

# Desain Arsitektur Teknik Cerdas Hibrid untuk Identifikasi dan Klasifikasi Gangguan di Sistem Distribusi

Yoldi Yuwandira, Azriyenni Azahri Zakri

Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Riau  
Kampus Bina Widya Km 12,5 Simpang Baru Panam, Pekanbaru 28293  
Jurusan Teknik Elektro Universitas Riau

Email: [yoldi.y@gmail.com](mailto:yoldi.y@gmail.com)

## ABSTRACT

*This paper presented a method of adaptive neuro fuzzy inference system (ANFIS) for classified short circuit faults in power distribution line at PT. Chevron Pacific Indonesia (CPI) in Bangko which has 4 branch line which are divided into BKO1, BKO2, BKO3 dan BKO4 with the length of each line are 30 Km, 25 Km, 25 Km dan 30 Km. Fault classification can improve the reliability of the power system. It needs quicken repair process and also reduces the possibility of equipment damage. The power distribution line is modeled using ETAP software. Short circuit types that simulated are phase to ground (F-T), phase to phase (F-F), phase to phase to ground (F-F-T), and three-phase (F-F-F). The ANFIS design is constructed using Matlab GUI 2016a version toolbox. Input data for this ANFIS design are short circuit value which is fed by three phases of voltage and current. The result of the simulations and data testing obtained Root Mean Square Error (RMSE) value for each line in Bangko PT. CPI with each membership function of GaussMF and GBellMF are 0.00046435% and 0.00029686% for BKO1, 0.000021651% and 0.00048023% for BKO2, 0.00021065% and 0.00029155% for BKO3, and then 0.0001479% and 0.00025739% for BKO4 respectively.*

*Keywords: ANFIS, fault classifier, membership function, power distribution, short circuit faults*

## PENDAHULUAN

Di Indonesia, telah terjadi pertumbuhan yang signifikan pada jaringan listrik yang mengarah pada penambahan sejumlah besar jaringan transmisi dan distribusi. Kedua jenis jaringan memiliki peran penting dalam menyalurkan listrik kepada konsumen, oleh karena itu diperlukan proteksi dalam rangka meminimalisir gangguan yang berpotensi mengganggu penyaluran listrik ke konsumen.

PT. Chevron Pacific Indonesia (CPI) yang bergerak dibidang eksplorasi minyak bumi, sangat membutuhkan listrik dengan tingkat kehandalan yang relatif tinggi. Deteksi dan klasifikasi gangguan secara otomatis dapat meningkatkan keandalan sistem tenaga dalam mempercepat proses perbaikan serta dapat mengurangi resiko kerusakan peralatan. Pada penelitian ini diusulkan metode *Adaptive Neuro Fuzzy Inference System* (ANFIS) yang digunakan untuk

mengklasifikasikan jenis gangguan yang terjadi pada jaringan distribusi.

Pada penelitian ini, akan dilakukan pemodelan jaringan distribusi Bangko, PT. CPI untuk memperoleh data gangguan berupa arus dan tegangan gangguan serta arus dan tegangan urutan nol setiap fasa pada jaringan distribusi Bangko, PT. CPI yang akan digunakan sebagai data masukan bagi desain ANFIS yang akan digunakan via Matlab GUI versi 2016a.

## BAHAN DAN METODE

### Jaringan Distribusi

Jaringan distribusi Bangko dengan tegangan 13,8 kV dan beberapa lokasi dengan menggunakan tegangan 4,16 kV, seperti Dumai dan Rumbai. Beban kantor dan perumahan menggunakan tegangan 110 V. Sedangkan suplai mesin-mesin industri menggunakan tegangan 13,8

kV yang nantinya akan diturunkan tegangannya oleh trafo *step down* agar tegangan sesuai dengan kebutuhan mesin. Jaringan distribusi yang dimiliki oleh PT. Chevron Pacific Indonesia adalah (Agus, 2016):

- (i) Jaringan distribusi 13,8 kV dengan panjang 1,742 km
- (ii) Jaringan distribusi 4,16 kV dengan panjang 50 km

Dalam sistem distribusi tenaga listrik di PT. Chevron Pacific Indonesia memiliki sekitar 8000 buah transformer (Agus, 2016).

