

Implementasi *Adaptive Neuro Fuzzy Inference System* (ANFIS) Dalam Peralman Evaluasi Konsumsi Listrik untuk Efisiensi Energi di Gedung A FKIP UNTIRTA

Dede Eful Ginanjar ^{1*}, Desmira ², dan Irwanto ³,

¹ Universitas Sultan Ageng Tirtayasa ; email : dedeefulginanjar@gmail.com

² Universitas Sultan Ageng Tirtayasa ; email : desmira@untirta.ac.id

³ Universitas Sultan Ageng Tirtayasa ; email : irwanto.ir@untirta.ac.id

***Penulis Korespondensi : Dede Eful Ginanjar**

Abstract: This research is motivated by the use of electrical energy that is not fully in accordance with the Energy Consumption Intensity (IKE) standard, where there are still rooms with excessive or suboptimal energy use. The study aims to evaluate and predict electrical energy consumption in Building A of the Faculty of Teacher Training and Education, Sultan Ageng Tirtayasa University in order to improve energy efficiency. The method used is quantitative research with a comparative approach, namely comparing manual calculations based on the IKE standard with the Adaptive Neuro Fuzzy Inference System (ANFIS) method. Data were obtained through observation and measurement of electrical power, room area, and duration of use which were then analyzed using Matlab with the stages of fuzzification, FIS formation, hybrid learning training, and evaluation using RMSE. The results showed that the ANFIS method produced a better level of accuracy than manual calculations. The lowest error value was obtained in the gbellmf membership function for training at 0.53 and gaussmf for testing at 0.45. These findings indicate that ANFIS is able to model nonlinear relationships effectively and has the potential to be applied as a support system for evaluating electrical energy efficiency.

Keywords: Adaptive; Efficiency; Energy; Fuzzy; Matlab

Abstrak: Penelitian ini dilatarbelakangi oleh penggunaan energi listrik yang belum sepenuhnya sesuai dengan standar Intensitas Konsumsi Energi (IKE), dimana masih terdapat ruangan dengan penggunaan energi yang berlebih maupun kurang optimal. Penelitian bertujuan mengevaluasi serta memprediksi konsumsi energi listrik di Gedung A FKIP Universitas Sultan Ageng Tirtayasa guna meningkatkan efisiensi energi. Metode yang digunakan adalah penelitian kuantitatif dengan pendekatan komparatif, yaitu membandingkan perhitungan manual berdasarkan standar IKE dengan metode Adaptive Neuro Fuzzy Inference System (ANFIS). Data diperoleh melalui observasi dan pengukuran daya listrik, luas ruangan, serta durasi penggunaan yang kemudian dianalisis menggunakan Matlab dengan tahapan fuzzifikasi, pembentukan FIS, pelatihan hybrid learning, dan evaluasi menggunakan RMSE. Hasil penelitian menunjukkan bahwa metode ANFIS menghasilkan tingkat akurasi yang lebih baik dibandingkan perhitungan manual. Nilai error terendah diperoleh pada fungsi keanggotaan gbellmf untuk pelatihan sebesar 0,53 dan gaussmf untuk pengujian sebesar 0,45. Temuan ini menunjukkan bahwa ANFIS mampu memodelkan hubungan nonlinier secara efektif dan berpotensi diterapkan sebagai sistem pendukung evaluasi efisiensi energi listrik.

Kata kunci: Adaptive; Efisiensi; Energi; Fuzzy; Matlab

Received June 26, 2026

Revised June 29, 2026

Accepted July 21, 2026

Available: July 25, 2026

Published: July 30, 2026



Hak cipta: © 2026 oleh penulis.
Diserahkan untuk kemungkinan publikasi akses terbuka berdasarkan syarat dan ketentuan lisensi Creative Commons Attribution (CC BY SA) (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>)

1. Pendahuluan

Penelitian ini dilatarbelakangi oleh pentingnya kenyamanan ruang kelas sebagai sarana utama dalam menunjang proses pembelajaran yang efektif dan optimal. Kenyamanan ruang dipengaruhi oleh beberapa faktor lingkungan, seperti intensitas pencahayaan, suhu udara, dan kelembapan. Ketidakesesuaian nilai parameter tersebut dapat mengurangi kenyamanan pengguna ruang serta memengaruhi efektivitas kegiatan belajar mengajar. Oleh karena itu, diperlukan pengukuran dan evaluasi terhadap kondisi ruangan untuk mengetahui apakah parameter yang ada telah memenuhi standar yang ditetapkan.

Salah satu aspek yang menjadi perhatian adalah suhu dan kelembapan udara. Kondisi ideal kelembapan ruangan berada pada rentang 45%–65%. Kelembapan yang terlalu tinggi dapat menyebabkan pertumbuhan jamur pada dinding serta menimbulkan ketidaknyamanan bagi pengguna seperti sesak napas dan keringat berlebih. Sebaliknya, kelembapan yang terlalu rendah dapat menyebabkan udara menjadi kering sehingga berpotensi merusak fasilitas serta menimbulkan gangguan kesehatan seperti kulit kering dan gangguan pernapasan. Kondisi tersebut perlu diperhatikan pada ruangan di Gedung A FKIP Universitas Sultan Ageng Tirtayasa agar kenyamanan pengguna dapat terjaga.

