

Penerapan *Adaptive Neuro Fuzzy Inference System* Menggunakan Fungsi Keanggotaan *Generalized Bell* untuk Prediksi Indeks Harga Konsumen

Rachma Adji Ramadanti¹, Nusyirwan², Pandri Ferdias^{3*}, Khoirin Nisa⁴

^{1,2,3,4} Program Studi Matematika, FMIPA, Universitas Lampung
Jl. Prof. Soemantri Brojonegoro No.1 Bandar Lampung

Email: rachma.adjiramadanti01@gmail.com¹, nusyirwan.1966@fmipa.unila.ac.id²,
pandri.ferdias@fmipa.unila.ac.id³, khoirin.nisa@fmipa.unila.ac.id⁴

*Korespondensi penulis : pandri.ferdias@fmipa.unila.ac.id

Abstrak

Indeks Harga Konsumen (IHK) merupakan indikator ekonomi penting terhadap pasar keuangan dan menjadi indikator umum tingkat inflasi di Indonesia yang dihitung dan dipublikasikan setiap bulannya oleh Badan Pusat Statistik (BPS). Perkembangan IHK dapat memperlihatkan perkembangan tingkat harga suatu barang dan jasa yang dibeli masyarakat dari waktu ke waktu. Berdasarkan hal tersebut, IHK perlu diprediksi agar harga barang dan jasa di masyarakat bisa dikontrol sehingga bisa menstabilkan inflasi dan jumlah uang yang beredar yang terjadi di Indonesia, maka oleh karena itu prediksi IHK pada penelitian ini digunakan variabel prediktor yaitu inflasi dan uang beredar pada beberapa periode deret waktu. Dalam prediksi pada penelitian ini digunakan metode *Adaptive Neuro Fuzzy Inference System* (ANFIS). ANFIS merupakan salah satu metode yang dapat digunakan untuk melakukan prediksi pada data *time series*, ANFIS sendiri merupakan salah satu jenis *neural network* yang berbasis pada sistem inferensi *fuzzy* Takagi Sugeno. Tujuan dari penelitian ini adalah menerapkan ANFIS untuk memprediksi IHK menggunakan fungsi keanggotaan *generalized bell*. Selanjutnya menduga model ANFIS dan memperoleh tingkat akurasi dari model prediksi Indeks Harga Konsumen (IHK) dengan metode ANFIS. Variabel prediktor yang digunakan adalah inflasi dan uang beredar, untuk variabel respon yang digunakan adalah IHK. Model terbaik dipilih berdasarkan pada nilai RMSE. Hasil analisis menunjukkan bahwa penggunaan metode ANFIS sudah baik untuk prediksi data karena hasil prediksi sudah cukup mendekati data aktual dan RMSE model ANFIS dengan *2-cluster* memberikan tingkat keakuratan yang baik untuk meramalkan IHK. Dengan kasus data IHK yang nilainya berubah cukup jauh pada awal tahun 2020 yang diakibatkan oleh perbedaan tahun dasar perhitungan nilai IHK, hasil ramalan dengan model ANFIS ini sudah cukup mengikuti dengan data aktualnya, ini sudah cukup menunjukkan bahwa metode ANFIS cocok untuk diterapkan untuk menyelesaikan kasus prediksi IHK.

Kata Kunci: ANFIS, IHK, prediksi.

Abstract

Consumer Price Index (CPI) is an important economic indicator for financial markets and a general indicator of the inflation in Indonesia that counted and published monthly by the Central Agency on Statistics Indonesia. CPI development can show the development price level of goods and services purchased by the public over time. Based on this, CPI needs to be predicted to get the prices of goods and services in public can be controlled so it can stabilize inflation and the money supply that occurs in Indonesia, therefore the CPI prediction in this research uses predictor variables inflation and money supply in several periods time series. In this research, the Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System (ANFIS) method was used for prediction modeling. ANFIS is a method that can be used to predict time series data, ANFIS is a type of neural network based on Takagi Sugeno's fuzzy inference system. The purpose of this study is to apply ANFIS to predict CPI using the generalized bell membership function. Then estimate ANFIS's model and obtain the level of accuracy from the Consumer Price Index (CPI) prediction model with the ANFIS method. The predictor variables used are inflation and money supply, for the response variable used is the CPI. The best model is selected based on the RMSE value. The results of the analysis show that the use of the ANFIS method is good for data prediction because the prediction results are close enough to actual data and the RMSE ANFIS model with 2-clusters provides a good level of accuracy for forecasting CPI. In the case of the CPI data whose value changed quite a lot at the beginning of 2020 due to differences in the base year for calculating the CPI value, the forecast results with the ANFIS model are sufficiently consistent with the actual data, this is enough to show that the ANFIS method is suitable to be applied to solve prediction cases CPI.

Keywords: ANFIS, CPI, prediction.

1. Pendahuluan

Indeks Harga Konsumen (IHK) merupakan indikator ekonomi penting terhadap pasar keuangan dan menjadi indikator umum tingkat inflasi di Indonesia yang dihitung dan dipublikasikan setiap bulannya oleh Badan Pusat Statistik (BPS). Di Indonesia, IHK bersumber dari nilai konsumsi barang dan jasa oleh masyarakat yang menghasilkan Indeks Biaya Hidup (IBH). Perkembangan IHK dapat memperlihatkan perkembangan tingkat harga suatu barang dan jasa yang dibeli masyarakat dari waktu ke waktu. IHK digunakan untuk mengukur tingkat inflasi dan juga dapat digunakan sebagai pertimbangan penyesuaian upah, gaji, uang pensiun, dan kontrak lainnya. Salah satu indikator yang memperlihatkan suatu kegiatan perekonomian dari masyarakat di dalam menggunakan uang adalah uang beredar, inflasi menunjukkan perubahan atau kenaikan harga barang dan jasa secara terus menerus dalam waktu tertentu, sehingga menimbulkan penurunan nilai mata uang yang berlaku di masyarakat, ketika nilai mata uang menurun maka akan terjadi kenaikan jumlah uang beredar [1].

Berdasarkan hal tersebut IHK perlu diprediksi agar harga barang dan jasa di masyarakat bisa dikontrol sehingga bisa menstabilkan inflasi dan jumlah uang yang beredar yang terjadi di Indonesia, maka oleh karena itu prediksi IHK pada penelitian ini

digunakan variabel prediktor yaitu inflasi dan uang beredar pada beberapa periode deret waktu, dengan harapan setelah diperolehnya prediksi nilai IHK dengan nilai inflasi dan jumlah uang beredar akan membantu untuk pengambilan kebijakan dalam mengontrol harga barang dan jasa di pasaran yang berakibat pada stabilnya Inflasi dan jumlah uang yang akan diedarkan. Dalam prediksi pada penelitian ini digunakan metode *Adaptive Neuro Fuzzy Inference System* (ANFIS), ANFIS ialah suatu metode yang dapat dipakai untuk prediksi pada data deret waktu. ANFIS mirip dengan *neural network* yang berbasis pada sistem inferensi *fuzzy* Takagi Sugeno. ANFIS merupakan gabungan dari logika *fuzzy* dan JST, sehingga metode ini berpotensi untuk menangkap keunggulan keduanya dalam satu kerangka kerja [2]. Selanjutnya, pemilihan metode ANFIS berdasarkan pada prinsip *neural network* yang dapat mempelajari pola data sebelumnya. Sama halnya pada *neural network*, *output* dari logika *fuzzy* bergantung pada *input* sehingga logika *fuzzy* memberikan perhitungan fungsi tanpa pemodelan matematika. Keuntungan dari *Neuro-Fuzzy* adalah *high-level human like thinking* dari sistem *fuzzy* serta kekuatan komputasional dan *low level learning* yang diperoleh dari *neural network*, sehingga membuat metode ini lebih baik untuk masalah prediksi non linear [3].

