

Analisa Identifikasi Kegagalan Peralatan Proteksi Pada Jaringan Distribusi Menggunakan ANFIS

Edy Ervianto, Noveri Lysbetti Marpaung
Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Riau
edyervianto@gmail.com, noveri.marpaung@gmail.com

Abstrak

Penelitian ini mengenai analisa untuk mengidentifikasi Kegagalan Peralatan Proteksi Pada Jaringan Distribusi Menggunakan ANFIS pada PT PLN sebagai pemasok Sumber Energi Listrik terbesar di Indonesia, supaya dapat dihindari berbagai akibat buruk yang mungkin terjadi karena kegagalan kinerja dari peralatan proteksi. Salah satu akibat buruk yang terjadi, berupa pemadaman listrik pada konsumen, yang sebaiknya dihindari untuk tetap menjaga kualitas maupun keandalan dalam mendistribusikan Energi Listrik. Tujuan penelitian untuk menganalisa identifikasi dari kegagalan peralatan proteksi menggunakan status operasi Circuit Breaker(CB). Metode identifikasi yang digunakan adalah Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System(ANFIS) merupakan metode yang mengkombinasikan Logika-Fuzzy dan Neural-Network. Desain ANFIS membutuhkan data masukan berupa tegangan, arus dan status operasi dari CB untuk proses pelatihan. Data masukan dihasilkan dari keluaran Simulasi Jaringan Distribusi pada ETAP, sementara Status Operasi CB dalam bilangan Biner(1 atau 0), masing-masing diinterpretasikan sebagai Kondisi-Beroperasi atau Tidak-Beroperasi. Hasil pelatihan menunjukkan persentase rata-rata Error Status Operasi dari CB utama sebesar 1,62%. Hal ini menunjukkan Metode ANFIS yang digunakan akurat dalam mengidentifikasi kegagalan peralatan proteksi yakni CB, jika dirancang dengan benar pada Jaringan Distribusi yang dipilih. Jadi, Metode ANFIS dapat digunakan untuk memperkirakan Status Operasi CB. Jika kegagalan peralatan dapat segera teridentifikasi maka pemulihan sistem dapat segera dilakukan. Kata Kunci: Identifikasi Kegagalan, Jaringan Distribusi, ANFIS, Analisa

Abstract

This research discusses Analysis To Identify Protection Tool Failure in Distribution Network using ANFIS on National Electrical Company(PLN) as the biggest supplier of Electrical Energy Source in Indonesia. So, many negative consequences caused of it's performance failure, can be avoid. For example, electrical blackout on customers, should be avoid to keep quality and reliability in distributing electrical energy. Aim of this research is to analyse failure identification of protection tools by using Operation Status of Circuit Breaker(CB). Identification method used is Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System(ANFIS). ANFIS is a method combines Fuzzy-Logic and Neural-Network. ANFIS design needs input-data such-as voltage, current and CB Operation Status for practice proses. Input data comes from Distribution Network Simulation output on ETAP, meanwhile CB Operation Status in Binary(1 or 0), as Operation-Condition or No-Operation. Practice result shows average percentage of Error Operation Status from main CB around 1.62%. It shows used ANFIS Method is accurate in identifying failure identification of protection tools, such-as CB, if it designed rightly on chosen Distribution Network. In conclusion, ANFIS Method can be used to estimate CB Operation Status. If failure identification of a tool can be identified immediately, so reparation of that system can be done immediately too.

Keywords: Failure Identification, Distribution network, ANFIS, Analysis

1. Pendahuluan

Dalam suatu Sistem daya listrik terdiri dari berbagai komponen, antara lain Sumber Energi, Pembangkit Energi, Sistem Transmisi, Sistem Distribusi dan Pusat Beban. Sumber energi listrik berupa air, uap, gas dan lain sebagainya. Sumber energi ini diubah oleh sistem pembangkit menjadi energi listrik yang ditransmisikan melalui Jaringan Distribusi. Jaringan

Distribusi yang membagi energi listrik ke beban sesuai dengan kebutuhan konsumen. Jaringan Distribusi ini langsung berhubungan dengan konsumen, sehingga sangat menentukan kontinuitas aliran tenaga listrik kepada konsumen. Oleh karena itu, kebutuhan akan daya listrik ini harus dirancang sebaik mungkin, khususnya mengenai kualitas maupun keandalannya dalam mendistribusikan energi listrik

sehingga menjamin tingginya kepuasan konsumen.

PT PLN Persero merupakan pemasok energi listrik terbesar di negara ini. Lebih dari separuh kebutuhan energi listrik di Indonesia, disuplai oleh PLN. Oleh karena itu, PT PLN dipilih dan dijadikan sebagai tempat penelitian karena berbagai jenis kegagalan yang mungkin terjadi di PT PLN, khususnya pada bagian Jaringan Distribusi, dapat menyebabkan terganggunya distribusi listrik yang disalurkan ke bagian konsumen. Hal ini dapat berdampak pada kualitas maupun keandalan dalam mendistribusikan energi listrik sehingga dapat menimbulkan ketidakpuasan para pemakai listrik tersebut. Tentu saja, kejadian ini merupakan prioritas yang penting bagi PLN dalam mempertahankan kredibilitasnya sebagai pemasok listrik negara yang sangat dibutuhkan oleh seluruh pengguna jasa listrik PLN di negara ini.

