

**INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG  
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI  
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO S-1  
KONSENTRASI TEKNIK ENERGI LISTRIK**



**ANALISIS PENETUAN JENIS GANGGUAN MENGGUNAKAN  
DISTANCE PROTECTION DENGAN METODE JARINGAN  
SYARAF RADIAL BASIS FUNCTION (RBF) PADA  
RELAY JARAK SALURAN TRANSMISI**

**SKRIPSI**

*Disusun Oleh :*  
**EKO SULISTIONO**  
**NIM : 99.12.030**

**SEPTEMBER 2006**

ANALISA LAMBEAN (DOKUMEN TUNGGU)  
KEMERDEKAAN KEMERDEKAAN KEMERDEKAAN  
1-2 OSMINE KEMERDEKAAN KEMERDEKAAN  
KEMERDEKAAN KEMERDEKAAN KEMERDEKAAN

KEMERDEKAAN KEMERDEKAAN KEMERDEKAAN  
KEMERDEKAAN KEMERDEKAAN KEMERDEKAAN  
KEMERDEKAAN KEMERDEKAAN KEMERDEKAAN  
KEMERDEKAAN KEMERDEKAAN KEMERDEKAAN

KEMERDEKAAN

: KEMERDEKAAN

KEMERDEKAAN KEMERDEKAAN

KEMERDEKAAN : KEMERDEKAAN

KEMERDEKAAN

**LEMBAR PERSETUJUAN**

**ANALISIS PENETUAN JENIS GANGGUAN MENGGUNAKAN  
DISTANCE PRTECTION DENGAN METODE JARINGAN  
SYARAF RADIAL BASIS FUNCTION (RBF) PADA  
RELAY JARAK SALURAN TRANSMISI**

**SKRIPSI**

*Disusun dan Diajukan Untuk Melengkapi dan Memenuhi Syarat  
Guna Mencapai Gelar Sarjana Teknik Elektro S-1*

**Disusun Oleh :  
EKO SULISTIONO  
NIM. 99.12.030**



Mengetahui,  
Ketua Jurusan Teknik Elektro S-1

Diperiksa dan Disetujui,  
Dosen Pembimbing

(Ir. F. YUDI LIMPRAPTONO, MT)  
NIP. Y. 103 950 0274

(Ir. WIDODO PUDJI M, MT)  
NIP. P. 1028700171

**KONSENTRASI TEKNIK ENERGI LISTRIK  
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO S-1  
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI  
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG**

## KATA PENGANTAR

Syukur *Alhamdulillah Robbil'aalamiin* yang pertama penulis ucapkan Kehadlirat *ALLAH S.W.T* yang telah memberikan *Taufik, Hidayah* serta *Inayah-Nya* kepada kita semua dan khususnya kepada penulis sehingga terselesaikannya Skripsi ini dengan baik, serta tidak lupa saya panjatkan syukur kepada *Baginda Rosululloh Muhammad S.A.W* yang telah membawa kita dari *Zaman Jahiliyah* ke *Zaman yang Terang Benderang*. Adapun Skripsi ini dengan judul “**Analisis Penentuan Jenis Gangguan Menggunakan *Distance Protection* dengan Metode Jaringan Syaraf *Radial Basis Function (RBF)* pada Relay Jarak Saluran Transmisi**”.

Ucapan terima kasih yang sebesar – besarnya tak lupa penulis sampaikan kepada :

1. Bapak Dr. Ir. Abraham Lomi, MSEE selaku Rektor Institut Teknologi Nasional Malang.
2. Bapak Ir. Mochtar Asroni, MSME, selaku Dekan Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Nasional Malang.
3. Bapak Ir. F. Yudi Limpraptono, MT, selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro Institut Teknologi Nasional Malang.
4. Bapak Ir. Widodo Pudji M, MT, selaku Dosen Pembimbing yang telah banyak memberikan bimbingan, saran dan pemikiran serta dukungannya sehingga terselesaikannya skripsi ini.

5. Ayahanda Slamet dan Ibunda Yuni Astuti serta seluruh keluargaku.  
Terimakasih atas dukungan Moral dan Spiritualnya selama ini.
6. Teman-teman mulai dari pertama kuliah sampai terakhir yang telah membantuku dalam segala hal.
7. Teman-teman Elektro ITN pada umumnya dan Elektro Energi Listrik pada khususnya, serta teman-teman semua baik yang kenal maupun tidak kenal.

Pada akhirnya penulis mengharapkan kritik dan saran dari pembaca demi kesempurnaan dari skripsi ini, karena penulis menyadari masih banyak yang dapat disempurnakan di dalam skripsi ini. Dan penulis berharap semoga skripsi ini dapat bermanfaat di kemudian hari. *Amin Yaa Robbal Aalamiin.*

Malang, September 2006

Penulis

## ABSTRAKSI

### “ ANALISIS PENENTUAN JENIS GANGGUAN MENGGUNAKAN DISTANCE PROTECTION DENGAN METODE JARINGAN SYARAF RADIAL BASIS FUNCTION (RBF) PADA RELAY JARAK SALURAN TRANSMISI”

(Eko Sulistiono, 99.12.030, TEKNIK ENERGI LISTRIK, 54 halaman)  
(Dosen Pembimbing : Ir. Widodo Pudji M, MT)

**Kata kunci :** *Gangguan hubung singkat, sinyal gangguan, Minimal Radial Basis Function Neural Network*

**Abstrak :** Skripsi ini mempresentasikan pendekatan baru untuk pengaman dari saluran transmisi daya listrik menggunakan Jaringan Syaraf *Radial Basis Function (RBF)*. Tipe dari *RBF Neural Network* menggunakan prosedur urutan pembelajaran dimulai tanpa *hidden unit* sampai dengan jumlah *hidden unit* yang optimum. Data yang dipakai pada *layer input* berupa nilai arus dan tegangan yang didapatkan dari sinyal arus dan tegangan kemudian dilakukan pemampatan nilai *input* menggunakan fungsi *sigmoid*, sinyal arus di simpan untuk menentukan lokasi gangguan dan *input unit* diteruskan ke *hidden layer* dari Jaringan Syaraf *RBF* dan di lakukan proses *aktivasi* yang kemudian di lanjutkan dengan pembaharuan pembobot dan di akhiri nilai *output* berupa jenis gangguan.

# DAFTAR ISI

	<b>Halaman</b>
<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	<b>i</b>
<b>LEMBAR PERSETUJUAN</b> .....	<b>ii</b>
<b>LEMBAR PERSEMBAHAN</b> .....	<b>iii</b>
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	<b>iv</b>
<b>ABSTRAKSI</b> .....	<b>vi</b>
<b>DAFTAR ISI</b> .....	<b>vii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	<b>x</b>
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	<b>xi</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	<b>1</b>
1.1. Latar Belakang .....	1
1.2. Rumusan Masalah .....	2
1.3. Tujuan Penelitian .....	2
1.4. Batasan Masalah .....	2
1.5. Metodologi Penelitian .....	3
1.6. Sistematika Penulisan .....	4
1.7. Relevansi .....	5
<b>BAB II KLASIFIKASI GANGUAN DAN PENGAMANNYA</b> .....	<b>6</b>
2.1. Gangguan Hubung Singkat .....	6
2.2. Jenis Gangguan.....	6

2.1.1. Gangguan Hubung Singkat Simetri.....	8
2.1.2. Gangguan Hubung Singkat Tidak Simetri.....	8
2.3. Komponen Simetri .....	9
2.4. Rangkaian Urutan .....	9
2.4.1. Rangkaian Urutan Positif.....	10
2.4.2. Rangkaian Urutan Negatif.....	10
2.4.3. Rangkaian Urutan Nol.....	10
2.5. Analisis Gangguan Hubung Singkat.....	15
2.5.1. Gangguan Hubung Singkat Dua Fasa Ketanah.....	17
2.5.2. Gangguan Hubung Singkat Dua Fasa Ketanah Dengan Impedansi.....	18
2.5.3. Gangguan Hubung Singkat Antar Fasa.....	20
2.5.4. Gangguan Hubung Singkat Antar Fasa Dengan Impedansi .....	21
2.5.5. Gangguan Hubung Singkat Satu Fasa Ketanah .....	22
2.5.6. Gangguan Hubung Singkat Satu Fasa Ketanah Dengan Impedansi.....	24
<b>BAB III ANALISA PROGRAM .....</b>	<b>26</b>
3.1. <i>Neural Network</i> .....	26
3.1.1. <i>Pemodelan Neural Network</i> .....	26
3.1.2. <i>Arsitektur Jaringan Multilayer Feedforward</i> .....	29
3.1.3. <i>Kemampuan Pembelajaran</i> .....	30
3.2. <i>Algoritma Pembelajaran Jaringan Syaraf Radial Basis Function (RBF)</i> .....	32
3.2.1. <i>Algoritma Pelatihan Jaringan</i> .....	33



3.2.1.1. Tahap 1 : <i>Clustering</i> data .....	33
3.2.1.2. Tahap 2 : Pembaharuan Bobot .....	33
3.3. Simulasi Pada Sistem Tenaga Listrik.....	35
3.3.1. Model Sistem Tenaga.....	35
3.3.2. Algoritma Program Menggunakan Jaringan Syaraf <i>RBF</i> .....	36
3.3.3. Flowchart Program Menggunakan Jaringan Syaraf <i>Radial Basis Function (RBF)</i> .....	38
<b>BAB IV SIMULASI DAN ANALISA .....</b>	<b>40</b>
4.1. Hasil Simulasi.....	40
4.2. Analisis Hasil .....	50
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>	<b>51</b>
5.1. Kesimpulan .....	51
5.2. Saran .....	53

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar</b>	<b>Halaman</b>
2.1. Fasor Tegangan Tak Seimbang .....	11
2.2. Rangkaian Urutan dari Fasor Tegangan .....	11
2.3. Tiga Fasor Tak Seimbang dengan Komponen Simetrinya .....	12
2.4. Hubung Singkat Dua Fasa Ke Tanah .....	17
2.5. Rangkaian Pengganti Hubung Singkat Dua Fasa Ke Tanah .....	17
2.6. Hubung Singkat Dua Fasa Ke Tanah dengan Impedansi .....	18
2.7. Hubung Singkat Antar Fasa .....	20
2.8. Rangkaian Pengganti Hubung Singkat Antar Fasa .....	21
2.9. Hubung Singkat Antar Fasa dengan Impedansi .....	21
2.10. Hubung Singkat Satu Fasa Ke Tanah .....	22
2.11. Rangkaian Pengganti Hubung Singkat Satu Fasa Ke Tanah.....	23
2.12. Hubung Singkat Satu Fasa Ke Tanah dengan Impedansi.....	24
3.1. Elemen Pengolah Informasi ( <i>Neuron</i> ).....	27
3.2. Kurva <i>Output</i> Fungsi Sigmoid .....	28
3.3. Jaringan Syaraf Umpan Maju dengan Dua Lapisan Sel <i>Hidden</i> .....	29
3.4. Menunjukkan Struktur <i>RBF Neural Network</i> .....	32
3.5. Model Sistem Tenaga Yang di Gunakan Untuk Simulasi .....	35
4.1. Model Sistem Tenaga.....	40
4.2. Simulasi Untuk Gangguan Satu Fasa Ke Tanah .....	41
4.3. Tampilan Data Generator.....	41

4.4.	Tampilan Data Trafo .....	42
4.5.	Tampilan Bus 1 .....	42
4.6.	Tampilan Data Saluran.....	43
4.7.	Tampilan Bus 2 .....	43
4.8.	Cara Mensimulasikan Gangguan.....	44
4.9.	Cara Menampilkan Sinyal Arus Dan Tegangan.....	44
4.10.	Sinyal Arus dan Tegangan Saat Gangguan Satu Fasa Ke Tanah .....	45
4.11.	Sinyal Arus dan Tegangan Saat Gangguan Antar Fasa .....	46
4.12.	Sinyal Arus dan Tegangan Saat Gangguan Dua Fasa Ke Tanah.....	47

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel</b>	<b>Halaman</b>
3.1. Data Sistem Tenaga .....	36
4.1. Gangguan Pada Saluran Jenis Gangguan Satu Fasa Ke Tanah "ag" .....	48
4.2. Gangguan Pada Saluran Jenis Gangguan Dua Fasa Ke Tanah "acg" .....	48
4.3. Data Gangguan Pada Saluran Jenis Gangguan Antar Fasa "ab" .....	49

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1. Latar Belakang

Energi listrik merupakan kebutuhan yang sangat *vital* bagi kehidupan pada masa sekarang ini. Sistem tenaga listrik semakin lama semakin kompleks sehingga dibutuhkan sistem proteksi dengan kecepatan operasi yang semakin tinggi dan kehandalan yang semakin baik.

Untuk mengamankan sistem tenaga listrik perlu juga dilakukan pengamanan pada saluran transmisi yang salah satunya menggunakan rele jarak, rele jarak dapat menentukan apakah gangguan berada di dalam atau diluar suatu daerah pengamanan<sup>[3]</sup>. Gangguan dalam saluran transmisi harus dideteksi, dikelompokkan dan di alokasikan secara akurat dan ditangani secepat mungkin<sup>[2]</sup>, sehingga sistem yang tidak terganggu dapat terus beroperasi secara normal dan peralatan dari sistem tenaga dapat terlindungi.

Beberapa perusahaan tenaga listrik kini memberi pengamanan pada saluran transmisi secara *konvensional*. Rele jarak untuk pengaman saluran transmisi biasanya dirancang atas dasar suatu penentuan seting. Salah satu rele melampaui batas atau dibawah batas tergantung pada kondisi-kondisi operasi dari sistem daya dan lokasi dari gangguan. Sejak klasifikasi dan deteksi gangguan dilakukan secara *konvensional*, teknik pengenalan pola baru seharusnya diterapkan dengan cepat dan fleksibel.

Skripsi ini akan menganalisis pada saluran transmisi daya listrik untuk menentukan jenis gangguan menggunakan metode jaringan syaraf *Radial Basis*

*Function (RBF)* di PLTA Sutami – Kebon Agung dipilih dengan suatu strategi praktis sehingga mampu untuk menampilkan jenis gangguan dengan cepat dan teliti<sup>[4]</sup>.

## **1.2. Rumusan Masalah**

Rele jarak sebagai pengaman pada saluran transmisi masih bekerja atas dasar penentuan *setting (konvensional)*, hal ini tidak mempunyai kemampuan untuk beradaptasi secara dinamis terhadap kondisi operasi sistem seperti perubahan sumber impedansi<sup>[1]</sup>, dan pencapaian keakuratan rele jarak yang dapat dipengaruhi kondisi gangguan yang berbeda<sup>[3]</sup>. Ini berarti akan besar manfaatnya apabila mampu meningkatkan kemampuan dari rele jarak sebagai proteksi pada transmisi daya listrik. Persoalannya adalah perlu untuk menentukan jenis gangguan yang telah terdeteksi menggunakan jaringan syaraf *Radial Basis Function (RBF)*<sup>[4]</sup>.

## **1.3. Tujuan Penulisan**

Tujuan yang ingin di capai adalah untuk mendeteksi jenis gangguan pada transmisi daya listrik di saluran antara PLTA Sutami ke GI Kebon Agung menggunakan metode Jaringan Syaraf *Radial Basis Function (RBF)* sehingga gangguan dapat segera diatasi.

#### 1.4. Batasan Masalah

Dalam penulisan skripsi ini pembatasan masalah yang dilakukan adalah sebagai berikut :

1. Jaringan transmisi sistem tenaga listrik 150 kv antara PLTA Sutami ke GI Kebon Agung .
2. Menggunakan metode jaringan syaraf *Radial Basis Function (RBF)* dalam mendeteksi jenis gangguan sebagai sinyal *inputan* rele jarak.
3. Tidak membahas masalah *setting* rele jarak.
4. Gangguan pada saluran transmisi daya listrik disimulasikan, gangguan yang di simulasikan hanya gangguan hubung singkat  $1\phi$  ke tanah,  $2\phi$  ke tanah, dan antar saluran.
5. Menggunakan bahasa pemrograman Matlab 6.5.

#### 1.5. Metodologi

Di dalam studi proteksi pada saluran transmisi daya listrik dengan rele jarak menggunakan jaringan syaraf *Radial Basis Function (RBF)* ditempuh dengan langkah-langkah berikut :

- Studi literatur berupa pengumpulan referensi yang berkaitan dengan pokok bahasan skripsi ini yang berasal dari buku dan jurnal-jurnal ilmiah untuk pemahaman dan untuk pembuatan algoritma.
- Pengumpulan data yang dipakai dalam obyek penelitian berupa data generator, trafo, saluran dan beban.
- Melakukan analisis dengan menggunakan bahasa program Matlab 6.5

- a. Perancangan sistem tenaga yang digunakan yang digunakan untuk simulasi menggunakan bahasa program *Matlab* 6.5.
  - b. Analisis penentuan jenis gangguan menggunakan *Radial Basis Function (RBF)* sebagai sinyal *input* dari rele jarak.
- Membuat suatu kesimpulan apakah metode ini efektif di gunakan untuk menentukan jenis gangguan sebagai sinyal *input* dari rele jarak.

## 1.6. Sistematika Penulisan

Sistematika dalam penulisan skripsi ini terdiri dari lima bab, dalam bab-bab tersebut satu sama lain saling berkorelasi. Garis besar sistematika pembahasan adalah sebagai berikut :

### BAB I. PENDAHULUAN

Berisi latar belakang, rumusan masalah, tujuan, batasan masalah, metodologi, sistematika penulisan, dan relevansi.

### BAB II. KLASIFIKASI GANGGUAN DAN PENGAMANNYA

Berisi penjelasan penjabaran jenis-jenis gangguan hubung singkat, rangkaian urutan, proteksi saluran, serta macam-macam rele jarak.

### BAB III. JARINGAN SYARAF TIRUAN (JST)

Berisi teori dasar Jaringan Syaraf Tiruan (JST), Arsitekur Jaringan *Multilayer Feedforward* serta Algoritma pembelajaran jaringan syaraf *Radial Basis Function (RBF)*.



## BAB IV. SIMULASI DAN ANALISA HASIL

Berisi simulasi lokasi gangguan dan jenis gangguan sebagai sinyal *input*, analisa sinyal-sinyal gangguan, evaluasi hasil studi proteksi pada transmisi daya listrik dengan rele jarak menggunakan jaringan syaraf *Radial Basis Function (RBF)*.

## BAB V. PENUTUP

Berisi kesimpulan dan saran untuk pengembangan lebih lanjut.

### 1.7. Relevansi

Dapat dijadikan acuan dalam proteksi pada transmisi daya listrik dengan rele jarak sehingga mampu meningkatkan kerja dari rele jarak sebagai proteksi pada transmisi daya listrik dalam menentukan jenis gangguan. Disamping itu juga untuk memberikan alternatif baru dalam proteksi pada transmisi daya listrik dengan rele jarak menggunakan *Radial Basis Function "RBFNN"*.

## BAB II

### KLASIFIKASI GANGGUAN DAN PENGAMANNYA

#### 2.1. Gangguan Hubung Singkat

Sistem dianalisis dalam keadaan peralihan dan simetri/tidak simetri. Atau analisis dilakukan sesaat (s/d ~ 1 detik) setelah terjadi gangguan dalam sistem, dimana sistem mungkin dalam keadaan simetri atau tidak simetri. Tujuan dari analisis hubung singkat adalah untuk menentukan arus dan tegangan maksimum dan minimum pada bagian-bagian atau titik-titik tertentu dari suatu sistem tenaga listrik untuk jenis-jenis gangguan yang terjadi, sehingga dapat ditentukan pengaman, rele dan pemutus tenaga (*Circuit Breaker*) untuk mengamankan sistem dari keadaan tidak normal dalam waktu seminimal mungkin.

#### 2.2. Jenis Gangguan

Gangguan pada sistem tenaga listrik adalah suatu keadaan yang menyebabkan bekerjanya rele dan menjatuhkan (*trip*) pemutus tenaga (PMT), sehingga menyebabkan terputusnya aliran daya yang melalui PMT tersebut. Adapun gangguan tersebut terjadi disebabkan karena adanya kesalahan mekanis, thermis dan tegangan lebih atau karena adanya material yang sudah cacat atau rusak.

Bila ditinjau dari segi lamanya waktu gangguan, maka dapat dikelompokkan menjadi :

- a. Gangguan sementara. (*temporary*).
- b. Gangguan permanen (*stationary*).



Untuk gangguan *temporary* yaitu apabila gangguan tersebut terjadi hanya dalam waktu yang singkat, kemudian sistem kembali normal yang ditandai dengan normalnya kerja dari pemutus tenaga setelah dimasukkan kembali. Penyebab gangguan dapat diakibatkan oleh petir, dimana terjadi loncatan bunga api listrik pada isolasi udara atau minyak.

Gangguan yang bersifat permanen adalah gangguan yang baru dapat dihilangkan setelah lokasi gangguan tersebut di isolir dengan bekerjanya pemutus tenaga. Penyebab gangguan bisa disebabkan adanya kerusakan pada peralatan sistemnya, sehingga gangguan baru bisa diatasi setelah kerusakan pada peralatan tersebut sudah diperbaiki. Sedangkan untuk gangguan temporer yang terjadi berulang-ulang akan dapat menyebabkan timbulnya kerusakan pada peralatan sistem dan hal ini dapat pula menimbulkan gangguan yang bersifat permanen sebagai akibat adanya kerusakan peralatan tersebut.

Ditinjau dari jenisnya maka gangguan dapat dibedakan menjadi :

- a. Gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah.
- b. Gangguan hubung singkat dua fasa ke tanah.
- c. Gangguan hubung singkat antar saluran.
- d. Gangguan hubung singkat tiga fasa.

Dari jenis gangguan tersebut dapat digolongkan menjadi dua kelompok gangguan :

- a. Gangguan hubung singkat simetris.
- b. Gangguan hubung singkat tidak simetris.

... gangguan tersebut terjadi karena ...  
... gangguan tersebut terjadi karena ...  
... gangguan tersebut terjadi karena ...  
... gangguan tersebut terjadi karena ...

... gangguan yang bersifat ...  
... gangguan tersebut terjadi di ...  
... gangguan tersebut terjadi di ...  
... gangguan tersebut terjadi di ...  
... gangguan tersebut terjadi di ...  
... gangguan tersebut terjadi di ...  
... gangguan tersebut terjadi di ...

... gangguan tersebut terjadi karena ...  
... gangguan tersebut terjadi karena ...  
... gangguan tersebut terjadi karena ...  
... gangguan tersebut terjadi karena ...  
... gangguan tersebut terjadi karena ...  
... gangguan tersebut terjadi karena ...  
... gangguan tersebut terjadi karena ...

... gangguan tersebut terjadi karena ...  
... gangguan tersebut terjadi karena ...  
... gangguan tersebut terjadi karena ...  
... gangguan tersebut terjadi karena ...  
... gangguan tersebut terjadi karena ...

### **2.2.1. Gangguan Hubung Singkat Simetri**

Gangguan hubung singkat simetri terdiri atas gangguan hubung singkat tiga fasa sedangkan gangguan yang lainnya adalah merupakan gangguan hubung singkat tidak simetri. Gangguan hubung singkat ini akan mengakibatkan arus lebih pada fasa yang terganggu, dimana arus gangguan tersebut mempunyai harga yang jauh lebih besar dari *rating* arus maksimum yang diijinkan peralatan, sehingga akan dapat mengakibatkan kerusakan pada peralatan sistem tenaga listrik bila alat pengaman tidak segera bekerja dan juga akan dapat mengakibatkan tegangan pada fasa-fasa yang tidak terganggu. Adapun akibat yang dapat ditimbulkan dengan adanya gangguan hubung singkat tersebut adalah :

- Rusaknya peralatan listrik yang berada dekat dengan gangguan yang disebabkan arus-arus yang besar, arus tidak seimbang maupun tegangan yang rendah.
- Terhentinya kontinuitas pelayanan listrik kepada konsumen apabila gangguan hubung singkat tersebut sampai mengakibatkan terputusnya *circuit*, yang biasa disebut dengan pemadaman listrik.

### **2.2.2. Gangguan Hubung Singkat Tidak Simetri**

Hampir semua gangguan yang terjadi pada sistem tenaga listrik adalah merupakan gangguan tidak simetri. Gangguan-gangguan tidak simetri ini terjadi sebagai akibat dari gangguan satu fasa ketanah, gangguan antar fasa, gangguan dua fasa ketanah.

### 1.3.1. Gangguan Akibat Sinar X

Gangguan akibat sinar X atau gangguan akibat radiasi ionisasi yang disebabkan oleh paparan sinar X yang berlebihan atau paparan sinar X yang berulang-ulang dapat menimbulkan berbagai macam gangguan kesehatan. Salah satu gangguan kesehatan yang disebabkan oleh paparan sinar X adalah katarak. Katarak adalah suatu kondisi di mana lensa mata menjadi buram atau opak karena adanya perubahan struktur lensa. Paparan sinar X yang berlebihan dapat meningkatkan risiko terjadinya katarak. Selain itu, paparan sinar X yang berlebihan juga dapat meningkatkan risiko terjadinya leukemia, penyakit jantung koroner, dan penyakit paru-paru. Oleh karena itu, paparan sinar X harus dilakukan dengan hati-hati dan sesuai dengan dosis yang dianjurkan.

- Katarak adalah suatu kondisi di mana lensa mata menjadi buram atau opak karena adanya perubahan struktur lensa. Paparan sinar X yang berlebihan dapat meningkatkan risiko terjadinya katarak.
- Selain itu, paparan sinar X yang berlebihan juga dapat meningkatkan risiko terjadinya leukemia, penyakit jantung koroner, dan penyakit paru-paru.

### 1.3.2. Gangguan Akibat Sinar Gamma

Sinar gamma adalah radiasi ionisasi yang memiliki energi yang sangat tinggi. Paparan sinar gamma yang berlebihan dapat menimbulkan berbagai macam gangguan kesehatan. Salah satu gangguan kesehatan yang disebabkan oleh paparan sinar gamma adalah kanker. Sinar gamma dapat merusak sel-sel dalam tubuh dan menyebabkan terjadinya perubahan genetik yang dapat meningkatkan risiko terjadinya kanker. Selain itu, paparan sinar gamma yang berlebihan juga dapat menimbulkan gangguan kesehatan lainnya seperti leukemia, penyakit jantung koroner, dan penyakit paru-paru. Oleh karena itu, paparan sinar gamma harus dilakukan dengan hati-hati dan sesuai dengan dosis yang dianjurkan.

Gangguan tidak simetri akan mengakibatkan mengalirnya arus tidak seimbang dalam sistem, sehingga untuk menganalisa gangguan tersebut dipergunakan metode komponen simetri untuk menentukan arus maupun tegangan di semua bagian sistem setelah terjadi gangguan.

### **2.3. Komponen Simetri**

Komponen simetri adalah metode perhitungan yang menyatakan bahwa semua keadaan tidak seimbang dapat diselesaikan dengan persamaan-persamaan keadaan seimbang.

### **2.4. Rangkaian Urutan.**

Berdasarkan metode komponen simetri, dalam menganalisa suatu gangguan yang menyebabkan sistem tiga fasa menjadi tidak seimbang dapat dipergunakan dalam hubungan rangkaian urutan. Secara umum rangkaian urutan dibagi atas tiga yaitu rangkaian urutan positif, negatif dan nol. Ketiga rangkaian urutan ini akan diperlukan sebagai bahan dalam menganalisa suatu gangguan.

Apabila akan melakukan suatu perhitungan tegangan atau arus gangguan, harus ditentukan terlebih dahulu impedansi urutan dari komponen-komponen sistem jaringan, kemudian dihitung rangkaian pengganti masing-masing urutan kemudian dihubungkan menjadi suatu model rangkaian yang sesuai dengan jenis gangguan.





