

Implementasi Adaptive Neuro Fuzzy Inference System (ANFIS) untuk Estimasi Kecepatan Motor Induksi

Dicky Rivaldo Ramdani⁽¹⁾, Novie Ayub Windarko⁽²⁾, Era Purwanto⁽³⁾

¹Mahasiswa Program Studi Teknik Elektro, Politeknik Elektronika Negeri Surabaya

^{2,3}Dosen Prodi Teknik Elektro, Politeknik Elektronika Negeri Surabaya
Jl. Raya ITS Kampus PENS Surabaya, Indonesia

Email: ¹ramdanidicky78@gmail.com, ²ayub@pens.ac.id, ³era@pens.ac.id

Tersedia Online di

<http://www.jurnal.unublitar.ac.id/index.php/briliant>

Sejarah Artikel

Diterima 21 Mei 2025
Direvisi 30 Mei 2025
Disetujui 06 Oktober 2025
Dipublikasikan 19 November 2025

Keywords:

Induction motor, anfis, Speed Estimation

Abstract: Three-phase induction motors are a major component in industrial machinery due to their simple construction, robustness, relatively low cost, easy maintenance, and high reliability. However, these motors have disadvantages in speed regulation due to their non-linear characteristics, which cause difficulties in maintaining a constant speed when the load changes. This research aims to maintain the speed of induction motors to remain constant by using the Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System (ANFIS) method. This ANFIS method goes through the stages of data collection, data processing, ANFIS system design, ANFIS training, validation testing, and finally analyzing the results. The input of the induction motor speed estimation system is through a mathematical equation model in d-q coordinates. The output of this system is speed. In this study, training and testing variations. The smallest RMSE result obtained is with the Trapezium membership function architecture with the number of epochs 100 of 0.0187542.

Kata Kunci:

Motor induksi, anfis, estimasi kecepatan

Corresponding Author:

Name:
Dicky Rivaldo Ramdani
Email:
ramdanidicky78@gmail.com

Abstrak: Motor induksi tiga fase merupakan komponen utama dalam mesin industri karena konstruksinya yang sederhana, tahan banting, biaya yang relatif rendah, perawatan yang mudah, dan keandalan yang tinggi. Namun, motor ini memiliki kelemahan dalam pengaturan kecepatan karena karakteristiknya yang tidak linier, yang menyebabkan kesulitan dalam mempertahankan kecepatan yang konstan ketika beban berubah. Penelitian ini bertujuan untuk mempertahankan kecepatan motor induksi agar tetap konstan dengan menggunakan metode Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System (ANFIS). Metode ANFIS ini melalui tahapan pengumpulan data,

pengolahan data, perancangan sistem ANFIS, pelatihan ANFIS, pengujian validasi, dan terakhir adalah menganalisa hasil. Masukan dari sistem estimasi kecepatan motor induksi melalui model persamaan matematis dalam koordinat d-q. Output dari sistem ini adalah kecepatan. Pada penelitian ini, variasi pelatihan dan pengujian. Hasil RMSE terkecil yang didapatkan adalah dengan arsitektur fungsi keanggotaan Trapezium dengan jumlah epoch 100 sebesar 0.0187542.

PENDAHULUAN

Motor induksi merupakan salah satu jenis motor listrik yang paling banyak digunakan dalam industri karena keandalannya, biaya rendah, dan kemampuan kerja yang baik (Bhowate et al., 2019). Namun, salah satu tantangan utama dalam pengoperasian motor induksi adalah estimasi kecepatan yang akurat (Ravikumar & Kavitha, 2021). Kecepatan motor induksi sering kali sulit diukur secara langsung, terutama dalam lingkungan industri yang keras dan bervariasi (Menaem et al., 2021). Oleh karena itu, diperlukan metode yang dapat mengestimasi kecepatan

motor induksi dengan presisi tinggi untuk meningkatkan kinerja dan efisiensi sistem pengendalian motor (Kondelaji & Mirsalim, 2020).

Adaptive Neuro Fuzzy Inference System (ANFIS) merupakan kombinasi dari jaringan syaraf tiruan dan logika fuzzy yang memiliki kemampuan adaptasi dan pemrosesan data non-linear yang kuat (Joshi & Pinto Pius, 2020). ANFIS mampu menangani ketidakpastian dan kompleksitas yang sering muncul dalam sistem pengendalian motor induksi (Purwanto et al., 2021). Dengan menggunakan pendekatan ANFIS, diharapkan estimasi kecepatan motor induksi dapat dilakukan dengan lebih akurat dibandingkan dengan metode konvensional (Rusli, 2019).

