

DAFTAR ISI

HALAMAN PERSETUJUAN TESIS	i
PERNYATAAN.....	ii
KATA PENGANTAR	iii
DAFTAR ISI.....	v
DAFTAR TABEL	viii
DAFTAR GAMBAR	ix
INSTISARI	xii
ABSTRACT	xiii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang Masalah dan Permasalahan	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Batasan Masalah.....	3
1.5 Manfaat Penelitian.....	4
1.6 Keaslian Penelitian	4
BAB II KAJIAN PUSTAKA.....	5
BAB III LANDASAN TEORI.....	17
3.1 Kapal Katamaran.....	17
3.2 Sistem Kendali PID	18
3.2.1. Kendali proporsional.....	18
3.2.2. Kendali integral.....	18
3.2.3. Kendali derivatif	19
3.2.4. Penggabungan kendali P,I, dan D.....	19
3.3 Penalaan Ziegler Nichols.....	21
3.4 Logika Samar (<i>Fuzzy</i>).....	22
3.4.1 Fuzzifikasi.....	22
3.4.2 Rule base inference.....	23
3.4.4 Defuzzifikasi	24
3.5 Jaringan Syaraf Tiruan	24

3.5.1 Komponen jaringan syaraf.....	25
3.6. Adaptif Neuro Fuzzy Inference System (ANFIS).....	27
3.7. Simulink MATLAB	30
3.8. Mikrokontroler	31
3.9. Sensor Kompas	31
BAB IV RANCANGAN SISTEM	32
4.1 Gambaran Umum Rancangan Simulasi dan Eksperimen.....	33
4.2 Rancangan Sistem Kendali Adaptif Neuro Fuzzy PID	35
4.3 Rancangan Perangkat Keras	43
4.3.1. Perangkat keras mekanik kapal katamaran	43
4.3.2. Rancangan perangkat keras elektronis	44
4.4 Rancangan Perangkat Lunak	46
4.5 Rancangan pengujian	47
BAB V IMPLEMENTASI.....	48
5.1. Desain Sistem Kendali dengan Simulasi.....	48
5.1.1. Identifikasi transfer function kapal katamaran.....	49
5.1.2. Pembentukan kendali fuzzy PID	51
5.1.3. Pembentukan kendali ANFIS PID inisial	59
5.1.4. Pembentukan kendali ANFIS PID final (kendali adaptif neuro fuzzy PID)	66
5.2. Implementasi dan Pengujian Kendali pada Kapal Savinna.....	75
5.2.1. Implementasi perangkat keras dan perangkat lunak	76
5.2.2. Pengujian fungsioanal kapal katamaran savinna.....	84
5.2.3. Pembentukan kendali fuzzy PID	85
5.2.4. Pembentukan kendali ANFIS PID inisial	89
5.2.5. Pembentukan kendali ANFIS PID final (kendali adaptif neuro fuzzy PID)	92
5.2.6. Pengujian performa kendali	99
BAB VI HASIL DAN PEMBAHASAN	100
6.1. Simulasi	101

6.1.1. Perbandingan kendali PID, kendali fuzzy PID dan kendali neuro fuzzy PID	101
6.1.2. Perbandingan Fungsi Keanggotaan ANFIS Inisial dan ANFIS Final.	104
6.1.3. Perbandingan dengan penelitian sebelumnya	107
6.2. Pengujian Kendali pada Kapal Katamaran.....	109
6.2.1. Perbandingan performa kendali PID, fuzzy PID dan kendali adaptif neuro fuzzy PID	109
BAB VII KESIMPULAN DAN SARAN	112
7.1. Kesimpulan.....	112
7.2. Saran	112
DAFTAR PUSTAKA	114
LAMPIRAN	117