Struktur jaringan ANFIS terdiri dari lima *layer*, yaitu *layer fuzzifikasi input*, operasi logika *fuzzy*, *normalized firing strength*, *defuzzifikasi*, dan *layer output*. *Input fuzzifikasi* dalam penelitian ini adalah derajat keanggotaan dari fungsi keanggotaan *generalized bell*. Fungsi ini memiliki 3 parameter yaitu $\{a, b, c\}$, fungsi ini memiliki keunggulan yaitu kemulusan dan nilainya tidak pernah 0 pada semua titik.

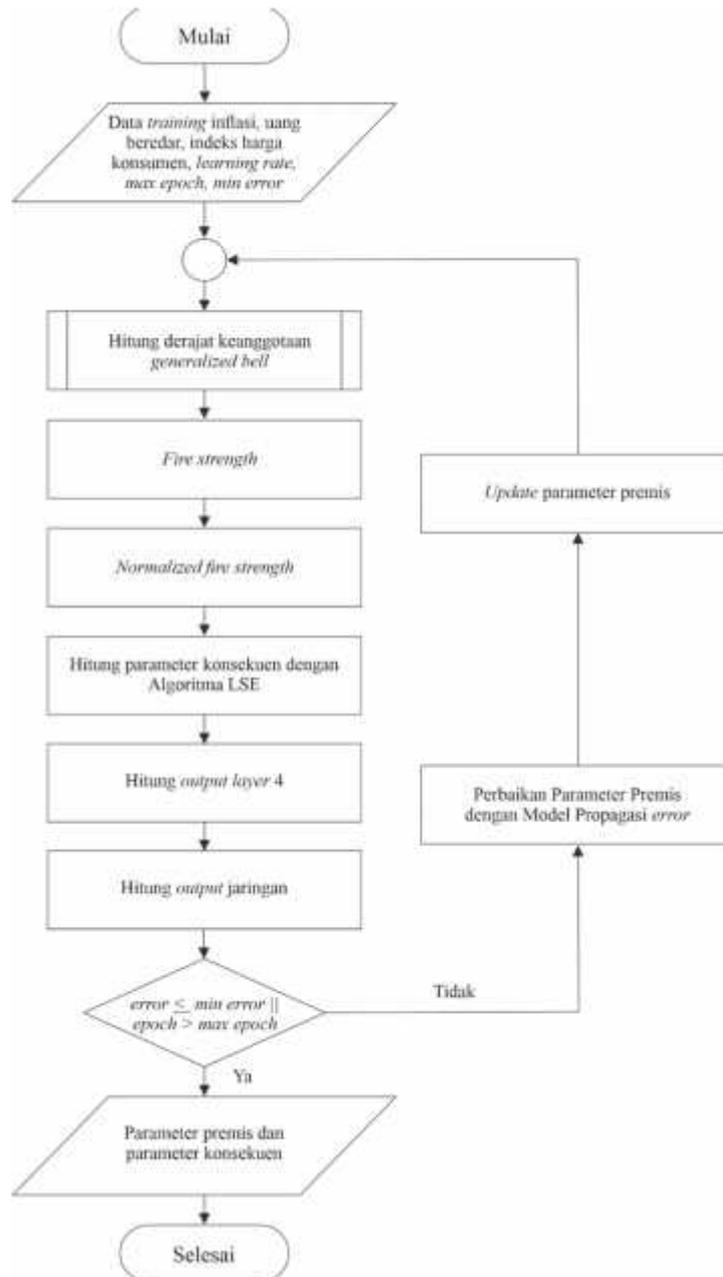
Beberapa penelitian yang pernah dilakukan oleh peneliti terdahulu menggunakan metode ANFIS untuk melakukan prediksi yaitu penelitian yang dilakukan oleh [4], [3], [5], dan [6]. Pada penelitian yang dilakukan oleh [3] pada tahun 2018 menggunakan *K-Means* sebagai metode untuk mengelompokkan data yang digunakan untuk *input* ANFIS. Pada tahun 2012 [7] melakukan peramalan kecepatan angin rata-rata harian dengan menggunakan fungsi transfer sebagai *input* ANFIS. Pada tahun 2021 [8] melakukan perbandingan metode ARIMA dan ANFIS dalam meramalkan nilai tukar petani dalam penelitian tersebut lag AR digunakan sebagai *input* ANFIS. Penelitian lain juga dilakukan oleh [9] pada tahun 2020 yaitu memprediksi indeks harga konsumen di kota Denpasar-Bali menggunakan metode ANFIS dengan menggunakan metode *fuzzy c-means* dalam mengelompokkan data yang digunakan sebagai penentuan parameter premis, kemudian membandingkan akurasi prediksi yang terbaik dari model ANFIS yang dibentuk dengan beberapa *cluster*, dalam penelitian tersebut diperoleh model ANFIS dengan 3 *cluster* yang memberikan akurasi terbaik dibandingkan dengan beberapa jumlah *cluster* yang lain. Selain itu metode ANFIS dalam penelitian yang dilakukan oleh [10] digunakan untuk memilih siswa yang mengikuti lomba olimpiade matematika, dalam penelitian [11] ANFIS digunakan untuk memprakirakan intensitas curah hujan, dan dalam penelitian [12] ANFIS digunakan untuk memprakirakan konsumsi energi listrik di kota Medan pada tahun 2030.

Oleh karena itu, dalam penelitian ini dilakukan prediksi data *time series* Indeks Harga Konsumen (IHK) di Indonesia dengan metode ANFIS, variabel prediktor yang dipakai ialah inflasi dan uang beredar, untuk variabel respon yang digunakan adalah

IHK. *Mean* dan standar deviasi dari *cluster* yang diperoleh dari *step clustering* menggunakan *K-Medoids* digunakan sebagai parameter premis untuk input ANFIS. Penelitian ini diharapkan mampu memberikan model yang terbaik untuk meramalkan data Indeks Harga Konsumen (IHK) dengan nilai RMSE yang terkecil.

2. Metode Penelitian

Data yang dipakai dalam riset ini merupakan data sekunder yang didapat dari situs resmi Badan Pusat Statistik (BPS). Ada 3 variabel yang digunakan, yaitu Inflasi (x_1), Uang Beredar (x_2), dan Indeks Harga Konsumen (IHK) (y). Data yang digunakan dibagi menjadi 90% *training* dan 10% *testing*. Untuk data *training* yang digunakan adalah data Inflasi (x_1), Uang Beredar (x_2), dan Indeks Harga Konsumen (IHK) (y) bulanan tahun 2018 – 2021. Dan untuk data *testing* yaitu data Inflasi (x_1), Uang Beredar (x_2), dan Indeks Harga Konsumen (IHK) (y) dari bulan Januari – Juni 2022. Secara umum proses prediksi Indeks Harga Konsumen menggunakan ANFIS ditunjukkan pada Gambar 1 berikut:



Gambar 1. Diagram Alir ANFIS

Berikut ini akan diberikan beberapa teori pendukung dalam penelitian ini.