Penelitian ini bertujuan untuk mengimplementasikan ANFIS dalam estimasi kecepatan motor induksi. Dalam penelitian ini, akan dikaji bagaimana kinerja ANFIS dalam mengestimasi kecepatan motor induksi dengan membandingkan hasilnya dengan metode estimasi konvensional (Widjonarko et al., 2021). Selain itu, penelitian ini juga akan menganalisis parameter-parameter yang mempengaruhi kinerja ANFIS dan menentukan konfigurasi terbaik untuk estimasi kecepatan motor induksi (Mugheri & Keerio, 2021).

Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi yang signifikan dalam bidang pengendalian motor induksi, serta membuka peluang bagi penelitian lanjutan dalam penerapan ANFIS untuk berbagai aplikasi industri lainnya. Implementasi ANFIS yang efektif dapat meningkatkan efisiensi operasional, mengurangi biaya pemeliharaan, dan memperpanjang umur motor induksi, sehingga memberikan manfaat ekonomi yang lebih besar bagi industri.

Selain keunggulan ANFIS dalam menangani non-linearitas dan ketidakpastian, beberapa studi sebelumnya menunjukkan bahwa akurasi estimasi kecepatan motor induksi sangat bergantung pada kualitas data input dan konfigurasi parameter ANFIS, seperti jumlah membership function dan learning rate (Kumar et al., 2020; Lee & Kim, 2021). Meskipun beberapa metode adaptif telah diusulkan untuk estimasi kecepatan, sebagian besar masih menghadapi keterbatasan dalam kondisi beban variabel dan gangguan pada sistem, sehingga menghasilkan kesalahan estimasi yang signifikan (Patel & Sharma, 2020). Oleh karena itu, penelitian ini berfokus pada pengembangan model ANFIS yang dioptimalkan untuk berbagai kondisi operasi motor induksi, termasuk variasi beban dan fluktuasi tegangan. Dengan demikian, studi ini tidak hanya menilai kinerja ANFIS secara umum, tetapi juga mengeksplorasi kemampuan model untuk beradaptasi dengan dinamika sistem nyata, yang merupakan aspek kritis untuk penerapan industri. Penekanan pada optimasi parameter ANFIS dan validasi dengan data eksperimen diharapkan dapat memberikan solusi praktis bagi industri dalam meningkatkan presisi pengendalian motor induksi.

METODE

Model Motor induksi

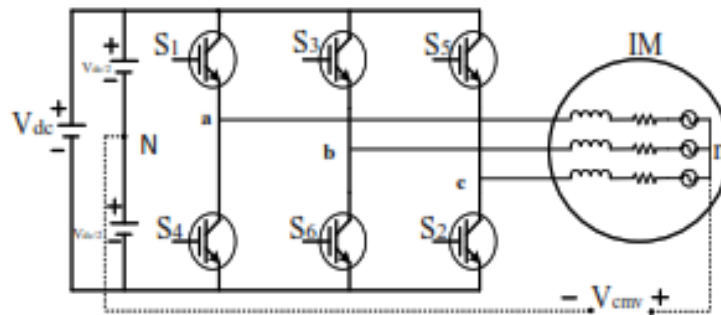
Dalam pengendalian elektronika daya, sistem penggerak seperti motor induksi memerlukan model matematika yang tepat untuk pengaturan kecepatannya. Model matematika ini sangat penting dalam merancang berbagai jenis pengontrol untuk mengendalikan proses industri (Md Mahmud et al., 2020). Model matematika motor induksi dapat diperoleh melalui berbagai metode seperti prinsip pertama dan metode identifikasi system (Rajesh et al., 2021). Model ini bisa berupa persamaan diferensial linier atau non-linier, fungsi transfer (dalam domain s atau z), atau dalam bentuk ruang keadaan.

Sebagai contoh, model matematika motor induksi tiga fase mencakup persamaan dasar yang menggambarkan hubungan antara tegangan, arus, dan fluks di setiap fase stator dan rotor. Model ini sering diubah menggunakan transformasi Clarke atau Park untuk memudahkan analisis dalam sistem referensi dua fase yang lebih sederhana (O'Rourke et al., 2019). Transformasi ini membantu dalam memahami perilaku dinamis motor induksi dan meningkatkan akurasi serta efisiensi pengontrolannya. Dalam pekerjaan kami terdiri dari inverter sumber tegangan PWM vektor ruang, motor induksi, fluks langsung dan kontrol torsi.