Penggunaan energi listrik pada bangunan juga harus memenuhi standar efisiensi. Hal ini mengacu pada Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia Nomor 13 Tahun 2012 yang menjelaskan bahwa penghematan energi listrik pada bangunan dilakukan melalui pengaturan sistem tata udara, sistem tata cahaya, dan peralatan pendukung lainnya. Berdasarkan ketentuan tersebut, penelitian difokuskan pada parameter suhu udara, kelembapan udara, dan daya listrik untuk mengevaluasi penggunaan energi secara efisien.

Penggunaan pendingin ruangan dapat menjadi solusi untuk memperoleh suhu dan kelembapan yang ideal. Namun, penggunaan pendingin secara berlebihan dapat meningkatkan konsumsi daya listrik sehingga menyebabkan pemborosan energi dan menurunkan efektivitas penggunaan peralatan listrik lainnya. Oleh karena itu, diperlukan suatu metode yang dapat membantu menentukan kondisi ruang yang nyaman dengan penggunaan energi yang efisien.

Dalam penelitian ini digunakan metode Adaptive Neuro Fuzzy Inference System (ANFIS). Metode ANFIS merupakan kombinasi antara jaringan syaraf tiruan dan sistem logika fuzzy yang digunakan untuk mengimplementasikan sistem inferensi fuzzy secara lebih adaptif. Sistem ini mampu menerjemahkan pengetahuan pakar dalam bentuk aturan-aturan fuzzy serta melakukan proses pembelajaran secara otomatis untuk menentukan fungsi keanggotaan yang optimal. Dengan demikian, proses analisis menjadi lebih efektif dan mampu mengurangi waktu pencarian parameter yang sesuai.

Proses analisis ANFIS pada penelitian ini dilakukan menggunakan perangkat lunak Matlab. Matlab merupakan perangkat lunak berbasis komputasi numerik yang dikembangkan untuk menyelesaikan berbagai permasalahan matematika, optimasi, pemodelan, dan simulasi. Dengan kemampuan pengolahan data yang baik, Matlab dapat digunakan untuk membantu proses pelatihan dan pengujian ANFIS sehingga hasil analisis menjadi lebih akurat. Penggunaan metode ANFIS berbantuan Matlab diharapkan dapat memberikan solusi dalam menentukan kondisi ruangan yang optimal dengan konsumsi energi listrik yang lebih efisien..

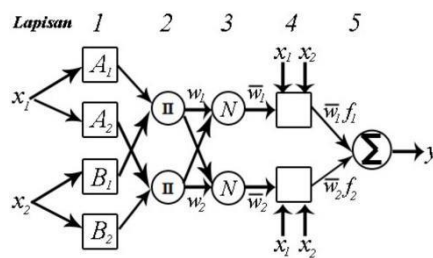
2. Tinjauan Literatur

2.1. Kajian Teori

2.1.1 Adaptive Neuro Fuzzy Inference System (ANFIS)

Menurut pendapat Widyaprawati dalam Utami (2019: 19) menyatakan bahwa Adaptive Neuro Fuzzy Inference System (ANFIS) adalah sebuah pengaplikasian dari Artificial Intelligent yang memiliki arsitektur jaringan yang secara fungsional sama dengan fuzzy inference system model Takagi-Sugeno orde 1. Keunggulan dari fuzzy inference system yaitu dapat menerjemahkan pengetahuan dari pakar yang berupa aturan-aturan. Namun biasanya dibutuhkan waktu yang lama untuk menentukan fungsi keanggotaannya. Oleh karena itu, dibutuhkan suatu teknik pembelajaran dari jaringan syaraf tiruan untuk mengotomatisasi proses penerjemahan sehingga dapat mengurangi waktu pencarian.

Arsitektur Adaptive Neuro Fuzzy Inference System hampir sama dengan jaringan syaraf tiruan dengan fungsi radial dan sedikit batasan tertentu yang ditunjukkan pada gambar dibawah ini.



Gambar 1. Arsitektur Jaringan ANFIS

Arsitektur ANFIS terdiri dari 2 input dan satu output diproses oleh 5 lapisan. Lapisan yang disimbolkan dengan bentuk kotak adalah lapisan parameter yang dapat berubah (bersifat adaptif). Sedangkan lapisan yang disimbolkan dengan lingkaran adalah parameter tetap (bersifat non adaptif).

Adapun menurut pendapat Jang dalam Azizah (2016: 99) menyatakan bahwa Adaptive Neuro Fuzzy Inference System (ANFIS) merupakan penggabungan dari logika fuzzy dan jaringan syaraf tiruan (JST). Logika fuzzy memiliki kelebihan dalam memodelkan aspek kualitatif dari pengetahuan manusia dan proses pengambilan keputusan dengan menerapkan basis aturan (rules). JST memiliki kelebihan dalam mengenali pola, belajar dan berlatih dalam menyelesaikan suatu permasalahan tanpa memerlukan pemodelan matematik. Serta dapat bekerja berdasarkan data historis yang dimasukkan kepadanya dan dapat melakukan prediksi kejadian yang akan datang berdasarkan data-data tersebut, sehingga ANFIS memiliki kemampuan keduanya.