Fungsi Keanggotaan *Generalized Bell*

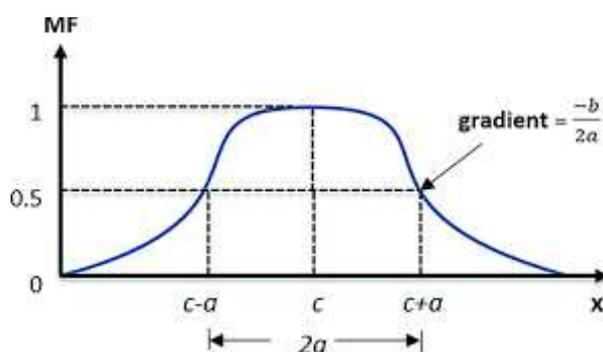
Generalized bell ialah fungsi keanggotaan dengan sifat *non-linear* dan *smooth*. Pada Persamaan 1 merupakan persamaan fungsi *generalized bell* dengan parameternya yaitu $\{a,b,c\}$.

$$\mu(x; a, b, c) = \frac{1}{1 + \left| \frac{x-c}{a} \right|^{2b}} \quad (1)$$

dengan :

- x = data masukan
- a = standar deviasi
- b = 1 (*slopes*)
- c = rata-rata

Agar bentuk kurva terbuka kebawah, parameter b harus bernilai positif [13].



Gambar 2. Fungsi Keanggotaan *Generalized Bell*

Adaptive Neuro Fuzzy Inference System (ANFIS)

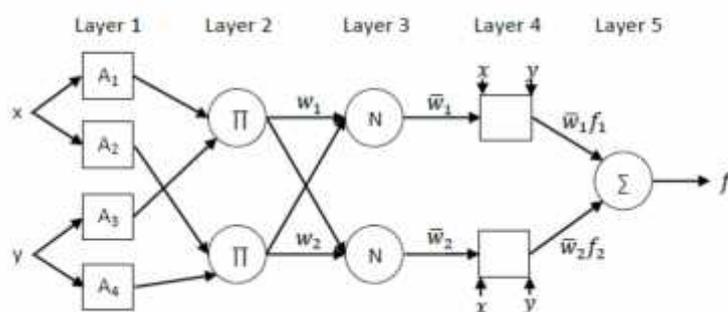
JST yang berbasis pada *fuzzy inference system* adalah ANFIS. Dalam ANFIS, terdapat dua parameter, yaitu parameter premis dan parameter konsekuen. Parameter-parameter itu akan dilatih dengan pelatihan *hybrid*. Ada dua tahapan dalam pelatihan *hybrid*, yaitu tahap maju dan tahap mundur.

Sistem inferensi *fuzzy* Takagi-Sugeno-Kang (TSK) yang digambarkan dalam struktur ANFIS ditunjukkan pada Gambar 3 berikut ini. Misalkan ada 2 *input* yaitu x_1, x_2 dan terdapat satu *output* y . Terdapat 2 aturan pada basis aturan Sugeno seperti Persamaan 2.

$$\begin{aligned} I_1 \quad x_1 \text{ is } A_1 \text{ and } x_2 \text{ is } B_1 \quad T_1 \quad y_1 &= k_1 x_1 + k_1 x_2 + k_1 \\ I_2 \quad x_1 \text{ is } A_2 \text{ and } x_2 \text{ is } B_2 \quad T_2 \quad y_2 &= k_2 x_1 + k_2 x_2 + k_2 \end{aligned} \quad (2)$$

Keterangan :

- y_i = σ
- $k_{i,j}$ = parameter konsekuen



Gambar 3. Arsitektur ANFIS

Berikut diberikan penjelasan dari masing-masing *layer*:

1. *Layer 1*

Semua *node* pada *layer* ini adalah *node* adaptif, fungsi *node* ini terdapat pada Persamaan 3.

$$\begin{aligned} O_{1,i} &= \mu A_i(x), \quad i = 1,2, \bar{a} \\ O_{1,i} &= \mu B_{i-\bar{a}}(y), \quad i = 3,4 \end{aligned} \quad (3)$$

x dan y adalah *input* pada *node* i , A_i atau $(B_{i-\bar{a}})$ adalah fungsi keanggotaan masing-masing *node*.

2. *Layer 2*

Pada *layer* ini semua *node* non-adaptif. *Node* ini berfungsi untuk mengalikan setiap sinyal *input* yang masuk. Persamaan 4 merupakan bentuk fungsi *node* ini.

$$O_{2,i} = w_i = \mu A_i(x) \mu B_i(y), \quad i = 1,2 \quad (4)$$

Nilai *firing strength* dari setiap aturan *fuzzy* dinyatakan pada setiap *output node*. Fungsi ini dapat diperluas jika terdapat lebih dari dua himpunan *fuzzy* pada bagian premis. Banyaknya *node* pada *layer* ini menyatakan banyaknya aturan yang dibentuk.

3. *Layer 3*

Semua *node* pada *layer* ini merupakan *node* non-adaptif. Dan *node* pada *layer* ini merupakan fungsi *normalized firing strength* yaitu pembagian *output node* ke- i pada *layer* sebelumnya dengan seluruh *output layer* sebelumnya. Persamaan 5 merupakan bentuk fungsi dari *node* ini.

$$O_{3,i} = \bar{w}_i = \frac{w_i}{w_1 + w_2}, \quad i = 1,2 \quad (5)$$

Jika terdapat lebih dari dua aturan yang terbentuk, fungsi ini dapat diperluas dengan membagi w_i dengan jumlah total w bagi seluruh aturan.

4. *Layer 4*

Semua *node* pada *layer* ini adalah *node* adaptif. Persamaan 6 merupakan bentuk dari fungsi *node* ini

$$O_{4,i} = \bar{w}_i f_i = \bar{w}_i (k_{i1} x_1 + k_{i2} x_2 + k_{i0}) \quad (6)$$

Parameter k_{i1}, k_{i2}, k_{i0} merupakan parameter konsekuen yang adaptif dan \bar{w}_i adalah *normalized firing strength* dari *layer* 3.

5. *Layer 5*

Pada *layer* ini terdapat satu *node* tetap yang berfungsi untuk memperoleh *output* jaringan dengan cara menjumlahkan semua sinyal yang masuk. Fungsi *node* seperti pada Persamaan 7.

$$O_{5,i} = \sum_i \bar{w}_i f_i = \frac{\sum_i w_i f_i}{\sum_i w_i} \quad (7)$$

Sistem inferensi *fuzzy* TSK ekuivalen dengan seluruh *layer* pada ANFIS pada jaringan adaptif [14].

Least Square Estimator (LSE)

Pada Persamaan 8 diberikan permisalan *output* model linear y .

$$y = k_1 f_1(x) + k_2 f_2(x) + \dots + k_n f_n(x) \quad (8)$$

Keterangan:

- y = vektor o , $[y_1, y_2, \dots, y_m]^T$
- x = vektor i , $[x_1, x_2, \dots, x_p]^T$
- f_n = fungsi dari x

k_n = parameter yang akan diestimasi

Jika dinyatakan dalam notasi matriks adalah sebagai berikut:

$$\mathbf{A} = \mathbf{y} \tag{9}$$

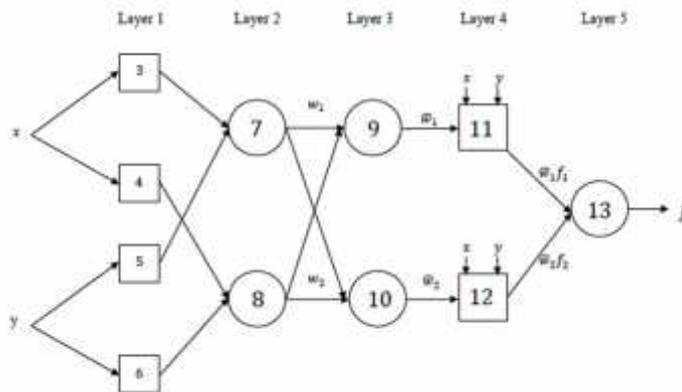
Penduga untuk nilai k , yang dapat meminimalkan *error* atau $\|\mathbf{y} - \mathbf{A}\|^2$ adalah *least square estimator* (LSE) k :

$$\mathbf{k} = (\mathbf{A}^T \mathbf{A})^{-1} \mathbf{A}^T \mathbf{y} \tag{10}$$

Dimana $\mathbf{A}^T \mathbf{A}$ adalah matriks non-singular [14].