Kelemahan dari efek kopling dalam kontrol SCIM (Squirrel Cage Induction Motor) adalah memberikan respons yang buruk dan sistem mudah rentan terhadap ketidakstabilan karena

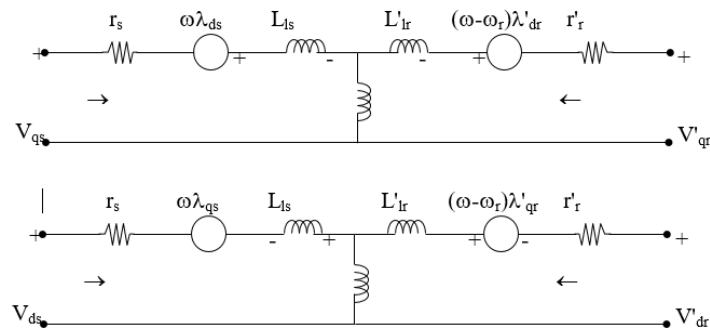
efek sistem orde tinggi (Kumar & Shankar Hati, 2021). Masalah ini dapat diselesaikan dengan memanfaatkan kontrol vektor atau kontrol berorientasi lapangan. Kontrol vektor atau kontrol berorientasi lapangan Field-Oriented Control (FOC) memungkinkan motor induksi untuk dikendalikan seperti motor DC yang dieksitasi secara terpisah, sehingga meningkatkan stabilitas dan respons sistem (Hadla & Santos, 2022).

Dengan menggunakan FOC, arus dan fluks pada motor induksi dapat dipisahkan dan dikendalikan secara independen, mirip dengan cara kerja motor DC. Hal ini menghasilkan pengendalian torsi dan kecepatan yang lebih presisi, yang sangat penting dalam aplikasi industri yang memerlukan respons dinamis yang cepat dan akurat (Hui et al., 2019; Wang et al., 2022). Tentu saja, kontrol penggerak AC dapat menunjukkan kinerja yang lebih baik. Rangkaian daya motor induksi 3 fasa ditunjukkan pada Gambar 1 berikut.



Gambar 1. Diagram koneksi sirkuit daya untuk Motor Induksi
(Sumber: (Bhowate et al., 2019))

Ada beberapa cara memodelkan motor induksi dalam beberapa kerangka acuan yang meliputi stationary, rotationary, dan synchronous. Model motor induksi dapat dihasilkan dari rangkaian ekuivalen motor induksi yang ditunjukkan pada gambar 2.



Gambar 2. Rangkaian ekuivalen sumbu dq dalam kerangka acuan sinkron
(Sumber: (Bhowate et al., 2019))

Model dinamis dari suatu motor induksi dalam kerangka acuan stasioner (*stationary reference frame*) (Rahmatullah et al., 2023), dapat dinyatakan sebagai persamaan (1), (2), (3), dan (4):

Voltages Equations:

$$[V_{sabc}] = [R_s][i_{sabc}] + \frac{d}{dt}[\varphi_{sabc}] \quad (1)$$

$$[V_{rabc}] = [R_r][i_{rabc}] + \frac{d}{dt}[\varphi_{rabc}] \quad (2)$$

Flux Equations:

$$[\varphi_{sabc}] = [L_{os}][i_{sabc}] + [M_{osr}][i_{rabc}] \quad (3)$$

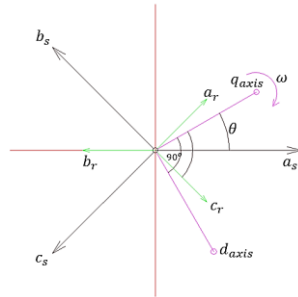
$$[\varphi_{rabc}] = [L_{or}][i_{rabc}] + [M_{osr}][i_{sabc}] \quad (4)$$

Penjelasan dari perumusan diatas dapat dijabarkan dalam bentuk matrix yang ditunjukkan pada persamaan (5), (6), dan (7):

$$[V_{sabc}] = \begin{bmatrix} V_{sa} \\ V_{sb} \\ V_{sc} \end{bmatrix}; [i_{sabc}] = \begin{bmatrix} i_{sa} \\ i_{sb} \\ i_{sc} \end{bmatrix}; [\varphi_{sabc}] = \begin{bmatrix} \varphi_{sa} \\ \varphi_{sb} \\ \varphi_{sc} \end{bmatrix} \quad (5)$$

$$[V_{rabc}] = \begin{bmatrix} V_{ra} \\ V_{rb} \\ V_{rc} \end{bmatrix}; [i_{rabc}] = \begin{bmatrix} i_{ra} \\ i_{rb} \\ i_{rc} \end{bmatrix}; [\varphi_{rabc}] = \begin{bmatrix} \varphi_{ra} \\ \varphi_{rb} \\ \varphi_{rc} \end{bmatrix} \quad (6)$$

$$[M_{osr}] = \begin{bmatrix} \cos(p\theta) & \cos\left(p\theta + \frac{2\pi}{3}\right) & \cos\left(p\theta + \frac{4\pi}{3}\right) \\ \cos\left(p\theta + \frac{4\pi}{3}\right) & \cos(p\theta) & \cos\left(p\theta + \frac{2\pi}{3}\right) \\ \cos\left(p\theta + \frac{2\pi}{3}\right) & \cos\left(p\theta + \frac{4\pi}{3}\right) & \cos(p\theta) \end{bmatrix} \quad (7)$$

