

## Deteksi Jarak Lokasi Gangguan Pada Saluran Transmisi 500 Kv Cilegon Baru - Cibinong Menggunakan *Adaptive Neuro Fuzzy Inference System* (ANFIS)

Muhamad Otong<sup>1</sup>, Alimuddin<sup>1</sup>, Chandra Arief B<sup>3</sup>

Jurusan Teknik Elektro, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa  
Cilegon, Indonesia

### Informasi Artikel

Naskah Diterima : 16 Maret 2017

Direvisi : 14 April 2017

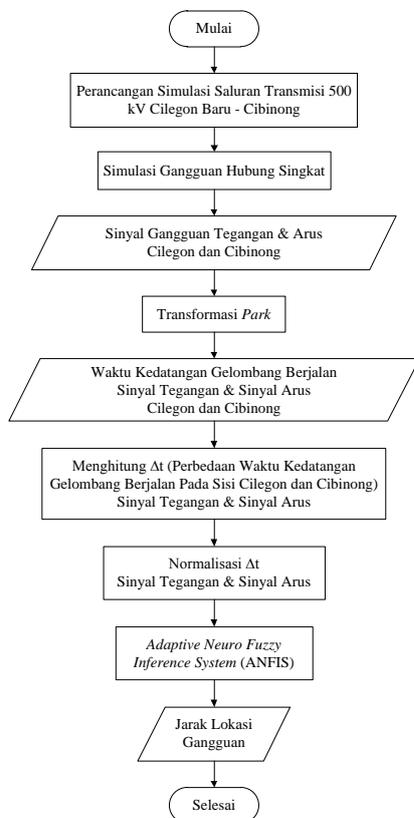
Disetujui : 15 Juni 2017

\*Korespondensi Penulis :

muhamadotonguntirta@yahoo.co

m

### Graphical abstract



### Abstract

On the transmission line required accurate and fast fault location detection methods needed to reduce search time so the maintenance will be quick. With combination of methods Transformation Park and Adaptive Neuro Fuzzy Inference System (ANFIS), can be detected the fault location directly after the disturbance by analyzing the travelling wave in the line transmission. When the fault occur on transmission line it will cause travelling wave on voltage and current. This wave will be transformed by the transformation parks on both line ends. By analyzing the results of the transformation parks will be obtained time of inception fault there is a time difference at each line end because of differences distance. The time difference has a trend which will be processed by ANFIS to obtain the fault location. By comparing the number of membership function and input selection, the best ANFIS design with membership function (MF) 5 and input selection  $\Delta t_V$  and  $\Delta t_I$  (V and I) with Mean Absolute Error (MAE) 1,33.

**Keywords:** Line transmission, Fault location detection, Travelling wave, Park transformation, ANFIS.

### Abstrak

Pada saluran transmisi diperlukan metode deteksi lokasi gangguan yang akurat dan cepat untuk mengurangi waktu pencarian, sehingga mempercepat proses perbaikan. Dengan menggunakan kombinasi metode Transformasi Park dan Adaptive Neuro Fuzzy Inference System (ANFIS), dapat dideteksi jarak lokasi gangguan secara langsung setelah terjadinya gangguan dengan cara menganalisa gelombang berjalan pada saluran transmisi. Saat terjadi gangguan, akan menyebabkan timbulnya gelombang berjalan yang berupa tegangan dan arus. Tegangan dan arus ini akan ditransformasikan oleh transformasi park pada kedua ujung saluran untuk mendapatkan waktu kedatangan gelombang berjalan, yang mana terdapat perbedaan waktu pada tiap ujung saluran dikarenakan adanya perbedaan jarak yang ada. Perbedaan waktu ini akan di input kedalam ANFIS untuk mendapatkan jarak lokasi gangguan. Dengan membandingkan jumlah nilai keanggotaan dan pemilihan input, maka diperoleh desain ANFIS terbaik adalah dengan jumlah nilai keanggotaan (MF) 5 serta input perbedaan waktu  $\Delta t_V$  dan  $\Delta t_I$  (V dan I) dengan nilai Mean Absolute Error (MAE) sebesar 1,33.

**Kata kunci:** Deteksi lokasi gangguan, Saluran transmisi, Gelombang berjalan, Transformasi park, ANFIS.

© 2017 Penerbit Jurusan Teknik Elektro UNTIRTA Press. All rights reserved

## 1. PENDAHULUAN

Saluran transmisi adalah komponen yang sangat penting dalam sistem tenaga listrik. Saluran transmisi merupakan penghubung antara pusat pembangkit dan beban. Maka dari itu, saluran transmisi harus mampu menjamin ketersediaan energi listrik secara kontinu pada setiap beban yang terhubung dengan sistem. Sebagian besar gangguan dalam sistem tenaga listrik terjadi pada saluran transmisi. Salah satu gangguan yang paling sering terjadi adalah gangguan hubung singkat. Gangguan

pada saluran transmisi dapat menghambat kontinuitas penyaluran energi listrik. Oleh karena itu, gangguan tersebut perlu dideteksi, diklasifikasikan dan diperbaiki secepat mungkin. Dalam proteksi saluran transmisi, deteksi gangguan dan klasifikasi gangguan adalah dua hal penting yang perlu ditangani dengan andal dan akurat [1].

Terdapat beberapa metode dalam mendeteksi gangguan pada sistem tenaga listrik, metode tersebut dapat dikelompokkan dalam dua kategori yaitu metode yang pertama berdasarkan komponen-komponen frekuensi daya, dan metode kedua berdasarkan sinyal-sinyal gangguan transien pada frekuensi yang lebih tinggi [2]. Kategori yang kedua yaitu teori gelombang berjalan merupakan sebuah diskriminan atau pola grafis yang digambarkan berdasarkan pada gelombang tegangan dan arus transien dalam bentuk hubungan silang antara nilai-nilai puncak kedatangan di titik pengukuran dari gelombang berjalan maju dan mundur. Pola grafis ini menunjukkan perkiraan waktu tempuh sinyal-sinyal transien dari sumber sinyal ke gangguan [3]. Metode tersebut adalah untuk mencari lokasi gangguan. Namun bagaimana jika resistansi begitu besar dan mengakibatkan arus gangguan sama dengan arus nominal. Kondisi tersebut dapat mengakibatkan kerugian yang tak terdeteksi.

