

RANCANG BANGUN ROBOT ARM 2 DOF BERBASIS *ADAPTIVE NEURO-FUZZY INFERENCE SYSTEM* (ANFIS)

Trisnawan¹, Aceng Sambas¹, Darmawan Setia Rahayu²

¹Prodi Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Tasikmalaya, Indonesia.

²Prodi Fisika, Institut Teknologi Bandung, Indonesia.

*Email: trisnakiageng@gmail.com

Abstrak

Di dalam penelitian ini, kami mempelajari perancangan robot arm 2 DOF dengan menggunakan metode ANFIS. Pembuatan robot arm 2 DOF dimaksudkan untuk menganalisis data dari persamaan kinematik dan ANFIS itu sendiri, sehingga diperoleh nilai error dan keakuratan hasil dari ANFIS terhadap hasil dari persamaan kinematik invers. Selain itu robot arm dalam aplikasinya digunakan untuk membuat pola atau gambar. Untuk bisa menggunakan ANFIS, terlebih dahulu diambil data pembelajaran yang dibuat dalam file "dat" dan kemudian pada MATLAB di training oleh ANFIS editor untuk memperoleh file dalam bentuk "fis". File "fis" inilah yang digunakan sebagai data pembelajaran ANFIS. Kemudian akan diperoleh nilai output dari data pembelajaran ANFIS dalam bentuk sudut. Nilai output sudut inilah yang dibandingkan dengan nilai sudut dari persamaan kinematik invers. Sehingga diperoleh nilai error dan keakuratan. Error yang terbesar hanya terjadi pada dua data yaitu sebesar 4.0362 dan 5.1452 (dalam derajat). Namun untuk keakuratan rata-rata semua diatas 95%.

Kata Kunci : robot arm 2 DOF, ANFIS, kinematik invers

Abstract

In this study, we studied the design of 2 DOF robots using the ANFIS method. Making arm 2 DOF robots is intended to analyze data from kinematic and ANFIS equations themselves, so that the error and accuracy values obtained from ANFIS are obtained for the results of inverse kinematic equations. In addition, the robot arm in the application is used to create patterns or images. To be able to use ANFIS, learning data is made in the "dat" file first and then in MATLAB it is trained by the ANFIS editor to download files in the "fis" form. This "fis" file is used as ANFIS learning data. Then the output value of ANFIS learning data will be obtained in the form of an angle. This angle output value is compared with the angle value of the inverse kinematic equation. So that the error value and accuracy are obtained. The biggest error only occurs in two data which are 4.0362 and 5.1452 (in degrees). But for accuracy, everything is above 95%..

Keywords: robot arm 2 DOF, ANFIS, inverse kinematics

1. Pendahuluan

Jenis robot secara umum dapat kita bedakan menjadi dua jenis berdasarkan proses kendalinya yaitu robot yang dikontrol (*controlled robot*) atau robot *teleoperated* dan robot otomatis (*autonomos robot*)[1-4]. Robot yang dapat dikontrol dapat digerakan dengan menggunakan remote control, joystick, keypad, atau keyboard. Sedangkan

robot otomatis (*autonomos robot*) dapat bergerak dengan menanamkan program yang sudah dibuat dan disimpan sebagai memory robot.

Pemodelan, simulasi dan kontrol lengan robot telah menerima perhatian luar biasa di bidang mekatronika selama beberapa dekade terakhir dan pencarian untuk pengembangan baru kontrol lengan robot masih terus berlanjut. Dalam literatur [5], model kinematika dari

lengan robot 4-DOF ditangani dengan menggunakan metode *Denavit-Hartenberg* (DH) dan produk formula eksponensial; dan hasil yang diteliti menunjukkan bahwa kedua pendekatan menghasilkan solusi yang identik. Dalam penelitian [6], kontrol impedansi diimplementasikan untuk mengendalikan kekuatan interaksi lengan planar 2 link yang disimulasikan; model matematika dari robot dimodelkan, dilinearisasi dan dipisahkan untuk membangun pengontrol berbasis model. Simmechanic digunakan sebagai alat simulasi untuk memodelkan mekanisme robot yang memungkinkan kemungkinan untuk memvariasikan algoritma kontrol berbasis model. Dasar dan konsep 5 DOF studi lengan robot pendidikan [7] untuk mempromosikan pengajaran robot di institusi pembelajaran yang lebih tinggi. Untuk mencapai hal ini, analisis kinematik terperinci dari lengan robot ALSB diselidiki dan platform antarmuka pengguna grafis (GUI) dikembangkan dengan bahasa pemrograman Matlab yang juga mencakup simulator gerakan on-line lengan robot untuk menarik dan mendorong aspek eksperimental robot gerakan manipulator secara real time di antara sarjana dan lulusan.