#### **2.4.1. Rangkaian Urutan Positif.**

Yang dimaksud rangkaian urutan positif yaitu suatu rangkaian yang elemen-elemennya terdiri dari impedansi urutan positif saja dan pada sistem tenaga listrik, rangkaian pengganti urutan positif tidak dipengaruhi oleh hubungan transformator (delta atau bintang) maupun pentanahan titik netralnya. Rangkaian urutan positif pada generator hanya mempunyai impedansi, sumber tegangan dan arus urutan positif saja. Jadi rangkaian urutan positif pada generator, impedansi urutan positifnya terhubung seri dengan sumber tegangan dan impedansinya diambil yang *transient* atau *subtransient*.

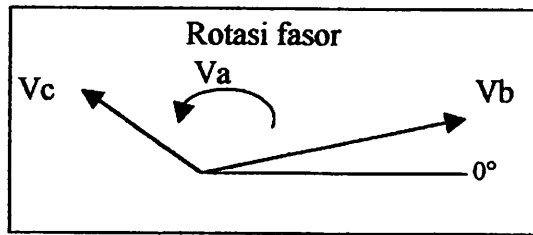
#### **2.4.2. Rangkaian Urutan Negatif.**

Rangkaian urutan negatif ini elemen impedansinya dan model rangkaian pada umumnya sama seperti pada model rangkaian urutan positif, hanya saja tidak mempunyai sumber tegangan.

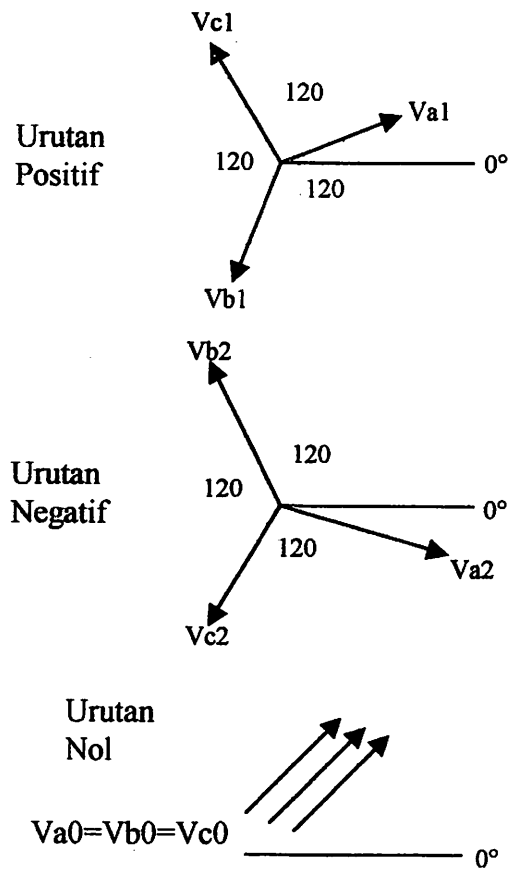
#### **2.4.3. Rangkaian Urutan Nol**

Pada umumnya rangkaian urutan nol tidak sama seperti rangkaian urutan positif maupun urutan negatif. Besarnya impedansi suatu rangkaian urutan nol dipengaruhi oleh hubungan belitan dari transformator dan pentanahan titik netral, baik titik netral transformator maupun titik netral generator.

Fasor tegangan yang tidak seimbang :

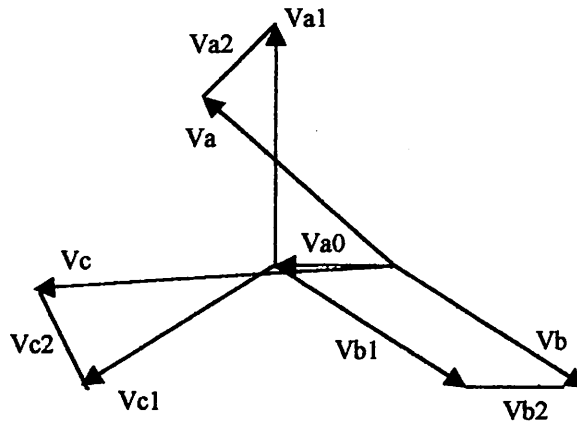


**Gambar 2.1. Fasor Tegangan Tak Seimbang**



**Gambar 2.2. Rangkaian Urutan Dari Fasor Tegangan**

Penyelesaian sistem tiga fasa yang tak seimbang :



**Gambar 2.3. Tiga Fasa Tak Seimbang Dengan Komponen Simetrinya**

Dalam menganalisa suatu gangguan yang mengakibatkan sistem tiga fasa menjadi tidak seimbang dapat diterapkan dalam hubungan rangkaian urutan. Secara umum rangkaian urutan dibagi menjadi 3 rangkaian urutan yang terdiri dari :

1. Rangkaian urutan positif (*positive sequence components*).

Rangkaian urutan positif terdiri atas tiga fasa yang sama besarnya, terpisah satu dengan yang lain dalam sudut  $120^\circ$  dan mempunyai urutan fasa yang sama seperti fasa aslinya.

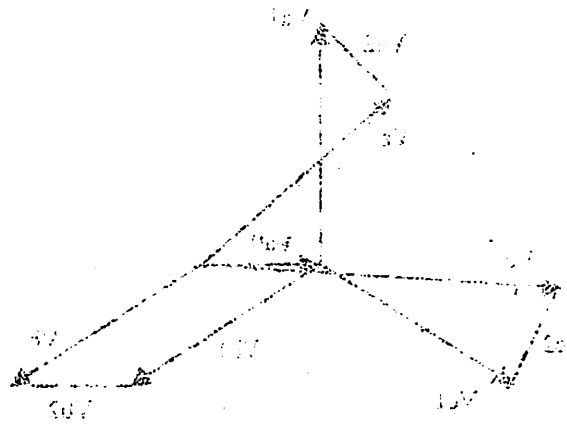
2. Rangkaian urutan negatif (*negative sequence components*)

Rangkaian urutan negatif terdiri atas tiga fasa yang sama besarnya, terpisah satu dengan yang lain dalam sudut  $120^\circ$  dan mempunyai urutan fasa yang berlawanan dengan fasa aslinya.

3. Komponen urutan nol (*zero sequence components*).

Komponen urutan nol terdiri dari tiga fasa yang sama besarnya, sejajar dengan pergeseran fasa  $0^\circ$  antara satu dengan yang lainnya.

Penyelesaian: Untuk mencari luas layang-layang tersebut



Gambar 2.1. Layang-layang dengan diagonal saling tegak lurus

Diketahui: Layang-layang ABCD dengan diagonal AC dan BD yang saling tegak lurus. Panjang AE = 12 cm, BE = 8 cm, CE = 10 cm, dan DE = 6 cm. Ditanya: Luas layang-layang ABCD.

Jawab:

1. Panjang diagonal AC = AE + CE = 12 + 10 = 22 cm. Panjang diagonal BD = BE + DE = 8 + 6 = 14 cm. Luas layang-layang ABCD =  $\frac{1}{2} \times AC \times BD = \frac{1}{2} \times 22 \times 14 = 154$  cm<sup>2</sup>.

2. Panjang diagonal AC = AE + CE = 12 + 10 = 22 cm. Panjang diagonal BD = BE + DE = 8 + 6 = 14 cm. Luas layang-layang ABCD =  $\frac{1}{2} \times AC \times BD = \frac{1}{2} \times 22 \times 14 = 154$  cm<sup>2</sup>.

3. Panjang diagonal AC = AE + CE = 12 + 10 = 22 cm. Panjang diagonal BD = BE + DE = 8 + 6 = 14 cm. Luas layang-layang ABCD =  $\frac{1}{2} \times AC \times BD = \frac{1}{2} \times 22 \times 14 = 154$  cm<sup>2</sup>.

Pergeseran fasa komponen simetri dari fasa tegangan maupun arus dalam sistem tiga fasa adalah  $120^\circ$ . Untuk menunjukkan perputaran suatu fasor sebesar  $120^\circ$  dalam arah yang berlawanan dengan arah jarum jam digunakan operator “a” dimana operator “a” ini sendiri merupakan bilangan kompleks yang besarnya satu dan sudutnya  $120^\circ$ .

Oleh karena fasor yang tidak seimbang adalah merupakan penjumlahan vektor dari komponen-komponennya maka fasor-fasor aslinya dapat dinyatakan dalam komponen-komponennya sebagai berikut :

$$V_a = V_{a0} + V_{a1} + V_{a2} \quad (2.1)$$

$$V_b = V_{b0} + V_{b1} + V_{b2} \quad (2.2)$$

$$V_c = V_{c0} + V_{c1} + V_{c2} \quad (2.3)$$

Dengan memasukkan operator “a” pada persamaan diatas, maka didapat :

$$V_a = V_{a0} + V_{a1} + V_{a2} \quad (2.4)$$

$$V_b = V_{a0} + a^2 V_{a1} + a V_{a2} \quad (2.5)$$

$$V_c = V_{a0} + a V_{a1} + a^2 V_{a2} \quad (2.6)$$

Atau dalam bentuk matrik :

$$\begin{vmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{vmatrix} \begin{vmatrix} V_{a0} \\ V_{a1} \\ V_{a2} \end{vmatrix}$$

Untuk mempermudah tulisan, bentuk matrik diatas dapat dituliskan dengan notasi-notasinya saja.

$$A = \begin{vmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{vmatrix}$$

$$A^{-1} = 1/3 \begin{vmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{vmatrix}$$

Untuk tegangan dan arus :

$$\begin{aligned} \mathbf{V}_{abc} &= \begin{vmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{vmatrix} & \mathbf{V}_{012} &= \begin{vmatrix} V_{a0} \\ V_{a1} \\ V_{a2} \end{vmatrix} \\ \mathbf{I}_{abc} &= \begin{vmatrix} I_a \\ I_b \\ I_c \end{vmatrix} & \mathbf{I}_{012} &= \begin{vmatrix} I_{a0} \\ I_{a1} \\ I_{a2} \end{vmatrix} \end{aligned}$$

Secara umum dapat ditulis :

$$\boxed{\mathbf{V}_{abc} = A \mathbf{V}_{012}} \longrightarrow \boxed{\mathbf{V}_{012} = A^{-1} \mathbf{V}_{abc}} \quad (2.7)$$

$$\boxed{\mathbf{I}_{abc} = A \mathbf{I}_{012}} \longrightarrow \boxed{\mathbf{I}_{012} = A^{-1} \mathbf{I}_{abc}} \quad (2.8)$$

Untuk arus berlaku :

$$I_a = I_{a0} + I_{a1} + I_{a2} \quad (2.9)$$

$$I_b = I_{a0} + a^2 I_{a1} + a I_{a2} \quad (2.10)$$

$$I_c = I_{a0} + a I_{a1} + a^2 I_{a2} \quad (2.11)$$

Dalam sistem 3 fasa, jumlah arus saluran sama dengan arus  $I_n$ , yang mengalir melalui netral sebagai jalan balik. Sehingga menjadi :

$$I_a + I_b + I_c = I_n \quad (2.12)$$

Dari persamaan diatas, maka diperoleh :

$$I_n = 3I_{a0} \quad (2.13)$$

Suatu beban atau belitan transformator yang terhubung delta, dimana tidak terdapat lintasan netral, arus tidak mengandung komponen urutan nol atau  $I_n = 0$ .

## 2.5. Analisis Gangguan Hubung Singkat

Dalam sistem tenaga listrik, gangguan pada saluran transmisi adalah gangguan yang paling sering terjadi, hal ini dikarenakan panjangnya jarak yang harus direntangi oleh saluran transmisi. Gangguan pada saluran transmisi dapat berupa gangguan arus lebih atau gangguan tegangan lebih. Gangguan tegangan lebih dapat disebabkan oleh gangguan petir yang berupa sambaran petir, atau gangguan surja hubung yang berupa penutupan dan pembukaan saluran yang tak serempak, pelepasan beban dan *switching* dari transformator.

Sedangkan untuk gangguan arus lebih disebabkan oleh terjadinya hubung singkat. Gangguan ini menimbulkan kenaikan arus pada saluran yang terganggu. Kenaikan arus yang melebihi batas yang ditentukan merupakan suatu keadaan





yang tidak boleh dibiarkan, karena akan sangat mempengaruhi kestabilan sistem dan sangat berbahaya.

Gangguan hubung singkat pada saluran transmisi bila tidak segera dipulihkan dapat menimbulkan kerusakan mekanis pada peralatan saluran transmisi maupun mengganggu kestabilan sistem. Dalam menganalisa gangguan yang terjadi pada suatu sistem tenaga listrik dipergunakan rangkaian urutan positif, negatif dan nol dalam hubungannya dengan metode komponen simetri.

Biasanya gangguan hubung singkat yang tiga fasa mengakibatkan arus gangguan yang sangat besar, terbesar dari arus-arus gangguan jenis yang lain, tetapi dapat juga terjadi arus yang satu fasa ke tanah lebih besar daripada arus yang tiga fasa. Hal ini dapat terjadi bila titik gangguan yang terjadi didekat generator yang netralnya ditanahkan langsung. Arus gangguan ini diperoleh berdasarkan teorema *Thevenin* dimana impedansi *Theveninnya* dapat dicari dengan berbagai metode, dalam penelitian ini digunakan metode impedansi bus.

Secara umum tanpa memandang jenis gangguannya, gangguan hubung singkat mempunyai persamaan umum sebagai berikut :

$$V_{a1} = V_f - Z_1 I_{a1} \quad (2.14)$$

$$V_{a2} = -Z_2 I_{a2} \quad (2.15)$$

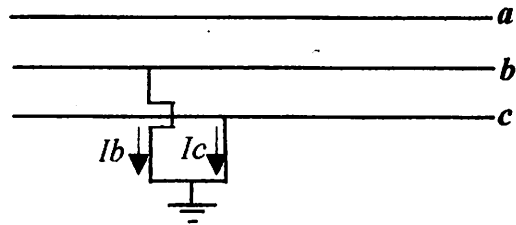
$$V_{a0} = -Z_0 I_{a0} \quad (2.16)$$

Fasa a selalu diambil sebagai referensi.

$V_f$  = Tegangan titik gangguan pada keadaan normal (1 pu).

$Z_1, Z_2, Z_0$  = Impedansi urutan positif, negatif dan nol ditinjau dari titik gangguan.

### 2.5.1. Gangguan Hubung Singkat Dua Fasa Ketanah



**Gambar 2.4. Hubung Singkat Dua Fasa Ketanah**

Selama terjadi gangguan keadaan sistem adalah sebagai berikut :

$$I_a = 0 \quad (2.34)$$

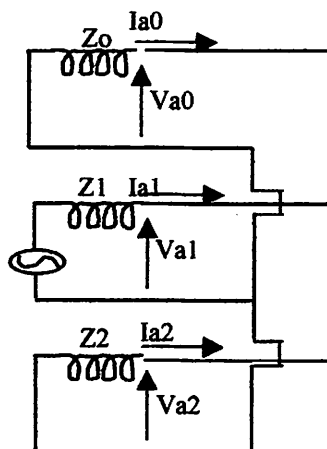
$$V_b = V_c = 0 \quad (2.35)$$

Dari komponen simetri diperoleh  $V_{012} = A^{-1} V_{abc}$

Dengan substitusi persamaan diatas maka  $V_{a0} = v_{a1} = v_{a2} = 1/3 V_a$

Arus yang mengalir pada fasa a adalah sebagai berikut :

$$I_a = I_{a0} + I_{a1} + I_{a2} = 0 \quad (2.36)$$



**Gambar 2.5. Rangkaian Pengganti Hubung Singkat Dua Fasa Ketanah**

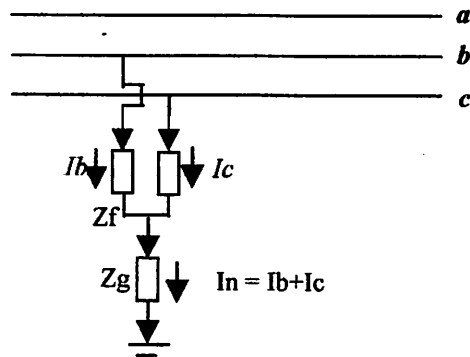
Dari rangkaian pengganti diatas terlihat urutannya terhubung paralel, diperoleh besarnya arus urutan yang mengalir ketanah

$$I_{a1} = \frac{V_a}{Z_1} + \left[ \frac{Z_2 \times Z_0}{Z_2 + Z_0} \right] \text{ dan } I_{a2} = \left[ \frac{-Z_0}{Z_2 + Z_0} \right] I_{a1} \quad (2.37)$$

$$I_{a0} = \left[ \frac{-Z_2}{Z_2 + Z_0} \right] I_{a1} \quad (2.38)$$

### 2.5.2. Gangguan Hubung Singkat Dua Fasa Ketanah Dengan Impedansi

Gangguan hubung singkat dua fasa ke tanah pada saluran transmisi terjadi jika dua kawat terhubung dengan tanah atau dengan netral sistem tiga fasa. Gambar 2.9 menunjukkan gangguan hubung singkat dua fasa ke tanah dengan impedansi gangguan  $Z_f$  dan  $Z_g$ . Impedansi  $Z_f$  merupakan tahanan busur sedangkan impedansi  $Z_g$  terdiri dari tahanan menara dan tahanan kaki menara.



**Gambar. 2.6. Hubung Singkat Dua Fasa Ketanah Dengan Impedansi**

Persamaan keadaan :

$$I_a = 0 \quad (2.39)$$

$$V_b = I_b Z_f + (I_b + I_c) Z_g \quad (2.40)$$

$$V_c = I_c Z_f + (I_b + I_c) Z_g \quad (2.41)$$

Dengan mensubstitusikan persamaan-persamaan diatas, maka didapat :

$$I_{a_1} + I_{a_2} + I_{a_0} = 0 \quad (2.42)$$

$$a^2 V_{a_1} + a V_{a_2} + V_{a_0} = (a^2 I_{a_1} + a I_{a_2} + I_{a_0}) + (I_b + I_c)Z_g \quad (2.43)$$

$$a V_{a_1} + a^2 V_{a_2} + V_{a_0} = (a I_{a_1} + a^2 I_{a_2} + I_{a_0}) + (I_b + I_c)Z_g \quad (2.44)$$

Persamaan 2.4 dan 2.44 dikurangkan, sehingga didapat :

$$(a^2 - a) V_{a_1} + (a - a^2) V_{a_2} = (a^2 - a) I_{a_1} Z_f + (a - a^2) I_{a_2} Z_f \quad (2.45)$$

atau :

$$V_{a_1} - I_{a_1} Z_f = V_{a_2} - I_{a_2} Z_f \quad (2.46)$$

Persamaan 2.45 dan 2.46 ditambahkan, didapat :

$$-V_{a_1} - V_{a_2} + 2V_{a_0} = -I_{a_1} Z_f - I_{a_2} Z_f + 2(I_{a_0} Z_f + (I_b + I_c)Z_g)$$

atau :

$$(V_{a_1} - I_{a_1} Z_f) + (V_{a_2} + I_{a_2} Z_f) = 2(V_{a_0} - I_{a_0} Z_f (Z_f + 3Z_g)) \quad (2.47)$$

Dari persamaan tersebut diatas, maka diperoleh :

$$2(V_{a_1} - I_{a_1} Z_f) = 2(V_{a_0} - I_{a_0} Z_f (Z_f + 3Z_g)) \quad (2.48)$$

Jadi :

$$(V_{a_1} - I_{a_1} Z_f) = (V_{a_0} - I_{a_0} Z_f (Z_f + 3Z_g)) \quad (2.49)$$

Selanjutnya arus dan tegangan urutannya dapat diperoleh :

$$I_{a_1} = \frac{V_f}{Z_1 + Z_f + \frac{(Z_2 + Z_f)(Z_0 + Z_f + 3Z_g)}{Z_0 + Z_2 + 2Z_f + 3Z_g}} \quad (2.50)$$

Atau :

$$I_{a_1} = V_f (Z_q / Z_f) \quad (2.51)$$

$$I_{a_2} = -I_{a_1} (Z_0 + Z_f + 3Z_g) / Z_q \quad (2.52)$$

$$I_{a_0} = -I_{a_1} (Z_2 + Z_f) / Z_q \quad (2.53)$$

Dengan

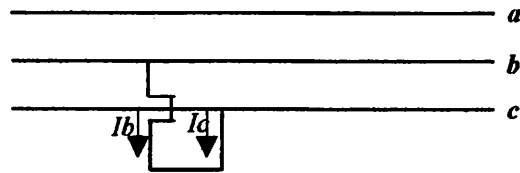
$$Z_f = (Z_1 + Z_f)(Z_0 + Z_2 + 2Z_f + 3Z_g) + (Z_2 + Z_f)(Z_0 + Z_f + 3Z_g) \quad (2.54)$$

$$Z_q = Z_0 + Z_2 + 2Z_f + 3Z_g \quad (2.55)$$

Dengan demikian arus pada titik gangguan dapat diperoleh :

$$I_f = I_b + I_c = 3 I_{a_0} \quad (2.56)$$

### 2.5.3. Gangguan Hubung Singkat Antar Fasa



Gambar 2.7. Hubung Singkat Antar Fasa

Kedaaan sistem selama terjadi gangguan adalah sebagai berikut :

$$I_{a_0} = 0 \quad (2.57)$$

$$I_b = -I_c \quad (2.5)$$

$$V_b = V_c \quad (2.59)$$

Berdasarkan komponen simetri arus yang mengalir pada fasa a adalah :

$$I_{a_0} = 1/3 ( I_a + I_b + I_c ) = 0 \quad (2.60)$$

$$I_{a_1} = 1/3 ( I_a + a^2 I_b + a I_c ) \quad (2.61)$$

$$I_a = (a^2 - a) / 3 I_c \quad (2.62)$$

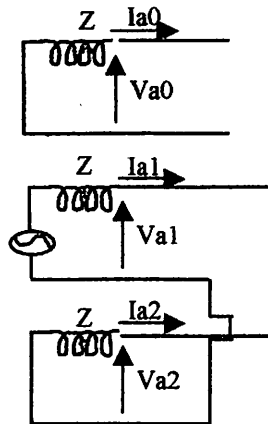
$$I_{a_2} = 1/3 ( I_a + a^2 I_b + a I_c ) = (a^2 - a) / 3 I_c \quad (2.63)$$

Sehingga diperoleh persamaan :

$$I_{a_2} = -I_{a_1} \quad (2.64)$$

Karena  $I_{a0} = 0$ , maka  $V_{a0} = 0$  sehingga tidak terdapat komponen urutan nol seperti gambar 2.21. Dan besarnya arus urutan positif dan negatif adalah sebagai berikut :

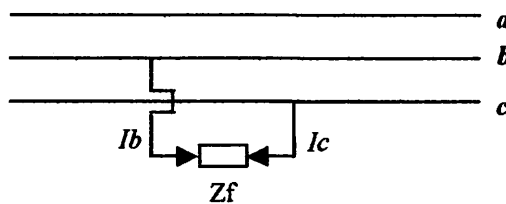
$$I_{a1} = -I_{a2} = \frac{V_a}{Z_1 + Z_2} \quad (2.65)$$



**Gambar 2.8. Rangkaian Pengganti Hubung Singkat Antar Fasa**

#### 2.5.4. Gangguan Hubung Singkat Antar Fasa Dengan Impedansi

Gangguan antar fasa pada saluran transmisi terjadi umumnya bila dua kawat fasa bersentuhan. Gambar 2.23 menunjukkan gangguan antar fasa dengan impedansi gangguan  $Z_f$ .

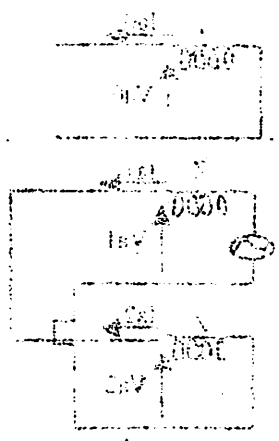


**Gambar 2.9. Hubung Singkat Dua Fasa Dengan Impedansi**

Dapat ditulis dengan persamaan :

$$I_a = 0 \quad (2.66)$$

Gambar 2.10 menunjukkan konfigurasi alat ukur yang digunakan dalam percobaan ini. Untuk mengukur arus, alat ukur arus (A) harus dihubungkan secara seri dengan beban yang akan diukur. Sedangkan untuk mengukur tegangan, alat ukur tegangan (V) harus dihubungkan secara paralel dengan beban yang akan diukur.

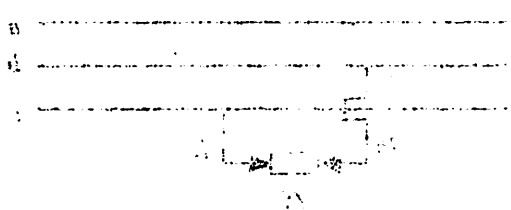


Gambar 2.10. Konfigurasi alat ukur untuk mengukur arus dan tegangan.

2.4. Cara Kerja Percobaan Mengukur Arus dan Tegangan

Langkah-langkah percobaan ini adalah sebagai berikut:

1. Siapkan alat dan bahan yang diperlukan.
2. Rangkaialah alat ukur sesuai dengan konfigurasi yang ditunjukkan pada Gambar 2.10.
3. Hidupkan saklar.
4. Catatlah nilai yang tertera pada alat ukur.
5. Matikan saklar.



Gambar 2.11. Rangkaian alat ukur untuk mengukur arus dan tegangan.

Hasil dari percobaan ini adalah sebagai berikut:

Tabel 2.1. Hasil pengukuran arus dan tegangan.



$$I_b = -I_c \quad (2.67)$$

$$V_b - V_c = I_b Z_f \quad (2.678)$$

Dengan mensubstitusikan persamaan diatas didapat :

$$I_{a_0} = 0 \quad (2.69)$$

$$I_{a_1} = - I_{a_2} \quad (2.70)$$

$$V_b - V_c = (a^2 - a) V_{a_1} - (a^2 - a) V_{a_2} = (a^2 - a) I_{a_1} Z_f \quad (2.71)$$

Atau :

$$V_{a_1} - V_{a_2} = I_{a_1} Z_f \quad (2.72)$$

$$V_{a_1} = V_{a_2} + I_{a_1} Z_f \quad (2.73)$$

$$V_{a_1} = V_{a_2} + I_{a_1} (Z_f/2 + Z_f/2) \quad (2.74)$$

$$V_{a_0} = 0 \quad (2.75)$$

$$V_{a_1} = V_f - I_{a_2} Z_2 \quad (2.76)$$

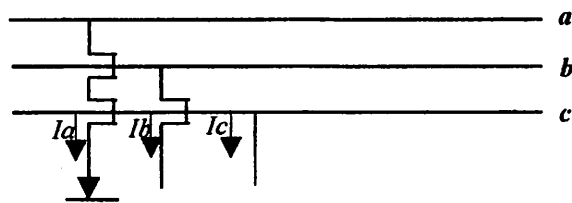
$$V_{a_2} = - I_{a_2} Z_2 \quad (2.77)$$

$$I_{a_1} = - I_{a_2} = \frac{V_f}{(Z_1 + Z_2 + 3Z_f)} \quad (2.78)$$

Sehingga arus gangguan adalah :

$$I_f = I_b = a^2 I_{a_1} + a I_{a_2} + I_{a_0} \quad (2.79)$$

### 2.5.5. Gangguan Hubung Singkat Satu Fasa Ketenah



Gambar 2.10. Hubung Singkat Satu Fasa Ketenah

Gangguan hubung singkat satu fasa ketanah adalah gangguan yang paling sering terjadi pada saluran transmisi seperti yang ditunjukkan oleh gambar diatas.