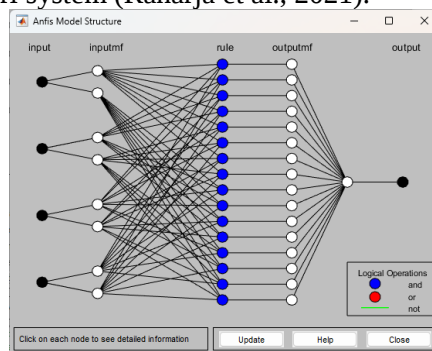


Gambar 3. Relasi Transformasi ABC dan dq0 pada Stationary Reference Frame
(Sumber: (Putra et al., 2022))

Secara ideal motor induksi 3 fasa diasumsikan dalam kondisi simetris. Kerangka referensi dq0 biasanya diletakkan bergantung pada posisi kecocokan terhadap komponen-komponen analisis motor yang digunakan (Abdelrahim Ate et al., 2022). Pada penelitian ini Model dinamis dari suatu motor induksi menggunakan kerangka acuan stasioner (*stationary reference frame*) sebagai referensi dq0. Untuk mentransformasikan kondisi abc menjadi dq0, pertama yang harus dilakukan adalah menentukan arah putar rotor pada kondisi stasioner (tak berubah). Pada kondisi ini $\omega = 0$, relasi antara besaran abc dan besaran dq0 pada referensi stasioner saat kecepatan sebesar ω dapat dilihat pada gambar 3 Pada notasi abc_r , menunjukan besaran fasa abc pada rotor, pada notasi abc_s , menunjukan besaran fasa abc pada stator, dan dq axis menunjukan besaran transformasi dq0.

Model ANFIS

Fuzzy logic rule yang dikombinasikan dengan kemampuan training dari sistem ANN sering dikenal dengan ANFIS (Rusli, 2019). ANFIS dimulai dengan kerangka kerja yang terstruktur, fleksibilitas training digunakan untuk menghasilkan MF dari masukan dan luaran melalui pengujian dari data yang ada (Lee et al., 2019). Data yang akan digunakan untuk training dapat disusun sejak awal dengan membuang data yang sekiranya tidak begitu penting, sehingga proses terbilang efektif (Vidhya & Shanmugalakshmi, 2020). Data training harus ditentukan terlebih dahulu masukan dan luaran dari sistem target (Hossain et al., 2020). Proses training mengambil respon terbaik dari system (Raharja et al., 2021).



Gambar 4. Arsitektur ANFIS Model Sugeno

Adaptive Neuro Fuzzy digunakan untuk mengatur batas nilai referensi kecepatan dengan kecepatan aktual (Isqeel Abdullateef et al., 2020). adaptive Neuro Fuzzy yang digunakan untuk melatih data kecepatan pada motor induksi karena hanya diperlukan nilai tegangan dan arus dari himpunan pendukung sinyal kontrol dan rule base yang digunakan tetap (Vidhya & Shanmugalakshmi, 2020). Gambar 4 menunjukkan model struktur adaptive Neuro Fuzzy dengan 4 buah inputan dengan masing-masing inputan MF sebesar 2 dengan type trapezium sedangkan output di atur constant (Babanezhad et al., 2021).

Dimisalkan ada 2 input x_1 , x_2 dan satu output y . Ada 2 aturan pada basis aturan model Sugeno seperti pada rumus (7) dan (8):

$$\text{if } x_1 \text{ is } A_1 \text{ and } x_2 \text{ is } B_1 \text{ Then } y_1 = c_{11}x_1 + c_{12}x_2 + c_{10} \quad (7)$$

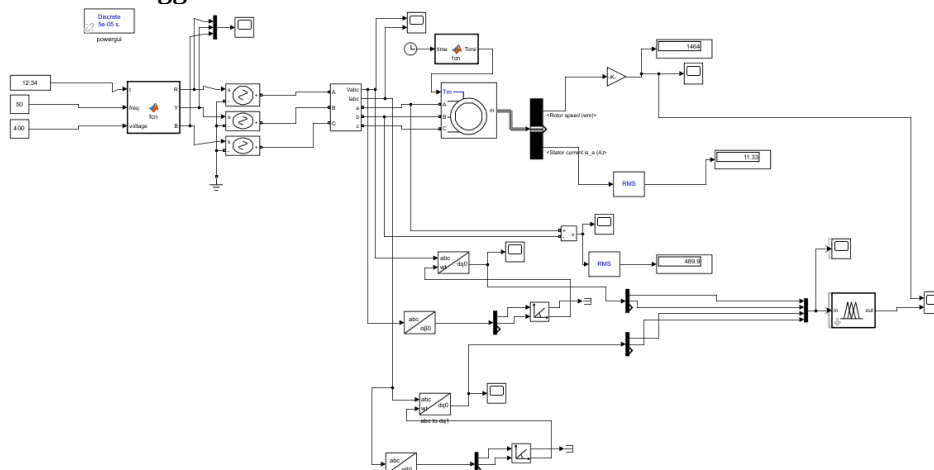
$$\text{if } x_1 \text{ is } A_2 \text{ and } x_2 \text{ is } B_2 \text{ Then } y_2 = c_{21}x_1 + c_{22}x_2 + c_{20} \quad (8)$$

