

Analisa *Inverse Kinematics* Pada *Prototype 3-DOF Arm Robot* Dengan Metode ANFIS

Indra Sulaeman^{1*}, Akhmad Wahyu Dani², Triyanto Pangaribowo², Fadli Sirait²

¹PT. Indonesia Power

²Teknik Elektro, Universitas Mercu Buana, Jakarta

*indra.sulaeman471@gmail.com

Abstrak— Perkembangan teknologi yang sudah semakin maju memberi dampak pada perkembangan sistem kendali lengan robot. Sistem kendali lengan robot yang digunakan bermacam-macam. Beberapa teknik yang umum digunakan adalah metode forward kinematics dan inverse kinematics. Namun, metode inverse kinematics memiliki kompleksitas yang tinggi karena diperlukan perhitungan fungsi turunan dari forward kinematics. Metode terbaru yang saat ini dapat digunakan yaitu metode Adaptive Neuro Fuzzy Inference System (ANFIS). Pada umumnya ANFIS dilakukan untuk memprediksi data keluaran berdasarkan pelatihan hubungan data masukan dan data keluaran yang dimuat dalam dataset. Penerapan metode ANFIS yang dilakukan pada penelitian ini sebagai solusi inverse kinematics untuk mengurangi kompleksitas dari metode tersebut. Berdasarkan hasil pengujian yang dilakukan bahwa RMSE pada inverse kinematics bernilai 25.36137736 sedangkan RMSE pada metode ANFIS bernilai 42.18690271. Meskipun nilai error yang dihasilkan dari metode ANFIS cukup besar akibat beberapa faktor error yang mempengaruhinya, metode ANFIS ini terbukti dapat digunakan untuk kontrol lengan robot 3-DOF.

Kata Kunci—ANFIS, Inverse Kinematics, Arm Robot, Matlab, 3 DoF

DOI: 10.22441/jte.2022.v13i1.003

I. PENDAHULUAN

Robot sudah dikenal masyarakat luas akan kegunaannya dan kemampuannya. Dalam dunia industri, robot yang khususnya lengan robot, digunakan untuk beberapa macam pekerjaan. Contohnya pada proses pengecatan, pengelasan, pemindahan barang, dan sebagainya. Tingkat akurasi dan presisi yang tinggi ini yang menjadi daya tarik perusahaan untuk menggunakan lengan robot sebagai bagian dalam proses produksi. [1][2][3]

Kontrol pergerakan lengan robot dapat dilakukan dengan cara mengatur sudut joint atau menentukan koordinat yang diinginkan. Analisa kinematika lengan robot dapat menggunakan parameter Denavit-Hartenberg. Kinematika tersebut terdiri dari Forward Kinematics dan Inverse Kinematics. [4]

Forward kinematics merupakan kinematika lengan robot dengan input berupa nilai sudut tiap joint sehingga didapatkan nilai output berupa koordinat end-effector. Sedangkan inverse kinematics, merupakan kinematika pergerakan robot dengan input berupa nilai koordinat end-effector sehingga didapatkan output berupa nilai sudut masing-masing joint robot. Kinematika ini sudah lazim dalam kontrol pergerakan robot. [5]

Kekurangan forward kinematics yaitu operator akan kesulitan untuk mengatur posisi end-effector pada koordinat

yang diinginkan karena pengaturan berfokus pada nilai sudut masing-masing joint. Sedangkan pada inverse kinematics, walaupun posisi end-effector dapat berada pada posisi koordinat yang diinginkan, proses perhitungan kinematikanya akan lebih kompleks.

Pada tahun 1993, Jyh-Shing R Jang melakukan penelitian mengenai perpaduan antara fuzzy logic dengan neural network yang dikenal sebagai Adaptive Neuro Fuzzy Inference System (ANFIS). ANFIS dapat digunakan untuk memprediksi suatu data berdasarkan dataset yang telah dilatih sebelumnya. [6]

Beberapa jurnal penelitian saat ini sudah menerapkan metode ANFIS untuk kontrol pergerakan robot sebagai pengganti inverse kinematics. Namun, penelitian tersebut masih berupa simulasi dalam program Matlab dan belum diterapkan pada robot yang sesungguhnya.