Berdasarkan motivasi diatas, kami mencoba membuat rancang bangun robot arm 2 DOF menggunakan arduino sebagai mikroprosesornya. Selain itu, ANFIS digunakan untuk melihat performance dari robot arm 2 DOF ini.

2. Desain Robot Arm 2 DOF

Robot yang dirakit adalah robot Arm 2 DOF. Robot Arm 2 DOF memiliki panjang 18.5 cm dari servo pertama ke servo kedua dan 21 cm dari servo kedua sampai *nipper* atau penjepit. Sehingga panjang yang dimiliki robot Arm 2 DOF adalah 39.5 cm.

Gambar 1 menunjukkan kontruksi keseluruhan dari robot Arm 2 DOF, yang terdiri dari 2 servo. Servo pertama dihubungkan dengan lengan ke servo kedua dan servo kedua dihubungkan dengan lengan ke penjepit atau nipper untuk menjepit spidol.



Gambar 1: Hasil Rakit Robot Arm 2 DOF

Servo pertama merupakan servo yang dibuat statis kedudukannya, dan menjadi penompang bagi lengan dan servo kedua. Servo pertama menggerakkan lengan secara horizontal (lihat **Gambar 2**).

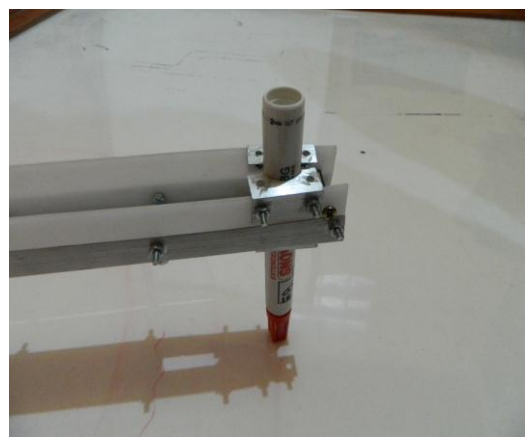
Servo kedua kedudukannya statis terhadap lengan pertama, sehingga servo kedua akan bergerak sebagaimana lengan pertama yang digerakan servo pertama. Servo kedua memiliki lengan yang terhubung dengan penjepit atau nipper, bergerak secara horizontal (lihat **Gambar 3**). Penjepit atau nipper pada ujung lengan, berguna untuk membuat spidol yang dipasang diam (lihat **Gambar 4**).



Gambar 2 Servo Pertama Robot Arm 2 DOF

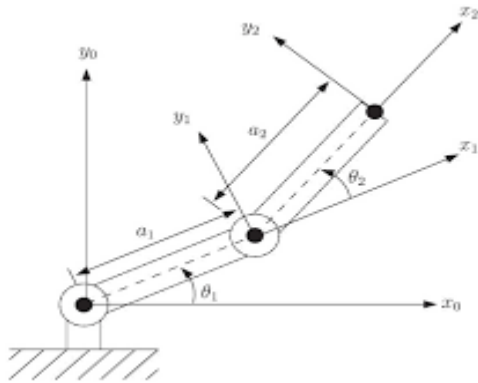


Gambar 3 Servo Kedua Robot Arm 2 DOF



Gambar 4 Penjepit atau Nipper Robot Arm 2 DOF

3. Model Kinematika Arm 2 DOF



Gambar 5: Konfigurasi Robot Arm 2 DOF

Dengan memperhatikan Gambar 5. Maka diperoleh persamaan kinematik untuk robot Arm 2 DOF sebagai berikut [8-9].

$$\begin{aligned} x &= l_1 \cos \theta_1 + l_2 \cos(\theta_1 + \theta_2) \\ y &= l_1 \sin \theta_1 + l_2 \sin(\theta_1 + \theta_2) \end{aligned} \quad (1)$$