Banyak penelitian sebelumnya yang telah membahas deteksi lokasi gangguan pada saluran transmisi dengan berbagai metode. Dalam tugas akhir ini, disajikan suatu metode pendekatan yang berbeda menggunakan kombinasi metode Transformasi *Park* dan *Adaptive Neuro Fuzzy Inference System* (ANFIS). Dengan metode ini diharapkan dapat mendeteksi jarak lokasi gangguan secara langsung setelah terjadinya gangguan, dengan cara menganalisa gelombang berjalan yang terjadi setelah saluran transmisi terkena gangguan. Gelombang berjalan ini merambat jauh dari titik gangguan ke kedua ujung saluran dengan kecepatan yang hampir mendekati kecepatan cahaya. Sehingga di kedua ujung terekam sebuah impulse frekuensi yang tinggi, tetapi puncak gelombang dari impuls di setiap ujung memiliki perbedaan waktu walaupun sangat kecil. Dengan mentransformasikan gelombang di kedua ujung dengan transformasi *park* dapat dilihat lebih jelas perbedaan waktu yang ada. Kemudian perbedaan waktu tersebut akan diolah oleh ANFIS untuk mendapatkan data *training*, yang dapat digunakan dalam mendeteksi jarak lokasi gangguan.

## 2. METODE PENELITIAN

### A. Perancangan Penelitian

Saluran transmisi yang digunakan dalam pemodelan ini adalah saluran transmisi 500 kV sepanjang 130,81 km, dari Cilegon Baru sampai Cibinong. Pemodelan tugas akhir ini akan dibuat dalam sebuah perangkat lunak (*software*) MATLAB R2014a. Dalam tugas akhir ini akan dilakukan simulasi gangguan hubung singkat sehingga data yang dibutuhkan adalah parameter sumber tiga fasa Cilegon dan Cibinong, data arus hubung singkat dan parameter saluran transmisi yang meliputi resistansi, induktansi serta kapasitansi seperti yang dipaparkan pada Tabel 1 dan Tabel 2.

Tabel 1. Parameter Sumber Tiga Fasa

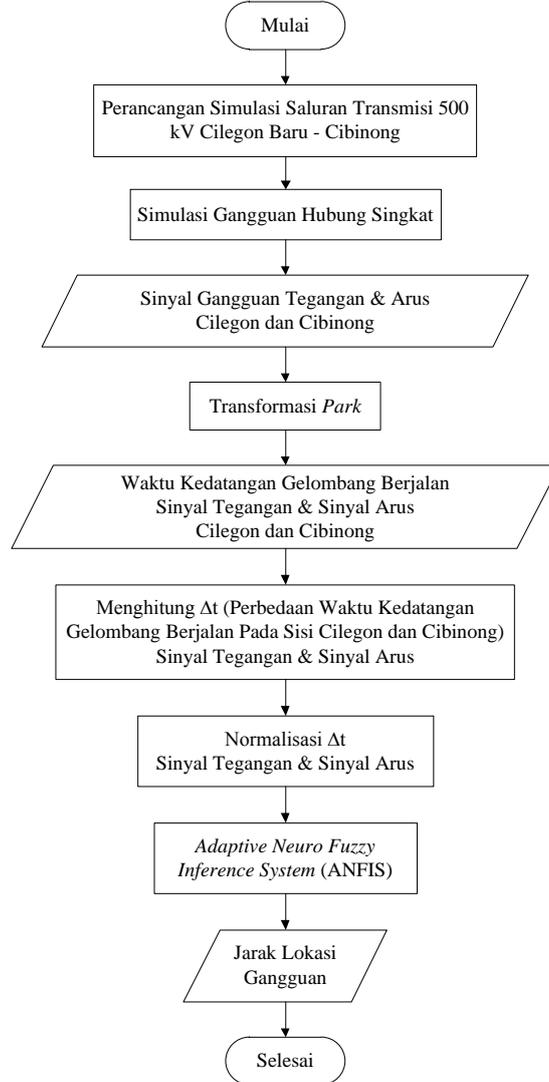
Parameter	Cilegon Baru	Cibinong
Vrms (V)	499650,47	493596,176
Sudut Fasa (°)	0	4.999
Frekuensi (Hz)	50	50
Koneksi Internal	Yg	Yg
Short Circuit Level 3 Fasa (MVAsc)	32232,55	40095,96
Base Voltage (Vrms ph-ph)	500000	500000
X/R Ratio	15,7756	13,1

Tabel 2. Parameter Saluran Transmisi

Frekuensi (Hz)	50
----------------	----

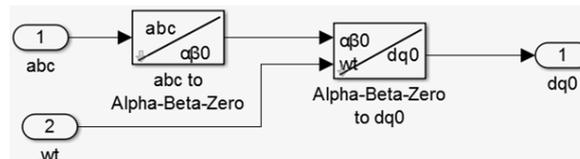
$[r_1 \ r_0]$ (Ohm/km)	$[0,0251 \ 0,1751]$
$[l_1 \ l_0]$ (H/km)	$[8,938e-4 \ 26,8e-4]$
$[c_1 \ c_0]$ (F/km)	$[12,74e-9 \ 7,751e-9]$
Isec (km)	130,81

Setelah didapatkan semua data saluran transmisi, maka akan dimodelkan saluran transmisi dari data Tabel 1 dan Tabel 2. Dibutuhkannya beberapa langkah permodelan dan analisa untuk mendesain sistem yang dapat menentukan jarak lokasi gangguan pada saluran transmisi. Langkah-langkah tersebut dapat dijelaskan melalui diagram alir di bawah ini.



Gambar 1. Diagram Alir Perencanaan Penelitian

B. Transformasi Park



Gambar 2. Blok Tranformasi Park

Dalam blok transformasi *park* sinyal sinusoidal tiga fasa *abc* dihitung dan ditransformasikan menjadi sumbu *d*, sumbu *q*, *zero sequence* dengan persamaan [4]:

$$[U_{dq0}] = [T_{dq0}] [U_{abc}] \tag{1}$$



$$[Tdq0] = \frac{2}{3} \begin{bmatrix} \sin(wt) & \sin\left(wt - \frac{2\pi}{3}\right) & \sin\left(wt + \frac{2\pi}{3}\right) \\ \cos(wt) & \cos\left(wt - \frac{2\pi}{3}\right) & \cos\left(wt + \frac{2\pi}{3}\right) \\ \frac{1}{2} & \frac{1}{2} & \frac{1}{2} \end{bmatrix} \quad (2)$$

Selanjutnya diambil data waktu kedatangan gelombang berjalan pada kedua ujung saluran dari sinyal tegangan dan sinyal arus tersebut dengan menganalisa gelombang berjalan setelah terjadinya gangguan.

