



**ITS**  
Institut  
Teknologi  
Sepuluh Nopember

**TUGAS AKHIR - TE141599**

**DESAIN KURVA KONVENSIONAL MENGGUNAKAN  
ANFIS PADA DIGITAL PROTECTION RELAY**

Rachman Halim  
NRP 2213105032

Dosen Pembimbing  
Dr. Eng. Ardyono Priyadi, S.T., M. Eng.  
Ir. Sjamsjul Anam, M.T.

JURUSAN TEKNIK ELEKTRO  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2015



**ITS**  
Institut  
Teknologi  
Sepuluh Nopember

**TUGAS AKHIR - TE141599**

**DESAIN KURVA KONVENSIONAL MENGGUNAKAN  
ANFIS PADA DIGITAL PROTECTION RELAY**

Rachman Halim  
NRP 2213105032

Dosen Pembimbing  
Dr. Eng. Ardyono Priyadi, S.T., M. Eng.  
Ir. Sjamsjul Anam, M.T.

JURUSAN TEKNIK ELEKTRO  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2015





**ITS**  
Institut  
Teknologi  
Sepuluh Nopember

FINAL PROJECT - TE141599

***CONVENTIONAL CURVE DESIGN USING ANFIS ON  
DIGITAL PROTECTION RELAY***

Rachman Halim  
NRP 2213105032

Advisor Lecturer  
Dr. Eng. Ardyono Priyadi, S.T., M. Eng.  
Ir. Sjamsjul Anam, M.T.

DEPARTEMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING  
Faculty of Industrial Technology  
Sepuluh Nopember Institute of Technology  
Surabaya 2015



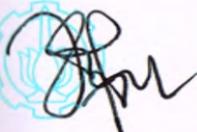
**DESAIN KURVA KONVENSIONAL MENGGUNAKAN ANFIS PADA  
DIGITAL PROTECTION RELAY**

**TUGAS AKHIR**

**Diajukan untuk Memenuhi Sebagian Persyaratan  
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
Pada  
Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga  
Jurusan Teknik Elektro  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

**Menyetujui :**

**Dosen Pembimbing I**

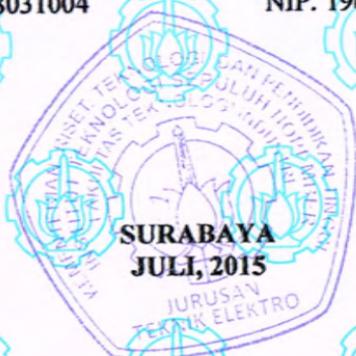


**Dr. Eng. Ardyono Privadi, ST., M.Eng.**  
**NIP. 197309271998031004**

**Dosen Pembimbing II**



**Ir. Sjamsjul Anam, MT.**  
**NIP. 196307251990031002**



# Desain Kurva Konvensional Menggunakan ANFIS pada Digital Protection Relay

Nama Mahasiswa : Rachman Halim  
NRP : 2213105032

Dosen Pembimbing : Dr.Eng. Ardyono Priyadi, ST., M.Eng.  
Ir. Sjamsjul Anam, MT.

## Abstrak:

Pada umumnya konstruksi rele dapat dibedakan menjadi 3 jenis yaitu elektromekanis, statis, dan digital. Rele proteksi yang berbasiskan system digital mempunyai beberapa keunggulan dibanding rele tipe elektro mekanis dan statis. Keunggulan relay proteksi digital yaitu respon yang cepat terhadap gangguan, keakuratan dalam perhitungan, fleksibel serta dapat berkoordinasi dengan baik. Rele digital proteksi dapat dimanfaatkan menjadi rele arus lebih (*over current relay*). Rele arus lebih dengan karakteristik kurva konvensional yaitu *normal inverse*, *very inverse*, *extremely inverse*, dan *long time inverse* sangat bermanfaat untuk mengamankan *overload*/bebanlebih. Karena bekerja dengan waktu tunda yang tergantung dari besarnya arus secara terbalik (*inverse time*), makin besar arus makin kecil waktu pemutusan. Dalam mensetting sebuah rele diperlukan arus dan waktu pemutusan. Dari data arus dan waktu pemutusan tersebut dapat terbentuk sebuah kurva *inverse setting* rele. Keakuratan rele dalam melakukan pemutusan sangat penting dilakukan dalam menanggapi terjadinya gangguan. Dalam tugas akhir ini akan dilakukan studi mengenai cara mendapatkan desain kurva konvensional yang akurat menggunakan metode ANFIS. Desain kurva ini digunakan pada *digital relay protection*. Desain kurva konvensional akan dibuat software dan prototipe digital relaynya untuk memvalidasi keakuratannya.

**Kata kunci:** *Data Learning, Over Current Relay, Digital Protection Relay, ANFIS*

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

# **CONVENTIONAL CURVE DESIGN USING ANFIS ON DIGITAL PROTECTION RELAY**

*Student Name* : Rachman Halim  
*NRP* : 2213105032

*Adviser Lecturer* : Dr.Eng. Ardyono Priyadi, ST., M.Eng.  
Ir. Sjamsjul Anam, MT.

## ***Abstract:***

*In general construction relay can be divided into three types namely electromechanical, static, and digital. Relay protection based digital system has several advantages compared to the type of electro-mechanical relays and static relays. Superiority of digital protection relay is a fast response to disturbances, the accuracy of the calculation, flexible and able to coordinate well. Digital relay protection can be utilized as an overcurrent relays. Overcurrent relays to the characteristics of the conventional curve is normal inverse, very inverse, extremely inverse, and inverse long time is very useful for securing overload. Because it works with time delay depending on the magnitude of current in reverse (inverse time), the greater the flow of the smaller time of break. In setting up a relay required flow and time of break. From the data flow and the disconnection time can form an inverse curve setting relay. The accuracy of the relay is very important terminate done in response to the disruption. In this final task will be carried out a study on how to get accurate conventional curve design using ANFIS method. This curve is used in the design of digital relay protection. Conventional curve design will be made software and digital prototypes to validate the accuracy of its relay.*

***Keywords:*** *Data Learning, Over Current Relay, Digital Protection Relays, ANFIS*

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## KATA PENGANTAR

Puji syukur alhamdulillah penulis panjatkan kehadirat Allah SWT atas rahmat, taufik dan hidayah-Nya, sehingga penyusunan tugas akhir dengan judul “DESAIN KURVA KONVENSIONAL MENGGUNAKAN ANFIS PADA DIGITAL PROTECTION RELAY ” dapat diselesaikan dengan baik.

Penulis menyadari bahwa selama proses penyusunan tugas akhir ini mengalami kendala-kendala, namun berkat nasihat, bimbingan, bantuan dari berbagai pihak dan berkah dari Allah SWT sehingga semua kendala yang ada dapat diatasi oleh penulis.

Dalam kesempatan ini penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih kepada :

1. Bapak, ibu dan seluruh keluarga yang selalu mendukung penulis dalam menyelesaikan studi.
2. Dr. Eng. Ardyono Priyadi, ST., M.Eng dan Ir. Sjamsjul Anam, MT. sebagai dosen pembimbing yang telah memberikan bimbingan, motivasi, arahan dan saran-saran yang sangat berharga kepada penulis dalam menyusun tugas akhir.
3. Pak Anang dan Pak Dimas yang telah memberikan bimbingan, ilmu, serta nasihat selama penulis melaksanakan studi.
4. Endah Purwanti, dan seluruh keluarga di rumah yang telah banyak memberikan dukungan, inspirasi, motivasi, serta doanya kepada penulis.
5. Keluarga besar LJ gasal 2013.
6. Seluruh dosen yang telah memberikan ilmunya selama studi, karyawan, dan keluarga besar Jurusan Teknik Elektro ITS.

Dengan segala kerendahan hati penulis menyadari terdapat banyak kekurangan, sehingga penulis mengharapkan kritik dan saran demi kesempurnaan tugas akhir ini dari semua pihak.

Surabaya, 4 Juli 2015  
Penulis

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

# DAFTAR ISI

Halaman

HALAMAN JUDUL	
PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR	
HALAMAN PENGESAHAN	
ABSTRAK .....	i
ABSTRACT .....	iii
KATA PENGANTAR .....	v
DAFTAR ISI .....	vii
DAFTAR GAMBAR .....	ix
DAFTAR TABEL .....	xi
<b>BAB I PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Permasalahan .....	2
1.3 Batasan Masalah .....	2
1.4 Tujuan .....	2
1.5 Metodologi.....	3
1.6 Sistematika Penulisan .....	5
1.7 Relevansi .....	6
<b>BAB II PROTEKSI ARUS LEBIH .....</b>	<b>7</b>
2.1 Gangguan-gangguan Pada Sistem Tenaga Listrik .....	7
2.2 Sebab-sebab Timbulnya Gangguan Pada STL.....	8
2.3 Rele Arus Lebih.....	8
2.3.1 Karakteristik Rele Arus Lebih .....	8
2.3.2 Rele Arus Lebih Inverse (Inverse OCR).....	9
2.4 Pengertian Logika Fuzzy .....	11
2.4.1 Fungsi Keanggotaan (Membership Function).....	11
2.4.2 Representasi Kurva Lonceng(BETA) .....	12
2.5 Adaptive Neuro Fuzzy Inference System .....	13
2.6 Fuzzy Clustering Mean .....	16
2.7 Proses Pembelajaran dengan RLSE .....	18
2.8 Proses Pembelajaran Backpropagation-error .....	19
2.9 Mikrokontroler.....	22
2.9.1 ARM .....	23

BAB III PERANCANGAN HARDWARE DAN SOFTWARE .....	25
3.1 Konfigurasi Sistem.....	25
3.2 Desain Pemodelan Kurva Karakteristik Inverse .....	26
3.2.1 Algoritma ANFIS .....	28
3.3 Perancangan dan Pembuatan Alat.....	31
3.3.1 Perancangan Hardware .....	31
3.3.2 Program ANFIS pada Digital Protection Relay.....	33
3.3.3 Program Komunikasi Serial.....	34
BAB IV HASIL PENGUJIAN DAN ANALISIS.....	37
4.1 Pengujian Keakuratan dengan merubah MF .....	39
4.2 Pengujian Keakuratan dengan merubah Learning Rate .....	43
4.3 Pengujian Keakuratan dengan merubah Jumlah Iterasi .....	45
4.4 Pengujian 4 Jenis Kurva Inverse Konvensional .....	48
4.4.1 Standart Inverse.....	48
4.4.2 Very Inverse.....	49
4.4.3 Extrimely Inverse .....	51
4.4.4 Long Time Inverse.....	52
4.5 Pengujian Digital Protection Relay.....	54
BAB V PENUTUP .....	61
5.1 Kesimpulan .....	61
5.2 Saran .....	61
DAFTAR PUSTAKA .....	63
LAMPIRAN .....	65
BIOGRAFI PENULIS .....	75

## DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 4.1 Data Input Kurva Konvensional.....	39
Tabel 4.2 Data Kurva ANFIS dengan MF 1 .....	40
Tabel 4.3 Data Kurva ANFIS dengan MF 3 .....	41
Tabel 4.4 Data Kurva ANFIS dengan MF 10 .....	42
Tabel 4.5 Data MF terhadap MSE .....	43
Tabel 4.6 Data LR terhadap MSE .....	44
Tabel 4.7 Data Kurva Very Inverse.....	50
Tabel 4.8 Data Kurva Extrimely Inverse.....	51
Tabel 4.9 Data Kurva Long Time Inverse.....	53
Tabel 4.10 Hasil pengujian DPR.....	56
Tabel 4.11 Perbandingan antara Konvensional dengan ANFIS .....	57

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 1.1	Flowchart sistem kerja alat ..... 3
Gambar 1.2	Flowchart sistem kerja alat (lanjutan)..... 3
Gambar 2.1	Karakteristik Standart Inverse ..... 9
Gambar 2.2	Karakteristik Very Inverse..... 10
Gambar 2.3	Karakteristik Extrimelyt Inverse..... 10
Gambar 2.4	Karakteristik Long Time Inverse ..... 11
Gambar 2.5	Karakteristik fungsional kurva BETA ..... 12
Gambar 2.6	Arsitektur ANFIS ..... 14
Gambar 2.7	Model Jaringan Syaraf Feed Forward..... 20
Gambar 2.8	Mikrokontroler ARM ..... 23
Gambar 3.1	Konfigurasi Sistem ..... 25
Gambar 3.2	Flowchart Pemodelan Kurva ..... 27
Gambar 3.3	Algoritma ANFIS ..... 29
Gambar 3.4	Algoritma FCM ..... 30
Gambar 3.5	Hardware Mikrokontroler ARM..... 31
Gambar 3.6	Rangkaian LCD grafik 128x64..... 32
Gambar 3.7	Hardware Rele ..... 32
Gambar 3.8	Flowchart Program Mikrokontroler..... 33
Gambar 3.9	Flowchart Program kirim dan terima data ..... 34
Gambar 3.10	Lanjutan Flowchart kirim data ..... 35
Gambar 4.1	Pengujian Software Program ..... 37
Gambar 4.2	Pengujian Digital Protection Rele ..... 38
Gambar 4.3	Kurva ANFIS dengan MF 1 ..... 40
Gambar 4.4	Kurva ANFIS dengan MF 3 ..... 41
Gambar 4.5	Kurva ANFIS dengan MF 10. .... 43
Gambar 4.6	Kurva ANFIS dengan LR 0.2 ..... 44
Gambar 4.7	Kurva MSE dengan 10 kali Iterasi..... 45
Gambar 4.8	Kurva MSE dengan 30 kali Iterasi..... 46
Gambar 4.9	Kurva MSE dengan 50 kali Iterasi..... 46
Gambar 4.10	Kurva MSE dengan 70 kali Iterasi..... 47
Gambar 4.11	Kurva MSE dengan 100 kali Iterasi..... 47
Gambar 4.12	Kurva Standart Inverse ..... 49
Gambar 4.13	Kurva Very Inverse ..... 50
Gambar 4.14	Kurva Extrimely Inverse ..... 52

Gambar 4.15 Kurva Long Time Inverse.....	54
Gambar 4.16 Mengambil Parameter Premis dan Konsekuen .....	55
Gambar 4.17 Masukkan parameter ke program Mikrokontroler ....	55
Gambar 4.18 Pengujian Digital Protection Relay.....	56
Gambar 4.19 Perbandingan antara Kurva DPR dengan Kurva Konvensional .....	58

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang Masalah

Relay proteksi konvensional terdiri dari relay tipe elektromagnetik dan tipe statik. Kedua tipe ini mempunyai banyak kekurangan dalam melindungi sistem tenaga listrik dan peralatan-peralatan lainnya. Relay tipe elektromagnetik mempunyai beberapa kekurangan seperti penambahan beban untuk trafo ukur, waktu operasi yang lama, permasalahan kontak, dan lain-lain. Karena relay tipe ini dapat mengalami kerusakan dengan cepat, keadaan ini dapat membahayakan sistem tenaga listrik. Sedangkan pada relay tipe static mempunyai kekurangan diantaranya adalah tidak fleksibel, tidak mudah diubah untuk sistem yang kondisinya berbeda dan kompleksitas sistem yang berbeda pula. Selain hal tersebut, relay tipe static peka terhadap suhu yang dapat menyebabkan perubahan karakteristik relay dan bila terjadi perubahan tegangan secara transien dapat merusak peralatan relay.

Baru ini sistem digital dapat diaplikasikan sebagai relay proteksi. Relay proteksi yang berbasis sistem digital mempunyai beberapa keunggulan. Keunggulan relay proteksi digital ini adalah respon yang cepat terhadap gangguan, keakuratan dalam perhitungan, fleksibel serta dapat berkoordinasi dengan baik[1]. Digital relay proteksi ini dapat dirancang dengan sistem berbasis mikrokontroler dengan dikombinasikan dengan kemampuan belajar ANFIS[3]. Dengan menggunakan kemampuan belajar ANFIS dapat dihasilkan sebuah relay proteksi digital dengan tingkat keakuratan yang tinggi.

Dalam tugas akhir ini akan dilakukan studi mengenai cara mendapatkan desain kurva konvensional yang akurat menggunakan metode ANFIS. Mendesain kurva konvensional pada tugas akhir ini menerapkan kemampuan belajar *Adaptive Neuro Fuzzy Interference System* (ANFIS). *Personal Computer* (PC) digunakan sebagai sarana untuk menggambar kurva karakteristik yang dikehendaki, kemudian dilakukan inialisasi serta learning hingga didapat hasil learning, dan parameter hasil

learning yang telah dilakukan di PC dikirim ke *Digital Protection Relay* dan dapat di uji keakuratannya. Selain itu keakuratan kurva diuji dengan jumlah *data learning* yang berbeda.

## 1.2 Permasalahan

Hal yang menjadi permasalahan yang dibahas dalam tugas akhir ini adalah

1. Memodelkan kurva karakteristik inverse melalui PC
2. Melakukan learning pada data kurva konvensional
3. Memasukkan parameter – parameter ANFIS ke *digital relay protection*
4. Menguji kurva konvensional dengan semua karakteristik inverse yang ada

## 1.3 Batasan Masalah

Untuk menyelesaikan masalah dalam Tugas Akhir ini, maka perlu diberi batasan – batasan sebagai berikut:

1. *Software* yang digunakan untuk memodelkan adalah visual studio
2. Pengujian dilakukan dengan alat yang dirancang berbasis mikrokontroler atau simulasi.
3. Pengujian menggunakan USB serial sebagai input output, karena pengujian difokuskan untuk hasil kurva saja
4. Parameter akurat dilihat dari perbandingan kurva karakteristik ANFIS dibandingkan dengan kurva karakteristik konvensional.

## 1.4 Tujuan

Tujuan yang ingin dicapai dalam tugas akhir ini :

1. Memodelkan kurva konvensional dengan metode ANFIS
2. Mendapatkan kinerja rele dengan tingkat keakuratan tinggi
3. Meningkatkan keandalan sebuah pengamanan peralatan

## 1.5 Metodologi

Metodologi yang digunakan pada penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

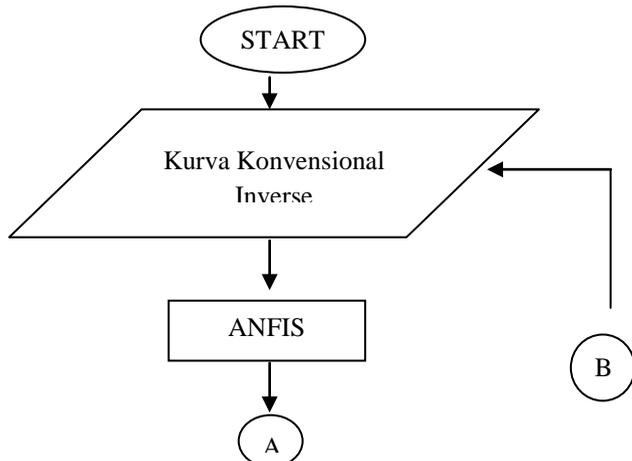
### 1. Studi Literatur

Penulis mempelajari literatur mengenai rele pengaman digital sebagai dasar perancangan dan pembuatan alat. Selain itu akan mempelajari metode ANFIS dan cara mengaplikasikan ke alat melalui pemrograman visual studio.

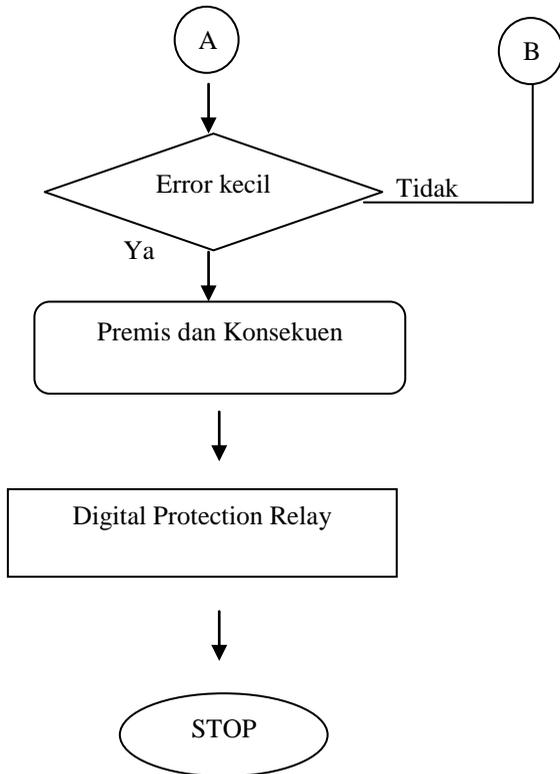
### 2. Pemodelan dan Pembuatan Alat

Penulis melakukan pembuatan program desain kurva dengan menggunakan software visual studio dengan bahasa pemrograman C#. Selain itu pada bagian ini akan dilakukan pembuatan alat yang di desain seperti rele proteksi dengan memanfaatkan mikrokontroler sebagai kontrolernya.

Berikut ini flow chart kerja sistem yang akan dilakukan



**Gambar 1.1** Flowchart sistem kerja alat



**Gambar 1.2** Flowchart sistem kerja alat (lanjutan)

Dari flowchart di atas akan dilakukan pengujian keakuratan, dengan mendesain kurva inverse terlebih dahulu. Dari kurva inverse akan didapat data berupa IL/IS dan Time break. Dari data tersebut akan dilakukan training untuk memperoleh data premis dan konsekuen. Kemudian selanjutnya data premis dan konsekuen akan di transfer ke alat rele digital proteksi berbasis mikrokontroler. Dengan melakukan pengujian alat akan diperoleh sebuah kurva dari inputan premis dan konsekuen. Berikutnya kurva tersebut

akan dibandingkan dengan desain kurva di awal tadi. Jika data dari kurva alat tadi sama dengan desain semula maka dapat dikatakan akurat

3. Pengujian Alat

Penulis melakukan pengujian alat untuk memastikan alat sudah bekerja sesuai dengan flow chart sistem atau belum

4. Analisa Data

Penulis melakukan analisa dari hasil pengujian alat. Pada bagian ini akan dilakukan analisa output sistem dengan jumlah input data yang berbeda.

5. Penarikan Kesimpulan

Dari hasil pengujian dengan jumlah data yang berbeda-beda dilakukan analisa dan penarikan kesimpulan.

## **1.6 Sistematika Penulisan**

Untuk memudahkan pembahasan yang akan dilakukan, tugas akhir ini terbagi menjadi lima bab dengan sistematika penulisan sebagai berikut :

### **BAB I : PENDAHULUAN**

Bab ini terdiri dari latar belakang, perumusan masalah, tujuan, metodologi pengerjaan tugas akhir, sistematika pembahasan dan relevansi dari penulis.

### **BAB II : PROTEKSI DAN METODE ANFIS**

Pada bab ini menjelaskan teori-teori penunjang yang digunakan dalam pengerjaan tugas akhir ini.

### **BAB III : PERANCANGAN HARDWARE DAN SOFTWARE.**

Dalam bab ini menjelaskan perancangan konfigurasi system. Mulai dari merancang hardware berupa protipe rele digital, dan software. Software yang dibuat mengimplemantasikan perumusan ANFIS untuk mendapatkan parameter untuk di inputkan ke rele.

### **BAB IV : HASIL PENGUJIAN DAN ANALISIS**

Dalam bab ini dibahas mengenai hasil pengujian data kurva konvensional. Pengujian ini dilakukan dengan merubah

variable yang berkaitan dengan keakuratan data. Selain menguji data pada bagian ini dilakukan pengujian rele. Saat pengujian rele input output akan dikirim melalui serial USB.

## **BAB V : PENUTUP**

Bab ini berisi kesimpulan dan saran dari hasil pengujian data maupun pengujian alat, studi literatur dan analisis yang telah dilakukan.

### **1.7 Relevansi**

Dari hasil pengerjaan tugas akhir ini untuk kedepannya diharapkan dapat dilakukan pengembangannya yaitu pemodelan kurva non konvensional. Karena pemodelan kurva tersebut akan sangat berguna dalam keadaan-keadaan tertentu.

## **BAB II**

### **PROTEKSI ARUS LEBIH**

#### **2.1 Gangguan – gangguan Pada Sistem Tenaga Listrik**

Gangguan yang terjadi pada system tenaga listrik sangat beragam besaran dan jenisnya. Gangguan dalam system tenaga listrik adalah keadaan tidak normal dimana keadaan ini dapat mengakibatkan terganggunya kontinuitas pelayanan tenaga listrik. Secara umum klasifikasi gangguan pada system tenaga listrik disebabkan 2 faktor, yaitu [2] :

1. Gangguan berasal dari system
2. Gangguan berasal dari luar system

Penyebab gangguan yang berasal dari dalam system antara lain:

1. Tegangan dan arus abnormal.
2. Pemasangan yang kurang baik.
3. Kesalahan mekanis karena proses penuaan.
4. Beban lebih.
5. Kerusakan material seperti isolator pecah, kawat putus, atau kabel cacat isolasinya.

Sedangkan untuk gangguan yang berasal dari luar system antara lain:

1. Gangguan – gangguan mekanis karena pekerjaan galian saluran lain. Gangguan ini terjadi untuk system kelistrikan bawah tanah.
2. Pengaruh cuaca seperti hujan, angin, surja petir. Pada gangguan surja petir. Pada gangguan surja petir dapat mengakibatkan gangguan tegangan lebih dan dapat menyebabkan gangguan hubung singkat karena tembus isolasi peralatan(breakdown).

3. Pengaruh lingkungan seperti pohon, binatang dan benda-benda asing serta akibat kecerobohan manusia.

## 2.2 Sebab – sebab Timbulnya Gangguan Pada Sistem Tenaga Listrik

Dalam system tenaga listrik tiga fasa, gangguan-gangguan arus lebih yang mungkin terjadi adalah sebagai berikut yaitu:

- a. Gangguan beban lebih (*overload*)

Gangguan ini sebenarnya bukan gangguan murni, tetapi bila dibiarkan terus menerus berlangsung dapat merusak peralatan listrik yang dialiri arus tersebut. Pada saat gangguan ini terjadi arus yang mengalir melebihi dari kapasitas peralatan listrik dan pengamanan yang terpasang.

- b. Gangguan hubung singkat (*shortcircuit*)

Gangguan hubung singkat dapat terjadi dua fasa, tiga fasa, satu fasa ke tanah, dua fasa ke tanah, atau tiga fasa ke tanah. Gangguan hubung singkat ini sendiri dapat digolongkan menjadi dua kelompok yaitu gangguan hubung singkat simetri dan gangguan hubung singkat tak simetri.