Selama terjadi gangguan keadaan sistem adalah :

$$I_b = I_c = 0 \quad (2.80)$$

$$V_a = 0 \quad (2.81)$$

Transformasi arus ke dalam komponen simetri adalah :

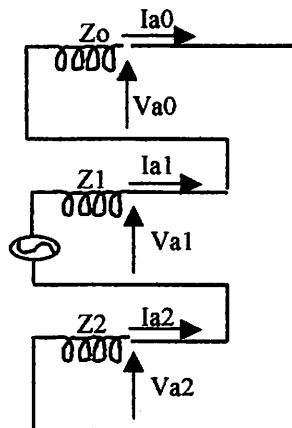
$$I_{012} = A^{-1} abc \quad (2.82)$$

Sehingga :

$$I_{a0} = I_{a1} = I_{a2} = 1/3 I_a \quad (2.83)$$

Dan tegangan :

$$V_a = V_{a0} + V_{a1} + V_{a2} = 0 \quad (2.84)$$



**Gambar 2.11. Rangkaian Pengganti Hubung Singkat Satu Fasa Ketanah**

Sehingga :

$$I_{a1} = I_{a2} = I_{a0} = \frac{3V_a}{Z_1 + Z_2 + Z_0} \quad (2.85)$$

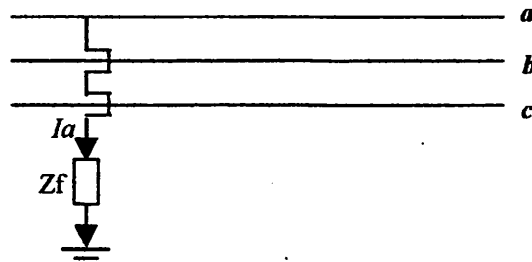
### 2.5.6. Gangguan Hubung Singkat Satu Fasa Ketanah Dengan Impedansi

Gambar 2.15 memperlihatkan gangguan satu fasa ke tanah dengan impedansi gangguan  $Z_f$ . Dengan persamaan :

$$I_b = 0 \quad (2.86)$$

$$I_c = 0 \quad (2.87)$$

$$V_a = I_a Z_f \quad (2.88)$$



**Gambar 2.12. Hubung Singkat Satu Fasa Ketanah Dengan Impedansi**

Dengan mensubstitusikan persamaan ini akan diperoleh :

$$I_{a1} = I_{a2} = I_{a0} \quad (2.89)$$

$$\begin{aligned} V_a &= V_{a1} + V_{a2} + V_{a0} = (I_{a1} + I_{a2} + I_{a0})Z_f \\ &= 3 I_{a1} Z_f \end{aligned} \quad (2.90)$$

$$(V_{a1} - I_{a1}Z_f) + (V_{a2} - I_{a2}Z_f) + (V_{a0} - I_{a0}Z_f) = 0 \quad (2.91)$$

$$V_{a1} = -V_{a2} - V_{a0} + 3 I_{a1}Z_f \quad (2.92)$$

$$V_{a1} - I_{a1}Z_f = I_{a1} Z_2 + I_{a1} Z_0 + 3I_{a1} Z_f \quad (2.93)$$

$$V_f = I_{a_1} (Z_1 + Z_2 + Z_0 + 3 Z_f) \quad (2.94)$$

$$I_{a_1} = \frac{V_f}{Z_1 + Z_2 + Z_0 + 3Z_f} \quad (2.95)$$

Dengan demikian arus gangguan dapat diperoleh dengan persamaan sebagai berikut :

$$I_f = 3 I_{a_1} = \frac{3V_f}{Z_1 + Z_2 + Z_0 + 3Z_f} \quad (2.96)$$

## BAB III

### ANALISA PROGRAM

#### 3.1. *Neural Network*

Metode jaringan syaraf tiruan atau yang disebut sebagai *neural network* ini pada dasarnya diawali oleh pemikiran manusia untuk menciptakan suatu sistem yang mempunyai kemampuan mempelajari dan mengingat dari pengalaman yang pernah di temui atau hal-hal yang pernah di terimanya.

Sifat belajar dan mengingat ini di ilhami dari pengetahuan cara kerja sel otak manusia. Dilakukan penelitian bagaimana struktur yang terdapat pada otak dan cara kerja komponen-komponen penyusunnya sehingga otak mempunyai kemampuan mengingat dan mempelajari hal-hal yang diberikan padanya.

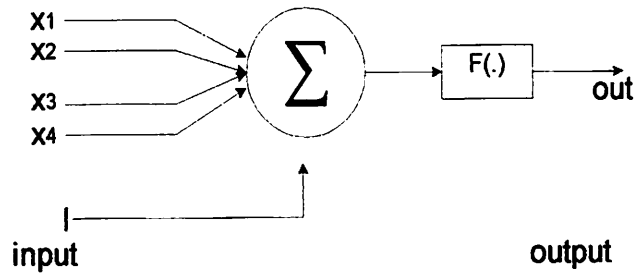
##### 3.1.1. Permodelan *Neural Network*

Didefinisikan pada gambar 3.1 merupakan unit *neuron* lapisan j yang diberikan pola *input* x sebanyak i, dan bias = 1, maka secara matematis *output* y berbentuk :

$$NET_j = \sum_{i=0}^N x_{ij} w_{ij} + \theta_{j1} \quad (3.1)$$

$$y = f(NE_j) \quad (3.2)$$

dengan W adalah elemen-elemen pembobot *input* dan  $f(NE_j)$  merupakan fungsi *output* jaringan.



**Gambar 3.1. Elemen pengolah informasi (*neuron*)**

Untuk  $x_1$  yang masuk ke *neuron* dapat berupa informasi dari luar sistem atau dari *output* lapisan *neuron* sebelumnya (lapisan *neuron* yang herarkinya lebih rendah), jika jaringan syaraf tersebut memiliki banyak lapisan *neuron* (*multilayer*). Untuk jaringan syaraf multilapis, maka hanya lapisan *neuron* dengan herarki paling rendah (lapisan *input*) yang menerima informasi eksternal.

Jaringan syaraf hanya dapat mengolah *input* bilangan. Jika masalah melibatkan besaran kualitatif atau pola gambar, maka *input* harus di kuantisasi ke bilangan yang bersesuaian sebelum diolah dengan jaringan syaraf.

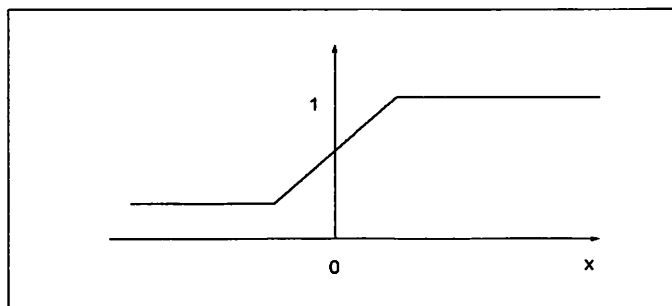
Elemen pembobot  $W$  pada setiap neuron merupakan representasi kekuatan sambungan (*strength of synapse*) antar neuron. Pembobot  $W_{ij}$ , pada model diatas, menyatakan kekuatan hubungan antara neuron-neuron lapisan  $i$  ke lapisan  $j$ . Jika neuron pada lapisan  $i$  berjumlah  $j$ , maka pembobot  $W_{ij}$  berbentuk matrik  $m \times n$ . Penulisan subkrip pada  $W$  selalu di mulai dari lapisan hirarki tertinggi, sehingga untuk model tadi pembobot ditulis  $W_{ji}$ .

Semua data input yang telah diboboti dengan kekuatan sambungannya akan dijumlahkan terlebih dahulu sebelum diolah menjadi sinyal *output*. Hasil penjumlahan ini biasanya ditulis NET.

Fungsi yang mengolah data input menjadi data output disebut fungsi output atau aktivasi neuron  $f(\cdot)$ . Fungsi ini biasanya berupa fungsi pemampat (*squasing function*). Yang dapat berupa fungsi *sigmoid*,

$$f(x) = \frac{1}{(1 + \exp(-x))} \quad (3.3)$$

berbentuk huruf S dan simetri terhadap nilai tertentu, seperti ditunjukkan pada gambar 3.2.



**Gambar 3.2. Kurva *output* fungsi sigmoid**

Kebanyakan jaringan syaraf tiruan menggunakan elemen bias sebagai bagian dari tiap lapisan kecuali untuk lapisan *output*. Elemen ini biasanya diberi harga aktivasi konstan sama dengan 1, dihubungkan ke tiap unit *neuron* pada lapisan berikutnya dan pembobotannya diatur selama proses pembelajaran. Elemen bias akan memberikan suatu harga konstan pada penjumlahan pembobotan tiap neuron. Penambahan elemen bias ini kadang dapat mempercepat proses konvergensi dari jaringan. Elemen bias juga akan memberikan efek baru pada tiap neuron yang terhubung. Harga konstan pada hasil penjumlahan  $NET_j$ , akan menggeser kurva *sigmoid* ke kiri atau ke kanan. Misalnya jaringan syaraf menggunakan fungsi *sigmoid* sebagai fungsi aktivasi *output* dan elemen bias berharga 1, dengan pembobotnya.

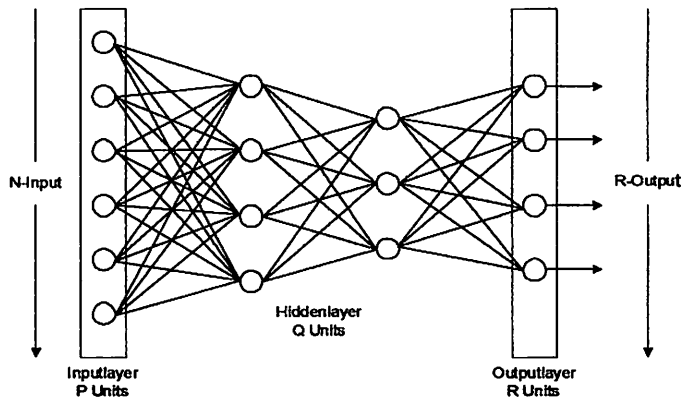
$$C = W_{jo} \quad (3.4)$$

jika  $z$  merupakan hasil penjumlahan semua *input* yang masuk pada *neuron* tersebut dan bias ini mempunyai kontribusi sebesar  $C$  pada *inputan* unit  $j$ , maka penjumlahan ini menjadi :

$$Z + C \quad (3.5)$$

### 3.1.2. Arsitektur Jaringan *Multilayer Feedforward*

Arsitektur jaringan umpan maju multi lapis tersusun dari beberapa lapisan sel *hidden*. Tiap sel satu lapisan akan terhubung dengan sel-sel pada lapisan sebelumnya atau sesudahnya, tetapi tidak pada lapisan yang sama. Gambar 3.3 adalah contoh suatu jaringan syaraf umpan maju dengan dua lapisan sel *hidden*.



**Gambar 3.3. Jaringan syaraf umpan maju dengan dua lapisan sel *hidden***

Jika matrik pembobot jaringan dilambangkan dengan  $W^1$ ,  $W^2$  dan  $W^3$ , operator elemen pengolah  $\Gamma$  menggunakan fungsi *output*  $\gamma$  ( misalkan fungsi *sigmoid* ). Tiap lapisan dari jaringan dapat dinyatakan dengan operator.

$$N_1[\mu] = \Gamma[W_\mu^i] \quad (3.6)$$



Sehingga pemetaan *input-input* menjadi :

$$Y = N[\mu] = \Gamma[W^3\Gamma[W^2\Gamma[W^3\Gamma]]] = N_3N_2N_1 \quad (3.7)$$

Jadi, suatu jaringan syaraf *feedforward* multi lapis dapat dibentuk hanya dari operasi-operasi dasar berikut : penjumlahan, operator elemen pengolah  $N_1$   $[\mu]$ , dan suatu *time delay*. Perkalian dengan konstanta juga dapat dimungkinkan. Secara matematis, suatu jaringan syaraf dengan  $N$  lapisan pembobot dapat ditulis

$$W_{i_1, i_2, i_3, \dots, i_N, i_{N+1}}^N \quad (3.8)$$

dimana :

- $i_1$                     adalah banyaknya *neuron* lapisan *input*
- $i_2, i_3, \dots, i_N$     adalah banyaknya *neuron* lapisan *hidden*
- $i_{n+1}$                 adalah banyaknya *neuron* lapisan *output*
- $N-1$                  adalah banyaknya lapisan *hidden* dalam jaringan

### 3.1.3. Kemampuan Pembelajaran

Pembelajaran (*learning*) bagi *Neural Network* merupakan proses mengatur harga – harga dari parameter bobotnya untuk mendapatkan yang terbaik, dengan melatih (*training*) jaringan, menurut unjuk kerja sistem yang dikehendaki.

Tujuan *Neural Network* agar kumpulan pola *input* (vektor *input*) yang diberikan menghasilkan pola *output* (vektor *output*) yang diinginkan atau paling mendekati. *Training* ini dibentuk dengan menerapkan secara berurutan pola vektor *input* dan mengatur pembobot jaringan agar mendekati pola vektor *output*, mengikuti suatu algoritma pembelajaran tertentu. Selama proses pembelajaran,

pembobot secara perlahan konvergen menuju harga tertentu, sehingga pola *input* menghasilkan pola vektor *output* yang diinginkan.

Kemampuan pembelajaran merupakan juga kemampuan untuk mendekati (*approximation capability*) suatu fungsi, hal yang membuatnya *feasible* untuk digunakan pada proses identifikasi dan pengaturan suatu *plant*.

Jika misalnya *output* aktual jaringan adalah  $y_n(u/w)$ ,  $y_n \in Y$ , yang diparameterkan oleh pembobot  $w$ ,  $w \in W$  dan input diberikan  $u$ . Proses pembelajaran bagi jaringan syaraf dapat dipandang sebagai suatu proses untuk melatih jaringan tersebut sehingga dapat merepresentasikan operator relasi P, melalui hubungan *input-output*nya, sedekat mungkin dengan mengatur pembobot  $w$ . Proses ini dapat dinyatakan dengan persamaan :

$$\min \|y_n(u, w) - y(u)\| \quad u \in U, w \in W \quad (3.9)$$

$$\text{sehingga} \quad \|y_n(u, w) - y(u)\| \leq \varepsilon \quad (3.10)$$

Dimana  $\varepsilon$  adalah harga *error* yang ditoleransi dan berharga sangat kecil agar  $y_n$  sedekat mungkin menuju  $\eta$

Jika *input* mempunyai pola *input*  $u_p$  sebanyak  $N_p$  dengan persamaan yang bersesuaian dari *input-input training*  $(u_p, y_p)$  maka proses *training* tersebut dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$\|y_n(u_p, w) - y(u_p)\| \quad w \in W \quad (3.11)$$

$$\min \sqrt{\frac{1}{N_p} \sum_{p=1}^{N_p} (y_n(u_p, w) - y(u_p))^2} \quad w \in W \quad (3.12)$$

dan karena  $\|y_n(u_p, w) - y(u_p)\| = e_p(u_p, w)$ ,

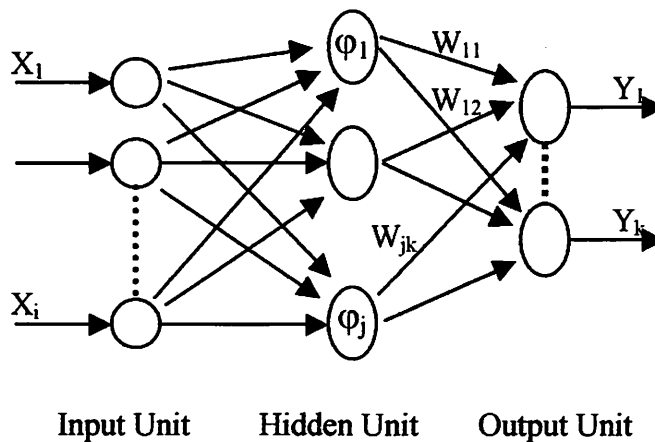
Persamaan tersebut diatas sering ditulis :

$$E(w) = \frac{1}{N} \sum_{p=1}^{N_p} e_p(u_p, w) \quad (3.13)$$

Proses *training*, dianggap selesai jika  $e_p(u_p, w) \leq \varepsilon$

### 3.2. Algoritma pembelajaran Jaringan Syaraf *Radial Basis Function*

Jaringan *RBF* menganjurkan penghitungan waktu lebih rendah untuk pembelajaran dan mempunyai suatu jenis *topologi* padat, jaringan dimulai tanpa *hidden unit* dan penambahan *unit* sampai suatu radius minimum yang didapatkan oleh parameter terbaru pada fungsi *gaussian* dan fungsi bobot. Struktur jaringan syaraf *RBF* membandingkan tiga lapisan. Proses *hidden layer* dalam suatu *array* pada syaraf sama dengan *unit* yang dihitung, seperti yang ditunjukkan dalam gambar 6.



**Gambar 3.4. Menunjukkan struktur *RBF Neural Network***

Fungsi *gaussian* bisa dituliskan sebagai berikut :

$$\varphi(r) = \exp\left(-\frac{r^2}{2\sigma^2}\right) \quad \sigma > 0 \quad (3.14)$$

dimana  $\sigma \rightarrow$  Nilai *spread*

$$\sigma = \frac{\text{Jarak maksimum antara 2 pusat}}{\sqrt{\text{banyaknya pusat}}} = \frac{d_{\max}}{\sqrt{m_1}} \quad (3.15)$$

Nilai *spread* menentukan bagaimana data tersebar. Jika nilai *spread* makin besar, sensitifitas antar data semakin berkurang.

Pada rumus, juga disebutkan tentang adanya *center* atau pusat. Pusat yang di maksud disini adalah pusat *cluster* dari data. Jumlah *center* menentukan jumlah *hidden unit* yang dipakai.

### 3.2.1. Algoritma Pelatihan Jaringan

Berguna atau tidaknya suatu jaringan saraf tiruan ditentukan dari hasil pelatihannya, yang berupa bobot *neuronnya*. Pelatihan *RBFN* terdiri atas dua tahap.

#### 3.2.1.1. Tahap I : Clustering Data

Pada tahap pertama, data di-*cluster* atau dikelompokkan berdasarkan kedekatan tertentu. Penentuan cluster dengan sendirinya akan menghasilkan *center* atau *pusat* dari kelompok data. Jumlah *cluster* menentukan jumlah *hidden unit* yang dipakai. Dalam menentukan *center* di pakai cara yang mudah ialah menentukan *center* secara acak dari kelompok data.

#### 3.2.1.2. Tahap II : Pembaharuan Bobot

Jaringan syaraf tiruan menyimpan pengetahuannya dalam bobot *neuron-neuronnya*. Pelatihan tahap berikutnya berfungsi mendapatkan nilai bobot *neuron-*

*neuronnya*. Pada tahap ini, ada serangkaian perhitungan yang diperlukan dan juga dibutuhkan data *training* beserta targetnya.

Langkah-langkah pada tahap ini sebagai berikut :

1. Meneruskan sinyal *input* ke *hidden layer* dan menghitung nilai fungsi aktivasinya pada tiap *hidden layer*.

Untuk itu, digunakan rumus :

$$\varphi(\|X_m - t_j\|) = \exp\left(-1/\sigma^2 \cdot \|X_m - t_j\|^2\right) \quad (3.16)$$

$m = 1,2,3,\dots$  sesuai dengan jumlah *training pattern*

$j = 1,2,3,\dots$  sesuai dengan jumlah *hidden unit*

$X$  = vektor *input*

$t$  = vektor data yang dianggap sebagai *center*

2. Menyusun matrik *gaussian*, dari hasil perhitungan pada langkah 1.

$$\mathbf{G} = \begin{bmatrix} \varphi_{11} & \varphi_{12} & \cdot & \varphi_{1C} \\ \varphi_{21} & \varphi_{22} & \cdot & \varphi_{2C} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \varphi_{M1} & \varphi_{M2} & \cdot & \varphi_{MC} \end{bmatrix} \quad (3.17)$$

$M =$  Vektor *input* ke-M  
 $C =$  *hidden unit* ke-C

Kolom terakhir, biasanya,  
 diisi nilai bias

3. Menghitung bobot ( $W$ ) dengan mengalikan *pseudoinverse* dari matrik  $G$ , dengan vektor target ( $d$ ) dari data *training*.

Rumus  $W = G^+ d$

$$= (G^T G)^{-1} G^T d \quad (3.18)$$

4. Untuk menghitung nilai *output* dari jaringan, digunakan rumus :

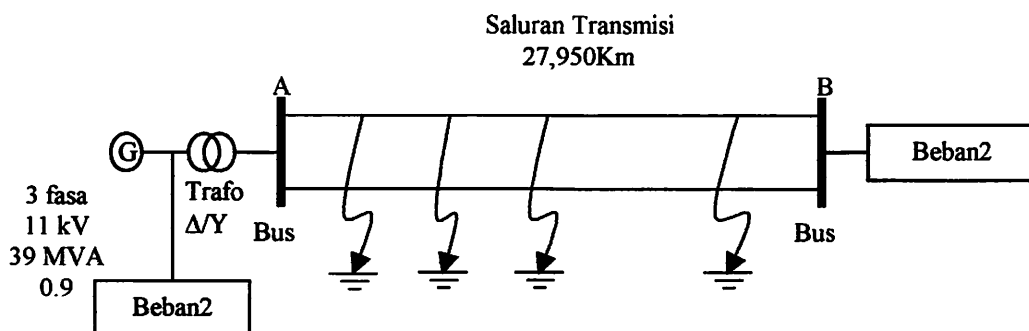
$$y(x) = \sum_{t=1}^2 wG(\|x - t, \|) + b \quad (3.19)$$

$G(x)$  pada rumus ini, artinya sama dengan  $\phi(x)$

### 3.3. Simulasi Pada Sistem Tenaga Listrik

#### 3.3.1. Model Sistem Tenaga

Digunakan model sistem tenaga listrik tiga fasa yang di tunjukkan pada gambar 3.5. untuk mensimulasikan gangguan yang terjadi di sepanjang saluran transmisi daya listrik.



**Gambar 3.5.** Model sistem tenaga yang digunakan untuk simulasi

**Tabel 3.1.** Data Sistem Tenaga

PARAMETER	GENERATOR	TRAFO	SALURAN	BEBAN1	BEBAN 2
P	39 MVA			125 MW	105
V	11Kv	11/150 Kv	150 kV	150 kV	MW
f (Hz)	50 Hz	50 Hz	50 Hz	50 Hz	11 kV
R	15 pu	0.002 pu	0.1370 / 0.2676 pu/Km		50 Hz
L	0.22 pu	0.08 pu	1.263e <sup>-3</sup> / 3.008e <sup>-3</sup> pu/Km		
C			13.41e <sup>-9</sup> / 8.57e <sup>-9</sup> pu/Km		

### 3.3.2. Algoritma Program Menggunakan Jaringan Syaraf *RBF*

Untuk memperjelas program simulasi ini, maka di bawah ini ditunjukkan algoritma beserta *flowchartnya*.

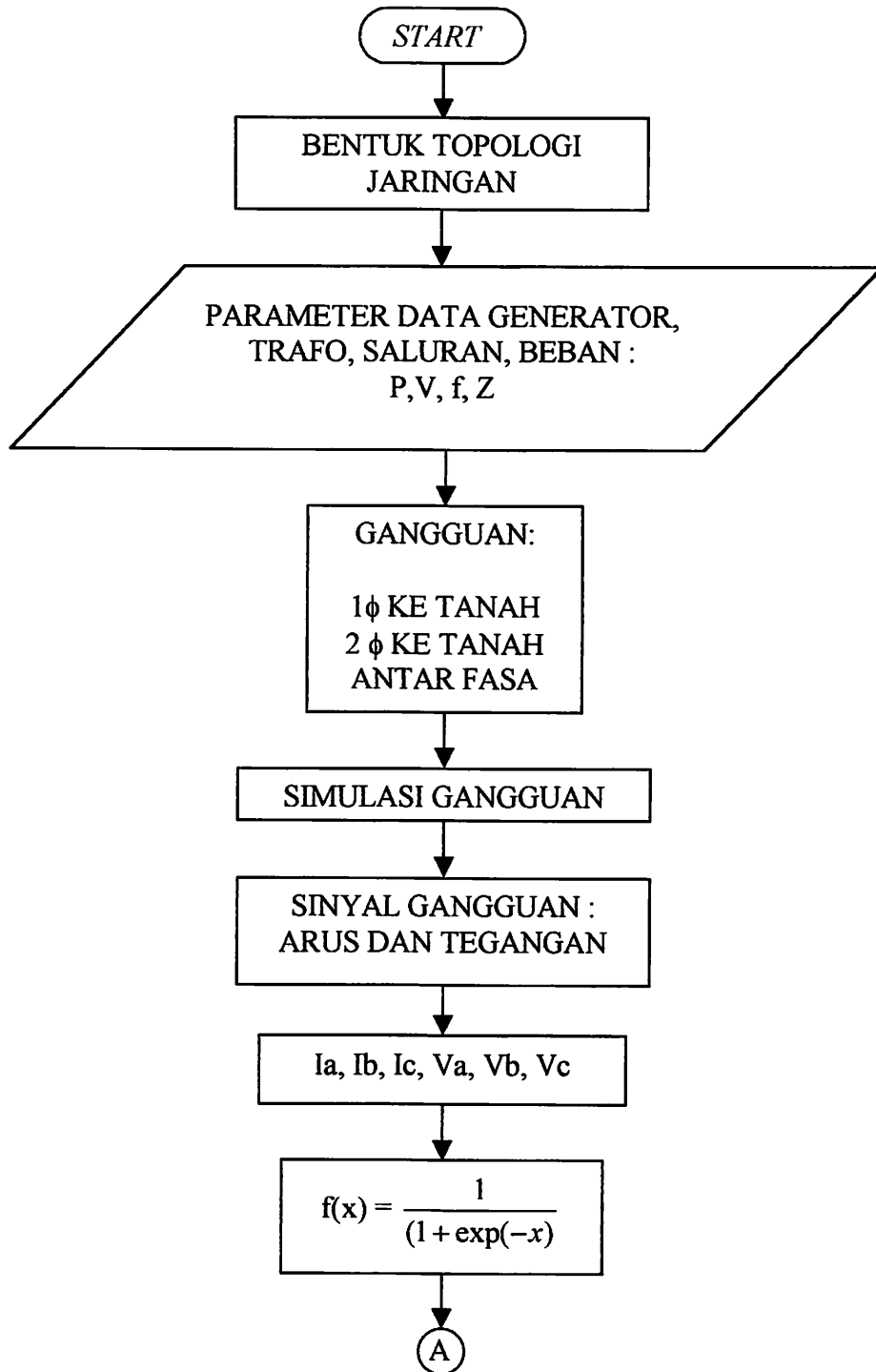
1. Bentuk *topologi* jaringan yang dipakai seperti pada gambar 3.5.
2. Parameter data yang digunakan dalam sistem seperti yang di tunjukkan pada tabel 1.
3. Jenis gangguan yang akan di simulasikan adalah :
  - Gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah.
  - Gangguan hubung singkat dua fasa ke tanah.
  - Gangguan hubung singkat antar saluran..
4. Gangguan di simulasikan menggunakan program matlab 6.5.
5. Dari simulasi pada langkah 4 di hasilkan sinyal arus dan tegangan pada saat terjadi gangguan sehingga di peroleh ia, ib, ic va, vb, vc.
6. Pada tahap ini dilakukan proses pemampatan dengan menggunakan fungsi *sigmioid* yang mempunyai nilai output dari 0 sampai dengan 1 menggunakan rumus :
$$F(x) = \frac{1}{(1 + \exp(-x))}$$
7. Pada tahap ini ditentukan *center* secara acak ( $t_1, t_2$ ), bukan melalui algoritma dan nilai *spread* diasumsikan sebagai  $\sigma = 1$ .
8. Pada tahap berikutnya meneruskan sinyal ke *hidden layer* dan menghitung nilai fungsi aktivasi menggunakan persamaan (3). Fungsi yang digunakan adalah fungsi *gaussian*,
9. Dan membentuk matrik *gaussian* menggunakan persamaan (4). Sehingga di peroleh bentuk dari matrik *gaussiannya*.