Jaringan Distribusi merupakan salah satu bagian yang penting dari berbagai gangguan, baik secara teknis maupun non-teknis. Gangguan ini seharusnya dapat diatasi secepat mungkin sehingga tidak mengganggu kinerja distribusi listrik. Dalam mengatasi gangguan ini, dapat dilakukan dengan menggunakan alat pengaman dan alat pemutus tegangan di setiap wilayah beban. Sistem proteksi pada Jaringan Distribusi harus bekerja cepat dan segera mengisolasi kondisi abnormal yang terjadi untuk mencegah kerusakan lebih lanjut dan meminimalkan pemadaman. Namun jika terjadi gangguan pada jaringan yang bersifat sementara, maka peralatan pengaman tidak dapat mengatasi gangguan tersebut. Hal ini memberikan dampak yang sangat besar dan dapat mengakibatkan kerusakan pada jaringan. Salah satu cara untuk mengatasi keadaan ini adalah dengan mengembangkan sistem diagnosa pintar pada Jaringan Distribusi.

Umumnya, diagnosa kegagalan meliputi klasifikasi tipe kegagalan, penentuan lokasi dari kegagalan, identifikasi dari kegagalan peralatan proteksi dan pemulihan daya listrik yang diakibatkan oleh kegagalan tersebut. Dengan adanya bantuan seperti sistem diagnosa pintar, kegagalan peralatan

proteksi ini dapat diisolasi dengan segera untuk dapat memulihkan daya listrik secepat mungkin. Kegagalan peralatan ini, disebabkan lebih kepada adanya mal-fungsi peralatan proteksi yang terpasang pada Jaringan Distribusi tersebut. Pada dasarnya, peralatan identifikasi kegagalan yang digunakan untuk peralatan proteksi pada jaringan distribusi berupa alarm dan sinyal rele proteksi. Namun dengan bantuan teknologi komputerisasi saat ini, kegagalan peralatan ini dapat diidentifikasi secara otomatis dengan meningkatkan keakuratan, yang meliputi status operasi dari peralatan proteksi yang direpresentasikan dalam bilangan biner 1 dan 0. Teknologi ini adalah dasar dalam perbaikan kualitas daya dan keandalan dari sistem distribusi kelistrikan.

Metode yang dapat digunakan untuk proses identifikasi gangguan pada Jaringan Distribusi PT PLN adalah Metode (ANFIS) *Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System* (ANFIS). Metode ini berfungsi sebagai sistem diagnosa pintar untuk kegagalan yang terjadi. ANFIS merupakan gabungan dari dua metode yakni Metode *Fuzzy Logic* dan Metode *Neural Network*. Kombinasi ini menggunakan prinsip pembelajaran dari *neural network* dengan fungsi keanggotaan dari *fuzzy*. *Fuzzy* pertama kali diperkenalkan oleh Takagi dan Sugeno pada 1985, kemudian dikembangkan oleh Jang pada 1993.

Oleh karena itu, Penulis berencana untuk menganalisa dari identifikasi kegagalan yang dapat terjadi pada Jaringan Distribusi PT PLN melalui komponen peralatan proteksi yang digunakan dengan metode sistem diagnosa pintar sistem diagnosa pintar, sehingga akibat dari kegagalan ini dapat dihindari sedini mungkin supaya tidak sampai menimbulkan terjadinya pemadaman di bagian pelanggan.

Tujuan dari penelitian untuk menganalisa identifikasi kegagalan peralatan proteksi pada Jaringan Distribusi PT. PLN dengan menggunakan Metode ANFIS.

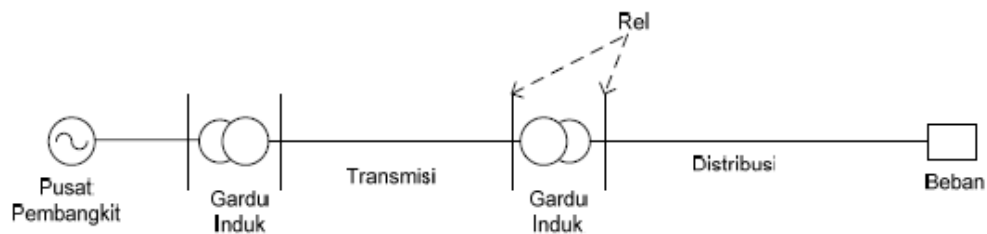
Pada dasarnya permasalahan yang dapat dirumuskan dalam pencapaian hasil penelitian berupa :

- a. Bagaimana memodelkan jaringan distribusi PT PLN (Persero) menggunakan ETAP.
- b. Bagaimana proses algoritma identifikasi kegagalan peralatan proteksi pada jaringan distribusi dengan Metode ANFIS.
- c. Melatih data keluaran berupa arus dan tegangan dari pemodelan jaringan distribusi pada ETAP menggunakan MATLAB dengan Metode ANFIS.