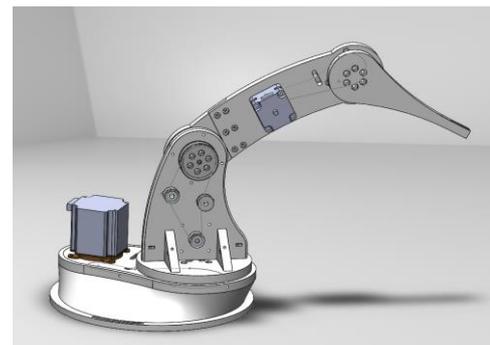
II. PENELITIAN TERKAIT

Penelitian mengenai penerapan ANFIS pada lengan robot telah dilakukan menggunakan *software* MATLAB [7][8][9][10][11]. Penelitian yang telah dilakukan oleh Demby's dkk [8] adalah penerapan ANFIS pada lengan robot 4 hingga 7-DOF. Dari hasil tersebut diketahui bahwa tingkat ANFIS pada simulasi sudah mendekati *inverse kinematics*.

III. METODOLOGI PENELITIAN

A. Perancangan Perangkat Keras

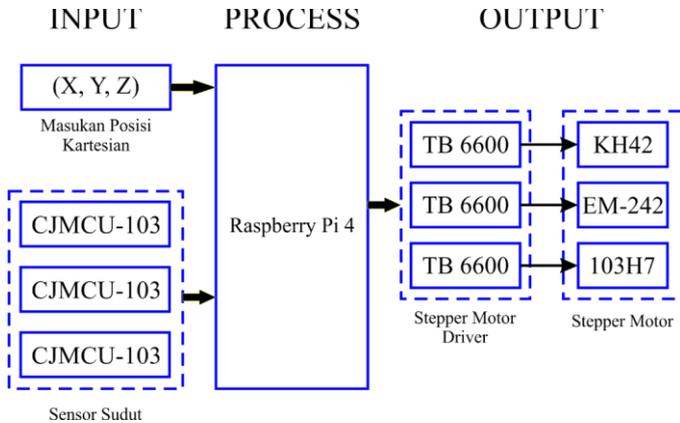
Perancangan dibuat menggunakan *software* CAD untuk memudahkan pembuatan ukuran dan bentuk komponen dari lengan robot. Adapun rancangan yang telah dibuat seperti pada Gambar 1.



Gambar 1. Rancangan 3D Perangkat Keras

B. Perancangan Sistem Kontrol

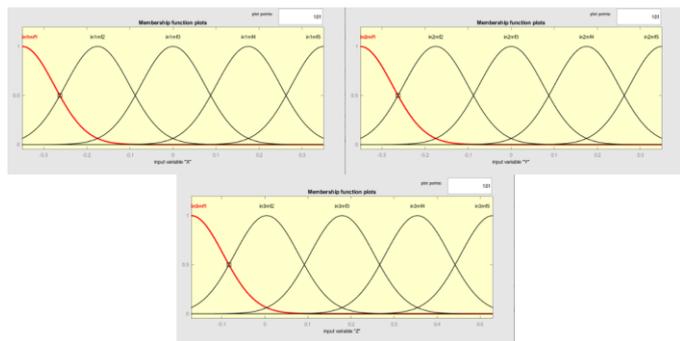
Secara umum, sistem menggunakan Raspberry Pi sebagai pusat kendali serta sebagai pemroses perhitungan dan training data ANFIS. Input yang berupa sensor serta masukan posisi kartesian [12][13] akan diolah oleh Raspberry Pi, kemudian sinyal akan dikirimkan pada *stepper motor driver* untuk menggerakkan *stepping motor*. Gambar 2 merupakan gambaran dari sistem kontrol tersebut.