## 2.3 Rele Arus Lebih

Rele pengamanan arus lebih adalah rele yang bekerja berdasarkan arus lebih, akibat adanya gangguan beban lebih (*overload*) atau gangguan hubung singkat (*shortcircuit*) dan memberikan perintah trip ke PMT sesuai dengan karakteristik waktunya[4].

### 2.3.1 Karakteristik Rele Arus Lebih

Berdasarkan karakteristik waktunya rele arus lebih dibedakan atas 4 jenis yaitu:

- Instantaneous Rele
- Definite Rele

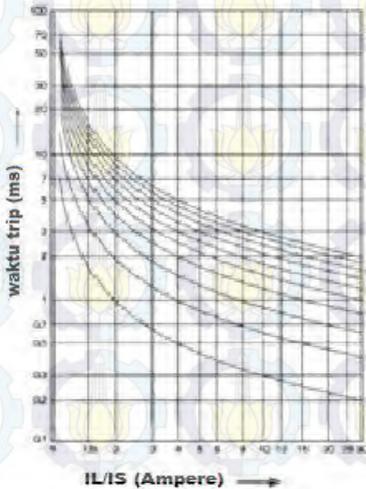
- Inverse Rele
- Inverse Definite Minimum Rele

### 2.3.2 Rele Arus Lebih Inverse (Inverse OCR)

Selatan proteksi dengan menggunakan karakteristik inverse time rele, karakteristik grafiknya terbalik antara arus dan waktu, dimana semakin besar arus gangguan hubung singkat maka semakin cepat waktu yang dibutuhkan untuk membuka PMT sehingga dalam settingnya nanti rele jenis ini perlu mengetahui besarnya arus hubung singkat untuk tiap seksi di samping arus nominalnya serta kurva karakteristik rele.

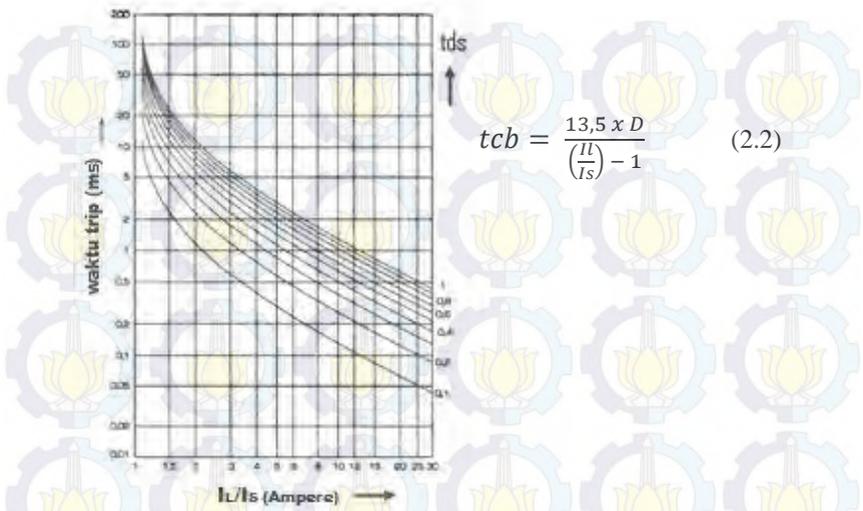
*Over Current Relay (OCR)* dengan karakteristik inverse sangat bermanfaat untuk mengamankan overload / beban lebih. Berdasarkan standar IEC ada 4 karakteristik inverse terdapat tiga jenis, yaitu :

1. Karakteristik standard inverse (SI)
2. Karakteristik very inverse (VI)
3. Karakteristik Extrimely inverse (EI)
4. Karakteristik long time inverse (LTI)

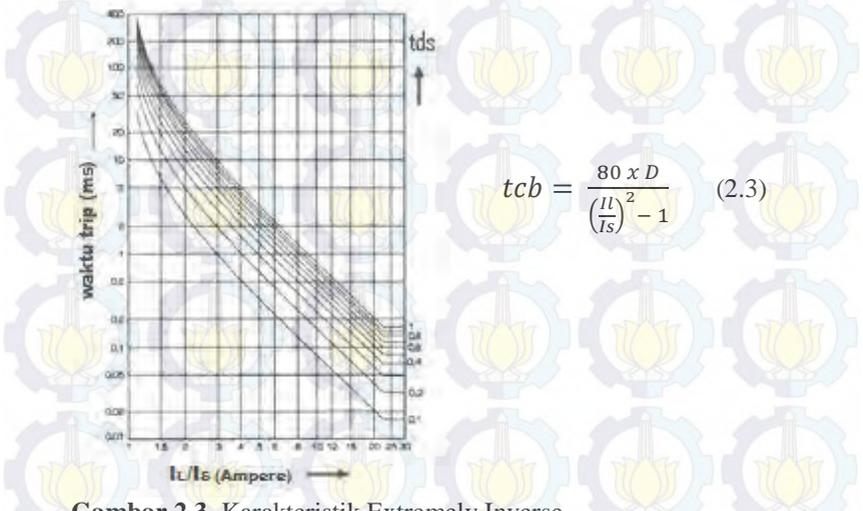


$$tcb = \frac{0,14 \times D}{\left(\frac{I_L}{I_S}\right)^{0,02} - 1} \quad (2.1)$$

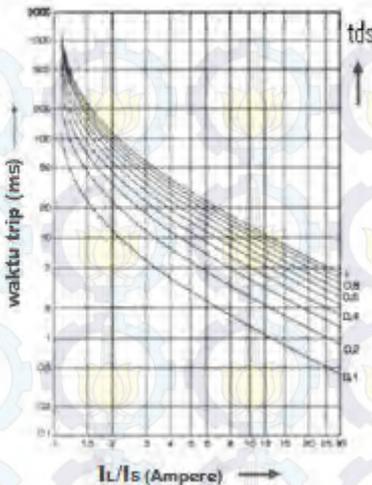
**Gambar 2.1.** Karakteristik Standard Inverse.



Gambar 2.2. Karakteristik Very Inverse.



Gambar 2.3. Karakteristik Extremely Inverse.



$$tcb = \frac{120 \times D}{\left(\frac{I_L}{I_s}\right) - 1} \quad (2.4)$$

Gambar 2.4. Karakteristik Long Time Inverse.

## 2.4 Pengertian Logika Fuzzy

Teori himpunan logika samar dikembangkan oleh Prof. Lofti Zadeh pada tahun 1965. Zadeh berpendapat bahwa logika benar dan salah dalam logika konvensional tidak dapat mengatasi masalah gradasi yang berada pada dunia nyata. Untuk mengatasi masalah gradasi yang tidak terhingga tersebut, Zadeh mengembangkan sebuah himpunan fuzzy. Tidak seperti logika boolean, logika fuzzy mempunyai nilai yang kontinue. Samar dinyatakan dalam derajat dari suatu keanggotaan dan derajat dari kebenaran. Oleh sebab itu sesuatu dapat dikatakan sebagian benar dan sebagian salah pada waktu yang sama (Kusumadewi, 2004).

### 2.4.1 Fungsi Kenggotaan (Membership Function)

Ada dua cara mendefinisikan keanggotaan himpunan fuzzy, yaitu secara numeris dan fungsional. Definisi numeris menyatakan fungsi derajat keanggotaan sebagai vector jumlah yang tergantung pada tingkat

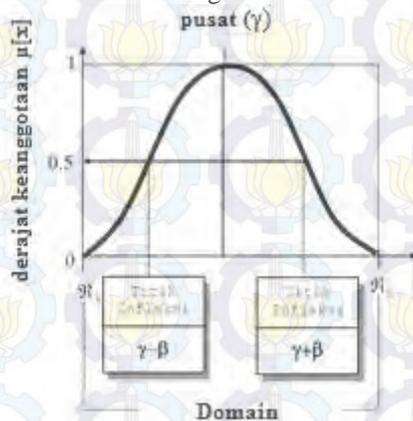
diskretisasi. Misalnya, jumlah elemen diskret dalam semesta pembicaraan.

Definisi fungsional menyatakan derajat keanggotaan sebagai batasan ekspresi analitis yang dapat dihitung. Standar atau ukuran tertentu pada fungsi keanggotaan secara umum berdasar atas semesta  $X$  bilangan real.

#### 2.4.2 Representasi Kurva Lonceng(Beta)

Untuk merepresentasikan bilangan fuzzy, biasanya digunakan kurva berbentuk lonceng. Kurva berbentuk lonceng ini terbagi atas 3 kelas, yaitu: himpunan fuzzy PI, beta, dan Gauss. Perbedaan ketiga kurva ini terletak pada gradiennya.

Seperti halnya kurva PI, kurva BETA juga berbentuk lonceng namun lebih rapat. Kurva ini juga didefinisikan dengan 2 parameter, yaitu nilai pada domain yang menunjukkan pusat kurva ( $\gamma$ ), dan setengah lebar kurva ( $\beta$ ) seperti terlihat pada Gambar 2.17. Nilai kurva untuk suatu nilai domain  $x$  diberikan sebagai:



Gambar 2.5 Karakteristik fungsional kurva BETA.

Fungsi Keanggotaan:

$$B(x;\gamma,\beta) = \frac{1}{1 + \left[\frac{x-\gamma}{\beta}\right]^2} \quad (2.9)$$

Salah satu perbedaan mencolok kurva BETA dari kurva PI adalah, fungsi keanggotaannya akan mendekati nol hanya jika nilai ( $\beta$ ) sangat besar.

## 2.5 Adaptive Neuro Fuzzy Inference System

Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System (ANFIS) adalah penggabungan mekanisme fuzzy inference system yang digambarkan dalam arsitektur jaringan syaraf. Sistem inferensi fuzzy yang digunakan adalah sistem inferensi fuzzy model Tagaki-Sugeno-Kang (TSK) orde satu dengan pertimbangan kesederhanaan dan kemudahan komputasi.

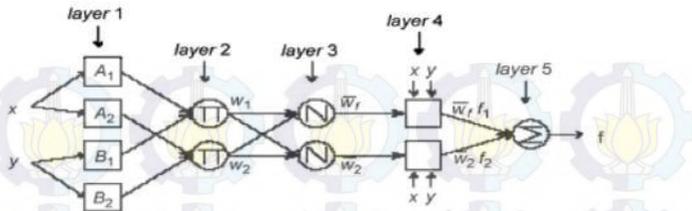
Adaptive Neuro Fuzzy Inference System (ANFIS) merupakan kombinasi Artificial Neural Network dan Fuzzy Inference System, yang menggunakan model inferensi Sugeno. Untuk memudahkan dalam menjelaskan arsitektur ANFIS, di sini diasumsikan fuzzy inference system hanya mempunyai dua input, x dan y. Serta satu output yang dilambangkan z. Pada model sugeno orde satu, himpunan aturan menggunakan kombinasi linier dari input – input yang ada dapat diekspresikan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{IF } x \text{ is } A_1 \text{ AND } y \text{ is } B_1 \text{ THEN } f_1 &= p_1x + q_1y + r_1 \\ \text{IF } x \text{ is } A_2 \text{ AND } y \text{ is } B_2 \text{ THEN } f_2 &= p_2x + q_2y + r_2 \end{aligned}$$

Mekanisme penalaran pada model ini adalah :

$$f = \frac{w_1f_1 + w_2f_2}{w_1 + w_2} = w_1'f_1 + w_2'f_2 \quad (2.10)$$

Selanjutnya arsitektur ANFIS untuk kasus dua input, x dan y, serta satu output yang dilambangkan f diilustrasikan oleh gambar dibawah ini [3] :



**Gambar 2.6** Arsitektur ANFIS

Lapisan dari sistem diatas dapat dijelaskan sebagai berikut :

a. Lapisan 1

$$O_{1,i} = \begin{cases} \mu_{A_i}(x); & i = 1,2 \\ \mu_{B_{i-2}}(x); & i = 3,4 \end{cases} \quad (2.11)$$

$O_{1,i}$  adalah keluaran ke- $i$  pada lapisan ke-1. Fungsi keanggotaan yang digunakan pada lapisan ini adalah bentuk BETA:

$$\mu_i(x) = \frac{1}{1 + \left[ \frac{x-y}{\beta} \right]^2} \quad (2.12)$$

$n = 1,2$  dan  $i = 1, \dots, 4$ , dengan  $(c, \sigma)$  adalah himpunan parameter premis. Semua simpul pada lapisan ini adalah simpul-simpul adaptif. Masukan dari lapisan ini adalah  $x$  dan  $y$ , sedangkan  $A_i$  atau  $B_i$  adalah variabel-variabel linguistik pada masing-masing simpul, yang dilambangkan oleh fungsi keanggotaan. Fungsi keanggotaan yang digunakan adalah fungsi keanggotaan bentuk gaussian. Parameter pada fungsi keanggotaan merupakan parameter yang akan berubah selama proses pembelajaran.

b. Lapisan 2

$$O_{2,i} = w_i = \mu_{A_j}(x) \cdot \mu_{B_k}(x) \cdot \mu_{C_l}(x) \quad (2.13)$$

dimana  $O_{2,i}$  adalah keluaran ke- $i$  pada lapisan ke-2 dan  $w$  adalah derajat pengaktifan tiap aturan fuzzy untuk  $j = k = 1,2$  dan  $i=1, \dots, 4$ . Lapisan ini diberi lambang  $\Pi$ . Simpul pada lapisan ini adalah simpul tetap. Keluaran dari lapisan ini merupakan representasi dari kata hubung and pada aturan fuzzy dan menyatakan derajat pengaktifan tiap aturan fuzzy dan direalisasikan dengan operator T-Norm produk aljabar yaitu perkalian biasa. Jumlah simpul pada lapisan ini menyatakan jumlah aturan yang dibentuk.

c. Lapisan 3

Lapisan ini diberi tanda lingkaran dan berlambang N dan merupakan simpul tetap. Pada simpul ini, derajat pengaktifan tiap aturan fuzzy pada lapisan sebelumnya dinormalisasi dengan cara membagi  $w$  dengan jumlah total  $w$  untuk semua aturan.

$$O_{3,i} = \bar{w}_i = \frac{w_i}{\sum w} = \frac{w_i}{w_1 + \dots + w_n} \quad (2.14)$$

dimana  $O_{3,i}$  adalah keluaran ke- $i$  pada lapisan ke-3 dan  $w_i$  adalah derajat pengaktifan ternormalisasi atau rata-rata untuk  $i = 1, \dots, n$ .

d. Lapisan 4

Simpul-simpul pada lapisan ini adalah simpul adaptif, dengan fungsi sebagai berikut :

$$O_{4,i} = \bar{w}_i \cdot f_i = \bar{w}_i(p_i x_i + q_i y_i + r_i) \quad (2.15)$$

untuk  $i=1, \dots, 4$ , dengan  $\{p_i, q_i, r_i\}$  adalah himpunan parameter konsekuen. Pada lapisan ini, ada fungsi masukan if yang akan dikalikan dengan derajat pengaktifan ternormalisasi ( $w$ ) untuk setiap aturan fuzzy pada bagian konsekuen. Pada lapisan ini terdapat parameter-parameter  $p_i, q_i, r_i$  yang disebut parameter konsekuen.

e. Lapisan 5

Lapisan ini diberi lambang  $\sum$  dan merupakan lapisan tetap. Pada lapisan ini, masukan dari lapisan-lapisan sebelumnya dijumlahkan. Keluaran dari lapisan ini merupakan keluaran akhir dari seluruh sistem Neuro-Fuzzy, dengan fungsi sebagai berikut:

$$O_5 = \sum \bar{w}_i \cdot f_i = y \quad (2.16)$$

Dengan demikian, kelima layer tersebut akan membangun suatu adaptive network yang secara fungsional ekuivalen dengan fuzzy model sugeno orde satu.

Untuk memberi nilai awal pada parameter premis (pada bagian membership function), biasanya digunakan Fuzzy Clustering Mean (FCM). Pada arsitektur ANFIS, node yang bersifat adaptif terdapat pada layer 1 dan 4. Node pada layer 1 mengandung parameter premis yang nonlinier sedangkan pada layer 4 mengandung parameter konsekuen yang linier. Untuk memperbarui parameter – parameter tersebut (dengan kata lain proses belajar dari jaringan saraf), kita memerlukan proses learning atau training. ANFIS menggunakan

hybrid supervised method yang berbasis pada dua metode, yaitu least – squares dan gradient descent.

Pada arah maju (forward), parameter premis dibuat tetap. Dengan menggunakan metode Least Square Estimator (LSE), parameter konsekuen diperbaiki berdasarkan pasangan data pada training set. Metode LSE dapat diterapkan karena parameter konsekuen yang diperbaiki bersifat linier. Setelah parameter konsekuen diperoleh, data masukan dilewatkan jaringan adaptif kembali dan hasil keluaran jaringan adaptif ini dibandingkan dengan keluaran yang diharapkan (target).

Pada arah mundur (backward), parameter konsekuen dibuat tetap. Kesalahan (error) antara keluaran jaringan adaptif dan target dipropagasikan balik menggunakan gradient descent untuk memperbaiki parameter premis. Satu tahap pembelajaran maju – mundur ini dinamakan satu epoch.

## 2.6 Fuzzy Clustering Mean (untuk inialisasi / nilai awal parameter bagian premis)

*Fuzzy clustering* adalah salah satu teknik untuk menentukan *cluster* optimal dalam suatu ruang *vektor* yang didasarkan pada bentuk normal *euclidian* untuk jarak antar *vektor*. *Fuzzy clustering* sangat berguna bagi pemodelan *fuzzy* terutama dalam mengidentifikasi aturan-aturan *fuzzy*. Metode *clustering* merupakan pengelompokan data beserta parameternya dalam kelompok – kelompok sesuai kecenderungan sifat dari masing-masing data tersebut (kesamaan sifat). Ada beberapa algoritma *clustering* data, salah satu diantaranya adalah *Fuzzy C Means*. *Fuzzy C-Means* adalah suatu teknik peng-*cluster*-an data yang mana keberadaana tiap-tiap data dalam suatu *cluster* ditentukan oleh derajat keanggotaan. Teknik ini pertama kali diperkenalkan oleh Jim Bezdek pada tahun 1981. Konsep dari *Fuzzy C-Means* pertama kali adalah menentukan pusat *cluster*, yang akan menandai lokasi rata rata untuk tiap-tiap *cluster*. Pada kondisi awal, pusat *cluster* ini masih belum akurat. Tiap-tiap titik data memiliki derajat keanggotaan untuk tiap-tiap *cluster*. Dengan cara memperbaiki pusat *cluster* dan derajat keanggotaan tiap-tiap titik data secara berulang, maka akan dapat dilihat bahwa pusat *cluster* akan bergerak menuju lokasi yang tepat. Perulangan ini didasarkan pada minimasi fungsi obyektif yang menggambarkan jarak dari titik data yang diberikan kepusat *cluster* yang terbobot

oleh derajat keanggotaan titik data tersebut. *Output* dari *Fuzzy C-Means* merupakan deretan pusat *cluster* dan beberapa derajat keanggotaan untuk tiap-tiap titik data. Informasi ini dapat digunakan untuk membangun suatu *fuzzy inference system*.

- **Algoritma Fuzzy C-Means**

Algoritma *Fuzzy C-Means* adalah sebagai berikut:

1. *Input* data yang akan dicluster  $X$ , berupa matriks berukuran  $n \times m$  ( $n$ =jumlah sample data,  $m$ =Jumlah variabel (criteria)).  
 $X_{ij}$ =data sample ke- $i$  ( $i=1,2,\dots,n$ ), atribut ke- $j$  ( $j=1,2,\dots,m$ ).
2. Tentukan:
  - Jumlah *cluster* =  $c$ ;
  - Pangkat =  $w$ ;
  - Maksimum iterasi =  $\text{MaxIter}$ ;
  - Error terkecil yang diharapkan =  $\text{Eps}$ ;
  - Iterasi awal =  $t=1$ ;
3. Bangkitkan nilai acak  $\mu_{ik}$ ,  $i=1,2,\dots,n$ ;  $k=1,2,\dots,c$ ; sebagai elemen-elemen matriks partisi awal  $U$ .  $\mu_{ik}$  adalah derajat keanggotaan yang merujuk pada seberapa besar kemungkinan suatu data bisa menjadi anggota ke dalam suatu *cluster*. Posisi dan nilai matriks dibangun secara random. Dimana nilai keanggotaan terletak pada interval 0 sampai dengan 1. Pada posisi awal matriks partisi  $U$  masih belum akurat begitu juga pusat *clusternya*. Sehingga kecenderungan data untuk masuk suatu *cluster* juga belum akurat.

$$U = \begin{bmatrix} \mu_{11} & \mu_{12} & \dots & \dots & \dots & \dots & \mu_{1n} \\ \mu_{21} & \mu_{22} & \dots & \dots & \dots & \dots & \mu_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \mu_{c1} & \mu_{c2} & \dots & \dots & \dots & \dots & \mu_{cn} \end{bmatrix}$$

4. Hitung pusat *cluster* untuk setiap cluster:  $V_{kj}$ , dengan  $k=1,2,\dots,c$ ; dan  $j=1,2,\dots,m$ .

$$V_{kj} = \frac{\sum_{i=1}^n ((\mu_{ik})^w * X_{ij})}{\sum_{i=1}^n (\mu_{ik})^w} \quad (2.17)$$

5. Hitung perubahan matriks partisi:

$$\mu_{ik} = \frac{\left[ \sum_{i=1}^m (X_{ij} - V_{kj})^2 \right]^{\frac{-1}{w-1}}}{\sum_{k=1}^c \left[ \sum_{i=1}^m (X_{ij} - V_{kj})^2 \right]^{\frac{-1}{w-1}}} \quad (2.18)$$

6. cek kondisi berhenti:

- jika  $(|U^t - U^{t-1}| < \text{Eps})$  atau  $(t > \text{maxIter})$  maka iterasi dihentikan.
- jika tidak:  $t=t+1$ , ulangi langkah ke-4.

## 2.7 Proses Pembelajaran dengan RLSE untuk Parameter Konsekuen

Jika nilai dari parameter premis tetap maka keluaran keseluruhannya dapat dinyatakan dengan kombinasi linier dari parameter konsekuen, seperti pada persamaan (2.19).

$$\begin{aligned} f &= \bar{w}_1 \cdot f_1 + \bar{w}_2 \cdot f_2 \\ &= \bar{w}_1(p_1x + q_1y + r_1) + \bar{w}_2(p_2x + q_2y + r_2) \end{aligned} \quad (2.19)$$

Pada persamaan (2.19) terlihat parameter - parameter bagian konsekuen merupakan parameter linier terhadap keluaran sistem. Jika sejumlah N data belajar diterapkan pada persamaan (2.19), didapat :

$$\begin{aligned} (\bar{w}_1 x)_1 p_1 + (\bar{w}_1 y)_1 q_1 + (\bar{w}_1)_1 r_1 + (\bar{w}_2 x)_1 p_2 + (\bar{w}_2 y)_1 q_2 + (\bar{w}_2)_1 r_2 &= \\ \vdots & \\ (\bar{w}_1 x)_n p_1 + (\bar{w}_1 y)_n q_1 + (\bar{w}_1)_n r_1 + (\bar{w}_2 x)_n p_2 + (\bar{w}_2 y)_n q_2 + (\bar{w}_2)_n r_2 &= \end{aligned} \quad (2.20)$$

jika dinyatakan dengan persamaan matriks, berbentuk :

$$\mathbf{A}\boldsymbol{\theta} = \mathbf{y} \quad (2.21)$$

dengan  $\boldsymbol{\theta}$  merupakan vektor  $6 \times 1$  yang elemen - elemennya merupakan himpunan parameter konsekuen,  $\mathbf{y}$  merupakan vektor keluaran yang elemen-elemennya  $N$  buah data keluaran sistem. Penyelesaian terbaik untuk  $\boldsymbol{\theta}$  adalah meminimumkan  $\|\mathbf{A}\boldsymbol{\theta} - \mathbf{y}\|^2$ , dengan teori LSE (Least Square Estimator) didapat  $\boldsymbol{\theta}^*$  :

$$\boldsymbol{\theta}^* = (\mathbf{A}^T \mathbf{A})^{-1} \mathbf{A}^T \mathbf{y} \quad (2.22)$$

$\boldsymbol{\theta}^*$  dihitung dengan rumus Recursive LSE (RLSE). Selanjutnya persamaan (2.22) menjadi :

$$\begin{cases} \hat{\boldsymbol{\theta}}_{i+1} = \hat{\boldsymbol{\theta}}_i + \mathbf{P}_{i+1} \mathbf{a}_{i+1} (\mathbf{y}_{i+1}^T - \mathbf{a}_{i+1}^T \hat{\boldsymbol{\theta}}_i) \\ \mathbf{P}_{i+1} = \mathbf{P}_i - \frac{\mathbf{P}_i \mathbf{a}_{i+1} \mathbf{a}_{i+1}^T \mathbf{P}_i}{1 + \mathbf{a}_{i+1}^T \mathbf{P}_i \mathbf{a}_{i+1}}, \quad i = 0, 1, \dots, P-1 \end{cases} \quad (2.23)$$

Dengan  $\mathbf{a}_i^T$  adalah vektor baris dari matriks  $\mathbf{A}$  pada persamaan (2.21),  $\mathbf{y}_i$  adalah elemen ke- $i$  dari  $\mathbf{y}$ .  $\mathbf{P}_i$  disebut matriks kovariansi yang didefinisikan dengan :

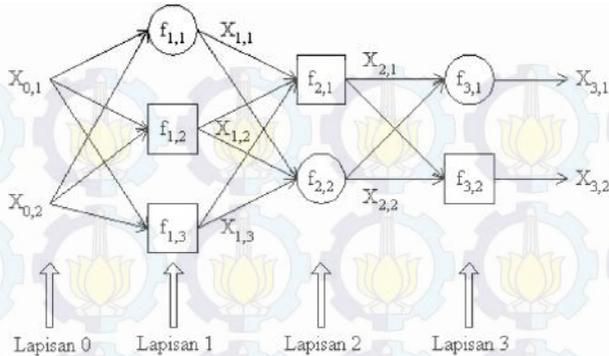
$$\mathbf{P}_i = (\mathbf{A}^T \mathbf{A})^{-1} \quad (2.24)$$