Penelitian ini diharapkan dapat menjadi kajian mengenai keakuratan hasil dari identifikasi kegagalan peralatan proteksi pada Jaringan Distribusi dengan menggunakan ANFIS.

2. Sistem Distribusi Tenaga Listrik

Sistem Distribusi merupakan bagian dari sistem tenaga listrik yang bertugas untuk menyalurkan tenaga listrik dari sumber daya listrik besar (*Bulk Power Source*) sampai ke konsumen. Fungsi distribusi tenaga listrik adalah untuk menyalurkan tenaga listrik ke beberapa tempat (pelanggan) dan merupakan sub sistem tenaga listrik yang langsung berhubungan dengan pelanggan, karena catu daya pada pusat-pusat beban (pelanggan) dilayani langsung melalui jaringan distribusi. Diagram Garis Sistem Tenaga Listrik, ditunjukkan Gambar 1.



Gambar 1. Diagram Garis Sistem Tenaga Listrik (Daman, 2009)

Tenaga listrik yang dihasilkan oleh pembangkit tenaga listrik besar dengan tegangan dari 11 kV sampai 24 kV dinaikkan tegangannya oleh gardu induk dengan transformator penaik tegangan menjadi 70 kV, 150 kV, 220 kV atau 500 kV kemudian disalurkan melalui saluran transmisi. Tujuan menaikkan tegangan ialah untuk memperkecil kerugian daya listrik pada saluran transmisi, dimana dalam hal ini kerugian daya adalah sebanding dengan kuadrat arus yang mengalir (I^2R). Dengan daya yang sama bila tegangan diperbesar, maka arus yang mengalir semakin kecil sehingga kerugian daya juga akan kecil pula.

Dari Saluran Transmisi, tegangan diturunkan lagi menjadi 20 kV dengan transformator penurun tegangan di gardu induk distribusi, kemudian dengan sistem tegangan tersebut penyaluran tenaga listrik dilakukan oleh Saluran Distribusi Primer. Dari Saluran Distribusi Primer inilah gardu-gardu distribusi mengambil tegangan untuk diturunkan tegangannya dengan Trafo

Distribusi menjadi Sistem Tegangan Rendah, yaitu 220/380 Volt. Kemudian, tegangan ini disalurkan oleh Saluran Distribusi Sekunder ke konsumen-konsumen. Terlihat bahwa Sistem Distribusi merupakan bagian yang penting dalam sistem tenaga listrik secara keseluruhan.

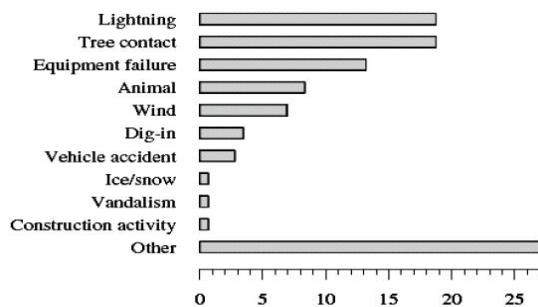
Gangguan Pada Jaringan Distribusi

Dalam operasi sistem tenaga listrik sering terjadi gangguan-gangguan yang dapat mengakibatkan terganggunya penyaluran tenaga listrik ke konsumen. Suatu gangguan di dalam peralatan listrik didefinisikan sebagai terjadinya suatu kerusakan di dalam jaringan listrik yang menyebabkan aliran arus listrik keluar dari saluran yang seharusnya. Berdasarkan ANSI/IEEE Std. 100-1992 gangguan didefinisikan sebagai kondisi fisis yang disebabkan kegagalan suatu perangkat, komponen atau suatu elemen untuk bekerja sesuai fungsinya. Gangguan hamper selalu ditimbulkan oleh hubung singkat antar fasa

atau hubung singkat fasa ke tanah. Tujuan menganalisis gangguan pada jaringan distribusi adalah (Weedy, 1988) :

- a. Untuk menentukan arus maksimum dan minimum hubung singkat tiga fasa.
- b. Untuk menentukan arus gangguan tak simetris bagi gangguan satu dan dua *line* ke tanah, gangguan *line* ke *line*, dan rangkaian terbuka.
- c. Penyelidikan operasi rele-rele proteksi.
- d. Untuk menentukan kapasitas pemutus dari *circuit breaker*.
- e. Untuk menentukan distribusi arus gangguan dan tingkat tegangan busbar selama gangguan.

Berdasarkan studi yang telah dilakukan EPRI (Burke and Lawrence, 1984; EPRI 1209-1, 1983) bahwa penyebab terjadinya gangguan permanen pada jaringan distribusi seperti Gambar 2.



Gambar 2. Persentase gangguan berdasarkan sebab (Daman, 2009)

Hampir 40% dari gangguan yang diteliti, terjadi pada priode cuaca yang tidak menguntungkan seperti : cuaca hujan, dingin dan salju. Gangguan distribusi terjadi pada satu fase, dua fase atau ketiga fasenya. Gangguan-gangguan tersebut menyebabkan terjadinya:

1. Menginterupsi kontinuitas pelayanan daya kepada para konsumen apabila gangguan itu sampai menyebabkan terputusnya suatu rangkaian atau menyebabkan keluarnya satu unit pembangkit.
2. Penurunan tegangan yang cukup besar menyebabkan rendahnya kualitas tenaga listrik dan merintangki kerja normal pada peralatan konsumen.