### Gangguan Hubung Singkat pada Jaringan Distribusi

Jenis gangguan utama dalam jaringan distribusi tenaga listrik adalah gangguan hubung singkat. Jenis gangguan tersebut dapat dibedakan menjadi dua kelompok gangguan, yaitu gangguan simetris dan asimetris. Hampir semua gangguan yang terjadi pada sistem tenaga adalah gangguan asimetris. Gangguan hubung singkat diklasifikasikan menjadi empat jenis, yaitu:

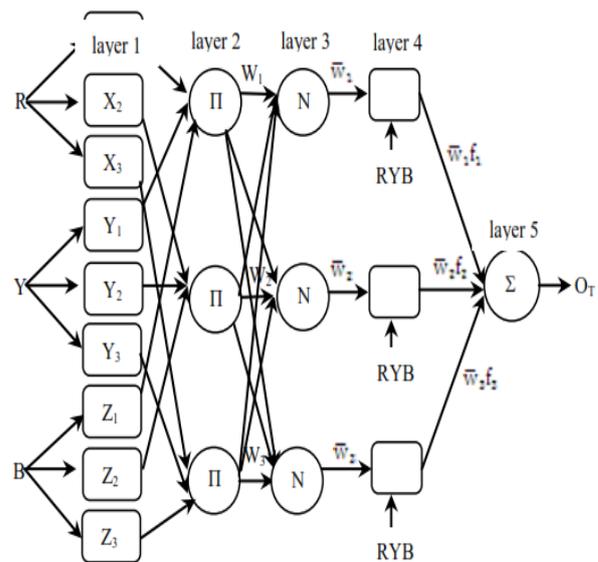
- (i) Gangguan Satu Fasa ke Tanah (F-T)
- (ii) Gangguan Antar Fasa (F-F)
- (iii) Gangguan Dua Fasa ke Tanah (F-F-T)
- (iv) Gangguan Tiga Fasa (F-F-F)

Dengan gangguan pada (i), (ii), dan (iii) merupakan gangguan asimetris dan gangguan (iv) merupakan gangguan simetris.

### Adaptive Neuro Fuzzy Inference System (ANFIS)

ANFIS merupakan salah satu sistem dalam kelompok *neuro-fuzzy* yaitu system *hybrid* dalam *soft computing*. sistem *neuro-fuzzy* berbasis kepada *fuzzy inference system* (FIS) yang dilatih menggunakan algoritma pembelajaran yang diturunkan dari sistem NN. Dengan demikian, sistem *neuro-fuzzy* memiliki semua kelebihan yang dimiliki oleh FIS dan NN (Al-Mutawakkil, 2017).

Dengan suatu prosedur pada pembelajaran *hybrid*, ANFIS dapat membangun suatu mapping masukan dan keluaran yang keduanya berdasarkan pada pengetahuan manusia (pada bentuk aturan *fuzzy, if – then*) dengan fungsi keanggotaan yang tepat. FIS yang akan digunakan adalah FIS dengan model Sugeno. ANFIS memiliki struktur dengan lima lapisan. Gambar 1 adalah sebuah arsitektur ANFIS dengan tiga masukan yaitu R, Y, dan B dan satu output  $O_T$ . Ada lima tahapan proses utama pada operasi ANFIS yaitu, *input fuzzification*, *application of fuzzy operators*, *application method*, *output aggregation* dan *defuzzification*.



**Gambar 1.** Arsitektur Dasar ANFIS dengan Tiga Masukan dan Tiga Aturan (Ghani, 2012)

Setiap lapis pada arsitektur ini, terdapat node. Peran setiap lapis adalah sebagai berikut (Ghani, 2012):

Layer 1: Fuzzifikasi data masukan dilakukan pada layer ini. Dengan persamaan yang digunakan yaitu:

$$X_i(R) = \frac{1}{\left[1 - \left(\frac{R - c_i}{a_i}\right)^2\right]^{b_i}}, \quad i=1,2,3 \quad (1)$$

$$Y_i(Y) = \frac{1}{\left[1 - \left(\frac{Y - c_i}{a_i}\right)^2\right]^{b_i}}, \quad i=1,2,3 \quad (2)$$

$$Z_i(B) = \frac{1}{\left[1 - \left(\frac{B - c_i}{a_i}\right)^2\right]^{b_i}}, \quad i=1,2,3 \quad (3)$$

Dimana  $X_i$ ,  $Y_i$ ,  $Z_i$  adalah nilai masukan fuzzifier, dan  $a_i$ ,  $b_i$ , dan  $c_i$  adalah parameter-parameter yang telah dihitung menggunakan masukan fungsi keanggotaan Gaussian.

Layer 2: Pada layer ini melibatkan operator fuzzy dan indikasinya oleh node lingkaran dengan label Π.

$$w_i = X_i(R) \times Y_i(Y) \times Z_i(B), \quad i=1,2,3 \quad (4)$$

Layer 3: Pada layer ini ditandai dengan N pada sebuah node lingkaran untuk pengaplikasian metode aturan, sudut aktivasi dan normalisasi yang diimplementasikan dengan hubungan:

$$\bar{w}_i = \frac{w_i}{w_1+w_2+w_3}, \quad i=1,2,3 \quad (5)$$

Layer 4: Hasil sudut aktivasi yang telah di normalisasi dan keluaran individu fungsi keanggotaan untuk menjumlah seluruh output terdapat pada layer ini berdasarkan :

$$o_i = \bar{w}_i f_i = \bar{w}_i (p_i R + q_i Y + r_i B + s_i) \quad (6)$$

, i=1,2,3

Dimana  $p_i$ ,  $q_i$ ,  $r_i$  dan  $s_i$  adalah parameter output fungsi keanggotaan.