2.1.2 Matrix Laboratory

Menurut Muhammad Arhani & Anita Desiani (2007: 2) Matlab (Matrix Laboratory) adalah program untuk analisis dan kalkulasi numerik, dan bahasa pemrograman matematis tingkat tinggi, yang didasarkan pada penggunaan sifat dan bentuk matriks untuk berpikir. Matlab merupakan bahasa pemrograman yang hadir dengan fungsi dan karakteristik yang berbeda dengan bahasa pemrograman lain yang sudah ada lebih dahulu seperti Delphi, Basic maupun C++. Matlab merupakan bahasa pemrograman tingkat tinggi (High Level Language) yang mengkhususkan dirinya untuk kebutuhan komputasi teknis, visualisasi dan pemrograman seperti komputasi matematik, analisis data, pengembangan algoritma, simulasi dan pemodelan dan grafik-grafik perhitungan. Matlab hadir dengan membawa warna yang berbeda. Hal ini karena Matlab membawa keistimewaan dalam fungsi-fungsi matematika, fisika, statistik, dan visualisasi. (Setyawan dkk, 2018: 119120). Matlab dikembangkan oleh MathWorks, yang pada awalnya dibuat untuk memberikan kemudahan mengakses data matrik pada proyek LINPACK dan EISPACK.

2.1.3 Intensitas Konsumsi Energi (IKE)

Parameter penghematan energi dalam bangunan biasanya menggunakan Intensitas Konsumsi Energi (IKE). Faktor nilai IKE terdapat pada jumlah konsumsi energi (kWh) per meter persegi (m²) perbulan. Angka IKE (kWh/m²/bulan) diperoleh dengan perbandingan jumlah penggunaan listrik kWh selama sebulan dengan luas bangunan yang digunakan (USAID, 2014: 15). Intensitas konsumsi energi (IKE) listrik adalah suatu istilah yang dipakai agar menentukan jumlah konsumsi energi dalam suatu sistem bangunan (Asnal, 2016: 105). Tetapi energi Yang dimaksudkan dalam hal ini adalah energi listrik. Intinya, Intensitas Konsumsi Energi ini adalah hasil bagi antara total konsumsi energi selama Periode tertentu (satu tahun) dan luas bangunan. Satuan IKE adalah kWh/m².

2.2. Hasil Yang Relevan

Uswatun Khasanah, dkk (2019) dalam penelitian Analisis Peramalan Beban Listrik Jangka Pendek Menggunakan Metode Adaptive Neuro Fuzzy Inference System (Studi Kasus: PT. PLN Persero) Area Pengaturan Distribusi Jawa Timur) menyatakan bahwa didapatkan nilai error peramalan antara 0% sampai 20,51%. Data yang diuji mulai dari bulan 1 Februari s/d 28 September 2018. Adapun disini peneliti membagi data menjadi data masukkan dan target keluaran.

Penelitian Mochamad Andrik, dkk (2018) dengan judul Optimasi Load Frequency Control (LFC) Pada Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro Berbasis PID – ANFIS menjelaskan bahwa variabel – variabel yang digunakan antara lain tegangan, waktu, dan frekuensi dimana didapatkan hasil undershoot 49,97% pada tegangan 119,93 volt. Pada PID – ANFIS, undershoots terkecil menunjukkan nilai $(0,05 \times 10^{-5})$ sedangkan setting time tercepat selama 25 detik. Penelitian ini menyimpulkan bahwa dengan menggunakan model kontrol PID - ANFIS, sistem akan lebih cepat merespon dan memperbaiki frekuensi agar tetap konstan.

Pada penelitian Indana La Zulfa (2015) yang berjudul Peramalan Beban Listrik Jangka Pendek Di Jawa Timur Menggunakan Metode Arima dan Adaptive Neuro Fuzzy Inference System (ANFIS) didapatkan hasil bahwa waktu terbaik dalam peramalan yakni pukul 05: 00 dengan fungsi keanggotaan Generalized Bell. Pada pukul 13: 00 model ANFIS yang baik menggunakan fungsi keanggotaan Gaussian. Sedangkan fungsi keanggotaan Trapezoidal amat baik digunakan saat melakukan peramalan pukul 18: 30. Menurut Erwan Ahmad Ardiansyah, dkk. (2017) dalam “Aplikasi Peramalan Kebutuhan Beban Listrik Menggunakan Metode Adaptive Neuro Fuzzy Inference System (ANFIS)” dikatakan bahwa nilai rata – rata error menggunakan metode Adaptive Neuro Fuzzy Inference System adalah sebesar 3,09% dari data aktual selama satu tahun. Hal ini berarti metode hasil dari metode ANFIS sudah mendekati nilai aktual peramalan beban listrik.

Berdasarkan penelitian Mirko Stojic, dkk. (2018) dengan penelitian berjudul “Development of an ANFIS Model for the Optimization of a Queuing System in Warehouses”. Dalam penelitian ini, parameter yang diperlihatkan adalah waktu kedatangan truk, waktu kumulatif truk datang sejak awal, serta waktu layanan. Model Adaptive Neuro Fuzzy Inference System dinilai memiliki keunggulan dibanding metode lainnya. Salah satunya dibandingkan metode QS klasik, ANFIS memiliki fitur kemampuan beradaptasi dan kemampuan untuk menyesuaikan basis aturan fuzzy. Model ANFIS juga efektif dalam kondisi ketidakpastian dan dapat dijadikan acuan untuk pengambil keputusan ketika ada ketidakpastian dalam proses logistik. Selain itu, model ini dapat diimplementasikan sebagai sistem komputer yang mendukung proses pengambilan keputusan yang dinamis. Terakhir, kelebihan metode ANFIS yaitu memungkinkan perkiraan yang relatif cepat dan objektif untuk menganalisis perusahaan transportasi dan kondisi lingkungan yang berubah.