3. Pengurangan stabilitas sistem dan menyebabkan jatuhnya generator.
4. Merusak peralatan pada daerah terjadinya gangguan.

Sistem Pengaman dan Peralatan pada Jaringan Distribusi

Agar suatu Sistem Distribusi dapat berfungsi dengan secara baik, gangguan-gangguan yang terjadi pada tiap bagian harus dapat dideteksi dan dipisahkan dari sistem lainnya dalam waktu yang secepatnya, bahkan kalau dapat, mungkin pada awal terjadinya gangguan. Keberhasilan berfungsinya proteksi memerlukan adanya suatu koordinasi antara berbagai alat proteksi yang dipakai.

Fungsi Sistem Pengaman adalah :

1. Melokalisir gangguan untuk membebaskan peralatan dari gangguan.
2. Membebaskan bagian yang tidak bekerja normal, untuk mencegah kerusakan.
3. Memberi petunjuk atau indikasi atas lokasi serta macam dari kegagalan
4. Untuk dapat memberikan pelayanan listrik dengan keandalan yang tinggi kepada konsumen.
5. Untuk mengamankan keselamatan manusia terutama terhadap bahaya yang ditimbulkan listrik.

Dalam usaha menjaga kontinuitas pelayanan Tenaga Listrik dan menjaga agar peralatan pada Jaringan Primer 20 kV tidak mengalami kerusakan total akibat gangguan, maka mutlak diperlukan peralatan pengaman. Adapun peralatan pengaman yang digunakan pada jaringan tegangan menengah 20 kV dibagi menjadi :

1. Peralatan pengaman arus lebih
2. Peralatan pemisah atau penghubung
3. Peralatan pengaman tegangan lebih.

Circuit Breaker (CB) adalah salah satu peralatan Pemutus Daya yang berguna untuk memutuskan dan menghubungkan rangkaian listrik dalam kondisi terhubung ke beban secara langsung dan aman, baik pada kondisi normal maupun saat terjadi gangguan.

Syarat yang harus dipenuhi oleh suatu peralatan untuk menjadi Pemutus Daya :

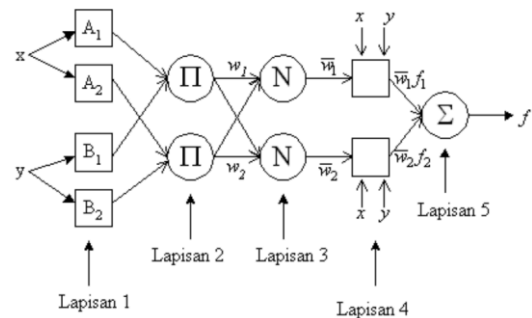
- a. Mampu menyalurkan arus maksimum sistem secara kontinu.
- b. Mampu memutuskan atau menutup jaringan dalam keadaan berbeban atau dalam keadaan hubung singkat tanpa menimbulkan kerusakan pada pemutus daya itu sendiri.
- c. Mampu memutuskan arus hubung singkat dengan kecepatan tinggi.

Kegagalan CB untuk berfungsi dengan baik akan menyebabkan rele pengaman beroperasi mengasingkan daerah gangguan dari sistem daya listrik. Jumlah informasi yang diperoleh adalah sangat penting, hilangnya informasi akan menimbulkan masalah yang sangat rumit, terutama ketika tindakan masa nyata diperlukan.

Adaptive Neuro Fuzzy Inference System
Adaptive Neuro Fuzzy Inference System (ANFIS) merupakan gabungan antara prinsip belajar dari Jaringan Syaraf Tiruan untuk adaptasi fungsi keanggotaan *Fuzzy*. Kombinasi dari kedua jenis kontroler ini dilakukan untuk saling melengkapi kelebihan dan mengurangi kekurangan masing-masing kontroler. Secara fungsional, arsitektur ANFIS sama dengan *fuzzy rule base* dengan Model Sugeno. Jadi, ANFIS adalah suatu metode yang

menggunakan algoritma pembelajaran terhadap sekumpulan data untuk melakukan penyetelan aturan.

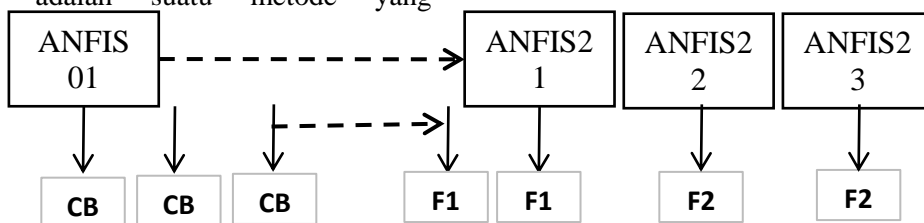
ANFIS dibentuk dengan arsitektur jaringan seperti *Neural Network* yang memiliki beberapa lapisan terdiri dari Lapisan Masukan, Lapisan Tersembunyi, serta Lapisan Keluaran. Pada setiap lapisan, terdapat proses perhitungan yang pada akhirnya akan menghasilkan keluaran Jaringan ANFIS. Arsitektur Jaringan ANFIS dengan 5 lapisan ditampilkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Arsitektur Jaringan ANFIS (*E-journal Transient*, 2012)

Disain ANFIS

Disain ANFIS untuk identifikasi kegagalan CB, ditunjukkan gambar 4.