Untuk mencapai hasil akurat dalam menentukan waktu kedatangan gelombang berjalan maka digunakan koefisien diferensial (*Cdif*) yang akan memperkuat hasil transformasi *park* sehingga akan mampu menentukan waktu awal terjadi gangguan. Dimana persamaan *Cdif* akan dijelaskan sebagai berikut [3][5]:

$$Cdif = \frac{Vd(i) - Vd(i-1)}{\Delta t} \quad (3)(3-2)$$

Dimana:

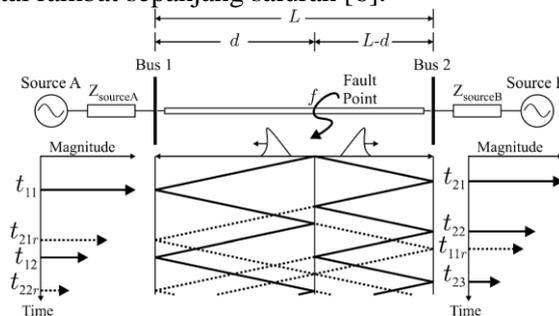
$Vd$  = Tegangan sumbu  $d$

$I$  = *sample number* ke- $i$

$\Delta t$  = *time step*

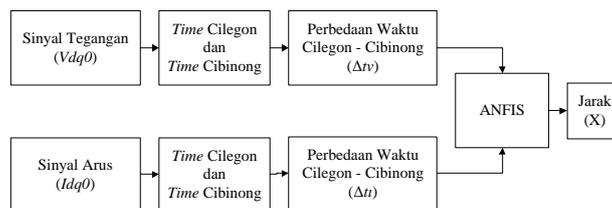
### C. Gelombang Berjalan

Metode ini memanfaatkan sinyal transien yang dibangkitkan oleh gangguan. Ketika gangguan pada saluran terjadi, seperti gangguan hubung singkat, tegangan berubah secara kasar pada titik gangguan. Sehingga membangkitkan sebuah impuls elektromagnetik berfrekuensi tinggi disebut gelombang berjalan, yang merambat sepanjang saluran dalam dua arah berlawanan dari titik gangguan dengan kecepatan mendekati kecepatan cahaya. Lokasi gangguan ditentukan oleh ketelitian pengamatan waktu kedatangan gelombang berjalan pada tiap ujung saluran dan perbandingan selisih waktunya dengan waktu total rambat sepanjang saluran [6].



Gambar 3. Gelombang Berjalan Pada Kedua Ujung Saluran Transmisi [5]

Dengan mentransformasikan tegangan  $Vabc$  dan arus  $Iabc$  saat terjadi gangguan pada kedua ujung saluran, didapatkan tegangan  $Vdq0$  dan arus  $Idq0$ . Kemudian diambil waktu kedatangan gelombang berjalan (*Time Cilegon* dan *Time Cibinong*) dari sinyal tegangan  $Vdq0$  dan sinyal arus  $Idq0$  tersebut. Waktu kedatangan gelombang berjalan pada kedua ujung memiliki perbedaan, selanjutnya dihitung perbedaan waktu kedatangan gelombang berjalan antara Cilegon dengan Cibinong ( $\Delta t$ ). Dari perhitungan tersebut diperoleh nilai  $\Delta t_V$  (V) dan  $\Delta t_I$  (I), dimana nilai V dan I ini adalah perbedaan waktu kedatangan gelombang berjalan untuk masing-masing sinyal tegangan dan sinyal arus. Selanjutnya nilai V dan I akan diolah oleh ANFIS untuk menentukan jarak lokasi gangguan pada saluran transmisi (X).



Gambar 4. Diagram Blok Penelitian

D. *Adaptive Neuro Fuzzy Inference System* (ANFIS)

Langkah-langkah yang dilakukan dalam menentukan jarak lokasi gangguan menggunakan ANFIS dapat dijelaskan sebagai berikut:

1. Memasukkan Data

Dalam tahap ini ditentukan jumlah *input* pada struktur jaringan ANFIS. *Input* yang digunakan berdasarkan hasil analisis transformasi *park* berupa data  $\Delta t_v$  dan data  $\Delta t_f$ . Untuk memudahkan pemodelan maka data *input* akan di normalisasi. Rumus dari normalisasi yaitu [7]:

$$\text{Normalisasi} = \frac{\text{Data} - \text{Min Data}}{\text{Max Data} - \text{Min Data}} \quad (4)$$

Dimana:

- Data = Data ke-i
- Min Data = Data minimum
- Max Data = Data maksimum

Sedangkan *output* yang digunakan adalah X (Jarak gangguan aktual).

2. Membangun Sistem Inferensi Fuzzy (*Fuzzy Inference System*)

Pada tahap ini ditentukan ditentukan jumlah nilai keanggotaan (2, 3 dan 5) serta jenis fungsi keanggotaan yang digunakan yaitu *gbellmf* (*Generalized Bell*).

3. Menentukan Parameter Pelatihan

Pada tahap ini ditentukan metode optimasi yang digunakan adalah *hybrid* dan besar toleransi *error* sebesar 0. Kemudian ditentukan jumlah iterasi (*epoch*) sebanyak 100.