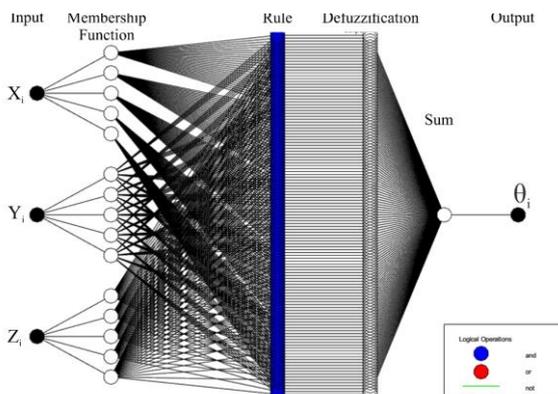
Gambar 2. Skema Perancangan Sistem Kontrol

C. Perancangan Struktur ANFIS

Perancangan struktur ANFIS diperlukan untuk menentukan komponen-komponen pada masing-masing layer ANFIS. Besarnya jumlah membership function dapat mempengaruhi tingkat akurasi hasil proses.



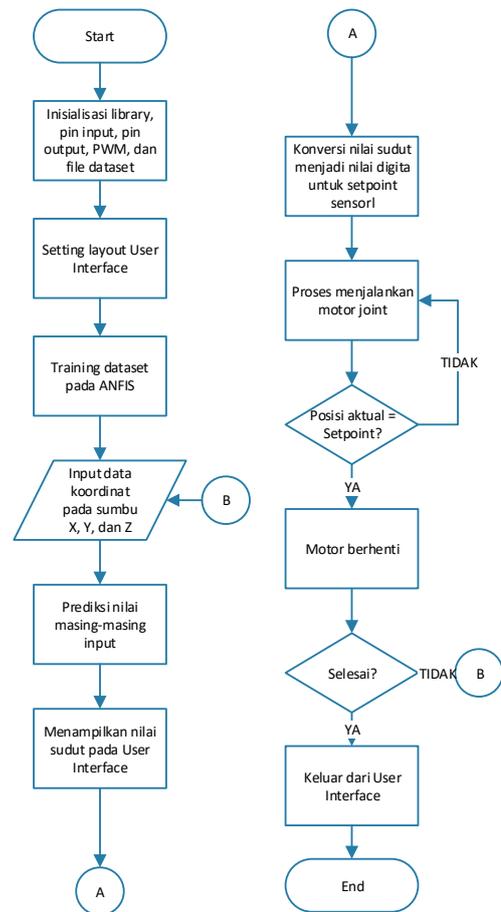
Gambar 3. Membership Function pada ANFIS untuk input X, Y, dan Z



Gambar 4. Rancangan Struktur ANFIS

D. Flowchart

Flowchart perancangan sistem sangat diperlukan agar memudahkan dalam proses pembuatan program serta memudahkan pemahaman mengenai sistem.