## 2.8 Proses Pembelajaran Backpropagation-error untuk Parameter Premis

Parameter premis adalah parameter adaptif dengan proses pembelajarannya menggunakan metode belajar sistem jaringan syaraf feedforward dengan gradient descent. Misalkan sebuah sistem jaringan adaptif dinyatakan dengan  $L$  lapisan dan lapisan ke- $i$  ( $i = 0, 1, \dots, L$ ;  $i = 0$  menyatakan lapisan masukan) mempunyai  $N(i)$  simpul. Keluaran dan fungsi simpul ke- $\ell$  [ $\ell = 1, \dots, N(\ell)$ ] pada lapisan ke- $\ell$  dinyatakan dengan  $x_{\ell,i}$  dan  $f_{\ell,i}$  seperti tampak pada gambar 2.22. Keluaran simpul merupakan fungsi dari sinyal yang masuk dan parameter sistem, maka diperoleh

$$x_{\ell,i} = f_{\ell,i}(x_{\ell-1,1}, \dots, x_{\ell-1, N(\ell-1)}, \alpha, \beta, \gamma, \dots) \quad (2.25)$$

dengan  $\alpha, \beta, \gamma$  adalah parameter simpul



**Gambar 2.7** Model jaringan syaraf feedforward.

Misalkan sejumlah  $P$  pasangan data untuk proses belajar jaringan adaptif, selanjutnya dapat didefinisikan pengukuran kesalahan pada data latih ke- $p$  adalah jumlah kuadrat kesalahan.

$$E_p = \sum_{k=1}^{N(L)} (d_k^p - x_{L,k}^p)^2 \quad (2.26)$$

Dengan  $d_k^p$  komponen ke- $k$  dari vektor keluaran yang diinginkan (target) dan  $x_{L,k}^p$  adalah vektor keluaran aktual yang dihasilkan sistem jaringan adaptif dengan masukan dari vektor masukan ke- $p$  dari  $P$  data training. Tujuan dari sistem adaptif adalah untuk meminimumkan pengukuran kesalahan pada persamaan (2.26) dengan mengubah parameter-parameter adaptif. Dengan mendefinisikan sinyal kesalahan  $\xi_i$  sebagai ordered derivative terhadap keluaran simpul ke- $i$ , lapisan ke- $l$ , maka ordered derivative dinotasikan dengan :

$$\xi_{l,i} = \frac{\partial^+ E_p}{\partial x_{l,i}} \quad (2.27)$$

Sinyal kesalahan untuk simpul keluaran ke- $i$  (pada lapisan  $L$ ) dapat dihitung langsung dengan:

$$\xi_{L,i} = \frac{\partial^+ E_p}{\partial x_{L,i}} = \frac{\partial E_p}{\partial x_{L,i}} \quad (2.28)$$

Jika pengukuran kesalahan seperti yang didefinisikan pada persamaan (2.26) maka persamaan (2.28) menjadi :

$$E_{Lj} = -2(d_j^p - x_{Lj}^p) \quad (2.29)$$

Untuk simpul dalam pada lapisan l posisi ke-i, sinyal kesalahan dapat diperoleh menggunakan aturan rantai.

$$\hat{e}_{i,l} = \frac{\partial^+ E_p}{\partial x_{l,i}} = \sum_{m=1}^{N(l+1)} \underbrace{\frac{\partial^+ E_p}{\partial x_{l+1,m}}}_{\text{sinyal kesalahan pada lapisan } l+1} \frac{\partial f_{l+1,m}}{\partial x_{l,i}} = \sum_{m=1}^{N(l+1)} \hat{e}_{l+1,m} \frac{\partial f_{l+1,m}}{\partial x_{l,i}} \quad (2.30)$$

Dengan  $0 \leq \ell \leq L-1$  Sinyal kesalahan simpul dalam, pada lapisan ke-l dapat dinyatakan sebagai kombinasi linier dari sinyal kesalahan simpul pada lapisan ke  $(\ell + 1)$ . Jadi untuk menghitung sinyal kesalahan pada simpul ke-i lapisan ke-l ( $\ell < L$ ), pertama digunakan persamaan (2.28) untuk mendapatkan sinyal kesalahan pada lapisan keluaran kemudian persamaan (2.30) secara iteratif sampai mencapai lapisan yang diinginkan. Prosedur diatas disebut penjarangan balik (backpropagation) karena sinyal kesalahan dihitung secara mundur dari lapisan keluaran hingga lapisan masukan. Vektor gradient didefinisikan sebagai ordered derivative dari pengukuran kesalahan terhadap tiap parameternya. Jika  $\alpha$  adalah parameter simpul ke-l lapisan ke-l, maka diperoleh :

$$\frac{\partial^+ E_p}{\partial \alpha} = \frac{\partial E_p}{\partial x_{l,i}} \frac{\partial f_{l,i}}{\partial \alpha} = \hat{e}_{l,i} \frac{\partial f_{l,i}}{\partial \alpha} \quad (2.31)$$

Jika  $\alpha$  merupakan parameter yang ada pada beberapa simpul maka persamaan (2.31) menjadi :

$$\frac{\partial^+ E_p}{\partial \alpha} = \sum_{x^* \in S} \frac{\partial^+ E_p}{\partial x^*} \frac{\partial f^*}{\partial \alpha} \quad (2.32)$$

dengan S merupakan himpunan simpul yang berisikan  $\alpha$  sebagai parameter, sedangkan  $x^*$  dan  $f^*$  adalah keluaran dan fungsi dari simpul yang bersangkutan. Turunan masing-masing secara keseluruhan terhadap pengukuran kesalahan akan menghasilkan :

$$\frac{\partial^+ E}{\partial \alpha} = \sum_{p=1}^P \frac{\partial^+ E_p}{\partial \alpha} \quad (2.33)$$

Dengan metode gradient simple steepest descent, persamaan untuk memperbaiki parameter  $\alpha$  adalah :

$$\Delta \alpha = -\eta \frac{\partial^+ E}{\partial \alpha} \quad (2.34)$$

dengan  $\eta$  adalah laju proses belajar (learning rate) yang dinyatakan dengan:

$$\eta = \frac{\alpha}{\sqrt{\sum \left( \frac{\partial E}{\partial \alpha} \right)^2}} \quad (2.35)$$

dan  $k$  adalah ukuran langkah (step size) yang dapat diubah untuk mempercepat konvergensi[6].

## 2.9 MIKROKONTROLLER

Mikrokontroler adalah sebuah rangkaian digital diintegrasikan, yang merupakan jantung dari setiap aplikasi kontrol modern. Mikroprosesor dan mikrokontroler sama, tetapi sejauh domain aplikasi yang bersangkutan, arsitektur mereka berbeda. Mikroprosesor atau CPU utamanya digunakan untuk aplikasi komputasi kecepatan tinggi. Di lain pihak mikrokontroler digunakan dalam automasi dan aplikasi kontrol. Namun sekarang domain aplikasi dari mikrokontroler telah diperluas ke sector komputasi. Contohnya banyak tertanam mikrokontroler pada modem, disk drives, floppy disk, dll. Sebelum kedatangan mikrokontroler, mikroprosesor telah dipilih untuk merealisasikan system control. Meskipun mikrokontroler telah dianggap menjadi pengganti mikroprosesor, dalam industry masih menggunakan mikroprosesor dikarenakan mereka mudah menyesuaikan, fleksibilitas, dapat memenuhi, harga murah, dan kemudahan menulis serta penanganan kode. Untuk kedepannya dalam memahami mikrokontroler, melakukan penelitian pada mikroprosesor adalah penting [7].

### 2.9.1 ARM

ARM adalah prosesor dengan arsitektur set instruksi 32-bit RISC (Reduced Instruction Set Computer) yang dikembangkan oleh ARM Holdings. ARM merupakan singkatan dari Advanced RISC Machine (sebelumnya lebih dikenal dengan kepanjangan Acorn RISC Machine).



Gambar 2.8 Mikrokontroler ARM



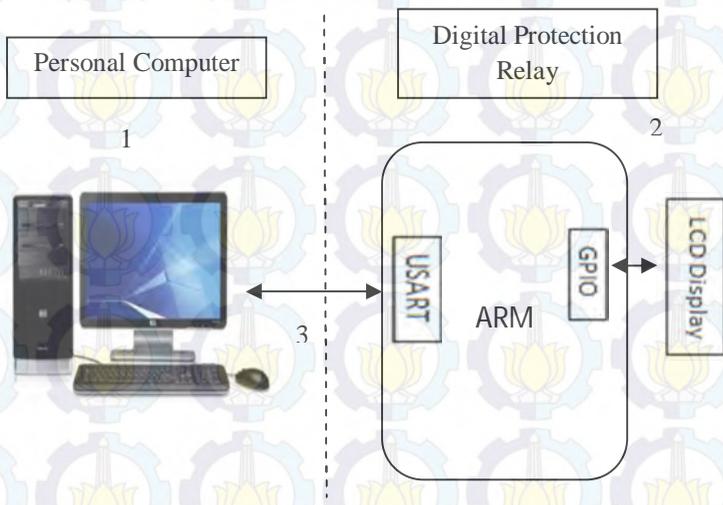
*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## BAB III

### PERANCANGAN HARDWARE DAN SOFTWARE

#### 3.1 Konfigurasi Sistem

Pada bab ini akan dijelaskan perencanaan dan pembuatan hardware dan software. Sistem yang akan dibuat terdiri dari mikrokontroller, LCD graph sebagai tampilan data, PC sebagai running ANFIS dan pengujian alat secara serial. Pada gambar 3.1. menunjukkan konfigurasi sistem yang dibuat.



Gambar 3. 1 Konfigurasi Sistem

Keterangan :

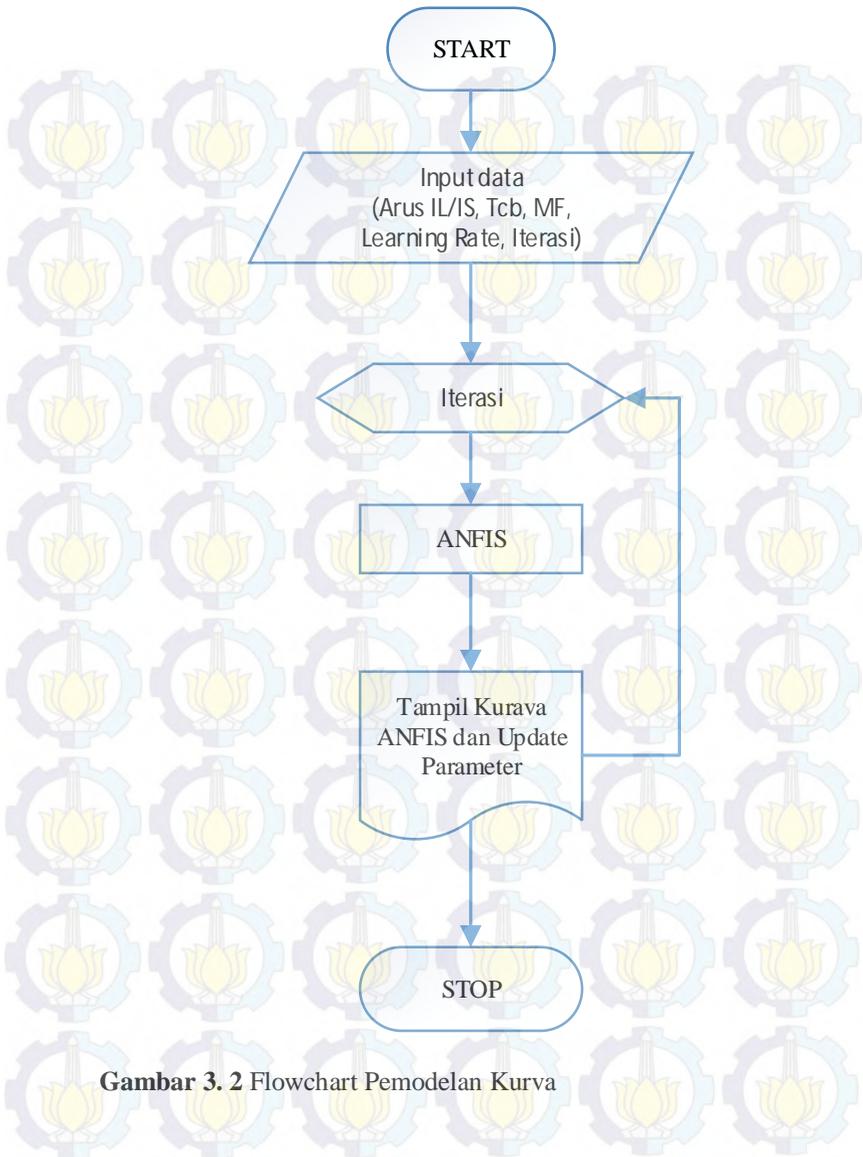
1. Personal Computer digunakan untuk memodelkan kurva *over current relay*. Setelah memodelkan dilakukan learning data menggunakan ANFIS yang telah dibuat. Hasil learning berupa kurva baru dan parameter premis konsekuen.
2. Kita menggunakan ARM sebagai *Digital Protection Relay*. Parameter dari hasil learning didownloadkan ke ARM. USART yang ada di dalam ARM berfungsi untuk melakukan komunikasi serial dengan PC. Sedangkan GPIO dihubungkan ke LCD display untuk tampilan rele.
3. Pengujian dilakukan dengan transfer data melalui komunikasi serial dari PC ke ARM. Pengujian ini dilakukan dengan mengirim arus IL/ IS ke rele kemudian rele akan menjawab dengan waktu trip.

Tugas akhir ini bertujuan untuk mendisain kurva konvensional dengan menggunakan metode *adaptive neuro fuzzy inference system (ANFIS)*. Pada penelitian terdiri dari beberapa tahap, yaitu:

1. Merancang ANFIS dan di implementasikan ke bahasa C#.
2. Merancang alat yang akan digunakan sebagai relay digital

### **3.2 Desain pemodelan kurva karakteristik inverse pada OCR menggunakan ANFIS**

Untuk tugas akhir kali ini struktur ANFIS yang digunakan yaitu 1 input 1 output. Data input yang kita gunakan yaitu data Arus IL/IS dan data waktu putus dari rele konvensional standar inverse. Dari data arus kemudian dilakukan latih data atau learning hingga batas ietarsi yang telah ditentukan. Akhir dari training data akan di peroleh parameter akhir. Parameter ini berupa parameter premis dan konsekuen yang nantinya akan di masukkan ke rele digitalnya. Flow chart dari pemodelan kurva ANFIS akan seperti berikut :



**Gambar 3. 2** Flowchart Pemodelan Kurva

Flow chart di atas menjelaskan tentang pemodelan karakteristik kurva konvensional. Dalam mendesain kurva konvensional akan digunakan bahasa C# dengan software visual studio. Langkah pertama dalam melakukan pemodelan kurva yaitu user akan menginputkan data training yang berupa Arus IL/IS dan waktu pemutusan Tcb. Selain input data training diinputkan juga nilai learning rate dan jumlah iterasi yang di inginkan. Secara umum semakin banyak jumlah itersi maka semakin kecil nilai error MSE nya.

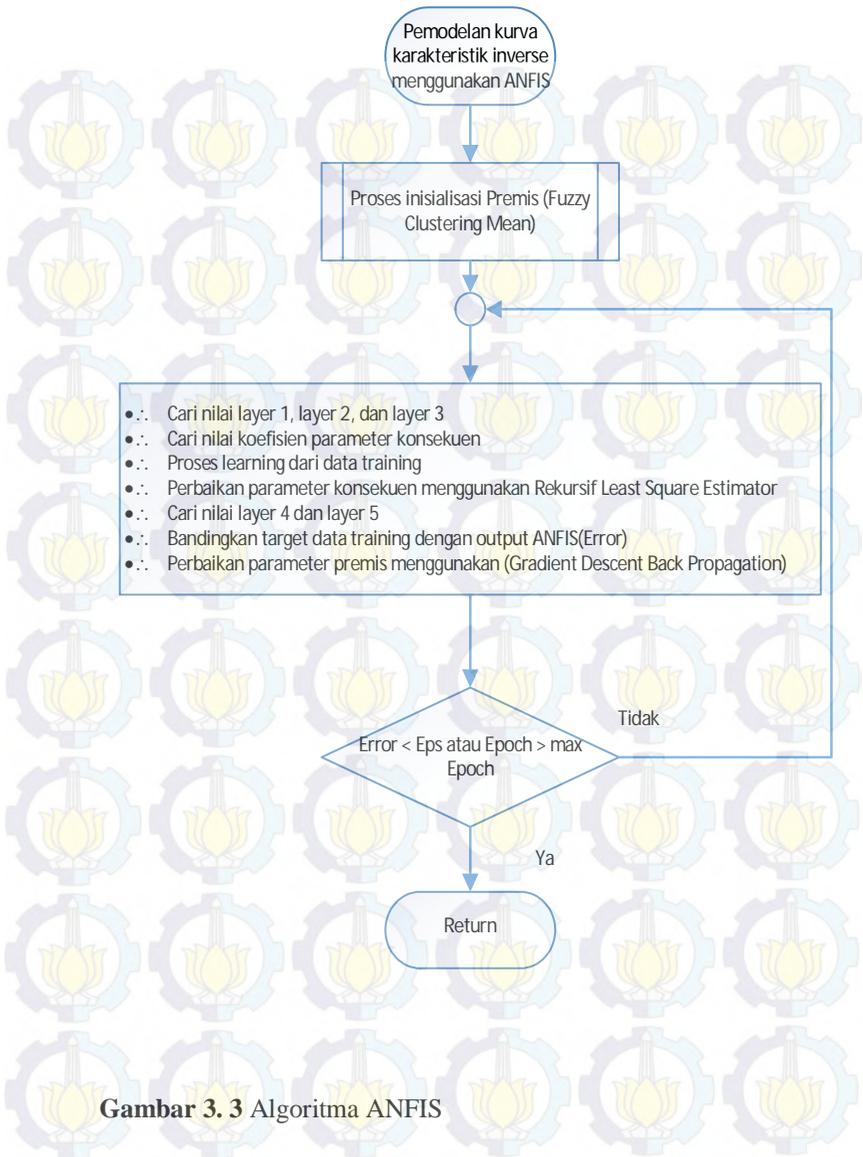
Langkah berikutnya yaitu proses training ANFIS dengan diawali inisialisasi nilai awal parameter. Inisialisasi menggunakan FCM (fuzzy clustering mean) merupakan suatu proses pengelompokan data dimana pada hasil akhir didapat parameter premis dari data yaitu perhitungan mean dan standar deviasai.

Setelah didapatkan parameter premis dari proses FCM, berikutnya masuk ke struktur ANFIS dimana pada bagaian ini data akan diolah tiap layernya. Pada layer 5 data akan manghasilkan nilai output. Pada bagian struktur ANFIS ini data akan melakukan iterasi hingga di dapat error yang sangat kecil. Error yang sangat kecil menunjukkan bahwa output mendekati atau sama dengan target.

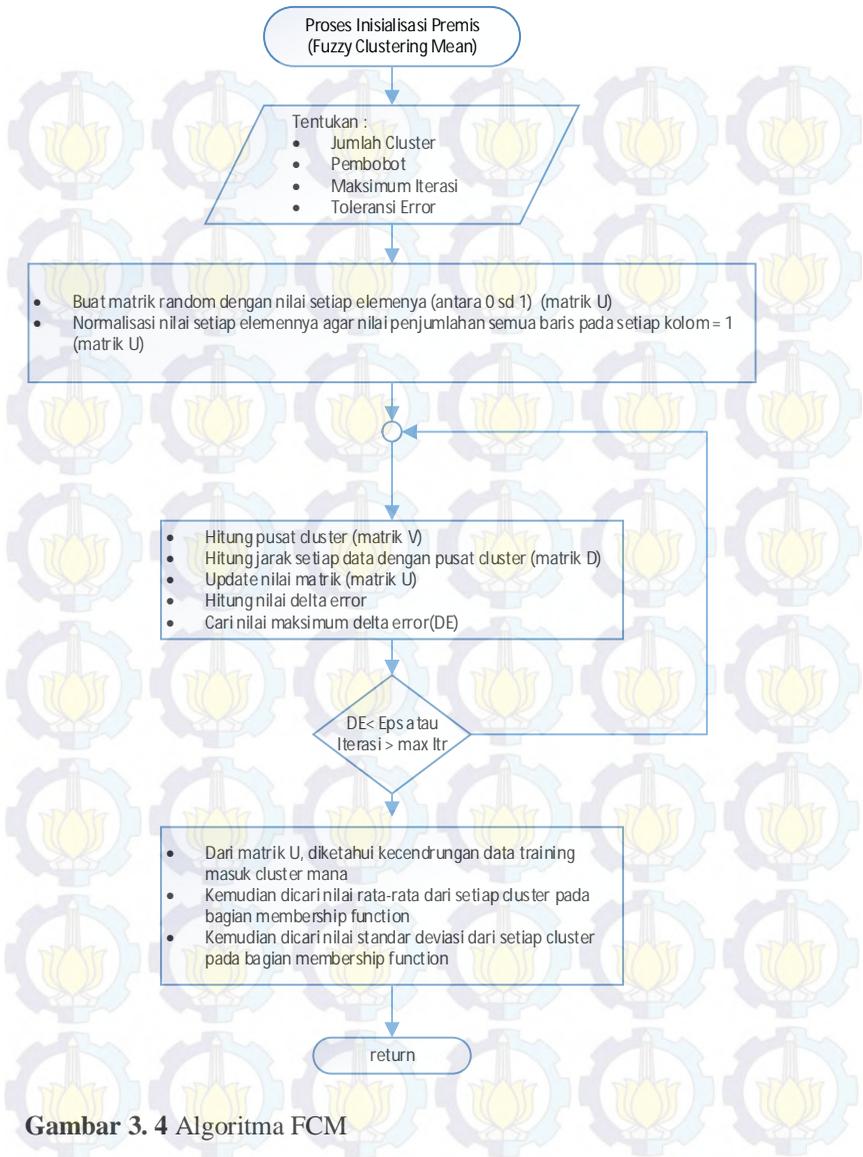
Setelah output mencapai target maka akan diperoleh parameter terbaru dan tampilan sebuah kurva ANFIS. Parameter terbaru ini adalah update dari parameter lama yang berupa premis dan konsekuen. Update keduanya didapat setelah proses training selesai. Kemudian untuk selanjutnya parameter ini di masukkan ke DPR (*digital protection relay*) untuk dilakukan pengujian.

### **3.2.1 Algoritma ANFIS**

Algoritma ANFIS yang akan digunakan untuk pemodelan kurva kurang lebih tertera di flowchart di halaman berikutnya. Berikut adalah flowchart algoritma ANFIS.



**Gambar 3. 3** Algoritma ANFIS



**Gambar 3. 4** Algoritma FCM

Jadi proses step pertama data diklompokan untuk mendapatkan parameter premis pada bagian inialisasi permis FCM.

Selanjutnya mencari nilai layer 1 sampai 3, dimana layer 1 menggunakan rumus menentukan fungsi keanggotaan dengan bentuk beta. Untuk layer merupakan perkalian dari fungsi kenggotaan yang terbentuk di layer 1, dan yang layer 3 merupakan bagian normalisasi. Selain itu pada bagian ini proses perbaikan parameter konsekuen menggunakan Least Square Estimator (LSE), dan proses perbaikan parameter premis menggunakan Gradient Descent Backpropagation. Perbaikan parameter premis dan parameter konsekuen dilakukan sampai epoch melebihi nilai maksimal epoch, atau error lebih kecil dari toleransi error yang diperbolehkan.

### **3.3 Perancangan dan Pembuatan Alat**

#### **3.3.1 Perancangan Hardware**

Untuk hardware rele digital menggunakan mikrokontroller ARM sebagai prototypenya. Selain rele dikendalikan dengan mikrokontroller rele akan menampilkan arus IL/IS dan waktu trip dengan tampilan LCD grafik 128 x 64. Berikut adalah tampilan mikrokontroller ARM yang akan digunakan sebagai prototype rele.

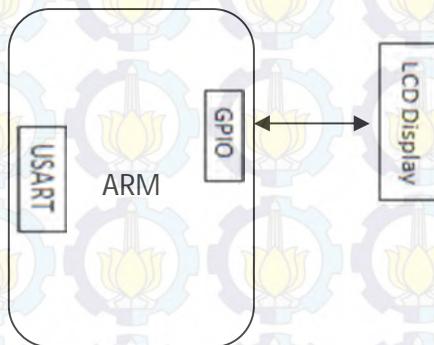


**Gambar 3. 5** Hardware Mikrokontroller ARM

LCD grafik 128 x 64 digunakan sebagai penampil data rele, jadi tujuan dari display ini hanya untuk menunjukkan apakah rele sudah bekerja sesuai dengan besarnya arus gangguan yang terjadi. Berikut ini adalah rangkaian LCD grafik 128 x 64.



**Gambar 3. 6** Rangkaian LCD grafik 128x64

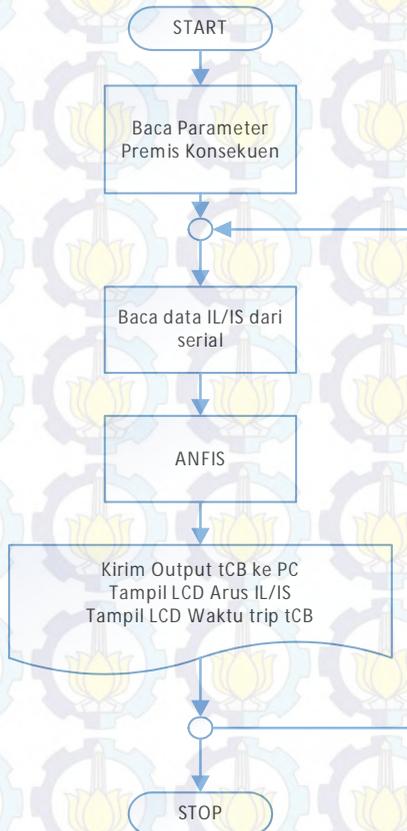


**Gambar 3. 7** Hardware Rele

### 3.3.2 Program ANFIS pada *Digital Protection Relay*

Input untuk rele ini berupa IL/IS. Inputan nilai arus ini tidak melalui sensor arus karena yang akan di rancang adalah prototype nya saja. Input dan Output alat ini akan dikirim dan diterima menggunakan USB serial. Karena seperti tujuan awal prototipe ini digunakan untuk membuktikan hasil kurvanya.

