

ABSTRAK

Perkembangan teknologi yang semakin pesat, membuat semakin sedikitnya suatu industri yang memakai operator dalam menjalankan suatu proses produksi. Pada saat ini, kontrol otomatis lebih banyak dipakai sebagai pengganti kontrol manual. Salah satu contohnya dengan menggunakan robot (khususnya lengan robot). Permasalahan yang sering timbul adalah cara membangun suatu pengontrol agar lengan robot dapat mencapai *set point*. Oleh karena itu, pada tugas akhir ini dibuat simulasi suatu pengontrol ANFIS dalam mengimplementasikan pengontrol lengan robot dua sendi.

Pengontrol ANFIS (Adaptive Neuro Fuzzy Inference System) dipilih karena dapat menggabungkan antara kemampuan manusia dengan kontrol komputer. ANFIS juga tidak membutuhkan perhitungan matematika yang rumit dalam mengimplementasikan suatu sistem kendali *non linear*.

Realisasi suatu pengontrol ANFIS dibutuhkan sejumlah pasangan data latih. Data latih yang digunakan diambil secara manual pada model lengan robot dua sendi berukuran panjang lengan pangkal = 30 cm dan lengan ujung = 20 cm. ANFIS akan melakukan penalaan pada pasangan data latih tersebut sehingga akan diperoleh pasangan *input-output* pada tiap posisi di antara daerah kerja yang dilatih. Dua algoritma pengontrol yang digunakan yaitu pengontrol terpisah dan pengontrol yang berhubungan dengan menggunakan *Simulink* dan *Fuzzy Logic Toolbox* Matlab.

Hasil pengamatan dan pengujian data latih sebanyak 20 trayektori menunjukkan bahwa dalam pencapaian *set point* dari simulasi pengontrol terpisah menunjukkan *error* sebesar 7.009647513 % untuk posisi x dan 1.608558943 % untuk posisi y. Pada simulasi pengontrol berhubungan, *error* sebesar 5.898190654 % untuk posisi x dan 4.019088568 % untuk posisi y. Rata-rata bentuk trayektori dari hasil pengontrol ANFIS maupun data percobaan secara keseluruhan yaitu melengkung menuju ke posisi y. Penggunaan pengontrol ANFIS yang terpisah dapat menghasilkan bentuk trayektori, respon θ_1 dan θ_2 terhadap waktu lebih baik dibandingkan jika digunakan pengontrol berhubungan.

ABSTRACT

The fast progress in technology, has made an industry recruits less workers to be the operators for production processing. Nowadays, automatic control machines are preferred used to manual one. For example by using robot, especially robot arm. The problem which often come is to establish a controller, in order the robot arm can reach the set point. It is therefore, in this final project the simulation of ANFIS controller of two joints robot arm is made.

An ANFIS controller (Adaptive Neuro Fuzzy Inference System) is selected because it can join ability of human being with computer control. ANFIS not requires complicated mathematics calculation in implementing a non linear control system.

The realization of ANFIS controller required a number of training data. Training data is use to be taken manually at two joints robot arm model, in which the length of the arm = 30 cm and tip of the arm = 20 cm. ANFIS will be tuning a number of training data, so that will be obtained an input-output couple in every position among the trained working area. Two controllers algorithm are used, they are the separated controller and the related controller using Simulink and Fuzzy Logic Toolbox Matlab.

The result of observation and testing training data as many as 20 trajectory indicate that in the attainment of set point from the separated controller simulation show error 7.009647513 % for the position of x and 1.608558943 % for the position of y. At the related controller simulation, error 5.898190654 % for the position of x and 4.019088568 % for the position of y. The average form of trajectory ANFIS controller and the testing data is tortous to go to position y. The usage of separated controller ANFIS can produce trajectory form, for time respon θ_1 and θ_2 is more better than using related controller.