Pada tahap prosesi ANFIS inilah dapat digunakan dan siap dijalankan untuk mentraining data yang sudah disiapkan sebelumnya. Hingga hasil source code sebagai berikut:

Number of nodes: 55
 Number of linear parameters: 16
 Number of nonlinear parameters: 32
 Total number of parameters: 48
 Number of training data pairs: 200001
 Number of checking data pairs: 0
 Number of fuzzy rules: 16

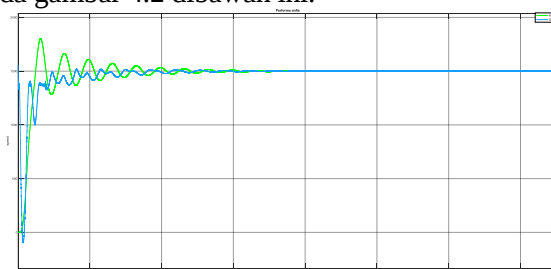
HASIL DAN PEMBAHASAN

Model simulasi menggunakan simulink



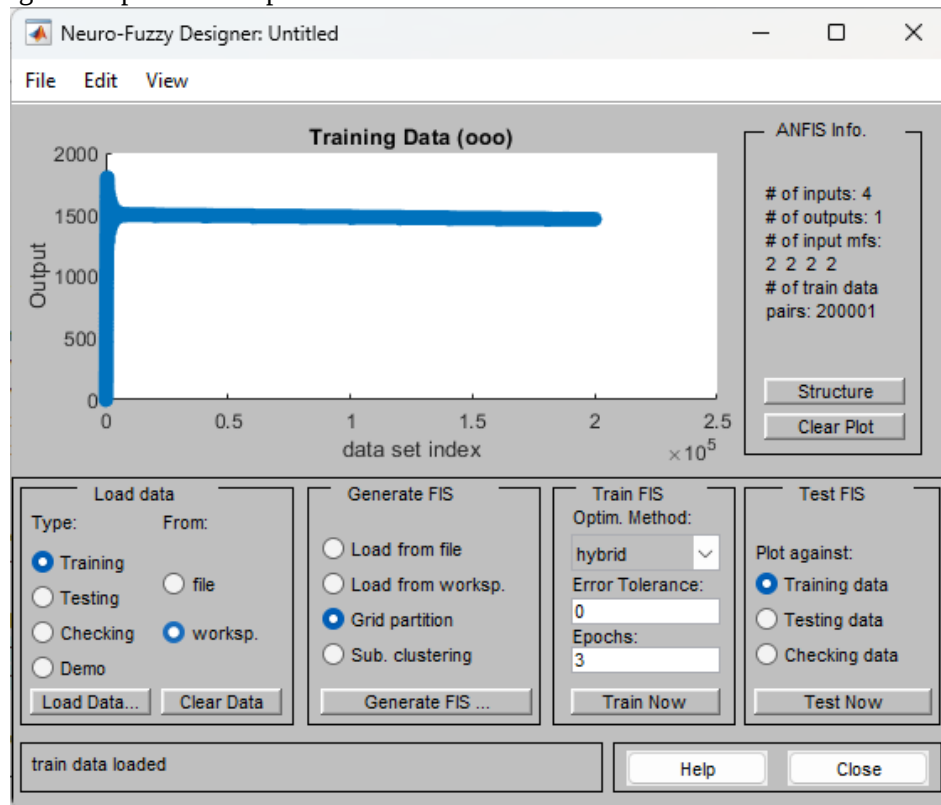
Gambar 5. Simulasi yang di terapkan

Hasil simulasi pada estimasi kecepatan putaran motor induksi tiga fasa ini di lakukan dengan menggunakan Simulink pada Matlab. Rangkaian simulasi ini ditunjukkan pada gambar 5 Motor induksi yang digunakan adalah motor induksi 3 fasa dengan daya 10 HP. Pengujian dilakukan dengan Anfis disini sebagai parameter untuk estimasi kecepatan pada motor 3 fasa. Hasil simulasi dapat dilihat pada gambar 4.2 dibawah ini.