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Rangkuman kajian pustaka	12
Tabel 3. 1 Karakteristik Kp, Ki, Kd (Kholifatulloh, 2015).....	20
Tabel 3. 2 Model Penalaan parameter PID dengan metode Ziegler-Nichols.....	22
Tabel 3. 3 MacVicar Whelan	24
Tabel 4. 1 Dinamika maneuver kapal katamaran.....	44
Tabel 5.1 Data Δ PWM dan Δ heading pada saat kapal bergerak	50
Tabel 5.2 Aturan fuzzy untuk Kp', Kd' dan α	56
Tabel 5.3 Nilai error, delta error, Kp', Kd' dan α pada simulasi kendali fuzzy PID ..	57
Tabel 5.4 Fuzzy rule ANFIS Kp', ANFIS Kd' dan ANFIS Alpha	65
Tabel 5.5 Kombinasi nilai x, y dan z pada pencarian training data Kp', Kd' dan α ...	69
Tabel 5.6 Training data ANFIS final	70
Tabel 5.7 Hasil pengujian aktuator kapal Savinna.....	85
Tabel 5.8 Training data ANFIS inisial.....	88
Tabel 5.9 Fuzzy rule ANFIS Kp' Inisial, ANFIS Kd' Inisial dan ANFIS Alpha Inisial.....	92
Tabel 5.10 Kombinasi nilai x, y dan z pada pencarian training data Kp', Kd' dan α .	93
Tabel 5.11 Training data ANFIS final	94
Tabel 5.12 Fuzzy rule ANFIS Kp' Final, ANFIS Kd' Final dan ANFIS Alpha Final	98
Tabel 6.1 Respon kendali PID, kendali fuzzy PID dan kendali adaptif neuro fuzzy PID	102
Tabel 6.2 Respon terbaik kendali PID, kendali fuzzy PID dan kendali adaptif neuro fuzzy PID hasil pengujian kapal katamaran.....	110
Tabel 6.3 Hasil pengujian tingkat presisi respon kendali.....	110

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Sistem kendali PID kapal katamaran tanpa awak	6
Gambar 2.2 Struktur sistem kendali fuzzy PID	7
Gambar 2.3 Pemodelan kendali fuzzy self adaptive tuning PID dan PID konvensional	8
 Gambar 3.1 Model hull kapal katamaran (Iskendar, 2011)	17
Gambar 3.2 Diagram blok kendali PID	19
Gambar 3.3 Tuning Ziegler Nichols metode osilasi (Ogata, 2010)	21
Gambar 3.4 Derajat keanggotaan segitiga	23
Gambar 3.5 Sebuah sel syaraf sederhana.....	25
Gambar 3.6 Struktur neuron jaringan syaraf.....	26
Gambar 3.7 Jaringan syaraf dengan 3 lapisan (Yani, 2005)	27
Gambar 3.8 Sistem inferensi fuzzy sugeno	28
Gambar 3.9 Struktur ANFIS	29
 Gambar 4.1 Metode Penelitian.....	32
Gambar 4.2 Tahapan simulasi kendali adaptif neuro fuzzy PID	34
Gambar 4.3 Tahapan eksperimen kendali adaptif neuro fuzzy PID pada kapal katamaran	35
Gambar 4.4 Proses respon kendali PID adaptif	36
Gambar 4.5 Blok diagram sistem kendali adaptif neuro-fuzzy PID	38
Gambar 4.6 Kendali fuzzy PID dengan fuzzy dari penelitian Zhao (1993).....	39
Gambar 4.7 Struktur ANFIS K_p'	41
Gambar 4.8 Struktur ANFIS Alpha	41
Gambar 4.9 Struktur ANFIS K_d'	42
Gambar 4.10 (a) Sistem penggerak kapal katamaran, (b) sudut gerakan <i>rudder</i>	44
Gambar 4.11 Blok diagram elektronis	45
Gambar 4.12 Flowchart kendali adaptif neuro fuzzy PID	46
 Gambar 5.1 Sistem Kendali PID.....	51
Gambar 5.2 Grafik output sistem kendali PID pada saat $K_p=10.5$, $K_i=0$, dan $K_d=0$	52
Gambar 5.3 Step response sistem kendali PID	53
Gambar 5.4 Sistem kendali fuzzy PID.....	53
Gambar 5.5 Kendali Fuzzy PID	54
Gambar 5.6 Fungsi keanggotaan input fuzzy.....	55
Gambar 5.7 Fungsi keanggotaan output K_p' dan K_d'	55