Layer 5: Untuk proses *defuzzification*, dengan persamaan yang diaplikasikan dengan layer terakhir:

$$o_T = \text{overall output} = \sum_{i=1}^3 o_i \quad (7)$$

### Normalisasi Data

Normalisasi data ini bertujuan untuk memperkecil nilai dengan batas rentangan 0,1 hingga 0,9 agar angka yang akan diolah memiliki nilai yang tidak terlalu besar. Data yang diperoleh dari hasil simulasi dengan menggunakan perangkat lunak ETAP 12.6.0 akan dinormalisasi dengan menggunakan persamaan 8 di bawah ini (Siang, 2004):

$$x' = \frac{0,8(x-a)}{b-a} + 0,1 \quad (8)$$

Dimana:

- $x'$  = Nilai data hasil normalisasi
- $x$  = Nilai data yang akan dinormalisasi
- $a$  = Nilai data minimum dari kelompok data
- $b$  = Nilai data maksimum dari kelompok data

### Persentase Galat (Error)

Persentase galat dapat dihitung dengan persamaan di bawah ini (Sari, 2016):

$$\%E = \frac{|y_i - y'_i|}{y_i} \times 100 \quad (9)$$

Dimana:

- $y_i$  = Nilai target sebenarnya
- $y'_i$  = Nilai target prediksi

### Root Mean Square Error (RMSE)

Dalam proses validasi desain ANFIS terhadap data baru, tingkat akurasi ANFIS dilihat dengan menghitung nilai RMSE. Nilai RMSE

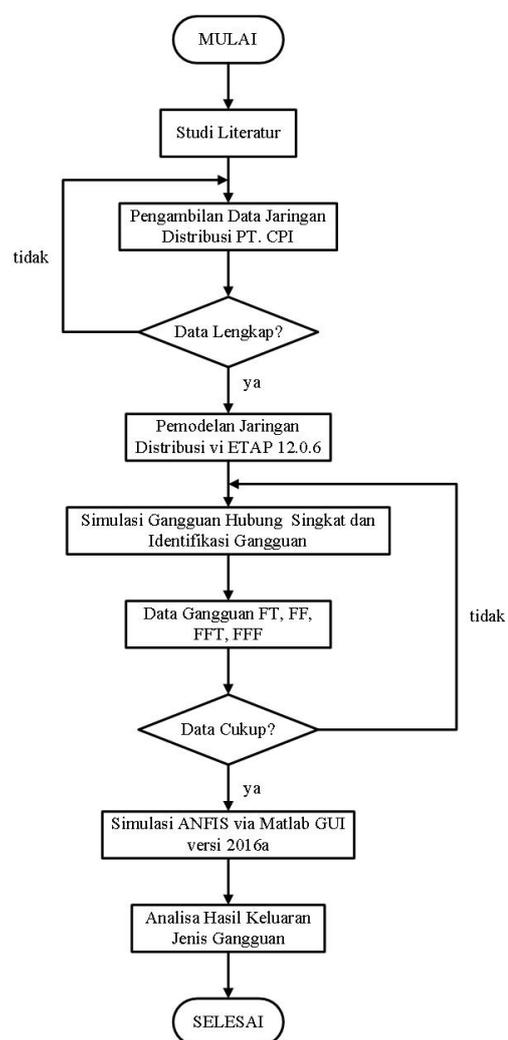
dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut,

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - y'_i)^2}{n}} \quad (10)$$

### Metode Penelitian

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah pengumpulan data melalui metode simulasi jaringan di Bangko PT. CPI via ETAP 12.6.0 dan menggunakan Matlab GUI versi 2016a untuk bagian klasifikasi gangguan jaringan.

Di bawah ini adalah gambaran alur penelitian yang akan dilakukan seperti tertera pada gambar 2 berikut:



**Gambar 2.** Diagram Alir Penelitian

Adapun langkah-langkah dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Melakukan pengambilan data teknis yang diperlukan untuk membentuk pemodelan jaringan distribusi.

- Setelah diperoleh data, maka dilakukan pemodelan jaringan distribusi via ETAP 12.6.0.
- Setelah pemodelan jaringan distribusi selesai, maka dilakukan simulasi gangguan hubung singkat dan identifikasi gangguan pada perangkat lunak ETAP 12.6.0 sehingga akan diperoleh data keluaran hasil simulasi berupa data gangguan masing-masing jenis gangguan FT, FF, FFT, FFF.
- Data keluaran hasil simulasi ETAP 12.6.0 merupakan masukan bagi desain ANFIS yang akan dibentuk.
- Kemudian dilakukan simulasi ANFIS untuk klasifikasi gangguan menggunakan Matlab GUI versi 2016a.
- Analisa hasil keluaran simulasi ANFIS.