Untuk flowchartnya rele nya kurang lebih akan di tunjukkan seperti berikut :

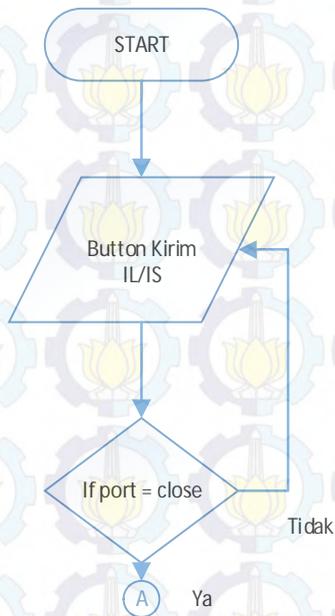


**Gambar 3. 8** Flowchart Program Mikrokontroler

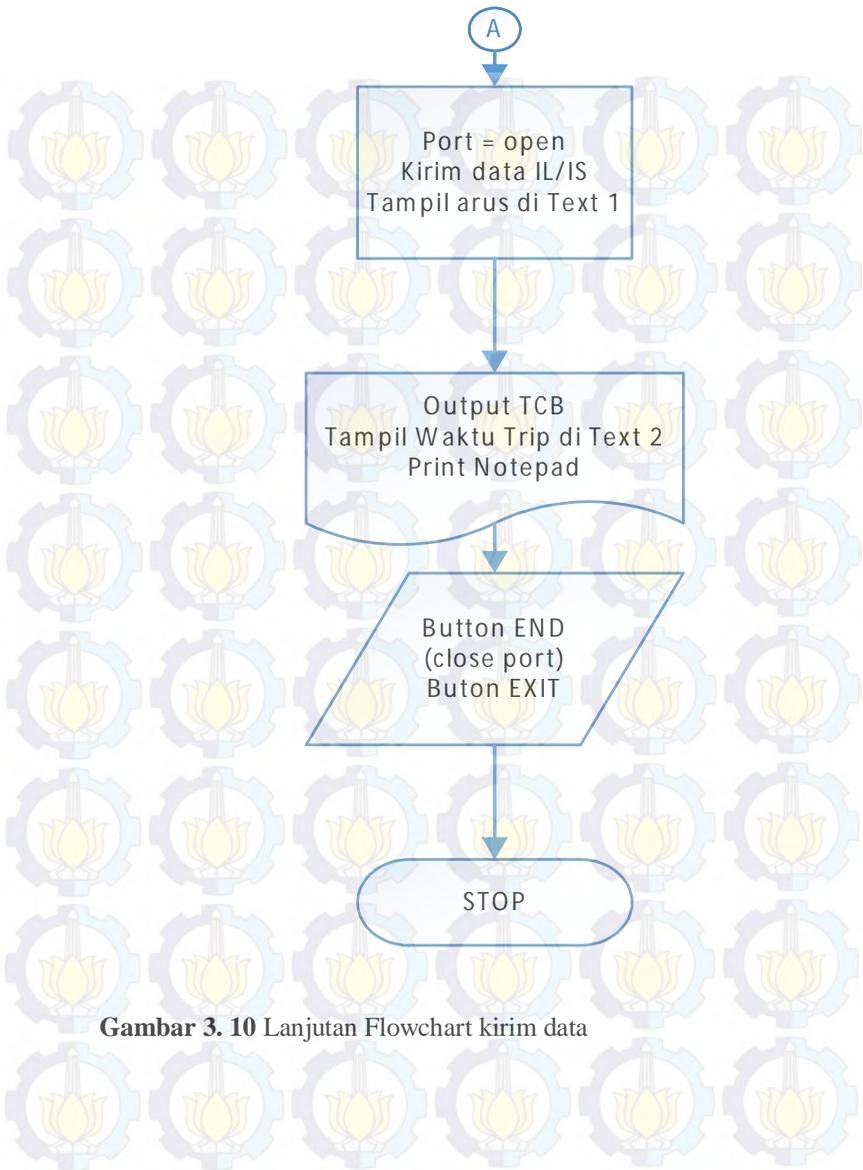
### 3.3.3 Program Komunikasi Serial

Selain dibuat program untuk alat, pada tugas akhir ini akan di buat program untuk pengiriman data arus dan penerima data waktu trip. Tujuan dibuatnya program ini untuk mengecek hasil kurva over current relay nanti seperti apa. Dan hasil kurva dari alat ini akan dibandingkan dengan kurva ANFIS yang telah di training sebelumnya.

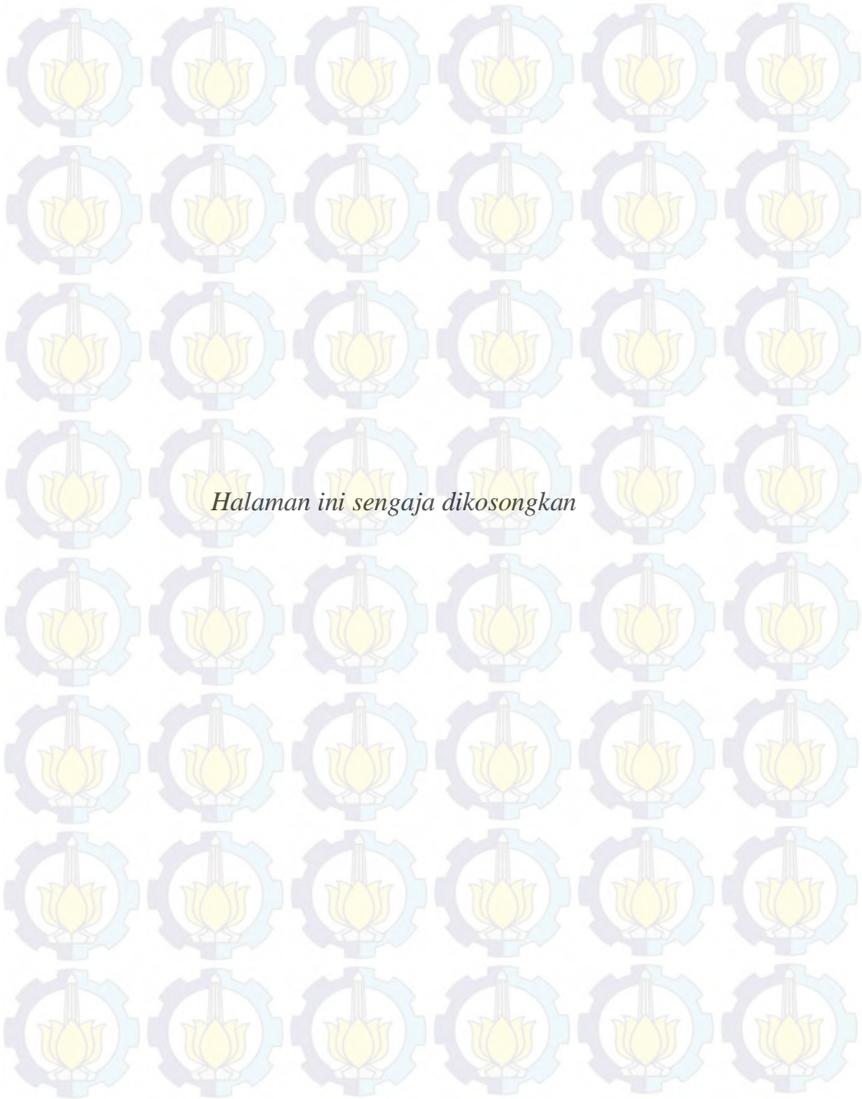
Flowchart program pengiriman arus IL/IS dan data terima waktu trip akan di tunjukkan berikut :



**Gambar 3. 9** Flowchart Program kirim dan terima data

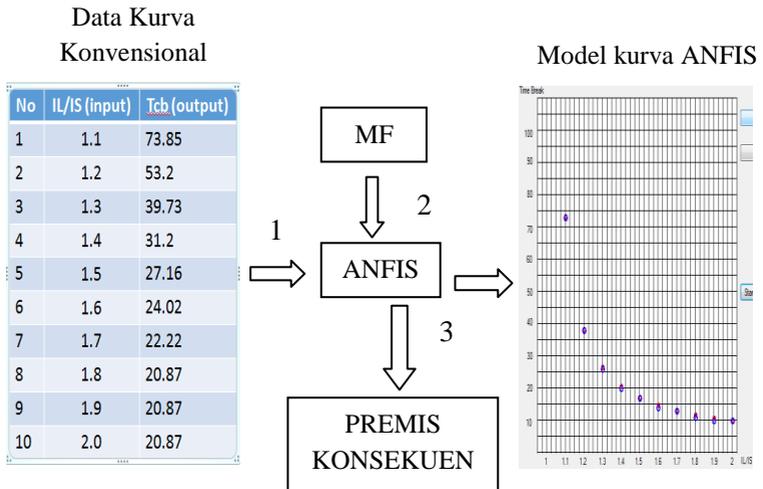


**Gambar 3. 10** Lanjutan Flowchart kirim data



## BAB IV HASIL PENGUJIAN DAN ANALISIS

Pada bab IV ini akan di lakukan pengujian, pengujian tersebut meliputi pengujian software program yang telah dibuat dengan menggunakan metode ANFIS, dan juga pengujian kinerja hardware menggunakan Mikrokontroller ARM sebagai prototype rele nya.

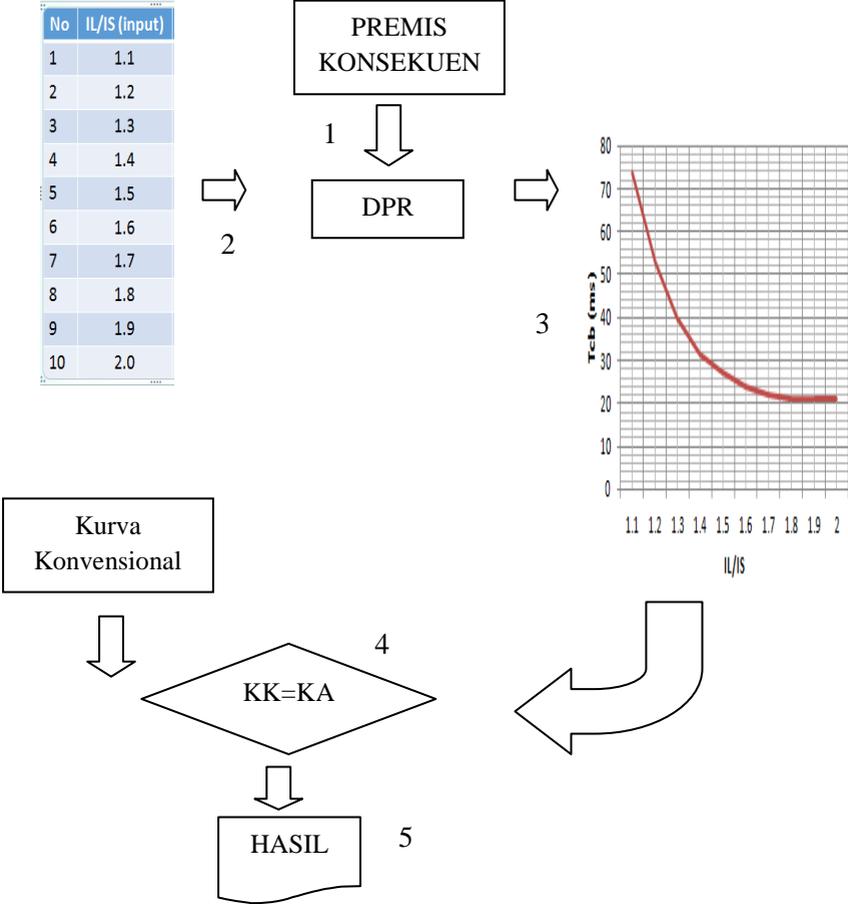


**Gambar 4. 1** Pengujian software program

Keterangan :

1. Data kurva konvensional inverse di masukkan ke program ANFIS
2. Dimasukkan nilai MF
3. Output ANFIS menghasilkan kurva baru dan didapatkan parameter Premis dan Konsekuen

Berikut merupakan bagan pengujian Digital Protection Relay serta membandingandengan kurva ANFIS dengan kurva Konvensional.



**Gambar 4. 2** Pengujian Digital Protection Rele

Keterangan :

1. Download parameter Premis dan Konsekuen hasil learning ANFIS
2. Masukkan data arus ke DPR, tiap 1 data arus yang masuk maka DPR akan menampilkan waktu trip
3. Keluaran DPR berupa data waktu trip sehingga jika di urutkan akan membentuk sebuah kurva inverse
4. Membandingkan kurva konvensional dengan kurva ANFIS dari DPR
5. Hasil dari perbandingan dapat diketahui apakah hasilnya sama atau tidak, sehingga dapat diketahui nilai errornya

#### **4.1 Pengujian Keakuratan dengan merubah *Membership Function***

Pengujian pertama akan dilakukan pengujian kurva konvensional dengan mentraining hingga mendapat error terkecil. Pengujian ini dilakukan dengan merubah nilai derajat keanggotaannya (*Membership Function*). Data rele yang akan di training berupa data input arus IL/IS dimana merupakan arus beban per arus setting. Selain data arus, akan di masukkan data tcb atau waktu trip CB sebagai target training.

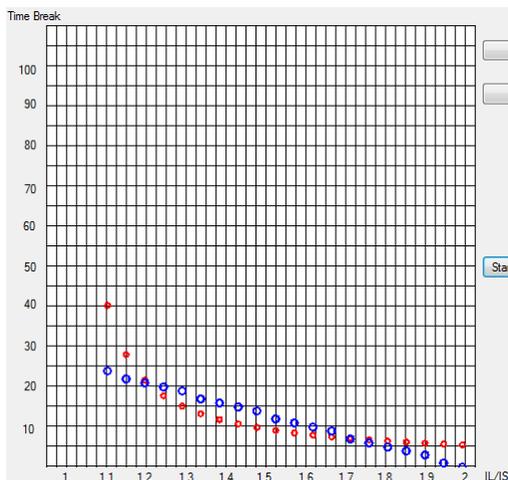
**Tabel 4. 1** Data Input Kurva Konvensional

No	IL/IS	Tcb (ms)	No	IL/IS	Tcb (ms)
1	1,10	40,35	11	1,56	8,51
2	1,14	28,06	12	1,61	7,99
3	1,19	21,70	13	1,66	7,53
4	1,24	17,82	14	1,70	7,14
5	1,28	15,20	15	1,75	6,80
6	1,33	13,31	16	1,80	6,49
7	1,38	11,88	17	1,84	6,22
8	1,42	10,77	18	1,89	5,97
9	1,47	9,87	19	1,94	5,75
10	1,52	9,13	20	1,98	5,55

Dari data rele konvensional diatas akan dilakukan training dengan memasukkan nilai membership function. MF yang dimasukkan dimulai dari yang terkecil yaitu 1 hingga yang terbesar di program ANFIS ini yaitu 10. Untuk MF dengan nilai 1 didapat hasil keluaran jauh dari target dengan nilai MSE 486,067. Hasil table output ANFIS dengan MF 1 ditunjukkan pada tabel berikut

**Tabel 4. 2** Data Kurva ANFIS dengan MF1

No	IL/IS	Tcb (ms)	No	IL/IS	Tcb (ms)
1	1,10	24,00	11	1,56	11,69
2	1,14	22,77	12	1,61	10,46
3	1,19	21,53	13	1,66	9,22
4	1,24	20,30	14	1,70	7,99
5	1,28	19,07	15	1,75	6,76
6	1,33	17,84	16	1,80	5,53
7	1,38	16,61	17	1,84	4,30
8	1,42	15,38	18	1,89	3,07
9	1,47	14,15	19	1,94	1,84
10	1,52	12,92	20	1,98	0,61

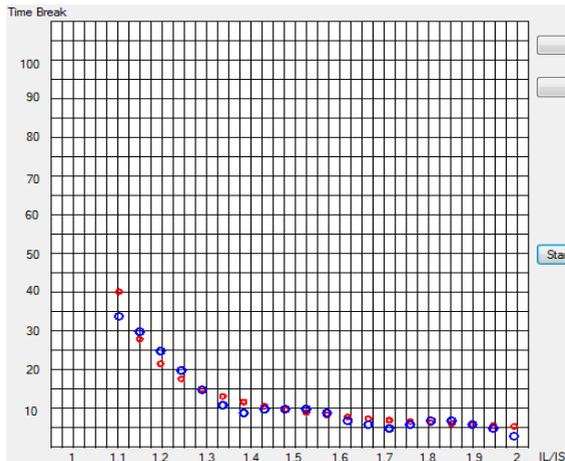


**Gambar 4. 3** Kurva ANFIS dengan MF 1

Pada gambar 4.3 menunjukkan bahwa kurva konvensional tertera pada titik merah, sedangkan untuk kurva ANFIS tertera pada titik biru. Jadi dari gambar tersebut dapat dikatakan output ANFIS belum mendekati target. Berikutnya dengan data input yang sama dilakukan training data dengan meningkatkan nilai membership function menjadi 3. Setelah di training didapatkan tabel output ANFIS sebagai berikut

**Tabel 4. 3** Data Kurva ANFIS dengan MF 3

No	IL/IS	Tcb (ms)	No	IL/IS	Tcb (ms)
1	1,10	34,96	11	1,56	9,45
2	1,14	30,19	12	1,61	7,47
3	1,19	25,16	13	1,66	6,06
4	1,24	20,04	14	1,70	5,98
5	1,28	15,25	15	1,75	6,86
6	1,33	11,58	16	1,80	7,67
7	1,38	9,88	17	1,84	7,73
8	1,42	10,11	18	1,89	6,94
9	1,47	10,91	19	1,94	5,46
10	1,52	10,82	20	1,98	3,49



**Gambar 4. 4** Kurva ANFIS dengan MF 3

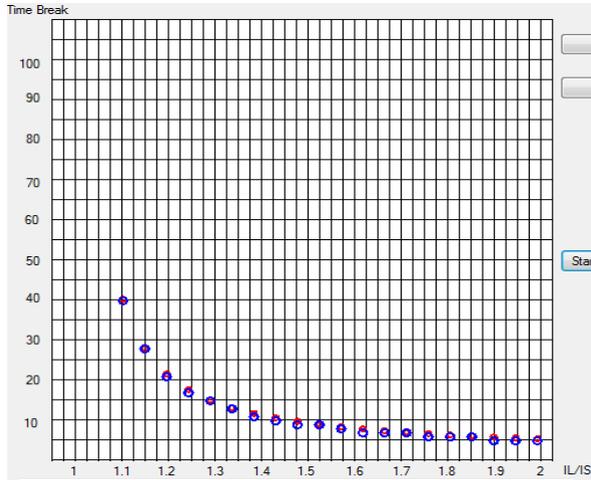
Tabel 4.3 menunjukkan bahwa data waktu trip mulai naik mendekati target. Dengan meningkatkan nilai membership function menjadi 3 menunjukkan perbaikan data output. Data ANFIS diatas memperoleh nilai MSE sebesar 75,46. Dengan turunnya nilai error berarti kurva ANFIS mulai mendekati target. Hal ini dapat ditunjukkan seperti pada gambar 4.4.

Selanjutnya membership function di tingkatkan menjadi 5, 8, dan terakhir 10. Untuk pengujian dengan nilai MF 10 didapat nilai MSE terkecil yaitu 2,39E-20. Dimana hasil data kurva ANFIS telah mendekati atau sama dengan data kurva konvensional.

**Tabel 4. 4** Data Kurva ANFIS dengan MF 10

No	IL/IS	Tcb (ms)	No	IL/IS	Tcb (ms)
1	1,10	40,35	11	1,56	8,51
2	1,14	28,06	12	1,61	7,99
3	1,19	21,70	13	1,66	7,53
4	1,24	17,82	14	1,70	7,14
5	1,28	15,20	15	1,75	6,80
6	1,33	13,31	16	1,80	6,49
7	1,38	11,88	17	1,84	6,22
8	1,42	10,77	18	1,89	5,97
9	1,47	9,87	19	1,94	5,75
10	1,52	9,13	20	1,98	5,55

Dari tabel diatas didapatkan sebuah data kurva ANFIS yang nilainya sama dengan kurva konvensional. Sehingga pada bentuk kurvanya kurva baru akan menindih persis kurva lama. Hal ini dapat ditunjukkan pada gambar berikut.



**Gambar 4. 5** Kurva ANFIS dengan MF 10

Dengan hasil error yang sangat kecil maka parameter pada kurva ANFIS MF 10 ini diambil untuk diujikan di *digital protection relay*.

Dari keseluruhan pengujian nilai MF didapatkan data tabel MF terhadap MSE (Mean Squared Error). Dalam tabel ini menunjukkan bahwa semakin besar nilai *membership function* semakin kecil error yang didapatkan.

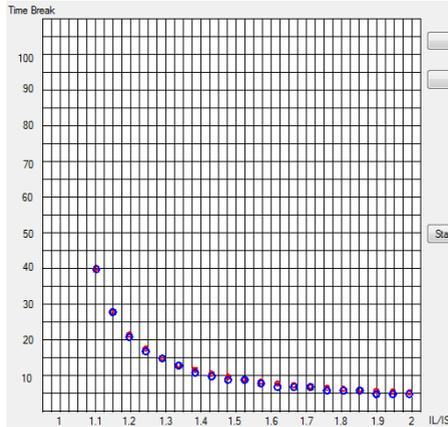
**Tabel 4. 5** Data MF terhadap MSE

MF	1	3	5	8	10
MSE	486,067	75,463	25,621	5,764	2,39E-20

## 4.2 Pengujian Keakuratan dengan merubah Learning Rate

Pengujian berikutnya dilakukan pengujian keakuratan dengan merubah nilai *learning rate* atau laju pembelajaran. Dalam pengujian ini telah ditentukan nilai MF dari pengujian sebelumnya bahwa makin besar MF tingkat keakuratan semakin bagus. Maka nilai MF yang akan dimasukkan dalam pengujian ini adalah 10.

Untuk *learning rate* secara teori bernilai  $0 < lr < 1$ . Dengan data kurva konvensional yang sama akan di training dengan nilai *learning rate* yang berbeda.



**Gambar 4. 6** Kurva ANFIS dengan LR 0,2

Pertama dengan diberikan nilai *learning rate* sebesar 0,2, didapatkan kurva ANFIS pada gambar 4.6. Hasil kurva ANFIS telah diperoleh kurva yang sama dengan sebelumnya. Pada pengujian ini diperoleh nilai MSE  $1,451E-20$ .

Berikutnya dilakukan pengujian dengan diberikan nilai *lr* 0,3, didapatkan kurva ANFIS yang sama. Namun disini menunjukkan nilai MSE yang berbeda yaitu sebesar  $2,036E-20$ . Nilai ini lebih besar dari nilai MSE sebelumnya, hal ini menunjukkan laju pembelajaran atau *learning rate* mempengaruhi tingkat keakuratannya.

Selanjutnya dilakukan pengujian dengan *learning rate* bernilai 0,5, 0,7, dan 0,9. Dari hasil pengujian keseluruhan didapatkan tabel berikut.

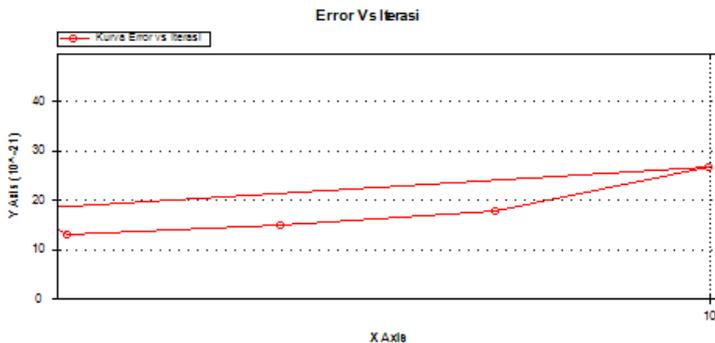
**Tabel 4. 6** Data LR terhadap MSE

LR	0,2	0,3	0,5	0,7	0,9
MSE	$1,45E-20$	$2,03E-20$	$2,23E-22$	$4,57E-22$	$4,62E-22$

dari tabel 4.6 ditunjukkan bahwa nilai MSE terkecil ditunjukkan pada *learning rate* 0,5. Selain itu pada pengujian ini MSE yang dihasilkan dari *learning rate* yang berbeda tidak tentu, namun diantaranya dapat diperoleh nilai MSE terkecil. Dengan nilai MSE terkecil tersebut maka *learning rate* 0,5 paling bagus di gunakan pada training data.

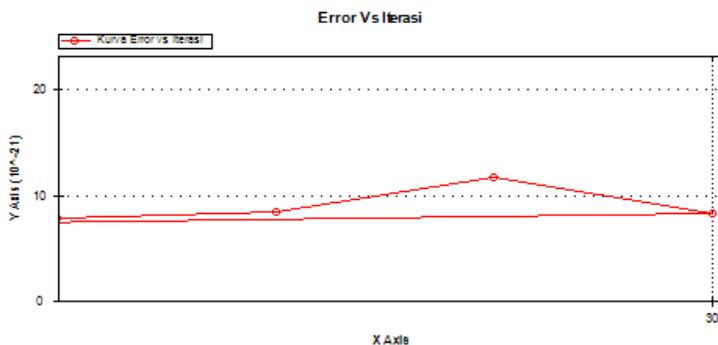
### 4.3 Pengujian Keakuratan dengan merubah Jumlah Iterasi

Selanjutnya dilakukan pengujian keakuratan dengan mengubah nilai iterasi. Kedua pengujian sebelumnya kita telah mendapatkan nilai *membership function* dan nilai *learning rate* sehingga dapat dihasilkan nilai MSE yang kecil. Dengan kedua data sebelumnya, pengujian ini akan dikombinasikan dengan merubah rubah nilai itersi. Data yang akan digunakan dalam pengujian ini sama dengan sebelumnya. Pengujian pertama digunakan 10 iterasi selama proses training data berlangsung.