Untuk memperoleh kembali nilai sudut dengan menjadikan x dan y sebagai input-an, persamaan kinematik robot Arm 2 DOF di atas dapat dibalikkan kembali. Membalikkan persamaan tersebut disebut dengan kinematik invers sebagai berikut

$$\begin{aligned} x &= l_1 \cos \theta_1 + l_2 \cos \theta_1 \cos \theta_2 - l_2 \sin \theta_1 \sin \theta_2 \\ y &= l_1 \sin \theta_1 + l_2 \sin \theta_1 \cos \theta_2 + l_2 \cos \theta_1 \sin \theta_2 \end{aligned} \quad (2)$$

Kemudian dapat kita cari terlebih dahulu θ_2 . Maka diperoleh

$$\theta_2 = \arccos\left(\frac{x^2 + y^2 - l_1^2 - l_2^2}{2l_1l_2}\right) \quad (3)$$

Kemudian kita cari θ_1 . Maka diperoleh persamaan sebagai berikut

$$\theta_1 = \arctan\left(\frac{y(l_1 + l_2 \cos \theta_2) - xl_2 \sin \theta_2}{x(l_1 + l_2 \cos \theta_2) + yl_2 \sin \theta_2}\right) \quad (4)$$

Input θ_1 dan θ_2 pada Persamaan kinematik robot Arm 2 DOF disajikan pada Tabel 1. Dengan menggunakan persamaan (2), maka diperoleh nilai x dan y yang disajikan pada Tabel 2.

Nilai output dalam x dan y akan menjadi input-an pada pengolahan data di MATLAB, dengan menggunakan persamaan kinematik invers robot Arm 2 DOF. Hasil yang diperoleh ternyata nilai θ_1 dan θ_2 sama dengan data pembelajaran. Hal ini menunjukkan bahwa pembalikan atau invers dari persamaan kinematik sudah benar. Dari data yang dihasilkan pun dapat kita lihat, nilai θ_1 dan θ_2 sama dengan data pembelajaran, maka persamaan kinematik invers sudah betul. Karena persamaan kinematik invers inilah yang kemudian akan digunakan, sebab aplikasinya pada robot Arm 2 DOF diperlukan output dalam bentuk sudut θ_1 dan θ_2 .

Tabel 1: Input θ_1 dan θ_2 pada persamaan kinematik Robot Arm 2 DOF

No	θ_1	θ_2	l_1	l_2	Sin θ_1	Cos θ_1	Sin ($\theta_1 + \theta_2$)	Cos ($\theta_1 + \theta_2$)
1	5	10	18.5	21	0.087155743	0.996194698	0.258819045	0.965925826
2	10	25	18.5	21	0.173648178	0.984807753	0.573576436	0.819152044
3	20	40	18.5	21	0.342020143	0.939692621	0.866025404	0.5
4	30	55	18.5	21	0.5	0.866025404	0.996194698	0.087155743
5	40	70	18.5	21	0.64278761	0.766044443	0.939692621	-0.342020143
6	50	85	18.5	21	0.766044443	0.64278761	0.707106781	-0.707106781
7	60	90	18.5	21	0.866025404	0.5	0.5	-0.866025404
8	70	105	18.5	21	0.939692621	0.342020143	0.087155743	-0.996194698
9	80	120	18.5	21	0.984807753	0.173648178	-0.342020143	-0.939692621
10	90	135	18.5	21	1	6.12574E-17	-0.707106781	-0.707106781
11	100	110	18.5	21	0.984807753	-0.173648178	-0.5	-0.866025404
12	90	70	18.5	21	1	6.12574E-17	0.342020143	-0.939692621
13	80	60	18.5	21	0.984807753	0.173648178	0.64278761	-0.766044443
14	70	50	18.5	21	0.939692621	0.342020143	0.866025404	-0.5
15	60	40	18.5	21	0.866025404	0.5	0.984807753	-0.173648178
16	70	30	18.5	21	0.939692621	0.342020143	0.984807753	-0.173648178
17	80	70	18.5	21	0.984807753	0.173648178	0.5	-0.866025404