3. Metode

Penelitian diawali dengan pengumpulan data parameter berupa daya, suhu, dan kelembaban. Data yang diperoleh kemudian melalui proses fuzzifikasi untuk menentukan data masukan dan keluaran, dilanjutkan dengan pembagian data menjadi data pelatihan (training) dan data pengujian (testing). Seluruh data dinormalisasi pada rentang $[0-1]$ sebelum diproses menggunakan metode Adaptive Neuro Fuzzy Inference System (ANFIS).

Model ANFIS dibangun menggunakan Matlab melalui pembentukan Fuzzy Inference System (FIS) dengan penentuan fungsi keanggotaan dan parameter model. Proses pelatihan dilakukan menggunakan metode hybrid dan backpropagation untuk memperoleh nilai Root Mean Square Error (RMSE). Selanjutnya, model diuji untuk mengevaluasi tingkat akurasi. Hasil akhir penelitian diperoleh melalui perbandingan antara data aktual dan hasil prediksi ANFIS.

3.1. Perhitungan Penelitian

Pada tahap perancangan penelitian ini dilakukan dengan menggunakan dua perhitungan yaitu perhitungan secara manual dan perhitungan menggunakan Matlab pada metode Adaptive Neuro Fuzzy Inference System . Berikut langkah-langkah dalam perhitungan yang dilakukan pada penelitian ini:

Pada perhitungan manual ini dilakukan dengan menggunakan tiga tahap diantaranya:

- a. Pengamatan, pengamatan dilakukan dengan melakukan observasi serta survei langsung ke pihak terkait untuk mengetahui waktu penggunaan energi listrik di gedung A FKIP UNTIRTA.
- b. Pengukuran, pengukuran dilakukan dengan cara mengukur intensitas cahaya, kelembaban udara, suhu, dan luas ruangan menggunakan alat ukur.

- c. Perhitungan, perhitungan dilakukan untuk mengetahui nilai daya, total kwh dan nilai dari IKE. Pada tahap perhitungan ini dilakukan menggunakan perhitungan manual dengan rumus membership function yang akan digunakan.

Serta selanjutnya dengan perhitungan menggunakan Matlab untuk mencari nilai lain agar dapat mencari perbandingan dengan perhitungan manual.

3.2. Spesifikasi Komponen dan Perangkat Penelitian

Komponen penelitian meliputi perangkat keras maupun lunak yang digunakan untuk mengukur pada objek penelitian serta untuk mengetahui nilai input maupun output yang diantaranya sebagai berikut:

a. Perangkat Keras

Pada alat ukur keras ini berfungsi untuk mengukur besarnya suatu daya komponen yang akan diukur untuk menjadi variabel input yaitu:

1. Stop Kontak Wattmeter



Gambar 2. Stop Kontak Wattmeter

Stop kontak wattmeter adalah alat yang mampu mengukur tegangan dan arus dalam rangkaian kemudian menghitung daya dengan mengalikan kedua nilai tersebut.

2. Meteran

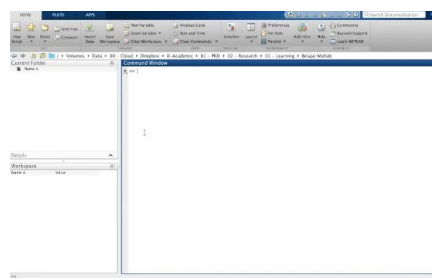


Gambar 3. Meteran

Meteran adalah sebuah alat ukur untuk mengukur panjang dan lebarnya suatu objek seperti ruangan.

b. Perangkat Lunak

Perangkat lunak yang dilakukan dalam penelitian ini yaitu aplikasi Matlab. Matlab adalah suatu aplikasi yang digunakan untuk membuat kecerdasan buatan atau AI dengan menentukan nilai input dan nilai output sesuai dengan perhitungan yang akan kita gunakan.



Gambar 4. Tampilan Awal Matlab

4. Hasil dan Pembahasan

4.1 Perhitungan Manual ANFIS

4.1.1 Grid Partition

Data yang digunakan:

Tabel 1. Data Grid Partition

Variabel	Nilai Minimum	Nilai Maksimum
Daya	323	4442
Luas	16,19	249,36
Jam per hari	4	16

Karena setiap variabel mempunyai 3 Membership Function (Low, Medium, High), maka jarak grid dihitung menggunakan rumus:

$$\Delta = \frac{x_{\max} - x_{\min}}{n - 1} \quad (1)$$

Yang dimana, Δ = Jarak antar grid, $x_{\max}$ = Nilai maksimum, $x_{\min}$ = Nilai minimum, dan n = Jumlah membership function. Berdasarkan dataset, domain variabel daya adalah:

$$x_{\min} = 323, x_{\max} = 4442$$

Sehingga jarak antar grid untuk variabel daya yaitu:

$$\Delta_{\text{daya}} = \frac{4442 - 323}{3 - 1}$$

$$\Delta_{\text{daya}} = \frac{4119}{2} = 2059.5$$

Dengan demikian, jarak antar grid untuk variabel daya adalah 2059.5.