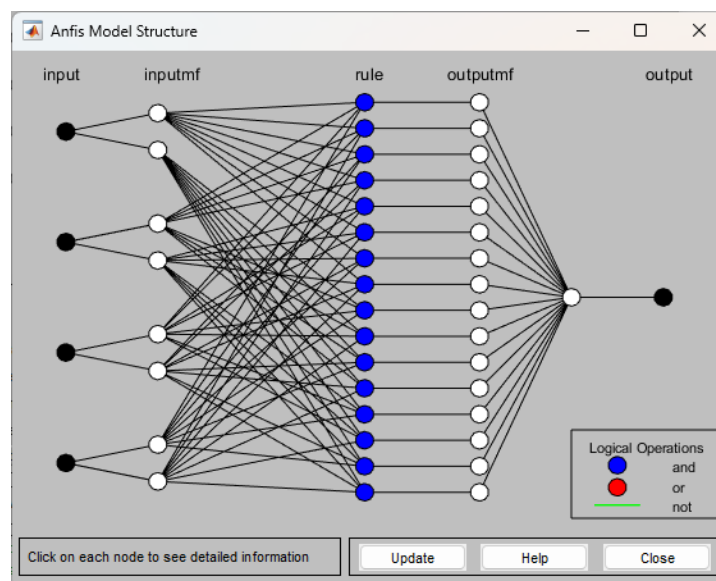
Gambar 6. Hasil Grafik kecepatan

Hasil dari grafik Pada waktu $t = 0$ s, dengan beban bervariasi 0-100%. Kecepatan pada rotor mengikuti dengan hasil anfis yang di buat. untuk tegangan AC 3 fasa ini stabil 400 volt. terjadi osilasi Ketika motor awal dihidup kan di detik 0 s sampai 10 s . arus mulai stabil di detik 0.3 s dengan kecepatan 1500 rpm.



Gambar 7. input data pembelajaran motor

Pada gambar 7 generate anfis selanjutnya menentukan parameter-parameter fungsi keanggotaan dalam anfis. Untuk melakukannya, pada generate anfis kita pilih GridPartition. Kemudian ditentukan banyaknya inputan MF sebesar 2 dan 2 dengan type variasi sedangkan output di atur constant. Untuk melihat struktur model anfis yang di buat bisa dilihat pada gambar 8 dibawah ini.



Gambar 8. Hasil yang disimulasikan

Pada gambar 8 menunjukkan neuron ANFIS yang terdiri dari 4 masukan dan satu keluaran dan 16 rules. Data yang telah diproses tersebut disimpan dalam bentuk fis dengan nama file Aplikasi.fis. Untuk menyimpan hasil olahan data tersebut pilih File-Export-ToFile agar lebih permanen. Untuk menampilkan FIS data ketikkan:>fuzzy nama_file.fis pada command yang ada di matlab.

Pada gambar 8 diatas tampak bahwa anfis terdiri dari 4 input, dengan masing-masing terdiri dari 2 membership function. Terdapat rule sebanyak 16 buah, dengan operator and. Anfis terdiri dari satu output dengan output MF yang terbentuk sebanyak 16 buah. Garis-garis yang menghubungkan antar node menunjukkan sebuah rule yang sesuai. Untuk pelatihan fis, anfis memilih Hybrid (gabungan backpropagation dan least square) untuk optimasi. Untuk menghentikan proses training, anfis menggunakan nilai error tolerance, sehingga jika setelah training data error memasuki daerah tolerance ini maka training akan berhenti. Dipilih error tolerance sebesar 0 (default). Kemudian banyaknya epoch (iterasi) proses di tentukan sebanyak 100. Hasil simulasi pada anfis dapat dilihat kinerja , respon kecepatan motor untuk daya motor 10 hp, Jumlah fungsi keanggotaan yang akan digunakan adalah (2 2 2 2). Adapun Tipe keanggotaan yang akan diujicoba dalam penelitian ini adalah tipe keanggotaan segitiga (trimf), trapesium (trapmf), lonceng (gbellmf) Gaussian (gaussmf), Gauss2mf, Sigmf, Dsigmf, Psigmf, dan Primf. Tipe tersebut bertujuan untuk melihat tingkat akurasi berdasarkan hasil error.

Tabel 1. Nilai Hasil Training RMSE

No	MF Type	RMSE
1	Trimf	0.0213376
2	Trapmf	0.0187542
3	Gbellmf	0.0193
4	Gaussmf	0.019364
5	Gauss2mf	0.0196046
6	Pimf	0.0195377
7	Dsigmf	0.0191243
8	Psigmf	0.0191243

Dari Tabel 1 menunjukkan Hasil training dengan RMSE pada pengujian dengan member function yang bervariasi untuk mengetahui hasil yang terbaik.