Gambar 4. Disain ANFIS untuk identifikasi kegagalan CB

Disain ANFIS yang digunakan terdiri dari 23 ANFIS blok. Pada penelitian ini, dirancang ANFIS01 hingga ANFIS23 untuk merepresentasikan setiap *circuit breaker* pada jaringan distribusi yang dipilih, yakni CB_4, CB_6, CB_8, F1, F2, F3, F4, F5, F7, F8, F9, F10, F11, F12, F13, F14, F15, F16, F17, F18, F19, F20, F21, CB_9 dan CB_10. Dimana CB_4 merupakan CB yang merespon untuk membuka ketika F17, F18, F19, F20, F21 mengalami kegagalan operasi. Sementara

itu, jika F8, F9, F10, F11, F12, F13, F14, dan F15 mengalami gangguan, CB_6 akan merespon untuk membuka. Untuk F1, F2, F3, F4, F5, dan F7, maka CB_8 akan merespon jika mengalami kegagalan operasi. CB_9 dan CB_10 merupakan *tie* CB yakni CB yang bekerja ketika terjadi gangguan akan melepas untuk menghindari meluasnya gangguan ke *feeder* atau pun *bus* lain. 1 atau 0 menjadi interpretasi sebagai tanda CB Beroperasi dan Tidak Beroperasi.

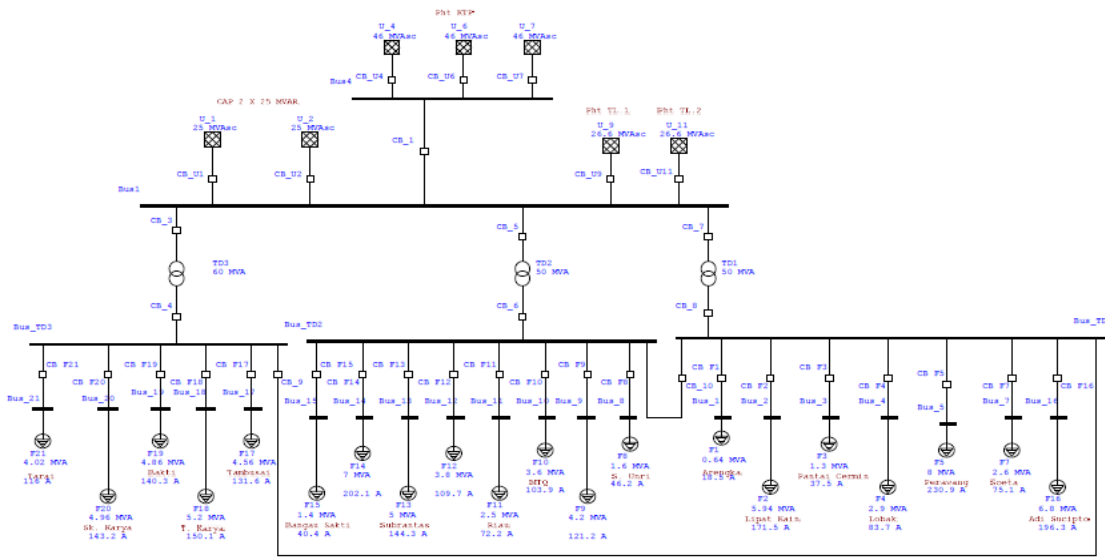
Arsitektur jaringan yang digunakan adalah Tipe Sugeno, dimana di-*set* 1.725 data selama proses *training*. Data ini terdiri dari nilai tegangan dan arus saat terjadi kegagalan, serta nilai biner dari status CB. Dengan mengetahui kegagalan CB secara akurat, kegagalan pada *feeder* maupun *bus* dapat diisolasi dengan segera dan prosedur perbaikan dapat dijalankan untuk memulihkan Sistem Daya Listrik dengan cepat.

3. Metode

Tahapan yang dilakukan dalam proses Identifikasi Kegagalan Peralatan Proteksi Pada Jaringan Distribusi PT PLN adalah :

1. Melakukan studi literatur dan pengumpulan data yang merupakan langkah awal dalam proses identifikasi kegagalan ini.
2. Melakukan pemodelan Jaringan Distribusi menggunakan ETAP.

Pemodelan Jaringan Distribusi Menggunakan ETAP, ditunjukkan Gambar 5.