Tabel 2: Output dari Persamaan Kinematik Robot Arm 2 DOF

No	x	y
1	38.71404427	7.047581188
2	35.42113636	15.25759645
3	27.88431348	24.51390613
4	17.85174057	30.17008866
5	6.989399188	31.62511582
6	-2.957671626	29.02106460
7	-8.936533479	26.52146997
8	-14.59271601	19.21458408
9	-16.52105375	11.03652042
10	-14.8492424	3.650757595
11	-21.39902477	7.718943431
12	-19.73354504	25.68242301
13	-12.87444202	31.71748323
14	-4.172627348	35.57084696
15	5.603388269	36.70243278
16	2.680760921	38.0652763
17	-14.97404219	28.71894343

4. Kinematik Invers dan ANFIS Robot Arm 2 DOF

Invers kinematik mengacu pada penggunaan persamaan kinematika robot untuk menentukan parameter bersama yang memberikan posisi yang diinginkan pada posisi akhir atau efektor. Invers kinematik merupakan suatu metode analisa untuk melakukan transformasi dari ruang Cartesian ke ruang sendi. Dari persamaan kinematik, dapat diperoleh hubungan antar konsep geometri ruang sendi pada robot dengan konsep koordinat yang biasa digunakan untuk menentukan kedudukan suatu objek.

Permasalahan inverse kinematics menentukan posisi dari robot dan orientasi dari end-effector. Permasalahan dari inverse kinematics tersebut mempunyai banyak solusi yang didapat atau disebut juga dengan multiple solution.

Hasil yang diperoleh pada **Tabel 3** Data output ANFIS dan kinematik invers, menunjukkan perbedaan selisih yang kecil. selisih yang paling besar terdapat saat $x = 6.989399188$ dan $y = 31.62511582$ yaitu sebesar 5.1452.

Tabel 3: Data output ANFIS dan kinematik invers

Input		Output			
x	y	Kinematik Invers		ANFIS	
		θ_1	θ_2	θ_1	θ_2
38.71404427	7.047581188	5	10	4.51354	10.4577
35.42113636	15.25759645	10	25	11.1164	23.9729
27.88431348	24.51390613	20	40	18.264	41.5966
17.85174057	30.17008866	30	55	31.4491	53.6665
6.989399188	31.62511582	40	70	37.9825	75.1452
-2.957671626	29.02106460	50	85	51.3507	82.8638
-8.936533479	26.52146997	60	90	60.3484	87.791
-14.59271601	19.21458408	70	105	69.2369	103.846
-16.52105375	11.03652042	80	120	84.0362	116.492
-14.8492424	3.650757595	90	135	88.1522	136.798
-21.39902477	7.718943431	100	110	99.4402	110.468
-19.73354504	25.68242301	90	70	88.5941	73.9947
-12.87444202	31.71748323	80	60	79.4611	61.2897
-4.172627348	35.57084696	70	50	71.7277	46.4108
5.603388269	36.70243278	60	40	60.2381	39.0057
2.680760921	38.0652763	70	30	69.3088	30.5994
-14.97404219	28.71894343	80	70	79.6113	70.7664

5. Keakuratan

Untuk mencari nilai error dari Output ANFIS terhadap Output persamaan kinematik invers, dapat diperoleh dengan mencari selisih dari nilai Output ANFIS terhadap Output persamaan kinematik invers.

Persamaan error untuk θ_1 :

$$error \theta_1 = |\Delta\theta_1| = |\theta_{1ki} - \theta_{1A}| \quad (5)$$

Persamaan error untuk θ_2 :

$$error \theta_2 = |\Delta\theta_2| = |\theta_{2ki} - \theta_{2A}| \quad (6)$$

dimana:

θ_{1ki} = Output sudut pertama kinematik invers

θ_{1A} = Output sudut pertama ANFIS

θ_{2ki} = Output sudut kedua kinematik invers

θ_{2A} = Output sudut kedua ANFIS

Untuk mencari keakuratan digunakan persamaan sebagai berikut.

$$\text{Keakuratan } \theta_1 = 1 - \left(\frac{|\theta_{1ki} - \theta_{1A}|}{\theta_{1ki}} \right) \times 100\% \quad (7)$$

$$\text{Keakuratan } \theta_2 = 1 - \left(\frac{|\theta_{2ki} - \theta_{2A}|}{\theta_{2ki}} \right) \times 100\% \quad (8)$$

Dengan menggunakan informasi pada **Tabel 3**, maka diperoleh nilai error dan keakuratan dari robot arm 2 DOF yang disajikan pada **Tabel 4**.

