

PEMODELAN RELAI DIFERENSIAL PADA TRANSFORMATOR DAYA 25 MVA MENGGUNAKAN ANFIS

Hari Firdaus¹⁾, Azriyenni Azhari Zakri²⁾

¹⁾Mahasiswa Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Riau

²⁾Dosen Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Riau
Kampus Binawidya Jl. HR. Soebrantas Km 12,5 Simpang Baru Panam, Pekanbaru, Riau

Email: hari.firdaus@student.unri.ac.id; azriyenni@eng.unri.ac.id

ABSTRACT

Power transformer is an electrical device that is utilized to convert the electrical power from different voltage level. The fault occurs in the power transformer will inhibit the process of distributing electrical power to the consumer. Therefore, the protection system on power transformers is essential in power systems reliability. Power system can be reliable, if the protective devices work well when there is fault. Under fault conditions, protective devices have an important role in detecting any fault and separating the faulted parts of the system. This research will be conducted on 25 MVA of power transformer at gas power plant (case study: PT Riau Power). Matlab / Simulink was use for modelling differential relay. The simulation of short circuit have been created at three different locations, namely : internal, external 1, and external 2, respectively. The result of short circuit simulation using differential relay to input data used for the application of ANFIS method. Furthermore, these data were classified into three different input for ANFIS such as : internal with eksternal 1, internal with external 2, and internal, external 1 with external 2, respectively. The error result of ANFIS training for type of internal and external fault 1 is 0,00000086148, for types of internal and external fault 2 by 0,00000092462 and internal, external 1 and external 2 of 0,0000019162. The training results have obtained the smallest error value is the type fault of internal and external 1.

Keywords : ANFIS, differential relay, power transformer, resetting

PENDAHULUAN

Sistem tenaga listrik terdiri dari tiga bagian yaitu Pembangkit, Transmisi, dan Distribusi. Seiring pertumbuhan penduduk yang semakin pesat, maka konsumen listrik juga berkembang pesat. Perkembangan konsumen yang pesat ini berujung pada penambahan sejumlah besar unit pada pembangkit, saluran transmisi dan jaringan distribusi. Hal ini memang sesuai dengan kemajuan teknologi sekarang ini dimana telah banyak kegiatan tergantung terhadap tenaga listrik yang mana berarti kebutuhan tenaga listrik semakin meningkat. Hal ini menimbulkan bagaimana cara mengatasi keandalan sistem tenaga listrik dan juga peralatan operasional utama yang ada di pembangkit harus dijaga keandalannya dari kerusakan yang diakibatkan adanya gangguan-gangguan di sekitar peralatan tersebut.

Transformator daya di pembangkit merupakan komponen utama yang sangat penting bagi pelayanan sistem tenaga listrik, maka dari itu transformator daya harus dilindungi dari adanya gangguan-gangguan yang dapat menyebabkan keandalannya berkurang. Dalam pengoperasiannya, transformator daya dapat mengalami 2 macam gangguan, yaitu gangguan internal dan gangguan eksternal. Gangguan internal merupakan gangguan yang terjadi pada transformator itu sendiri. Sedangkan gangguan eksternal merupakan gangguan yang terjadi di luar transformator daya tetapi dapat menimbulkan gangguan pada transformator yang bersangkutan (Panjaitan, S. I *et all* 2013).

Gangguan yang biasa terjadi pada transformator adalah hubung singkat pada kumparan transformator, hubung singkat diluar trafo yang menimbulkan gangguan pada trafo, beban lebih, sambaran petir dan gangguan sistem pendingin.

Gangguan-gangguan pada transformator dapat terjadi kapan saja, maka dari itu transformator tersebut harus ditunjang dengan pengamanan-pengaman yang dipergunakan sesuai dengan kebutuhannya. Pengaman tersebut dapat berupa relai proteksi. Tujuan pemasangan relai proteksi pada transformator daya adalah untuk mengamankan peralatan/system sehingga kerugian akibat gangguan dapat dihindari atau dikurangi sekecil mungkin (El-Bages, 2011).

Salah satu sistem proteksi pada peralatan pembangkit yaitu transformator daya. Relai diferensial merupakan proteksi utama sebuah transformator. Relai diferensial bekerja sangat selektif dan cepat tanpa waktu tunda. Relai diferensial bekerja pada saat ada gangguan dalam area pengamanannya dibatasi oleh transformator arus dan tidak boleh bekerja pada saat ada gangguan luar. Untuk menjaga kehandalan transformator daya di pembangkit dipasang beberapa relai pengaman yaitu: relai diferensial, *phase overcurrent*, dan *transformer neutral overcurrent* (Irsyam M, 2013).