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN

SURAT PERNYATAAN

ABSTRAK.....	i
ABSTRACT.....	ii
KATA PENGANTAR.....	iii
DAFTAR ISI.....	v
DAFTAR GAMBAR.....	viii
DAFTAR TABEL.....	xiv
DAFTAR PERSAMAAN.....	xv

I. PENDAHULUAN

I.1 Latar Belakang.....	1
I.2 Identifikasi Masalah.....	1
I.3 Tujuan.....	2
I.4 Pembatasan Masalah.....	2
I.5 Spesifikasi Alat.....	2
I.6 Sistematika Penulisan.....	2

II. TEORI PENUNJANG

II. 1 Sistem Kendali <i>Non Linear</i>	4
II. 2 Teori Dasar Kendali ANFIS.....	5
II.2.1 <i>Fuzzy Inference System</i> (FIS).....	5
II. 2.1.1 <i>Fuzzy Logic</i>	7
II. 2.1.2 <i>Membership Functions</i> (Fungsi keanggotaan).....	8
II. 2.1.3 <i>Logical Operations</i> (Operasi Logika).....	9
II. 2.1.4 Aturan-aturan <i>If-Then</i>	9
II. 2.1.5 Macam-macam FIS.....	10

II. 2.2 Jaringan Adaptif.....	13
II.3 Algoritma <i>Backpropagation</i> untuk Jaringan Umpan Maju.....	14
II.4 ANFIS (<i>Adaptive Neuro Fuzzy Inference System</i>).....	16
 III. PERANCANGAN DAN SIMULASI	
III.1 Perancangan Pengontrol ANFIS.....	20
III.1.1 Mengumpulkan Pasangan Data Latih <i>Input-Output</i>	20
III.1.2 Penentuan Banyak dan Bentuk Fungsi Keanggotaan.....	21
III.1.3 Melakukan Pelatihan ANFIS.....	22
III.2 Perancangan Model Pengontrol Lengan Robot Dua Sendi.....	25
 IV. PENGUJIAN DAN PENGAMATAN DATA	
IV.1 Pengamatan dan Pengujian Perangkat Lunak ANFIS.....	29
IV.1.1 Arsitektur ANFIS.....	29
IV.1.2 Pengamatan Perubahan Nilai <i>Output</i>	32
IV.1.3 Pengamatan Fungsi Keanggotaan <i>Input-Output</i>	37
IV.1.4 Pengamatan Hasil Penalaan Kurva Fungsi Keanggotaan <i>Input</i>	40
IV.1.5 Aturan <i>Fuzzy If-Then</i> dan Struktur Model ANFIS.....	50
IV.2 Pengamatan dan Pengujian Data Hasil Simulasi.....	53
IV.2.1 Perbandingan Posisi Akhir Lengan Robot (Antara <i>Set Point</i> dan Pengontrol ANFIS).....	54
IV.2.2 Trayektori Perpindahan Lengan Robot, Respon θ_1 Terhadap Waktu dan Respon θ_2 Terhadap Waktu.....	59
IV.3 Perbandingan Bentuk Trayektori Lengan Robot dari Data Percobaan dan Pelatihan ANFIS.....	75
 V. KESIMPULAN DAN SARAN	
V.1 Kesimpulan.....	83
V.2 Saran.....	84