Kemudian untuk domain variabel luas diperoleh dari dataset sebagai berikut:

$$x_{\min} = 16.19, x_{\max} = 249.36$$

Maka jarak antar grid dihitung dengan:

$$\Delta_{\text{luas}} = \frac{249.36 - 16.19}{3 - 1}$$

$$\Delta_{\text{luas}} = \frac{233.17}{2} = 116.585$$

Sehingga, jarak antar grid untuk variabel luas adalah 116.585.

Kemudian, untuk variabel jam per hari, domain data adalah:

$$x_{\min} = 4, x_{\max} = 16$$

Perhitungan jarak antar grid:

$$\Delta_{\text{jam}} = \frac{16 - 4}{3 - 1}$$

$$\Delta jam = \frac{12}{2} = 6$$

Dengan demikian, jarak antar grid untuk variabel jam per hari adalah 6.

4.1.2 Layer 1 (Fuzzifikasi)

Data sampel:

Tabel 2. Sampel Data Variabel Input

Variabel	Nilai Minimum
Daya (w)	1500
Luas (m ²)	120
Waktu (Jam)	8

Rumus Gaussian:

$$\mu(x) = \exp\left(-\frac{(x-c)^2}{2\sigma^2}\right) \quad (2)$$

Yang dimana $\mu(x)$ = derajat keanggotaan, x = nilai input, c = center, dan σ = standar deviasi. Untuk variabel daya (w), hasil generate Matlab menunjukkan bahwa membership function daya rendah memiliki pusat $c = 323$ dan standar deviasi $\sigma = 874.6$. Dengan menggunakan satu sampel input daya sebesar $x = 1500$ w, derajat keanggotaan daya terhadap himpunan rendah dihitung sebagai:

$$\mu_{\text{Low}}(1500) = \exp\left(-\frac{(1500-323)^2}{2(874.6)^2}\right) = \exp(-0.905) \approx 0.404$$

Dengan langkah yang sama diperoleh:

Tabel 3. Kategori Variabel

Daya

Kategori	$\mu(x)$
Low	0.404
Medium	0.600
High	0.0035

Karena nilai terbesar 0,600 maka daya 1500 w termasuk kategori Medium

Untuk variabel luas (m²), membership function yang digunakan memiliki pusat $c = 16.19$ dan standar deviasi $\sigma = 49.45$. Dengan contoh nilai input luas sebesar $x = 120$ m², derajat keanggotaan terhadap himpunan luas rendah dihitung sebagai berikut:

$$\mu_{\text{Low}}(120) = \exp\left(-\frac{(120-16.1)^2}{2(49.45)^2}\right) = \exp(-2.20) \approx 0.111$$

Untuk tingkat keanggotaan lainnya, berikut merupakan tabel hasil perhitungan seluruh membership function input luas:

Tabel 4. Kategori Variabel Luas

Kategori	$\mu(x)$
Low	0.111
Medium	0.968
High	0.033

Karena nilai terbesar 0,968 maka luas termasuk kategori medium.

Selanjutnya, untuk variabel jam per hari (jam), membership function Gaussian memiliki pusat $c = 4$ dan standar deviasi $\sigma = 0.9439$. Dengan menggunakan nilai input jam per hari sebesar $x = 8$ jam, derajat keanggotaan dihitung sebagai:

$$\mu_{\text{Low}}(8) = \exp\left(-\frac{(8-3.743)^2}{2(0.9439)^2}\right) = \exp(-8.98) \approx 0.00013$$

Karena nilai terbesar 0,106 maka jam penggunaan termasuk kategori medium.

Tabel 5. Kategori Variabel Jam

Kategori	$\mu(x)$
Low	0.00013
Medium	0.106
High	2.5×10^{-16}

4.1.3 Layer 2 (Firing Strength)

Secara matematis, firing strength untuk aturan ke- i dinyatakan sebagai:

$$w_i = \mu_{A_i}(x_1) \times \mu_{B_i}(x_2) \times \mu_{C_i}(x_3) \quad (3)$$

Dimana w_i adalah firing strength aturan ke- i , $\mu_{A_i}(x_1)$ adalah derajat keanggotaan input daya, $\mu_{B_i}(x_2)$ adalah derajat keanggotaan input luas, $\mu_{C_i}(x_3)$ adalah derajat keanggotaan input jam per hari.