4. Proses Pelatihan

ANFIS dalam kerjanya menggunakan algoritma *hybrid*, yang akan mengatur parameter konsekuen (*p*, *q* dan *r*) secara maju (*forward*) dan akan mengatur parameter premis (*a*, *b* dan *c*) secara mundur (*backward*). Pada langkah maju (*forward*), *input* jaringan akan merambat maju sampai lapisan keempat, dimana parameter konsekuen (*p*, *q* dan *r*) akan diidentifikasi menggunakan metode *least squares*. Sedangkan pada arah mundur (*backward*), *error* sinyal akan merambat mundur dan parameter premis (*a*, *b* dan *c*) akan diperbaiki dengan metode *gradient descent*. Baik tidaknya kinerja dari pelatihan ANFIS dapat diperiksa berdasarkan nilai MAE (*Mean Absolute Error*) [8].

$$\text{MAE} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |Z_t - Z| \quad (5) \quad (2-40)$$

Dimana:

- n* = Banyaknya data
- Z<sub>t</sub>* = Hasil prediksi
- Z* = Data runtun waktu asli (data aktual)

5. Analisis Hasil

Pada tahap ini dilakukan evaluasi dari hasil pelatihan terbaik ANFIS berdasarkan jumlah *input* dan jumlah nilai keanggotaan yang menghasilkan nilai MAE terkecil. Selanjutnya akan dibandingkan hasil jarak lokasi gangguan pengolahan ANFIS dengan hasil jarak gangguan aktual untuk mengetahui kemampuan metode ANFIS dalam mendeksi jarak lokasi gangguan

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Simulasi gangguan hubung singkat

Setalah didapatkan pemodelan saluran transmisi, maka akan dilakukan simulasi gangguan hubung singkat pada saluran transmisi dengan berbagai variasi skenario. Variasi skenario hubung singkat yang akan disimulasikan meliputi:

- 1) Jenis gangguan hubung singkat tiga fasa
- 2) Jarak gangguan (setiap 10% dari 130 km)
- 3) Resistansi gangguan (10, 100, 500 dan 1000 Ω)

B. Simulasi Transformasi *Park*

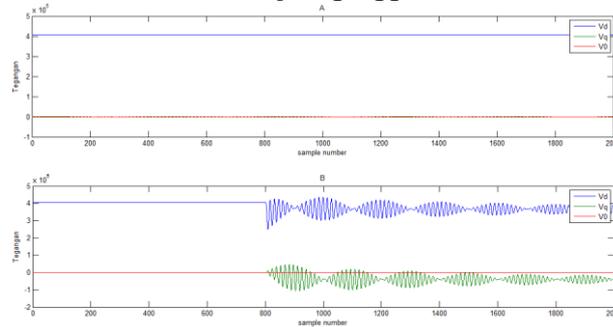


Di dalam blok transformasi *park* terdapat blok transformasi *clarke*, transformasi *clarke* bertujuan untuk menguraikan sistem tiga fasa tidak seimbang menjadi fasa seimbang sehingga dapat diselesaikan secara langsung dengan menggunakan rangkaian setara fasa tunggal. Transformasi *clarke* mempunyai prinsip sama dengan metode komponen simetris bahwa untuk rangkaian tiga fasa setiap kelompok fasor dapat diuraikan menjadi tiga kelompok fasor yang seimbang. Sehingga sumbu  $\alpha$  dan  $\beta$  pada transformasi *clarke* adalah sama dengan rangkaian urutan positif dan negatif pada komponen simetris.

Dalam analisa tugas akhir ini tegangan dan arus tiga fasa dijumlahkan lalu diproyeksikan ke dalam sumbu  $\alpha$  dan  $\beta$  menggunakan transformasi *clarke* akan tetapi tegangan dan arus pada kondisi ini nilainya masih berubah-ubah sehingga gangguan yang sifatnya transien masih sulit terdeteksi. Untuk mengatasi masalah tersebut maka digunakanlah tranformasi *park* yang merubah sumbu  $\alpha$  dan  $\beta$  stasioner ke dalam sumbu  $d$  dan  $q$  berputar agar tegangan dan arus nilainya konstan seperti pada Gambar 6 sehingga gangguan dapat dideteksi.

Saat terjadi gangguan hubung singkat tiga fasa, maka tegangan dan arus yang mengalir dalam rangkaian akan tetap seimbang pada setiap fasanya. Oleh karena itu untuk menganalisa gangguan tiga fasa hanya dibutuhkan rangkaian urutan positif saja, sehingga dalam mendeteksi gangguan tidak perlu semua sumbu transformasi *park* yang diperhatikan, cukup sumbu  $d$  yang akan digunakan

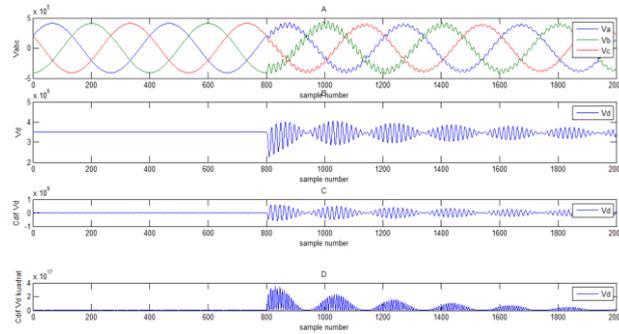
Saluran transmisi pada simulasi ini diasumsikan seimbang. Dengan memanfaatkan transformasi *park* yang akan mentransformasikan tegangan dan arus pada kedua ujung saluran maka akan didapatkan keluaran sumbu  $d$ , sumbu  $q$  dan sumbu  $0$ . Dari hasil transformasi *park* tersebut dapat dilihat perbedaan antara keadaan normal dan terjadi gangguan.



Gambar 5. (A) Wilayah Cilegon Tegangan Sumbu  $d, q, 0$  Keadaan Normal. (B) Tegangan Sumbu  $d, q, 0$  Saat Terjadi Hubung Singkat.

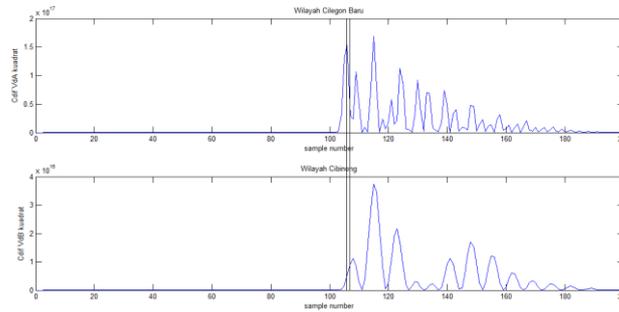
Gambar 5 adalah hasil keluaran sinyal transformasi pada wilayah Cilegon dapat dilihat perbedaan yang sangat jelas saat saluran pada keadaan normal dan mengalami gangguan. Dapat dilihat ketika saluran mengalami gangguan, sumbu  $d$  yang sebelumnya dalam *steady state* langsung menunjukkan lonjakan. Pada saat lonjakan itu dimana saat terjadi gangguan. Terjadinya lonjakan tersebut adalah karena adanya hubung singkat yang menyebabkan gelombang berjalan. Gelombang berjalan ini tidak hanya dipantulkan kembali ke wilayah Cilegon, tetapi juga diteruskan ke wilayah Cibinong. Sehingga pada wilayah Cibinong juga terlihat lonjakan tersebut. Tetapi karena adanya perbedaan jarak yang ada antara titik dimana terjadi gangguan sampai ke wilayah Cilegon dan titik gangguan sampai wilayah Cibinong, lonjakan sinyal di kedua ujung saluran memiliki perbedaan waktu (waktu kedatangan gelombang berjalan), dimana waktu kedatangan gelombang berjalan ini merupakan waktu awal terjadinya gangguan. Perbedaan waktu ini yang akan digunakan untuk menentukan jarak lokasi gangguan.