DAFTAR PUSTAKA.....	85
----------------------------	-----------

LAMPIRAN A : DATA PERCOBAAN UNTUK PELATIHAN ANFIS

**LAMPIRAN B : HASIL SIMULASI PENGONTROL TERPISAH DAN
PENGONTROL BERHUBUNGAN DARI DATA LATIH**

**LAMPIRAN C : HASIL SIMULASI PENGONTROL TERPISAH DAN
PENGONTROL BERHUBUNGAN BUKAN DARI DATA
LATIH**

DAFTAR GAMBAR

Gambar II.1	<i>Fuzzy Inference System</i>	6
Gambar II.2	FIS dengan dua <i>input</i> dan dua aturan.....	7
Gambar II.3	Mamdani <i>Fuzzy Inference System</i>	10
Gambar II.4	Tsukamoto <i>Fuzzy Inference System</i>	12
Gambar II.5	Jaringan adaptif dengan dua input dan dua output.....	13
Gambar II.6	(a) Pengambilan kesimpulan model <i>fuzzy</i> Sugeno tingkat pertama dengan dua <i>input</i> (b) Arsitektur ANFIS.....	19
Gambar II.7	(a) Arsitektur ANFIS model <i>fuzzy</i> Sugeno orde pertama dengan dua <i>input</i> yang memiliki sembilan aturan (b) Ruang <i>input</i> dua dimensi yang dibagi menjadi sembilan daerah <i>Fuzzy</i>	18
Gambar III.1	Model lengan robot dua sendi.....	19
Gambar III.2	<i>Fuzzy Logic Toolbox</i>	21
Gambar III.3	Diagram alir simulasi pengontrol lengan robot dua sendi (dengan pengontrol terpisah).....	24
Gambar III.4	Diagram blok simulink pengontrol lengan robot dua sendi (dengan pengontrol terpisah).....	25
Gambar III.5	Diagram alir simulasi pengontrol lengan robot dua sendi (dengan pengontrol yang berhubungan).....	26
Gambar III.6	Diagram blok simulink pengontrol lengan robot dua sendi (dengan pengontrol yang berhubungan).....	27
Gambar IV.1	Diagram nilai <i>input-output</i> untuk (27.6,39).....	33
Gambar IV.2	Diagram nilai <i>input-output</i> untuk (27.6,39).....	33
Gambar IV.3	Diagram nilai <i>input-output</i> untuk (30.4,23.6).....	34
Gambar IV.4	Diagram nilai <i>input-output</i> untuk (30.4,23.6,1.204277148).....	34
Gambar IV.5	Fungsi keanggotaan <i>input-output</i> untuk simulasi pengontrol terpisah (<i>fuzzy logic controller</i> ‘ro’).	37

Gambar IV.6	Fungsi keanggotaan <i>input-output</i> untuk simulasi pengontrol terpisah (<i>fuzzy logic controller</i> ‘ri’)	37
Gambar IV.7	Fungsi keanggotaan <i>input-output</i> untuk simulasi pengontrol yang berhubungan (<i>fuzzy logic controller</i> ‘lengan1’)	38
Gambar IV.8	Fungsi keanggotaan <i>input-output</i> untuk simulasi pengontrol yang berhubungan (<i>fuzzy logic controller</i> ‘lengan2’)	38
Gambar IV.9	Fungsi keanggotaan <i>input</i> 1 sebelum dilakukan pelatihan ANFIS (simulasi pengontrol terpisah untuk <i>fuzzy logic controller</i> ‘ro’)	40
Gambar IV.10	Fungsi keanggotaan <i>input</i> 1 setelah dilakukan pelatihan ANFIS (simulasi pengontrol terpisah untuk <i>fuzzy logic controller</i> ‘ro’)	40
Gambar IV.11	Fungsi keanggotaan <i>input</i> 2 sebelum dilakukan pelatihan ANFIS (simulasi pengontrol terpisah untuk <i>fuzzy logic controller</i> ‘ro’)	41
Gambar IV.12	Fungsi keanggotaan <i>input</i> 2 setelah dilakukan pelatihan ANFIS (simulasi pengontrol terpisah untuk <i>fuzzy logic controller</i> ‘ro’)	41
Gambar IV.13	Fungsi keanggotaan <i>input</i> 1 sebelum dilakukan pelatihan ANFIS (simulasi pengontrol terpisah untuk <i>fuzzy logic controller</i> ‘ri’)	42
Gambar IV.14	Fungsi keanggotaan <i>input</i> 1 setelah dilakukan pelatihan ANFIS (simulasi pengontrol terpisah untuk <i>fuzzy logic controller</i> ‘ri’)	42
Gambar IV.15	Fungsi keanggotaan <i>input</i> 2 sebelum dilakukan pelatihan ANFIS (simulasi pengontrol terpisah untuk <i>fuzzy logic controller</i> ‘ri’)	43
Gambar IV.16	Fungsi keanggotaan <i>input</i> 2 setelah dilakukan pelatihan ANFIS (simulasi pengontrol terpisah untuk <i>fuzzy logic controller</i> ‘ri’)	43
Gambar IV.17	Fungsi keanggotaan <i>input</i> 1 sebelum dilakukan pelatihan ANFIS (simulasi pengontrol yang berhubungan untuk <i>fuzzy logic controller</i> ‘lengan1’)	44
Gambar IV.18	Fungsi keanggotaan <i>input</i> 1 setelah dilakukan pelatihan ANFIS (simulasi pengontrol yang berhubungan untuk <i>fuzzy logic controller</i> ‘lengan1’)	44
Gambar IV.19	Fungsi keanggotaan <i>input</i> 2 sebelum dilakukan pelatihan ANFIS (simulasi pengontrol yang berhubungan untuk <i>fuzzy logic controller</i> ‘lengan1’)	45