Model Propagasi Error

Pelatihan jaringan adaptif dilakukan guna memperoleh *update* dari nilai parameter premis \mathbf{a} dan \mathbf{c} . Model propagasi *error* dengan konsep *steepest descent* digunakan untuk perbaikan dari parameter premis \mathbf{a} dan \mathbf{c} tersebut. Pada kelima *layer* dalam arsitektur ANFIS masing-masing memiliki rumus *error*. Pada tiap *layer* akan dicari rumus-rumus *error*-nya, alur arsitektur propagasi *error* terdapat pada Gambar 4. [15]



Gambar 4. Propagasi Error pada Arsitektur ANFIS

Error pada layer 5

Persamaan 11 menunjukkan propagasi *error* yang mengarah pada *layer* 5.

$$\varepsilon_1 = \frac{\partial E_F}{\partial x_1} = -2(d_1 - x_1) = -2(y_p - y_p^f) \tag{11}$$

Dengan y_p ialah *output target* data *training* ke- p , y_p^f adalah *output* jaringan pada data *training* ke- p , dan E_F merupakan jumlah kuadrat *error* (SSE) pada *layer* kelima.

Error pada layer 4

Pada Persamaan 12 dan Persamaan 13 menunjukkan *neuron* 11 dan 12 yang merupakan propagasi *error* yang mengarah pada *layer* ke-4.

$$\varepsilon_1 = \varepsilon_1 \left(\frac{\partial f_1}{\partial x_1} \right) = \varepsilon_1 (1) = \varepsilon_1 \tag{12}$$

Karena $f_1 = \overline{w}_1 f_{11} + \overline{w}_2 f_{12}$, maka $\frac{\partial f_1}{\partial (\overline{w}_1 f_{11})} = 1$.

$$\varepsilon_1 = \varepsilon_1 \left(\frac{\partial f_1}{\partial x_1} \right) = \varepsilon_1 (1) = \varepsilon_1 \tag{13}$$

Karena $f_1 = \overline{w}_1 f_{11} + \overline{w}_2 f_{12}$, maka $\frac{\partial f_1}{\partial (\overline{w}_2 f_{12})} = 1$.

Error pada layer 3

Pada Persamaan 14 dan Persamaan 15 menunjukkan *neuron* 9 dan 10 yang merupakan propagasi *error* yang mengarah pada *layer* ke-3.

$$\epsilon_j = \epsilon_1 \left(\frac{\partial f_1}{\partial x_j} \right) = \epsilon_1 f_1 \tag{14}$$

Karena $f_1 = \bar{w}_1 f_1$, maka $\frac{\partial f_1}{\partial w_1} = f_1$

$$\epsilon_1 = \epsilon_1 \left(\frac{\partial f_1}{\partial x_1} \right) = \epsilon_1 f_2 \tag{15}$$

Karena $f_1 = \bar{w}_2 f_2$, maka $\frac{\partial f_1}{\partial w_2} = f_2$.

Error pada layer 2

Pada Persamaan 16 dan Persamaan 17 menunjukkan *neuron* 7 dan 8 yang merupakan propagasi *error* yang mengarah pada *layer* ke-2, yaitu.

$$\epsilon_j = \frac{w_2}{(w_1 + w_2)^2} (\epsilon_j - \epsilon_1) \tag{16}$$

$$\epsilon_e = \frac{w_1}{(w_1 + w_2)^2} (\epsilon_1 - \epsilon_j) \tag{17}$$

Error pada layer 1

Pada Persamaan 18, Persamaan 19, Persamaan 20, dan Persamaan 21 menunjukkan *neuron* 3, 4, 5, dan 6 yang merupakan propagasi *error* yang mengarah pada *layer* ke-1.

Karena $f_j = w_1 = \mu_{A1}(x_1) \cdot \mu_{B1}(x_2)$, $f_e = w_2 = \mu_{A2}(x_1) \cdot \mu_{B2}(x_2)$, $f_3 = A_1$, $f_4 = A_2$, $f_5 = B_1$, $f_6 = B_2$, maka :

$$\epsilon_3 = \epsilon_j \left(\frac{\partial f_j}{\partial x_3} \right) = \epsilon_j \mu_{B1}(x_2) \tag{18}$$

$$\epsilon_4 = \epsilon_e \left(\frac{\partial f_e}{\partial x_4} \right) = \epsilon_e \mu_{B2}(x_2) \tag{19}$$

$$\epsilon_5 = \epsilon_j \left(\frac{\partial f_j}{\partial x_5} \right) = \epsilon_j \mu_{A1}(x_1) \tag{20}$$

$$\epsilon_6 = \epsilon_e \left(\frac{\partial f_e}{\partial x_6} \right) = \epsilon_e \mu_{A2}(x_1) \tag{21}$$

Selanjutnya, *error* yang diperoleh itu dipakai untuk mencari nilai *error* dari parameter *a* dan *c*, dengan mengacu pada Persamaan 22 dan Persamaan 23.

$$\epsilon_a = \frac{2(x_i - c_{ij})^2}{a_{ij}^2 \left(1 + \left(\frac{x_i - c_{ij}}{a_{ij}} \right)^2 \right)^2} \epsilon_i \tag{22}$$

Dan

$$\epsilon_c = \frac{2(x_i - c_{ij})^2}{a_{ij}^3 \left(1 + \left(\frac{x_i - c_{ij}}{a_{ij}} \right)^2 \right)^2} \epsilon_i \tag{23}$$

Berdasarkan persamaan tersebut, nilai perubahan dari parameter a_{ij} dan c_{ij} (a_{ij} dan c_{ij}) dapat diperoleh dengan Persamaan 24.

$$a_{ij} = \eta \epsilon_a, \text{ dan } c_{ij} = \eta \epsilon_c x_i \tag{24}$$

Dengan η adalah nilai *learning rate* yang terletak di interval [0,1] dengan demikian nilai *update* dari parameter premis a_{ij} dan c_{ij} dapat dihitung dengan Persamaan 25 dan Persamaan 26.

$$a_{ij} = a_{ij}(t_{n-1}) + \eta \delta_{ij}, \text{ dan} \quad (25)$$

$$c_{ij} = c_{ij}(t_{n-1}) + \eta \delta_{ij} \quad (26)$$

Algoritma Pembelajaran *Hybrid*

Saat nilai dari parameter premis tetap, bentuk arsitektur ANFIS ditunjukkan pada Gambar 3, keseluruhan *output* dinyatakan sebagai kombinasi linear dari parameter konsekuen, yang dapat dituliskan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} f &= \frac{w_1}{w_1 + w_2} f_1 + \frac{w_2}{w_1 + w_2} f_2 \\ &= \bar{w}_1(p_1x + q_1y + r_1) + \bar{w}_2(p_2x + q_2y + r_2) \\ &= (\bar{w}_1x)p_1 + (\bar{w}_1y)q_1 + (\bar{w}_1)r_2 + (\bar{w}_2x)p_2 + (\bar{w}_2y)q_2 + (\bar{w}_2)r_2 \end{aligned} \quad (27)$$

adalah linear pada parameter konsekuen $p_1, q_1, r_1, p_2, q_2,$ dan r_2 .