Sebagai contoh perhitungan manual, digunakan satu aturan fuzzy, yaitu:

“Aturan 14 adalah IF daya is medium AND luas Medium AND jam per hari is Medium Then output is f_{14} ”

Berdasarkan hasil perhitungan Layer 1, diperoleh nilai keanggotaan:

$$\mu_{\text{daya, Medium}} = 0.600$$

$$\mu_{\text{luas, Medium}} = 0.968$$

$$\mu_{\text{jam, Medium}} = 0.106$$

Firing strength untuk aturan tersebut dihitung sebagai:

$$w_{14} = 0.600 \times 0.968 \times 0.106$$

$$w_{14} = 0.0616$$

4.1.4 Layer 3 (Normalisasi)

Layer 3 pada Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System (ANFIS) berfungsi untuk melakukan normalisasi firing strength yang diperoleh dari Layer 2. Layer 3 bersifat non-adaptif dan hanya melakukan operasi normalisasi tanpa proses pembelajaran. Secara matematis, firing strength ter-normalisasi untuk aturan ke- i didefinisikan sebagai:

$$\bar{w}_i = \frac{w_i}{\sum_{i=1}^N w_i} \quad (4)$$

Berdasarkan hasil perhitungan Layer 2, diperoleh nilai firing strength terbesar pada aturan ke-14 (Medium–Medium–Medium) sebesar $w_{14} = 0.0616$. Selain itu, hasil penjumlahan seluruh firing strength dari 27 aturan adalah:

$$\sum_{j=1}^{27} w_j = 0.11413$$

Dengan demikian, firing strength ter-normalisasi untuk aturan ke-14 dihitung sebagai berikut:

$$\bar{w}_{14} = \frac{0.0616}{0.11413}$$

$$\bar{w}_{14} \approx 0.54$$

Nilai $\bar{w}_{14}$ sebesar 0.54 menunjukkan bahwa aturan ke-14 memberikan kontribusi sekitar 54% terhadap proses inferensi fuzzy pada kondisi input yang diuji.

4.1.5 Layer 4 (Perhitungan Fungsi konsumen)

Layer 4 pada Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System (ANFIS) berfungsi untuk menghitung keluaran parsial setiap aturan fuzzy berdasarkan fungsi konsekuen dan firing strength ter-normalisasi yang diperoleh dari Layer 3.

Secara matematis, keluaran Layer 4 untuk aturan ke- i dinyatakan sebagai:

$$O_i^{(4)} = \bar{w}_i f_i \quad (5)$$

Dengan fungsi konsekuen:

$$f_i = p_i x_1 + q_i x_2 + r_i x_3 + s_i \quad (6)$$

Dimana $\bar{w}_i$ adalah firing strength ter-normalisasi dari Layer 3, x_1, x_2, x_3 berturut-turut adalah variabel input daya, luas, dan jam per hari, dan p_i, q_i, r_i, s_i merupakan parameter konsekuen aturan ke- i .

Berdasarkan hasil Layer 3, diperoleh nilai $\bar{w}_{14} = 0.54$. Dengan menggunakan satu sampel input $x_1 = 1500$, $x_2 = 120$, dan $x_3 = 8$, maka fungsi konsekuen aturan ke-14 dapat dituliskan sebagai:

$$f_{14} = p_{14}(1500) + q_{14}(120) + r_{14}(8) + s_{14}$$

Keluaran parsial Layer 4 untuk aturan ke-14 dihitung dengan mengalikan fungsi konsekuen tersebut dengan firing strength ter-normalisasi.

$$O_{14}^{(4)} = 0.54 [p_{14}(1500) + q_{14}(120) + r_{14}(8) + s_{14}]$$

Maka kontribusi rule 14 terhadap output akhir 0,58.

4.1.6 Layer 5 (Output nilai ANFIS)

Layer 5 merupakan tahap terakhir pada proses perhitungan manual ANFIS. Pada tahap ini seluruh keluaran parsial dari setiap rule dijumlahkan. Rumus umum output ANFIS adalah:

$$y = \sum_{i=1}^m \bar{w}_i f_i \quad (7)$$

Yang dimana nilai m = jumlah rule (27 rule), $\bar{w}_i$ = bobot normalisasi rule ke- i , f_i = keluaran linear rule ke- i .

Berdasarkan hasil keseluruhan pada Layer 4, nilai kontribusi rule yang dominan adalah rule 5 = 4.69, rule 8 = 0.14, rule 11 = -3.61, rule 14 = 0.58, rule 17 = 0.17, rule 20 = -0.046, dan rule 23 = 0.023.

Melihat hasil perhitungan Layer 4, beberapa aturan memiliki kontribusi dominan, sedangkan aturan lainnya memberikan kontribusi yang sangat kecil. Secara manual, keluaran akhir dapat dihitung dengan menjumlahkan keluaran parsial yang signifikan sebagai berikut:

$$y \approx 4.69 + 0.14 - 3.61 + 0.58 + 0.17 - 0.046 + 0.023 = 1.95$$

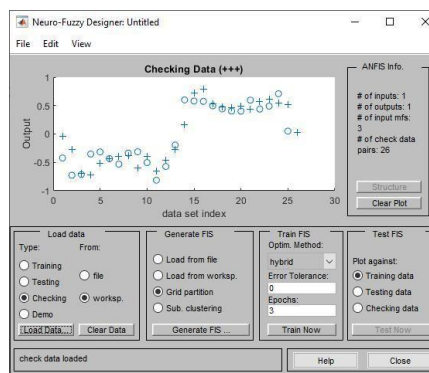
4.2 Perhitungan ANFIS Menggunakan Matlab