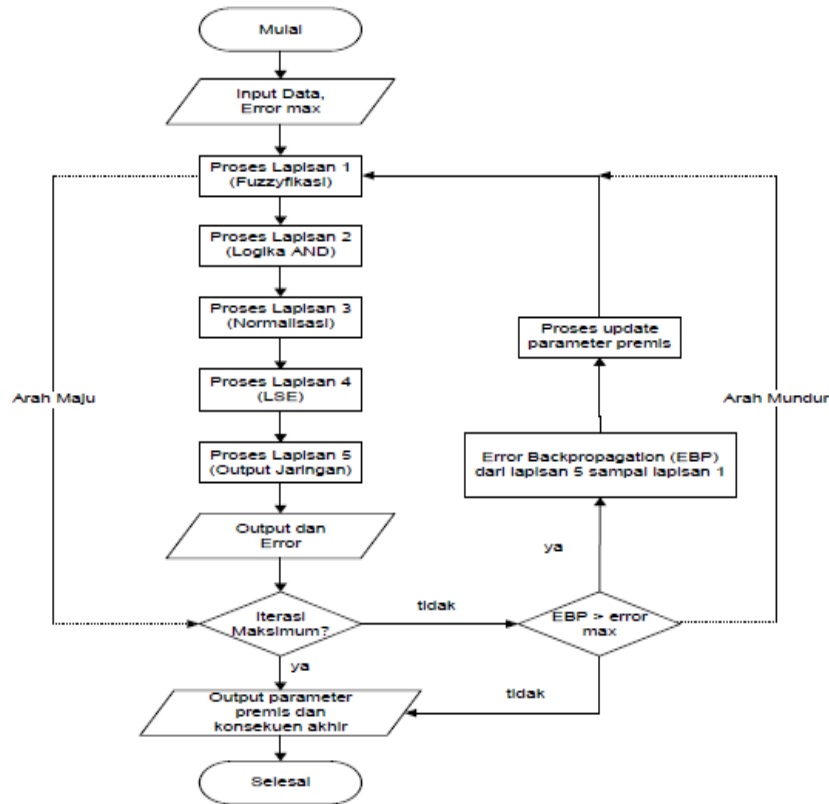
Gambar 5. Pemodelan Jaringan Distribusi Menggunakan ETAP

Gambar 5 merupakan Pemodelan Jaringan Distribusi menggunakan ETAP untuk memperoleh masukan data pelatihan ANFIS, yakni berupa tegangan dan arus. Simulasi dilakukan dalam dua kondisi yakni saat sistem normal maupun saat ada gangguan (*short circuit*). Dari simulasi ini diperoleh nilai tegangan dan arus saat beroperasi normal dan saat, sehingga didapat status operasi CB dalam biner yakni

1 untuk Status Beroperasi (saat terjadi gangguan atau *short circuit*) dan 0 untuk Status Tidak Beroperasi (Kondisi Normal).

3. Melaksanakan pengolahan data dan aplikasi Metode ANFIS menggunakan Simulasi MATLAB.

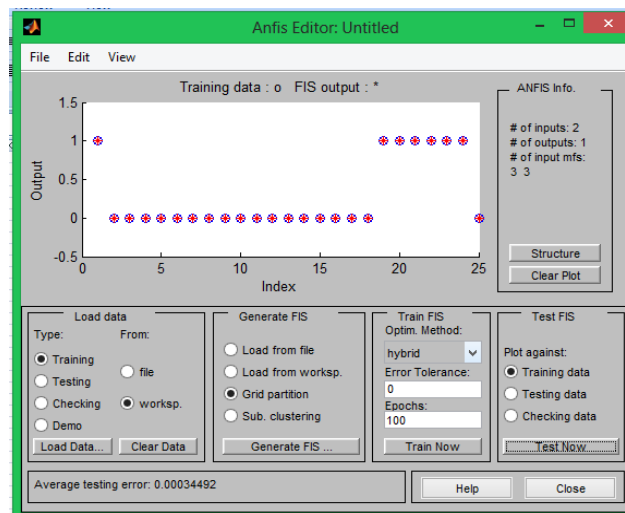
Algoritma ANFIS dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Algoritma ANFIS

Proses pembelajaran dimulai dengan me-load data *training* dari *workspace*, kemudian membangkitkan *Fuzzy*. FIS hasil inialisasi awal dengan memilih *grid partition*. Proses *training* FIS dilakukan dengan memilih algoritma pembelajaran *hybrid*, lalu menentukan target *learning*

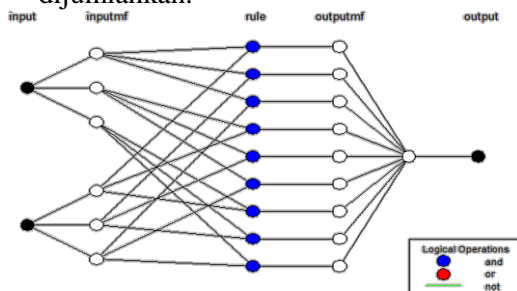
error serta jumlah iterasi/*epoch* yang diinginkan. Setelah target *error* ataupun jumlah iterasi terpenuhi, proses *training* akan berhenti. Hasil dari proses *training* serta nilai *average testing error*, ditampilkan Gambar 7.