Gambar IV.20	Fungsi keanggotaan <i>input</i> 2 setelah dilakukan pelatihan ANFIS (simulasi pengontrol yang berhubungan untuk <i>fuzzy logic controller</i> 'lengan1').....	45
Gambar IV.21	Fungsi keanggotaan <i>input</i> 1 sebelum dilakukan pelatihan ANFIS (simulasi pengontrol yang berhubungan untuk <i>fuzzy logic controller</i> 'lengan2').....	46
Gambar IV.22	Fungsi keanggotaan <i>input</i> 1 setelah dilakukan pelatihan ANFIS (simulasi pengontrol yang berhubungan untuk <i>fuzzy logic controller</i> 'lengan2').....	46
Gambar IV.23	Fungsi keanggotaan <i>input</i> 2 sebelum dilakukan pelatihan ANFIS (simulasi pengontrol yang berhubungan untuk <i>fuzzy logic controller</i> 'lengan2').....	47
Gambar IV.24	Fungsi keanggotaan <i>input</i> 2 setelah dilakukan pelatihan ANFIS (simulasi pengontrol yang berhubungan untuk <i>fuzzy logic controller</i> 'lengan2').....	47
Gambar IV.25	Fungsi keanggotaan <i>input</i> 3 sebelum dilakukan pelatihan ANFIS (simulasi pengontrol yang berhubungan untuk <i>fuzzy logic controller</i> 'lengan2').....	48
Gambar IV.26	Fungsi keanggotaan <i>input</i> 3 setelah dilakukan pelatihan ANFIS (simulasi pengontrol yang berhubungan untuk <i>fuzzy logic controller</i> 'lengan2').....	48
Gambar IV.27	Struktur model ANFIS untuk <i>fuzzy logic controller</i> 'ro', 'ri' dan 'lengan1'	51
Gambar IV.28	Struktur model ANFIS untuk <i>fuzzy logic controller</i> 'lengan2'	53
Gambar IV.29.1	Trayektori perpindahan lengan robot dari data latih dengan posisi awal (18.2,46.1) dan posisi akhir (27.6,39) dari simulasi pengontrol terpisah.....	59
Gambar IV.29.2	Plot respon θ_1 terhadap waktu dan respon θ_2 terhadap waktu untuk posisi awal (18.2,46.1) dan posisi akhir (27.6,39).....	59