Setting arus pada relai diferensial harus dihitung secara tepat sehingga mencegah adanya kegagalan proteksi dan meningkatkan kehandalan sebuah sistem tenaga listrik. Simulasi menjadi sangat penting untuk mengantisipasi gangguan-gangguan yang mungkin terjadi. Berdasarkan uraian diatas, maka penelitian ini dilakukan pemodelan relai diferensial. Penelitian ini menggunakan metode ANFIS. *Neuro fuzzy* adalah gabungan dari dua sistem yaitu sistem logika fuzzy dan jaringan saraf tiruan. Sistem *neuro fuzzy* berdasar pada sistem inferensi fuzzy yang dilatih menggunakan algoritma pembelajaran yang diturunkan dari sistem jaringan saraf tiruan. Dengan demikian, sistem *neuro fuzzy* memiliki semua kelebihan yang dimiliki oleh sistem inferensi fuzzy dan sistem jaringan saraf tiruan. Dari kemampuannya untuk belajar maka sistem *neuro fuzzy* sering disebut sebagai ANFIS (Fatkhurrozi, *et all*, 2012).

Pada penelitian ini, membahas tentang pemodelan relai diferensial pada transformator daya 25 MVA dengan menggunakan metode ANFIS.

Transformator Daya

Transformator daya adalah salah satu alat listrik statis yang digunakan untuk memindahkan daya dari satu rangkaian ke rangkaian lain tanpa mengubah frekuensi, yang diubah adalah tegangan (Panjaitan, S. I *et all* 2013).

Dilihat dari bentuknya yang paling sederhana transformator terdiri atas dua kumparan dan satu

induktansi mutual. Kumparan primer adalah yang menerima daya, dan kumparan sekunder tersambung kebeban. kedua kumparan dibelit pada suatu inti yang terdiri atas material berlaminasi magnet. Landasan fisik transformator adalah induktansi mutual antara kedua rangkaian yang dihubungkan oleh suatu fluks magnetik bersama yang melewati jalur dengan reluktansi rendah.

Gangguan Pada Transformator

Gangguan pada transformator dapat digolongkan menjadi 2 faktor, yaitu (Maria Oktavia Fitriyani, *et all*, 2015):

a. Gangguan Internal

Adalah gangguan yang bersumber dari dalam transformator itu sendiri yang dapat dikasifikasikan sebagai berikut:

- Gangguan hubung singkat
Gangguan hubung singkat pada transformator terdiri dari gangguan antar fasa dan gangguan fasa ke tanah. Gangguan ini terjadi pada gulungan belitan tinggi atau rendah transformator tenaga.
- Terjadinya busur api dan pemanasan lokal
Disebabkan oleh cara penyambungan konduktor yang tidak baik, kontak-kontak listrik yang tidak baik dan kerusakan isolasi antara inti baut.
- Gangguan sistem pendinginan
Yaitu kerusakan pada pompa sirkulasi minyak, kipas pendinginan dan bagian-bagian dari sistem pendingin lainnya yang dapat menyebabkan kenaikan suhu operasi yang tinggi sementara transformator masih beroperasi di bawah beban penuh.

b. Gangguan Eksternal

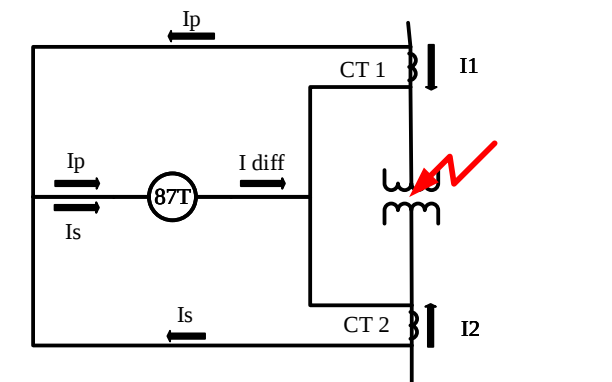
Adalah gangguan yang terjadi di luar daerah pengaman transformator, dan dapat mengakibatkan kerusakan pada transformator tersebut. Gangguan tersebut yaitu :

- Beban lebih
Pembebanan lebih yang melampaui kapasitas transformator yang berdampak pemanasan yang berlebihan, sehingga suhu naik. Suhu yang tinggi berdampak pada umur transformator yang semakin memperpendek dan merusak material belitan dan isolasi.
- Hubung singkat di sisi luar
Terjadinya hubung singkat fasa ke fasa atau fasa ke tanah di luar daerah pengaman transformator yang dapat merusak bagian-bagian transformator tersebut.