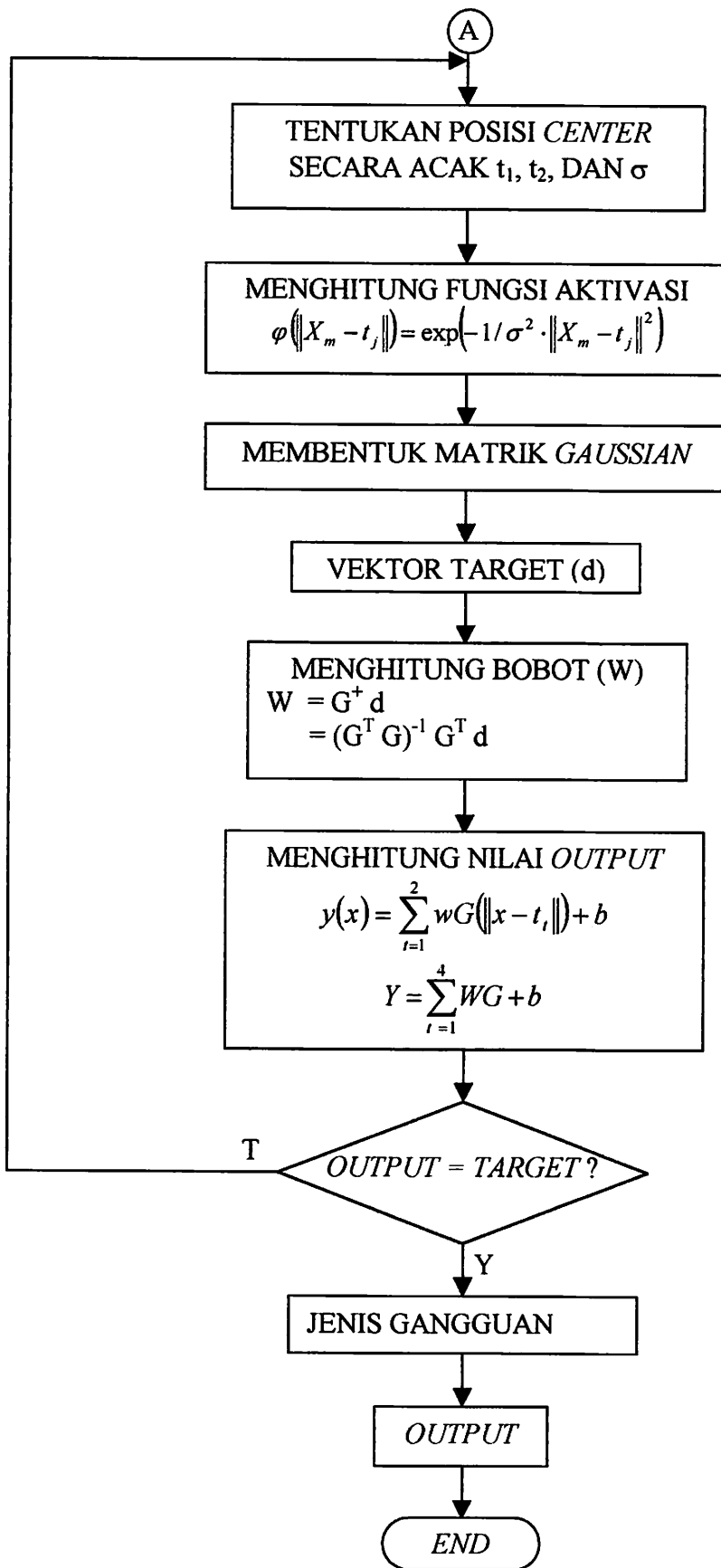
$$G = \begin{bmatrix} \varphi_{11} & \varphi_{12} \\ \varphi_{21} & \varphi_{22} \\ \varphi_{31} & \varphi_{32} \\ \varphi_{41} & \varphi_{42} \\ \varphi_{51} & \varphi_{52} \\ \varphi_{61} & \varphi_{62} \\ \varphi_{71} & \varphi_{72} \end{bmatrix}$$

10. Setelah membentuk matrik *gaussian* pada langkah 9, di lanjutkan dengan menentukan target berupa angka 0 dan 1, dimana yang nantinya nilai 0 menunjukkan fasa yang tidak terganggu dan nilai 1 menunjukkan fasa yang terganggu menggunakan persamaan (5).
11. Setelah tahap 10 di lakukan proses untuk menghitung bobot kemudian proses di lanjutkan dengan menghitung *output* dari jaringan dengan menggunakan persamaan (6).
12. Jika *output* tidak sesuai dengan target yang di inginkan maka langkah dilanjutkan dengan *mereset* kembali nilai  $t_1$  dan  $t_2$ , dan jika *output* sama dengan *target* maka akan didapatkan jenis gangguan.
13. Dengan demikian di hasilkan *output* berupa jenis gangguannya.



### 3.3.3. Flowchart Program Menggunakan Jaringan Syaraf Radial Basis Function



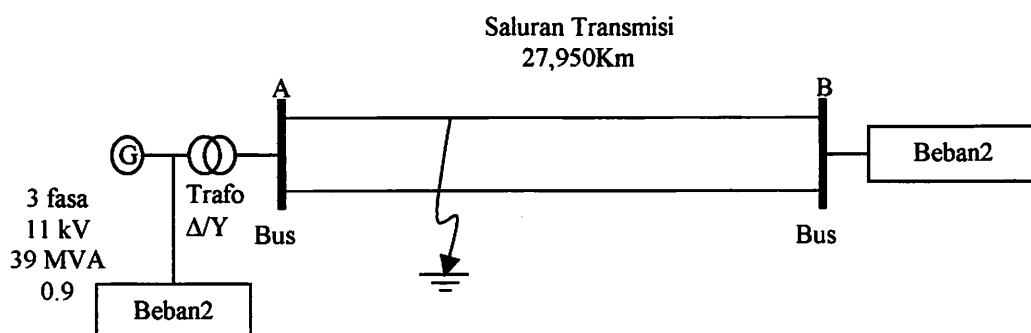


## BAB IV

### SIMULASI DAN ANALISA HASIL

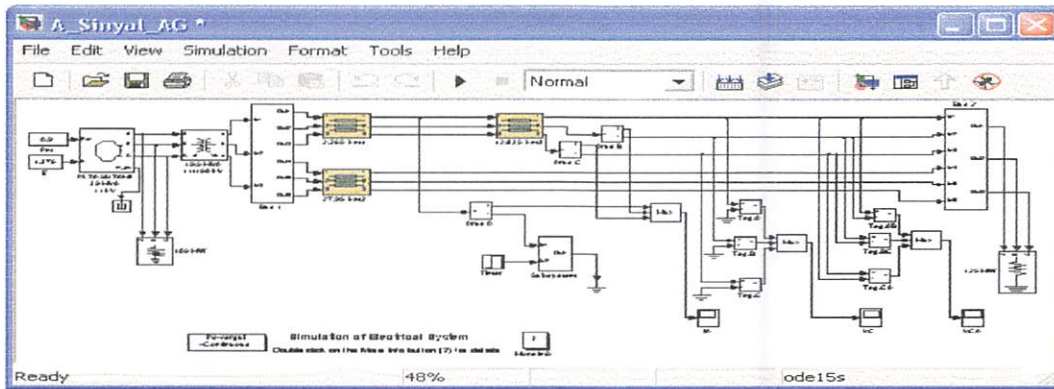
#### 4.1. Hasil Simulasi

Proses ini menggunakan bahasa program Matlab. Untuk hasil berupa sinyal arus dan tegangan diperoleh dari bentuk topologi jaringan yang di gunakan yaitu model system tenaga listrik 3 fasa yang di tunjukkan pada gambar 4.1, untuk mensimulasikan gangguan yang terjadi di saluran transmisi daya listrik antara GI Sutami sampai GI Kebon Agung.



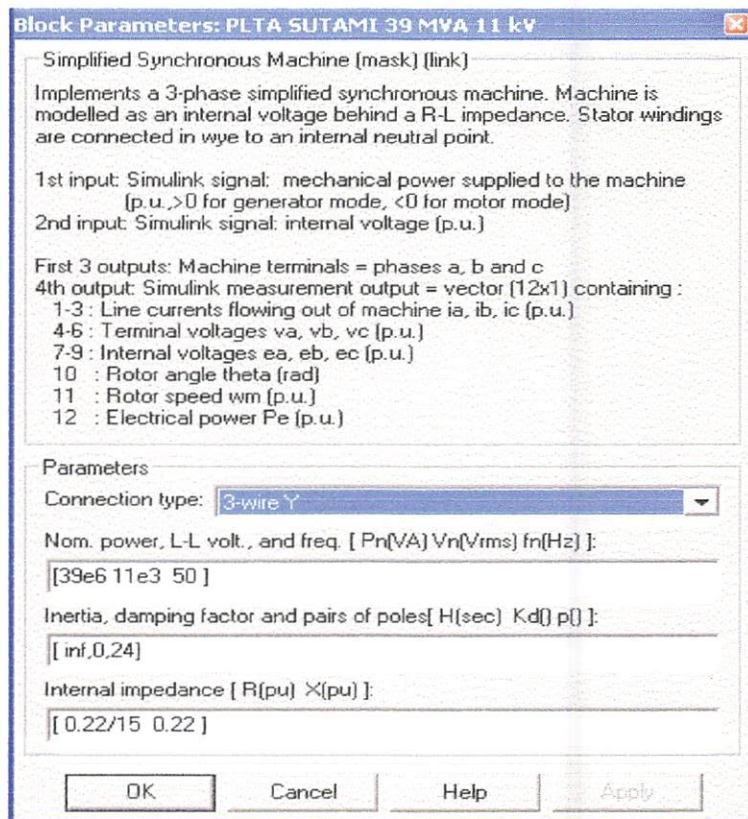
**Gambar 4.1. Model sistem tenaga yang digunakan untuk simulasi**

Kemudian dari model system tenaga 3 fasa itu di rubah ke bentuk Matlab, seperti pada gambar 4.2 yang di gunakan untuk mensimulasikan gangguan satu fasa ke tanah

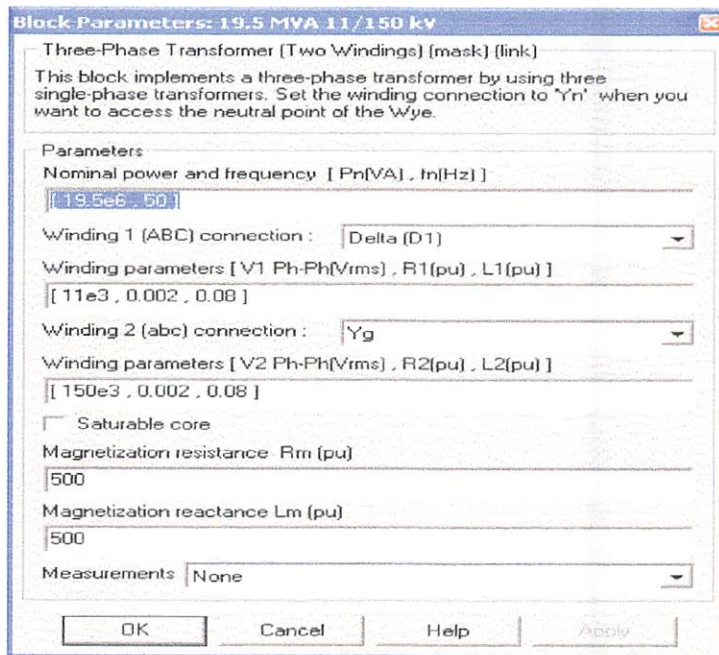


**Gambar 4.2. Simulasi Untuk Gangguan Satu Fasa Ke Tanah**

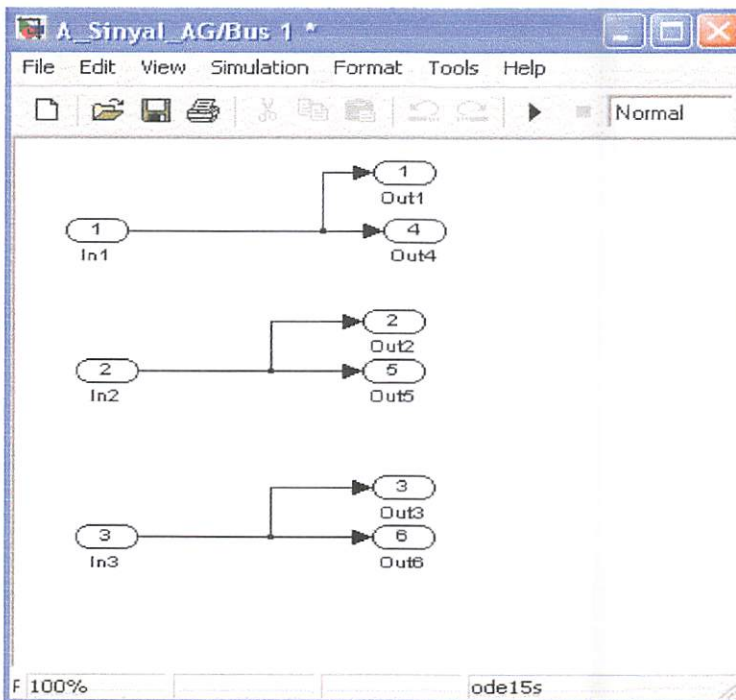
Berikut ini merupakan tampilan parameter-parameter yang di gunakan pada rangkaian simulasi untuk gangguan satu fasa ke tanah pada Matlab yang di tunjukkan pada gambar 4.3 sampai 4.7



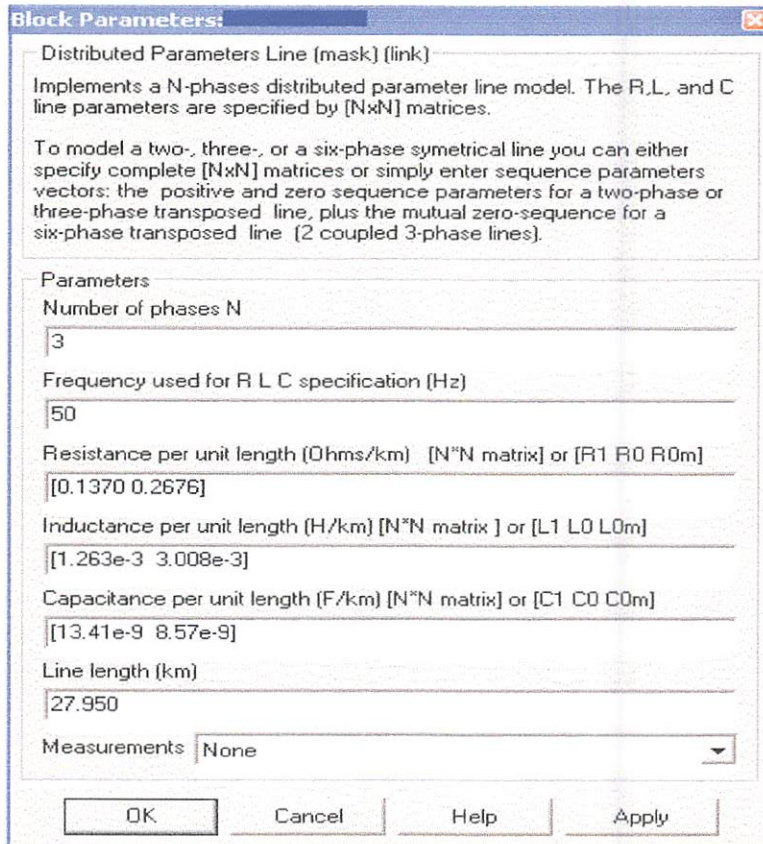
**Gambar 4.3. Tampilan Data Generator**



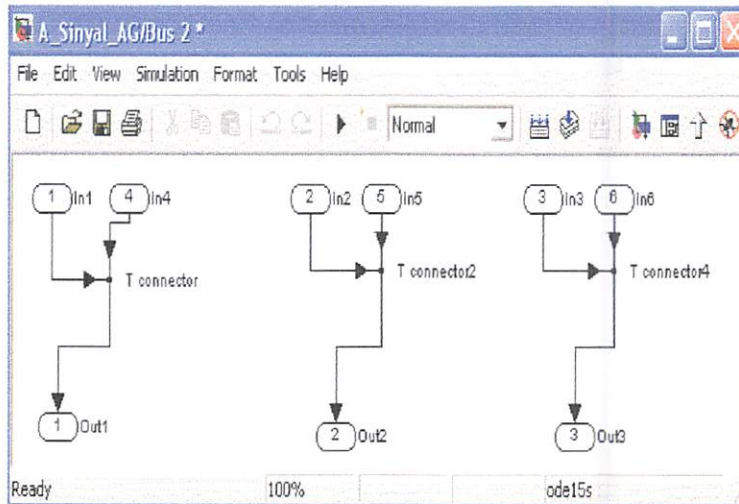
**Gambar 4.4. Tampilan Data Trafo**



**Gambar 4.5. Tampilan Bus 1**

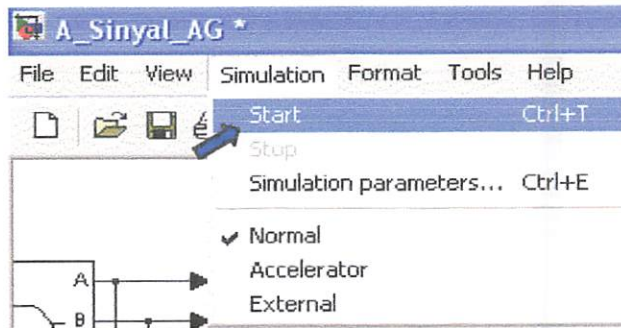


**Gambar 4.6. Tampilan Data Saluran**



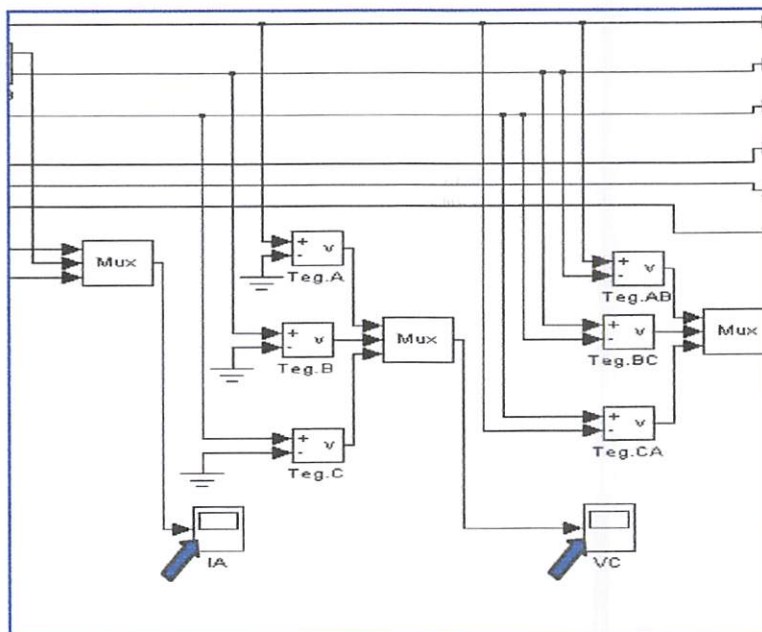
**Gambar 4.7. Tampilan Bus 2**

Setelah mensimulasikan model jaringan pada gambar 4.2 yaitu dengan cara seperti yang di tunjukkan pada gambar di bawah ini :



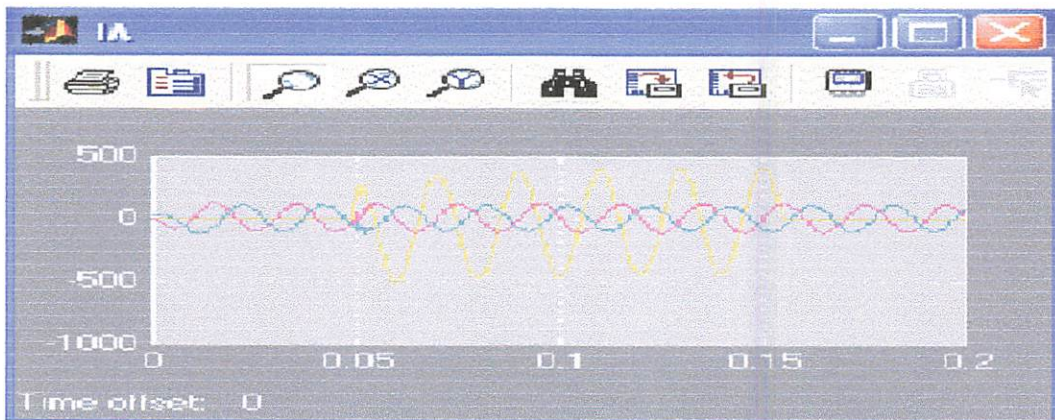
**Gambar 4.8 Cara mensimulasikan gangguan**

Maka akan di dapatkan hasil berupa sinyal arus dan tegangan pada saat terjadi gangguan dengan cara *double click* pada rangkaian untuk menampilkan sinyal arus dan tegangan seperti yang di tunjukkan pada gambar di bawah ini :

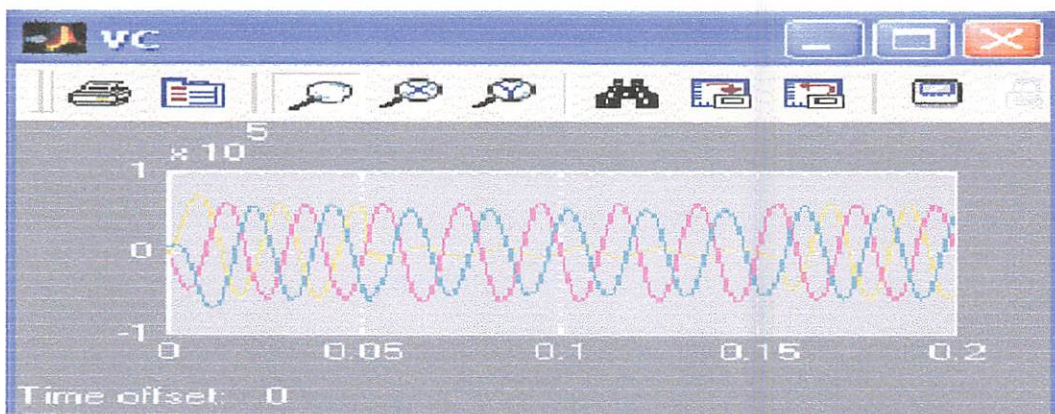


**Gambar 4.9 Cara Menampilkan Sinyal Arus dan Tegangan**

Sehingga di peroleh sinyal arus dan tegangan seperti pada gambar di bawah ini :



a). Sinyal arus saat gangguan

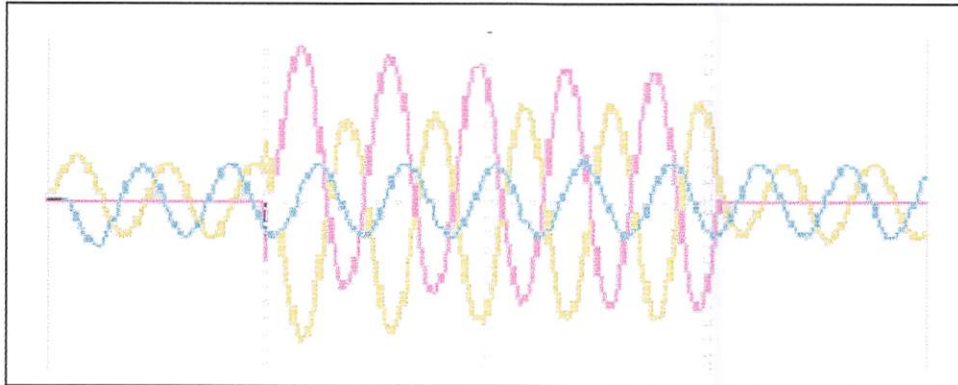


b). Sinyal tegangan saat gangguan

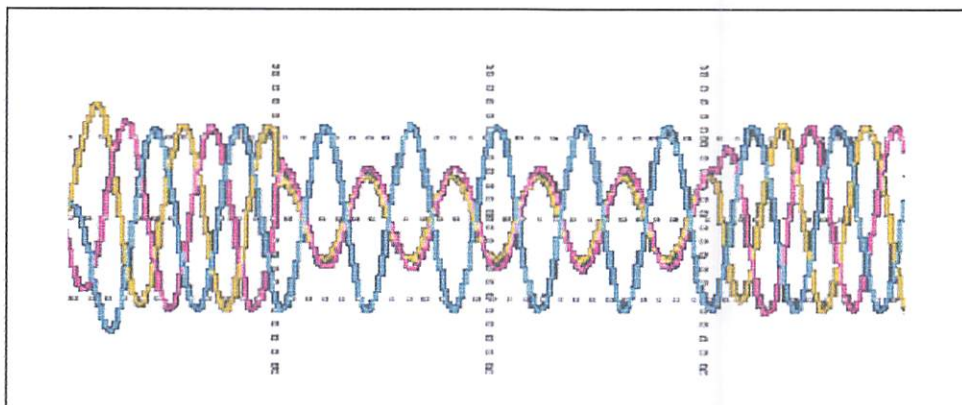
**Gambar 4.10. Sinyal arus dan tegangan saat gangguan satu fasa ke tanah**

Demikian juga untuk mendapatkan sinyal arus dan tegangan saat gangguan antar fasa maupun untuk dua fasa ke tanah. Proses di lakukan juga melalui langkah-langkah yang sama seperti mencari sinyal arus dan tegangan untuk gangguan satu fasa ke tanah. Sehingga di peroleh sinyal-sinyal seperti di tunjukkan pada gambar 4.11 dan gambar 4.12.



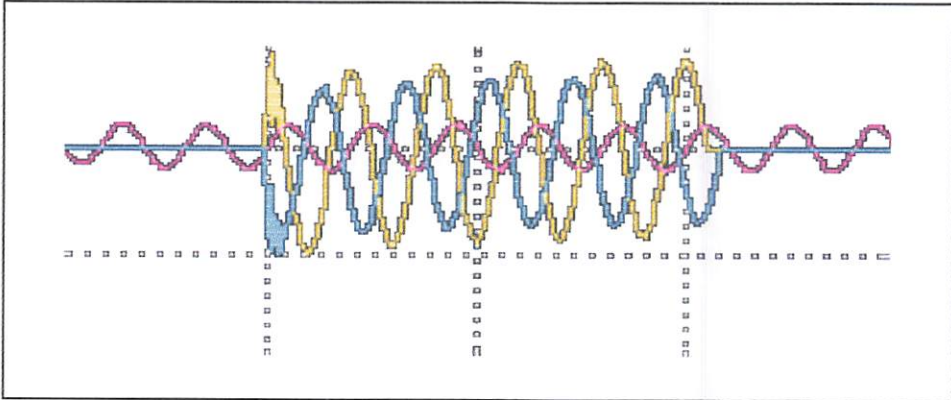


a). Sinyal arus saat gangguan

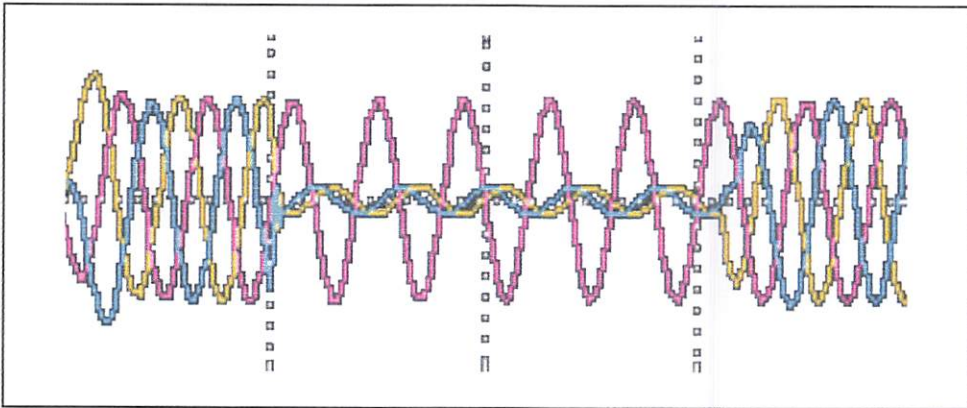


b). Sinyal tegangan saat gangguan

**Gambar 4.11. Sinyal arus dan tegangan saat gangguan antar fasa**



a). Sinyal arus saat gangguan



b). Sinyal tegangan saat gangguan

**Gambar 4.12. Sinyal arus dan tegangan saat gangguan dua fasa ke tanah**

Dengan di dapatkan sinyal-sinyal arus dan tegangan seperti gambar di atas maka akan di dapatkan nilai-nilai  $I_a$ ,  $I_b$ ,  $I_c$ ,  $V_a$ ,  $V_b$ ,  $V_c$  yang di gunakan sebagai *input* pembelajaran Jaringan Syaraf *RBF* sehingga di dapatkan hasil seperti Tabel di bawah ini:

**Tabel 4.1. Gangguan Pada Saluran  
Jenis Gangguan Satu Fasa ke Tanah “ag”**

Sample No.	a	b	c	g
1	1	0	0	1
2	1	0	0	1
3	1	0	0	1
4	1	0	0	1
5	1	0	0	1
6	1	0	0	1
7	1	0	0	1

**Tabel 4.2. Gangguan Pada Saluran  
Jenis Gangguan dua Fasa ke Tanah “acg”**

Sample No.	a	b	c	g
1	1	0	1	1
2	1	0	1	1
3	1	0	1	1
4	1	0	1	1
5	1	0	1	1
6	1	0	1	1
7	1	0	1	1

**Tabel 4.3. Gangguan Pada Saluran  
Jenis Gangguan Antar Fasa “ab”**

Sample No.	a	b	c	g
1	1	1	0	0
2	1	1	0	0
3	1	1	0	0
4	1	1	0	0
5	1	1	0	0
6	1	1	0	0
7	1	1	0	0

## 4.2. Analisa Hasil

Sinyal-sinyal gangguan di dapatkan dari *simulink* matlab yang nantinya akan di gunakan sebagai *input* dari Jaringan Syaraf *RBF*, dengan *input* berupa sinyal-sinyal gangguan di atas yang kemudian di dapatkan hasil berupa tabel-tabel jenis gangguan beserta lokasi gangguannya.