Gambar 5.8 Fungsi keanggotaan output α	56
Gambar 5.9 Proses respon kendali fuzzy PID	57
Gambar 5.10 Sistem kendali adaptif neuro fuzzy PID	60
Gambar 5.11 Neuro fuzzy PID	60
Gambar 5.12 Fungsi keanggotaan input error dan delta error pada ANFIS Kp' inisial	62
Gambar 5.13 Fungsi keanggotaan output Kp' pada ANFIS Kp' inisial	62
Gambar 5.14 Fungsi keanggotaan error dan delta error ANFIS Kd' inisial	63
Gambar 5.15 Fungsi keanggotaan output Kp' pada ANFIS Kd' inisial	63
Gambar 5.16 Fungsi keanggotaan error dan delta error ANFIS Alpha inisial	64
Gambar 5.17 Fungsi keanggotaan output Kp' pada ANFIS Alpha inisial	64
Gambar 5.18 Proses respon kendali ANFIS PID	65
Gambar 5.19 Perubahan interval nilai output fuzzy	68
Gambar 5.20 Kendali fuzzy PID untuk pencarian training data	68
Gambar 5.21 Fungsi keanggotaan error dan delta error ANFIS Kp' final	72
Gambar 5.22 Fungsi keanggotaan Kp' ANFIS Kp' final	72
Gambar 5.23 Fungsi keanggotaan error dan delta error ANFIS Kd' final	73
Gambar 5.24 Fungsi keanggotaan Kd' ANFIS Kd' final	73
Gambar 5.25 Fungsi keanggotaan error dan delta error ANFIS Alpha final	74
Gambar 5.26 Fungsi keanggotaan α ANFIS Alpha final	74
Gambar 5.27 Proses respon kendali ANFIS PID final	75
Gambar 5.28 Kapal katamaran Savinna	76
Gambar 5.29 Mekanik dan Aktuator Kapal Katamaran Savinna	77
Gambar 5.30 Elektronis Kapal Katamaran Savinna	77
Gambar 5.31 Deklarasi library fuzzy	78
Gambar 5.32 Deklarasi pin Arduino yang digunakan	78
Gambar 5.33 Deklarasi variabel	78
Gambar 5.34 Program pembacaan sensor kompas	79
Gambar 5.35 Pembentukan fuzzy	79
Gambar 5.36 Program pembentukan fuzzy rule	80
Gambar 5.37 Program PID	81
Gambar 5.38 Program utama	82
Gambar 5.39 Program pengaturan mode kendali	83
Gambar 5.40 Program pengiriman data	84
Gambar 5.41 Data serial monitor Arduino Due dengan telemetri	84
Gambar 5.42 Grafik pencarian Ku dan Pu	86
Gambar 5.43 Fuzzy set input error dan delta error pada ANFIS Kp' inisial	89
Gambar 5.44 Fuzzy set output Kp' pada ANFIS Kp' inisial	90
Gambar 5.45 Fuzzy set input error dan delta error pada ANFIS Kd'	90
Gambar 5.46 Fuzzy set output Kd' pada ANFIS Kd'	91

Gambar 5.47 Fuzzy set input error dan delta error pada ANFIS Alpha	91
Gambar 5.48 Fuzzy output α pada ANFIS Alpha	92
Gambar 5.49 Fuzzy set input error dan delta error pada ANFIS Kp'	95
Gambar 5.50 Fuzzy set output pada ANFIS Kp'	96
Gambar 5.51 Fuzzy set input error dan delta error pada ANFIS Kd'	96
Gambar 5.52 Fuzzy set output pada ANFIS Kd'	97
Gambar 5.53 Fuzzy set input error dan delta error pada ANFIS Alpha	97
Gambar 5.54 Fuzzy set input error dan delta error pada ANFIS Alpha	98
 Gambar 6.1 Grafik respon kendali PID, kendali fuzzy PID dan kendali adaptif neuro fuzzy PID	 101
Gambar 6.2 Grafik perubahan nilai Ki, Kp dan Kd	103
Gambar 6.3 (a) Fungsi keanggotaan error ANFIS Kp' Inisial, (b) Fungsi keanggotaan error ANFIS Kp' Final (c) Fungsi keanggotaan delta error ANFIS Kp' Inisial (d) Fungsi keanggotaan delta error ANFIS Kp' Final	105
Gambar 6.4 (a) Fungsi keanggotaan output Kp' pada ANFIS Kp' Inisial (b) Fungsi keanggotaan output Kp' pada ANFIS Kp' Final.....	106
Gambar 6.9 (a) Grafik respon kendali penelitian Santoso (2013), (b) grafik respon kendali penelitian ini	107
Gambar 6.5 Grafik respon terbaik kendali PID, kendali fuzzy PID dan kendali adaptif neuro fuzzy PID hasil pengujian kapal katamaran.....	110