### Desain Pemodelan Jaringan Distribusi Listrik di Bangko PT. CPI

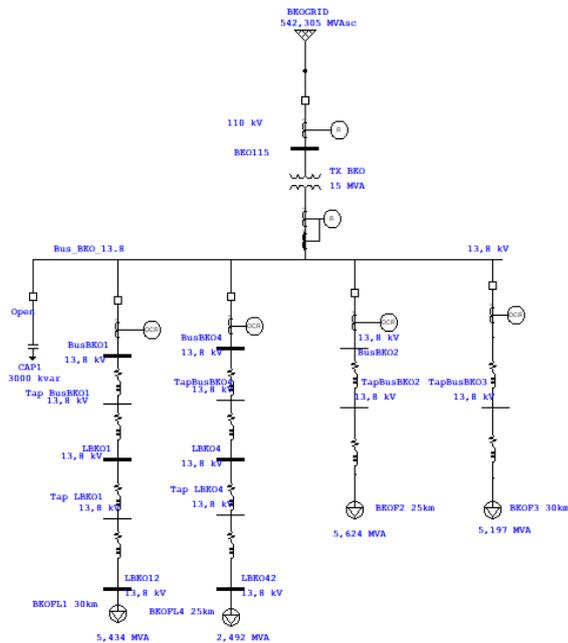
Jaringan distribusi yang digunakan dalam penelitian ini adalah jaringan distribusi Bangko PT. CPI dengan 4 buah cabang jaringan yang terbagi menjadi BKO1, BKO2, BKO3, dan BKO4 dengan masing-masing panjang 30 km, 25 km, 25 km dan 30 km yang dilakukan pemodelan dan simulasi gangguan via ETAP 12.6.0. Gambaran pemodelan jaringan dapat dilihat pada Gambar 3. Dan data jaringan dapat dilihat pada Tabel 1.

**Tabel 1** Data Jaringan Distribusi 13,8 kV di Bangko PT. CPI

Nama Jaringan	Panjang Jaringan (Km)	Beban Terhubung (MVA)
BKO1	30	5,434
BKO2	25	2,492
BKO3	30	5,624
BKO4	25	5,297

Untuk simulasi gangguan hubung singkat yang akan dilakukan pada pemodelan ini, adalah simulasi gangguan hubung singkat fasa ke tanah (F-T), antar fasa (F-F), antar fasa ke tanah (F-F-T) dan tiga fasa (F-F-F) dengan resistansi gangguan sama dengan nol dengan jarak gangguan dikondisikan dengan asumsi jarak berurutan sebesar 3% untuk jaringan BKO1 dan BKO2 dari panjang jaringan dan 2% untuk jaringan BKO3 dan BKO4 dari panjang jaringan.

Hasil simulasi yang dilakukan adalah berupa keluaran data arus dan tegangan gangguan yang disimulasikan pada jarak yang telah ditentukan berdasarkan asumsi yang telah disebutkan sebelumnya untuk setiap jaringan dengan memberikan gangguan F-T, F-F, F-F-T, dan F-F-F pada *Display Option* di ETAP 12.6.0. Data hasil simulasi ini dapat dilihat pada Tabel 2.