Parameter-parameter konsekuen $p_k, q_k,$ dan r_k diatur oleh algoritma pembelajaran *hybrid* secara maju (*forward*), dan parameter-parameter premis $a, b,$ dan c diatur oleh algoritma pembelajaran *hybrid* secara mundur (*backward*) [14].

Tabel 1. Prosedur Pembelajaran *Hybrid* metode ANFIS

	Arah Maju	Arah Mundur
Parameter Premis	Tetap	<i>Steepest descent</i>
Parameter Konsekuen	<i>Least square estimator</i>	Tetap
Sinyal	Keluaran <i>neuron</i>	Sinyal <i>error</i>

Berdasarkan penjelasan teori pendukung di atas, secara umum tahapan yang dilakukan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Analisis deskriptif terhadap variabel inflasi (x_1), uang beredar (x_2), dan indeks harga konsumen (IHK) (y).
2. Perancangan dan pelatihan model ANFIS menggunakan data *training*. Pada proses ini diterapkan algoritma pembelajaran *hybrid* untuk mengatur parameter-parameter yang ada di dalam ANFIS, parameter-parameter konsekuen $p_k, q_k,$ dan r_k diatur oleh algoritma pembelajaran *hybrid* secara maju (*forward*) dengan LSE, dan parameter-parameter premis $a, b,$ dan c diatur oleh algoritma pembelajaran *hybrid* secara mundur (*backward*) menggunakan model propagasi *error* dengan konsep *steepest descent*.
 - a. Normalisasi data menggunakan normalisasi *min-max*.
 - b. *Clustering* menggunakan *K-Medoids*. Tujuan proses *clustering* adalah untuk mengelompokan data kedalam beberapa *cluster*.
 - c. Denormalisasi data hasil *clustering*.
 - d. Hitung rata-rata (*mean*) dan standar deviasi dari tiap *cluster* yang terbentuk sebagai parameter premis untuk *input* fungsi *generalized bell*.
 - e. Alur Maju (*forward*)
 - 1) *Layer 1* : Dengan menggunakan *generalized bell membership function* pada Persamaan 1, hitung derajat keanggotaan.
 - 2) *Layer 2* : Hitung nilai *fire strength* dengan menggunakan Persamaan 4.

- 3) *Layer 3* : Normalisasi pada nilai *fire strength* menggunakan Persamaan 5.
 - 4) *Layer 4* : Menduga nilai parameter konsekuen menggunakan Algoritma LSE, selanjutnya hitung *output* lapisan ke-4 (*defuzzyfikasi*) dengan menggunakan Persamaan 6.
 - 5) *Layer 5* : Menghitung nilai *output* jaringan dengan menggunakan Persamaan 7.
- f. Jika nilai *error* yang diperoleh lebih besar dari nilai *error* yang diharapkan, maka dilakukan tahapan alur mundur (*backward*) dengan model propagasi *error* dengan konsep *steepest descent* untuk memperbaiki parameter premis.
- 1) Hitung propagasi *error layer 5* menggunakan Persamaan 11.
 - 2) Hitung propagasi *error layer 4* menggunakan Persamaan 12 dan 13.
 - 3) Hitung propagasi *error layer 3* menggunakan Persamaan 14 dan 15
 - 4) Hitung propagasi *error layer 2* menggunakan Persamaan 16 dan 17
 - 5) Hitung propagasi *error layer 1* menggunakan Persamaan 18, 19, 20, dan 21
 - 6) Hitung *error* dari parameter premis menggunakan Persamaan 22 dan 23
 - 7) Hitung perubahan dari parameter premis menggunakan Persamaan 24
 - 8) Hitung nilai parameter premis yang baru menggunakan Persamaan 25 dan 26
- g. Bandingkan nilai *output* aktual dengan *output* yang terbentuk, kemudian hitung nilai *error*-nya menggunakan RMSE.
3. Pengujian model ANFIS yang telah dibentuk pada proses pelatihan untuk data *testing* . Kemudian dihitung nilai *error*-nya menggunakan RMSE.

3. Hasil dan Pembahasan

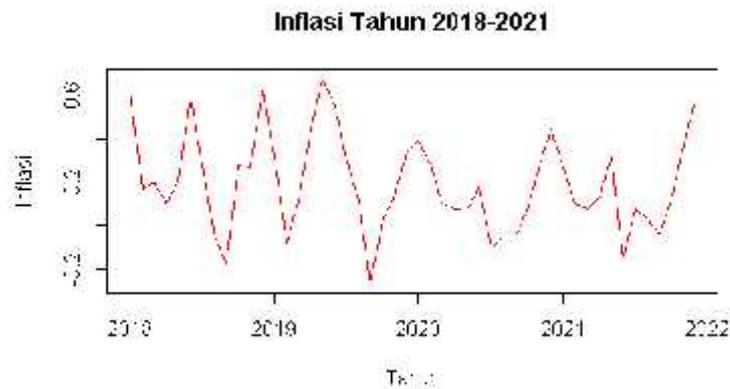
3.1 Analisis Deskriptif

Dalam Tabel 2 disajikan analisis deskriptif dari variabel-variabel data yang digunakan.

Tabel 2. Analisis Deskriptif Data

	Inflasi (Persen)	Uang Beredar (Milyar Rupiah)	Indeks Harga Konsumen (IHK)
Jumlah Data	48	48	48
Mean	0.1948	650672	120.7
Standar Deviasi	0.2250578	73302.85	15.18691
Min	-0.27	531209	104.3
Max	0.68	831234	139.1

Berikut ini akan diberikan plot datanya:



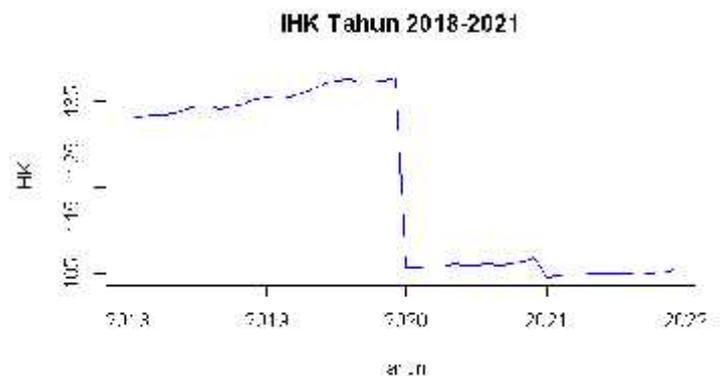
Gambar 1. Plot Data Deret Waktu Inflasi Tahun 2018-2022

Pada Gambar 5 terlihat bahwa perkembangan inflasi pada Januari 2018 sampai Desember 2021 mengalami fluktuatif. Perkembangan inflasi tertinggi yaitu sebesar 0.68% pada bulan Mei 2019 dan terendah sebesar -0.27% pada bulan September 2019.



Gambar 2. Plot Deret Waktu Data Uang Beredar Tahun 2018-2021

Pada Gambar 6 terlihat bahwa jumlah uang beredar mengalami kenaikan dari tahun ke tahun. Pada Januari 2018 jumlah uang beredar sebesar Rp. 531.209 milyar dan pada observasi terakhir yaitu pada Desember 2021 jumlah uang beredar sebesar Rp. 831.234 milyar.