Untuk lebih akurat dalam menentukan awal terjadi gangguan dan menghilangkan nilai negatif, maka nilai  $Cdif$  akan dikuatkan sehingga digunakanlah  $[Cdif]^2$ . Membuat nilai awal gangguan semakin besar, sehingga lonjakan semakin dapat terlihat.



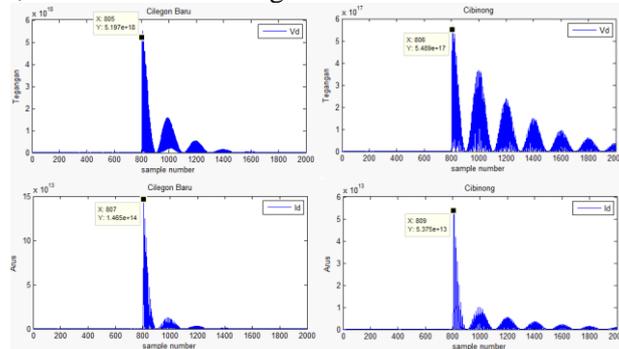
Gambar 6. (A) Tegangan Tiga Fasa, (B) Tegangan Sumbu *d*, (C) Tegangan Koefisien *Cdif* Sumbu *d*, (D) Tegangan Koefisien *Cdif* Sumbu *d* Dikuadratkan

Pada Gambar 6 dapat dilihat perbandingannya, dan  $[Cdif]^2$  dapat lebih jelas dalam mendeteksi awal terjadi gangguan dibandingkan dengan yang lain. Selanjutnya akan dibandingkan antara waktu awal terjadi gangguan pada wilayah Cilegon Baru dan wilayah Cibinong, sehingga didapatkan perbedaan waktu.



Gambar 7. Perbandingan Lonjakan Awal Tegangan Antara Wilayah Cilegon Baru dan Cibinong

Pada Gambar 7 di atas dapat dilihat terdapat perbedaan pada lonjakan awal, dimana lonjakan awal ini adalah puncak waktu awal terjadinya gangguan pada kedua ujung saluran. Berikut akan disampaikan hasil simulasi untuk pengaruh jarak gangguan terhadap waktu awal terjadi gangguan menggunakan transformasi *park*. Pada analisa ini akan ditampilkan satu contoh hasil simulasi untuk jarak gangguan sejauh 39,243 km dari sisi Cilegon Baru.



Gambar 8. Hasil Transformasi *Park* Tegangan dan Arus Sumbu *d* Untuk Gangguan Satu Fasa Ke Tanah 39,243 km dari Cilegon Baru

Gambar 8 menunjukkan hasil transformasi *park* pada kedua sisi saluran untuk sinyal tegangan dan sinyal arus, dimana nilai sumbu *x* merupakan waktu kedatangan gelombang berjalan pada wilayah Cilegon Baru dan Cibinong. Berdasarkan Gambar tersebut diperoleh waktu kedatangan gelombang berjalan pada wilayah Cilegon Baru dan Cibinong. Saat simulasi telah ditentukan *switching times* gangguan hubung singkat pada waktu 0,04 detik sampai 0,0999 detik. Dari Gambar 7 dapat dilihat adanya perbedaan waktu kedatangan gelombang berjalan antara kedua sisi saluran, maka akan dihitung perbedaan waktu tersebut untuk digunakan sebagai *input* ANFIS dalam menentukan jarak lokasi gangguan.

$$t_{va} = \frac{805}{2000} \times 0,0999 = 0,04020975 \text{ s}$$

$$\begin{aligned}
 t_{vb} &= \frac{806}{2000} \times 0,0999 = 0,04030965 \text{ s} \\
 \Delta t_V &= t_{Va} - t_{Vb} = -0,0000999 \text{ s} \\
 t_{Ia} &= \frac{807}{2000} \times 0,0999 = 0,04030965 \text{ s} \\
 t_{Ib} &= \frac{810}{2000} \times 0,0999 = 0,0404595 \text{ s} \\
 \Delta t_I &= t_{Ia} - t_{Ib} = -0,00014985 \text{ s}
 \end{aligned}$$

Dimana :

- $t_{Va}$  = Waktu kedatangan gelombang berjalan di Cilegon untuk sinyal tegangan
- $t_{Vb}$  = Waktu kedatangan gelombang berjalan di Cibinong untuk sinyal tegangan
- $t_{Ia}$  = Waktu kedatangan gelombang berjalan di Cilegon untuk sinyal arus
- $t_{Ib}$  = Waktu kedatangan gelombang berjalan di Cibinong untuk sinyal arus

Dari perhitungan diatas diperoleh hasil selisih atau perbedaan waktu kedatangan gelombang berjalan ( $\Delta t_I$  dan  $\Delta t_V$ ), yang mana kedua nilai tersebut nantinya akan dilatih oleh ANFIS dalam menentukan jarak lokasi gangguan. Dengan menggunakan tahapan-tahapan simulasi dan perhitungan yang sama dengan yang telah disampaikan untuk simulasi gangguan tiga fasa berjarak 39,243 km dari Cilegon Baru, maka dapat diperoleh pula waktu kedatangan gelombang berjalan dan selisihnya dengan berbagai skenario simulasi yang dituangkan dalam beberapa tabel dibawah ini.