Relai Diferensial

Relai diferensial adalah relai yang bekerja ketika ada gangguan hubung singkat antar fasa atau fasa ke tanah di *internal* peralatan (daerah yang proteksi) yang bekerja seketika dan merupakan pelindung utama pada transformator daya. Daerah proteksi relai diferensial yaitu dibatasi oleh 2 trafo arus yaitu CT1 dan CT2.

Prinsip kerja relai diferensial yaitu membandingkan nilai arus pada CT1 dan CT2. Prinsip ini sesuai dengan hukum *Kirchoff* yaitu: “Jumlah aljabar dari arus yang masuk dengan arus yang keluar pada titik cabang sama dengan nol”. Dibawah ini adalah gambar gangguan didalam daerah proteksi.



Gambar 1. Gangguan Didalam Daerah Pengaman Relai Diferensial

Pada gangguan *internal* daerah proteksi relai diferensial yaitu diantara kedua trafo arus, I_p dan I_s searah (Liem Ek Bien dan Dita Helna, 2007).

$$I_d = I_p + I_s > 0 \text{ Ampere} \quad (1)$$

Relai akan bekerja karena arus sekunder dari CT1 dan arus sekunder dari CT2 sama-sama menuju ke relai diferensial. Sehingga Arus sekunder CT1 dan arus sekunder CT2 saling menjumlahkan.

Penyetelan Relai Diferensial

a. Menentukan Rasio CT

Sebelum menentukan rasio CT terlebih dahulu menghitung arus rating (Liem Ek Bien dan Dita Helna, 2007).

$$I_n = \frac{S}{V \times \sqrt{3}} \quad (2)$$

I_n atau arus nominal merupakan arus yang mengalir pada masing-masing jaringan (tegangan tinggi dan tegangan rendah). Arus *rating* berfungsi sebagai batas pemilihan rasio CT.

$$I_{rating} = 110\% \times I_n \quad (3)$$

Dimana :

I_p = Arus sekunder CT1 (A)

I_s = Arus Sekunder CT2 (A)

I_n = Arus nominal (A)

S = Daya (MVA)

Rasio CT yang dipilih mendekati nilai *rating* arus yang telah dihitung dan CT dengan rasio tersebut ada di pasaran.

b. Menghitung kesalahan *mismatch*

Kesalahan *mismatch* adalah kesalahan pembacaan perbedaan arus dan tegangan disisi primer dan sekunder trafo tenaga serta pergeseran fasa di trafo arus. Untuk menentukan kesalahan *mismatch* terlebih dahulu menghitung nilai CT yang ideal di salah satu sisi trafo tenaga sesuai persamaan di bawah ini (Liem Ek Bien dan Dita Helna, 2007):

$$CT_2(ideal) = CT_1 \times \frac{V_1}{V_2} \quad (4)$$

Dimana :

CT_1 : *current transformer* pada sisi primer

CT_2 : *current transformer* pada sisi sekunder

V_1 : tegangan di sisi primer (KV)

V_2 : tegangan di sisi sekunder (KV)

Kesalahan *mismatch* didapat dari perbandingan antara CT ideal dengan CT yang ada dipasaran. Kesalahan *mismatch* diharapkan nilainya tidak boleh lebih dari 5% agar proteksi relai diferensial bekerja secara optimal dalam mengamankan transformator tenaga (Liem Ek Bien dan Dita Helna, 2007). Kesalahan *mismatch* untuk relai diferensial adalah :

$$\text{Kesalahan mismatch} = \frac{CT_{ideal}}{CT_2} \% \quad (5)$$

BAHAN DAN METODE

ANFIS adalah sistem inferensi adaptif NF yang menggunakan model Takagi Sugeno (TS) atau model mamdani. Metode ini telah dikembangkan pada awal tahun 1990. Metode ANFIS ini ialah gabungan dari dua teknik cerdas yaitu teknik JST

dan teknik FL. Teknik pembelajaran ANFIS menyediakan model *Fuzzy* untuk mempelajari informasi mengenai set data. Metode ANFIS adalah satu contoh teknik pembelajaran di mana parameter fungsi keanggotaan dijalankan dengan menggunakan algoritma rambatan (Shengyang, 2009).