Perhitungan menggunakan Matlab dilakukan melalui ANFIS Designer Toolbox untuk memodelkan hubungan antara variabel input berupa daya listrik (W), luas ruangan (m^2), dan durasi penggunaan (jam/hari) terhadap nilai Intensitas Konsumsi Energi (IKE). Tahapan yang dilakukan meliputi proses load data, generate FIS, training, dan testing model ANFIS. Pada tahap awal, dataset dimasukkan ke Matlab melalui menu Load Data dan dipisahkan menjadi data pelatihan (training data) serta data pengujian (testing data). Variabel input yang digunakan terdiri dari daya, luas ruangan, dan durasi penggunaan, sedangkan variabel output berupa nilai IKE. Setelah proses pemuatan data selesai, dilakukan pembentukan struktur awal ANFIS menggunakan metode Grid Partition. Setiap variabel input memiliki tiga membership function sehingga terbentuk total 27 aturan (rule) fuzzy. Beberapa jenis membership function yang diuji meliputi:

- a) Triangular (trimf)
- b) Trapezoidal (trapmf)
- c) Bell (gbellmf)
- d) Gaussian (gaussmf)

Pada proses pelatihan digunakan metode optimasi Hybrid Learning, yaitu kombinasi antara metode Least Square Estimation (LSE) dan Backpropagation. Parameter pelatihan menggunakan 500 epoch.

Gambar berikut menunjukkan tahapan proses pelatihan menggunakan Matlab ANFIS.



Gambar 5. Proses Pelatihan Matlab

Selama proses pelatihan, Matlab menampilkan grafik training error yang menunjukkan perubahan nilai error pada setiap iterasi. Grafik memperlihatkan bahwa seluruh model mengalami penurunan error secara bertahap hingga mencapai kondisi konvergen.

Perbandingan hasil training error akhir ditunjukkan pada tabel berikut:

Tabel 6. Perbandingan Hasil Training Error

Membership Function	Percobaan 1	Percobaan 2
Trimf	1,64	0,85
Trapmf	1,79	0,68
Bellmf	1,31	0,53
Gaussmf	1,50	0,63

Berdasarkan hasil tersebut, Bell membership function menghasilkan nilai error pelatihan terendah sebesar 0,53, sehingga memiliki kemampuan pembelajaran terbaik selama proses training.

Setelah model selesai dilatih, dilakukan proses pengujian menggunakan data yang tidak digunakan selama pelatihan. Matlab menghasilkan grafik perbandingan antara nilai aktual dengan hasil prediksi ANFIS. Titik berwarna biru menunjukkan data aktual, sedangkan tanda bintang merah menunjukkan hasil prediksi model.

Hasil pengujian menunjukkan nilai rata-rata testing error sebagai berikut:

Tabel 7. Perbandingan Hasil Testing Error

Membership Function	Pengujian 1	Pengujian 2
Trimf	1,17	0,75
Trapmf	0,48	0,48
Bellmf	0,91	0,53
Gaussmf	0,95	0,45

Berdasarkan hasil pengujian tersebut, model dengan fungsi keanggotaan Gaussian (gaussmf) menghasilkan tingkat kesalahan paling rendah sebesar 0,45, sehingga memiliki kemampuan generalisasi terbaik terhadap data baru.

Visualisasi pada Rule Viewer Matlab menunjukkan bahwa nilai input daya sebesar 1500 W, luas ruangan 120 m², dan durasi penggunaan 8 jam/hari menghasilkan keluaran ANFIS

sebesar 2,22. Nilai tersebut diperoleh melalui proses agregasi seluruh aturan fuzzy yang aktif pada system.

5. Perbandingan

Berdasarkan hasil perbandingan diperoleh bahwa nilai output manual sebesar 1,95 sedangkan Matlab menghasilkan 2,22 dengan selisih 0,27 atau sekitar 12,16%. Perbedaan tersebut terjadi karena perhitungan manual hanya menggunakan aturan-aturan dominan dan pembulatan nilai pada tiap tahapan perhitungan. Sementara Matlab menghitung seluruh rule aktif (27 rule) secara simultan dengan presisi numerik yang lebih tinggi serta melakukan optimasi parameter membership function melalui proses Hybrid Learning.

Meskipun terdapat perbedaan nilai, hasil keduanya masih menunjukkan pola inferensi yang sama yaitu aktivasi dominan pada kategori Medium–Medium–Medium. Hal ini menunjukkan bahwa perhitungan manual telah mampu merepresentasikan mekanisme kerja ANFIS, sedangkan Matlab memberikan hasil yang lebih akurat dan optimal karena mempertimbangkan keseluruhan parameter model.

6. Kesimpulan

Secara keseluruhan, metode ANFIS terbukti efektif dalam memodelkan dan memprediksi nilai IKE pada Gedung A FKIP Untirta. Model dengan membership function Gaussian dan output linear memberikan performa paling optimal baik pada tahap training maupun testing. Struktur ANFIS yang terdiri dari 27 aturan fuzzy memungkinkan sistem menangkap kompleksitas hubungan antara daya, luas, dan durasi penggunaan terhadap konsumsi energi secara adaptif dan presisi.

Kontribusi Penulis: Dede Eful Ginanjar bertanggungjawab penuh atas metodologi penelitian, pengukuran data, serta perhitungan data menggunakan rumus manual maupun perhitungan menggunakan Matlab pada metode Adaptive Neuro Fuzzy Inference System (ANFIS) ini. Desmira berkontribusi dalam pengawasan penelitian serta arahan terkait cara penyelesaian sebuah masalah. Irwanto berkontribusi dalam pengawasan penelitian serta arahan penulisan yang benar pada artikel penelitian ini.