Gambar 1V.30.1 Trayektori perpindahan lengan robot dari data latih dengan posisi awal (18.2,46.1) dan posisi akhir (27.6,39) dari simulasi pengontrol yang berhubungan.....	60
Gambar IV.30.2 Plot respon θ_1 terhadap waktu dan respon θ_2 terhadap waktu untuk posisi awal (18.2,46.1) dan posisi akhir (27.6,39).....	60
Gambar 1V.31.1 Trayektori perpindahan lengan robot dari data latih dengan posisi awal (44.7,20.5) dan posisi akhir (47.7,8.3) dari simulasi pengontrol terpisah.....	61
Gambar IV.31.2 Plot respon θ_1 terhadap waktu dan respon θ_2 terhadap waktu untuk posisi awal (44.7,20.5) dan posisi akhir (47.7,8.3).....	61
Gambar 1V.32.1 Trayektori perpindahan lengan robot dari data latih dengan posisi awal (44.7,20.5) dan posisi akhir (47.7,8.3) dari simulasi pengontrol yang berhubungan.....	62
Gambar IV.32.2 Plot respon θ_1 terhadap waktu dan respon θ_2 terhadap waktu untuk posisi awal (44.7,20.5) dan posisi akhir (47.7,8.3).....	62
Gambar 1V.33.1 Trayektori perpindahan lengan robot dari data latih dengan posisi awal (45.2,12.2) dan posisi akhir (42.7,3.5) dari simulasi pengontrol terpisah.....	63
Gambar IV.33.2 Plot respon θ_1 terhadap waktu dan respon θ_2 terhadap waktu untuk posisi awal (45.2,12.2) dan posisi akhir (42.7,3.5).....	63
Gambar 1V.34.1 Trayektori perpindahan lengan robot dari data latih dengan posisi awal (45.2,12.2) dan posisi akhir (42.7,3.5) dari simulasi pengontrol yang berhubungan.....	64
Gambar IV.34.2 Plot respon θ_1 terhadap waktu dan respon θ_2 terhadap waktu untuk posisi awal (45.2,12.2) dan posisi akhir (42.7,3.5).....	64
Gambar 1V.35.1 Trayektori perpindahan lengan robot dari data latih dengan posisi awal (38.1,32.2) dan posisi akhir (43.6,23.3) dari simulasi pengontrol terpisah.....	65
Gambar IV.35.2 Plot respon θ_1 terhadap waktu dan respon θ_2 terhadap waktu untuk posisi awal (38.1,32.2) dan posisi akhir (43.6,23.3).....	65

Gambar 1V.36.1 Trayektori perpindahan lengan robot dari data latih dengan posisi awal (38.1,32.2) dan posisi akhir (43.6,23.3) dari simulasi pengontrol yang berhubungan.....	66
Gambar IV.36.2 Plot respon θ_1 terhadap waktu dan respon θ_2 terhadap waktu untuk posisi awal (38.1,32.2) dan posisi akhir (43.6,23.3).....	66
Gambar 1V.37.1 Trayektori perpindahan lengan robot dari data yang tidak dilatih dengan posisi awal (17.5,43.4) dan posisi akhir (29.6,33.3) dari simulasi pengontrol terpisah.....	67
Gambar IV.37.2 Plot respon θ_1 terhadap waktu dan respon θ_2 terhadap waktu untuk posisi awal (17.5,43.4) dan posisi akhir (29.6,33.3).....	67
Gambar 1V.38.1 Trayektori perpindahan lengan robot dari data yang tidak dilatih dengan posisi awal (17.5,43.4) dan posisi akhir (29.6,33.3) dari simulasi pengontrol yang berhubungan.....	68
Gambar IV.38.2 Plot respon θ_1 terhadap waktu dan respon θ_2 terhadap waktu untuk posisi awal (17.5,43.4) dan posisi akhir (29.6,33.3).....	68
Gambar 1V.39.1 Trayektori perpindahan lengan robot dari data yang tidak dilatih dengan posisi awal (41.6,16) dan posisi akhir (38.8,8.1) dari simulasi pengontrol terpisah.....	69
Gambar 1V.39.2 Trayektori perpindahan lengan robot dari data yang tidak dilatih dengan posisi awal (41.6,16) dan posisi akhir (38.8,8.1) dari simulasi pengontrol terpisah.....	69
Gambar 1V.40.1 Trayektori perpindahan lengan robot dari data yang tidak dilatih dengan posisi awal (41.6,16) dan posisi akhir (38.8,8.1) dari simulasi pengontrol yang berhubungan.....	70
Gambar IV.40.2 Plot respon θ_1 terhadap waktu dan respon θ_2 terhadap waktu untuk posisi awal (41.6,16) dan posisi akhir (38.8,8.1).....	70
Gambar 1V.41.1 Trayektori perpindahan lengan robot dari data yang tidak dilatih dengan posisi awal (28.1,23.8) dan posisi akhir (32.3,15.8) dari simulasi pengontrol terpisah.....	71
Gambar IV.41.2 Plot respon θ_1 terhadap waktu dan respon θ_2 terhadap waktu untuk posisi awal (28.1,23.8) dan posisi akhir (32.3,15.8).....	71