ANFIS model TS menggunakan algoritma pembelajaran teknik hibrid cerdas untuk mengenal parameter TS jenis Sistem Inferensi Fuzi (SIF). ANFIS juga berfungsi sebagai metode pembelajaran syaraf bagi mengidentifikasi parameter dan struktur (Sallama, 2012).

Teknik ANFIS dideskripsikan untuk lapisan neuron yang tercantum dalam tahapan berikut ini (Chai, 2009):

Lapisan 1 disebut lapisan fuzzyfikasi. Semua simpul pada lapisan ini adalah simpul adaptif (parameter dapat berubah). Untuk fungsi aktivasi lapisan 1 dapat dihitung dengan persamaan 6 Dan persamaan 7 (Kusumadewi, 2010).

$$O_{1,i} = \mu_{Ai}(x) \text{ untuk } i = 1, 2 \quad (6)$$

$$O_{1,i} = \mu_{Bi-2}(y) \text{ untuk } i = 3, 4 \quad (7)$$

Fungsi keanggotaan (μ) yang di pakai adalah *Generalized Bell* (gbell) yang dapat dihitung dengan persamaan 8 (Kusumadewi, 2010).

$$\mu_A(X) = \frac{1}{1 + \left| \frac{x-c}{a} \right|^{2b}} \quad (8)$$

Untuk lapisan 2, semua simpul pada lapisan ini adalah nonadaptif (parameter tetap). Keluarannya adalah hasil perkalian (Operator AND) dari semua masukan untuk lapisan ini. Keluaran lapisan 2 ANFIS dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 9 (Kusumadewi, 2010).

$$O_{2,i} = w_i = \mu_{Ai}(x) \cdot \mu_{Bi}(y) \text{ untuk } i = 1, 2 \quad (9)$$

Untuk lapisan 3, semua simpul pada lapisan ini adalah simpul nonadaptif (parameter tetap). Keluaran pada lapisan ini disebut fungsi derajat pengaktifan ternormalisasi, yaitu rasio keluaran simpul ke-i pada lapisan sebelumnya terhadap seluruh keluaran lapisan sebelumnya. Keluaran lapisan 3 ANFIS dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 10 (Kusumadewi, 2010).

$$O_{3,i} = \frac{w_i}{w_1 + w_2} \text{ untuk } i = 1, 2 \quad (10)$$

Untuk lapisan 4, semua simpul pada lapisan ini adalah simpul adaptif (parameter dapat berubah). Keluaran lapisan 4 ANFIS dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 11 (Kusumadewi, 2010).

$$O_{4,i} = \overline{w_i} f_i = \overline{w_i} p_i x + q_i y + r_i \quad (11)$$

Untuk lapisan 5, semua simpul pada lapisan ini adalah simpul nonadaptif (parameter tetap). Lapisan ini hanya ada satu simpul. Keluaran lapisan 5 ANFIS dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 12 (Kusumadewi, 2010).

$$O_{5,i} = \sum_i \overline{w_i} f_i \quad (12)$$

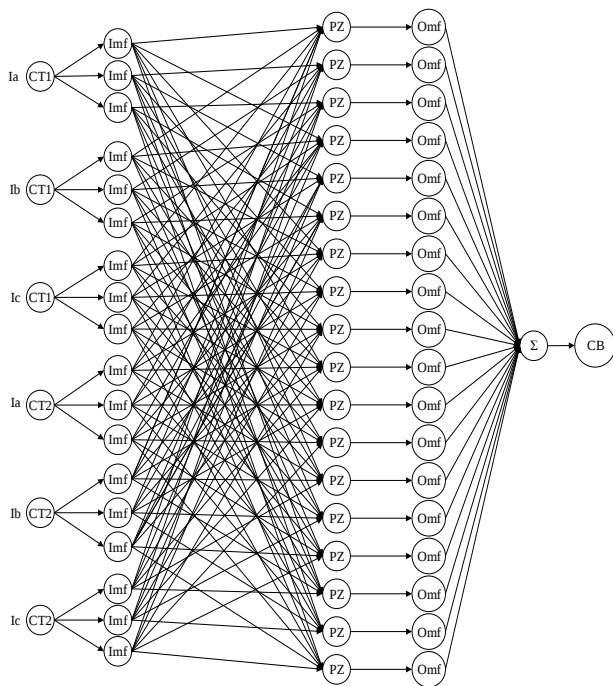
Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah penerapan metoda ANFIS dari relai diferensial pada trafo daya PLTG PT Riau Power. Tahapan pertama dimulai dengan melakukan studi literatur untuk memahami teori-teori yang berkaitan dengan topik. Langkah selanjutnya yaitu membuat pemodelan relai diferensial dengan matlab simulink. Setelah pemodelan selesai, maka di lakukan perhitungan setelan arus relai diferensial. Hasil perhitungan arus setelan dimasukkan ke pemodelan.