- Angka 1 menunjukkan fasa yang terganggu sedangkan angka 0 menunjukkan fasa yang tidak terganggu.
- Gambar 4.10 menunjukkan sinyal arus dan tegangan pada saat gangguan satu fasa ke tanah dan ini dapat dilihat pada tabel 4.1 bahwa yang menunjukkan saluran yang terganggu adalah fasa a ke tanah (g).
- Gambar 4.11. menunjukkan sinyal arus dan tegangan pada saat gangguan antar fasa dan ini dapat dilihat pada tabel 4.3 bahwa yang menunjukkan saluran yang terganggu adalah fasa a dan fasa c ke tanah (g).
- Gambar 4.12. menunjukkan sinyal arus dan tegangan pada saat gangguan dua fasa ke tanah dan ini dapat dilihat pada tabel 4.2 bahwa yang menunjukkan saluran yang terganggu adalah fasa a dan fasa b dan tidak terhubung ke tanah (g).

## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **1. Kesimpulan**

Setelah dilakukan analisa mengenai jenis gangguan, maka dapat di dapatkan kesimpulan sebagai berikut :

1. Dengan menggunakan simulasi gangguan maka diketahui bentuk sinyal arus dan tegangan pada saat gangguan :

- **Gangguan hubung singkat satu fasa**

Bentuk sinyal arus dari fasa a mengalami kenaikan dari sinyal arus normal dan untuk sinyal tegangannya turun sampai harga mendekati nol sehingga dianggap mempunyai nilai 0.

- **Gangguan hubung singkat antar fasa**

Bentuk sinyal arus dari fasa a dan b mengalami kenaikan dari sinyal arus normal dan untuk sinyal tegangan dari fasa a dan fasa b turun sampai harga mendekati nol sehingga dianggap mempunyai nilai 0.

- **Gangguan hubung singkat dua fasa ke tanah**

Bentuk sinyal arus dari fasa a dan fasa c mengalami kenaikan dari sinyal arus normal dan untuk sinyal tegangan dari fasa a dan fasa c turun sampai harga mendekati nol sehingga dianggap mempunyai nilai 0.

2. Dari tabel 4.1 sampai dengan tabel 4.3 dapat diketahui bahwa:
  - Untuk gangguan satu fasa ke tanah: a dan g mempunyai nilai 1, b dan c mempunyai nilai 0; untuk gangguan antar fasa: a dan b mempunyai nilai 1, c dan g mempunyai nilai 0; untuk gangguan dua fasa ke tanah: a, c dan g mempunyai nilai 1, b mempunyai nilai 0.
  - Nilai satu menunjukkan fasa yang terganggu dan 0 menunjukkan fasa yang tidak terganggu, sehingga jenis gangguan dapat di ketahui dari tabel 4.1 sampai tabel 4.3.
3. Metode *Minimal Radial Basis Function Neural Network (MRBFNN)* mampu membedakan dengan baik jenis gangguan pada saluran transmisi.
4. Dengan di dapatnya pola *input* dari pola sinyal tentu akan sangat memudahkan untuk menentukan parameter-parameter *input* yang akan di training dan dapat menentukan jenis gangguan dengan cara mengetahui besarnya arus gangguan.

## **2. Saran**

Untuk pengembangan yang lebih lanjut penulis mengharapkan kepada pembaca supaya :

1. Untuk mensimulasikan dalam menentukan jenis gangguan di lakukan di beberapa tempat yang lebih banyak.
2. Untuk aplikasi selanjutnya, metode ini dapat digunakan pada sistem tenaga listrik yang lain.



## DAFTAR PUSTAKA

- [1]. T. S. Sidhu, H. Singh, and M.S. Sachdev, "Design, implementation and testing of an artificial neural network based fault direction discrimination for protecting transmission lines," *IEEE Trans. on Power Delivery*, vol. 10, no.2, pp. 697–706, 1995.
- [2]. T. Dalstein and B. Kulicke, "Neural network approach to fault classification for high speed protective relaying," *IEEE Trans. On Power Delivery*, vol.10, no.2, pp.1002–1011, 1995.
- [3]. D. V. Coury and D. C. Jonge, "Artificial neural network approach to distance protection," *IEEE Trans. on Power Delivery*, vol. 13, no. 1, pp. 102–108, 1998.
- [4]. P. K. Dash, A. K. Pradhan and G. Panda, "Application of Minimal Radial Basis Function Neural Network to Distance Protection," *IEEE Trans. on Power Delivery*, 2001.
- [5]. Sri Kusuma Dewi, "Artificial Intellegent", Graha Ilmu, Yogyakarta, 2003.
- [6]. Diktat Kuliah Analisis Siatem Tenaga Elektrik II, ITN Malang, September 2000.
- [7]. W. D. Stevenson, Jr, "Analisis Sistem Tenaga Listrik," Penerbit *Erlangga*.
- [8]. Arismunandar. A dan Kuswara. S, "Teknik Tenaga Listrik".
- [9]. Dr. Ir. Kuswara setiawan, M.T., " Paradigma Sistem Cerdas," Banyumedia Publising, Oktober 2003.
- [10]. Yusni Andrianto, "Pendeteksian Letak Dan Jenis Gangguan Hubung Singkat Pada Saluran Transmisi Untuk Mengaktifkan Relay Jarak Dengan Metode Fuzzy Neural Network," 2003.

Lampiran - Lampiran



INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG  
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI  
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO

**BERITA ACARA UJIAN SKRIPSI  
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI**

1. Nama Mahasiswa : Eko Sulistiono
2. Nim : 99.12.030
3. Jurusan : Teknik Elektro
4. Konsentrasi : Teknik Energi Listrik
5. Judul Skripsi :

**ANALISIS PENENTUAN JENIS GANGGUAN MENGGUNAKAN  
DISTANCE PROTECTION DENGAN METODE JARINGAN  
SYARAF RADIAL BASIS FUNCTION (RBF) PADA  
RELAY JARAK SALURAN TRANSMISI**

Dipertahankan dihadapan Majelis Penguji Skripsi Jenjang Strata Satu (S-1)  
pada :

Hari : Senin  
Tanggal : 25 September 2006  
Dengan Nilai : 74,8 (B+)

**Panitia Ujian Skripsi**

**Ir. Mochtar Asroni, MSME**  
Ketua

**Ir. F. Yudi Limraptono, MT**  
Sekretaris

**Anggota Penguji**

**Ir. I Made Wartana, MT**  
Penguji Pertama

**Ir. M. Abdul Hamid, MT**  
Penguji Kedua



LEMBAR BIMBINGAN SKRIPSI

1. Nama Mahasiswa : Eko Sulistiono
2. Nim : 99.12.030
3. Jurusan : Teknik Elektro
4. Konsentrasi : Teknik Energi Listrik
5. Judul Skripsi :

**ANALISIS PENENTUAN JENIS GANGGUAN MENGGUNAKAN  
DISTANCE PROTECTION DENGAN METODE JARINGAN  
SYARAF RADIAL BASIS FUNCTION (RBF) PADA  
RELAY JARAK SALURAN TRANSMISI**

6. Tanggal Mengajukan Skripsi : 16 Juni 2006
7. Tanggal Menyelesaikan Skripsi : 25 September 2006
8. Dosen Pembimbing : Ir. Widodo Pudji M, MT
9. Telah Dievaluasi Dengan Nilai : 82 ( Delapan Puluh Dua )

Mengetahui,  
Ketua Jurusan Teknik Elektro S-1

**(Ir. F. YUDI LIMPRAPTONO, MT)**  
NIP. Y. 103 950 0274

Diperiksa dan Disetujui,  
Dosen Pembimbing

**(Ir. WIDODO PUDJI M, MT)**  
NIP. Y. 131 991 182



INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG  
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI  
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO

### PERSETUJUAN PERBAIKAN SKRIPSI

Dari hasil ujian skripsi Jurusan Teknik Elektro jenjang strata satu (S-1)  
yang diselenggarakan pada :

Hari : Senin  
Tanggal : 25 September 2006

Telah dilakukan perbaikan skripsi :

Nama Mahasiswa : EKO SULISTIONO  
Nim : 99.12.030  
Jurusan : Teknik Elektro  
Konsentrasi : Teknik Energi Listrik  
Judul Skripsi : Analisis Penentuan Jenis Gangguan Menggunakan  
*Distance Protection* Dengan Metode Jaringan Syaraf  
*Radial Basis Function (RBF)* Pada Relay Jarak  
Saluran Transmisi

Perbaikan Meliputi :

No	Materi Perbaikan	Paraf
1	Inputan berupa generator, jika sistem distribusi yang tidak ada generator bagaimana mendapatkan datanya	
2	Bagaimana mensimulasi bahwa di sistem terjadi gangguan satu fasa ketanah, dua fasa ketanah, dan antar saluran	

#### Anggota Penguji

Ir. Made Wartana, MT  
Penguji Pertama

Ir. M. Abdul Hamid, MT  
Penguji Kedua

Mengetahui / Menyetujui  
Dosen Pembimbing

Ir. Widodo Pudji M, MT



### FORMULIR BIMBINGAN SKRIPSI

Nama : Eko Sulistiono  
Nim : 99.12.030  
Masa Bimbingan : 16 Juni 2006 s/d 16 Desember 2006  
Judul Skripsi : Analisis Penentuan Jenis Gangguan Menggunakan *Distance Protection* Dengan Metode Jaringan Syaraf *Radial Basis Function (RBF)* Pada Relay Jarak Saluran Transmisi

No.	Tanggal	Uraian	Paraf Pembimbing
1.		Konsultasi Bab I	
2.		Revisi Bab I	
3.		Konsultasi Bab I dan Bab II	
4.		Revisi Bab II	
5.		Konsultasi Bab III dan Bab IV	
6.		Revisi Bab III dan Bab IV	
7.		Bagaimana cara mensimulasikan sehingga di dapat sinyal arus dan tegangan ? (Bab III)	
8.		Revisi Bab IV	
9.			
10.			

Malang, 2006  
Dosen Pembimbing

Ir. Widodo Pudji M, MT  
Nip. P. 1028700171



INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL  
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI  
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO

## Formulir Perbaikan Ujian Skripsi

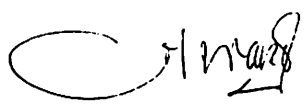
Dalam pelaksanaan Ujian Skripsi Janjang Strata 1 Jurusan Teknik Elektro Konsentrasi T. Energi Listrik / T. Elektronika, maka perlu adanya perbaikan skripsi untuk mahasiswa :

NAMA :  
NIM : 9912030  
Perbaikan meliputi :

→ Inputan berupa generator dalam sistem & imbasnya  
kg. kuba akan berkurang bagaiman merapatin ketanya..

→ Bagaimana mensimulasi bahwa sistem tenaga  
guguran satu pkn. ketanya, dan fase ke. tenaga  
dan. antar saluran ?

Malang,

(  )  
25/06

## **Materi Perbaikan**

1. **Inputan berupa generator, jika system distribusi yang tidak ada generator bagaimana mendapatkan datanya?**
2. **Bagaimana mensimulasi bahwa di system terjadi gangguan satu fasa ketanah, dua fasa ketanah, dan antar saluran?**


### **Perbaikan:**

1. **Inputan berupa generator adalah sebagai awal dari suatu system dan dari data-data generator tersebut tegangan dan arus di transmisi dapat diketahui. Begitu juga pada jaringan system distribusi untuk mengetahui data pada system itu dengan cara mengambil data-data yang ada pada penyulang atau Gardu Induk.**
2. **Cara mensimulasikan yaitu dengan cara membuat suatu rangkaian di bentuk dalam keadaan gangguan, contoh: untuk satu fasa ketanah seperti Gambar 4.2, salah satu fasa di buat putus terhubung dengan tanah sehingga rangkaian dalam keadaan gangguan dengan demikian program dapat dijalankan atau disimulasikan dalam keadaan gangguan. Demikian juga untuk gangguan dua fasa ketanah, dan antar saluran.**



INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL  
Jl. Bendungan Sigura-gura No. 2  
MALANG

Lampiran : 1 (satu) berkas  
Pembimbing Skripsi

Kepada : Yth. Bapak/Ibu Ir. Widodo Pm, MT   
Dosen Institut Teknologi Nasional  
MALANG

Yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : EKO SULISTIOMO  
Nim : 99.12.030  
Jurusan : Teknik Elektro S-1  
Konsentrasi : Teknik Elektronika/Energi Listrik

Dengan ini mengajukan permohonan, kiranya Bapak/Ibu bersedia menjadi Dosen Pembimbing Utama / Pendamping \*), untuk penyusunan Skripsi dengan judul (proposal terlampir) :

Analisis Penentuan Jenis Gangguan Menggunakan Jaringan Syarat Radial Basis Function (RBF)

Adapun tugas tersebut sebagai salah satu syarat untuk menempuh Ujian Akhir Sarjana Teknik.

Demikian permohonan kami dan atas kesediaan Bapak/Ibu kami ucapkan terima kasih.

Malang,

Ketua  
Jurusan Teknik Elektro S-1

Hormat kami,



Ir. F. Yudi Limpraptono, MT  
Nip. 1039500274

Eko Sulistiono  
Nimi 99.12030

\*) coret yang tidak perlu



INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG  
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI  
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO

Malang, 24 April 2006

Lampiran : Satu Lembar  
Perihal : **Kesediaan Sebagai  
Dosen Pembimbing**

Kepada : Yth. Bapak **Ir. Widodo Pudji M, MT**  
Dosen Jurusan Elektro/ T. Energi Listrik  
Institut Teknologi Nasional Malang  
Di  
Malang

Yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Eko Sulistiono  
Nim : 99.12.030  
Semester : XIV  
Jurusan : Teknik Elektro S-1  
Konsentrasi : Teknik Energi Listrik

Dengan ini mengajukan permohonan, kiranya Bapak bersedia menjadi Dosen Pembimbing Utama, untuk penyusunan Skripsi dengan judul:

**ANALISIS PENENTUAN JENIS GANGGUAN  
MENGUNAKAN *DISTANCE PROTECTION* DENGAN  
METODE JARINGAN SYARAF *RADIAL BASIS FUNCTION*  
(*RBF*) PADA RELAY JARAK SALURAN TRANSMISI**

Seperti proposal terlampir.

Adapun tugas tersebut sebagai salah satu syarat untuk mendapatkan gelar Sarjana Teknik pada Jurusan Teknik Elektro. Demikian permohonan kami, atas kesediaan Bapak kami ucapkan terima kasih.

Malang, 24 April 2006

Mengetahui,  
Ketua Jurusan Teknik Elektro

Pemohon,

Ir. F. Yudi Limpraptono, MT  
Nip. Y. 1039500274

Eko Sulistiono  
Nim. 99.12.030

Form S-3a



PERKUMPULAN PENGELOLA PENDIDIKAN UMUM DAN TEKNOLOGI NASIONAL MALANG  
**INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG**

FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI  
 FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN  
 PROGRAM PASCASARJANA MAGISTER TEKNIK

NI (PERSERO) MALANG  
 BANK NIAGA MALANG

Kampus I : Jl. Bendungan Sigura-gura No. 2 Telp. (0341) 551431 (Hunting) Fax. (0341) 553015 Malang 65145  
 Kampus II : Jl. Raya Karanglo, Km 2 Telp. (0341) 417636 Fax. (0341) 417634 Malang

Malang, 25 Juli 2006

Nomor : ITN-1563/TA/2/06  
 Lampiran : satu lembar  
 Perihal : **BIMBINGAN SKRIPSI**

Kepada : Yth. Sdr. **Ir. WIDODO PUDJI M, MT**  
 Dosen Institut Teknologi Nasional  
 di -  
 Malang

Dengan Hormat,  
 Sesuai dengan permohonan dan persetujuan dalam proposal skripsi melalui seminar proposal yang telah dilakukan untuk mahasiswa :

Nama : EKO SULISTIONO  
 Nim : 9912030  
 Fakultas : Teknologi Industri  
 Jurusan : Teknik Elektro  
 Konsentrasi : T. Energi Listrik (S-1)

Dengan ini pembimbingan skripsi tersebut kami serahkan sepenuhnya kepada saudara/I selama masa waktu **6 (enam) bulan** terhitung mulai tanggal:

16 Juni 2006 s/d 16 Des. 2006

Adapun tugas tersebut merupakan salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik, Jurusan Teknik Elektro.  
 Demikian atas perhatian serta kerjasamanya yang baik kami ucapkan terima kasih



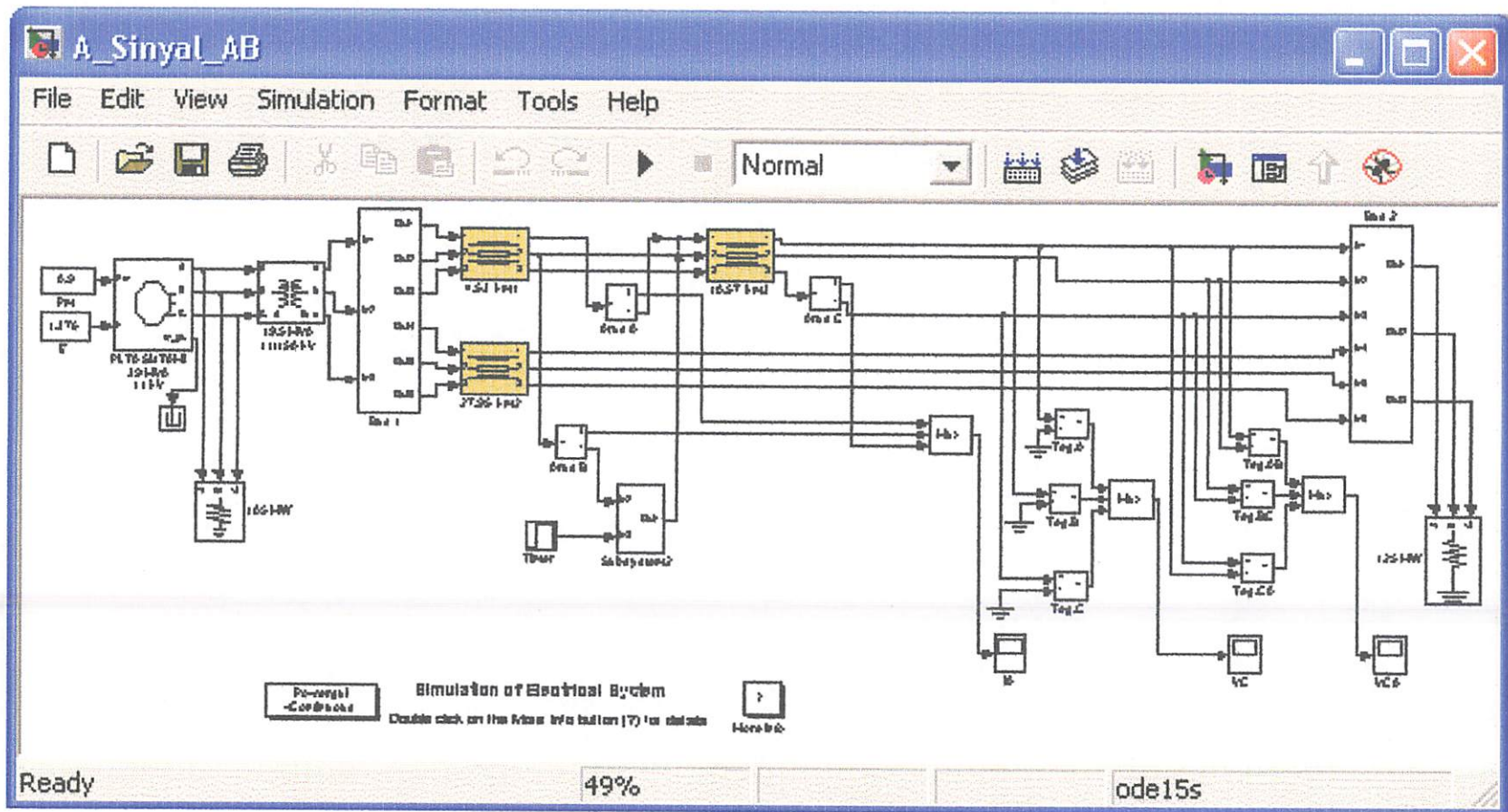
Ketua  
 Jurusan Teknik Elektro S-1

*(Signature)*  
 Ir. F. Yudi Limpraptono, MT  
 Nip. Y. 1039500274

**Tindakan :**

1. Mahasiswa yang bersangkutan
2. Arsip.

Form. S-4a



SIMULASI UNTUK GANGGUAN ANTAR FASA

СХЕМА СИСТЕМЫ СИГНАЛИЗАЦИИ

015102

4000

1980

СХЕМА СИСТЕМЫ СИГНАЛИЗАЦИИ  
СХЕМА СИСТЕМЫ СИГНАЛИЗАЦИИ

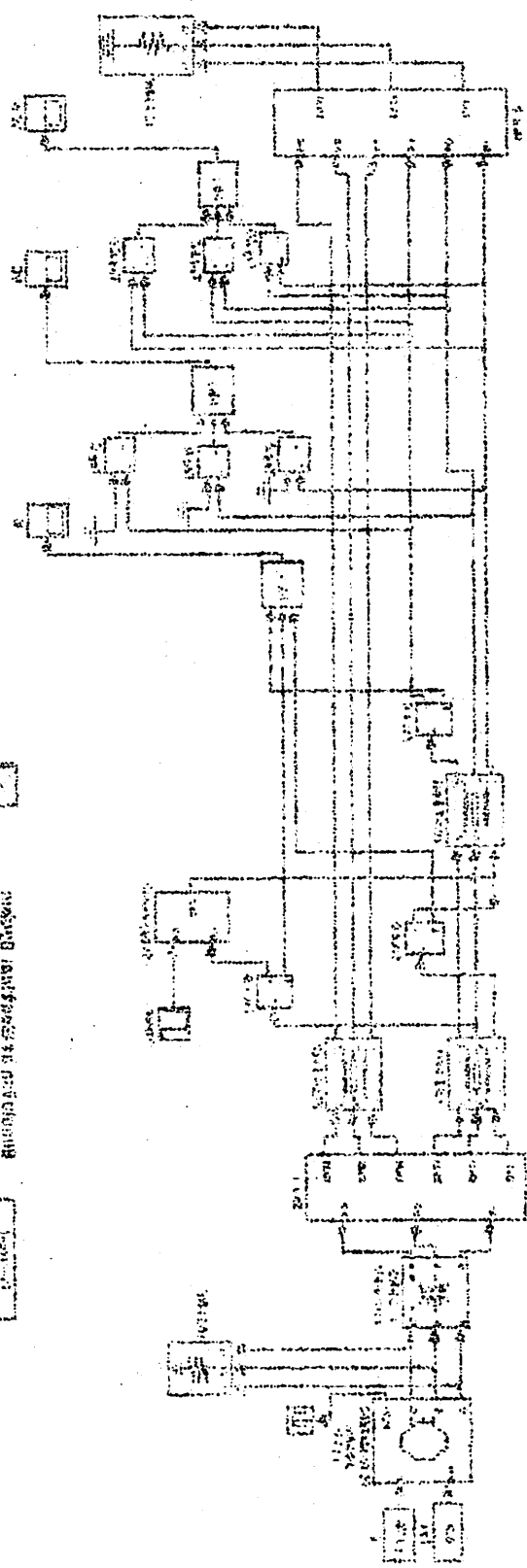
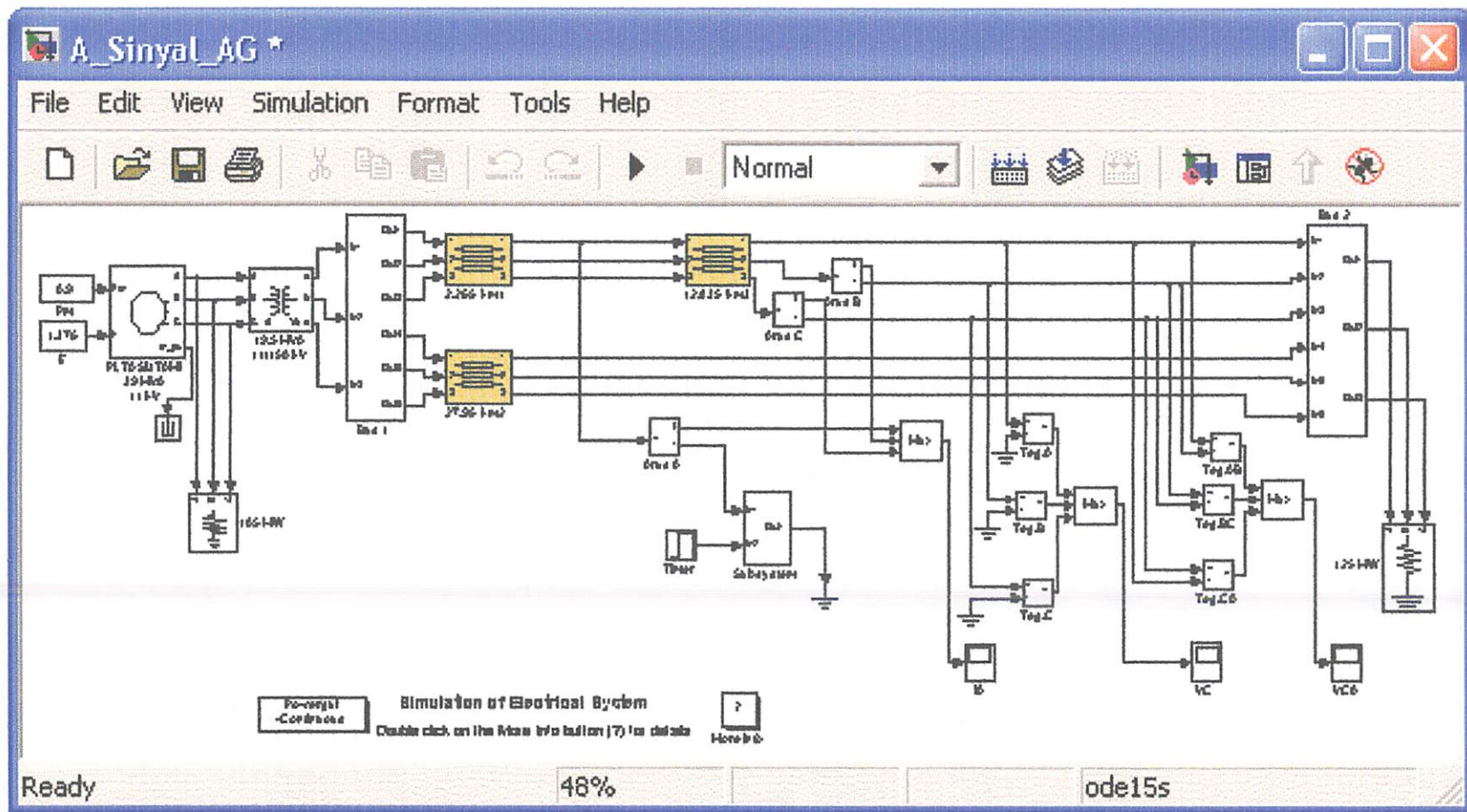