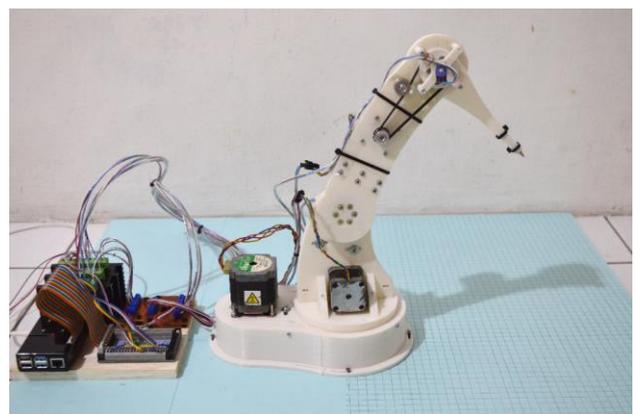


Gambar 5. Flowchart Sistem

IV. HASIL DAN ANALISA

A. Hasil Perancangan Mekanik Robot 3-DOF

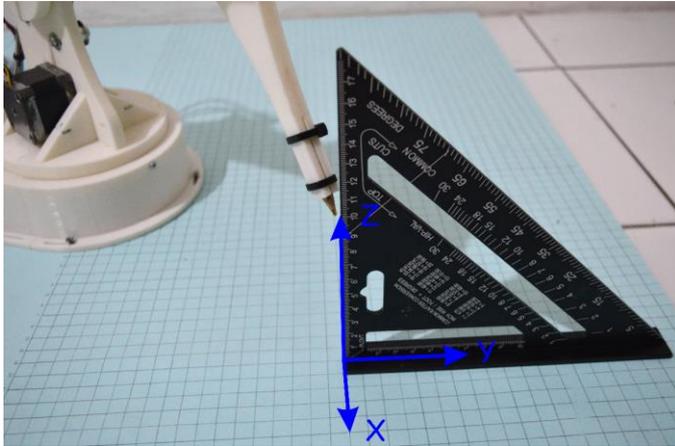
Flowchart perancangan sistem sangat diperlukan agar memudahkan dalam proses pembuatan program serta memudahkan pemahaman mengenai sistem.



Gambar 6. Prototype Robot 3-DOF

B. Hasil Perancangan Mekanik Robot 3-DOF

Pengujian dilakukan dengan cara membandingkan nilai input dan output posisi end-effector pada koordinat kartesian. Pengujian ini membandingkan tingkat ketelitian antara metode inverse kinematics dengan metode ANFIS.



Gambar 7. Pengukuran Posisi End-effector

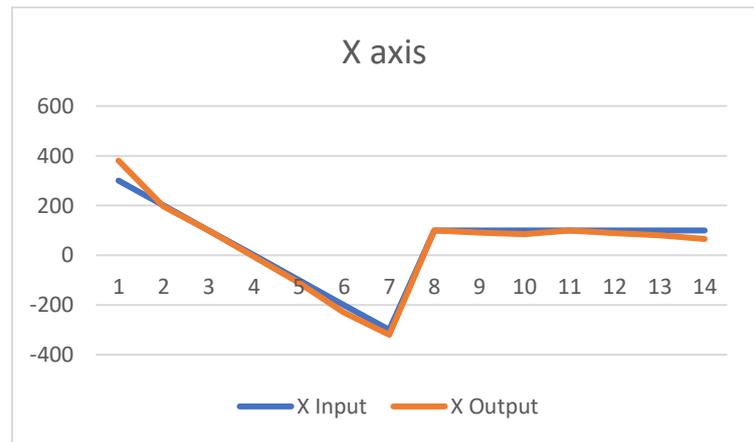
Adapun teknik pengujian dilakukan dengan cara mengukur jarak posisi end-effector pada sumbu X, Y, dan Z menggunakan alat ukur yang ditunjukkan pada Gambar 7.

C. Pengujian Metode Inverse Kinematics

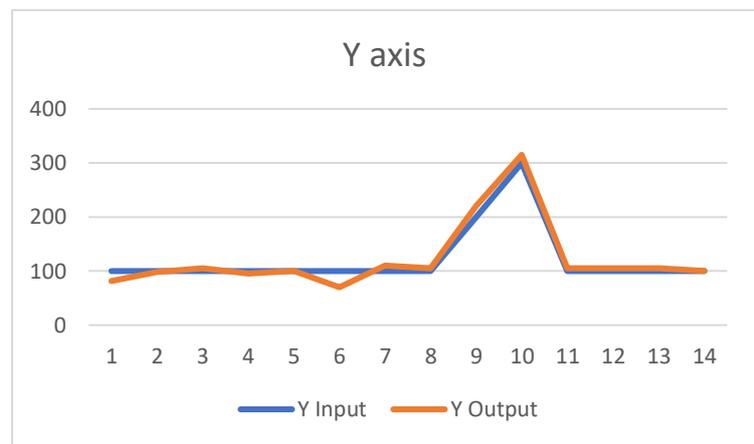
Data hasil pengujian dengan metode inverse kinematics disajikan dalam Tabel 1.