Gambar 3. Plot Deret Waktu Data IHK Tahun 2018-2021

Pada Gambar 7 data indeks harga konsumen dari bulan Januari 2018 sampai Desember 2019 mengalami kenaikan, lalu mengalami penurunan pada Desember 2019 sampai Januari 2020. Kemudian pada Januari 2020 sampai Desember 2020 indeks harga konsumen mengalami kenaikan kembali, dan mengalami penurunan di Desember 2020 sampai Januari 2021. Dan mengalami kenaikan kembali pada Januari 2021 sampai Desember 2021. Hal ini terjadi karena dipengaruhi oleh perbedaan tahun dasar perhitungan yang digunakan. Pada tahun 2018-2019 digunakan perhitungan dengan tahun dasar (2018=100), sedangkan pada 2020-2021 perhitungan dengan tahun dasar (2020=100).

3.2 Pelatihan Model ANFIS

Pelatihan Model ANFIS dengan 2-cluster

Berikut adalah hasil dari nilai *mean* dan standar deviasi yang diperoleh dari hasil *clustering* data menggunakan *k-medoids*.

Tabel 3. Parameter Premis Fungsi *Generalized Bell* untuk 2-cluster

<i>Input</i>	<i>s (a)</i>	<i>b</i>	<i>Mean (c)</i>
<i>Input mf1 (A₁)</i>	0.211394	1	0.2804
<i>Input mf2 (A₂)</i>	0.205131	1	0.101739
<i>Input mf3 (B₁)</i>	34985.47	1	596687.6
<i>Input mf4 (B₂)</i>	56857.07	1	709350.2

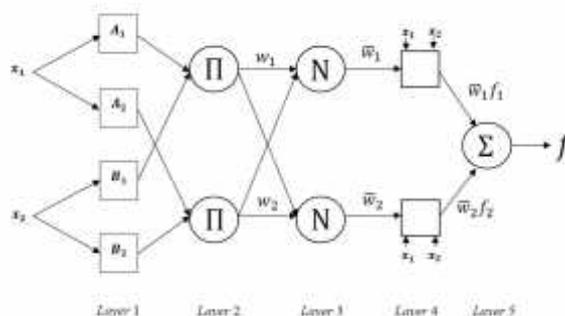
Parameter premis tersebut digunakan untuk menghitung nilai derajat keanggotaan *generalized bell*, secara matematis persamaan fungsi keanggotaan yang dimiliki oleh setiap input berdasarkan parameter premis untuk fungsi keanggotaan *generalized bell* tersaji pada Tabel 4.

Tabel 4. Persamaan Fungsi *Generalized Bell* untuk 2-cluster

No	Persamaan
1	$\mu_{A_1}(x_1) = \frac{1}{1 + \left \frac{x_1 - 0.2804}{0.211394} \right ^{2(1)}}$
2	$\mu_{A_2}(x_1) = \frac{1}{1 + \left \frac{x_1 - 0.101739}{0.205131} \right ^{2(1)}}$
3	$\mu_{B_1}(x_2) = \frac{1}{1 + \left \frac{x_2 - 596687.6}{34985.47} \right ^{2(1)}}$

$$4 \quad \mu_{B_2}(x_2) = \frac{1}{1 + \left| \frac{x_2 - 709350.2}{56857.07} \right|^{2(1)}}$$

Nilai derajat keanggotaan yang diperoleh dengan persamaan fungsi keanggotaan generalized bell pada Tabel 4, selanjutnya akan masuk ke *layer-layer* ANFIS selanjutnya dan diperoleh hasil *output* prediksinya. Gambar 8 merupakan desain arsitektur jaringan ANFIS dengan 2 *cluster* dan 2 variabel *input* yaitu inflasi (x_1) dan uang beredar (x_2).



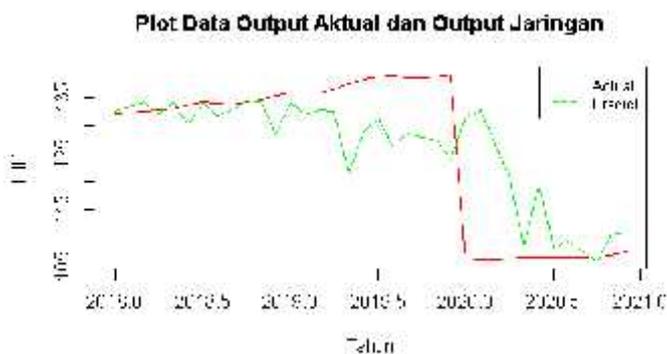
Gambar 4. Desain Arsitektur ANFIS dengan 2 Variabel *Input* dan 2-*cluster*

Model yang diperoleh pada pelatihan ANFIS dengan 2 Variabel *Input* pada 2-*cluster* adalah sebagai berikut.

$$I \mid x_1 \text{ is } A_1 \text{ and } x_2 \text{ is } B_1 \mid T \quad y_1 = -13.3x_1 + 0.0000348x_2 + 160.01$$

$$I \mid x_1 \text{ is } A_2 \text{ and } x_2 \text{ is } B_2 \mid T \quad y_2 = 19.34x_1 - 0.0000834x_2 + 162.031$$

Perbandingan hasil *output* aktual dengan *output* jaringan terlihat pada Gambar 9.



Gambar 5. Plot Data *Output* Aktual dan *Output* Jaringan untuk 2-*cluster*

Perhitungan nilai RMSE adalah sebagai berikut.

$$R = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (y_i - \bar{y}_i)^2}{N}} = \sqrt{\frac{3626.57}{48}} = 8.692$$

Sehingga diperoleh nilai RMSE pada tahap pelatihan untuk 2 *cluster* yaitu sebesar 8.692

Pelatihan Model ANFIS dengan 3-*cluster*

Berikut adalah hasil dari nilai *mean* dan standar deviasi yang diperoleh dari hasil *clustering* data menggunakan *k-medoids*.

Tabel 5. Parameter Premis Fungsi *Generalized Bell* untuk 3-cluster

<i>Input</i>	a	b	c
<i>Input mf1 (A₁)</i>	0.165647	1	0.385294
<i>Input mf2 (A₂)</i>	0.129332	1	0.004667
<i>Input mf3 (A₃)</i>	0.189542	1	0.170625
<i>Input mf4 (B₁)</i>	38867.55	1	596910.7
<i>Input mf5 (B₂)</i>	37065.09	1	618004.2
<i>Input mf5 (B₃)</i>	37244.26	1	738418.6

Parameter premis tersebut digunakan untuk menghitung nilai derajat keanggotaan *generalized bell*, secara matematis persamaan fungsi keanggotaan yang dimiliki oleh setiap input berdasarkan parameter premis untuk fungsi keanggotaan *generalized bell* tersaji pada Tabel 6.

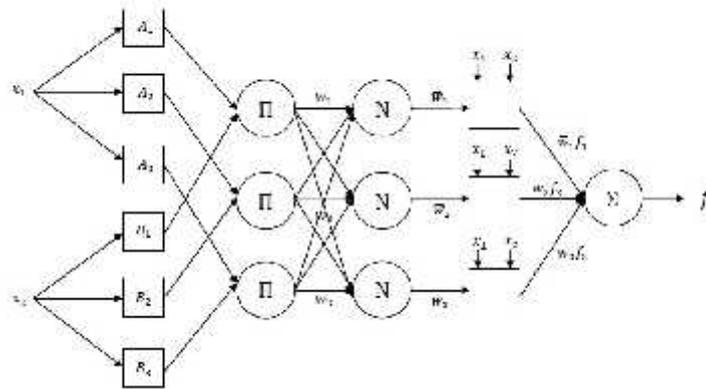
Tabel 6. Parameter Premis Fungsi *Generalized Bell* untuk 3-cluster

No	Persamaan
1	$\mu A_1(x_1) = \frac{1}{1 + \left \frac{x_1 - 0.385294}{0.165647} \right ^{z(1)}}$
2	$\mu A_2(x_1) = \frac{1}{1 + \left \frac{x_1 - 0.004667}{0.129332} \right ^{z(1)}}$
3	$\mu A_3(x_1) = \frac{1}{1 + \left \frac{x_1 - 0.170625}{0.189542} \right ^{z(1)}}$
3	$\mu B_1(x_2) = \frac{1}{1 + \left \frac{x_2 - 596910.7}{38867.55} \right ^{z(1)}}$

$$4 \quad \mu_{B_2}(x_2) = \frac{1}{1 + \left| \frac{x_2 - 618004.2}{37065.09} \right|^2(1)}$$

$$5 \quad \mu_{B_3}(x_2) = \frac{1}{1 + \left| \frac{x_2 - 738418.6}{37244.26} \right|^2(1)}$$

Berikut disajikan pada Gambar 10 merupakan desain arsitektur jaringan ANFIS dengan 3 cluster dan 2 variabel input yaitu Inflasi (x_1) dan Uang Beredar (x_2).