Tabel 4 menunjukkan nilai error terbesar untuk θ_1 yaitu 4.0362 dan untuk θ_2 yaitu 5.1452. Namun nilai terbesar ini, jika kita bandingkan dari nilai sudut ANFIS dan kinematika invers berdekatan yaitu 84 dan 80, serta 75 dan 70, masih terbilang kecil. Bila kita lihat dari keakuratan yang diperoleh, rata-rata menunjukkan nilai diatas 95%. Nilai keakuratan membuktikan bahwa hasil ANFIS dan persamaan kinematika invers memiliki nilai yang hampir sama.

6. Kesimpulan

Dalam makalah ini hasil output ANFIS dan kinematik invers, menunjukkan perbedaan selisih yang kecil. Selisih yang paling besar terdapat saat $x = 6.989399188$ dan $y =$

31.62511582 yaitu sebesar 5.1452. Sedangkan hasil perhitungan untuk nilai error, diperoleh nilai error terbesar untuk θ_1 yaitu 4.0362 dan untuk θ_2 yaitu 5.1452. Keakuratan yang diperoleh antara ANFIS dan kinematik, menunjukkan nilai diatas 95%.

Tabel 4: Nilai Error dan Keakratan robot arm 2 DOF

No	Error		Keakuratan	
	θ_1	θ_2	θ_1	θ_2
1	0.48646	0.4577	90%	95%
2	1.1164	1.0271	89%	96%
3	1.736	1.5966	91%	96%
4	1.4491	1.3335	95%	98%
5	2.0175	5.1452	95%	93%
6	1.3507	2.1362	97%	97%
7	0.3484	2.209	99%	98%
8	0.7631	1.154	99%	99%
9	4.0362	3.508	95%	97%
10	1.8478	1.798	98%	99%
11	0.5598	0.468	90%	100%
12	1.4059	3.9947	98%	94%
13	0.5389	1.2897	99%	98%
14	1.7277	3.5892	98%	93%
15	0.2381	0.9943	100%	98%
16	0.6912	0.5994	99%	98%
17	0.3887	0.7664	100%	99%

Ucapan Terima Kasih

Penelitian ini didanai oleh Kementerian Riset, Teknologi, dan Pendidikan Tinggi Republik Indonesia (KEMENRISTEKDIKTI) 2018 dengan skema Penelitian Dosen pemula (PDP) dengan No. 0805 / K4 / KM / 2018.

Daftar Pustaka

1. D. A. Winarno. *Bikin robot itu gampang*. Surabaya: PT. Kawan Pustaka, (2011).
2. Nalwan, A. (2012). *Teknik Rancang Bangun Robot*. Yogyakarta: Penerbit Andi.
3. W. Budiharto. (2006). *Belajar Sendiri: Membuat Robot Cerdas*. Jakarta: Elex Media Komputindo.
4. A. Yulianto dan H. P. Handoyo. Penerapan Behavior-Based Control dan Fuzzy Logic Controller pada Sistem Navigasi Robot Soccer. *Civil and Electrical Engineering Journal*, 7(1), 16-23, 2012.
5. A. A. Mohammed dan M. Sunar. *Kinematics modeling of a 4-DOF robotic arm*. IEEE Control, Automation and Robotics, Singapore, May 20-22, 2015. 87-91, ISBN: 978-1-4673-7523-8.
6. J. de Gea dan F. Kirchner. Modelling and simulation of robot arm interaction forces using impedance control. *IFAC Proceedings Volumes*, 41(2), 15589-15594, 2008.
7. M. A. Qassem, I. Abuhadrous dan H. Elaydi. *Modeling and Simulation of 5 DOF educational robot arm*. IEEE Advanced Computer Control. Shenyang, China. March 27-29, 2010, 569-574, ISBN: 978-1-4244-5848-6.
8. J. Q. Gan, E. Oyama, E. M. Rosales dan H. Hu. A complete analytical solution to the inverse kinematics of the Pioneer 2 robotic arm. *Robotica*, 23(1), 123-129, 2005.
9. M. W. Spong dan M. Vidyasagar. (2008). *Robot Dynamics and Control*. New York: John Wiley.