**Gambar 3.** Pemodelan Jaringan Distribusi (Bangko PT. CPI) via ETAP 12.6.0

**Tabel 2.** Data Hasil Simulasi Pemodelan Jaringan Distribusi BKO1 dengan Gangguan F-T

No.	Jarak Gangguan (km)	Arus Normal (A)	Arus Gangguan (kA)			Tegangan (kV)		
			Ifa	Ifb	Ifc	Vfa	Vfb	Vfc
1	0,9	172,1	0,391	0	0	0,32	13,39	14,03
2	1,8	172,2	0,385	0	0	0,62	12,93	14,05
3	2,7	172,2	0,378	0	0	0,92	12,67	14,05
4	3,6	172,2	0,372	0	0	1,2	12,42	14,04
5	4,5	172,2	0,365	0	0	1,48	12,16	14,01
6	5,4	172,2	0,358	0	0	1,74	11,91	13,98
7	6,3	172,2	0,351	0	0	1,99	11,67	13,93
8	7,2	172,3	0,344	0	0	2,23	11,43	13,88
9	8,1	172,3	0,337	0	0	2,45	11,2	13,82
10	9	172,3	0,33	0	0	2,67	10,98	13,75
11	9,9	172,3	0,323	0	0	2,87	10,76	13,68
12	10,8	172,3	0,316	0	0	3,07	10,56	13,61
13	11,7	172,3	0,309	0	0	3,25	10,36	13,53
14	12,6	172,4	0,303	0	0	3,43	10,17	13,45
15	13,5	172,4	0,296	0	0	3,6	9,99	13,37
16	14,4	172,4	0,29	0	0	3,76	9,82	13,28
17	15,3	172,4	0,284	0	0	3,91	9,66	13,2
18	16,2	172,4	0,278	0	0	4,05	9,5	13,11
19	17,1	172,4	0,272	0	0	4,18	9,36	13,03
20	18	172,5	0,266	0	0	4,31	9,22	12,95
21	18,9	172,5	0,261	0	0	4,43	9,09	12,86
22	19,8	172,5	0,255	0	0	4,55	8,97	12,78
23	20,7	172,5	0,25	0	0	4,66	8,85	12,7
24	21,6	172,5	0,245	0	0	4,76	8,74	12,62
25	22,5	172,5	0,24	0	0	4,86	8,64	12,54
26	23,4	172,5	0,235	0	0	4,96	8,54	12,46
27	24,3	172,5	0,231	0	0	5,04	8,45	12,39
28	25,2	172,6	0,226	0	0	5,13	8,37	12,31
29	26,1	172,6	0,222	0	0	5,21	8,29	12,24
30	27	172,6	0,218	0	0	5,29	8,21	12,17
31	27,9	172,6	0,214	0	0	5,36	8,14	12,1
32	28,8	172,6	0,21	0	0	5,43	8,07	12,03
33	29,7	172,6	0,206	0	0	5,5	8,01	11,96

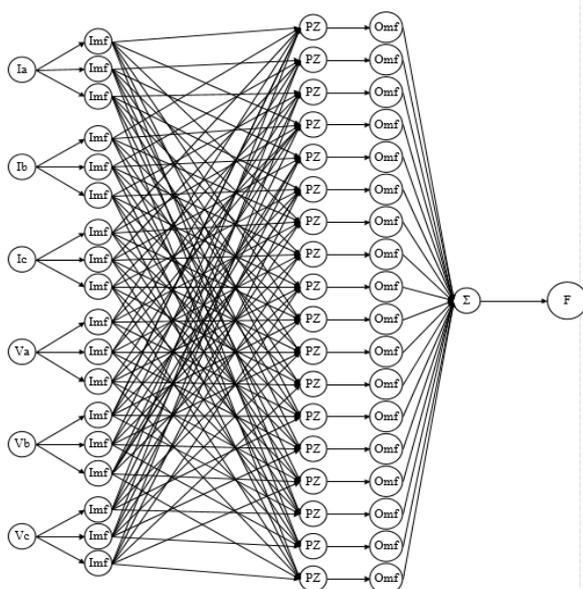
## Desain Arsitektur ANFIS Klasifikasi Gangguan via Matlab GUI versi 2016a

Setelah data untuk masukan ANFIS diperoleh melalui simulasi pada ETAP 12.6.0 dan dinormalisasi, tahapan selanjutnya adalah membuat desain arsitektur ANFIS dengan bantuan Matlab GUI versi 2016a. Jumlah data yang akan digunakan adalah sebanyak 132 untuk jaringan BKO1, 132 buah untuk jaringan BKO2, 196 buah untuk jaringan BKO3 dan 196 untuk jaringan BKO4.

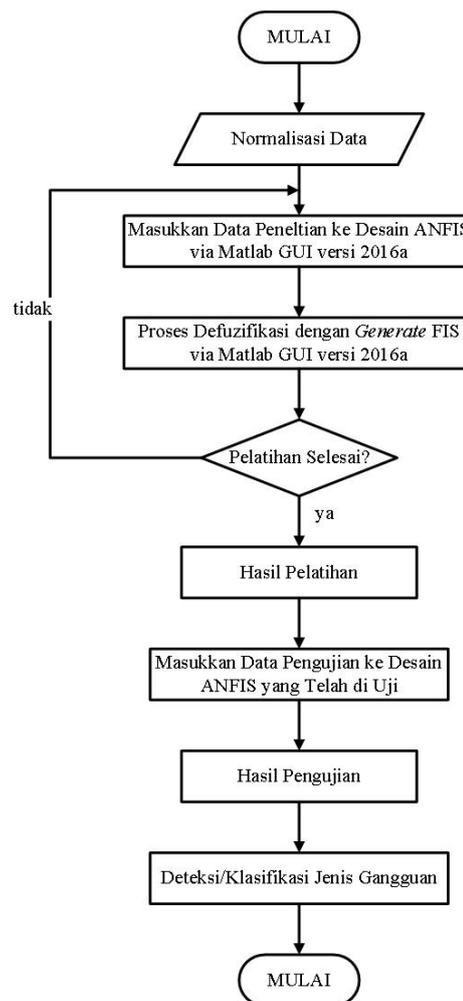
Data yang digunakan akan dikelompokkan berdasarkan cabang jaringan distribusi. Secara umum keseluruhan desain ANFIS di bentuk via Matlab GUI versi 2016a dengan parameter sebagai berikut:

1. Masukan yang digunakan adalah arus gangguan dan tegangan gangguan disetiap fasa dengan jumlah data masukan sebanyak 6 buah.
2. Fungsi keanggotaan yang digunakan adalah GaussMF dan GbellMF.
3. Algoritma pembelajaran yang digunakan adalah *hybrid*.
4. Maksimal *epochs* ditentukan sebesar 50 kali, sehingga pelatihan data akan berhenti ketika mencapai *epochs* nilai maksimal.