Tabel 3. Perbedaan Waktu Kedatangan Gelombang Berjalan  $\Delta t_V$  (s)

Jarak Aktual (km)	Rf = 10 (Ω)	Rf = 100 (Ω)	Rf = 500 (Ω)	Rf =1000 (Ω)
13,081	-0,00015	-9,99E-05	0,0001499	0,0001499
26,162	-5,00E-05	-9,99E-05	-9,99E-05	-9,99E-05
39,243	-5,00E-05	-5,00E-05	-9,99E-05	-9,99E-05
52,324	0	-5,00E-05	0	0
65,045	0	5,00E-05	0	0
78,486	5,00E-05	5,00E-05	5,00E-05	5,00E-05
91,567	5,00E-05	5,00E-05	9,99E-05	9,99E-05
104,648	9,99E-05	9,99E-05	9,99E-05	9,99E-05
117,729	0,0001499	0,0001998	0,0001499	0,0001499

Tabel 4. Perbedaan Waktu Kedatangan Gelombang Berjalan  $\Delta t_I$  (s)

Jarak Aktual (km)	Rf = 10 (Ω)	Rf = 100 (Ω)	Rf = 500 (Ω)	Rf =1000 (Ω)
13,081	-	-2,00E-04	-	-
26,162	-2,00E-04	-1,50E-04	-2,00E-04	-1,50E-04
39,243	-9,99E-05	-9,99E-05	-1,50E-04	-9,99E-05
52,324	-5,00E-05	0	-5,00E-05	-5,00E-05



Tabel 4. Lanjutan

Jarak Aktual (km)	Rf = 10 (Ω)	Rf = 100 (Ω)	Rf = 500 (Ω)	Rf =1000 (Ω)
65,045	5,00E-05	0	0	0
78,486	5,00E-05	9,99E-05	5,00E-05	9,99E-05
91,567	1,50E-04	9,99E-05	1,50E-04	1,50E-04
104,648	2,00E-04	2,00E-04	2,00E-04	2,00E-04
117,729	0,0002997	0,0002498	0,0002498	0,0002498

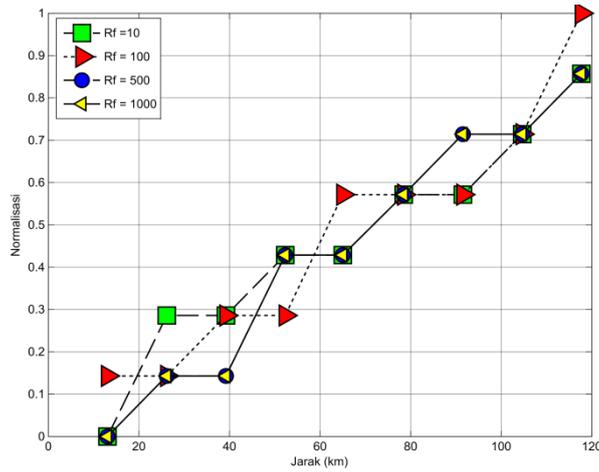
Perbedaan waktu ( $\Delta t$ ) merupakan selisih antara waktu awal terjadi gangguan sisi *sending end* dengan sisi *receiving end*. Saat jarak gangguan diubah semakin jauh dari wilayah *sending end*, nilai  $\Delta t$  semakin meningkat, sehingga terbentuknya *tren* dari perbedaan waktu tersebut. Untuk memudahkan pemodelan maka  $\Delta t$  akan dinormalisasi. Normalisasi ini bertujuan untuk mendapatkan data dengan ukuran yang lebih kecil yang mewakili data asli tanpa mengurangi karakteristik aslinya. Normalisasi terhadap data dilakukan agar keluaran jaringan sesuai dengan fungsi aktivasi yang digunakan. Normalisasi  $\Delta t$  tersebut dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Normalisasi  $\Delta t_v$

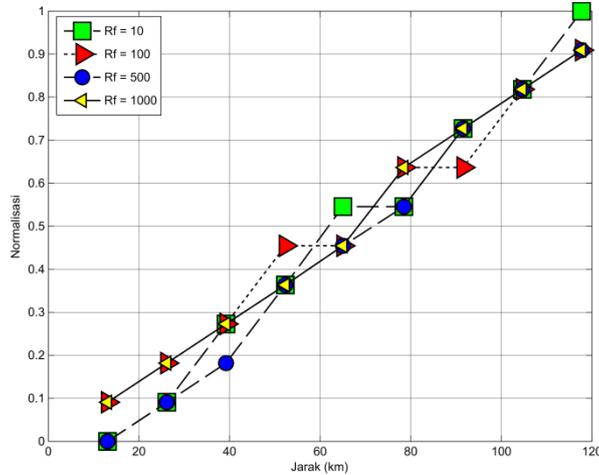
Jarak Aktual (km)	Rf = 10 (Ω)	Rf = 100 (Ω)	Rf = 500 (Ω)	Rf =1000 (Ω)
13,081	0	0,1428571	0	0
26,162	0,2857143	0,1428571	0,1428571	0,1428571
39,243	0,2857143	0,2857143	0,1428571	0,1428571
52,324	0,4285714	0,2857143	0,4285714	0,4285714
65,045	0,4285714	0,5714286	0,4285714	0,4285714
78,486	0,5714286	0,5714286	0,5714286	0,5714286
91,567	0,5714286	0,5714286	0,7142857	0,7142857
104,648	0,7142857	0,7142857	0,7142857	0,7142857
117,729	0,8571429	1	0,8571429	0,8571429

Tabel 6. Normalisasi  $\Delta t_t$

Jarak Aktual (km)	Rf = 10 (Ω)	Rf = 100 (Ω)	Rf = 500 (Ω)	Rf =1000 (Ω)
13,081	0	0,0909	0	0,0909091
26,162	0,0909	0,182	0,0909	0,182
39,243	0,273	0,273	0,182	0,273
52,324	0,364	0,455	0,364	0,364
65,045	0,545	0,455	0,4545455	0,4545455
78,486	0,545	0,636	0,545	0,636
91,567	0,727	0,636	0,727	0,727
104,648	0,818	0,818	0,818	0,818
117,729	1	0,9090909	0,9090909	0,9090909



Gambar 9. Grafik Normalisasi  $\Delta t_V$  Terhadap Jarak (km)



Gambar 10. Grafik Normalisasi  $\Delta t_I$  Terhadap Jarak (km)

### C. Hasil Simulasi ANFIS

Setelah didapatkannya normalisasi dapat dilihat sebuah *tren* dimana semakin jauh jarak gangguan maka nilai normalisasi semakin besar. Data tersebut memperlihatkan normalisasi sinyal tegangan dan sinyal arus. Dua normalisasi sinyal tegangan dan sinyal arus akan digunakan sebagai *input* ANFIS dengan melihat sinyal tegangan dan sinyal arus secara individu maupun secara bersamaan, hal ini dibutuhkan untuk membandingkan dan untuk mencapai hasil yang akurat dalam menentukan jarak lokasi gangguan.