Tabel 2. Torsi nilai beban yang berbeda

%	Beban (Nm)	Kecepatan (Rpm)
0	0	1500
10	4,98	1494
20	9,95	1488
30	14,93	1482
40	19,90	1476
50	24,88	1470
60	29,86	1464
70	34,83	1458
80	39,81	1451
90	44,79	1444
100	49,76	1438

Dari tabel 2 menunjukkan respon kecepatan motor induksi sama seperti respon kecepatan pada saat di beri beban 0-100% untuk mengetahui hasil kecepatan setiap di bebani dengan nilai bertingkat naik. Perbedaannya pada besarnya kecepatan yang turun karena perbedaan nilai beban yang diberikan.

SIMPULAN

Tipe Trapmf menunjukkan hasil terbaik dengan menghasilkan RMSE sebesar 0.018. Performa memberfunction mengalami perubahan signifikan sebelum dan setelah pelatihan, yang mengindikasikan bahwa mekanisme adaptif pada ANFIS bekerja dengan efektif. Hal ini menunjukkan bahwa ANFIS dapat beradaptasi dengan baik terhadap data yang diberikan, menghasilkan model yang lebih akurat dan efisien. Adaptasi ini penting untuk memastikan bahwa sistem dapat menyesuaikan diri dengan perubahan kondisi dan data input, sehingga meningkatkan akurasi prediksi dan kontrol yang dihasilkan oleh model ANFIS.

Selain itu, hasil analisis grafik ANFIS dibandingkan dengan grafik aktual menunjukkan bahwa ANFIS mampu mengikuti kecepatan aktual motor induksi dengan sangat baik. Grafik perbandingan antara prediksi ANFIS dan nilai kecepatan aktual menunjukkan kesesuaian yang tinggi, yang mengindikasikan kemampuan kuat ANFIS dalam memodelkan dan mengendalikan kecepatan motor induksi. Ini berarti bahwa ANFIS tidak hanya dapat memprediksi dengan akurat tetapi juga dapat mengendalikan sistem dengan efektif. Kemampuan ini sangat penting dalam aplikasi kontrol, di mana presisi dan reliabilitas sangat diperlukan untuk memastikan performa optimal dari sistem yang dikendalikan.

DAFTAR RUJUKAN

- Abdelrahim Ate, Rihab Gafar, Xiuyun Sun, & Tahleel Abozead. (2022). Three-phase AC Induction Motor Speed Control Based on Variable Speed Driver. *Makara Journal of Technology*, 26(2), 54–58. <https://doi.org/10.7454/mst.v26i2.1523>
- Babanezhad, M., Behroyan, I., Marjani, A., & Shirazian, S. (2021). Artificial intelligence simulation of suspended sediment load with different membership functions of ANFIS. *Neural Computing and Applications*, 33(12), 6819–6833. <https://doi.org/10.1007/s00521-020-05458-6>
- Bhowate, A., Aware, M., & Sharma, S. (2019). Predictive Torque Control with Online Weighting Factor Computation Technique to Improve Performance of Induction Motor Drive in Low Speed Region. *IEEE Access*, 7, 42309–42321. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2908289>
- Hadla, H., & Santos, F. (2022). Performance Comparison of Field-oriented Control, Direct Torque Control, and Model-predictive Control for SynRMs. *Chinese Journal of Electrical Engineering*, 8(1), 24–37. <https://doi.org/10.23919/CJEE.2022.000003>
- Hossain, M. I., Shafiullah, M., & Abido, M. (2020). Induction motor speed control employing lm-nn based adaptive pi controller. *Renewable Energy and Power Quality Journal*, 18, 97–102. <https://doi.org/10.24084/repqj18.239>
- Hui, J., Gao, M., & Wang, Y. (2019). Design and optimisation of transverse flux machine with passive rotor and flux-concentrating structure. *IET Electric Power Applications*, 13(7), 922–931. <https://doi.org/10.1049/iet-epa.2018.5793>
- Isqeel Abdullateef, A., Faiz Sanusi, M., & Fagbolagun, S. (2020). Induction Motor Stator Fault Classification Using PCA-ANFIS Technique. 19(1), 33–40. www.elektrika.utm.my
- Joshi, G., & Pinto Pius, A. J. (2020). ANFIS controller for vector control of three phase induction motor. *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, 19(3), 1177–1185. <https://doi.org/10.11591/ijeecs.v19.i3.pp1177-1185>
- Kondelaji, M. A. J., & Mirsalim, M. (2020). Segmented-Rotor Modular Switched Reluctance Motor with High Torque and Low Torque Ripple. *IEEE Transactions on Transportation Electrification*, 6(1), 62–72. <https://doi.org/10.1109/TTE.2020.2969356>
- Kumar, P., & Shankar Hati, A. (2021). Convolutional neural network with batch normalisation for fault detection in squirrel cage induction motor. *IET Electric Power Applications*, 15(1), 39–50. <https://doi.org/10.1049/elp2.12005>
- Lee, J. H., Pack, J. H., & Lee, I. S. (2019). Fault diagnosis of induction motor using convolutional neural network. *Applied Sciences (Switzerland)*, 9(15). <https://doi.org/10.3390/app9152950>