СХЕМА СИСТЕМЫ СИГНАЛИЗАЦИИ

СХЕМА СИСТЕМЫ СИГНАЛИЗАЦИИ



SIMULASI UNTUK GANGGUAN SATU FASA KE TANAH

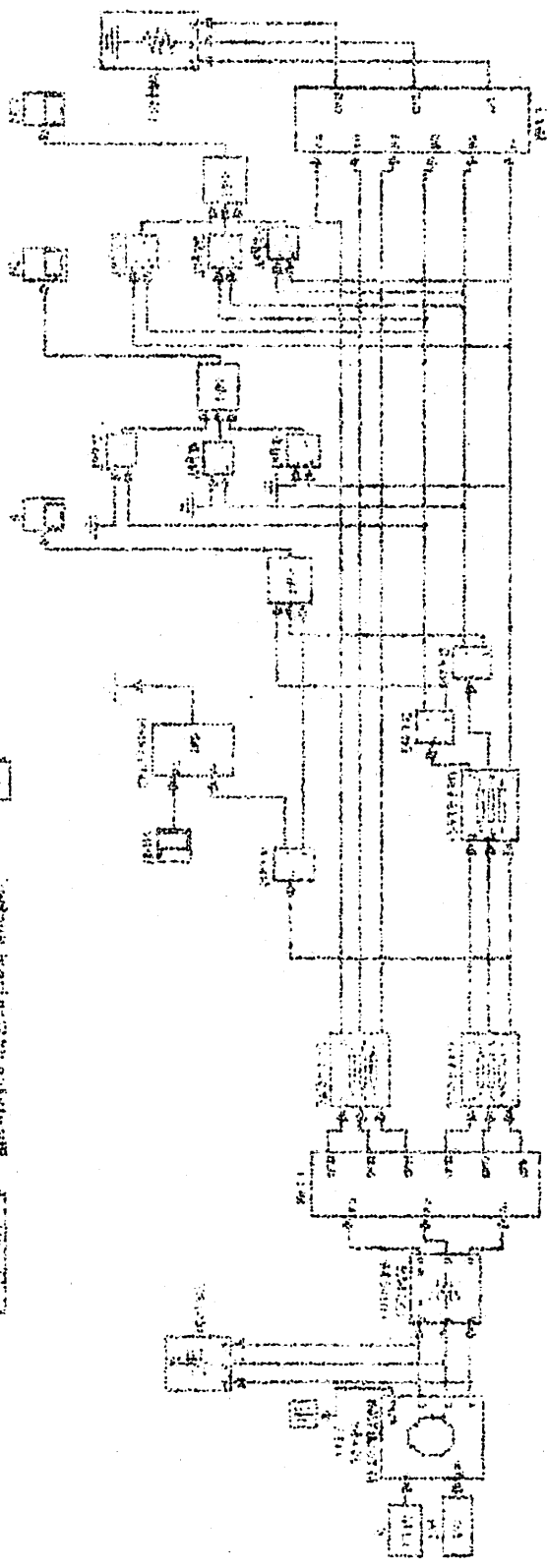
СХЕМА СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ

1980

1980

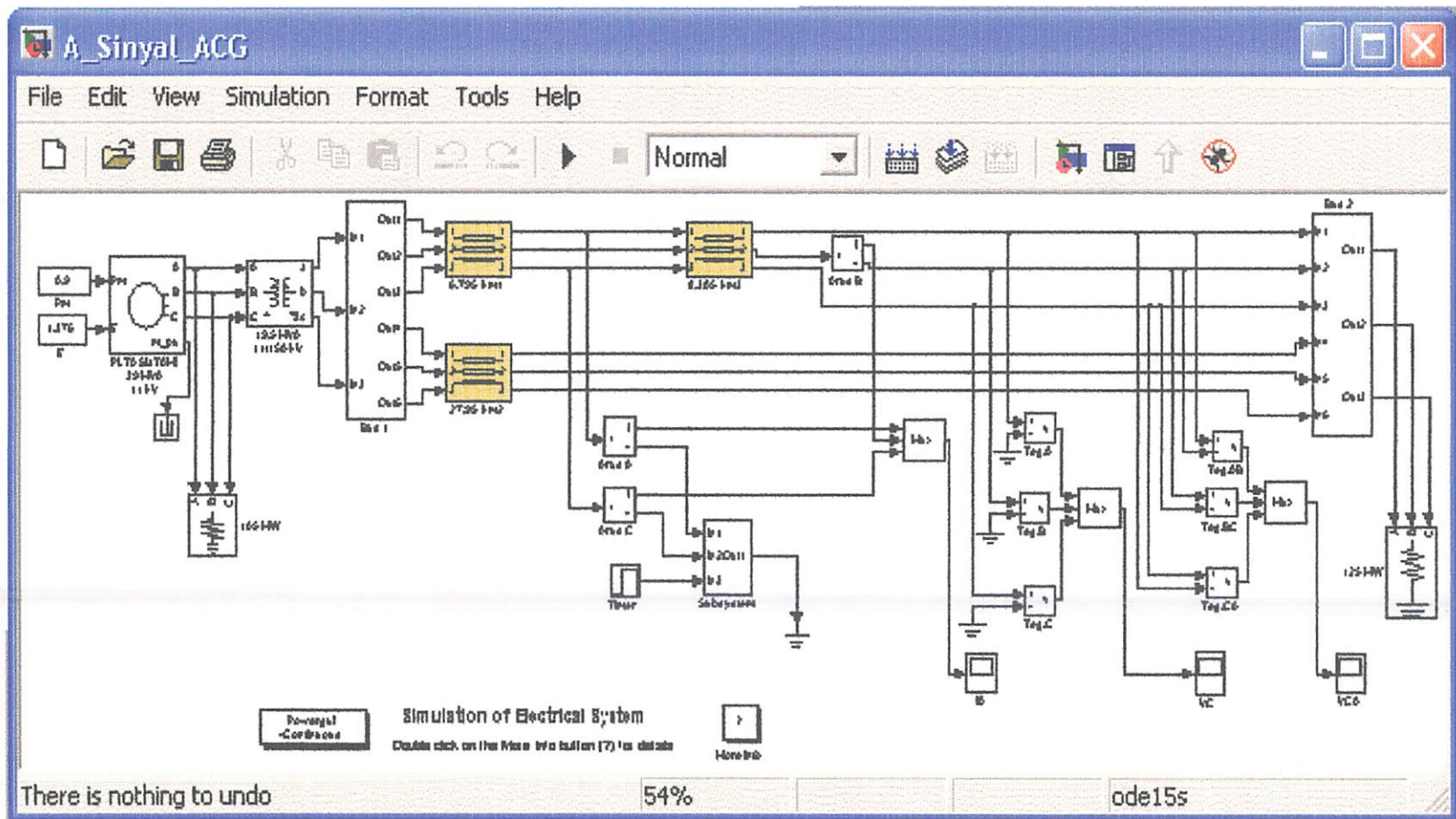
1980

СХЕМА СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ  
ЭЛЕМЕНТЫ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ



1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 40 41 42 43 44 45 46 47 48 49 50 51 52 53 54 55 56 57 58 59 60 61 62 63 64 65 66 67 68 69 70 71 72 73 74 75 76 77 78 79 80 81 82 83 84 85 86 87 88 89 90 91 92 93 94 95 96 97 98 99 100

СХЕМА СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ



SIMULASI UNTUK GANGGUAN DUA FASA KE TANAH


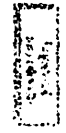


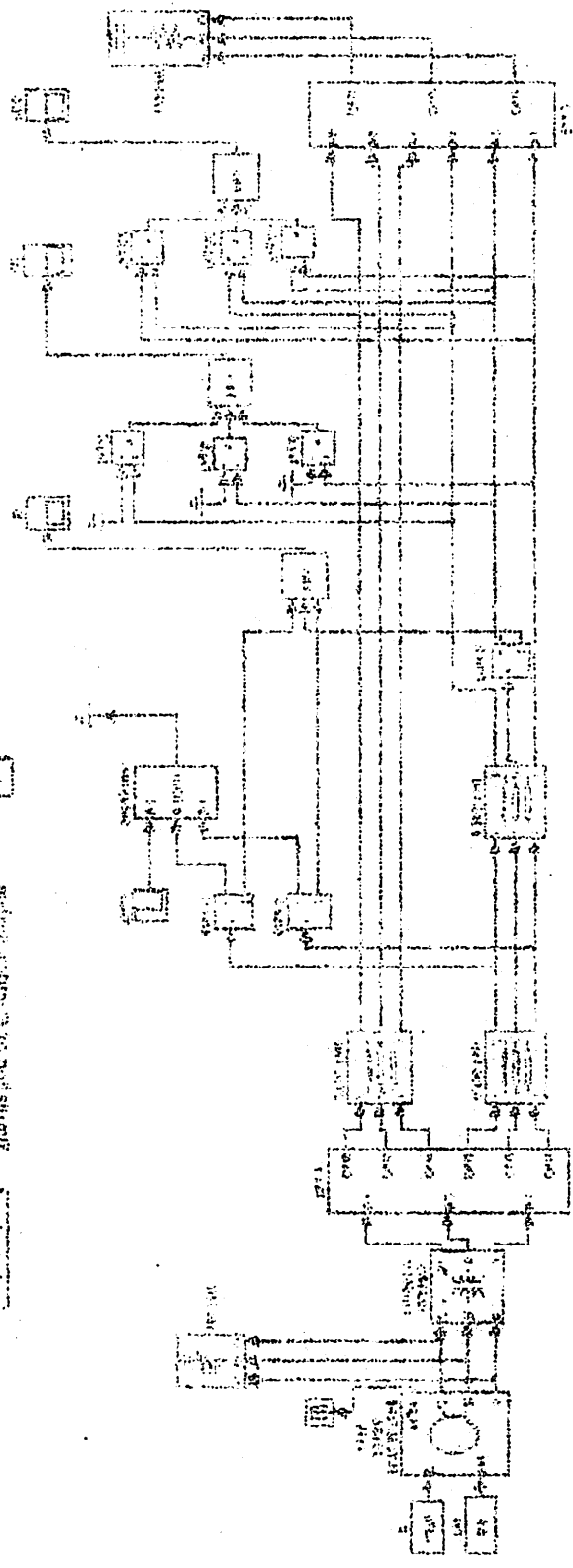
СИМВОЛЫ ЭЛЕМЕНТОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СХЕМ

99/122

8/88

Схема электрическая


 РЕЛЕ  
 РЕЛЕ С ЗАПЯТЫМ  

 КОНТАКТ  
 КОНТАКТ С ЗАПЯТЫМ



РЕЛЕ  
 РЕЛЕ С ЗАПЯТЫМ  
 КОНТАКТ  
 КОНТАКТ С ЗАПЯТЫМ

Схема электрическая

## GANGGUAN SATU FASA KE TANAH

clc

%Data input hasil simulasi gangguan 1 fasa ke tanah

Ia1=1/(1+exp(239.1)); Ib1=1/(1+exp(0)); Ic1=1/(1+exp(0)); Va1=1/(1+exp(53210));

Vb1=1/(1+exp(-7531.5)); Vc1=1/(1+exp(-45678));

Data1=[Ia1 Ib1 Ic1 Va1 Vb1 Vc1];

Ia2=1/(1+exp(255.18)); Ib2=1/(1+exp(0)); Ic2=1/(1+exp(0)); Va2=1/(1+exp(53209));

Vb2=1/(1+exp(-7530.8)); Vc2=1/(1+exp(-45679));

Data2=[Ia2 Ib2 Ic2 Va2 Vb2 Vc2];

Ia3=1/(1+exp(255.17)); Ib3=1/(1+exp(0)); Ic3=1/(1+exp(0)); Va3=1/(1+exp(53208));

Vb3=1/(1+exp(-7526.4)); Vc3=1/(1+exp(-45681));

Data3=[Ia3 Ib3 Ic3 Va3 Vb3 Vc3];

Ia4=1/(1+exp(255.16)); Ib4=1/(1+exp(0)); Ic4=1/(1+exp(0)); Va4=1/(1+exp(53206));

Vb4=1/(1+exp(-7522.8)); Vc4=1/(1+exp(-45684));

Data4=[Ia4 Ib4 Ic4 Va4 Vb4 Vc4];

Ia5=1/(1+exp(255.15)); Ib5=1/(1+exp(0)); Ic5=1/(1+exp(0)); Va5=1/(1+exp(53205));

Vb5=1/(1+exp(-7519.3)); Vc5=1/(1+exp(-45686));

Data5=[Ia5 Ib5 Ic5 Va5 Vb5 Vc5];

Ia6=1/(1+exp(255.11)); Ib6=1/(1+exp(0)); Ic6=1/(1+exp(0)); Va6=1/(1+exp(53199));

Vb6=1/(1+exp(-7505)); Vc6=1/(1+exp(-45694));

Data6=[Ia6 Ib6 Ic6 Va6 Vb6 Vc6];

Ia7=1/(1+exp(255.07)); Ib7=1/(1+exp(0)); Ic7=1/(1+exp(0)); Va7=1/(1+exp(53194));

Vb7=1/(1+exp(-7490.8)); Vc7=1/(1+exp(-45703));

Data7=[Ia7 Ib7 Ic7 Va7 Vb7 Vc7];

%Arus Gangguan satu fasa ke tanah=Ia

Ia=545.42;

%Filtering Data

%D=10\*randn(1,21);

Data\_a=[Ia1 Ib1 Ic1 Va1 Vb1 Vc1];

Data\_b=[Ia2 Ib2 Ic2 Va2 Vb2 Vc2];

Data\_c=[Ia3 Ib3 Ic3 Va3 Vb3 Vc3];

Data\_d=[Ia4 Ib4 Ic4 Va4 Vb4 Vc4];

Data\_e=[Ia5 Ib5 Ic5 Va5 Vb5 Vc5];

Data\_f=[Ia6 Ib6 Ic6 Va6 Vb6 Vc6];

Data\_g=[Ia7 Ib7 Ic7 Va7 Vb7 Vc7];

% D=Data;

Data\_hf=[Data\_a;Data\_b;Data\_c;Data\_d;Data\_e;Data\_f;Data\_g];

Data\_ak=[Data1;Data2;Data3;Data4;Data5;Data6;Data7];

for k=1:size(Data\_hf,1);

if Data\_hf(k,:)==Data\_ak(k,:);

Data(k,:)=Data\_hf(k,:);

else

Data\_ke=k

disp('Mengaktifkan filter')

sn=[];sp=0;varq=1;

sn(1)=0;mn(1)=0;varh=var(Data\_ak(k,:));

for i=2:length(Data\_ak(k,:))+1;

sp=sn(i-1);

mp=mn(i-1)+varq;

kg=mp/(varh+mp);

sn(i)=(sp+(kg\*(Data\_ak(k,i-1)-sp)));

mn(i)=(1-kg)\*mp;

```

end
Data(k,:)=(sn(2:length(sn)));
end
end
t=1:size(Data,2);
for k=1:size(Data,1);
    %figure(k);plot(t,Data_hf(k,:),'-p',t,Data_ak(k,:),'-d',t,Data(k,:),'-*')
    %legend('Sinyal','Sinyal Referensi','Estimasi')
end

%1..Pilih posisi center
t1a=2.3; t1b=2.3; t1c=2.3; t1d=2.3; t1e=2.3; t1f=2.3;
t1=[t1a t1b t1c t1d t1e t1f];
t2a=0; t2b=0; t2c=0; t2d=0; t2e=0; t2f=0;
t2=[t2a t2b t2c t2d t2e t2f];

%..Nilai Spread Thau=1

%..Perhitungan
Q11=exp(-((Ia1-t1a)^2+(Ib1-t1b)^2+(Ic1-t1c)^2+(Va1-t1d)^2+(Vb1-t1e)^2+(Vc1-t1f)^2));
Q21=exp(-((Ia2-t1a)^2+(Ib2-t1b)^2+(Ic2-t1c)^2+(Va2-t1d)^2+(Vb2-t1e)^2+(Vc2-t1f)^2));
Q31=exp(-((Ia3-t1a)^2+(Ib3-t1b)^2+(Ic3-t1c)^2+(Va3-t1d)^2+(Vb3-t1e)^2+(Vc3-t1f)^2));
Q41=exp(-((Ia4-t1a)^2+(Ib4-t1b)^2+(Ic4-t1c)^2+(Va4-t1d)^2+(Vb4-t1e)^2+(Vc4-t1f)^2));
Q51=exp(-((Ia5-t1a)^2+(Ib5-t1b)^2+(Ic5-t1c)^2+(Va5-t1d)^2+(Vb5-t1e)^2+(Vc5-t1f)^2));
Q61=exp(-((Ia6-t1a)^2+(Ib6-t1b)^2+(Ic6-t1c)^2+(Va6-t1d)^2+(Vb6-t1e)^2+(Vc6-t1f)^2));
Q71=exp(-((Ia7-t1a)^2+(Ib7-t1b)^2+(Ic7-t1c)^2+(Va7-t1d)^2+(Vb7-t1e)^2+(Vc7-t1f)^2));
Q12=exp(-((Ia1-t2a)^2+(Ib1-t2b)^2+(Ic1-t2c)^2+(Va1-t2d)^2+(Vb1-t2e)^2+(Vc1-t2f)^2));
Q22=exp(-((Ia2-t2a)^2+(Ib2-t2b)^2+(Ic2-t2c)^2+(Va2-t2d)^2+(Vb2-t2e)^2+(Vc2-t2f)^2));
Q32=exp(-((Ia3-t2a)^2+(Ib3-t2b)^2+(Ic3-t2c)^2+(Va3-t2d)^2+(Vb3-t2e)^2+(Vc3-t2f)^2));
Q42=exp(-((Ia4-t2a)^2+(Ib4-t2b)^2+(Ic4-t2c)^2+(Va4-t2d)^2+(Vb4-t2e)^2+(Vc4-t2f)^2));
Q52=exp(-((Ia5-t2a)^2+(Ib5-t2b)^2+(Ic5-t2c)^2+(Va5-t2d)^2+(Vb5-t2e)^2+(Vc5-t2f)^2));
Q62=exp(-((Ia6-t2a)^2+(Ib6-t2b)^2+(Ic6-t2c)^2+(Va6-t2d)^2+(Vb6-t2e)^2+(Vc6-t2f)^2));
Q72=exp(-((Ia7-t2a)^2+(Ib7-t2b)^2+(Ic7-t2c)^2+(Va7-t2d)^2+(Vb7-t2e)^2+(Vc7-t2f)^2));

Q=[Q11 Q12; Q21 Q22; Q31 Q32; Q41 Q42; Q51 Q52; Q61 Q62; Q71 Q72];

%2..Membentuk Matriks Gaussian
G=[Q11 Q12 1; Q21 Q22 1; Q31 Q32 1; Q41 Q42 1; Q51 Q52 1; Q61 Q62 1; Q71 Q72 1];

%3..Menghitung Pseudoinverse dari Matrik Gaussian
P=G'*G;

%..Inverse
I=inv(P);

%..Target
d11=1; d12=0; d13=0; d14=1; d21=1; d22=0; d23=0; d24=1; d31=1; d32=0; d33=0; d34=1;
d41=1; d42=0; d43=0; d44=1; d51=1; d52=0; d53=0; d54=1; d61=1; d62=0; d63=0; d64=1;
d71=1; d72=0; d73=0; d74=1;
D=[d11 d12 d13 d14; d21 d22 d23 d24; d31 d32 d33 d34; d41 d42 d43 d44; d51 d52 d53 d54; d61
d62 d63 d64; d71 d72 d73 d74];

%..G transpose * D
T=(G')*D;

```

**%..Weight**

**W=I\*T;**

**%..Hasil Akhir**

**Y11=Q11\*W(1,1)+Q12\*W(2,1)+W(3,1);**

**Y12=Q11\*W(1,2)+Q12\*W(2,2)+W(3,2);**

**Y13=Q11\*W(1,3)+Q12\*W(2,3)+W(3,3);**

**Y14=Q11\*W(1,4)+Q12\*W(2,4)+W(3,4);**

**Y21=Q21\*W(1,1)+Q22\*W(2,1)+W(3,1);**

**Y22=Q21\*W(1,2)+Q22\*W(2,2)+W(3,2);**

**Y23=Q21\*W(1,3)+Q22\*W(2,3)+W(3,3);**

**Y24=Q21\*W(1,4)+Q22\*W(2,4)+W(3,4);**

**Y31=Q31\*W(1,1)+Q32\*W(2,1)+W(3,1);**

**Y32=Q31\*W(1,2)+Q32\*W(2,2)+W(3,2);**

**Y33=Q31\*W(1,3)+Q32\*W(2,3)+W(3,3);**

**Y34=Q31\*W(1,4)+Q32\*W(2,4)+W(3,4);**

**Y41=Q41\*W(1,1)+Q42\*W(2,1)+W(3,1);**

**Y42=Q41\*W(1,2)+Q42\*W(2,2)+W(3,2);**

**Y43=Q41\*W(1,3)+Q42\*W(2,3)+W(3,3);**

**Y44=Q41\*W(1,4)+Q42\*W(2,4)+W(3,4);**

**Y51=Q51\*W(1,1)+Q52\*W(2,1)+W(3,1);**

**Y52=Q51\*W(1,2)+Q52\*W(2,2)+W(3,2);**

**Y53=Q51\*W(1,3)+Q52\*W(2,3)+W(3,3);**

**Y54=Q51\*W(1,4)+Q52\*W(2,4)+W(3,4);**

**Y61=Q61\*W(1,1)+Q62\*W(2,1)+W(3,1);**

**Y62=Q61\*W(1,2)+Q62\*W(2,2)+W(3,2);**

**Y63=Q61\*W(1,3)+Q62\*W(2,3)+W(3,3);**

**Y64=Q61\*W(1,4)+Q62\*W(2,4)+W(3,4);**

**Y71=Q71\*W(1,1)+Q72\*W(2,1)+W(3,1);**

**Y72=Q71\*W(1,2)+Q72\*W(2,2)+W(3,2);**

**Y73=Q71\*W(1,3)+Q72\*W(2,3)+W(3,3);**

**Y74=Q71\*W(1,4)+Q72\*W(2,4)+W(3,4);**

**Y=[Y11 Y12 Y13 Y14; Y21 Y22 Y23 Y24; Y31 Y32 Y33 Y34; Y41 Y42 Y43 Y44; Y51 Y52  
Y53 Y54; Y61 Y62 Y63 Y64; Y71 Y72 Y73 Y74]**

## GANGGUAN DUA FASA KE TANAH

clc

%Data input hasil simulasi gangguan 2 fasa ke tanah

Ia1=1/(1+exp(335.06)); Ib1=1/(1+exp(0)); Ic1=1/(1+exp(-322.19)); Va1=1/(1+exp(53101));

Vb1=1/(1+exp(-7600.7)); Vc1=1/(1+exp(-45500));

Data1=[Ia1 Ib1 Ic1 Va1 Vb1 Vc1];

Ia2=1/(1+exp(335.05)); Ib2=1/(1+exp(0)); Ic2=1/(1+exp(-322.19)); Va2=1/(1+exp(53100));

Vb2=1/(1+exp(-7599)); Vc2=1/(1+exp(-45501));

Data2=[Ia2 Ib2 Ic2 Va2 Vb2 Vc2];

Ia3=1/(1+exp(335.04)); Ib3=1/(1+exp(0)); Ic3=1/(1+exp(-322.22)); Va3=1/(1+exp(53099));

Vb3=1/(1+exp(-7593.7)); Vc3=1/(1+exp(-45505));

Data3=[Ia3 Ib3 Ic3 Va3 Vb3 Vc3];

Ia4=1/(1+exp(335.03)); Ib4=1/(1+exp(0)); Ic4=1/(1+exp(-322.23)); Va4=1/(1+exp(53097));

Vb4=1/(1+exp(-7590.2)); Vc4=1/(1+exp(-45507));

Data4=[Ia4 Ib4 Ic4 Va4 Vb4 Vc4];

Ia5=1/(1+exp(335.01)); Ib5=1/(1+exp(0)); Ic5=1/(1+exp(-322.27)); Va5=1/(1+exp(53096));

Vb5=1/(1+exp(-7586.7)); Vc5=1/(1+exp(-45509));

Data5=[Ia5 Ib5 Ic5 Va5 Vb5 Vc5];

Ia6=1/(1+exp(334.99)); Ib6=1/(1+exp(0)); Ic6=1/(1+exp(-322.3)); Va6=1/(1+exp(53091));

Vb6=1/(1+exp(-7572.7)); Vc6=1/(1+exp(-45518));

Data6=[Ia6 Ib6 Ic6 Va6 Vb6 Vc6];

Ia7=1/(1+exp(334.97)); Ib7=1/(1+exp(0)); Ic7=1/(1+exp(-322.34)); Va7=1/(1+exp(53085));

Vb7=1/(1+exp(-7558.8)); Vc7=1/(1+exp(-45527));

Data7=[Ia7 Ib7 Ic7 Va7 Vb7 Vc7];

%Arus Gangguan dua fasa ke tanah = Ia,Ic

Ia=588.94;Ic=576.98

%Filtering Data

%D=10\*randn(1,21);

Data\_a=[Ia1 Ib1 Ic1 Va1 Vb1 Vc1];

Data\_b=[Ia2 Ib2 Ic2 Va2 Vb2 Vc2];

Data\_c=[Ia3 Ib3 Ic3 Va3 Vb3 Vc3];

Data\_d=[Ia4 Ib4 Ic4 Va4 Vb4 Vc4];

Data\_e=[Ia5 Ib5 Ic5 Va5 Vb5 Vc5];

Data\_f=[Ia6 Ib6 Ic6 Va6 Vb6 Vc6];

Data\_g=[Ia7 Ib7 Ic7 Va7 Vb7 Vc7];

% D=Data;

Data\_hf=[Data\_a;Data\_b;Data\_c;Data\_d;Data\_e;Data\_f;Data\_g];

Data\_ak=[Data1;Data2;Data3;Data4;Data5;Data6;Data7];

for k=1:size(Data\_hf,1);

if Data\_hf(k,:)==Data\_ak(k,:);