Gambar 1V.42.1 Trayektori perpindahan lengan robot dari data yang tidak dilatih dengan posisi awal (28.1,23.8) dan posisi akhir (32.3,15.8) dari simulasi pengontrol yang berhubungan.....	72
Gambar IV.42.2 Plot respon θ_1 terhadap waktu dan respon θ_2 terhadap waktu untuk posisi awal (28.1,23.8) dan posisi akhir (32.3,15.8).....	72
Gambar 1V.43.1 Trayektori perpindahan lengan robot dari data yang tidak dilatih dengan posisi awal (21,39.3) dan posisi akhir (28.4,29.5) dari simulasi pengontrol terpisah.....	73
Gambar IV.43.2 Plot respon θ_1 terhadap waktu dan respon θ_2 terhadap waktu untuk posisi awal (21,39.3) dan posisi akhir (28.4,29.5).....	73
Gambar 1V.44.1 Trayektori perpindahan lengan robot dari data yang tidak dilatih dengan posisi awal (21,39.3) dan posisi akhir (28.4,29.5) dari simulasi pengontrol yang berhubungan.....	74
Gambar IV.44.2 Plot respon θ_1 terhadap waktu dan respon θ_2 terhadap waktu untuk posisi awal (21,39.3) dan posisi akhir (28.4,29.5).....	74
Gambar IV.45.1 Bentuk seluruh trayektori yang diambil untuk data percobaan.....	75
Gambar IV.45.2 Bentuk trayektori untuk posisi antara (25,0) sampai dengan (35,50)	76
Gambar IV.45.3 Bentuk trayektori untuk posisi antara (20,35) sampai dengan (50,35)	76

DAFTAR TABEL

Tabel IV.1 Perbandingan <i>output</i> percobaan dengan <i>output</i> hasil pelatihan ANFIS untuk simulasi pengontrol terpisah.....	35
Tabel IV.2 Perbandingan <i>output</i> percobaan dengan <i>output</i> hasil pelatihan ANFIS untuk simulasi pengontrol yang berhubungan.....	36
Tabel IV.3 Perbandingan posisi akhir lengan robot (antara <i>set point</i> dan pengontrol ANFIS) dari data latih dengan menggunakan simulasi pengontrol yang terpisah.....	54
Tabel IV.4 Perbandingan posisi akhir lengan robot (antara <i>set point</i> dan pengontrol ANFIS) dari data latih dengan menggunakan simulasi pengontrol yang berhubungan.....	55
Tabel IV.5 Perbandingan posisi akhir lengan robot (antara <i>set point</i> dan pengontrol ANFIS) dari data yang tidak dilatih dengan menggunakan simulasi pengontrol yang terpisah.....	56
Tabel IV.6 Perbandingan posisi akhir lengan robot (antara <i>set point</i> dan pengontrol ANFIS) dari data yang tidak dilatih dengan menggunakan simulasi pengontrol yang berhubungan.....	57

DAFTAR PERSAMAAN

Persamaan II.1	12
Persamaan II.2	12
Persamaan II.3	14
Persamaan II.4	15
Persamaan II.5	15
Persamaan II.6	15
Persamaan II.7	15
Persamaan II.8	15
Persamaan II.9	16
Persamaan II.10	16
Persamaan II.11	16
Persamaan II.12	17
Persamaan II.13	18
Persamaan II.14	18
Persamaan II.15	18
Persamaan II.16	18
Persamaan II.17	18