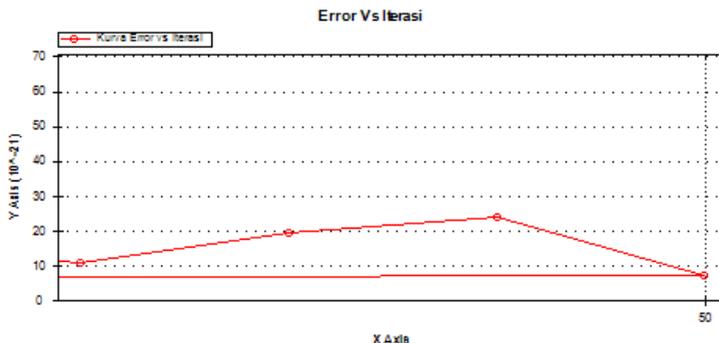
**Gambar 4. 7** Kurva MSE dengan 10 kali Iterasi

Hasil dari pengujian ditunjukkan pada gambar 4.7, gambar tersebut menunjukkan bahwa pada iterasi ke 10 nilai MSE telah mencapai  $2,66E-20$ . Hasil ini menunjukkan bahwa data training telah mencapai target yang diinginkan. Selanjutnya dilakukan pengujian data dengan 30 iterasi.



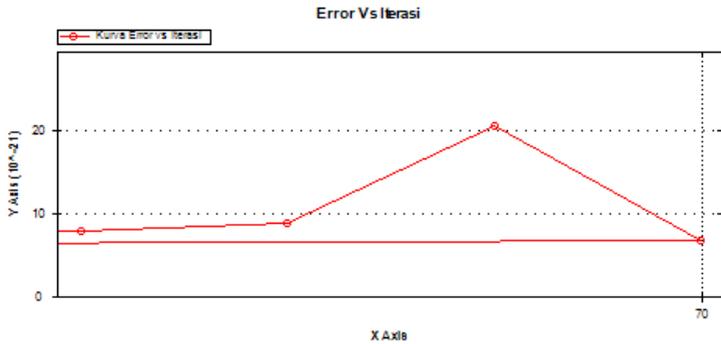
**Gambar 4. 8** Kurva Error dengan 30 kali Iterasi

Setelah pengujian dengan 30 iterasi didapatkan turunnya nilai MSE. Dari  $2,66E-20$  menjadi  $8,20E-21$ , namun jika di lihat dari grafik kurva pada gambar 4.8 MSE sempat turun dengan pada iterasi ke 28 dan naik pada iterasi ke 29. Namun hasil MSE yang sangat kecil dapat dikatakan sudah bagus, karena sesuai tujuan data telah hampir mendekati target. Berikutnya dilakukan pengujian dengan input 50 iterasi.



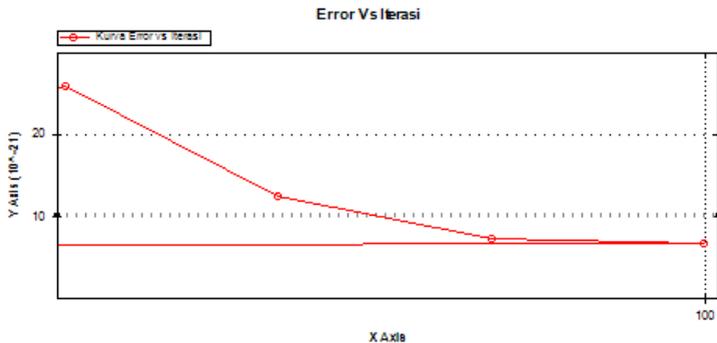
**Gambar 4. 9** Kurva Error dengan 50 kali Iterasi

Dengan 50 kali iterasi telah didapatkan nilai MSE yang jauh lebih kecil dari sebelumnya yaitu  $7,10E-21$ . Pengujian ini berlanjut dengan data iterasi 70 kali.



**Gambar 4. 10** Kurva Error dengan 70 kali Iterasi

Dengan iterasi sebanyak 70 kali didapatkan hasil MSE sebesar  $6,75E-21$ . Hasil ini menunjukkan bahwa banyaknya iterasi mempengaruhi nilai MSE atau *Mean Squared Error*. Dan yang terakhir dilakukan pengujian keakuratan dengan 100 kali iterasi.



**Gambar 4. 11** Kurva Error dengan 100 kali Iterasi

Gambar 4.11 menunjukkan bahwa nilai MSE dengan 100 kali iterasi adalah  $6,74E-21$ . Dari keseluruhan pengujian keakuratan dengan

jumlah iterasi dapat diketahui bahwa banyaknya iterasi menghasilkan tingkat keakuratan yang bagus dengan nilai error yang sangat kecil.

#### 4.4 Pengujian 4 jenis kurva Inverse Konvensional

Kurva konvensional inverse secara umum dibagi menjadi 4, yaitu *standart inverse*, *very inverse*, *extremely inverse*, dan *long time inverse*. Pada pengujian kali ini akan dilakukan pengujian data training dengan 4 jenis kurva diatas. Pada pengujian ini hanya dilakukan training di setiap jenis kurva.

##### 4.4.1 Standart Inverse

Data pada pengujian *Standart Inverse* telah didapat sebelumnya dari rele ocr di salah satu plan PT HESS. Jadi data rele kurang lebih sudah ditunjukkan pada tabel 4.1. Untuk perhitungannya sendiri menggunakan rumusan berikut.

$$tcb = \frac{0,14 \times D}{\left(\frac{IL}{IS}\right)^{0,02} - 1}$$

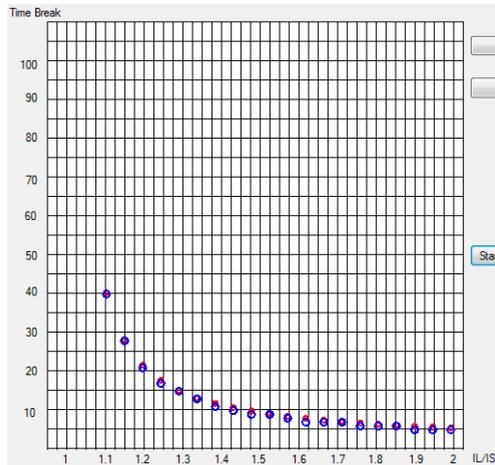
Pada data 4.1 yang sudah diketahui IL/IS dan tcb, jadi yang belum ditemukan yaitu nilai D atau *time dial*. Maka dapat dihitung misalkan IL/IS 1,1 dan tcb 40,35 maka D dapat diketahui.

$$40,35 = \frac{0,14 \times D}{(1,1)^{0,02} - 1}$$

$$0,076 = 0,14 \times D$$

$$D = 0,55$$

Nilai D tersebut dapat digunakan untuk perhitungan mencari tcb pada *very inverse*, *extremely inverse*, dan *long time inverse*. Selanjutnya data tabel 4.1 diplot dan ditraining.



**Gambar 4. 12** Kurva Standar Inverse

Pengujian kurva standar inverse telah didapat hasil training yang mendekati target dengan nilai MSE 1,43E-20.

#### 4.4.2 Very Inverse

Dengan data IL/IS dan *time dial* yang sama dengan kurva *standart inverse*, maka nilai tcb pada kurva *very inverse* dapat diketahui dengan perhitungan menggunakan rumus berikut.

$$tcb = \frac{13,5 \times D}{\left(\frac{Il}{IS}\right) - 1}$$

Dari data tabel 4.1 IL/IS bernilai 1,1 dan diperhitungan sebelumnya D diketahui bernilai 0,55. Maka perhitungan dengan rumus very inverse seperti berikut.

$$tcb = \frac{13,5 \times 0,55}{1,1 - 1}$$

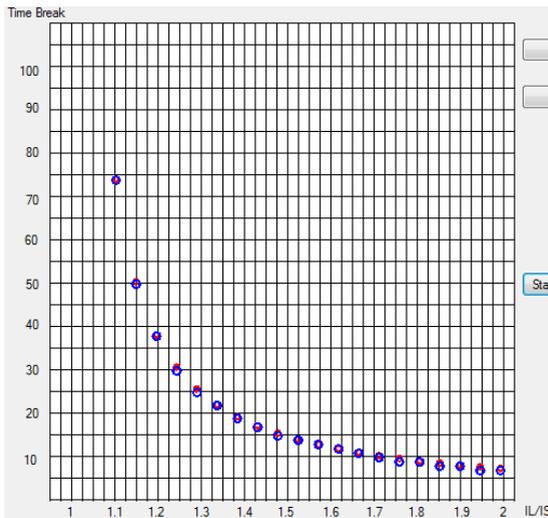
$$tcb = 74,25$$

Begitu juga dengan 19 data IL/IS berikutnya dapat diketahui tcbnya dengan cara melakukan perhitungan seperti pada rumus *very inverse*

diatas. Setelah semua perhitungan dilakukan didapatkan data sebagai berikut

**Tabel 4. 7** Data Kurva Very Inverse

No	IL/IS	Tcb (ms)	No	IL/IS	Tcb (ms)
1	1,10	74,25	11	1,56	13,06
2	1,14	50,56	12	1,61	12,06
3	1,19	38,33	13	1,66	11,21
4	1,24	30,87	14	1,70	10,47
5	1,28	25,84	15	1,75	9,82
6	1,33	22,21	16	1,80	9,25
7	1,38	19,48	17	1,84	8,74
8	1,42	17,35	18	1,89	8,28
9	1,47	15,64	19	1,94	7,87
10	1,52	14,23	20	1,98	7,50



**Gambar 4. 13** Kurva Very Inverse

Berbeda dengan *standart inverse*, kurva *very inverse* memiliki waktu trip lebih lama dari *standart inverse*. Dari pengujian kurva ini didapatkan nilai MSE sebesar 2,28E-20. Sesuai dengan hasil error

pada gambar 4.13 menunjukkan kurva ANFIS hampir menyamai kurva konvensional *very inverse*.

#### 4.4.3 Extrimely Inverse

Kurva extrimely inverse memiliki karakteristik waktu trip lebih lama dari kurva very inverse, selain itu dilihat dari bentuk kurva extremely ini memiliki tingkat kecuraman yang lebih disbanding dengan ketiga kurva lain. Untuk menentukan tcb kurva ini dapat dilakukan dengan perhitungan dengan menggunakan rumus berikut.

$$tcb = \frac{80 \times D}{\left(\frac{Il}{Is}\right)^2 - 1}$$

Dengan rumusan tersebut dapat ditentukan tcb pada setiap data IL/IS yang ada di tabel 4.1. Sebagai contoh perhitungannya akan dilakukan seperti berikut.

$$tcb = \frac{80 \times 0,55}{(1,1)^2 - 1}$$

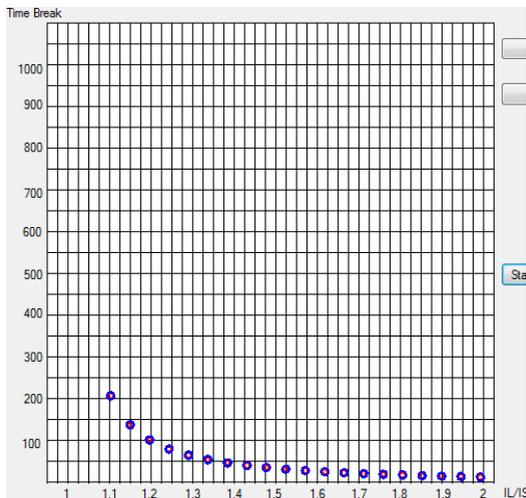
$$tcb = 209,52$$

Dengan dilakukan perhitungan pada 19 data IL/IS berikutnya maka akan didapat sebuah data yang membentuk kurva karakteristik extremely inverse. Data tersebut dicantumkan di tabel berikut.

**Tabel 4. 8** Data Kurva Extrimely Inverse

No	IL/IS	Tcb (ms)	No	IL/IS	Tcb (ms)
1	1,10	209,52	11	1,56	30,14
2	1,14	139,57	12	1,61	27,34
3	1,19	103,56	13	1,66	24,96
4	1,24	81,65	14	1,70	22,91
5	1,28	66,94	15	1,75	21,12
6	1,33	56,40	16	1,80	19,56
7	1,38	48,50	17	1,84	18,18
8	1,42	42,35	18	1,89	16,95
9	1,47	37,45	19	1,94	15,85
10	1,52	33,45	20	1,98	14,86

Dari tabel 4.8 dapat diplotkan menjadi bentuk kurva karakteristik extremely inverse. Seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.14 kurva extremely inverse tampil, namun pada gambar tersebut tidak menunjukkan bentuk curam pada bentuk kurva. Hal ini disebabkan penskalaan pada program ini diperkecil, oleh karena itu bentuk kurva tidak bisa terlihat jelas. Dari gambar terlihat bahwa setelah di training, kurva ANFIS dapat menyesuaikan dengan bentuk kurva konvensional extremely inversenya. Selain itu dari hasil pengujian didapatkan nilai MSE sebesar  $3,73E-19$ .



**Gambar 4. 14** Kurva Extrimely Inverse

#### 4.4.4 Long Time Inverse

Dan yang terakhir dilakukan pengujian kurva long time inverse. Sama dengan pengujian 3 kurva sebelumnya, data dari long time inverse didapat dari tabel 4.1. Untuk tcb dapat dicari dengan perhitungan yang menggunakan rumus berikut.

$$tcb = \frac{120 \times D}{\left(\frac{Il}{Is}\right) - 1}$$

Sehingga dari rumusan tersebut dapat diketahui nilai tcb atau waktu trip dari rele dengan karakteristik long time inverse. Sebagai contoh perhitungan dimisalkan IL/IS kita ambil nilai 1,42 maka tcb nya adalah

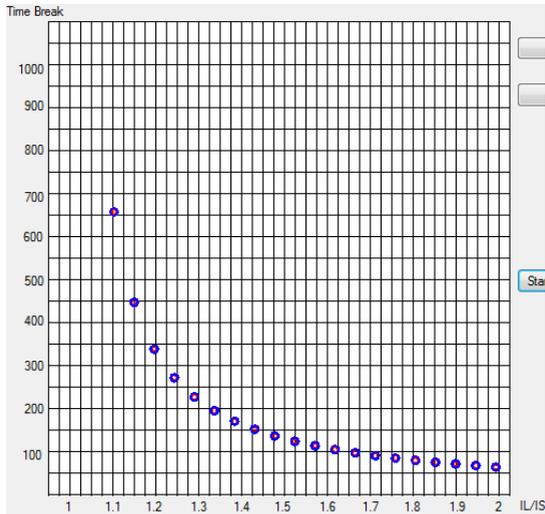
$$tcb = \frac{120 \times 0,55}{(1,42) - 1}$$

$$tcb = 157,4$$

Maka waktu trip saat terdapat arus IL/IS adalah 157,4 ms. Begitu juga dengan 19 data IL/IS lainnya dapat dihitung menggunakan perumusan tersebut. Dari keseluruhan perhitungan maka di dapatkan data pada tabel berikut.

**Tabel 4. 9** Data Kurva Long Time Inverse

No	IL/IS	Tcb (ms)	No	IL/IS	Tcb (ms)
1	1,10	660	11	1,56	116,12
2	1,14	449,48	12	1,61	107,28
3	1,19	340,78	13	1,66	99,69
4	1,24	274,42	14	1,70	93,10
5	1,28	229,69	15	1,75	87,33
6	1,33	197,50	16	1,80	82,23
7	1,38	173,22	17	1,84	77,70
8	1,42	154,26	18	1,89	73,64
9	1,47	139,04	19	1,94	69,98
10	1,52	126,55	20	1,98	66,67



**Gambar 4. 15** Kurva Long Time Inverse

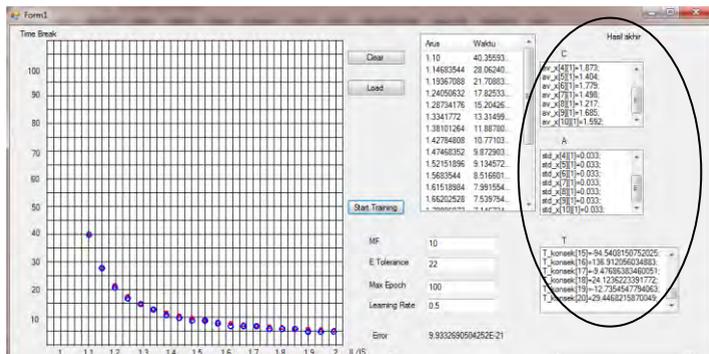
Dari hasil perhitungan dan plot kurva didapat diketahui bahwa waktu trip pada kurva long time inverse ini lebih lama dari 3 kurva lainnya. Selain itu kurva ANFIS menyesuaikan dengan kurva konvensionalnya. Dalam pengujian ini didapatkan nilai MSE sebesar  $1,27E-18$ .

#### 4.5 Pengujian Digital Protection Relay

Pada bagian ini akan dilakukan pengujian alat, dimana alat yang akan digunakan sebagai prototype rele adalah mikrokontroler dengan tampilan LCD grafik. Pengujian ini dilakukan menggunakan USB serial untuk input output data. Untuk input rele ini berupa data arus IL/IS, sedangkan untuk output berupa data waktu trip. Pengujian ini bertujuan hanya untuk mengecek hasil kurva yang menunjukkan sebuah kerja rele.

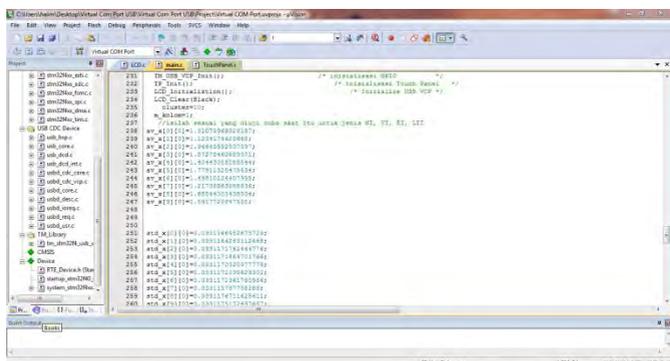
Pertama akan dilakukan learning data kurva konvensional. Data yang di uji menggunakan data tabel 4.1

- Melakukan learning hingga mendapat nilai MSE minimal
- Mengambil parameter premis dan konsekuen. Parameter premis disini ditunjukkan pada listbox C dan A, sedangkan parameter konsekuen ditunjukkan pada ditunjukkan pada list box T.



**Gambar 4. 16** Mengambil parameter Premis dan Konsekuen

- Memindahkan kedua parameter tersebut ke program mikrokontroller



**Gambar 4. 17** Masukkan parameter ke program mikrokontroller

- Mendownloadkan program ke alat
- Melakukan pengujian

Berikutnya dilakukan pengujian rele, dimana yang akan dilakukan menginputkan nilai arus IL/IS dan selanjutnya rele akan menjawab berapa ms waktu trip nya.



**Gambar 4. 18** Pengujian Digital Protection Relay

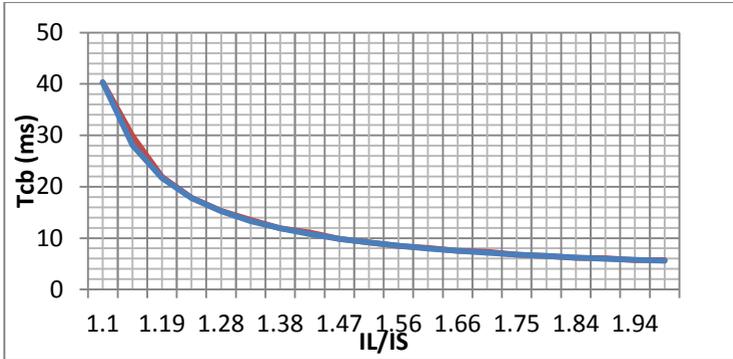
Untuk menginputkan data secara serial kita dapat menggunakan aplikasi H-term, selain itu kita dapat melakukan pengujian dengan membuat program kirim data dengan menggunakan aplikasi visual studio. Dari data keseluruhan yang di ujikan nantinya akan dikumpulkan dan dibentuk kurva dengan menggunakan ms excel.

**Tabel 4. 10** Hasil pengujian DPR

No	IL/IS	Tcb (ms)	No	IL/IS	Tcb (ms)
1	1,10	40,35	11	1,56	8,49
2	1,14	29,88	12	1,61	8,11
3	1,19	21,90	13	1,66	7,53
4	1,24	17,87	14	1,70	7,31
5	1,28	15,32	15	1,75	6,77
6	1,33	13,57	16	1,80	6,53
7	1,38	11,89	17	1,84	6,17
8	1,42	11,09	18	1,89	6,07
9	1,47	9,87	19	1,94	5,73
10	1,52	9,18	20	1,98	5,72

**Tabel 4. 11** Perbandingan antara Konvensional dengan ANFIS

No	IL/IS	Kurva Konvensional Tcb (ms)	Kurva ANFIS Tcb (ms)	Error %
1	1,10	40,35	40,35	0%
2	1,14	28,06	29,88	6%
3	1,19	21,70	21,90	0,9%
4	1,24	17,82	17,87	0,2%
5	1,28	15,20	15,32	0,7%
6	1,33	13,31	13,57	1,9%
7	1,38	11,88	11,89	0%
8	1,42	10,77	11,09	2,8%
9	1,47	9,87	9,87	0%
10	1,52	9,13	9,18	0,5%
11	1,56	8,51	8,49	0,2%
12	1,61	7,99	8,11	1,4%
13	1,66	7,53	7,53	0%
14	1,70	7,14	7,31	2,3%
15	1,75	6,80	6,77	0,4%
16	1,80	6,49	6,53	0,6%
17	1,84	6,22	6,17	0,8%
18	1,89	5,97	6,07	1,6%
19	1,94	5,75	5,73	0,3%
20	1,98	5,55	5,72	2,9%



**Gambar 4.19** Perbandingan antara Kurva DPR dengan Kurva Konvensional

Keterangan :

- : Kurva Konvensional
- : Kurva DPR

Dari data tabel 4.11 maupun gambar kurva diatas menunjukkan bahwa kurva DPR dari hasil learning dapat mengikuti kurva konvensional. Namun pada kurva DPR masih terlihat error% terhadap kurva konvensional saat arus IL/IS 1,14. Tetapi error% ini sangat kecil dan tidak terlalu jauh.

Dari keseluruhan yang dilakukan pada bab 4 dapat diketahui bahwa pemodelan kurva karakteristik inverse bisa dilakukan dengan metode ANFIS. Dimana metode ini melakukan training pada data plot kurva inverse, sehingga output dari data plot kurva inverse tersebut dapat mewakili plot kurva inverse yang menggunakan persamaan pada umumnya.

Riset ini digunakan sebagai dasar untuk dikembangkannya pemodelan kurva ANFIS menggunakan data plot kurva *unconventional*. Untuk keadaan tertentu kurva *unconventional* sangat dibutuhkan misalnya untuk mengatasi kurva inverse yang bersimpangan pada koordinasi rele jarak. Selain itu manfaat pemodelan kurva *unconventional* ini dapat mengurangi stress mekanik, efek termal dan dapat mencegah kerusakan elemen utama

dalam kelistrikan industri. Disamping itu dapat mengurangi konsumsi energy dengan rugi listrik selama gangguan terjadi.

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## **BAB V**

### **PENUTUP**

#### **5.1 Kesimpulan**

Berdasarkan hasil pengujian dan pembahasan yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa :

1. Pemodelan kurva karakteristik inverse dapat dilakukan dengan metode pembelajaran ANFIS.
2. Hasil dari learning ANFIS berupa kurva baru dan parameter premis konsekuen.
3. Parameter premis dan konsekuen digunakan untuk running ANFIS pada rele digital.
4. Semakin besar nilai MF maka tingkat keakuratan semakin bagus, pada pengujian ini MF dengan tingkat keakuratan paling bagus adalah 10. Sedangkan semakin banyak jumlah iterasi maka nilai MSE akan semakin kecil atau keakuratan semakin bagus, pada pengujian ini iterasi yang menunjukkan MSE terkecil adalah 100 iterasi.

#### **5.2 Saran**

Saran yang dapat diberikan berdasarkan penelitian ini adalah perlu dilakukan penelitian lanjutan mengenai pemodelan kurva proteksi, semisal kurva unkonvensional. Selain itu dapat dilakukan pengembangan untuk koordinasi proteksinya.