Tabel 1. Hasil Pengujian Metode Inverse Kinematics pada Robot 3-DOF

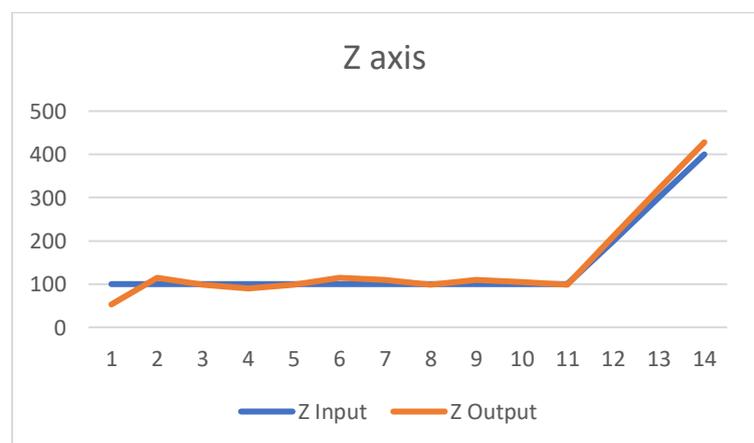
Input (mm)			Output (mm)		
X	Y	Z	X	Y	Z
300	100	100	380	82	53
200	100	100	195	98	115
100	100	100	99	105	98
0	100	100	-5	95	90
-100	100	100	-110	100	98
-200	100	100	-230	70	115
-300	100	100	-320	110	110
100	100	100	99	105	98
100	200	100	90	220	110
100	300	100	85	315	105
100	100	100	99	105	98
100	100	200	88	105	210
100	100	300	80	105	320
100	100	400	65	100	428



Gambar 8. Grafik Perbandingan *Input* dan *Output* pada Sumbu X dengan Metode *Inverse Kinematics*



Gambar 9. Grafik Perbandingan *Input* dan *Output* pada Sumbu Y dengan Metode *Inverse Kinematics*

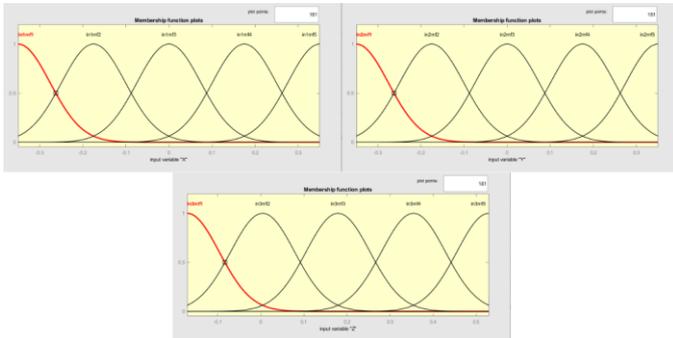


Gambar 10. Grafik Perbandingan *Input* dan *Output* pada Sumbu Z dengan Metode *Inverse Kinematics*

Nilai RMSE pada pengujian menggunakan metode *inverse kinematics* adalah 25.36137736.