Data(k,:)=Data\_hf(k,:);

else

Data\_ke=k

disp('Mengaktifkan filter')

sn=[];sp=0;varq=1;

sn(1)=0;mn(1)=0;varh=var(Data\_ak(k,:));

for i=2:length(Data\_ak(k,:))+1;

sp=sn(i-1);

mp=mn(i-1)+varq;

kg=mp/(varh+mp);

sn(i)=(sp+(kg\*(Data\_ak(k,i-1)-sp)));

```

        mn(i)=(1-kg)*mp;
    end
    Data(k,:)=(sn(2:length(sn)));
end
end
t=1:size(Data,2);
for k=1:size(Data,1);
    %figure(k);plot(t,Data_hf(k,:),'-p',t,Data_ak(k,:),'-d',t,Data(k,:),'-*')
    %legend('Sinyal','Sinyal Referensi','Estimasi')
end

%1..Pilih posisi center
t1a=3; t1b=3; t1c=3; t1d=3; t1e=3; t1f=3;
t1=[t1a t1b t1c t1d t1e t1f];
t2a=0; t2b=0; t2c=0; t2d=0; t2e=0; t2f=0;
t2=[t2a t2b t2c t2d t2e t2f];

%..Nilai Spread Thau=1

%..Perhitungan
Q11=exp(-((Ia1-t1a)^2+(Ib1-t1b)^2+(Ic1-t1c)^2+(Va1-t1d)^2+(Vb1-t1e)^2+(Vc1-t1f)^2));
Q21=exp(-((Ia2-t1a)^2+(Ib2-t1b)^2+(Ic2-t1c)^2+(Va2-t1d)^2+(Vb2-t1e)^2+(Vc2-t1f)^2));
Q31=exp(-((Ia3-t1a)^2+(Ib3-t1b)^2+(Ic3-t1c)^2+(Va3-t1d)^2+(Vb3-t1e)^2+(Vc3-t1f)^2));
Q41=exp(-((Ia4-t1a)^2+(Ib4-t1b)^2+(Ic4-t1c)^2+(Va4-t1d)^2+(Vb4-t1e)^2+(Vc4-t1f)^2));
Q51=exp(-((Ia5-t1a)^2+(Ib5-t1b)^2+(Ic5-t1c)^2+(Va5-t1d)^2+(Vb5-t1e)^2+(Vc5-t1f)^2));
Q61=exp(-((Ia6-t1a)^2+(Ib6-t1b)^2+(Ic6-t1c)^2+(Va6-t1d)^2+(Vb6-t1e)^2+(Vc6-t1f)^2));
Q71=exp(-((Ia7-t1a)^2+(Ib7-t1b)^2+(Ic7-t1c)^2+(Va7-t1d)^2+(Vb7-t1e)^2+(Vc7-t1f)^2));
Q12=exp(-((Ia1-t2a)^2+(Ib1-t2b)^2+(Ic1-t2c)^2+(Va1-t2d)^2+(Vb1-t2e)^2+(Vc1-t2f)^2));
Q22=exp(-((Ia2-t2a)^2+(Ib2-t2b)^2+(Ic2-t2c)^2+(Va2-t2d)^2+(Vb2-t2e)^2+(Vc2-t2f)^2));
Q32=exp(-((Ia3-t2a)^2+(Ib3-t2b)^2+(Ic3-t2c)^2+(Va3-t2d)^2+(Vb3-t2e)^2+(Vc3-t2f)^2));
Q42=exp(-((Ia4-t2a)^2+(Ib4-t2b)^2+(Ic4-t2c)^2+(Va4-t2d)^2+(Vb4-t2e)^2+(Vc4-t2f)^2));
Q52=exp(-((Ia5-t2a)^2+(Ib5-t2b)^2+(Ic5-t2c)^2+(Va5-t2d)^2+(Vb5-t2e)^2+(Vc5-t2f)^2));
Q62=exp(-((Ia6-t2a)^2+(Ib6-t2b)^2+(Ic6-t2c)^2+(Va6-t2d)^2+(Vb6-t2e)^2+(Vc6-t2f)^2));
Q72=exp(-((Ia7-t2a)^2+(Ib7-t2b)^2+(Ic7-t2c)^2+(Va7-t2d)^2+(Vb7-t2e)^2+(Vc7-t2f)^2));

Q=[Q11 Q12; Q21 Q22; Q31 Q32; Q41 Q42; Q51 Q52; Q61 Q62; Q71 Q72]

%2..Membentuk Matriks Gaussian
G=[Q11 Q12 1; Q21 Q22 1; Q31 Q32 1; Q41 Q42 1; Q51 Q52 1; Q61 Q62 1; Q71 Q72 1];

%3..Menghitung Pseudoinverse dari Matrik Gaussian
P=G'*G;

%..Inverse
I=inv(P);

%..Target
d11=1; d12=0; d13=1; d14=1; d21=1; d22=0; d23=1; d24=1; d31=1; d32=0; d33=1; d34=1;
d41=1; d42=0; d43=1; d44=1; d51=1; d52=0; d53=1; d54=1; d61=1; d62=0; d63=1; d64=1;
d71=1; d72=0; d73=1; d74=1;
D=[d11 d12 d13 d14; d21 d22 d23 d24; d31 d32 d33 d34; d41 d42 d43 d44; d51 d52 d53 d54; d61
d62 d63 d64; d71 d72 d73 d74];

%..G transpose * D
T=(G')*D;

```

**%.Weight**

**W=I\*T**

**%.Hasil Akhir**

$$Y11=Q11*W(1,1)+Q12*W(2,1)+W(3,1);$$

$$Y12=Q11*W(1,2)+Q12*W(2,2)+W(3,2);$$

$$Y13=Q11*W(1,3)+Q12*W(2,3)+W(3,3);$$

$$Y14=Q11*W(1,4)+Q12*W(2,4)+W(3,4);$$

$$Y21=Q21*W(1,1)+Q22*W(2,1)+W(3,1);$$

$$Y22=Q21*W(1,2)+Q22*W(2,2)+W(3,2);$$

$$Y23=Q21*W(1,3)+Q22*W(2,3)+W(3,3);$$

$$Y24=Q21*W(1,4)+Q22*W(2,4)+W(3,4);$$

$$Y31=Q31*W(1,1)+Q32*W(2,1)+W(3,1);$$

$$Y32=Q31*W(1,2)+Q32*W(2,2)+W(3,2);$$

$$Y33=Q31*W(1,3)+Q32*W(2,3)+W(3,3);$$

$$Y34=Q31*W(1,4)+Q32*W(2,4)+W(3,4);$$

$$Y41=Q41*W(1,1)+Q42*W(2,1)+W(3,1);$$

$$Y42=Q41*W(1,2)+Q42*W(2,2)+W(3,2);$$

$$Y43=Q41*W(1,3)+Q42*W(2,3)+W(3,3);$$

$$Y44=Q41*W(1,4)+Q42*W(2,4)+W(3,4);$$

$$Y51=Q51*W(1,1)+Q52*W(2,1)+W(3,1);$$

$$Y52=Q51*W(1,2)+Q52*W(2,2)+W(3,2);$$

$$Y53=Q51*W(1,3)+Q52*W(2,3)+W(3,3);$$

$$Y54=Q51*W(1,4)+Q52*W(2,4)+W(3,4);$$

$$Y61=Q61*W(1,1)+Q62*W(2,1)+W(3,1);$$

$$Y62=Q61*W(1,2)+Q62*W(2,2)+W(3,2);$$

$$Y63=Q61*W(1,3)+Q62*W(2,3)+W(3,3);$$

$$Y64=Q61*W(1,4)+Q62*W(2,4)+W(3,4);$$

$$Y71=Q71*W(1,1)+Q72*W(2,1)+W(3,1);$$

$$Y72=Q71*W(1,2)+Q72*W(2,2)+W(3,2);$$

$$Y73=Q71*W(1,3)+Q72*W(2,3)+W(3,3);$$

$$Y74=Q71*W(1,4)+Q72*W(2,4)+W(3,4);$$

**Y=[Y11 Y12 Y13 Y14; Y21 Y22 Y23 Y24; Y31 Y32 Y33 Y34; Y41 Y42 Y43 Y44; Y51 Y52  
Y53 Y54; Y61 Y62 Y63 Y64; Y71 Y72 Y73 Y74]**

## GANGGUAN ANTAR FASA

```
clc
%Data input hasil simulasi gangguan 2 fasa
Ia1=1/(1+exp(173.54)); Ib1=1/(1+exp(-175.08)); Ic1=1/(1+exp(-81.559)); Va1=1/(1+exp(53519));
Vb1=1/(1+exp(-7491.6)); Vc1=1/(1+exp(-46027));
Data1=[Ia1 Ib1 Ic1 Va1 Vb1 Vc1];
Ia2=1/(1+exp(173.54)); Ib2=1/(1+exp(-175.07)); Ic2=1/(1+exp(-81.548)); Va2=1/(1+exp(53518));
Vb2=1/(1+exp(-7491)); Vc2=1/(1+exp(-46027));
Data2=[Ia2 Ib2 Ic2 Va2 Vb2 Vc2];
Ia3=1/(1+exp(173.54)); Ib3=1/(1+exp(-174.06)); Ic3=1/(1+exp(-81.543)); Va3=1/(1+exp(53517));
Vb3=1/(1+exp(-7490.1)); Vc3=1/(1+exp(-46027));
Data3=[Ia3 Ib3 Ic3 Va3 Vb3 Vc3];
Ia4=1/(1+exp(173.53)); Ib4=1/(1+exp(-175.06)); Ic4=1/(1+exp(-81.538)); Va4=1/(1+exp(53516));
Vb4=1/(1+exp(-7488.7)); Vc4=1/(1+exp(-46027));
Data4=[Ia4 Ib4 Ic4 Va4 Vb4 Vc4];
Ia5=1/(1+exp(173.52)); Ib5=1/(1+exp(-175.03)); Ic5=1/(1+exp(-81.517)); Va5=1/(1+exp(53512));
Vb5=1/(1+exp(-7485.8)); Vc5=1/(1+exp(-46026));
Data5=[Ia5 Ib5 Ic5 Va5 Vb5 Vc5];
Ia6=1/(1+exp(173.51)); Ib6=1/(1+exp(-175.01)); Ic6=1/(1+exp(-81.496)); Va6=1/(1+exp(53508));
Vb6=1/(1+exp(-7482.9)); Vc6=1/(1+exp(-46026));
Data6=[Ia6 Ib6 Ic6 Va6 Vb6 Vc6];
Ia7=1/(1+exp(173.5)); Ib7=1/(1+exp(-174.98)); Ic7=1/(1+exp(-81.475)); Va7=1/(1+exp(53505));
Vb7=1/(1+exp(-7479.9)); Vc7=1/(1+exp(-46025));
Data7=[Ia7 Ib7 Ic7 Va7 Vb7 Vc7];

%Arus Gangguan dua fasa = Ia,Ib
Ia=477.87;Ib=469.16;

%Filtering Data
%D=10*randn(1,21);
Data_a=[Ia1 Ib1 Ic1 Va1 Vb1 Vc1];
Data_b=[Ia2 Ib2 Ic2 Va2 Vb2 Vc2];
Data_c=[Ia3 Ib3 Ic3 Va3 Vb3 Vc3];
Data_d=[Ia4 Ib4 Ic4 Va4 Vb4 Vc4];
Data_e=[Ia5 Ib5 Ic5 Va5 Vb5 Vc5];
Data_f=[Ia6 Ib6 Ic6 Va6 Vb6 Vc6];
Data_g=[Ia7 Ib7 Ic7 Va7 Vb7 Vc7];

% D=Data;
Data_hf=[Data_a;Data_b;Data_c;Data_d;Data_e;Data_f;Data_g];
Data_ak=[Data1;Data2;Data3;Data4;Data5;Data6;Data7];
for k=1:size(Data_hf,1);
    if Data_hf(k,:)==Data_ak(k,:);
        Data(k,:)=Data_hf(k,:);
    else
        Data_ke=k
        disp('Mengaktifkan filter')
        sn=[];sp=0;varq=1;
        sn(1)=0;mn(1)=0;varh=var(Data_ak(k,:));
        for i=2:length(Data_ak(k,:))+1;
            sp=sn(i-1);
            mp=mn(i-1)+varq;
            kg=mp/(varh+mp);
            sn(i)=(sp+(kg*(Data_ak(k,i-1)-sp)));
        end
    end
end
```



```

        mn(i)=(1-kg)*mp;
    end
    Data(k,:)=(sn(2:length(sn)));
end
end
t=1:size(Data,2);
for k=1:size(Data,1);
    %figure(k);plot(t,Data_hf(k,:),'-p',t,Data_ak(k,:),'-d',t,Data(k,:),'-*')
    %legend('Sinyal','Sinyal Referensi','Estimasi')
end

%1..Pilih posisi center
t1a=3.0000001; t1b=3.0000001; t1c=3.0000001; t1d=3.0000001; t1e=3.0000001; t1f=3.0000001;
t1=[t1a t1b t1c t1d t1e t1f];
t2a=0; t2b=0; t2c=0; t2d=0; t2e=0; t2f=0;
t2=[t2a t2b t2c t2d t2e t2f];

%..Nilai Spread Thau=1

%..Perhitungan
Q11=exp(-((Ia1-t1a)^2+(Ib1-t1b)^2+(Ic1-t1c)^2+(Va1-t1d)^2+(Vb1-t1e)^2+(Vc1-t1f)^2));
Q21=exp(-((Ia2-t1a)^2+(Ib2-t1b)^2+(Ic2-t1c)^2+(Va2-t1d)^2+(Vb2-t1e)^2+(Vc2-t1f)^2));
Q31=exp(-((Ia3-t1a)^2+(Ib3-t1b)^2+(Ic3-t1c)^2+(Va3-t1d)^2+(Vb3-t1e)^2+(Vc3-t1f)^2));
Q41=exp(-((Ia4-t1a)^2+(Ib4-t1b)^2+(Ic4-t1c)^2+(Va4-t1d)^2+(Vb4-t1e)^2+(Vc4-t1f)^2));
Q51=exp(-((Ia5-t1a)^2+(Ib5-t1b)^2+(Ic5-t1c)^2+(Va5-t1d)^2+(Vb5-t1e)^2+(Vc5-t1f)^2));
Q61=exp(-((Ia6-t1a)^2+(Ib6-t1b)^2+(Ic6-t1c)^2+(Va6-t1d)^2+(Vb6-t1e)^2+(Vc6-t1f)^2));
Q71=exp(-((Ia7-t1a)^2+(Ib7-t1b)^2+(Ic7-t1c)^2+(Va7-t1d)^2+(Vb7-t1e)^2+(Vc7-t1f)^2));
Q12=exp(-((Ia1-t2a)^2+(Ib1-t2b)^2+(Ic1-t2c)^2+(Va1-t2d)^2+(Vb1-t2e)^2+(Vc1-t2f)^2));
Q22=exp(-((Ia2-t2a)^2+(Ib2-t2b)^2+(Ic2-t2c)^2+(Va2-t2d)^2+(Vb2-t2e)^2+(Vc2-t2f)^2));
Q32=exp(-((Ia3-t2a)^2+(Ib3-t2b)^2+(Ic3-t2c)^2+(Va3-t2d)^2+(Vb3-t2e)^2+(Vc3-t2f)^2));
Q42=exp(-((Ia4-t2a)^2+(Ib4-t2b)^2+(Ic4-t2c)^2+(Va4-t2d)^2+(Vb4-t2e)^2+(Vc4-t2f)^2));
Q52=exp(-((Ia5-t2a)^2+(Ib5-t2b)^2+(Ic5-t2c)^2+(Va5-t2d)^2+(Vb5-t2e)^2+(Vc5-t2f)^2));
Q62=exp(-((Ia6-t2a)^2+(Ib6-t2b)^2+(Ic6-t2c)^2+(Va6-t2d)^2+(Vb6-t2e)^2+(Vc6-t2f)^2));
Q72=exp(-((Ia7-t2a)^2+(Ib7-t2b)^2+(Ic7-t2c)^2+(Va7-t2d)^2+(Vb7-t2e)^2+(Vc7-t2f)^2));

Q=[Q11 Q12; Q21 Q22; Q31 Q32; Q41 Q42; Q51 Q52; Q61 Q62; Q71 Q72]

%2..Membentuk Matriks Gaussian
G=[Q11 Q12 1; Q21 Q22 1; Q31 Q32 1; Q41 Q42 1; Q51 Q52 1; Q61 Q62 1; Q71 Q72 1];

%3..Menghitung Pseudoinverse dari Matrik Gaussian
P=G'*G;

%..Inverse
I=inv(P);

%..Target
d11=1; d12=1; d13=0; d14=0; d21=1; d22=1; d23=0; d24=0; d31=1; d32=1; d33=0; d34=0;
d41=1; d42=1; d43=0; d44=0; d51=1; d52=1; d53=0; d54=0; d61=1; d62=1; d63=0; d64=0;
d71=1; d72=1; d73=0; d74=0;
D=[d11 d12 d13 d14; d21 d22 d23 d24; d31 d32 d33 d34; d41 d42 d43 d44; d51 d52 d53 d54; d61
d62 d63 d64; d71 d72 d73 d74];

%..G transpose * D
T=(G')*D;

```

%. Weight  
W=I\*T

%. Hasil Akhir

Y11=Q11\*W(1,1)+Q12\*W(2,1)+W(3,1);  
Y12=Q11\*W(1,2)+Q12\*W(2,2)+W(3,2);  
Y13=Q11\*W(1,3)+Q12\*W(2,3)+W(3,3);  
Y14=Q11\*W(1,4)+Q12\*W(2,4)+W(3,4);

Y21=Q21\*W(1,1)+Q22\*W(2,1)+W(3,1);  
Y22=Q21\*W(1,2)+Q22\*W(2,2)+W(3,2);  
Y23=Q21\*W(1,3)+Q22\*W(2,3)+W(3,3);  
Y24=Q21\*W(1,4)+Q22\*W(2,4)+W(3,4);

Y31=Q31\*W(1,1)+Q32\*W(2,1)+W(3,1);  
Y32=Q31\*W(1,2)+Q32\*W(2,2)+W(3,2);  
Y33=Q31\*W(1,3)+Q32\*W(2,3)+W(3,3);  
Y34=Q31\*W(1,4)+Q32\*W(2,4)+W(3,4);

Y41=Q41\*W(1,1)+Q42\*W(2,1)+W(3,1);  
Y42=Q41\*W(1,2)+Q42\*W(2,2)+W(3,2);  
Y43=Q41\*W(1,3)+Q42\*W(2,3)+W(3,3);  
Y44=Q41\*W(1,4)+Q42\*W(2,4)+W(3,4);

Y51=Q51\*W(1,1)+Q52\*W(2,1)+W(3,1);  
Y52=Q51\*W(1,2)+Q52\*W(2,2)+W(3,2);  
Y53=Q51\*W(1,3)+Q52\*W(2,3)+W(3,3);  
Y54=Q51\*W(1,4)+Q52\*W(2,4)+W(3,4);

Y61=Q61\*W(1,1)+Q62\*W(2,1)+W(3,1);  
Y62=Q61\*W(1,2)+Q62\*W(2,2)+W(3,2);  
Y63=Q61\*W(1,3)+Q62\*W(2,3)+W(3,3);  
Y64=Q61\*W(1,4)+Q62\*W(2,4)+W(3,4);

Y71=Q71\*W(1,1)+Q72\*W(2,1)+W(3,1);  
Y72=Q71\*W(1,2)+Q72\*W(2,2)+W(3,2);  
Y73=Q71\*W(1,3)+Q72\*W(2,3)+W(3,3);  
Y74=Q71\*W(1,4)+Q72\*W(2,4)+W(3,4);

Y=[Y11 Y12 Y13 Y14, Y21 Y22 Y23 Y24, Y31 Y32 Y33 Y34, Y41 Y42 Y43 Y44, Y51 Y52  
Y53 Y54, Y61 Y62 Y63 Y64, Y71 Y72 Y73 Y74]

# Application of Minimal Radial Basis Function Neural Network to Distance Protection

P. K. Dash, A. K. Pradhan, and G. Panda

**Abstract**—The paper presents a new approach for the protection of power transmission lines using a minimal radial basis function neural network (MRBFNN). This type of RBF neural network uses a sequential learning procedure to determine the optimum number of neurons in the hidden layer without resorting to trial and error. The input data to this network comprises fundamental peak values of relaying point voltage and current signals, the zero-sequence component of current and system operating frequency. These input variables are obtained by Kalman filtering approach. Further, the parameters of the network are adjusted using a variant of extended Kalman filter known as locally iterated Kalman filter to produce better accuracy in the output for harmonics, dc offset and noise in the input data. The number of training patterns and the training time are drastically reduced and significant accuracy is achieved in different types of fault classification and location in transmission lines using computer simulated tests.

## I. INTRODUCTION

A DISTANCE relay for the protection of transmission line is usually designed on the basis of a fixed setting. The relay either overreaches or underreaches depending on the operating conditions of the power system and the location of the fault. Since fault detection and classification is traditionally performed on-line, new pattern recognition technique should be implemented quickly and flexibly. A comprehensive survey of literature using Artificial Neural Network (ANN) for fault detection, discrimination, classification and location estimation is found in [1]–[7]. The specialty of the ANN based distance protection is that it does not explicitly use the impedance information as the basis of information rather learns from examples presented to it during training. The ANN approach works as a pattern classifier and is able to detect the changing power system condition quickly and accurately, and consequently results in the improvement of the performance of conventional digital relays.

It is well known that multilayer feedforward network (MFN) with back propagation (BP) training algorithm is the most widely used neural network model for pattern classification applications. However, when applied to distance protection [2]–[4], [7], the BP does not produce robust classification of fault types as the algorithm does not have a mechanism to detect when a case to be classified falls in a region with no training data. This produces a serious drawback of the BP algorithm, as the operating condition covers a wide range of system and fault conditions. Recently researches have begun to examine the use of radial basis functions (RBFs) for solving pattern classification problems including those of distance

protection of transmission lines [5], [6]. RBFs are well suited for these problems due to their simple topological structure and their ability to reveal how learning proceeds in an explicit manner. In the conventional approach, the basic functions are usually chosen as Gaussian and the number of hidden units is fixed a priori based on some properties of the input data. The disadvantage with the conventional approach is that it is not suitable for sequential learning and it also results, usually, in too many hidden units. For example the classical approach of training dealt in [5] has used 39 hidden neurons obtained by trial and error corresponding to 25 input and 5 output situation. Further the parameters of the RBF neural network are determined by *K*-means clustering, nearest neighbor heuristic and multiple linear regression techniques.

Recently in [8] it has been shown that a compact network structure can be obtained for RBF neural network. In this strategy the network starts with no hidden unit and hidden units are added based on novelty of the data. A new pattern is considered novel if the input is far away from the existing centers, error between the desired output and network output is large and rms error is also significant. If the data set does not satisfy the above criteria no hidden neuron is added and the parameters of the existing network, such as the weights, centers and spreads are updated using Extended Kalman Filter (EKF). In the above sequential learning process, some hidden units though active initially, may be contributing very little to the network output subsequently. To overcome this problem a pruning strategy can be incorporated as in [8] that detects and removes those units which consistently contribute little to the network output.

This paper, therefore, presents the fault classification and location in distance protection using a minimal RBF neural network (MRBFNN) where the learning process is made sequential and the optimum number of hidden neurons is chosen with a pruning strategy. The proper feature selection and training method for distance protection decrease the training time drastically from nearly 24 hours to just 2 minutes and reduce the number of inputs and hidden neurons. Further the number of training patterns is reduced to just 40 for fault classification and 70 for location task, respectively. The speed and simplicity of the proposed training procedure and the reduced number of network parameters are bound to influence the fault classification and location strategies in real-time. This is verified by a number of computer simulated tests on a sample power transmission system using EMTDC software package. Further, the frequency variation is also taken as an input to the proposed RBFNN to classify the faults and estimate the fault locations more accurately unlike previously reported ANN based distance relaying schemes.

Manuscript received November 11, 1999.

The author is with the Regional Engineering College, Rourkela, India 769008.  
 Publisher Item Identifier S 0885-8977(00)10223-7.

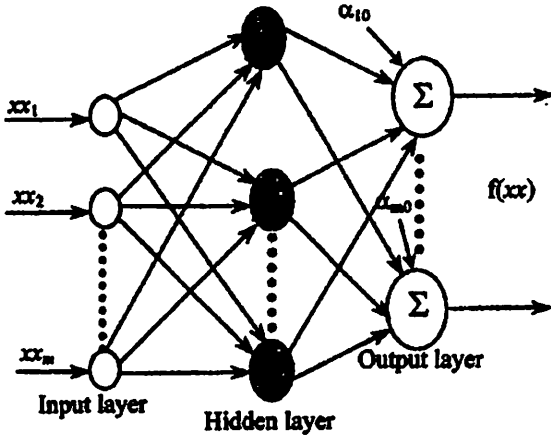


Fig. 1. The structure of RBF Neural Network.

## II. SEQUENTIAL MINIMAL RBF NEURAL NETWORK (MRBFNN)

Fig. 1 shows the structure of the RBF neural network, which comprises three layers. The hidden layer possesses an array of neurons, referred to as the computing units. The number of such units can be varied depending on user's requirement. Different basis functions like spline, multiquadratic, Gaussian functions have been studied, but most widely used one is the Gaussian type. In comparison to the other types of neural network used for pattern classification like back propagation feedforward networks, the RBF network requires less computation time for learning and has a more compact topology. The Gaussian RBF is found suitable in generalizing a global mapping but also in refining local features without altering the already learned mapping. The network starts with no hidden unit and adds units till a minimal radius is obtained by updating the parameters of the Gaussian function and the weights. Each hidden unit in the network has two parameters called a center ( $\mu$ ) and a width ( $\sigma$ ) associated with it. The response of one such hidden unit to the network input  $xx_n$  is expressed as

$$\phi_k(xx_n) = \exp\left(-\frac{1}{\sigma_k^2} \|xx_n - \mu_k\|^2\right) \quad (1)$$

Where  $\mu_k$  is the center vector for  $k$ th hidden unit and  $\sigma_k$  is the width of the Gaussian function,  $\| \cdot \|$  denotes the Euclidean norm. The output layer comprises a number of nodes depending on the number of fault types to be classified which perform simple summation. The response of each hidden unit [equation (1)] is scaled by its connecting weights ( $\alpha$ 's) to the output nodes and then summed to produce the overall network output. The overall network output is expressed as

$$f_m(xx_n) = \alpha_{m0} + \sum_{k=1}^K \alpha_{mk} \phi_k(xx_n) \quad (2)$$

where

- $K$  indicates the total number of hidden neurons in the network,
- $\alpha_{mk}$  is the connecting weight of the  $k$ th hidden unit to  $m$ th output node and
- $\alpha_{m0}$  is the bias term for the corresponding  $m$ th output neuron.

The learning process of the MRBFNN involves with the allocation of new hidden units and tuning of network parameters. The network structure starts with no hidden unit at first and as training continues more number of hidden units are added to the structure depending on the novelty in the data which is described using the following three conditions [8]:

$$\|xx_n - \mu_{nr}\| > \epsilon_n \quad (3)$$

$$e_n = |y_n - f(xx_n)| > e_{\min}$$

and

$$e_{rms} = \sqrt{\frac{\sum_{i=n-M+1}^n e_i^2}{M}} > e'_{\min} \quad (4)$$

where  $\mu_{nr}$  is the center which is nearest to  $xx_n$ , and  $\epsilon_n$ ,  $e_{\min}$ ,  $e'_{\min}$  are threshold values and  $M$  represents size of the data window for calculating rms error.  $\epsilon_n$  decays exponentially as the training progresses and represents the scale of resolution in the input space.  $e_{\min}$  and  $e'_{\min}$  (the error-thresholds) represent the desired approximation accuracy of the network output. If the observation  $(xx_n, y_n)$  satisfies all the above conditions a new hidden unit is included with associated parameters of

$$\alpha_{k+1} = e_n$$

$$\mu_{k+1} = xx_n \quad (5)$$

and

$$\sigma_{k+1} = \rho \|xx_n - \mu_{nr}\|$$

where  $\rho$  is an overlap factor.