Berdasarkan parameter yang diberikan maka struktur ANFIS dengan enam masukan akan terlihat pada Gambar 4.



**Gambar 4.** Struktur ANFIS dengan 6 Masukan



**Gambar 5.** Diagram Alir Pembentukan Desain ANFIS

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Setelah proses pelatihan desain ANFIS selesai dilakukan, selanjutnya dilakukan proses pengujian terhadap parameter konsekuen pada proses pelatihan dengan data masukan baru berupa data pengujian. Pada penelitian ini, terdapat 4 jenis pengujian yang dilakukan pada masing-masing cabang jaringan distribusi yaitu, jaringan BKO1, BKO2, BKO3 dan BKO4 yang dilatih dengan 2 jenis fungsi keanggotaan berbeda yaitu fungsi keanggotaan Gaussian (GaussMF) dan *Generalized Bell* (Gbell).

### Pengujian Desain ANFIS untuk Klasifikasi Gangguan pada Jaringan BKO1

Tabel 2 merupakan hasil pengujian desain ANFIS klasifikasi gangguan yang dilakukan pada jaringan BKO1 dengan perbandingan nilai RMSE GaussMF dan GbellMF.

**Tabel 2.** Hasil Pengujian Desain ANFIS Jaringan BKO1

No.	Jenis Gangguan	Target Keluaran	Keluaran ANFIS		Prediksi Jenis Gangguan		
			Gauss	Gbell	Gauss	Gbell	
1	FT	0,1	0,1001	0,1001	FT	FT	
2	FT	0,1	0,1002	0,1003	FT	FT	
3	FT	0,1	0,1003	0,1005	FT	FT	
4	FT	0,1	0,1004	0,1007	FT	FT	
5	FF	0,2	0,1998	0,2001	FF	FF	
6	FF	0,2	0,1997	0,2001	FF	FF	
7	FF	0,2	0,1997	0,2002	FF	FF	
8	FF	0,2	0,1997	0,2003	FF	FF	
9	FFT	0,3	0,2999	0,3001	FFT	FFT	
10	FFT	0,3	0,2998	0,3002	FFT	FFT	
11	FFT	0,3	0,2996	0,3003	FFT	FFT	
12	FFT	0,3	0,2994	0,3004	FFT	FFT	
13	FFF	0,4	0,4003	0,4001	FFF	FFF	
14	FFF	0,4	0,4005	0,4001	FFF	FFF	
15	FFF	0,4	0,4007	0,4001	FFF	FFF	
16	FFF	0,4	0,4012	0,4003	FFF	FFF	
RMSE	Gauss		$4,6435.10^{-4}$		Gbell		$2,9686.10^{-4}$

Dari Tabel 2, dapat terlihat bahwa nilai RMSE pengujiannya masing-masing untuk GaussMF sebesar  $4,6435.10^{-4}$  dan GbellMF sebesar  $2,9686.10^{-4}$ . Dari nilai RMSE tersebut dapat terlihat bahwa nilai RMSE terkecil dihasilkan oleh pengujian ANFIS dengan menggunakan fungsi keanggotaan Generalize Bell.

**Pengujian Desain ANFIS untuk Klasifikasi Gangguan pada Jaringan BKO2**

Tabel 3 merupakan hasil pengujian desain ANFIS klasifikasi gangguan yang dilakukan pada jaringan BKO2 dengan perbandingan nilai RMSE GaussMF dan GbellMF.

**Tabel 3.** Hasil Pengujian Desain ANFIS Jaringan BKO2

No.	Jenis Gangguan	Target Keluaran	Keluaran ANFIS		Prediksi Jenis Gangguan		
			Gauss	Gbell	Gauss	Gbell	
1	FT	0,1	0,1001	0,1003	FT	FT	
2	FT	0,1	0,1002	0,1004	FT	FT	
3	FT	0,1	0,1003	0,1006	FT	FT	
4	FT	0,1	0,1004	0,1008	FT	FT	
5	FF	0,2	0,2000	0,2000	FF	FF	
6	FF	0,2	0,2000	0,1999	FF	FF	
7	FF	0,2	0,2000	0,1999	FF	FF	
8	FF	0,2	0,2000	0,2000	FF	FF	
9	FFT	0,3	0,2999	0,2996	FFT	FFT	
10	FFT	0,3	0,2997	0,2993	FFT	FFT	
11	FFT	0,3	0,2997	0,2993	FFT	FFT	
12	FFT	0,3	0,2995	0,2989	FFT	FFT	
13	FFF	0,4	0,4000	0,3999	FFF	FFF	
14	FFF	0,4	0,3999	0,3999	FFF	FFF	
15	FFF	0,4	0,4000	0,3999	FFF	FFF	
16	FFF	0,4	0,4000	0,3998	FFF	FFF	
RMSE	Gauss		$2,1651.10^{-4}$		Gbell		$4,8023.10^{-4}$

