

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	1
HALAMAN PENGESAHAN	i
HALAMAN PERNYATAAN KARYA ILMIAH	ii
HALAMAN MOTTO	iii
KATA PENGANTAR	iv
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR LAMBANG	xii
INTISARI	xvi
ABSTRACT	xvii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan Penelitian	4
1.5 Manfaat Penelitian	4
1.6 Sistematika Penulisan	5
BAB 2 LANDASAN TEORI	6
2.1 Tinjauan Pustaka	6
2.2 Dasar Teori	8
2.2.1 <i>Two-Wheeled Self-Balancing Robot (TWR)</i>	8
2.2.2 Sistem Kendali PID	11
2.2.3 Kendali <i>Cascade</i> PID	14
2.2.4 Estimasi Sudut Menggunakan Sensor IMU	17

2.2.5	Metode Tuning Parameter PID	19
2.2.6	Mikrokontroler ESP32	28
2.2.7	Sensor MPU6050	29
2.2.8	Magnetometer HMC5883L	30
2.2.9	Modul Radio nRF24L01	31
2.2.10	Motor DC JGA25	32
2.2.11	Motor Driver L298N	33
2.2.12	Joystick KY-023	34
BAB 3	METODOLOGI PENELITIAN	35
3.1	Waktu dan Tempat Penelitian	35
3.2	Bahan Penelitian	35
3.3	Peralatan Penelitian	37
3.3.1	Alat Kerja	37
3.3.2	Perangkat Lunak	38
3.4	Tahapan Penelitian	39
3.5	Perancangan Perangkat Keras	41
3.5.1	Perancangan Sistem Elektronis TWR	41
3.5.2	Perancangan Mekanis TWR	48
3.5.3	Perancangan Remote Control	52
3.6	Perancangan Perangkat Lunak	56
3.7	Perancangan Sistem Kendali	59
3.7.1	Parameter Fisik Sistem	59
3.7.2	Pemodelan Matematis TWR	59
3.7.3	Diagram Blok Sistem	63
3.7.4	Karakteristik Input dan Output Sistem	67
3.7.5	Perancangan PID Kaskade	67
3.7.6	Hubungan Sudut Kemiringan dan Kecepatan	68
3.7.7	Fungsi Objektif ITAE	69
3.7.8	Metode Tuning Parameter PID	69
3.7.9	Optimasi PID <i>Outer Loop</i>	71
3.8	Metode Pengujian Sistem	72
3.8.1	Pengujian Simulasi <i>Inner Loop</i>	72
3.8.2	Pengujian Simulasi <i>Outer Loop</i>	72
3.8.3	Pengujian Kestabilan Sistem Kaskade	72
3.8.4	Pengambilan dan Pengolahan Data Simulasi	73
3.8.5	Indikator Keberhasilan Sistem	73

BAB 4	HASIL DAN PEMBAHASAN	74
4.1	Hasil Perancangan Robot	74
4.2	Hasil Perancangan Remote Control	76
4.3	Pemodelan dan Analisis Karakteristik Sistem	77
4.3.1	Fungsi Alih Sistem Kontinu	77
4.3.2	Analisis Pole dan Zero Open-Loop	79
4.3.3	Analisis <i>Open-Loop</i>	81
4.3.4	Diskritisasi Sistem	83
4.4	Hasil Simulasi dan Optimasi PID	84
4.4.1	Optimasi PID dengan Genetic Algorithm (GA)	84
4.4.2	Optimasi PID dengan Particle Swarm Optimization (PSO)	85
4.4.3	Optimasi PID dengan Grey Wolf Optimizer (GWO)	87
4.4.4	Respons <i>Closed-Loop</i>	88
4.5	Hasil Simulasi dan Optimasi PID <i>Outer Loop</i>	96
4.5.1	Pemodelan Sistem Kaskade	96
4.5.2	Optimasi PID <i>Outer Loop</i> dengan Genetic Algorithm (GA)	96
4.5.3	Respons Sistem Kaskade terhadap Perintah Kecepatan	98
4.5.4	Sinyal Referensi Sudut dari <i>Outer Loop</i>	99
4.5.5	Analisis Kestabilan Sistem Kaskade	99
4.5.6	Respons Sistem Kaskade terhadap Gangguan Impuls	100
BAB 5	PENUTUP	104
5.1	Kesimpulan	104
5.2	Saran	104
	DAFTAR PUSTAKA	105
	LAMPIRAN A	L - 1
A	Lembar Perbaikan Proyek Akhir	L - 1
	LAMPIRAN B	L - 2
B	Program	L - 2