Dengan didapatkannya data normalisasi dari semua skenario gangguan hubung singkat, maka data tersebut akan dilatih oleh ANFIS untuk menentukan jarak lokasi gangguan. Data yang digunakan dalam pengolahan ANFIS ini berupa *input* dan *output*. *Input*-nya berupa perbedaan waktu  $\Delta t_V$  (V), perbedaan waktu  $\Delta t_I$  (I) dan perbedaan waktu  $\Delta t_V$  dan  $\Delta t_I$  (V dan I), untuk *output*-nya memakai jarak gangguan yang diinginkan (X). Setelah didapat *input* dan *output* selanjutnya dibutuhkan *Membership Function*/MF dalam pengolahan data. Untuk tipe MF dalam pengolahan ini dipakai tipe *generalize bell*.

Data yang digunakan adalah data hasil simulasi gangguan hubung singkat tiga fasa sebanyak 36 buah dibangkitkan dengan listing program membaca file gangguan dan pengolahan data menggunakan ANFIS (lampiran).

1. Memasukkan Data

Data yang akan dilatih (*training*) adalah sebanyak 36 buah.

2. Pemilihan Jumlah Nilai Keanggotaan (*Membership Function*/MF)

Dengan menggunakan fungsi keanggotaan *generalize bell* pada tiap pelatihan ANFIS dengan jumlah nilai keanggotaan beda-beda, diperoleh hasil sebagai berikut:

Tabel 7. MAE Jumlah Nilai Keanggotaan (*Membership Function*/MF)

Jumlah MF	MAE
2	3,02
3	1,79
5	1,33

Berdasarkan Tabel 7. didapatkan hasil jumlah MF 5 memiliki MAE paling kecil. Dapat dilihat bahwa semakin banyak jumlah nilai keanggotaan atau *membership function* (MF) maka semakin besar akurasi data yang akan dilatih. Dengan demikian masing-masing *input* akan memakai jumlah *membership function* (MF) 5.

3. Pemilihan *Input*

Berdasarkan analisis sebelumnya diperoleh bahwa jumlah MF terbaik adalah 5. Kemudian dilakukan pelatihan ANFIS dengan jumlah MF 5 terhadap beberapa *input* yang berbeda. Diperoleh hasil sebagai berikut:

Tabel 8. MAE *Input* (*Membership Function*/MF)

Input	MAE
V	5,25
I	2,81
V dan I	1,33

Dari Tabel 8. didapatkan *input* terbaik yaitu yang menghasilkan MAE terkecil. Disimpulkan bahwa *input* terbaik adalah Perbedaan Waktu  $\Delta t_v$  dan  $\Delta t_l$  (V dan I).

4. Analisis Hasil

Dari pelatihan yang dilakukan pada data diperoleh kesimpulan bahwa model ANFIS terbaik adalah dengan jumlah MF 5, serta *input* perbedaan waktu  $\Delta t_v$  dan  $\Delta t_l$  (V dan I). Dari hasil simulasi diperoleh nilai MAE sebesar 1,33. Setelah didapatkan model ANFIS terbaik, maka akan diolah 36 data pelatihan (*training*). Semua data diolah oleh ANFIS dengan *input* perbedaan waktu  $\Delta t_v$  dan  $\Delta t_l$  (V dan I) serta *output* jarak gangguan aktual (X), setelah semua data diolah maka diperoleh hasil *training* yang merupakan *output* dari jarak gangguan hasil pengolahan ANFIS.

Tabel 9. Jarak Gangguan Pengolahan ANFIS (km)

Jarak Aktual (km)	Rf = 10 (Ω)	Rf = 100 (Ω)	Rf = 500 (Ω)	Rf =1000 (Ω)
13,081	13,08295	19,62117	13,08295	13,07479
26,162	26,15961	30,52977	19,62117	30,52977
39,243	39,23768	39,23768	30,52977	39,23212
52,324	52,32444	52,32741	52,32444	52,32444
65,045	65,04689	65,05013	65,0437	65,0437
78,486	78,48179	82,84917	78,48179	82,84917
91,567	91,56127	82,84917	91,56661	91,56661
104,648	104,6485	104,6485	104,6485	104,6485
117,729	117,7309	117,7293	117,7273	117,7273

Tabel 10. Error Jarak Pengolahan ANFIS (%)

Jarak (km)	Rf = 10 (Ω)	Rf = 100 (Ω)	Rf = 500 (Ω)	Rf =1000 (Ω)
------------	-------------	--------------	--------------	--------------

				( $\Omega$ )
13,081	0,014937	49,99748	0,014937	0,047465
26,162	0,009119	16,6951	25,00126	16,6951
39,243	0,013569	0,013569	22,20327	0,027733
52,324	0,000835	0,006514	0,000835	0,000835
65,045	0,0029	0,00789	0,001992	0,001992
78,486	0,005361	5,559163	0,005361	5,559163
91,567	0,006261	9,520717	0,000423	0,000423
104,648	0,000441	0,000441	0,000441	0,000441
117,729	0,001579	0,000237	0,001428	0,001428

Dari hasil simulasi yang ditunjukkan oleh Tabel 9 dapat dikatakan bahwa jarak gangguan dan resistansi gangguan memberikan pengaruh terhadap tingkat akurasi deteksi lokasi gangguan. Hal ini dapat dilihat pada perbedaan jarak gangguan aktual dengan jarak gangguan hasil simulasi. Nilai maksimal dari perbedaan jarak gangguan hasil pengolahan ANFIS dengan jarak gangguan asli adalah 8,7178 km, sedangkan nilai minimal dari perbedaan jarak gangguan hasil pengolahan ANFIS dengan jarak gangguan asli adalah 0,0003 km.

Besarnya presentase kesalahan yang menunjukkan fluktuasi tersebut dapat disebabkan oleh faktor kesalahan dalam penentuan waktu kedatangan gelombang berjalan. Faktor tersebut akan mempengaruhi hasil perhitungan deteksi lokasi gangguan sehingga dapat menimbulkan *error*.

Faktor kesalahan dalam menentukan waktu kedatangan gelombang berjalan memiliki kaitan yang erat dengan ketelitian pengamatan gelombang berjalan. Gelombang berjalan yang dihasilkan dari titik gangguan pada dasarnya merupakan gelombang transien yang terjadi dalam waktu yang sangat cepat. Oleh karena itu penentuan pengambilan waktu sampel (*time sampling*) akan sangat mempengaruhi waktu yang tercatat di kedua ujung saluran.