Dari Tabel 3, dapat terlihat bahwa nilai RMSE pengujiannya masing-masing untuk GaussMF sebesar  $2,1651.10^{-4}$  dan GbellMF sebesar  $4,8023.10^{-4}$ . Dari nilai RMSE tersebut

dapat terlihat bahwa nilai RMSE terkecil dihasilkan oleh pengujian ANFIS dengan menggunakan fungsi keanggotaan Gaussian.

**Pengujian Desain ANFIS untuk Klasifikasi Gangguan pada Jaringan BKO3**

Tabel 4 merupakan hasil pengujian desain ANFIS klasifikasi gangguan yang dilakukan pada jaringan BKO3 dengan perbandingan nilai RMSE GaussMF dan GbellMF.

**Tabel 4.** Hasil Pengujian Desain ANFIS Jaringan BKO3

No.	Jenis Gangguan	Target Keluaran	Keluaran ANFIS		Prediksi Jenis Gangguan		
			Gauss	Gbell	Gauss	Gbell	
1	FT	0,1	0,1001	0,1001	FT	FT	
2	FT	0,1	0,1003	0,1001	FT	FT	
3	FT	0,1	0,1003	0,1002	FT	FT	
4	FT	0,1	0,1004	0,1003	FT	FT	
5	FF	0,2	0,2001	0,2000	FF	FF	
6	FF	0,2	0,2001	0,2000	FF	FF	
7	FF	0,2	0,2000	0,2000	FF	FF	
8	FF	0,2	0,1999	0,1999	FF	FF	
9	FFT	0,3	0,2999	0,3001	FFT	FFT	
10	FFT	0,3	0,2998	0,3000	FFT	FFT	
11	FFT	0,3	0,2997	0,2999	FFT	FFT	
12	FFT	0,3	0,2996	0,3001	FFT	FFT	
13	FFF	0,4	0,3999	0,3996	FFF	FFF	
14	FFF	0,4	0,3999	0,3996	FFF	FFF	
15	FFF	0,4	0,4000	0,3994	FFF	FFF	
16	FFF	0,4	0,3999	0,3993	FFF	FFF	
RMSE	Gaus		$2,1065.10^{-4}$		Gbell		$2,9155.10^{-4}$

Dari Tabel 4, dapat terlihat bahwa nilai RMSE pengujiannya masing-masing untuk GaussMF sebesar  $2,1065.10^{-4}$  dan GbellMF sebesar  $2,9155.10^{-4}$ . Dari nilai RMSE tersebut dapat terlihat bahwa nilai RMSE terkecil dihasilkan oleh pengujian ANFIS dengan menggunakan fungsi keanggotaan Gaussian.

**Pengujian Desain ANFIS untuk Klasifikasi Gangguan pada Jaringan BKO4**

Tabel 5 merupakan hasil pengujian desain ANFIS klasifikasi gangguan yang dilakukan pada jaringan BKO4 dengan perbandingan nilai RMSE GaussMF dan GbellMF.

**Tabel 5.** Hasil Pengujian Desain ANFIS Jaringan BKO3

No.	Jenis Gangguan	Target Keluaran	Keluaran ANFIS		Prediksi Jenis Gangguan	
			Gauss	Gbell	Gauss	Gbell
1	FT	0,1	0,1000	0,1001	FT	FT
2	FT	0,1	0,1000	0,1001	FT	FT
3	FT	0,1	0,1001	0,1001	FT	FT
4	FT	0,1	0,1001	0,1002	FT	FT
5	FF	0,2	0,2000	0,2000	FF	FF
6	FF	0,2	0,2000	0,2000	FF	FF
7	FF	0,2	0,2000	0,2000	FF	FF
8	FF	0,2	0,2000	0,2000	FF	FF
9	FFT	0,3	0,2997	0,2998	FFT	FFT

No.	Jenis Gangguan	Target Keluaran	Keluaran ANFIS		Prediksi Jenis Gangguan	
			Gauss	Gbell	Gauss	Gbell
10	FFT	0,3	0,2997	0,2997	FFT	FFT
11	FFT	0,3	0,3000	0,2999	FFT	FFT
12	FFT	0,3	0,3003	0,2999	FFT	FFT
13	FFF	0,4	0,4000	0,4001	FFF	FFF
14	FFF	0,4	0,4001	0,4003	FFF	FFF
15	FFF	0,4	0,4001	0,4005	FFF	FFF
16	FFF	0,4	0,4002	0,4007	FFF	FFF
<b>RMSE</b>	<b>Gauss</b>	<b>1,479.10<sup>-4</sup></b>		<b>Gbell</b>	<b>2,5739.10<sup>-4</sup></b>	