Gambar 6. Desain Arsitektur ANFIS dengan 2 Variabel Input dan 3-cluster

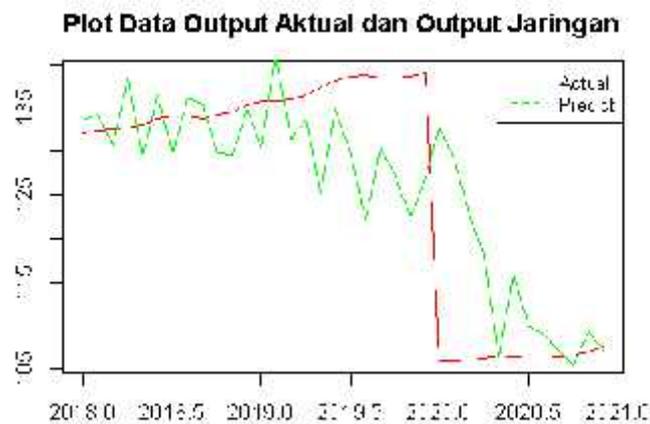
Nilai derajat keanggotaan yang diperoleh dengan persamaan fungsi keanggotaan generalized bell pada Tabel diatas, selanjutnya akan masuk ke *layer-layer* ANFIS selanjutnya dan diperoleh hasil *output* prediksinya. Gambar 6 merupakan desain arsitektur jaringan ANFIS dengan 3 cluster dan 2 variabel input yaitu inflasi (x_1) dan uang beredar (x_2).

$$I. (x_1 \text{ is } A_1) A \quad (x_2 \text{ is } B_1) T \quad y_1 = 24.11811x_1 + 0.0000935x_2 + 68.69759$$

$$I. (x_1 \text{ is } A_2) A \quad (x_2 \text{ is } B_2) T \quad y_2 = -25.5365x_1 - 0.00044x_2 + 395.3592$$

$$I. (x_1 \text{ is } A_3) A \quad (x_2 \text{ is } B_3) T \quad y_3 = -11.8693x_1 - 0.000093x_2 + 175.5792$$

Perbandingan hasil *output* aktual dengan *output* jaringan terlihat pada Gambar 11.



Gambar 7. Plot Data Output Aktual dan Output Jaringan untuk 3-cluster

Perhitungan nilai RMSE adalah sebagai berikut.

$$R = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (y_i - \bar{y}_i)^2}{N}} = \sqrt{\frac{3208.457}{48}} = 8.175748$$

Sehingga diperoleh nilai RMSE pada tahap pelatihan untuk 3 cluster yaitu sebesar 8.175748.

3.3 Pengujian Model ANFIS

Pada tahap ini dilakukan pengujian model ANFIS yang sebelumnya telah dilatih pada tahap pelatihan terhadap data *testing*. Data *testing* yang digunakan adalah data inflasi, uang beredar dan indeks harga konsumen (IHK) pada Januari 2022- Juni 2022.

Tabel 7. Data *Testing*

Tahun	Bulan	Input		Output
		Inflasi	Uang Beredar	IHK
2022	Januari	0.56	765015.1	108.26
	Februari	-0.02	795951.1	108.24
	Maret	0.66	792518.4	108.95
	April	0.95	896317.7	109.98
	Mei	0.4	820154.7	110.42
	Juni	0.61	815316.1	111.09

Evaluasi Model ANFIS

Pada tahap ini akan dilakukan proses evaluasi model ANFIS untuk prediksi data IHK. Pada penelitian ini menggunakan RMSE sebagai hasil akurasi dari proses pengujian. Pada proses evaluasi ini akan dibandingkan pengaruh dari beberapa nilai *learning rate* dan iterasi terhadap RMSE dalam proses pelatihan ANFIS pada 48 data *training*. Pada Tabel 8 berikut merupakan hasil dari perancangan program menggunakan program R.

Tabel 8. Evaluasi Model ANFIS terhadap RMSE

Jumlah Iterasi	Nilai RMSE Learning Rate								
	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
2-cluster									
10	8.692	8.692	8.692	8.692	8.692	8.692	8.692	8.692	8.692
50	8.692	8.692	8.692	8.692	8.692	8.692	8.692	8.692	8.692
100	8.692	8.692	8.692	8.692	8.692	8.692	8.692	8.692	8.692
500	8.692	8.692	8.692	8.692	8.692	8.692	8.692	8.692	8.692
1000	8.692	8.692	8.692	8.692	8.692	8.692	8.692	8.692	8.692
3-cluster									
10	8.176	8.176	8.176	8.176	8.176	8.176	8.176	8.176	8.176
50	8.176	8.176	8.176	8.176	8.176	8.176	8.176	8.176	8.176

100	8.176	8.176	8.176	8.176	8.176	8.176	8.176	8.176	8.176
500	8.176	8.176	8.176	8.176	8.176	8.176	8.176	8.176	8.176
1000	8.176	8.176	8.176	8.176	8.176	8.176	8.176	8.176	8.176

Dari proses pelatihan dengan beberapa nilai *learning rate* dan iterasi, ternyata untuk setiap nilai *learning rate* dan iterasi yang digunakan tidak memberikan perubahan pada nilai RMSE. Oleh karena itu, proses pengujian terhadap data testing pada langkah berikutnya akan menggunakan parameter-parameter ANFIS yang diperoleh pada proses pelatihan sebelumnya dengan nilai *learning rate* yang dipilih adalah 0,1.

Pengujian Model ANFIS pada data testing

Pada pengujian ini akan dilakukan pengujian model ANFIS pada 2-*cluster* dan 3-*cluster* dengan menggunakan data *testing*. Pada penelitian ini menggunakan RMSE sebagai hasil akurasi dari proses pengujian. Berikut nilai RMSE yang diperoleh dengan menggunakan bantuan program R.

Tabel 9. Nilai RMSE pada Proses Pengujian

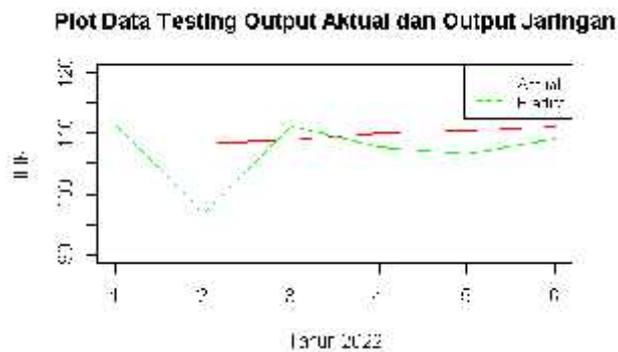
Jumlah Cluster	RMSE
2	5.29907
3	7.949469

Dari Tabel 9 terlihat bahwa model ANFIS pada 2-*cluster* memberikan tingkat akurasi prediksi yang terbaik yaitu 5,29907. Hasil *output* dari proses *testing* terdapat pada Tabel 10.

