino, 2009)..... | 19 |
| Gambar 3.12 Ruang vector representasi giroskop (Starlino, 2009)..... | 19 |
| Gambar 3.13 Diagram alir suatu sistem dengan matriks kontrol K (Ogata, 2010) 20 | |
| Gambar 3.14 Defuzzifikasi Mamdani dengan dua aturan dan dua masukan (Sivanandam <i>et al.</i> , 2017)..... | 22 |
| Gambar 4.1 Tahapan penelitian | 26 |
| Gambar 4.2 Koordinat <i>global</i> sumbu <i>x</i> , <i>y</i> , dan <i>z</i> robot..... | 29 |
| Gambar 4.3 Perhitungan Area <i>Support polygon</i> Robot | 30 |
| Gambar 4.4 Gambar letak servo yang akan dikendalikan..... | 31 |
| Gambar 4.5 Konfigurasi robot <i>humanoid</i> | 33 |
| Gambar 4.6 Rancangan elektronik robot <i>humanoid</i> | 34 |
| Gambar 4.7 <i>A Cart-table model inputs ZMP and outputs CoM motion</i> (Kajita <i>et al.</i> , 2014)..... | 34 |
| Gambar 4.8 Pola CoM yang dihasilkan dari <i>preview controller</i> | 36 |
| Gambar 4.9 Pola berjalan ketika berjalan di bidang miring..... | 37 |
| Gambar 4.10 Diagram alir robot | 39 |
| Gambar 4.11 Diagram Alir Sub Fungsi Kalkulasi Pola Berjalan | 40 |
| Gambar 4.12 Diagram Alir Sub Fungsi Sistem Kendali..... | 40 |
| Gambar 4.13 Himpunan <i>Fuzzy Error</i> pada bidang miring di sumbu <i>y</i> (terhadap badan depan robot)..... | 44 |
| Gambar 4.14 Himpunan <i>Fuzzy Delta Error</i> pada bidang miring sumbu <i>y</i> (terhadap badan depan robot)..... | 45 |
| Gambar 4.15 Himpunan <i>Fuzzy Q</i> bidang miring di sumbu <i>y</i> | 46 |
| Gambar 4.16 Diagram sistem kendali | 47 |
| Gambar 4.17 Diagram alir simulasi sistem kendali | 48 |
| Gambar 5.1 Implementasi mekanik robot..... | 51 |
| Gambar 5.2 Desain <i>schematic</i> robot <i>humanoid</i> | 52 |
| Gambar 5.3 Desain <i>board</i> elektronik robot <i>humanoid</i> | 53 |
| Gambar 5.4 Potongan kode program LQR | 54 |
| Gambar 5.5 Simulasi Fuzzy dengan menggunakan python..... | 55 |
| Gambar 5.6 Potongan kode program <i>fuzzy</i> | 59 |
| Gambar 5.7 Potongan kode program kendali berjalan di bidang datar..... | 60 |

| | |
|---|----|
| Gambar 5.8 Potongan kode program kendali robot berjalan di bidang miring sumbu y | 61 |
| Gambar 5.9 Potongan kode program kendali robot berjalan di bidang miring sumbu x | 62 |
| Gambar 6.1 Respon kendali keseimbangan pada sumbu x ketika berjalan pada bidang datar | 64 |
| Gambar 6.2 Respon kendali keseimbangan pada sumbu y ketika berjalan pada bidang datar | 65 |
| Gambar 6.3 Respon Kendali keseimbangan ketika berjalan dari bidang datar lalu naik dengan variasi 1,4,7, dan 10 | 68 |
| Gambar 6.4 Grafik relasi sudut kemiringan bidang dan waktu berjalan robot berdasarkan Gambar 6.3..... | 68 |
| Gambar 6.5 Respon Kendali Keseimbangan Ketika Berjalan dari bidang datar lalu turun dengan variasi 1,4,7 dan 10 | 70 |
| Gambar 6.6 Grafik relasi sudut kemiringan bidang dan waktu berjalan robot berdasarkan Gambar 6.5..... | 71 |
| Gambar 6.7 Relasi kemiringan dengan <i>integral absolute error</i> | 73 |

DAFTAR TABEL

| | |
|--|----|
| Tabel 2.1 Hubungan penelitian ini dengan penelitian sebelumnya..... | 8 |
| Tabel 4.1 Komponen sistem..... | 24 |
| Tabel 4.2 Peralatan penunjang sistem..... | 25 |
| Tabel 4.3 <i>Fuzzy Rules</i> pada bidang miring sumbu y | 45 |
| Tabel 4.4 Rencana pengujian sistem..... | 50 |
| Tabel 5.1 Momen Inersia Robot | 53 |
| Tabel 5.2 Perbandingan waktu komputasi fungsi membership <i>Fuzzy</i> | 55 |
| Tabel 6.1 Penentuan nilai komponen Q robot berjalan di bidang datar..... | 63 |
| Tabel 6.2 Respon kendali ketika berjalan pada bidang datar..... | 65 |
| Tabel 6.3 Tabel tuning matriks Q untuk himpunan fuzzy berjalan pada bidang miring di sumbu y | 67 |
| Tabel 6.4 Respon sistem ketika berjalan naik..... | 69 |
| Tabel 6.5 Respon sistem ketika berjalan turun | 71 |