*Halaman ini sengaja di kosongkan*

## LAMPIRAN

### Data Pengujian DPR

Dengan MF 1

No	IL/IS	Kurva Konvensional Tcb (ms)	Kurva ANFIS Tcb (ms)
1	1,10	40,35	24,00
2	1,14	28,06	22,77
3	1,19	21,70	21,53
4	1,24	17,82	20,30
5	1,28	15,20	19,07
6	1,33	13,31	17,84
7	1,38	11,88	16,61
8	1,42	10,77	15,38
9	1,47	9,87	14,15
10	1,52	9,13	12,92
11	1,56	8,51	11,69
12	1,61	7,99	10,46
13	1,66	7,53	9,22
14	1,70	7,14	7,99
15	1,75	6,80	6,76
16	1,80	6,49	5,53
17	1,84	6,22	4,30
18	1,89	5,97	3,07
19	1,94	5,75	1,84
20	1,98	5,55	0,61

Dengan MF 3

No	IL/IS	Kurva Konvensional Tcb (ms)	Kurva ANFIS Tcb (ms)
1	1,10	40,35	34,96
2	1,14	28,06	30,19
3	1,19	21,70	25,16
4	1,24	17,82	20,04
5	1,28	15,20	15,25
6	1,33	13,31	11,58
7	1,38	11,88	9,88
8	1,42	10,77	10,11
9	1,47	9,87	10,91
10	1,52	9,13	10,83
11	1,56	8,51	9,45
12	1,61	7,99	7,47
13	1,66	7,53	6,06
14	1,70	7,14	5,98
15	1,75	6,80	6,86
16	1,80	6,49	7,67
17	1,84	6,22	7,73
18	1,89	5,97	6,94
19	1,94	5,75	5,46
20	1,98	5,55	3,49

Dengan MF 5

No	IL/IS	Kurva Konvensional Tcb (ms)	Kurva ANFIS Tcb (ms)
1	1,10	40,35	38,70
2	1,14	28,06	29,33
3	1,19	21,70	21,19
4	1,24	17,82	16,29
5	1,28	15,20	14,84
6	1,33	13,31	13,24
7	1,38	11,88	10,44
8	1,42	10,77	8,35
9	1,47	9,87	7,07
10	1,52	9,13	6,05
11	1,56	8,51	5,41
12	1,61	7,99	5,70
13	1,66	7,53	7,04
14	1,70	7,14	8,10
15	1,75	6,80	7,42
16	1,80	6,49	5,85
17	1,84	6,22	5,53
18	1,89	5,97	6,46
19	1,94	5,75	6,61
20	1,98	5,55	4,82

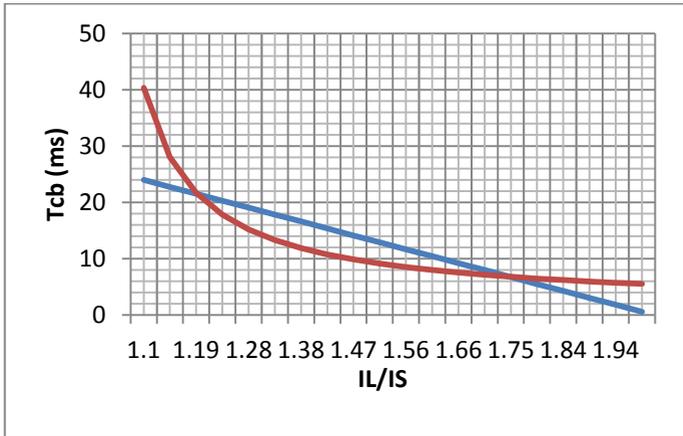
Dengan MF 8

No	IL/IS	Kurva Konvensional Tcb (ms)	Kurva ANFIS Tcb (ms)
1	1,10	40,35	39,62
2	1,14	28,06	29,47
3	1,19	21,70	20,62
4	1,24	17,82	18,39
5	1,28	15,20	15,01
6	1,33	13,31	13,11
7	1,38	11,88	12,47
8	1,42	10,77	10,19
9	1,47	9,87	10,22
10	1,52	9,13	8,93
11	1,56	8,51	8,60
12	1,61	7,99	8,01
13	1,66	7,53	7,31
14	1,70	7,14	7,56
15	1,75	6,80	6,45
16	1,80	6,49	6,66
17	1,84	6,22	6,26
18	1,89	5,97	5,70
19	1,94	5,75	6,26
20	1,98	5,55	5,24

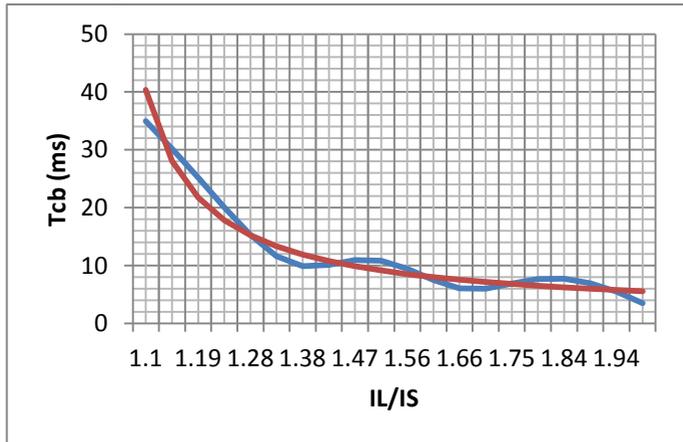
Dengan MF 10

No	IL/IS	Kurva Konvensional Tcb (ms)	Kurva ANFIS Tcb (ms)
1	1,10	40,35	40,35
2	1,14	28,06	29,88
3	1,19	21,70	21,90
4	1,24	17,82	17,87
5	1,28	15,20	15,32
6	1,33	13,31	13,57
7	1,38	11,88	11,89
8	1,42	10,77	11,09
9	1,47	9,87	9,87
10	1,52	9,13	9,18
11	1,56	8,51	8,49
12	1,61	7,99	8,11
13	1,66	7,53	7,53
14	1,70	7,14	7,31
15	1,75	6,80	6,77
16	1,80	6,49	6,53
17	1,84	6,22	6,17
18	1,89	5,97	6,07
19	1,94	5,75	5,73
20	1,98	5,55	5,72

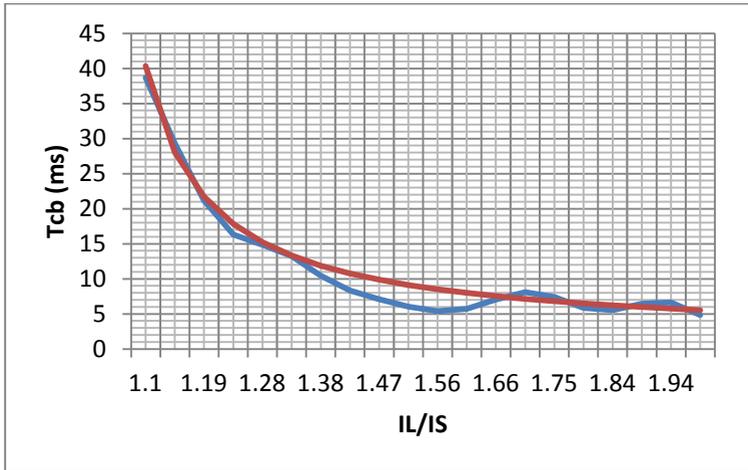
Kurva dengan MF 1



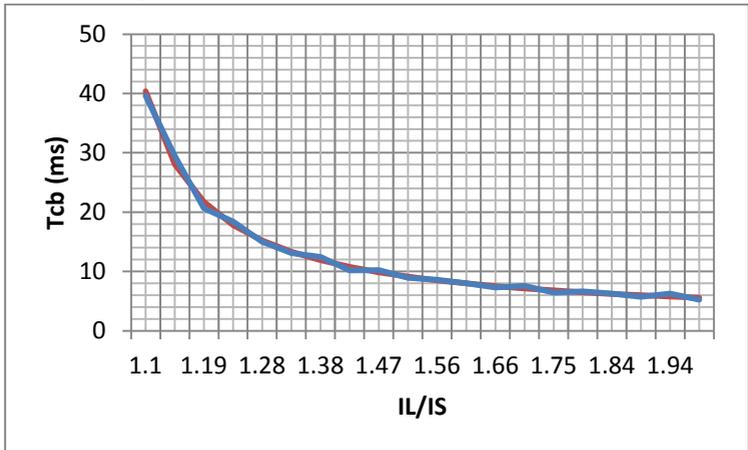
Kurva dengan MF 3



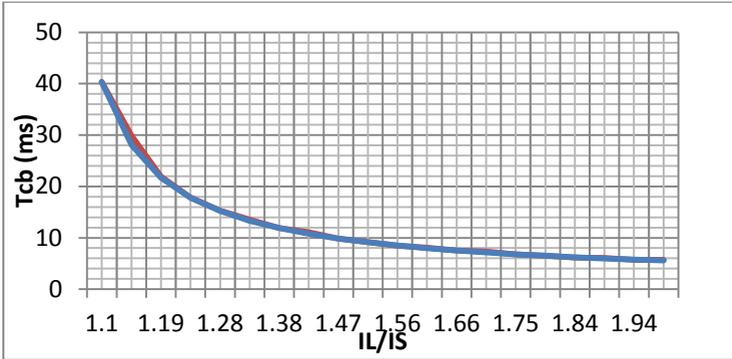
Kurva dengan MF 5



Kurva dengan MF 8



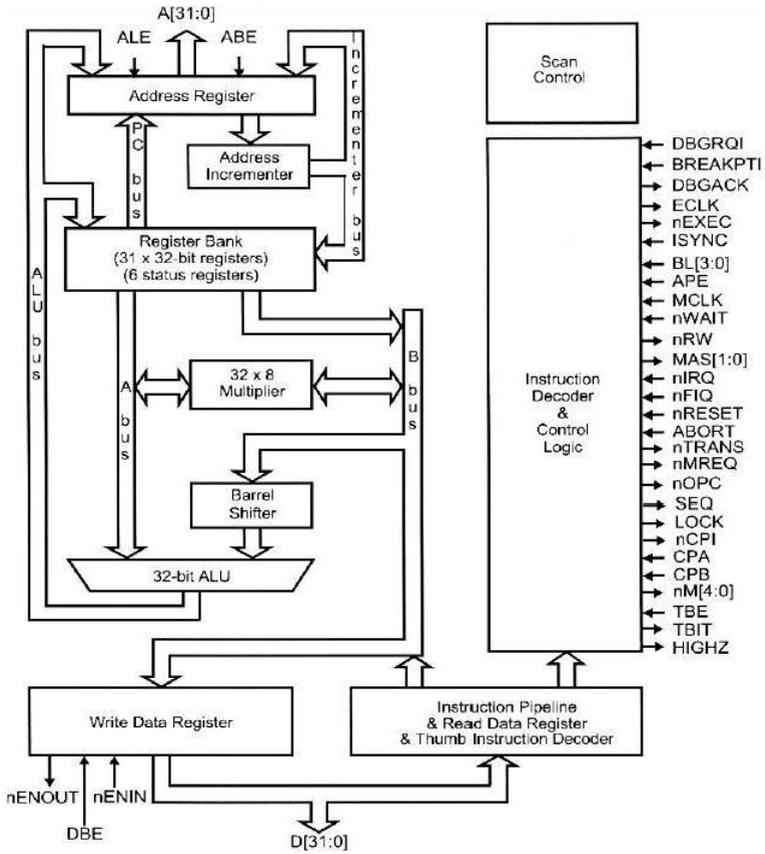
Kurva dengan MF 10



## **Fitur STM32F4DISCOVERY**

- STM32F407VGT6 microcontroller featuring 32-bit ARM Cortex-M4F core, 1 MB Flash, 192 KB RAM in an LQFP100 package
- On-board ST-LINK/V2 with selection mode switch to use the kit as a standalone ST-LINK/V2 (with SWD connector for programming and debugging)
- Board power supply: through USB bus or from an external 5 V supply voltage
- External application power supply: 3 V and 5 V
- LIS302DL, ST MEMS motion sensor, 3-axis digital output accelerometer
- MP45DT02, ST MEMS audio sensor, omni-directional digital microphone
- CS43L22, audio DAC with integrated class D speaker driver
- Eight LEDs:
  - LD1 (red/green) for USB communication
  - LD2 (red) for 3.3 V power on
  - Four user LEDs, LD3 (orange), LD4 (green), LD5 (red) and LD6 (blue)
  - 2 USB OTG LEDs LD7 (green) VBus and LD8 (red) over-current
- Two push buttons (user and reset)
- USB OTG FS with micro-AB connector
- Extension header for all LQFP100 I/Os for quick connection to prototyping board and easy probing

Di bawah ini adalah diagram Core ARM :





**ITS**  
Institut  
Teknologi  
Sepuluh Nopember

FINAL PROJECT - TE141599

***CONVENTIONAL CURVE DESIGN USING ANFIS ON  
DIGITAL PROTECTION RELAY***

Rachman Halim  
NRP 2213105032

Advisor Lecturer  
Dr. Eng. Ardyono Priyadi, S.T., M. Eng.  
Ir. Sjamsjul Anam, M.T.

DEPARTEMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING  
Faculty of Industrial Technology  
Sepuluh Nopember Institute of Technology  
Surabaya 2015

# Desain Kurva Konvensional Menggunakan ANFIS pada Digital Protection Relay

Nama Mahasiswa : Rachman Halim  
NRP : 2213105032

Dosen Pembimbing : Dr.Eng. Ardyono Priyadi, ST., M.Eng.  
Ir. Sjamsjul Anam, MT.

## Abstrak:

Pada umumnya konstruksi rele dapat dibedakan menjadi 3 jenis yaitu elektromekanis, statis, dan digital. Rele proteksi yang berbasiskan system digital mempunyai beberapa keunggulan dibanding rele tipe elektro mekanis dan statis. Keunggulan relay proteksi digital yaitu respon yang cepat terhadap gangguan, keakuratan dalam perhitungan, fleksibel serta dapat berkoordinasi dengan baik. Rele digital proteksi dapat dimanfaatkan menjadi rele arus lebih (*over current relay*). Rele arus lebih dengan karakteristik kurva konvensional yaitu *normal inverse*, *very inverse*, *extremely inverse*, dan *long time inverse* sangat bermanfaat untuk mengamankan *overload*/bebanlebih. Karena bekerja dengan waktu tunda yang tergantung dari besarnya arus secara terbalik (*inverse time*), makin besar arus makin kecil waktu pemutusan. Dalam mensetting sebuah rele diperlukan arus dan waktu pemutusan. Dari data arus dan waktu pemutusan tersebut dapat terbentuk sebuah kurva *inverse* setting rele. Keakuratan rele dalam melakukan pemutusan sangat penting dilakukan dalam menanggapi terjadinya gangguan. Dalam tugas akhir ini akan dilakukan studi mengenai cara mendapatkan desain kurva konvensional yang akurat menggunakan metode ANFIS. Desain kurva ini digunakan pada *digital relay protection*. Desain kurva konvensional akan dibuat software dan prototipe digital relaynya untuk memvalidasi keakuratannya.

**Kata kunci:** *Data Learning, Over Current Relay, Digital Protection Relay, ANFIS*



*Halaman ini sengaja dikosongkan*

# **CONVENTIONAL CURVE DESIGN USING ANFIS ON DIGITAL PROTECTION RELAY**

*Student Name* : Rachman Halim  
NRP : 2213105032

*Adviser Lecturer* : Dr.Eng. Ardyono Priyadi, ST., M.Eng.  
Ir. Sjamsjul Anam, MT.

## ***Abstract:***

*In general construction relay can be divided into three types namely electromechanical, static, and digital. Relay protection based digital system has several advantages compared to the type of electro-mechanical relays and static relays. Superiority of digital protection relay is a fast response to disturbances, the accuracy of the calculation, flexible and able to coordinate well. Digital relay protection can be utilized as an overcurrent relays. Overcurrent relays to the characteristics of the conventional curve is normal inverse, very inverse, extremely inverse, and inverse long time is very useful for securing overload. Because it works with time delay depending on the magnitude of current in reverse (inverse time), the greater the flow of the smaller time of break. In setting up a relay required flow and time of break. From the data flow and the disconnection time can form an inverse curve setting relay. The accuracy of the relay is very important terminate done in response to the disruption. In this final task will be carried out a study on how to get accurate conventional curve design using ANFIS method. This curve is used in the design of digital relay protection. Conventional curve design will be made software and digital prototypes to validate the accuracy of its relay.*

***Keywords:*** Data Learning, Over Current Relay, Digital Protection Relays, ANFIS



*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## KATA PENGANTAR

Puji syukur alhamdulillah penulis panjatkan kehadirat Allah SWT atas rahmat, taufik dan hidayah-Nya, sehingga penyusunan tugas akhir dengan judul “DESAIN KURVA KONVENSIONAL MENGGUNAKAN ANFIS PADA DIGITAL PROTECTION RELAY ” dapat diselesaikan dengan baik.

Penulis menyadari bahwa selama proses penyusunan tugas akhir ini mengalami kendala-kendala, namun berkat nasihat, bimbingan, bantuan dari berbagai pihak dan berkah dari Allah SWT sehingga semua kendala yang ada dapat diatasi oleh penulis.

Dalam kesempatan ini penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih kepada :

1. Bapak, ibu dan seluruh keluarga yang selalu mendukung penulis dalam menyelesaikan studi.
2. Dr. Eng. Ardyono Priyadi, ST., M.Eng dan Ir. Sjamsjul Anam, MT. sebagai dosen pembimbing yang telah memberikan bimbingan, motivasi, arahan dan saran-saran yang sangat berharga kepada penulis dalam menyusun tugas akhir.
3. Pak Anang dan Pak Dimas yang telah memberikan bimbingan, ilmu, serta nasihat selama penulis melaksanakan studi.
4. Endah Purwanti, dan seluruh keluarga di rumah yang telah banyak memberikan dukungan, inspirasi, motivasi, serta doanya kepada penulis.
5. Keluarga besar LJ gasal 2013.
6. Seluruh dosen yang telah memberikan ilmunya selama studi, karyawan, dan keluarga besar Jurusan Teknik Elektro ITS.

Dengan segala kerendahan hati penulis menyadari terdapat banyak kekurangan, sehingga penulis mengharapkan kritik dan saran demi kesempurnaan tugas akhir ini dari semua pihak.

Surabaya, 4 Juli 2015  
Penulis



*Halaman ini sengaja dikosongkan*

# DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	
PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR	
HALAMAN PENGESAHAN	
ABSTRAK .....	i
ABSTRACT .....	iii
KATA PENGANTAR .....	v
DAFTAR ISI .....	vii
DAFTAR GAMBAR .....	ix
DAFTAR TABEL .....	xi
<b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Permasalahan .....	2
1.3 Batasan Masalah .....	2
1.4 Tujuan .....	2
1.5 Metodologi.....	3
1.6 Sistematika Penulisan .....	5
1.7 Relevansi .....	6
<b>BAB II PROTEKSI ARUS LEBIH</b> .....	<b>7</b>
2.1 Gangguan-gangguan Pada Sistem Tenaga Listrik .....	7
2.2 Sebab-sebab Timbulnya Gangguan Pada STL.....	8
2.3 Rele Arus Lebih.....	8
2.3.1 Karakteristik Rele Arus Lebih .....	8
2.3.2 Rele Arus Lebih Inverse (Inverse OCR).....	9
2.4 Pengertian Logika Fuzzy .....	11
2.4.1 Fungsi Keanggotaan (Membership Function).....	11
2.4.2 Representasi Kurva Lonceng(BETA) .....	12
2.5 Adaptive Neuro Fuzzy Inference System .....	13
2.6 Fuzzy Clustering Mean .....	16
2.7 Proses Pembelajaran dengan RLSE .....	18
2.8 Proses Pembelajaran Backpropagation-error .....	19
2.9 Mikrokontroller.....	22
2.9.1 ARM .....	23

<b>BAB III PERANCANGAN HARDWARE DAN SOFTWARE .....</b>	<b>25</b>
3.1 Konfigurasi Sistem.....	25
3.2 Desain Pemodelan Kurva Karakteristik Inverse .....	26
3.2.1 Algoritma ANFIS .....	28
3.3 Perancangan dan Pembuatan Alat.....	31
3.3.1 Perancangan Hardware .....	31
3.3.2 Program ANFIS pada Digital Protection Relay.....	33
3.3.3 Program Komunikasi Serial.....	34
<b>BAB IV HASIL PENGUJIAN DAN ANALISIS.....</b>	<b>37</b>
4.1 Pengujian Keakuratan dengan merubah MF .....	39
4.2 Pengujian Keakuratan dengan merubah Learning Rate .....	43
4.3 Pengujian Keakuratan dengan merubah Jumlah Iterasi .....	45
4.4 Pengujian 4 Jenis Kurva Inverse Konvensional.....	48
4.4.1 Standart Inverse.....	48
4.4.2 Very Inverse.....	49
4.4.3 Extrimely Inverse.....	51
4.4.4 Long Time Inverse.....	52
4.5 Pengujian Digital Protection Relay.....	54
<b>BAB V PENUTUP .....</b>	<b>61</b>
5.1 Kesimpulan .....	61
5.2 Saran .....	61
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>63</b>
<b>LAMPIRAN .....</b>	<b>65</b>
<b>BIOGRAFI PENULIS .....</b>	<b>75</b>

## DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 4.1 Data Input Kurva Konvensional.....	39
Tabel 4.2 Data Kurva ANFIS dengan MF 1 .....	40
Tabel 4.3 Data Kurva ANFIS dengan MF 3 .....	41
Tabel 4.4 Data Kurva ANFIS dengan MF 10 .....	42
Tabel 4.5 Data MF terhadap MSE .....	43
Tabel 4.6 Data LR terhadap MSE .....	44
Tabel 4.7 Data Kurva Very Inverse.....	50
Tabel 4.8 Data Kurva Extrimely Inverse.....	51
Tabel 4.9 Data Kurva Long Time Inverse.....	53
Tabel 4.10 Hasil pengujian DPR.....	56
Tabel 4.11Perbandingan antara Konvensional dengan ANFIS .....	57

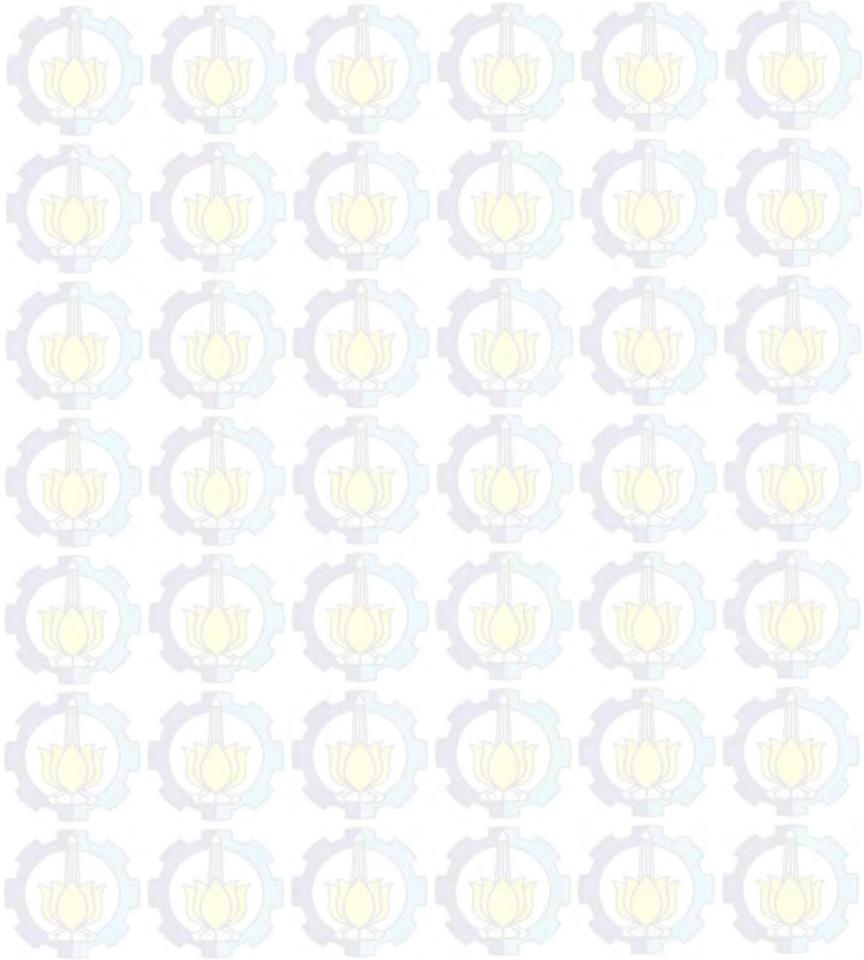


*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 1.1	Flowchart sistem kerja alat ..... 3
Gambar 1.2	Flowchart sistem kerja alat (lanjutan)..... 3
Gambar 2.1	Karakteristik Standart Inverse ..... 9
Gambar 2.2	Karakteristik Very Inverse..... 10
Gambar 2.3	Karakteristik Extrimelyt Inverse..... 10
Gambar 2.4	Karakteristik Long Time Inverse..... 11
Gambar 2.5	Karakteristik fungsional kurva BETA ..... 12
Gambar 2.6	Arsitektur ANFIS ..... 14
Gambar 2.7	Model Jaringan Syaraf Feed Forward..... 20
Gambar 2.8	Mikrokontroler ARM ..... 23
Gambar 3.1	Konfigurasi Sistem ..... 25
Gambar 3.2	Flowchart Pemodelan Kurva ..... 27
Gambar 3.3	Algoritma ANFIS ..... 29
Gambar 3.4	Algoritma FCM ..... 30
Gambar 3.5	Hardware Mikrokontroler ARM..... 31
Gambar 3.6	Rangkaian LCD grafik 128x64..... 32
Gambar 3.7	Hardware Rele ..... 32
Gambar 3.8	Flowchart Program Mikrokontroler..... 33
Gambar 3.9	Flowchart Program kirim dan terima data ..... 34
Gambar 3.10	Lanjutan Flowchart kirim data ..... 35
Gambar 4.1	Pengujian Software Program..... 37
Gambar 4.2	Pengujian Digital Protection Rele ..... 38
Gambar 4.3	Kurva ANFIS dengan MF 1 ..... 40
Gambar 4.4	Kurva ANFIS dengan MF 3 ..... 41
Gambar 4.5	Kurva ANFIS dengan MF 10. .... 43
Gambar 4.6	Kurva ANFIS dengan LR 0.2 ..... 44
Gambar 4.7	Kurva MSE dengan 10 kali Iterasi..... 45
Gambar 4.8	Kurva MSE dengan 30 kali Iterasi..... 46
Gambar 4.9	Kurva MSE dengan 50 kali Iterasi..... 46
Gambar 4.10	Kurva MSE dengan 70 kali Iterasi..... 47
Gambar 4.11	Kurva MSE dengan 100 kali Iterasi..... 47
Gambar 4.12	Kurva Standart Inverse ..... 49
Gambar 4.13	Kurva Very Inverse ..... 50
Gambar 4.14	Kurva Extrimely Inverse ..... 52

Gambar 4.15 Kurva Long Time Inverse..... 54  
Gambar 4.16 Mengambil Parameter Premis dan Konsekuen ..... 55  
Gambar 4.17 Masukkan parameter ke program Mikrokontroler .... 55  
Gambar 4.18 Pengujian Digital Protection Relay..... 56  
Gambar 4.19 Perbandingan antara Kurva DPR dengan Kurva Konvensional ..... 58

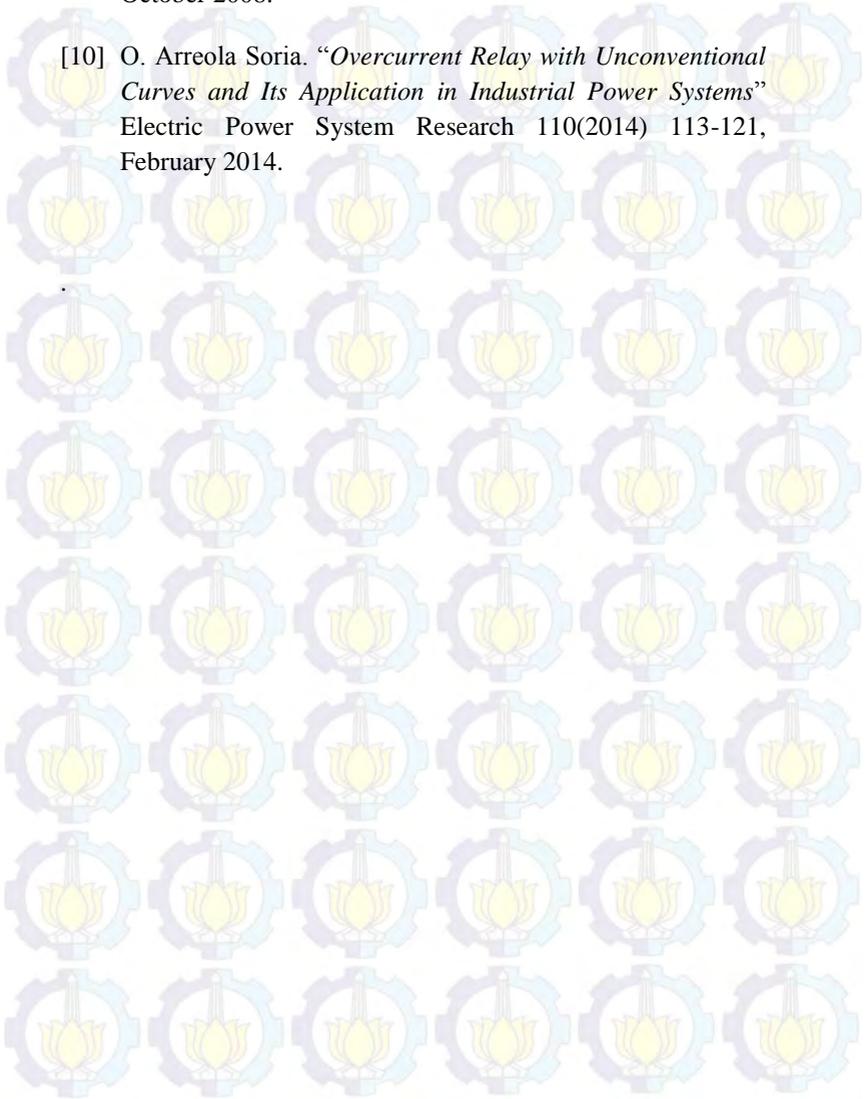


## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Heru Dibyo Laksono, M. Nasir Sonni "Perancangan dan Implementasi Relay Arus Lebih Sesaat Berbasis Mikrokontroler". Jurusan Teknik Elektro, Universitas Andalas Padang Sumatera Barat. September 2007.
- [2] "Studi Rele Pengaman (Over Current Relay dan Ground Fault Relay) Pada Pemakaian Distribusi Daya Sendiri Dari PLTU Rembang" Tugas Akhir Teknik Elektro ITS 2013.
- [3] M.Geethanjali, S. Mary Raja Slochanal "*A combined adaptive network and fuzzy inference system (ANFIS) approach for overcurrent relay system*", Madurai-625 015, Tamilnadu, India. April 2007.
- [4] "Pemodelan Kurva Karakteristik Inverse Overcurrent Relay Oleh User Menggunakan Adaptive Neuro Fuzzy Inference System", Tugas Akhir Teknik Elektro Industri PENS ITS 2012.
- [5] "Datasheet Overcurrent Protection Relays", CKR Series.
- [6] Sri Kusumadewi, Sri Hartati "Neuro – Fuzzy Integrasi Sistem Fuzzy dan Jaringan Syaraf". GRAHA ILMU, Yogyakarta, 2006.
- [7] Mahalik, nitaigour premchand. "*Mechatronics: Principles, Concepts and Application*" McGraw-Hill , Singapore, 2003.
- [8] Hossein Askarian. "*A New Method for Overcurrent Relay (O/C) Using Neural Network and Fuzzy Logic*" IEEE TENCON,1997.
- [9] Jarm Long Chung. "*Study of Solving the Coordination Curve Intersection of Inverse Time Overcurrent Relays in*

*Subtransmission Systems*” IEEE Transactions, Vol.23,No.4,  
October 2008.