- Md Mahmud, S.M. A. Motakabber, A.H.M. Zahirul Alam, & Anis Nurashikin Nordin. (2020). *Adaptive PID Controller Using for Speed Control of the BLDC Motor: Vol. IEEE (ICSE)*. 2020 IEEE International Conference on Semiconductor Electronics (ICSE).
- Menaem, A. A., Elgamal, M., Abdel-Aty, A. H., Mahmoud, E. E., Chen, Z., & Hassan, M. A. (2021). A Proposed ANN-Based Acceleration Control Scheme for Soft Starting Induction Motor. *IEEE Access*, 9, 4253–4265. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3046848>
- Mugheri, N. H., & Keerio, M. U. (2021). An Optimal Fuzzy Logic-based PI Controller for the Speed Control of an Induction Motor using the V/F Method. In *Technology & Applied Science Research* (Vol. 11, Issue 4). www.etasr.com
- O'Rourke, C. J., Qasim, M. M., Overlin, M. R., & Kirtley, J. L. (2019). A Geometric Interpretation of Reference Frames and Transformations: Dq0, Clarke, and Park. *IEEE Transactions on Energy Conversion*, 34(4), 168–17. <https://doi.org/10.1109/TEC.2019.2941175>
- Purwanto, E., Ferdiansyah, I., Dwitya Nugraha, S., & Qudsi, O. A. (2021). *The Effect of ANFIS Controller on The Performance of Induction Motor Drives in Low-Speed Operation Based on IFOC*. 11(2).
- Putra, R. R., Setiawan, P., & Sudibya, B. (2022). Analisis Pemodelan Dinamik Motor Sinkron Tiga Fasa Pada Percobaan Tegangan Tidak Seimbang. *AVITEC*, 4(1), 43. <https://doi.org/10.28989/avitec.v4i1.1163>
- Raharja, M. A., Darmawan, I. D. M. B. A., Nilakusumawati, D. P. E., & Supriana, I. W. (2021). Analysis of membership function in implementation of adaptive neuro fuzzy inference system (ANFIS) method for inflation prediction. *Journal of Physics: Conference Series*, 1722(1). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1722/1/012005>
- Rahmatullah, R., Serteller, N. F. O., & Topuz, V. (2023). Modeling and Simulation of Faulty Induction Motor in DQ Reference Frame Using MATLAB/SIMULINK with MATLAB/GUIDE for Educational Purpose. *International Journal of Education and Information Technologies*, 17, 7–20. <https://doi.org/10.46300/9109.2023.17.2>
- Rajesh, P., Shajin, F. H., & Vijaya Anand, N. (2021). An Efficient Estimation Model for Induction Motor Using BMO-RBFNN Technique. *Process Integration and Optimization for Sustainability*, 5(4), 777–792. <https://doi.org/10.1007/s41660-021-00177-4>
- Ravikumar, S., & Kavitha, D. (2021). IOT based autonomous car driver scheme based on ANFIS and black widow optimization. *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing*. <https://doi.org/10.1007/s12652-020-02725-1>
- Rusli, M. R. (2019). PERFORMA PENGENDALI ARUS STATOR DENGAN MENGGUNAKAN ANFIS PADA PENGEMUDIAN MOTOR INDUKSI BERBASIS VECTOR CONTROL. *INOVTEK POLBENG*, 9(1), 169. <https://doi.org/10.35314/ip.v9i1.987>
- Vidhya, K., & Shanmugalakshmi, R. (2020). Modified adaptive neuro-fuzzy inference system (M-ANFIS) based multi-disease analysis of healthcare Big Data. *Journal of Supercomputing*, 76(11), 8657–8678. <https://doi.org/10.1007/s11227-019-03132-w>
- Wang, H., Pei, X., Yin, B., Eastham, J. F., Vagg, C., & Zeng, X. (2022). A Novel Double-Sided Offset Stator Axial-Flux Permanent Magnet Motor for Electric Vehicles. *World Electric Vehicle Journal*, 13(3). <https://doi.org/10.3390/wevj13030052>
- Widjonarko, Setiawan, A., Rudiyanto, B., Utomo, S. B., & Setiyo, M. M. (2021). Characteristic of Fuzzy, ANN, and ANFIS for Brushless DC Motor Controller: An Evaluation by Dynamic Test. *International Journal of Integrated Engineering*, 13(6), 274–284. <https://doi.org/10.30880/ijie.2021.13.06.024>