Gambar 7. Hasil proses training serta nilai *average testing error*

4. Memodelkan data yang didapat berupa *one line diagram* dari Jaringan Distribusi PT PLN menggunakan ETAP.
5. Memasukkan nilai-nilai parameter.
Pada penelitian ini, Jaringan Distribusi yang digunakan adalah Jaringan Distribusi PT PLN (Persero) dengan wilayah distribusi pada Gardu Induk Garuda Sakti Pekanbaru. Jaringan ini disimulasikan pada program ETAP 12.6.0 dengan membuat kembali *one line diagram* dan memasukkan nilai-nilai parameter berupa MVAsc, MVA, %PF, Nominal Bus, dan Rating CB. Setelah nilai dari parameter tersebut dimasukkan maka diperoleh *load flow* yakni kondisi saat jaringan distribusi normal dan kondisi saat *short circuit*.
6. Setelah keluaran ETAP diperoleh, keluaran ini menjadi masukan pada Simulasi MATLAB.
7. Pada Simulasi MATLAB, data masukan diolah dan dilatih dengan menggunakan Metode ANFIS, sedangkan masukan berupa fungsi keanggotaan diolah menggunakan *Fuzzy* dan kemudian dilatih dengan pembelajaran *Neural Network*.
8. Hasil Training

Dari hasil *training* data, diperoleh arsitektur ANFIS, pada Gambar 8. Penulis menggunakan *MF (Membership Function)* 3 3 dengan jenis *Generalized Bell* dan konstan. Lapisan pertama berupa masukan. Lapisan kedua berupa masukan dari MF. Lapisan ketiga berupa *rule* yang berlaku. Lapisan keempat berupa keluaran dari MF yang merupakan simpul adaptif. Lapisan kelima yakni keluaran layer merupakan keluaran semua masukan setelah dijumlahkan.



Gambar 8. Arsitektur ANFIS Lapisan pada Arsitektur ANFIS berupa:

1. Lapisan Satu
Neuron pada lapisan ini berupa derajat keanggotaan, seperti Persamaan 1.

$$\mu_{Ai}(x) = \frac{1}{1 + \left| \frac{x-c}{a} \right|^{2bi}} \quad \text{untuk } i = 1,2,3$$

$$\mu_{Ai}(y) = \frac{1}{1 + \left| \frac{y-c}{a} \right|^{2bi}} \quad \text{untuk } i = 1,2,3$$

Persamaan 1.

Dimana x dan y adalah masukan awal, x untuk nilai tegangan dan y untuk nilai arus. $\{a \ b \ c\}$ adalah parameter yang telah ditetapkan dari *masukan membership function* yang digunakan yakni, *generalized bell*. Biasanya $b = 1$.

2. Lapisan Dua
Pada lapisan ini berlaku operasi perkalian AND antara nilai lapisan sebelumnya.

$$w_1 = \mu_{A_1}(x) \cdot \mu_{B_1}(y)$$

$$w_2 = \mu_{A_1}(x) \cdot \mu_{B_2}(y)$$

$$w_3 = \mu_{A_1}(x) \cdot \mu_{B_3}(y)$$

$$w_4 = \mu_{A_2}(x) \cdot \mu_{B_1}(y)$$

$$w_5 = \mu_{A_2}(x) \cdot \mu_{B_2}(y)$$

$$w_6 = \mu_{A_2}(x) \cdot \mu_{B_3}(y)$$

$$w_7 = \mu_{A_3}(x) \cdot \mu_{B_1}(y)$$

$$w_8 = \mu_{A_3}(x) \cdot \mu_{B_2}(y)$$

$$w_9 = \mu_{A_3}(x) \cdot \mu_{B_3}(y)$$

3. Lapisan Tiga
Pada lapisan ini diaplikasikan 9 *rule*, tingkat aktivasi dan normalisasi diimplementasikan dengan Persamaan 2.

$$\bar{w}_i = \frac{w_i}{w_T}, \quad i = 1,2,3,4,5,6,7,8,9$$

Persamaan 2.

Dimana $w_T = w_1 + w_2 + w_3 + w_4 + w_5 + w_6 + w_7 + w_8 + w_9$

4. Lapisan Empat
Pada tahap ini simpul adaptif terhadap suatu keluaran:

$$\bar{w}_i f_i = \bar{w}_i (p_i x_1 + q_i x_2 + r_i) \quad \text{untuk } i=1,2,3,4,5,6,7,8,9$$

dimana p_i, q_i, r_i adalah parameter dari keluaran *membership function generalized bell*.

5. Lapisan Lima
Lapisan terakhir ini merupakan simpul tunggal tetap yang menghasilkan keluaran, ditunjukkan oleh Persamaan 3.

$$\sum_i \bar{w}_i f_i = \frac{\sum_i w_i f_i}{\sum_i f_i} \quad \text{Persamaan 3.}$$

untuk $i = 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9$

4. Hasil dan Pembahasan

Hasil simulasi ANFIS berupa Akurasi Training, disajikan pada Tabel.1.