If the observation does not satisfy the novelty criterion, an EKF (Extended Kalman Filter) specifically its variant LIKF (Locally iterated Kalman filter) is used to adjust the network parameters  $\alpha$ ,  $\mu$  and  $\sigma$ . The LIKF [9] is an enhanced version of the extended Kalman filter where, at each step of the iteration procedure, the measurement nonlinearity is linearized about the state estimate obtained from the EKF equations. The LIKF has a better performance for noisy data and its recursion relations are given by

$$\hat{x}_{n/n}(i+1) = \hat{x}_{n/n-1} + K_n(i) \cdot [y_n - f(xx_n(i)) - H_n(\hat{x}_{n/n-1} - \hat{x}_{n/n}(i))] \quad (6)$$

$$P_{n/n}(i) = [I_n - K_n(i)H_n]P_{n/n-1} \quad (7)$$

$$K_n(i) = P_{n/n-1}H_n^T(H_nP_{n/n-1}H_n^T + R_n)^{-1} \quad (8)$$

where  $i = 0, 1, \dots$  and iteration count  $n = 0, 1, 2, \dots$

$\hat{x}_{n/n-1}$  = predicted estimate

$P_{n/n-1}$  = one-step predicted covariance

$K_n$  = filter gain,  $\hat{x}_{n/n}$  = filtered estimate

$P_{n/n}$  = filter covariance,

$I_n$  =  $n$  - dimensional identity matrix

and the Jacobian  $H_n$  is

$$H_n = \left. \frac{\partial f(xx_n)}{\partial x} \right|_{x=xx_{n/n-1}} \quad (9)$$

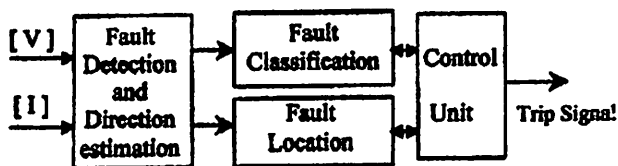


Fig. 2. Proposed distance protection scheme.

For single output case and considering states of the Kalman filter to be

$$x = [\alpha_0, \alpha_1, \mu_1^T, \sigma_1, \dots, \alpha_K, \mu_K^T, \sigma_K]^T$$

The Jacobian becomes

$$H_n = \begin{bmatrix} 1, \phi_1(xx_n), \phi_1(xx_n) \frac{2\alpha_1}{\sigma_1^2} (xx_n - \mu_1)^T, \\ \phi_1(xx_n) \frac{2\alpha_1}{\sigma_1^2} \|xx_n - \mu_1\|^2, \dots, \phi_K(xx_n), \\ \phi_K(xx_n) \frac{2\alpha_K}{\sigma_K^2} (xx_n - \mu_K)^T, \\ \phi_K(xx_n) \frac{2\alpha_K}{\sigma_K^2} \|xx_n - \mu_K\|^2 \end{bmatrix}^T$$

In many situations one or more number of hidden units in a network contribute insignificantly to the overall network output. If such a case exists, these units must be removed from the structure during learning to realize a more compact network topology. This can be achieved by the following pruning strategy [8].

For each observation  $(xx_n, y_n)$  normalized hidden unit outputs are computed as

$$r_k^n = \left| \frac{O_k^n}{O_{\max}^n} \right| \quad (10)$$

Where  $O_k^n$  is the output from the  $k$ th unit and  $O_{\max}^n$  is the largest absolute value of  $O_k^n$  at  $n$ th observation instant. If  $r_k^n < \delta$  for  $M_1$  consecutive observation, then  $k$ th hidden unit is removed from the structure. Where  $\delta$  is a threshold value and depends on the network accuracy and  $M_1$  is the size of a window.

### III. APPLICATION OF MINIMAL RBF NEURAL NETWORK TO DISTANCE PROTECTION

The distance protection scheme utilizing MRBFNNs are shown in Fig. 2. The task of the proposed distance relay is to derive the trip signal only when a fault occurs in the forward direction of the transmission line (which is the direction away from the bus bar and toward the overhead line the relay protects). The forward direction needs to be identified so that the relay does not respond for faults occurring at the bus or the line behind the relay. To estimate the direction of the fault the approach of phase angle between voltage and current [10] is considered. Once the fault detection block finds a fault in the forward direction it triggers the fault classifier which again activates the fault location unit. The control block derives the decision of trip or no-trip from the output signals of classifier and locator.

To generate data for a typical transmission system, digital simulations were performed for different shunt faults using

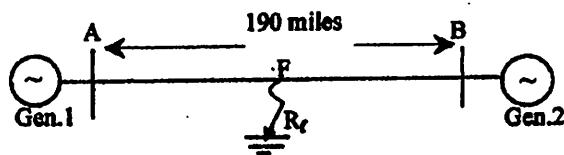


Fig. 3. 230 kV-Transmission system considered for MRBFNN application.

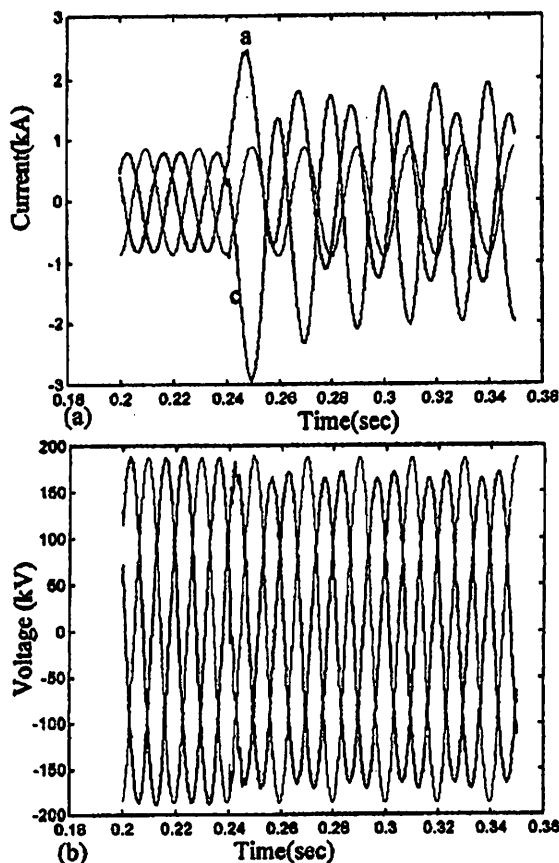


Fig. 4. Signals for fault at 0.24 sec.

EMTDC software package. The power system considered for simulation is shown in Fig. 3. For instance, at 60% of line a-phase to c-phase fault without fault resistance at 0.24 second was simulated and different current and voltage levels at bus A are shown in Fig. 4(a) and (b) respectively. The currents in phases a and c increase whereas the voltages in these phases go down. To cover all regions of operating conditions, training and testing data were generated for the system by varying i) pre-fault loading ii) source impedances iii) fault location iv) fault resistance v) fault types and vi) inception angle.

During the first cycle of fault inception current signals are badly corrupted by noise, in the form of dc offset and frequencies above 50 Hz. To extract the fundamental components from these signals for relaying purpose accurate technique is needed. For the purpose, in this work we have modeled an EKF with the states as

$$x = [a_1 \cos \varphi_1 \ a_1 \sin \varphi_1 \ a_3 \cos \varphi_3 \ a_3 \sin \varphi_3 \ a_5 \cos \varphi_5 \ a_5 \sin \varphi_5 \ a_{dc} \lambda]^T \quad (11)$$

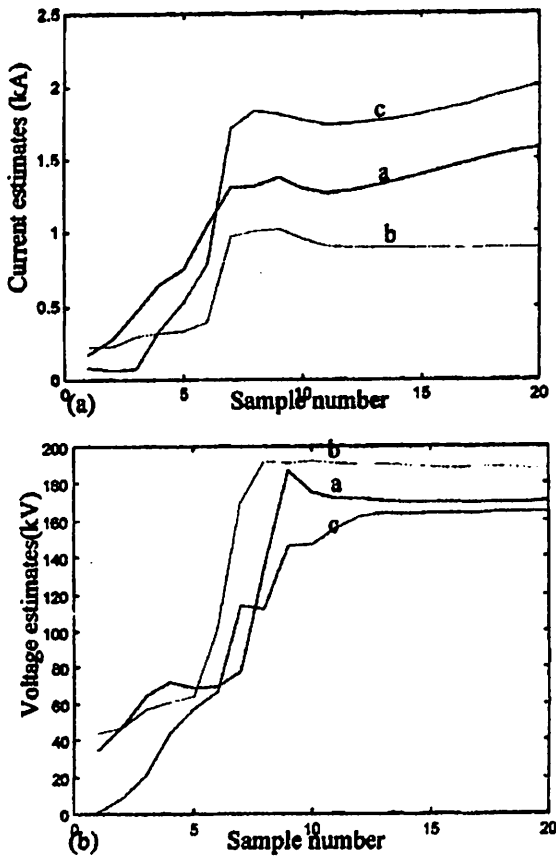


Fig. 5. Current and voltage estimates.

for a signal model of

$$y = a_{dc} \exp(-\lambda t) + \sum_{i=1,3,5} a_i \cos(\omega t + \phi_i) \quad (12)$$

and its corresponding observation vector is

$$H = [\cos \omega t \quad -\sin \omega t \quad \cos 3\omega t \quad -\sin 3\omega t \quad \cos 5\omega t \quad -\sin 5\omega t \quad H_7 H_8]$$

where  $H_7 = \exp(-x(8, 1)t)$  and  $H_8 = -x(7, 1)t \exp(-x(8, 1)t)$ .

The filter is initialized with  $x = [00000000]^T$  after the fault inception. The performance of the EKF for the above mentioned case with a sampling rate of 1 KHz (20 samples per cycle on a 50 Hz base) is shown in Fig. 5. Again it is expected that the performance of the EKF will be improved if the current and voltage components are initialized with their corresponding pre-fault values. The observation matrix ( $H$ ) requires the operating frequency which is estimated by the extended complex Kalman filter [11].

#### A. A Training and Testing of MRBFNN Fault Classifier

From the voltage and current samples ( $V_a, V_b, V_c, I_a, I_b, I_c$ ) at the relay location fault classification for transmission line protection is a challenging task. In such a situation the RBF neural network with its feature of complex mapping capability can be suitably applied. Similar to all

ANN's, the RBF neural network also needs the proper selection of input and output sets for its learning. Elements of inputs represent measurements of features selected to be useful for distinguishing between classes. Input patterns can be viewed as points in the multidimensional space defined by the input feature measurements. Once trained it is expected to produce accurate results by the network in identifying fault types at different power system operating conditions.

Post-fault peaks of fundamental voltage and current samples after the fault inception are considered as inputs to the MRBFNN along with the zero sequence component of current and operating frequency (all normalized). The output of the network consisting of states a, b, c, and g reflects the involvement of the phase/ground in that particular fault situation. During training any phase/ground involved in the fault is assigned "1" else "0." At different fault inception angles, data are generated for different fault locations varying from 10% to 80% of the line, fault types, fault resistances, operating frequency and system loading conditions. The fundamental peaks of the voltage and current samples in each phase after fault inception are computed using Kalman filtering technique (EKF). The system operating frequency is obtained from the three voltage signals using the extended complex Kalman filter (ECKF) [11].

The 40 training sets include the data for 10%, 40% and 80% fault locations for  $0^\circ$  fault inception angle and different situations of the system with different fault resistance  $R_f$  and for different fault types. The dimensionality of the MRBFNN is reduced drastically due to the sequential learning, pruning strategy and proper feature selection and the number of inputs is just 8 and the number of neurons in the hidden layer and output layer are 27 and 4, respectively. In comparison to the earlier approaches [5], [6], the choice of hidden neurons is no longer arbitrary and both the number of inputs and the training sets are drastically reduced in the new approach. Also to adjust the parameters of the RBF neural network, in [5] different approaches like K-means clustering for  $\mu$ , heuristic approach for  $\sigma$ , and multiple linear regression for weights are used. In this new approach, only a locally iterated Kalman Filter (LIKf) is used for tuning of the above parameters and this clearly demonstrates the simplicity in the learning process.

For the MRBFNN, the parameters used during training are chosen as  $\rho = 1.0$ ,  $\epsilon_{\max} = 0.04$ ,  $\epsilon_{\min} = 0.01$ ,  $c_{\min} = 0.02$ ,  $c'_{\min} = 0.02$ ,  $P_0 = I$ ,  $Q = 0.05I$ ,  $R = I$ ,  $M = 12$ ,  $M_1 = 20$ ,  $\delta = 0.0001$ . Where  $I$  = unity matrix of appropriate dimension. The first five parameters are the threshold values chosen to select the novelty of a data set and the last one is used as the threshold for pruning neurons. To achieve generalization of the network random noise was added to signals while generating training sets. After the training phase was over, the performance of the MRBFNN was tested using the voltage and current data from the power systems during various types of faults using an EMTDC package. The objective of this testing is to evaluate the speed, generalization and noise immunity. Tables I-IV show some of the test results and tests ascertain that the minimal Radial Basis Function neural network performs excellent even at different inception angles, fault resistance, operating frequency, fault location and pre-fault loading condition. These classification results

TABLE I  
FAULT AT 15% OF THE LINE, "ag" TYPE, 60° INCEPTION ANGLE

Sample No.	$R_f=0\Omega$				$R_f=100\Omega$			
	a	b	c	g	a	b	c	g
7	1.3026	-0.0421	0.0219	1.2936	0.9280	0.1372	0.1006	1.0833
8	1.2140	-0.0492	0.0023	1.2390	0.8927	0.1470	0.0703	1.0829
9	1.1949	-0.0526	-0.0031	1.1231	0.8954	0.1548	0.0583	1.0806
10	1.1934	-0.0521	-0.0068	1.1081	0.8910	0.1704	0.0456	1.0788
11	1.1903	-0.0532	-0.0103	1.1173	0.8958	0.1788	0.0333	1.0777
12	1.1868	-0.0589	-0.0110	1.0633	0.9034	0.1775	0.0248	1.0771
13	1.1833	-0.0673	0.0019	1.0515	0.9121	0.1698	0.0339	1.0767
14	1.1787	-0.0706	0.0029	1.0312	0.9102	0.1738	0.0268	1.0762
15	1.1740	-0.0733	0.0061	1.0147	0.9095	0.1757	0.0250	1.0761

TABLE II  
FAULT AT 30% OF THE LINE, "ab" TYPE, 30° INCEPTION ANGLE

Sample No.	$R_f=0\Omega$				$R_f=100\Omega$			
	a	b	c	g	a	b	c	g
7	1.0508	0.6079	0.0002	0.1187	1.0567	0.6796	-0.0221	0.2479
8	1.0968	0.6393	0.0224	0.1888	1.0516	0.6834	-0.0292	0.2025
9	1.1896	0.8840	0.1092	0.1183	1.0443	0.7582	0.0096	0.1514
10	1.2616	0.9460	-0.2678	0.0274	1.0658	0.9752	-0.3048	0.1261
11	1.2497	1.1786	-0.1040	0.0580	1.0614	1.2168	-0.1318	0.0869
12	1.1679	1.1944	-0.1570	0.0895	1.1515	1.2492	-0.1992	0.1196
13	1.0737	1.1792	-0.1535	0.0816	1.1534	1.2229	-0.2000	0.1014
14	1.0802	1.1962	-0.1611	0.0801	1.1541	1.2400	-0.2028	0.1049
15	1.0320	1.1537	-0.1882	0.0660	1.0599	1.1980	-0.2159	0.1193

TABLE III  
FAULT AT 50% OF THE LINE, "cag" TYPE 45° INCEPTION ANGLE, SOURCE IMPEDANCE CHANGED

Sample No.	$R_f=0\Omega$				$R_f=100\Omega$			
	a	b	c	g	a	b	c	g
7	1.3579	-0.0846	0.7471	1.0138	1.3410	-0.0389	0.7125	0.5498
8	1.3507	-0.4549	0.9002	1.2977	1.3805	-0.3808	1.0206	1.0284
9	1.2578	-0.2979	0.8615	1.3011	1.2467	-0.2395	0.9838	1.0822
10	1.2358	-0.2501	0.8222	1.2423	1.2015	-0.1917	0.9882	0.9737
11	1.1849	-0.2425	0.8684	1.2394	1.1652	-0.1690	0.9951	0.9845
12	1.1534	-0.2390	0.8863	1.2393	1.1502	-0.1568	0.9953	0.9871
13	1.1750	-0.2445	0.8951	1.2385	1.1729	-0.1590	1.0002	0.9847
14	1.2196	-0.2661	0.9269	1.2374	1.2202	-0.1753	1.0180	0.9861
15	1.2432	-0.2801	0.9449	1.2385	1.2418	-0.1874	1.0310	0.9835

TABLE IV  
FAULT AT 80% OF THE LINE, "abc" TYPE 90° INCEPTION ANGLE, FREQUENCY 51 Hz

Sample No.	$R_f=0\Omega$				$R_f=100\Omega$			
	a	b	c	g	a	b	c	g
7	0.7484	0.6481	1.2445	0.3642	0.7500	0.6375	1.2426	0.3626
8	1.1154	0.6610	1.2622	0.3076	1.1162	0.5658	1.2600	0.3052
9	1.1917	0.6953	1.1936	0.2469	1.1933	0.5971	1.1909	0.2455
10	1.1238	0.9916	0.8913	0.2348	1.1255	0.9918	0.8900	0.2333
11	1.0970	1.0714	0.7591	0.2851	1.0985	1.0715	0.7578	0.2838
12	1.1611	1.0093	0.7948	0.2476	1.1623	1.0097	0.7933	0.2463
13	1.2103	0.8697	0.9351	0.1999	1.2119	0.8705	0.9328	0.1986
14	1.1434	0.8397	1.0404	0.1945	1.1457	0.8401	1.0379	0.1931
15	1.1607	0.8942	0.9784	0.2062	1.1623	0.8942	0.9769	0.2048

shown on a sample-to-sample basis indicate the speed of convergence of the approach. Table I shows the performance of the MRBFNN for phase-a to ground fault at 15% of the line for 60° inception angle at  $R_f = 0 \Omega$  and  $100 \Omega$ . To test the robustness of the MRBFNN classifier 10% random noise is

added to the signals. The respective values in the a, b and c reflect the state of involvement of that phase and g represents for involvement of ground. Say at the input of 10th samples to the network from the estimators for  $R_f = 100 \Omega$  case the values "a" = 0.8910, "b" = 0.1704, "c" = 0.0456 and "g" = 1.0788

TABLE V  
FAULT TYPE "ag" 60° INCEPTION ANGLE

Sample No.	35%		55%	
	$R_f=0\Omega$	$R_f=100\Omega$	$R_f=0\Omega$	$R_f=100\Omega$
7	0.4091	0.4308	0.4410	0.4795
8	0.4387	0.4598	0.5154	0.5755
9	0.3806	0.4143	0.5302	0.6111
10	0.3404	0.3202	0.5388	0.5915
11	0.3233	0.3047	0.5320	0.5813
12	0.3210	0.3170	0.5317	0.5774
13	0.3197	0.3246	0.5398	0.5708
14	0.3156	0.3312	0.5380	0.5694
15	0.3129	0.3309	0.5317	0.5631

TABLE VI  
FAULT TYPE "ca" 30° INCEPTION ANGLE, SOURCE IMPEDANCE CHANGED

Sample No.	60%		80%	
	$R_f=0\Omega$	$R_f=100\Omega$	$R_f=0\Omega$	$R_f=100\Omega$
7	0.4906	0.4909	0.7434	0.8134
8	0.5390	0.5425	0.7445	0.8334
9	0.6243	0.6217	0.7790	0.8273
10	0.6202	0.6250	0.7851	0.7951
11	0.6223	0.6260	0.7633	0.8125
12	0.6230	0.6246	0.7640	0.8034
13	0.6218	0.6249	0.7615	0.8023
14	0.6168	0.6194	0.7623	0.8115
15	0.6085	0.6123	0.7631	0.8063

TABLE VII  
FAULT TYPE "abg" 90° INCEPTION ANGLE, FREQUENCY 49 Hz

Sample No.	25%		80%	
	$R_f=0\Omega$	$R_f=100\Omega$	$R_f=0\Omega$	$R_f=100\Omega$
7	0.2582	0.3135	0.74374	0.7821
8	0.2557	0.3071	0.7829	0.8216
9	0.2507	0.2827	0.7640	0.8345
10	0.2385	0.2835	0.7785	0.8134
11	0.2383	0.2843	0.7967	0.8215
12	0.2394	0.2904	0.7691	0.8248
13	0.2398	0.2889	0.7528	0.8226
14	0.2400	0.2867	0.7695	0.8239
15	0.2396	0.2861	0.7650	0.8214

depict that the phase involved with ground is only "a." This classification approach takes a particular phase/ground to be involved with fault if its corresponding value is greater than 0.5 else it categorizes the phase/ground to be "undisturbed." At a different prefault condition, at 30% of the line, line to line phase fault (ab) is initiated with an inception angle of 30°. The performance of the MRBFNN classifier in such an event is given in Table II. Again varying the power transfer level in the line and changing the source impedance ratio to 100 from 1 at 50% of the line, line to line fault "ab" type even with high fault resistance (100  $\Omega$ ). Table IV exemplifies 3-phase fault at 80% of the line length and with an operating frequency of 51 Hz, at different loading condition and an inception angle of 90°. It demonstrates that even at the boundary conditions, with high resistance fault and at different frequency the network classifies properly. The test results show the capability of the MRBFNN in classifying the faults with different prefault condition, frequency, fault path resistance, location and inception angle.

impedance ratio (1 : 100) at 60% and 80% of the line. The fault inception angle was kept at 30°. At 25% and 80% of the line for "abg" fault type at an inception angle of 90° and a different operating frequency of 49 Hz estimated fault-distances are shown in Table VII. The test results clearly demonstrate the superior performance of the MRBFNN locator.

#### B. Training and Testing of Fault Location using MRBFNN

For finding the fault location another MRBF neural network is trained with the same input vectors ( $V_a, V_b, V_c, I_a, I_b, I_c$ , zero sequence component of current and frequency) as the previous neural network used for classification and the associated output as the fault location distance. Unlike the fault classification patterns using only 0° inception angle, more training cases are generated here to include 90° fault inception angles. Other parameters like fault types, fault distance and fault resistances, operating conditions, source parameters and frequency of the power system are also varied to generate the training sets, the total number of which is 70.

The training was carried out with the following parameters chosen as  $\rho = 1.0$ ,  $\epsilon_{\max} = 0.04$ ,  $\epsilon_{\min} = 0.01$ ,  $e_{\min} = 0.015$ ,  $e'_{\min} = 0.018$ ,  $P_0 = I$ ,  $Q = 0.05I$ ,  $R = 1.0I$ ,  $M = 12$ ,  $M_1 = 20$ ,  $\delta = 5e^{-5}$ . The number of inputs here is 8 and the number of hidden neurons is obtained by sequential growth and pruning strategy as 23. Some of the test results to show the performance of the MRBFNN locator are present here. Table V shows for fault cases at 35% and 55% of the line at a fault inception angle of 60° for "ag" fault type. To test the robustness of the approach 10% random noise is added to signals in this case. The MRBFNN estimates the fault point distance in p.u. accurately even for high resistance fault. Table VI demonstrates for different cases for line to line fault ("ca"), at a different loading condition and different source

#### IV. CONCLUSION

The paper presents a more efficient and less complex radial basis function network for distance protection of power transmission line. Using this new network, the number of training patterns and the training time are drastically reduced and fault classification and location accuracy are significantly improved. The use of the linear iterated Kalman filter for adjusting the parameters of the MRBFNN with a pruning strategy is found to achieve a robust fault classification and location in transmission lines. This new architecture of the RBF neural network is expected to be suitable for real-time applications and opens up a new dimension in other types of distance relaying schemes. Further the system frequency which influences the fault classification and location problems has been taken as an input parameter to MRBFNN to provide more accuracy to the results.

#### REFERENCES

- [1] T. S. Sidhu, H. Singh, and M.S. Sachdev, "Design, implementation and testing of an artificial neural network based fault direction discrimination for protecting transmission lines," *IEEE Trans. on Power Delivery*, vol. 10, no. 2, pp. 697-706, 1995.
- [2] T. Dalstein and B. Kulicke, "Neural network approach to fault classification for high speed protective relaying," *IEEE Trans. on Power Delivery*, vol. 10, no. 2, pp. 1002-1011, 1995.
- [3] D. Novosel, B. Bachmann, D. Hart, Y. Hu, and M. M. Saha, "Algorithms for locating faults on series compensated lines using neural network and deterministic methods," *IEEE Trans. on Power Delivery*, vol. 11, no. 4, pp. 1728-1736, 1996.



- [4] Y. H. Song, A. T. Johns, and Q. Y. Xuan, "Artificial neural network based protection scheme for controllable series-compensated EHV transmission lines," *IEE Proc. Gen. Trans. Distrib.*, vol. 143, no. 6, pp. 535-540, 1996.
- [5] Y. H. Song, Q. Y. Xuan, and A. T. Johns, "Protection scheme for EHV transmission systems with thyristor controlled series compensation using radial basis function neural networks," *Electric Machines and Power Systems*, vol. 25, pp. 553-565, 1997.
- [6] K. G. Narendra, V. K. Sood, K. Khosravi, and R. Patel, "Application of a radial basis function (RBF) neural network for fault diagnosis in HVDC systems," *IEEE Trans. on Power Systems*, vol. 13, no. 1, pp. 177-183, 1998.
- [7] D. V. Coury and D. C. Jonge, "Artificial neural network approach to distance protection," *IEEE Trans. on Power Delivery*, vol. 13, no. 1, pp. 102-108, 1998.
- [8] L. Yingwei, N. Sundarajan, and P. Saratchandran, "Performance evaluation of a sequential minimal radial basis function (RBF) neural network learning algorithm," *IEEE Trans. on Neural Networks*, vol. 9, no. 2, pp. 308-318, 1998.
- [9] T. W. Hilands and S. C. A. Thomopoulos, "Nonlinear filtering methods of harmonic retrieval and model order selection in Gaussian and non-Gaussian noise," *IEEE Trans. on Signal Processing*, vol. 45, no. 4, pp. 983-994, 1997.
- [10] S. K. Chakrabarty, C. V. Nayar, and N. R. Achuthan, "Applying pattern recognition in distance relaying—Part-2," *IEE Proc. Gen. Trans. Distrib.*, vol. 139, no. 4, pp. 306-314, 1992.
- [11] P. K. Dash, A. K. Pradhan, and G. Panda, "Frequency estimation of distorted power system signals using extended complex Kalman filter," *IEEE Trans. on Power Delivery*, vol. 14, no. 3, pp. 761-766, 1999.

P. K. Dash was educated at the Utkal University and I.I.Sc., Bangalore. He was a Post-Doctoral Fellow at the University of Calgary, Canada and held several visiting appointments with North American Universities, BBC Brown Boveri, Switzerland, and Bristol Aerospace, Canada. His recent collaborations are with Virginia Polytechnic Institute and State University, U.S.A. Dr. Dash is a Professor of Electrical Engineering and Chairman of the Centre of Applied Artificial Intelligence, Regional Engineering College, Rourkela, India. During 1993-94 and 1996-97 he was a Visiting Staff at National University of Singapore.

A. K. Pradhan received his B.Sc. (Engg.) degree in electrical engineering in 1990 and M.Sc. (Engg.) in power system engineering in 1992 from Sambalpur University. He has joined as a Lecturer in Electrical Engineering Department at University College of Engineering, Burla, India in 1992. Currently he is pursuing his Ph.D. degree at Regional Engineering College, Rourkela. His doctoral research focuses on the areas of adaptive protection, estimation and applications of Neural Network to power system protection.

G. Panda obtained first class degree with Honors in electrical engineering in 1971 and M.Sc. Engg. in communication systems in 1977 from Sambalpur University. He received Ph.D. degree in "digital signal processing" in 1982 from I.I.T., Kharagpur. He was awarded Common Wealth Academic Fellowship and pursued Post Doctoral work in "Adaptive Signal Processing" at University of Edinburgh, U.K., during 1984-86. He was a Lecturer during 1971-79, Reader during 1979-88 at University College of Engineering, Burla. In 1988 he joined Regional College of Engineering, Rourkela as Professor and acted as Founder Head in Department of Applied Electronics and Instrumentation Engineering. He is continuing in this post till date. His research area includes data communication, channel equalization, ANN application to communication systems etc.