D. Pengujian Metode ANFIS

Pengujian metode ANFIS dilakukan dengan cara melatih dataset yang telah dibuat dan diterapkan pada program. Adapun membership function pada fuzzy yang dibuat ditunjukkan pada Gambar 11:

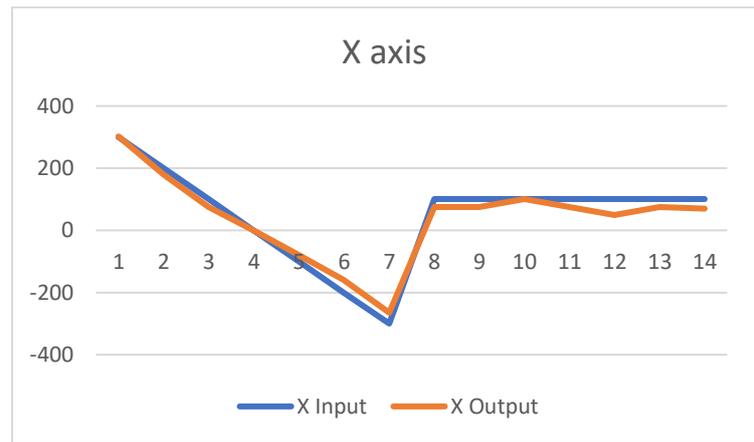


Gambar 11. *Membership Function Fuzzy* pada ANFIS

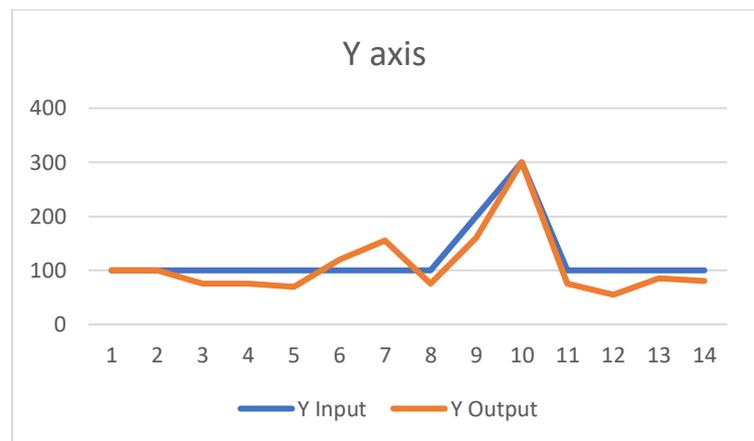
Berdasarkan hasil yang diperoleh dari proses *training* dengan *dataset* berdasarkan *forward kinematics*, maka didapatkan hasil pengujian dengan data sebagai berikut:

Tabel 2. Hasil Pengujian ANFIS pada Robot 3-DOF

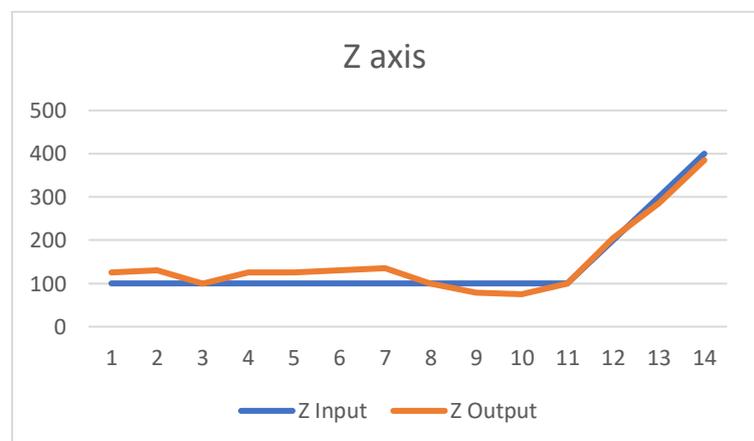
Input (mm)			Output (mm)		
X	Y	Z	X	Y	Z
300	100	100	302	100	125
200	100	100	180	100	130
100	100	100	75	75	100
0	100	100	0	75	125
-100	100	100	-80	70	125
-200	100	100	-160	120	130
-300	100	100	-265	155	135
100	100	100	75	75	100
100	200	100	75	160	78
100	300	100	100	300	75
100	100	100	75	75	100
100	100	200	50	55	205
100	100	300	75	85	285
100	100	400	70	80	385



Gambar 12. Grafik Perbandingan *Input dan Output* pada Sumbu X dengan Metode ANFIS



Gambar 13. Grafik Perbandingan *Input dan Output* pada Sumbu Y dengan Metode ANFIS



Gambar 14. Grafik Perbandingan *Input dan Output* pada Sumbu Z dengan Metode ANFIS

Nilai RMSE pada pengujian menggunakan metode ANFIS adalah 42.18690271.