Selanjutnya dilakukan simulasi hubung singkat untuk data input pada ANFIS.

Desain Struktur ANFIS

Ada 3 kelompok data masukan ANFIS yaitu jenis gangguan internal dengan eksternal 1, jenis gangguan internal dengan eksternal 2, dan jenis gangguan internal, eksternal 1 dan eksternal 2. Pada penelitian ini, struktur ANFIS yang digunakan untuk ketiga kelompok data masukan tersebut ditunjukkan oleh Gambar 2. Rancangan struktur tersebut terdiri dari 6 masukan arus gangguan di CT1 dan CT2, 3 *membership function*, 729 *rule* dan *output membership function*, dan satu keluaran yaitu Status CB.

Pada penelitian ini pelatihan yang dilakukan sampai nilai kesalahan terendah. Untuk pelatihan dilakukan dengan kelipatan iterasi 30, 50, 80, 100, 130, 150, 180, 200 dst.



Gambar 2. Rancangan Struktur ANFIS

HASIL DAN PEMBAHASAN

Tabel 1 merupakan hasil perhitungan setelah relai diferensial sesuai persamaan 13 sampai 15.

$$I_r = \max(|\bar{I}_p|, |\bar{I}_s|) \quad (13)$$

$$I_{set \text{ gangguan dalam}} = \text{slope 1} \times I_r \quad (14)$$

$$I_{set \text{ gangguan luar}} = \text{slope 2} \times I_r \quad (15)$$

dimana

I_r = Arus restraint (A).

I_p = Arus hubung singkat sekunder CT sisi 11 kV trafo (A).

I_s = Arus hubung singkat sekunder CT sisi 20 kV trafo (A).

I_{set} = Arus setting relai diferensial (A).

Slope 1 = 25%

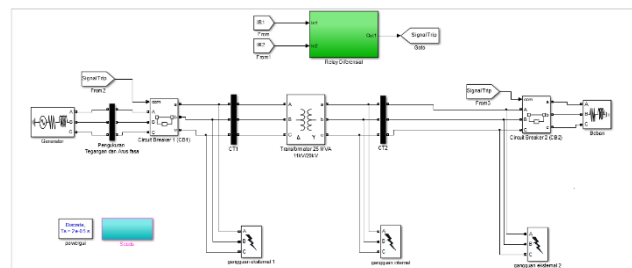
Slope 2 = 100%

Tabel 1. Hasil perhitungan *resetting* relai diferensial PLTG Riau Power

Keterangan	Nilai
I_n sisi tegangan 11 kV (A)	1312,15

I_n sisi tegangan 20 kV (A)	721,68
I_{rating} sisi tegangan 11 kV (A)	1443,365
I_{rating} sisi tegangan 20 kV (A)	793,848
CT1 (A)	2000 / 5
CT2 (A)	1000 / 5
Kesalahan <i>mismatch</i> (%)	1,1
Rasio ACT (A)	9,52 / 5
I_p (A)	3,69823
I_s (A)	3,71
I_r (A)	3,71
$I_{setting}$ gangguan dalam (A)	0,92
$I_{setting}$ gangguan luar (A)	3,7

Pemodelan ini diberi 3 daerah gangguan yaitu internal, eksternal 1, dan eksternal 2. Dapat dilihat Gambar 3. Daerah gangguan internal yaitu daerah pengamanan relai diferensial yang di batasi dengan CT1 dan CT2. Daerah gangguan eksternal 1 yaitu gangguan di luar daerah pengamanan relai diferensial lebih tepatnya sebelum CT1. Sedangkan daerah gangguan eksternal 2 yaitu gangguan di luar daerah pengamanan relai diferensial lebih tepatnya setelah CT2.