Tabel 10. Hasil Prediksi Data Testing

Tahun	Bulan	Output Aktual	Output Jaringan
2022	Januari	108.26	111.58143
	Februari	108.24	96.83695
	Maret	108.95	111.10774
	April	109.98	107.81424
	Mei	110.42	106.63480
	Juni	111.09	109.15470

Hasil prediksi IHK menggunakan metode ANFIS sudah cukup baik dengan nilai RMSE yang dihasilkan sebesar 5,29907. Perbandingan hasil *output* aktual dengan *output* jaringan terlihat pada Gambar 12.



Gambar 8. Plot Data *Testing Output* Aktual dan *Output Jaringan*

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis serta pembahasan didapatkan beberapa kesimpulan berikut.

1. Proses prediksi IHK dengan metode ANFIS dilakukan dengan cara mengelompokkan data dengan menggunakan algoritma K-Medoids dengan dua skenario banyaknya cluster yang dibentuk. Dari kedua skenario tersebut yaitu *cluster 2* dan *cluster 3*, model ANFIS yang terbaik adalah model ANFIS dengan arsitektur yang terbentuk dari 2-cluster sehingga fungsi keanggotaan *generalized bell* yang digunakan adalah sebagai berikut.

$$\mu_{A_1}(x_1) = \frac{1}{1 + \left| \frac{x_1 - 0.2804}{0.211394} \right|^{2(1)}}$$

$$\mu_{A_2}(x_1) = \frac{1}{1 + \left| \frac{x_1 - 0.101739}{0.205131} \right|^{2(1)}}$$

$$\mu_{B_1}(x_2) = \frac{1}{1 + \left| \frac{x_2 - 596687.6}{34985.47} \right|^{2(1)}}$$

$$\mu_{B_2}(x_2) = \frac{1}{1 + \left| \frac{x_2 - 709350.2}{56857.07} \right|^{2(1)}}$$

2. Berdasarkan hasil pelatihan dengan cara menghitung *output layer 1* sampai 5 dengan fungsi keanggotaan yang telah didapatkan dan melakukan perbaikan parameter premis dengan model propagasi error, kemudian diperoleh parameter premis dan parameter konsekuen yang selanjutnya digunakan dalam proses pengujian model ANFIS. Proses pengujian dengan cara menghitung *output layer 1* sampai 5 menggunakan parameter premis dan parameter konsekuen yang diperoleh dari proses pelatihan, kemudian dari kedua skenario arsitektur model ANFIS dan dibandingkan nilai RMSEnya diperoleh model ANFIS yang terbaik adalah model ANFIS dengan 2-cluster dengan aturan inferensi *fuzzy Takagi Sugeno* yang diperoleh sebagai berikut.

$$I. \ x_1 \text{ is } A_1 \text{ and } x_2 \text{ is } B_1 \text{ then } y_1 = -13.3x_1 + 0.0000348x_2 + 160.01$$

$$II. \ x_1 \text{ is } A_2 \text{ and } x_2 \text{ is } B_2 \text{ then } y_2 = 19.34x_1 - 0.0000834x_2 + 162.031$$

Hasil prediksi data IHK dengan variabel *input* Inflasi dan Uang Beredar dengan menggunakan metode ANFIS cukup mendekati dengan data aktual, dengan tingkat akurasi atau nilai RMSE yang diperoleh sebesar 5,29907. Dengan kasus data IHK yang nilainya berubah cukup jauh pada awal tahun 2020 yang diakibatkan oleh perbedaan

tahun dasar perhitungan nilai IHK, hasil ramalan dengan model ANFIS ini sudah cukup mengikuti dengan data aktualnya, ini sudah cukup menunjukkan bahwa metode ANFIS cocok untuk diterapkan untuk menyelesaikan kasus prediksi IHK.

Daftar Pustaka

- [1] BPS, *Data Strategis BPS*. Jakarta: Badan Pusat Statistik, 2013.
- [2] G. P. N. Hakim, D. Septiyana, A. Firdausi, F. R. I. Mariati, and S. Budianto, *Sistem Fuzzy. Panduan Lengkap Aplikatif*. Yogyakarta: Penerbit Andi, 2021.
- [3] M. I. Azhar and W. F. Mahmudy, "Prediksi Curah Hujan Menggunakan Adaptive Neuro Fuzzy Inference System (ANFIS)," *J. Pengemb. Teknol. Inf. dan Ilmu Komput.*, vol. 2, no. 11, pp. 4932–4939, 2018.
- [4] S. A. Harahap and S. N. Endah, "Penerapan Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System untuk Prediksi Nilai Tukar Rupiah," *J. Masy. Inform.*, vol. 10, no. 1, pp. 37–47, 2018.
- [5] N. Adli, A. Darmawand, D. E. Ratnawati, and R. S. Perdana, "Prediksi Suku Bunga Acuan (BI Rate) Menggunakan Metode Adaptive Neuro Fuzzy Inference System (ANFIS)," *J. Pengemb. Teknol. Inf. dan Ilmu Komput.*, vol. 2, no. 1, pp. 73–80, 2018.
- [6] A. Virrayyani and Sutikno, "Prediksi Penjualan Barang Menggunakan Metode Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System (ANFIS)," *KHAZANAH Inform.*, vol. II, no. 2, pp. 57–63, 2016.
- [7] Y. Nurvitasari and Irhamah, "Pendekatan Fungsi Transfer Sebagai Input Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System (ANFIS) dalam Peramalan Kecepatan Angin Rata-rata Harian di Sumenep," *J. Sains dan Seni ITS*, vol. 1, no. 1, pp. 62–68, 2012.
- [8] D. N. Istiqomah, *Implementasi Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System (ANFIS) dan ARIMA untuk Peramalan Time Series (Skripsi)*. Bandar Lampung, 2021.
- [9] Mutmainah, *Prediksi indeks Harga Konsumen di Kota Denpasar-Bali menggunakan Metode Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System ANFISs*. 2021.
- [10] Hendri, "Aplikasi Adaptive Neuro Fuzzy Inference System Pemilihan Siswa Mengikuti Lomba Olimpiade," *J. Inform.*, vol. III, no. 1, pp. 63–72, 2016.
- [11] A. Muzani, M. I. A. Sukri, S. N. Fauziah, W. M. Pradnya, and A. Suyonto, "Algoritma Adaptive Neuro Fuzzy Inference System untuk Perkiraan Intensitas Curah Hujan," in *Prosiding Seminar Nasional Sistem Informasi dan Teknologi (SISFOTEK) ke 5*, pp. 102–106. 2021.
- [12] Y. T. Nugraha, K. Ghabriel, and I. F. Dharmawan, "Implementasi ANFIS dalam Prakiraan Konsumsi Energi Listrik di Kota Medan pada Tahun 2030," *J. Rekayasa Elektr. dan Energi*, vol. 4, no. 1, pp. 55–59, 2021.
- [13] I. M., S. Masi, D. Caniani, and D. S., "Fuzzy Logic and Neuro-Fuzzy Networks for Environmental Hazard Assessment," *Fuzzy Log. - Emerg. Technol. Appl.*, no. March, 2012.
- [14] J.-S. R. Jang, C.-T. Sun, and E. Mizutani, "Neuro-Fuzzy and Soft Computing: A Computational Approach to Learning and Machine Learning." Prentice-Hall, Inc, London, 1997.
- [15] Suyanto, *Soft Computing*. Bandung, Indonesia: Informatika, 2008.