Tabel 1. Akurasi Training

Models	Epoch	Error
ANFIS01	100	0.000348
ANFIS02	100	0.000246754
ANFIS03	100	0.000308682
ANFIS04	50	2.34361E-07
ANFIS05	50	2.3396E-07
ANFIS06	50	2.341E-07
ANFIS07	50	2.33976E-07
ANFIS08	50	2.34058E-07
ANFIS09	50	2.36801E-07
ANFIS10	50	2.34143E-07
ANFIS11	50	2.33929E-07
ANFIS12	50	2.33954E-07
ANFIS13	50	2.34021E-07
ANFIS14	150	2.13480E-07
ANFIS15	75	2.13497E-07
ANFIS16	250	2.14203E-07
ANFIS17	300	2.15059E-07
ANFIS18	200	2.15249E-07
ANFIS19	100	2.13480E-07
ANFIS20	50	2.33887E-07
ANFIS21	50	2.33885E-07
ANFIS22	50	2.33908E-07
ANFIS23	50	2.33922E-07

Nilai Rata-rata *Error* Status Operasi dari CB utama ditunjukkan Tabel 2.

Tabel 2. Nilai Rata-rata *Error* Status Operasi dari CB utama

ID	Target Aktual	Nilai Prediksi	Nilai Error
CB_4	1	0.9823	0.0177
CB_6	0	-0.0002	0.0002
CB_8	0	-0.0002	0.0002
F1	0	-0.0005	0.0005
F2	0	0.0002	0.0002
F3	0	-0.0005	0.0005
F4	0	-0.0002	0.0002
F5	0	0.0006	0.0006
F7	0	-0.0003	0.0003
F8	0	-0.0004	0.0004

ID	Target Aktual	Nilai Prediksi	Nilai Error
F9	0	0	0
F10	0	-0.0001	0.0001
F11	0	-0.0003	0.0003
F12	0	-0.0001	0.0001
F13	0	0.0001	0.0001
F14	0	0.0004	0.0004
F15	0	-0.0004	0.0004
F16	0	0.0004	0.0004
F17	1	0.9999	1E-04
F18	1	0.9999	1E-04
F19	1	0.9999	1E-04
F20	1	0.9999	1E-04
F21	1	1	0
CB_9	1	0.6169	0.3831
CB_10	0	-0.0001	0.0001
Nilai Rata-rata <i>Error</i>			0.016248

Dari Tabel 2, dapat dilihat bahwa persentase rata-rata *Error* Status Operasi dari CB utama sebesar 1,62%, hal ini menunjukkan bahwa Metode ANFIS yang digunakan cukup akurat dalam mengidentifikasi kegagalan peralatan proteksi yakni *Circuit Breaker*, jika dirancang dengan benar pada jaringan distribusi yang dipilih.

5. Kesimpulan

Kesimpulan dari hasil penelitian ini :

1. Metode ANFIS dapat digunakan untuk memperkirakan Status Operasi dari *Circuit Breaker*.
2. Nilai rata-rata *Error* sebesar 1,62%, menunjukkan bahwa Metode ANFIS yang digunakan akurat dalam mengidentifikasi kegagalan peralatan proteksi yakni *Circuit Breaker*, jika dirancang dengan benar pada jaringan distribusi yang dipilih.

DaftarPustaka

Azriyenni. 2009. *Transmisi dan Distribusi Tenaga Listrik*. Pekanbaru : Pusat Pengembangan Pendidikan Universitas Riau.

- Fatkhurrozi. Bagus. Muslim, M Aziz. Didik R. Santoso. 2012. "Penggunaan Artificial Neuro Fuzzy Inference Sistem (ANFIS) dalam Penentuan Status Aktivitas Gunung Merapi". *Jurnal EECCIS Vol 6 No 2, pp 113 – 118.*
- Alifia. Avtur, Fatimah. 2012. "Desain Sistem Kontrol Adaptive Neuro Fuzzy Inference System (ANFIS) – Studi Kasus : Pengontrolan Ketinggian Air dan Temperatur Uap Steam Drum Boiler". *Jurnal Transient Vol 1 No 4, pp 311 – 319.*
- Jang. Roger, Jhy-Shing. 1993. "ANFIS : Adaptive-Network-Based Fuzzy Inference System". *IEEE Transaction On Systems, Man, And Cybernatics Vol 23 No 3, pp 665 – 684.*
- Dame, Missi Ebta. 2013. "Pemodelan Back Propagation Neural Network Untuk Mendeteksi Gangguan di Saluran Transmisi Sistem Daya Listrik". *Teknik Elektro Universitas Riau. Pekanbaru.*
- Soleh, M. 2014. "Desain Sistem SCADA Untuk Peningkatan Pelayanan Pelanggan Dan Efisiensi Operasional Sistem Tenaga di APJ Cirebon". *Jurnal Telekomunikasi dan Komputer Incomtech, Vol 5 No 1, pp 26 – 44.*
- Rahman. Zaki, Achmad. 2014. *ANFIS Tugas Otomasi.* www.academia.edu. Akses 25 Oktober 2014.
- Ghani, Rasli A. Mohamed, Azah. Shareef, Hussain. 2010. *An Approach for Identifying Faulty Protection Devices in a Distribution System Using ANFIS In 27 – 29 October 2010.* Disampaikan pada Conference Proceedings IPEC, Singapore, pp 368–372.