Gambar 3 Pemodelan Relai Diferensial

Simulasi ANFIS Menggunakan GUI

Dari proses pengambilan data, didapatkan 3 kelompok data yang akan digunakan untuk proses pelatihan ANFIS.

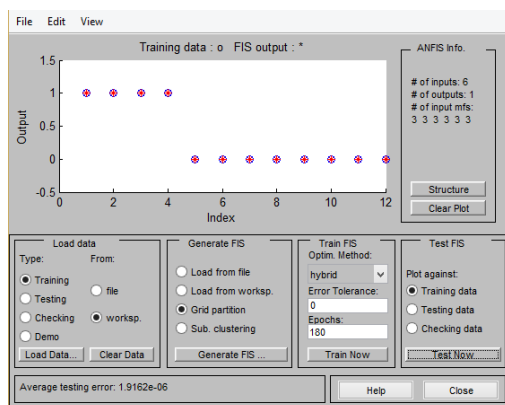
Tabel 2 adalah data masukan ANFIS untuk jenis gangguan internal, eksternal 1, dan eksternal 2. Setelah semua data telah dikirim ke dalam *workspace*, maka selanjutnya membuat data pelatihan menggunakan metode ANFIS.

Struktur ANFIS pengujian gangguan internal, eksternal 1 dan eksternal 2. Struktur tersebut terdiri dari 6 masukan, 3 masukan MF, 729 *rule* dan *output* MF, dan satu keluaran. Struktur ANFIS diatas terlalu padat dikarenakan jumlah masukannya ada 6, dan jumlah *rule* 729.

Tabel 2. Data masukan jenis gangguan internal, eksternal 1 dan eksternal 2 dalam pelatihan ANFIS

Jenis Gangguan	Gangguan	Arus CT 1 (A)			Arus CT 2 (A)			CB
		a	b	c	a	b	c	
ag	internal	1049,148	1005,693	736,404	36,533	454,808	481,000	1
bcg		1002,446	1112,161	1447,193	486,254	332,504	367,577	1
bc		901,495	1034,653	1447,193	404,999	332,504	367,577	1
abc		1479,292	1428,022	1447,193	36,533	332,504	367,577	1
ag	eksternal1	424,233	656,996	740,343	257,121	405,000	367,577	0
bcg		571,229	316,185	733,805	279,718	332,504	367,577	0
bc		736,403	400,973	733,805	360,584	332,504	367,577	0
abc		424,233	313,740	733,805	36,533	332,504	367,577	0
ag	eksternal2	1049,148	1005,693	736,404	607,815	454,811	481,001	0
bcg		1002,446	1112,161	1447,193	486,256	756,482	706,186	0
bc		901,495	1034,653	1447,193	405,003	746,574	690,892	0
abc		1479,292	1428,022	1447,193	809,145	789,091	805,523	0

Gambar 5 menunjukkan hasil pengujian data pada proses ANFIS. Proses ANFIS ini merupakan data dari jenis gangguan internal, eksternal 1, dan eksternal 2, yang terdiri dari 12 data. Terlihat rata-rata kesalahan yang dihasilkan adalah 0,0000019162 pu.

**Gambar 5** Hasil Pengujian ANFIS Untuk Jenis Gangguan Internal, Eksternal 1, dan Eksternal 2

Tabel 3 merupakan data kesalahan dari pelatihan untuk jenis gangguan internal dengan eksternal 1. Pada jenis gangguan ini memiliki kesalahan terendah 0,00000086148 pu dengan jumlah iterasi 130.

Tabel 4 merupakan data kesalahan dari pelatihan untuk jenis gangguan internal dengan eksternal 2. Pada jenis gangguan ini memiliki kesalahan terendah 0,00000092462 pu dengan jumlah iterasi 430.