E. Analisa

Pengujian dengan metode inverse kinematics dan metode ANFIS dilakukan dengan cara membandingkan input posisi end-effector dengan output posisi end-effector. Nilai input berdasarkan uji perilaku robot terhadap perubahan nilai pada masing-masing sumbu. Terdapat error yang dihasilkan dari pengujian tersebut, baik dengan metode inverse kinematics maupun metode ANFIS. Beberapa faktor yang mempengaruhi error tersebut, yaitu:

1. Konstruksi robot

Konstruksi dapat berpengaruh terhadap nilai error yang dihasilkan. Semakin rigid konstruksi robot maka semakin kuat pula robot bertahan terhadap momen yang diterima akibat beban (actuator dan body robot) itu sendiri.

2. Kemampuan sensor

Kemampuan sensor pun mempengaruhi tingkat kepresisian posisi end-effector. Pada penelitian ini, sensor yang digunakan adalah potensiometer dengan Analog to Digital Converter (ADC) sebagai pengubah sinyal analog menjadi sinyal digital. ADC yang digunakan adalah MCP 3008 10 bit.

3. Noise

Error yang besar pun sangat dipengaruhi oleh noise yang dihasilkan dari sensor. Raspberry akan membaca nilai target dari sensor yang harus dicapai setiap pergerakannya, namun bila terdapat noise yang didapat dari sinyal yang diberikan maka posisi end-effector pun akan berubah tergantung dari besarnya noise.

4. Jumlah dataset pada ANFIS

Jumlah dataset pada ANFIS pun akan mempengaruhi nilai error yang dihasilkan. Semakin banyak jumlah dataset yang diberikan untuk proses pelatihan data, maka semakin kecil pula nilai error yang dihasilkan.

5. Jenis actuator

Aktuator yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan stepping motor. Tingkat akurasi tiap motor ini adalah $1.8^\circ/\text{step}$ dan dihubungkan pada belt dan pulley dengan perbandingan 1:3 sehingga tingkat akurasinya pun semakin besar yaitu $0.8^\circ/\text{step}$. Namun, hal ini pun akan tidak berpengaruh apabila terdapat noise pada sinyal yang dihasilkan motor driver maupun dari motor itu sendiri.

V. KESIMPULAN

Perancangan, pembuatan, dan pengujian sistem pada prototype lengan robot menggunakan metode inverse kinematics dan metode ANFIS telah dilakukan. Dengan menganalisa hasil pengujian dengan metode tersebut, maka dapat ditarik kesimpulan dengan penjelasan sebagai berikut:

1. Metode inverse kinematics dilakukan dengan cara menurunkan fungsi dari forward kinematics sehingga didapatkan nilai tiap sudut joint.

2. Metode ANFIS dilakukan dengan cara membuat fungsi forward kinematics, dataset, dan neural network. Dataset dibuat berdasarkan rangkaian data yang diolah menggunakan

fungsi dari metode forward kinematics. Kemudian membuat membership function fuzzy sebagai pengolah data input sebelum diterima oleh node neural network. Jumlah node yang dihasilkan pada neural network bergantung pada rule dan jumlah membership function-nya.