- [10] O. Arreola Soria. “*Overcurrent Relay with Unconventional Curves and Its Application in Industrial Power Systems*”  
Electric Power System Research 110(2014) 113-121,  
February 2014.



## RIWAYAT PENULIS



Penulis memiliki nama lengkap Rachman Halim. Anak pertama dari dua bersaudara dari pasangan Bapak Bambang Supriyono dan Ibu Sri Kustianingsih. Berasal dari Kabupaten Sidoarjo dan lahir pada tanggal 27 Januari 1992 di Sidoarjo. Mengawali pendidikannya di SDN 1 Pekarungan pada tahun 1998 hingga lulus pada tahun 2004. Kemudian melanjutkan pendidikan pada tingkat menengah pertama di SMP Negeri 1 Sidoarjo pada tahun 2004 dan lulus pada tahun 2007. Pada tahun 2007, penulis melanjutkan pendidikan di SMA Negeri 1 Taman Sidoarjo dan lulus pada tahun 2010.

Setelah dinyatakan lulus dalam menyelesaikan pendidikannya di tingkat SMA pada tahun 2010, penulis meneruskan pendidikan ke jenjang perkuliahan di Diploma 3 Teknik Elektro Politeknik Elektronika Negeri Surabaya Jurusan Teknik Elektronika hingga tamat pada tahun 2013. Saat ini penulis sedang menyelesaikan Lintas Jalur S1 di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya, Fakultas Teknologi Industri, Jurusan Teknik Elektro, bidang studi Teknik Sistem Tenaga.

Email :

[rachman13@mhs.ee.its.ac.id](mailto:rachman13@mhs.ee.its.ac.id)

[rachmanhalim27@gmail.com](mailto:rachmanhalim27@gmail.com)



*Halaman ini sengaja dikosongkan*

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang Masalah

Relay proteksi konvensional terdiri dari relay tipe elektromagnetik dan tipe statik. Kedua tipe ini mempunyai banyak kekurangan dalam melindungi system tenaga listrik dan peralatan-peralatan lainnya. Relay tipe elektromagnetik mempunyai beberapa kekurangan seperti penambahan beban untuk trafo ukur, waktu operasi yang lama, permasalahan kontak, dan lain-lain. Karena relay tipe ini dapat mengalami kerusakan dengan cepat, keadaan ini dapat membahayakan system tenaga listrik. Sedangkan pada relay tipe static mempunyai kekurangan diantaranya adalah tidak fleksibel, tidak mudah diubah untuk sistem yang kondisinya berbeda dan kompleksitas sistem yang berbeda pula. Selain hal tersebut, relay tipe static peka terhadap suhu yang dapat menyebabkan perubahan karakteristik relay dan bila terjadi perubahan tegangan secara transien dapat merusak peralatan relay.

Baru ini sistem digital dapat diaplikasikan sebagai relay proteksi. Relay proteksi yang berbasis system digital mempunyai beberapa keunggulan. Keunggulan relay proteksi digital ini adalah respon yang cepat terhadap gangguan, keakuratan dalam perhitungan, fleksibel serta dapat berkoordinasi dengan baik[1]. Digital relay proteksi ini dapat dirancang dengan system berbasis mikrokontroller dengan dikombinasikan dengan kemampuan belajar ANFIS[3]. Dengan menggunakan kemampuan belajar ANFIS dapat dihasilkan sebuah relay proteksi digital dengan tingkat keakuratan yang tinggi.

Dalam tugas akhir ini akan dilakukan studi mengenai cara mendapatkan desain kurva konvensional yang akurat menggunakan metode ANFIS. Mendesain kurva konvensional pada tugas akhir ini menerapkan kemampuan belajar *Adaptive Neuro Fuzzy Interference System* (ANFIS). *Personal Computer* (PC) digunakan sebagai sarana untuk menggambar kurva karakteristik yang dikehendaki, kemudian dilakukan inialisasi serta learning hingga didapat hasil learning, dan parameter hasil

learning yang telah dilakukan di PC dikirim ke *Digital Protection Relay* dan dapat di uji keakuratannya. Selain itu keakuratan kurva diuji dengan jumlah *data learning* yang berbeda.

## 1.2 Permasalahan

Hal yang menjadi permasalahan yang dibahas dalam tugas akhir ini adalah

1. Memodelkan kurva karakteristik inverse melalui PC
2. Melakukan learning pada data kurva konvensional
3. Memasukkan parameter – parameter ANFIS ke *digital relay protection*
4. Menguji kurva konvensional dengan semua karakteristik inverse yang ada

## 1.3 Batasan Masalah

Untuk menyelesaikan masalah dalam Tugas Akhir ini, maka perlu diberi batasan – batasan sebagai berikut:

1. *Software* yang digunakan untuk memodelkan adalah visual studio
2. Pengujian dilakukan dengan alat yang dirancang berbasis mikrokontroler atau simulasi.
3. Pengujian menggunakan USB serial sebagai input output, karena pengujian difokuskan untuk hasil kurva saja
4. Parameter akurat dilihat dari perbandingan kurva karakteristik ANFIS dibandingkan dengan kurva karakteristik konvensional.

## 1.4 Tujuan

Tujuan yang ingin dicapai dalam tugas akhir ini :

1. Memodelkan kurva konvensional dengan metode ANFIS
2. Mendapatkan kinerja rele dengan tingkat keakuratan tinggi
3. Meningkatkan keandalan sebuah pengamanan peralatan

## 1.5 Metodologi

Metodologi yang digunakan pada penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

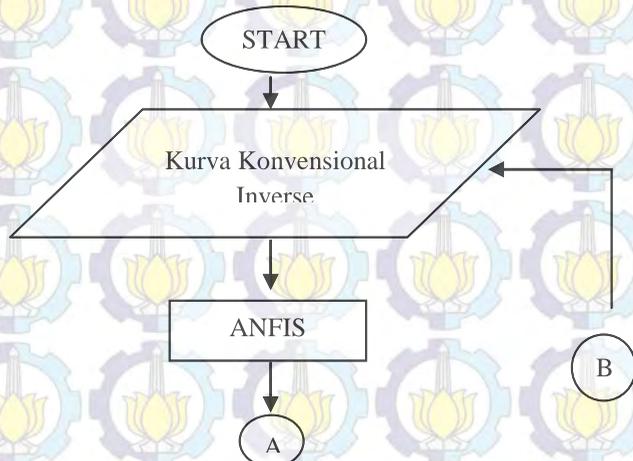
### 1. Studi Literatur

Penulis mempelajari literatur mengenai rele pengaman digital sebagai dasar perancangan dan pembuatan alat. Selain itu akan mempelajari metode ANFIS dan cara mengaplikasikan ke alat melalui pemrograman visual studio.

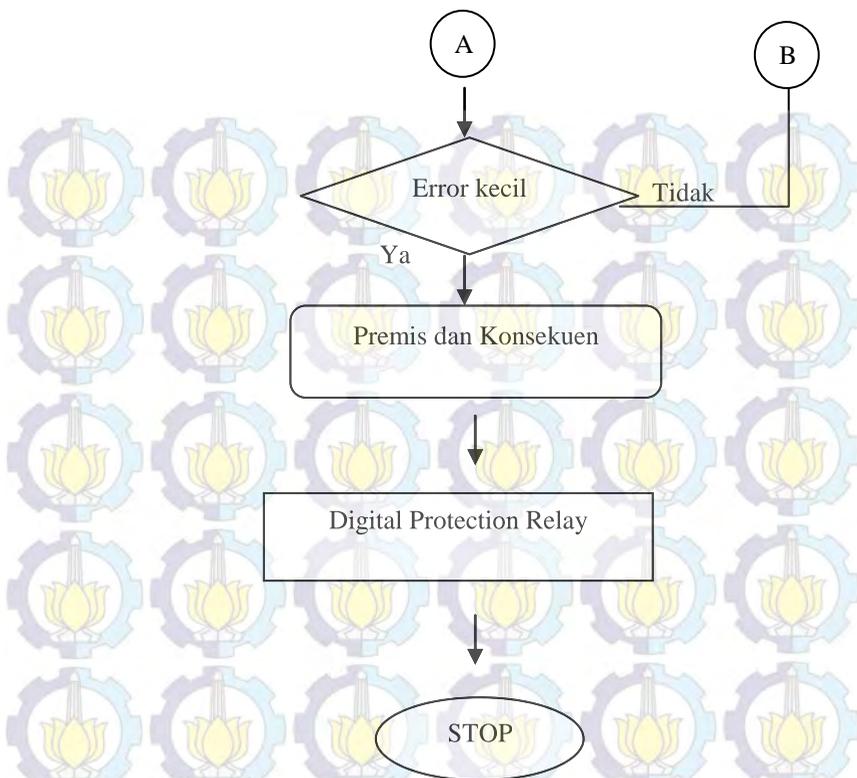
### 2. Pemodelan dan Pembuatan Alat

Penulis melakukan pembuatan program desain kurva dengan menggunakan software visual studio dengan bahasa pemrograman C#. Selain itu pada bagian ini akan dilakukan pembuatan alat yang di desain seperti rele proteksi dengan memanfaatkan mikrokontroler sebagai kontrolernya.

Berikut ini flow chart kerja sistem yang akan dilakukan



**Gambar 1.1** Flowchart sistem kerja alat



**Gambar 1.2** Flowchart sistem kerja alat (lanjutan)

Dari flowchart di atas akan dilakukan pengujian keakuratan, dengan mendesain kurva inverse terlebih dahulu. Dari kurva inverse akan didapat data berupa IL/IS dan Time break. Dari data tersebut akan dilakukan training untuk memperoleh data premis dan konsekuen. Kemudian selanjutnya data premis dan konsekuen akan di transfer ke alat rele digital proteksi berbasis mikrokontroler. Dengan melakukan pengujian alat akan diperoleh sebuah kurva dari inputan premis dan konsekuen. Berikutnya kurva tersebut

akan dibandingkan dengan desain kurva di awal tadi. Jika data dari kurva alat tadi sama dengan desain semula maka dapat dikatakan akurat

3. Pengujian Alat

Penulis melakukan pengujian alat untuk memastikan alat sudah bekerja sesuai dengan flow chart sistem atau belum

4. Analisa Data

Penulis melakukan analisa dari hasil pengujian alat. Pada bagian ini akan dilakukan analisa output sistem dengan jumlah input data yang berbeda.

5. Penarikan Kesimpulan

Dari hasil pengujian dengan jumlah data yang berbeda-beda dilakukan analisa dan penarikan kesimpulan.

## **1.6 Sistematika Penulisan**

Untuk memudahkan pembahasan yang akan dilakukan, tugas akhir ini terbagi menjadi lima bab dengan sistematika penulisan sebagai berikut :

### **BAB I : PENDAHULUAN**

Bab ini terdiri dari latar belakang, perumusan masalah, tujuan, metodologi pengerjaan tugas akhir, sistematika pembahasan dan relevansi dari penulis.

### **BAB II : PROTEKSI DAN METODE ANFIS**

Pada bab ini menjelaskan teori-teori penunjang yang digunakan dalam pengerjaan tugas akhir ini.

### **BAB III : PERANCANGAN HARDWARE DAN SOFTWARE.**

Dalam bab ini menjelaskan perancangan konfigurasi system. Mulai dari merancang hardware berupa protipe rele digital, dan software. Software yang dibuat mengimplemantasikan perumusan ANFIS untuk mendapatkan parameter untuk di inputkan ke rele.

### **BAB IV : HASIL PENGUJIAN DAN ANALISIS**

Dalam bab ini dibahas mengenai hasil pengujian data kurva konvensional. Pengujian ini dilakukan dengan merubah

variable yang berkaitan dengan keakuratan data. Selain menguji data pada bagian ini dilakukan pengujian rele. Saat pengujian rele input output akan dikirim melalui serial USB.

## BAB V : PENUTUP

Bab ini berisi kesimpulan dan saran dari hasil pengujian data maupun pengujian alat, studi literatur dan analisis yang telah dilakukan.

### **1.7 Relevansi**

Dari hasil pengerjaan tugas akhir ini untuk kedepannya diharapkan dapat dilakukan pengembangannya yaitu pemodelan kurva non konvensional. Karena pemodelan kurva tersebut akan sangat berguna dalam keadaan-keadaan tertentu.

## **BAB II**

### **PROTEKSI ARUS LEBIH**

#### **2.1 Gangguan – gangguan Pada Sistem Tenaga Listrik**

Gangguan yang terjadi pada system tenaga listrik sangat beragam besaran dan jenisnya. Gangguan dalam system tenaga listrik adalah keadaan tidak normal dimana keadaan ini dapat mengakibatkan terganggunya kontinuitas pelayanan tenaga listrik. Secara umum klasifikasi gangguan pada system tenaga listrik disebabkan 2 faktor, yaitu [2] :

1. Gangguan berasal dari system
2. Gangguan berasal dari luar system

Penyebab gangguan yang berasal dari dalam system antara lain:

1. Tegangan dan arus abnormal.
2. Pemasangan yang kurang baik.
3. Kesalahan mekanis karena proses penuaan.
4. Beban lebih.
5. Kerusakan material seperti isolator pecah, kawat putus, atau kabel cacat isolasinya.

Sedangkan untuk gangguan yang berasal dari luar system antara lain:

1. Gangguan – gangguan mekanis karena pekerjaan galian saluran lain. Gangguan ini terjadi untuk system kelistrikan bawah tanah.
2. Pengaruh cuaca seperti hujan, angin, surja petir. Pada gangguan surja petir. Pada gangguan surja petir dapat mengakibatkan gangguan tegangan lebih dan dapat menyebabkan gangguan hubung singkat karena tembus isolasi peralatan(breakdown).

3. Pengaruh lingkungan seperti pohon, binatang dan benda-benda asing serta akibat kecerobohan manusia.

## 2.2 Sebab – sebab Timbulnya Gangguan Pada Sistem Tenaga Listrik

Dalam system tenaga listrik tiga fasa, gangguan-gangguan arus lebih yang mungkin terjadi adalah sebagai berikut yaitu:

- a. Gangguan beban lebih (*overload*)

Gangguan ini sebenarnya bukan gangguan murni, tetapi bila dibiarkan terus menerus berlangsung dapat merusak peralatan listrik yang dialiri arus tersebut. Pada saat gangguan ini terjadi arus yang mengalir melebihi dari kapasitas peralatan listrik dan pengamanan yang terpasang.

- b. Gangguan hubung singkat (*shortcircuit*)

Gangguan hubung singkat dapat terjadi dua fasa, tiga fasa, satu fasa ke tanah, dua fasa ke tanah, atau tiga fasa ke tanah. Gangguan hubung singkat ini sendiri dapat digolongkan menjadi dua kelompok yaitu gangguan hubung singkat simetri dan gangguan hubung singkat tak simetri.

## 2.3 Rele Arus Lebih

Rele pengamanan arus lebih adalah rele yang bekerja berdasarkan arus lebih, akibat adanya gangguan beban lebih (*overload*) atau gangguan hubung singkat (*shortcircuit*) dan memberikan perintah trip ke PMT sesuai dengan karakteristik waktunya[4].

### 2.3.1 Karakteristik Rele Arus Lebih

Berdasarkan karakteristik waktunya rele arus lebih dibedakan atas 4 jenis yaitu:

- Instantaneous Rele
- Definite Rele

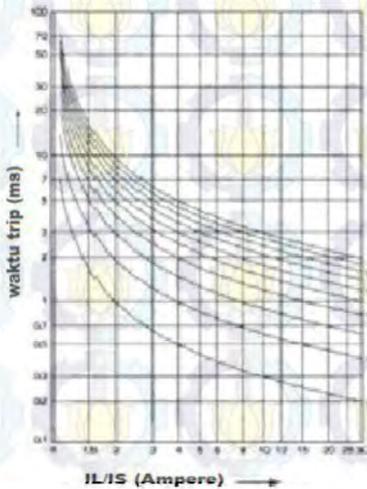
- Inverse Rele
- Inverse Definite Minimum Rele

### 2.3.2 Rele Arus Lebih Inverse (Inverse OCR)

Selatan proteksi dengan menggunakan karakteristik inverse time rele, karakteristik grafiknya terbalik antara arus dan waktu, dimana semakin besar arus gangguan hubung singkat maka semakin cepat waktu yang dibutuhkan untuk membuka PMT sehingga dalam settingnya nanti rele jenis ini perlu mengetahui besarnya arus hubung singkat untuk tiap seksi di samping arus nominalnya serta kurva karakteristik rele.

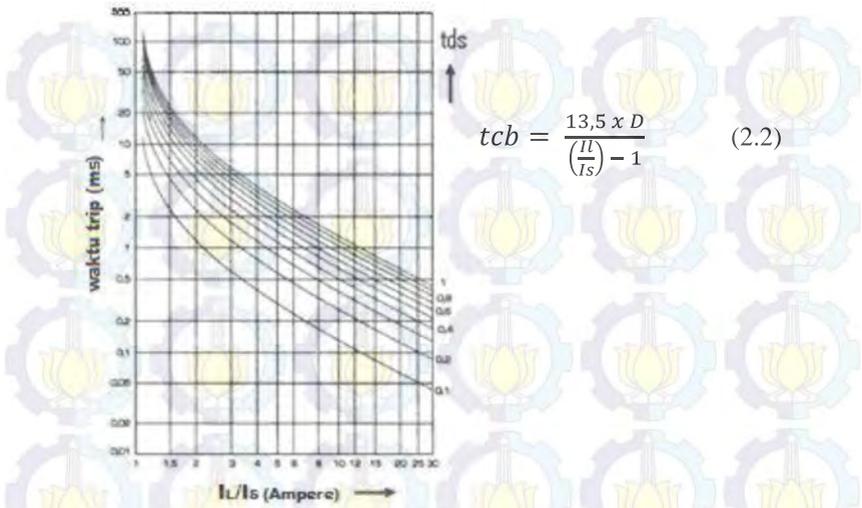
*Over Current Relay (OCR)* dengan karakteristik inverse sangat bermanfaat untuk mengamankan overload / beban lebih. Berdasarkan standar IEC ada 4 karakteristik inverse terdapat tiga jenis, yaitu :

1. Karakteristik standard inverse (SI)
2. Karakteristik very inverse (VI)
3. Karakteristik Extrimely inverse (EI)
4. Karakteristik long time inverse (LTI)



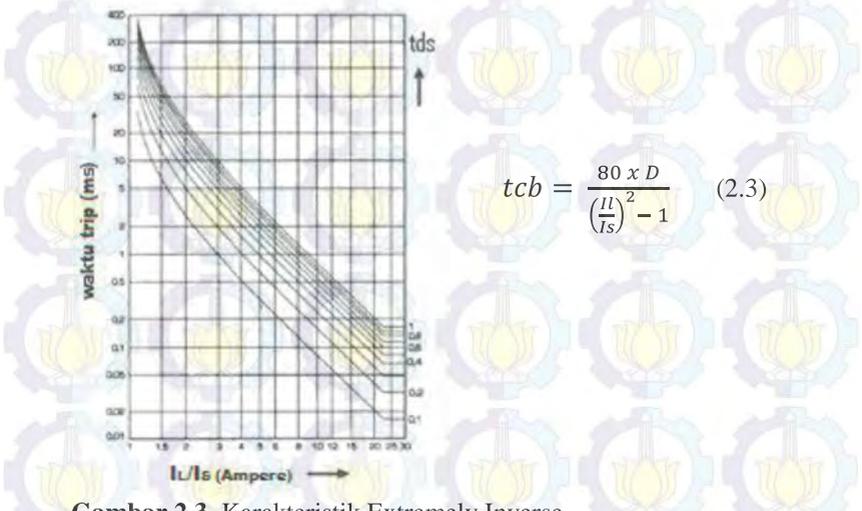
$$tcb = \frac{0,14 \times D}{\left(\frac{I_L}{I_S}\right)^{0,02} - 1} \quad (2.1)$$

**Gambar 2.1.** Karakteristik Standard Inverse.



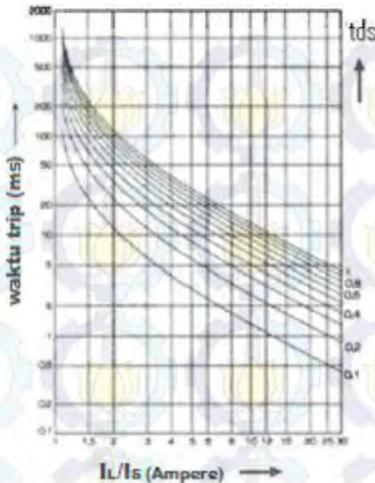
$$tcb = \frac{13,5 \times D}{\left(\frac{I}{I_s}\right) - 1} \quad (2.2)$$

Gambar 2.2. Karakteristik Very Inverse.



$$tcb = \frac{80 \times D}{\left(\frac{I}{I_s}\right)^2 - 1} \quad (2.3)$$

Gambar 2.3. Karakteristik Extremely Inverse.



$$tcb = \frac{120 \times D}{\left(\frac{I_u}{I_s}\right) - 1} \quad (2.4)$$

**Gambar 2.4.** Karakteristik Long Time Inverse.

## 2.4 Pengertian Logika Fuzzy

Teori himpunan logika samar dikembangkan oleh Prof. Lofti Zadeh pada tahun 1965. Zadeh berpendapat bahwa logika benar dan salah dalam logika konvensional tidak dapat mengatasi masalah gradasi yang berada pada dunia nyata. Untuk mengatasi masalah gradasi yang tidak terhingga tersebut, Zadeh mengembangkan sebuah himpunan fuzzy. Tidak seperti logika boolean, logika fuzzy mempunyai nilai yang kontinue. Samar dinyatakan dalam derajat dari suatu keanggotaan dan derajat dari kebenaran. Oleh sebab itu sesuatu dapat dikatakan sebagian benar dan sebagian salah pada waktu yang sama (Kusumadewi, 2004).

### 2.4.1 Fungsi Kenggotaan (Membership Function)

Ada dua cara mendefinisikan keanggotaan himpunan fuzzy, yaitu secara numeris dan fungsional. Definisi numeris menyatakan fungsi derajat keanggotaan sebagai vector jumlah yang tergantung pada tingkat

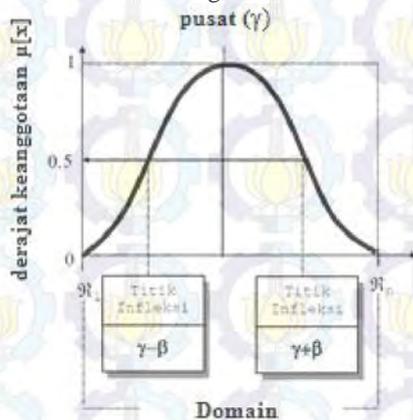
diskretisasi. Misalnya, jumlah elemen diskret dalam semesta pembicaraan.