Tabel 3 Nilai Kesalahan Pelatihan Untuk Jenis Gangguan Internal Dengan Eksternal 1

Iterasi	Kesalahan (pu)
30	0,0000016502
50	0,000001396
80	0,0000011192
100	0,00000093315
130	0,00000086148

Tabel 4 Nilai Kesalahan Pelatihan Untuk Jenis Gangguan Internal Dengan Eksternal 2

Iterasi	Kesalahan (pu)
30	0,0000047032
50	0,0000042736
80	0,0000038087
100	0,0000034499
130	0,0000031719
150	0,0000029767
180	0,0000028077
200	0,0000026169
230	0,000002352
250	0,0000020452
280	0,0000017722
300	0,0000015835
330	0,0000014037
350	0,000001207
380	0,0000010619

400	0,00000096991
430	0,00000092462

Tabel 5 merupakan data kesalahan dari pelatihan untuk jenis gangguan internal, eksternal 1 dan eksternal 2. Pada jenis gangguan ini memiliki kesalahan terendah 0,0000019162 pu dengan jumlah iterasi 180.

Tabel 5 Nilai Kesalahan Pelatihan Untuk Jenis Gangguan Internal Eksternal 1 dan Eksternal 2

Iterasi	Kesalahan (pu)
30	0,0000034991
50	0,0000030883
80	0,0000026312
100	0,0000022822
130	0,0000020406
150	0,0000019285
180	0,0000019162

KESIMPULAN

Setelah di lakukan penyetelan ulang didapat arus *setting* untuk gangguan dalam yaitu 0,92 A. Dan untuk gangguan di luar daerah pengaman yaitu 3,71 A. Dimana arus setelan diatas dimasukkan ke pemodelan relai diferensial bekerja dengan baik.

Berdasarkan proses ANFIS yang dilakukan didapat kesalahan rata-rata dari jenis gangguan internal dengan eksternal 1 adalah 0,00000086148 pu. Kesalahan rata-rata dari jenis gangguan internal dengan eksternal 2 adalah 0,00000092462 pu. Sedangkan Kesalahan rata-rata dari jenis gangguan internal, eksternal 1, dan eksternal 2 adalah 0,0000019162 pu. Dari pelatihan ketiga kelompok masukan tersebut, didapat nilai kesalahan yang paling kecil adalah masukan jenis gangguan internal dengan eksternal 1.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada PT Riau Power yang telah memberikan izin kepada penulis untuk mengambil data-data yang dibutuhkan demi kelancaran penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

Azriyenni, M.W.Mustafa. 2015. "Application of ANFIS for Distance Relay Protection in Transmission Line". International Journal of

Electrical and Computer Engineering (IJECE). 5(6): p. 1311-1318.

Irsyam, M. "Analisa Trouble Differential Relay Terhadap Trip CB (Circuit Breaker) 150 kV Transformator 30 MVA PLTGU Panaran". Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Riau Kepulauan, 2013.

Kusumadewi, Sri., dan Sri Hartati. (2010). "Neuro-Fuzzy Integrasi Sistem Fuzzy & Jaringan Syaraf (Edisi Kedua)". Yogyakarta: Graha Ilmu.

Liem Ek Bien dan Dita Helna. 2007. "Studi Penyetelan Relai Diferensial Pada Transformator PT. Chevron Pacific Indonesia". JETri, Volume 6, Nomor 2, Februari 2007, 41-68, ISSN 1412 – 0372.

Maria Oktavia Fitriyani, Mochammad Facta, dan Juningtyastuti. 2015. "Evaluasi Setting Relay Proteksi Generator Dan Trafo Generator di PLTGU Tambak Lorok Blok 1". Transient Vol. 4, No. 3, September 2015, ISSN 2302 - 9927, 813.

Panjaitan, S. I., Mujahidin, M., & Pramana, R. 2013. "Studi Pengaruh Beban Lebih Terhadap Kinerja Relai Arus Lebih pada Transformator Daya (Studi Kasus Transformator Daya 1 150/20 kV (30MVA) di Gardu Induk Batu Besar PT. PLN Batam). Jurnal Tugas Akhir, Teknik Elektro Universitas Maritim Raja Ali Haji.

Sallama, A., M. Abbod, and P.Turner. 2012."Neuro Fuzzy System Quality Improvements. In Universities Power Engeneering Conference (UPEC)", 47th International.

Shengyang, H., S.K. Starrett. 2009. "Modeling Power System Load Using Adaptive Neural Fuzzy Logic and Artificial Neural Networks. In North American Power Symposium (NAPS)".

Yuanyuan Chai, L.J., and Zundong Zhang,. "Mamdani Model based Adaptive Neural Fuzzy Inference System and its Application". World Academy of Science, Engineering and Technology, 2009. 3 (27).