Dari tabel di atas, dapat terlihat bahwa nilai RMSE pengujian masing-masing untuk GaussMF sebesar  $1,479.10^{-4}$  dan GbellMF sebesar  $2,5739.10^{-4}$ . Dari nilai RMSE tersebut dapat terlihat bahwa nilai RMSE terkecil dihasilkan oleh pengujian ANFIS dengan menggunakan fungsi keanggotaan Gaussian.

## KESIMPULAN

Berdasarkan perolehan hasil pengujian dan analisa pengujian desain ANFIS yang telah dilakukan dengan variasi fungsi keanggotaan yang digunakan, nilai *error tolerance* lebih dahulu tercapai sebelum jumlah *epochs* maksimal yang sebesar 50 kali. Secara umum, hasil pengujian menunjukkan hasil yang akurat dalam mengklasifikasikan jenis gangguan yang terjadi dengan prediksi yang relatif tepat namun tergantung pada jenis fungsi keanggotaan yang digunakan terdapat keunggulan masing-masing yang di setiap jaringan distribusi. Nilai RMSE terkecil yang diperoleh setiap jaringan berturut-turut adalah jaringan BKO1 dihasilkan melalui fungsi keanggotaan *Generalized Bell* sebesar 0,00029686%, jaringan BKO2 dihasilkan melalui fungsi keanggotaan Gaussian sebesar 0,00021651%, jaringan BKO3 dihasilkan melalui fungsi keanggotaan Gaussian sebesar 0,00021065%, jaringan BKO4 dihasilkan melalui fungsi keanggotaan Gaussian sebesar 0,0001479%. Jumlah data pelatihan mempengaruhi hasil dari pengujian yang dilakukan. Data pelatihan pada jaringan BKO3 dan BKO4 memiliki jumlah data yang lebih banyak sebanyak 180 jumlah data dari data pelatihan jaringan BKO1 dan BKO2 yang memiliki 116 data.

## DAFTAR PUSTAKA

Agus, Y. S. (2016). Menentukan Lokasi Gangguan dengan Metode Simple Reactance dan Takagi pada Saluran Distribusi Bangko PT. Chevron Pacific Indonesia menggunakan ETAP 12.6.0. *Jom FTEKNIK Volume 3 No. 2*.

- Al-Mutawakkil, I. (2017). Peningkatan Akurasi dalam Prakiraan Beban Listrik Jangka Pendek Menggunakan Data Temperatur. *Jom FTEKNIK Volume 4 No. 2*.
- Azriyenni. (2013). Performance Neuro-Fuzzy for Power System Fault Location. *International Journal of Engineering and Technology Volume 3 No. 4*.
- Azriyenni. 2015. "Application of ANFIS for Distance Relay Protection in Transmission Line". *International Journal of Electrical and Computing Engineering (IJECE)*.
- Flauzino, R. A. (n.d.). Hybrid Intelligent Architecture for Fault Identification in Power Distribution Systems. *IEEE Journal*.
- Ghani, R. A. (2012). ANFIS Approach for Locating Precise Fault Points in Distribution System. *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*.
- Hessaine, M. B. (2014). Accurate Fault Classifier and Locator for EHV Transmission Lines Based on Artificial Neural Networks. *Mathematical Problems in Engineering Volume 2014*.
- Jang, J.-S. R. (1997). *Neuro-Fuzzy and Soft Computing*. London: Prentice-Hall.
- Multa, L. d. (2013). *MODUL PELATIHAN ETAP*. Yogyakarta: Jurusan Teknik Elektro dan Teknologi Informasi Universitas Gadjah Mada.
- Nugroho, A. S. (2003). Pengantar Softcomputing. *Kuliah Umum IlmuKomputer.com*.
- Saelan, A. (2009). LOGIKA FUZZY. *Makalah IF2091 Struktur Diskrit*.
- Sari, I. M. (2016). Estimasi Jenis dan Lokasi Titik Gangguan pada Saluran Distribusi Bawah Tanah PT. Pertamina RU II Dumai dengan Menggunakan Metode Adaptif Neuro Fuzzy Inference System (ANFIS). *Jom FTEKNIK Volume 3 No. 1*.
- Siang, J. (2004). *Jaringan Syaraf Tiruan dan Pemrogramannya Menggunakan Matlab*. Yogyakarta: ANDI Yogyakarta.
- Vanajakshi, L. a. (2004). A Comparison of Artificial Neural Networks and Support Vector Machines for The Prediction of Traffic Speed. *IEEE Intelligent Vehicles Symposium*.