Untuk gangguan berada di tengah-tengah saluran yaitu 65,045 km dari Cilegon Baru dan Cibinong besarnya *error* cenderung mendekati nol begitu pula pada waktu kedatangan gelombang berjalan. Hal ini dapat terjadi karena jarak dari lokasi gangguan ke Cilegon Baru dan Cibinong adalah sama sehingga waktu kedatangan gelombang berjalan tersebut akan sama. Dengan demikian, hasil deteksi lokasi gangguan akan sama dengan jarak aktual sehingga *error* yang dihasilkan cenderung mendekati 0 %.

Sedangkan ketika gangguan berada dekat dengan ujung saluran Cilegon terjadi *error* yang relatif cukup besar. Hal ini dapat juga disebabkan oleh faktor-faktor yang telah dijelaskan sebelumnya yaitu kesalahan dalam pengamatan waktu kedatangan gelombang berjalan karena pengaruh *time sampling*.

Selain faktor tersebut, kesalahan yang cukup besar juga dapat disebabkan oleh jarak gangguan itu sendiri yang terlalu dekat dengan sisi pengirim. Pada saat terjadi gelombang berjalan, gelombang akan dipantulkan dan diteruskan. Mengenai refleksi gelombang berjalan (pantulan) bahwa gelombang berjalan yang dibangkitkan oleh gangguan akan menuju ke keadaan diskontinyu seperti gangguan hubung singkat yang menyebabkan karakteristik impedansi pada suatu titik gangguan berubah. Apabila gangguan terjadi sangat dekat dengan ujung saluran transmisi maka pemantulan gelombang di sisi saluran tersebut akan berlangsung sangat cepat sehingga gelombang yang tercatat akan sangat rapat, hal ini menyebabkan penentuan waktu kedatangan gelombang berjalan akan lebih sulit dilakukan.

#### 4. KESIMPULAN

##### A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil dari simulasi dan analisa yang didapat pada tugas akhir ini, didapatkan beberapa kesimpulan, yaitu:

1. Metode kombinasi transformasi *park* dan *Adaptive Neuro Fuzzy Inference System* (ANFIS) dapat digunakan untuk menentukan jarak lokasi gangguan pada saluran transmisi.
2. Desain ANFIS terbaik adalah dengan jumlah nilai keanggotaan (MF) 5 serta *input* perbedaan waktu  $\Delta t_v$  dan  $\Delta t_r$ , diperoleh nilai *Mean Absolute Error* (MAE) sebesar 1,33.

3. Nilai maksimal dari selisih jarak gangguan hasil pengolahan ANFIS dengan jarak gangguan asli adalah 8,7178 km, sedangkan nilai minimal dari selisih jarak gangguan hasil pengolahan ANFIS dengan jarak gangguan asli adalah 0,0003 km.

#### B. Saran

Metode yang dipaparkan pada tugas akhir ini cukup baik dan memiliki akurasi tinggi sehingga cukup baik untuk diterapkan dalam prosedur deteksi lokasi gangguan. Akan lebih baik lagi jika dilengkapi dengan klasifikasi gangguan.

#### REFERENSI

- [1] Singh, Manohar. dan Maheshwari. (2011). *Transmission Line Fault Detection and Classification*. Prosiding Emerging Trends in Electrical and Computer Technology (ICETECT).
- [2] Saha, Jan. dkk. (2010). *Fault Location on Power Networks*. Springer.
- [3] Lopes, F. V. dkk. (2011). *Fault Location on Transmission Lines Based on Travelling Waves*. Jurnal International Conference on Power Systems Transients (IPST).
- [4] Toliyat, Hamid A. dan Campbell, Steven G. (2004). *DSP-Based Electromechanical Motion Control*. Departement of Electrical Engineering Texas A and M University.
- [5] Lopes, F. V. dkk. (2013). *A Traveling-Wave Detection Method Based on Park's Transformation for Fault Locators*. Jurnal IEEE Transaction on Power Delivery Vol. 28, No. 23.
- [6] Rozieanshah, Rhobi. (2007). *Penentuan Lokasi Gangguan Hubung Singkat Pada Saluran Transmisi Menggunakan Transformasi Wavelet*. Tugas Akhir Jurusan Teknik Elektro Insitut Teknologi Bandung.
- [7] Indrabayu. dkk. (2012). *Prediksi Curah Hujan Dengan Jaringan Syaraf Tiruan*. Prosiding Universitas Hasanuddin.
- [8] Ahmed, A. A. Masrur. dkk. (2015). *Application of Adaptive Neuro Fuzzy Inference System (ANFIS) to Estimate The Biochemical Oxygen Deman (BOD) of Surma River*. Jurnal King Saud University.
- [9] Muda, Galih Jatra. (2014). *Analisis Estimasi Lokasi Gangguan Hubung Singkat Pada Saluran Transmisi dengan Menggunakan Metode Gelombang Berjalan*. Tugas Akhir Jurusan Teknik Elektro Universitas Indonesia.
- [10] Wahyu, Febrianto. (2013). *Deteksi Gangguan pada Saluran Transmisi menggunakan Wavelet dan Discriminant Analysis*. Tugas Akhir Jurusan Teknik Elektro Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- [11] Budi, Anggi S. (2013). *Deteksi Lokasi Gangguan pada Saluran Transmisi menggunakan Gelombang Berjalan dan Transformasi Park*. Tugas Akhir Jurusan Teknik Elektro Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- [12] Kusumadewi, Sri. dan Hartati, Sri. (2010). *Neuro Fuzzy: Integrasi Sistem Fuzzy dan Jaringan Syaraf*. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- [13] Elbaset, Adel A. dan Hiyama, Takashi. (2009). *Fault Detection and Classification in Transmission Lines Using ANFIS*. Jurnal IEEJ Transactions on Industry Applications.
- [14] Alimuddin. dkk. (2012). *Temperature Control System in Closed House for Broilers Based on ANFIS*. Jurnal TELKOMNIKA Vol. 10, No. 1, pp. 75-82.
- [15] Arafiyah, Ria. dan Alimuddin. (2010). *Prediction of Price of Local Fruits in Jakarta With ANFIS*. Jurnal AFIFTA International Conference.