Pendanaan: Penelitian mandiri ini sepenuhnya didanai oleh penulis tanpa adanya dukungan finansial atau hibah dari lembaga donor, universitas, maupun pihak ketiga lainnya.

Pernyataan Ketersediaan Data: Seluruh data hasil perhitungan manual, perhitungan Matlab serta perbandingan dari keduanya sudah tersaji pada artikel ini.

Ucapan Terima Kasih: Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada program studi Pendidikan Vokasional Teknik Elektro, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, atas penyediaan sarana dan prasana yang ada sehingga penulis dapat melakukan penelitian dengan baik. Tidak lupa juga penulis ucapkan terima kasih kepada seluruh dosen dan rekan-rekan yang sudah membantu penulis dalam segala hal sehingga penulis dapat menyelesaikan serta menerbitkan artikel ini.

Konflik Kepentingan: Para penulis menyatakan bahwa tidak ada konflik kepentingan, baik secara personal, finansial, maupun institusional, terkait dengan pelaksanaan penelitian, analisis data, hingga publikasi artikel ilmiah ini.

Referensi

- [1] Abilaila. (2020). Pengantar MATLAB untuk Analisis Data dan Simulasi. Yogyakarta: Deepublish.
- [2] Ardiansyah, E. A., dkk. (2017). Aplikasi Peramalan Kebutuhan Beban Listrik Menggunakan Metode Adaptive Neuro Fuzzy Inference System (ANFIS). Jurnal Teknologi Elektro, 8(2), 112–118.
- [3] Asnal. (2016). Audit Energi dan Analisis Intensitas Konsumsi Energi pada Bangunan Gedung. Jurnal Teknik Elektro, 5(2), 103–109.
- [4] Azizah, N. (2016). Implementasi Adaptive Neuro Fuzzy Inference System untuk Sistem Prediksi. Jurnal Informatika, 10(2), 97–103.

-
- [5] Chai, T., & Draxler, R. R. (2014). Root Mean Square Error (RMSE) or Mean Absolute Error (MAE)? Arguments Against Avoiding RMSE in the Literature. *Geoscientific Model Development*, 7(3), 1247–1250.
- [6] Desiani, A., & Arhami, M. (2018). *Konsep Kecerdasan Buatan*. Yogyakarta: Andi Publisher.
- [7] Fausett, L. (1994). *Fundamentals of Neural Networks: Architectures, Algorithms, and Applications*. New Jersey: Prentice Hall.
- [8] Hermawan, A. (2006). *Jaringan Syaraf Tiruan: Teori dan Aplikasi*. Yogyakarta: Andi.
- [9] Hodson, T. O. (2022). Root Mean Square Error (RMSE) or Mean Absolute Error (MAE): When to Use Them or Not. *Geoscientific Model Development*, 15(14), 5481–5487.
- [10] Jang, J. S. R. (1993). ANFIS: Adaptive-Network-Based Fuzzy Inference System. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, 23(3), 665–685.
- [11] Khasanah, U., dkk. (2019). Analisis Peramalan Beban Listrik Jangka Pendek Menggunakan Metode Adaptive Neuro Fuzzy Inference System (ANFIS). *Jurnal Teknik Elektro*, 11(1), 35–41.
- [12] MathWorks Inc. (2018). *MATLAB Fuzzy Logic Toolbox User's Guide*. Massachusetts: The MathWorks Inc.
- [13] Mochamad Andrik, dkk. (2018). Optimasi Load Frequency Control (LFC) Pada Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro Berbasis PID–ANFIS. *Jurnal Teknik Elektro*, 7(2), 44–51.
- [14] Nafi'yah, N. (2018). *Algoritma dan Pemrograman Menggunakan MATLAB*. Yogyakarta: Deepublish.
- [15] Peraturan Gubernur DKI Jakarta Nomor 38 Tahun 2012 tentang Bangunan Gedung Hijau.
- [16] Setyawan, A., dkk. (2018). *Pemrograman MATLAB untuk Teknik Elektro*. Yogyakarta: Deepublish.
- [17] Stojcic, M., dkk. (2018). Development of an ANFIS Model for the Optimization of a Queuing System in Warehouses. *Expert Systems with Applications*, 99, 59–73.
- [18] USAID Indonesia. (2014). *Panduan Audit Energi pada Bangunan Gedung*. Jakarta: USAID Indonesia.
- [19] Utami, S. (2019). Implementasi Adaptive Neuro Fuzzy Inference System pada Sistem Prediksi. Skripsi. Universitas Negeri Yogyakarta.
- [20] Willmott, C. J., & Matsuura, K. (2005). Advantages of the Mean Absolute Error (MAE) over the Root Mean Square Error (RMSE) in Assessing Average Model Performance. *Climate Research*, 30, 79–82.
- [21] Zadeh, L. A. (1965). Fuzzy Sets. *Information and Control*, 8(3), 338–353.
- [22] Zulfa, I. L. (2015). Peramalan Beban Listrik Jangka Pendek di Jawa Timur Menggunakan Metode ARIMA dan Adaptive Neuro Fuzzy Inference System (ANFIS). Skripsi. Institut Teknologi Sepuluh Nopember.