3. Tingkat error yang dihasilkan pada tiap metode yaitu 25.36137736 untuk metode inverse kinematics serta 42.18690271 untuk metode ANFIS.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih terhadap pihak-pihak yang membantu terselesainya penelitian ini serta ucapan terima kasih terhadap tim editorial Jurnal Teknologi Elektro atas dipublikasikannya penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] T. Bräunl, "Embedded Robotics: Mobile Robot Design and Application with Embedded Systems," *Springer*, 2006
- [2] J. J. Craig, "Introduction to Robotics Mechanics and Control," *Pearson Education International*, 2005.
- [3] T. Dewi, C. Angraini, P. Risma, Y. Oktarina, and M. Muslikhin, "Motion Control Analysis Of Two Collaborative Arm Robots In Fruit Packaging System," *SINERGI*, vol. 25, no. 2, p. 217, Feb. 2021, doi: 10.22441/sinergi.2021.2.013.
- [4] L. Qingsheng and J. Andika, "Analysis Of Kinematic For Legs Of A Hexapod Using Denavit-Hartenberg Convention," *SINERGI*, vol. 22, no. 2, p. 69, Jun. 2018, doi: 10.22441/sinergi.2018.2.001.
- [5] J. Andika and K. S. Salamah, "Analisis Kinematik Pada Robot Hexapod," *Jurnal Teknologi Elektro*, vol. 9, no. 2, May 2018, doi: 10.22441/jte.v9i2.4072
- [6] Z. Iklima, M. I. Muthahhar, A. Khan, and A. Zody, "Self-Learning Of Delta Robot Using Inverse Kinematics and Artificial Neural Networks," *SINERGI*, vol. 25, no. 3, pp. 237–244, Jul. 2021, doi: 10.22441/sinergi.2021.3.001.
- [7] M. Crenganis, R. Breaz, G. Racz and O. Bologa, "Adaptive neuro-fuzzy inference system for kinematics solutions of redundant robots," *2016 6th International Conference on Computers Communications and Control (ICCCC)*, 2016, pp. 271-276, doi: 10.1109/ICCCC.2016.7496773..
- [8] J. Demby's, Y. Gao and G. N. DeSouza, "A Study on Solving the Inverse Kinematics of Serial Robots using Artificial Neural Network and Fuzzy Neural Network," *2019 IEEE International Conference on Fuzzy Systems (FUZZ-IEEE)*, 2019, pp. 1-6, doi: 10.1109/FUZZ-IEEE.2019.8858872..
- [9] M. Gaafar, A. Maged, M. Magdy, N. A. Mansour and A. El-Betar, "Design and Analysis of Experiments in ANFIS Modeling of a 3-DOF Planner Manipulator," *2018 International Japan-Africa Conference on Electronics, Communications and Computations (JAC-ECC)*, 2018, pp. 169-172, doi: 10.1109/JEC-ECC.2018.8679552..
- [10] J. . -S. R. Jang, "ANFIS: adaptive-network-based fuzzy inference system," in *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, vol. 23, no. 3, pp. 665-685, May-June 1993, doi: 10.1109/21.256541..
- [11] I. Q. Kalimullah, A. Desikan and V. Kalaichelvi, "Analysis of a proposed algorithm for point to point control of a 3 DOF robot manipulator," *2017 3rd International Conference on Control, Automation and Robotics (ICCAR)*, 2017, pp. 289-292, doi: 10.1109/ICCAR.2017.7942705..
- [12] S. H. Prabantara and A. Harjoko, "Analisis Kinematika Balik pada Kendali Robot Lengan Dental Light Berbasis Pengolahan Citra Digital Berdasarkan Isyarat Tangan," *IJEIS (Indonesian Journal of Electronics and Instrumentation Systems)*, vol. 3, no. 2, pp. 207–218, 2013, doi: 10.22146/ijeis.3895.
- [13] P. Srisuk, A. Sento and Y. Kitjaidure, "Forward kinematic-like neural network for solving the 3D reaching inverse kinematics problems," *2017 14th International Conference on Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology (ECTI-CON)*, 2017, pp. 214-217, doi: 10.1109/ECTICon.2017.8096211.