Definisi fungsional menyatakan derajat keanggotaan sebagai batasan ekspresi analitis yang dapat dihitung. Standar atau ukuran tertentu pada fungsi keanggotaan secara umum berdasar atas semesta  $X$  bilangan real.

#### 2.4.2 Representasi Kurva Lonceng(Beta)

Untuk merepresentasikan bilangan fuzzy, biasanya digunakan kurva berbentuk lonceng. Kurva berbentuk lonceng ini terbagi atas 3 kelas, yaitu: himpunan fuzzy PI, beta, dan Gauss. Perbedaan ketiga kurva ini terletak pada gradiennya.

Seperti halnya kurva PI, kurva BETA juga berbentuk lonceng namun lebih rapat. Kurva ini juga didefinisikan dengan 2 parameter, yaitu nilai pada domain yang menunjukkan pusat kurva ( $\gamma$ ), dan setengah lebar kurva ( $\beta$ ) seperti terlihat pada Gambar 2.17. Nilai kurva untuk suatu nilai domain  $x$  diberikan sebagai:



Gambar 2.5 Karakteristik fungsional kurva BETA.

Fungsi Keanggotaan:

$$B(x;\gamma,\beta) = \frac{1}{1 + \left[\frac{x-\gamma}{\beta}\right]^2} \quad (2.9)$$

Salah satu perbedaan mencolok kurva BETA dari kurva PI adalah, fungsi keanggotaannya akan mendekati nol hanya jika nilai ( $\beta$ ) sangat besar.

## 2.5 Adaptive Neuro Fuzzy Inference System

Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System (ANFIS) adalah penggabungan mekanisme fuzzy inference system yang digambarkan dalam arsitektur jaringan syaraf. Sistem inferensi fuzzy yang digunakan adalah sistem inferensi fuzzy model Tagaki-Sugeno-Kang (TSK) orde satu dengan pertimbangan kesederhanaan dan kemudahan komputasi.

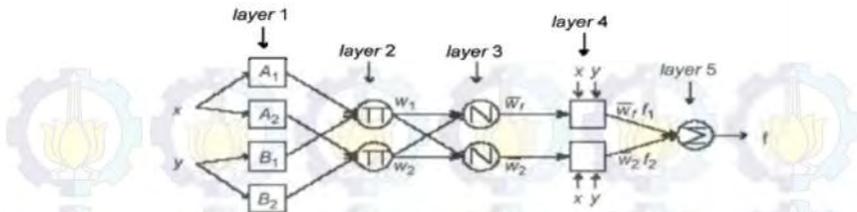
Adaptive Neuro Fuzzy Inference System (ANFIS) merupakan kombinasi Artificial Neural Network dan Fuzzy Inference System, yang menggunakan model inferensi Sugeno. Untuk memudahkan dalam menjelaskan arsitektur ANFIS, di sini diasumsikan fuzzy inference system hanya mempunyai dua input, x dan y. Serta satu output yang dilambangkan z. Pada model sugeno orde satu, himpunan aturan menggunakan kombinasi linier dari input – input yang ada dapat diekspresikan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{IF } x \text{ is } A_1 \text{ AND } y \text{ is } B_1 \text{ THEN } f_1 &= p_1x + q_1y + r_1 \\ \text{IF } x \text{ is } A_2 \text{ AND } y \text{ is } B_2 \text{ THEN } f_2 &= p_2x + q_2y + r_2 \end{aligned}$$

Mekanime penalaran pada model ini adalah :

$$f = \frac{w_1f_1 + w_2f_2}{w_1 + w_2} = w_1'f_1 + w_2'f_2 \quad (2.10)$$

Selanjutnya arsitektur ANFIS untuk kasus dua input, x dan y, serta satu output yang dilambangkan f diilustrasikan oleh gambar dibawah ini [3] :



**Gambar 2.6** Arsitektur ANFIS

Lapisan dari sistem diatas dapat dijelaskan sebagai berikut :

a. Lapisan 1

$$O_{1,i} = \begin{cases} \mu_{A_i}(x); & i = 1,2 \\ \mu_{B_{i-2}}(x); & i = 3,4 \end{cases} \quad (2.11)$$

$O_{1,i}$  adalah keluaran ke-i pada lapisan ke-1. Fungsi keanggotaan yang digunakan pada lapisan ini adalah bentuk BETA:

$$\mu_i(x) = \frac{1}{1 + \left[ \frac{x-y}{\beta} \right]^2} \quad (2.12)$$

$n = 1,2$  dan  $i = 1, \dots, 4$ , dengan  $(c, \sigma)$  adalah himpunan parameter premis. Semua simpul pada lapisan ini adalah simpul-simpul adaptif. Masukan dari lapisan ini adalah  $x$  dan  $y$ , sedangkan  $A_i$  atau  $B_i$  adalah variabel-variabel linguistik pada masing-masing simpul, yang dilambangkan oleh fungsi keanggotaan. Fungsi keanggotaan yang digunakan adalah fungsi keanggotaan bentuk gaussian. Parameter pada fungsi keanggotaan merupakan parameter yang akan berubah selama proses pembelajaran.

b. Lapisan 2

$$O_{2,i} = w_i = \mu_{A_j}(x) \cdot \mu_{B_k}(x) \cdot \mu_{C_l}(x) \quad (2.13)$$

dimana  $O_{2,i}$  adalah keluaran ke-i pada lapisan ke-2 dan  $w$  adalah derajat pengaktifan tiap aturan fuzzy untuk  $j = k = 1,2$  dan  $i=1, \dots, 4$ . Lapisan ini diberi lambang  $\Pi$ . Simpul pada lapisan ini adalah simpul tetap. Keluaran dari lapisan ini merupakan representasi dari kata hubung and pada aturan fuzzy dan menyatakan derajat pengaktifan tiap aturan fuzzy dan direalisasikan dengan operator T-Norm produk aljabar yaitu perkalian biasa.jumlah simpul pada lapisan ini menyatakan jumlah aturan yang dibentuk.

### c. Lapisan 3

Lapisan ini diberi tanda lingkaran dan berlambang N dan merupakan simpul tetap. Pada simpul ini, derajat pengaktifan tiap aturan fuzzy pada lapisan sebelumnya dinormalisasi dengan cara membagi  $w$  dengan jumlah total  $w$  untuk semua aturan.

$$O_{3,i} = \bar{w}_i = \frac{w_i}{\sum w} = \frac{w_i}{w_1 + \dots + w_n} \quad (2.14)$$

dimana  $O_{3,i}$  adalah keluaran ke- $i$  pada lapisan ke-3 dan  $w_i$  adalah derajat pengaktifan ternormalisasi atau rata-rata untuk  $i = 1, \dots, n$ .

### d. Lapisan 4

Simpul-simpul pada lapisan ini adalah simpul adaptif, dengan fungsi sebagai berikut :

$$O_{4,i} = \bar{w}_i \cdot f_i = \bar{w}_i(p_i x_i + q_i y_i + r_i) \quad (2.15)$$

untuk  $i=1, \dots, 4$ , dengan  $\{p_i, q_i, r_i\}$  adalah himpunan parameter konsekuen. Pada lapisan ini, ada fungsi masukan  $f$  yang akan dikalikan dengan derajat pengaktifan ternormalisasi ( $w$ ) untuk setiap aturan fuzzy pada bagian konsekuen. Pada lapisan ini terdapat parameter-parameter  $p_i, q_i, r_i$  yang disebut parameter konsekuen.

### e. Lapisan 5

Lapisan ini diberi lambang  $\sum$  dan merupakan lapisan tetap. Pada lapisan ini, masukan dari lapisan-lapisan sebelumnya dijumlahkan. Keluaran dari lapisan ini merupakan keluaran akhir dari seluruh sistem Neuro-Fuzzy, dengan fungsi sebagai berikut:

$$O_5 = \sum \bar{w}_i \cdot f_i = y \quad (2.16)$$

Dengan demikian, kelima layer tersebut akan membangun suatu adaptive network yang secara fungsional ekuivalen dengan fuzzy model sugeno orde satu.

Untuk memberi nilai awal pada parameter premis (pada bagian membership function), biasanya digunakan Fuzzy Clustering Mean (FCM). Pada arsitektur ANFIS, node yang bersifat adaptif terdapat pada layer 1 dan 4. Node pada layer 1 mengandung parameter premis yang nonlinier sedangkan pada layer 4 mengandung parameter konsekuen yang linier. Untuk memperbarui parameter – parameter tersebut (dengan kata lain proses belajar dari jaringan saraf), kita memerlukan proses learning atau training. ANFIS menggunakan

hybrid supervised method yang berbasis pada dua metode, yaitu least – squares dan gradient descent.

Pada arah maju (forward), parameter premis dibuat tetap. Dengan menggunakan metode Least Square Estimator (LSE), parameter konsekuen diperbaiki berdasarkan pasangan data pada training set. Metode LSE dapat diterapkan karena parameter konsekuen yang diperbaiki bersifat linier. Setelah parameter konsekuen diperoleh, data masukan dilewatkan jaringan adaptif kembali dan hasil keluaran jaringan adaptif ini dibandingkan dengan keluaran yang diharapkan (target).

Pada arah mundur (backward), parameter konsekuen dibuat tetap. Kesalahan (error) antara keluaran jaringan adaptif dan target dipropagasikan balik menggunakan gradient descent untuk memperbarui parameter premis. Satu tahap pembelajaran maju – mundur ini dinamakan satu epoch.

## 2.6 Fuzzy Clustering Mean (untuk inialisasi / nilai awal parameter bagian premis)

*Fuzzy clustering* adalah salah satu teknik untuk menentukan *cluster* optimal dalam suatu ruang *vektor* yang didasarkan pada bentuk normal *euclidian* untuk jarak antar *vektor*. *Fuzzy clustering* sangat berguna bagi pemodelan *fuzzy* terutama dalam mengidentifikasi aturan-aturan *fuzzy*. Metode *clustering* merupakan pengelompokan data beserta parameternya dalam kelompok – kelompok sesuai kecenderungan sifat dari masing-masing data tersebut (kesamaan sifat). Ada beberapa algoritma *clustering* data, salah satu diantaranya adalah *Fuzzy C Means*. *Fuzzy C-Means* adalah suatu teknik peng-*cluster*-an data yang mana keberadaana tiap-tiap data dalam suatu *cluster* ditentukan oleh derajat keanggotaan. Teknik ini pertama kali diperkenalkan oleh Jim Bezdek pada tahun 1981. Konsep dari *Fuzzy C-Means* pertama kali adalah menentukan pusat *cluster*, yang akan menandai lokasi rata rata untuk tiap-tiap *cluster*. Pada kondisi awal, pusat *cluster* ini masih belum akurat. Tiap-tiap titik data memiliki derajat keanggotaan untuk tiap-tiap *cluster*. Dengan cara memperbaiki pusat *cluster* dan derajat keanggotaan tiap-tiap titik data secara berulang, maka akan dapat dilihat bahwa pusat *cluster* akan bergerak menuju lokasi yang tepat. Perulangan ini didasarkan pada minimasi fungsi obyektif yang menggambarkan jarak dari titik data yang diberikan kepusat *cluster* yang terbobot

oleh derajat keanggotaan titik data tersebut. *Output* dari *Fuzzy C-Means* merupakan deretan pusat *cluster* dan beberapa derajat keanggotaan untuk tiap-tiap titik data. Informasi ini dapat digunakan untuk membangun suatu *fuzzy inference system*.

- **Algoritma *Fuzzy C-Means***

Algoritma *Fuzzy C-Means* adalah sebagai berikut:

1. *Input* data yang akan dicluster  $X$ , berupa matriks berukuran  $n \times m$  ( $n$ =jumlah sample data,  $m$ =Jumlah variabel (criteria)).  
 $X_{ij}$ =data sample ke- $i$  ( $i=1,2,\dots,n$ ), atribut ke- $j$  ( $j=1,2,\dots,m$ ).
2. Tentukan:
  - Jumlah *cluster* =  $c$ ;
  - Pangkat =  $w$ ;
  - Maksimum iterasi =  $\text{MaxIter}$ ;
  - Error terkecil yang diharapkan =  $\text{Eps}$ ;
  - Iterasi awal =  $t=1$ ;
3. Bangkitkan nilai acak  $\mu_{ik}$ ,  $i=1,2,\dots,n$ ;  $k=1,2,\dots,c$ ; sebagai elemen-elemen matriks partisi awal  $U$ .  $\mu_{ik}$  adalah derajat keanggotaan yang merujuk pada seberapa besar kemungkinan suatu data bisa menjadi anggota ke dalam suatu *cluster*. Posisi dan nilai matriks dibangun secara random. Dimana nilai keanggotaan terletak pada interval 0 sampai dengan 1. Pada posisi awal matriks partisi  $U$  masih belum akurat begitu juga pusat *clusternya*. Sehingga kecenderungan data untuk masuk suatu *cluster* juga belum akurat.

$$U = \begin{bmatrix} \mu_{11} & \mu_{12} & \dots & \dots & \dots & \mu_{1n} \\ \mu_{21} & \mu_{22} & \dots & \dots & \dots & \mu_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \mu_{c1} & \mu_{c2} & \dots & \dots & \dots & \mu_{cn} \end{bmatrix}$$

4. Hitung pusat *cluster* untuk setiap cluster:  $V_{kj}$ , dengan  $k=1,2,\dots,c$ ; dan  $j=1,2,\dots,m$ .

$$V_{kj} = \frac{\sum_{i=1}^n ((\mu_{ik})^w * X_{ij})}{\sum_{i=1}^n (\mu_{ik})^w} \quad (2.17)$$

5. Hitung perubahan matriks partisi:

$$\mu_{ik} = \frac{\left[ \sum_{i=1}^m (X_{ij} - V_{kj})^2 \right]^{\frac{-1}{w-1}}}{\sum_{k=1}^c \left[ \sum_{i=1}^m (X_{ij} - V_{kj})^2 \right]^{\frac{-1}{w-1}}} \quad (2.18)$$

6. cek kondisi berhenti:

- jika  $(|U^t - U^{t-1}| < \text{Eps})$  atau  $(t > \text{maxIter})$  maka iterasi dihentikan.
- jika tidak:  $t=t+1$ , ulangi langkah ke-4.

## 2.7 Proses Pembelajaran dengan RLSE untuk Parameter Konsekuen

Jika nilai dari parameter premis tetap maka keluaran keseluruhannya dapat dinyatakan dengan kombinasi linier dari parameter konsekuen, seperti pada persamaan (2.19).

$$f = \overline{w}_1 \cdot f_1 + \overline{w}_2 \cdot f_2 - \overline{w}_1(p_1x + q_1y + r_1) + \overline{w}_2(p_2x + q_2y + r_2) \quad (2.19)$$

Pada persamaan (2.19) terlihat parameter - parameter bagian konsekuen merupakan parameter linier terhadap keluaran sistem. Jika sejumlah N data belajar diterapkan pada persamaan (2.19), didapat :

$$\begin{aligned} (\overline{w}_1x)_1p_1 + (\overline{w}_1y)_1q_1 + (\overline{w}_1)_1r_1 + (\overline{w}_2x)_1p_2 + (\overline{w}_2y)_1q_2 + (\overline{w}_2)_1r_2 = \\ \vdots \\ \vdots \end{aligned} \quad (2.20)$$

$$(\overline{w}_1x)_np_1 + (\overline{w}_1y)_nq_1 + (\overline{w}_1)_nr_1 + (\overline{w}_2x)_np_2 + (\overline{w}_2y)_nq_2 + (\overline{w}_2)_nr_2 =$$

jika dinyatakan dengan persamaan matriks, berbentuk :

$$\mathbf{A}\boldsymbol{\theta} = \mathbf{y} \quad (2.21)$$

dengan  $\boldsymbol{\theta}$  merupakan vektor  $6 \times 1$  yang elemen - elemennya merupakan himpunan parameter konsekuen,  $\mathbf{y}$  merupakan vektor keluaran yang elemen-elemennya  $N$  buah data keluaran sistem. Penyelesaian terbaik untuk  $\boldsymbol{\theta}$  adalah meminimumkan  $\|\mathbf{A}\boldsymbol{\theta} - \mathbf{y}\|^2$ , dengan teori LSE (Least Square Estimator) didapat  $\boldsymbol{\theta}^*$  :

$$\boldsymbol{\theta}^* = (\mathbf{A}^T \mathbf{A})^{-1} \mathbf{A}^T \mathbf{y} \quad (2.22)$$

$\boldsymbol{\theta}^*$  dihitung dengan rumus Recursive LSE (RLSE). Selanjutnya persamaan (2.22) menjadi :

$$\begin{cases} \hat{\boldsymbol{\theta}}_{i+1} = \hat{\boldsymbol{\theta}}_i + \mathbf{P}_{i+1} \mathbf{a}_{i+1} (\mathbf{y}_{i+1}^T - \mathbf{a}_{i+1}^T \hat{\boldsymbol{\theta}}_i) \\ \mathbf{P}_{i+1} = \mathbf{P}_i - \frac{\mathbf{P}_i \mathbf{a}_{i+1} \mathbf{a}_{i+1}^T \mathbf{P}_i}{1 + \mathbf{a}_{i+1}^T \mathbf{P}_i \mathbf{a}_{i+1}}, \quad i = 0, 1, \dots, P-1 \end{cases} \quad (2.23)$$

Dengan  $\mathbf{a}_i^T$  adalah vektor baris dari matriks  $\mathbf{A}$  pada persamaan (2.21),  $\mathbf{y}_i$  adalah elemen ke- $i$  dari  $\mathbf{y}$ .  $\mathbf{P}_i$  disebut matriks kovariansi yang didefinisikan dengan :

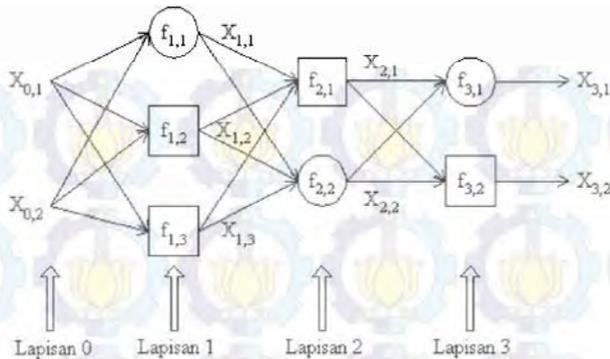
$$\mathbf{P}_i = (\mathbf{A}^T \mathbf{A})^{-1} \quad (2.24)$$

## 2.8 Proses Pembelajaran Backpropagation-error untuk Parameter Premis

Parameter premis adalah parameter adaptif dengan proses pembelajarannya menggunakan metode belajar sistem jaringan syaraf feedforward dengan gradient descent. Misalkan sebuah sistem jaringan adaptif dinyatakan dengan  $L$  lapisan dan lapisan ke- $i$  ( $i = 0, 1, \dots, L$ ;  $i = 0$  menyatakan lapisan masukan) mempunyai  $N(i)$  simpul. Keluaran dan fungsi simpul ke- $\ell$  [ $\ell = 1, \dots, N(\ell)$ ] pada lapisan ke- $\ell$  dinyatakan dengan  $x_{\ell,i}$  dan  $f_{\ell,i}$  seperti tampak pada gambar 2.22. Keluaran simpul merupakan fungsi dari sinyal yang masuk dan parameter sistem, maka diperoleh

$$x_{\ell,i} = f_{\ell,i}(x_{\ell-1,1}, \dots, x_{\ell-1, N(\ell-1)}, \alpha, \beta, \gamma, \dots) \quad (2.25)$$

dengan  $\alpha, \beta, \gamma$  adalah parameter simpul



**Gambar 2.7** Model jaringan syaraf feedforward.

Misalkan sejumlah  $P$  pasangan data untuk proses belajar jaringan adaptif, selanjutnya dapat didefinisikan pengukuran kesalahan pada data latih ke- $p$  adalah jumlah kuadrat kesalahan.

$$E_p = \sum_{k=1}^{N(L)} (d_k^p - x_{L,k}^p)^2 \quad (2.26)$$

Dengan  $d_k^p$  komponen ke- $k$  dari vektor keluaran yang diinginkan (target) dan  $x_{L,k}^p$  adalah vektor keluaran aktual yang dihasilkan sistem jaringan adaptif dengan masukan dari vektor masukan ke- $p$  dari  $P$  data training. Tujuan dari sistem adaptif adalah untuk meminimumkan pengukuran kesalahan pada persamaan (2.26) dengan mengubah parameter-parameter adaptif. Dengan mendefinisikan sinyal kesalahan  $\xi_i$  sebagai ordered derivative terhadap keluaran simpul ke- $i$ , lapisan ke- $l$ , maka ordered derivative dinotasikan dengan :

$$\xi_{l,i} = \frac{\partial^+ E_p}{\partial x_{l,i}} \quad (2.27)$$

Sinyal kesalahan untuk simpul keluaran ke- $i$  (pada lapisan  $L$ ) dapat dihitung langsung dengan:

$$\xi_{L,i} = \frac{\partial^+ E_p}{\partial x_{L,i}} = \frac{\partial E_p}{\partial x_{L,i}} \quad (2.28)$$

Jika pengukuran kesalahan seperti yang didefinisikan pada persamaan (2.26) maka persamaan (2.28) menjadi :

$$E_{Lj} = -2(d_j^p - x_{Lj}^p) \quad (2.29)$$

Untuk simpul dalam pada lapisan l posisi ke-i, sinyal kesalahan dapat diperoleh menggunakan aturan rantai.

$$\hat{q}_{i,l} = \underbrace{\frac{\partial^+ E_p}{\partial x_{l,i}}}_{\text{sinyal kesalahan pada lapisan } l} = \sum_{m=1}^{N(l+1)} \underbrace{\frac{\partial^+ E_p}{\partial x_{l+1,m}}}_{\text{sinyal kesalahan pada lapisan } l+1} \frac{\partial f_{l+1,m}}{\partial x_{l,i}} = \sum_{m=1}^{N(l+1)} \hat{q}_{i+1,m} \quad (2.30)$$

Dengan  $0 \leq \ell \leq L-1$  Sinyal kesalahan simpul dalam, pada lapisan ke-l dapat dinyatakan sebagai kombinasi linier dari sinyal kesalahan simpul pada lapisan ke  $(\ell +1)$ . Jadi untuk menghitung sinyal kesalahan pada simpul ke-i lapisan ke-l ( $\ell < L$ ), pertama digunakan persamaan (2.28) untuk mendapatkan sinyal kesalahan pada lapisan keluaran kemudian persamaan (2.30) secara iteratif sampai mencapai lapisan yang diinginkan. Prosedur diatas disebut penjararan balik (backpropagation) karena sinyal kesalahan dihitung secara mundur dari lapisan keluaran hingga lapisan masukan. Vektor gradient didefinisikan sebagai ordered derivative dari pengukuran kesalahan terhadap tiap parameternya. Jika  $\alpha$  adalah parameter simpul ke-l lapisan ke-l, maka diperoleh :

$$\frac{\partial^+ E_p}{\partial \alpha} = \frac{\partial E_p}{\partial x_{l,i}} \frac{\partial f_{l,i}}{\partial \alpha} = \hat{q}_{l,i} \frac{\partial f_{l,i}}{\partial \alpha} \quad (2.31)$$

Jika  $\alpha$  merupakan parameter yang ada pada beberapa simpul maka persamaan (2.31) menjadi :

$$\frac{\partial^+ E_p}{\partial \alpha} = \sum_{x^* \in S} \frac{\partial^+ E_p}{\partial x^*} \frac{\partial f^*}{\partial \alpha} \quad (2.32)$$

dengan S merupakan himpunan simpul yang berisikan  $\alpha$  sebagai parameter, sedangkan  $x^*$  dan  $f^*$  adalah keluaran dan fungsi dari simpul yang bersangkutan. Turunan masing-masing secara keseluruhan terhadap pengukuran kesalahan akan menghasilkan :

$$\frac{\partial^+ E}{\partial \alpha} = \sum_{p=1}^P \frac{\partial^+ E_p}{\partial \alpha} \quad (2.33)$$

Dengan metode gradient simple steepest descent, persamaan untuk memperbaiki parameter  $\alpha$  adalah :

$$\Delta \alpha = -\eta \frac{\partial^+ E}{\partial \alpha} \quad (2.34)$$

dengan  $\eta$  adalah laju proses belajar (learning rate) yang dinyatakan dengan:

$$\eta = \frac{k}{\sqrt{\sum \left( \frac{\partial E}{\partial \alpha} \right)^2}} \quad (2.35)$$

dan  $k$  adalah ukuran langkah (step size) yang dapat diubah untuk mempercepat konvergensi[6].

## 2.9 MIKROKONTROLLER

Mikrokontroller adalah sebuah rangkaian digital diintegrasikan, yang merupakan jantung dari setiap aplikasi kontrol modern. Microprocessor dan mikrokontroller sama, tetapi sejauh domain aplikasi yang bersangkutan, arsitektur mereka berbeda. Microprocessor atau CPU utamanya digunakan untuk aplikasi komputasi kecepatan tinggi. Di lain pihak mikrokontroller digunakan dalam automasi dan aplikasi control. Namun sekarang domain aplikasi dari mikrokontroller telah diperluas ke sector komputasi. Contohnya banyak tertanam mikrokontroller pada modem, disk drives, floppy disk, dll. Sebelum kedatangan mikrokontroller, mikroprocessor telah dipilih untuk merealisasikan system control. Meskipun mikrokontroller telah dianggap menjadi pengganti mikroprocessor, dalam industry masih menggunakan mikroprocessor dikarenakan mereka mudah menyesuaikan, fleksibilitas, dapat memenuhi, harga murah, dan kemudahan menulis serta penanganan kode. Untuk kedepannya dalam memahami mikrokontroller, melakukan penelitian pada mikroprosesor adalah penting [7].

### 2.9.1 ARM

ARM adalah prosesor dengan arsitektur set instruksi 32-bit RISC (Reduced Instruction Set Computer) yang dikembangkan oleh ARM Holdings. ARM merupakan singkatan dari Advanced RISC Machine (sebelumnya lebih dikenal dengan kepanjangan Acorn RISC Machine).



Gambar 2.8 Mikrokontroler ARM

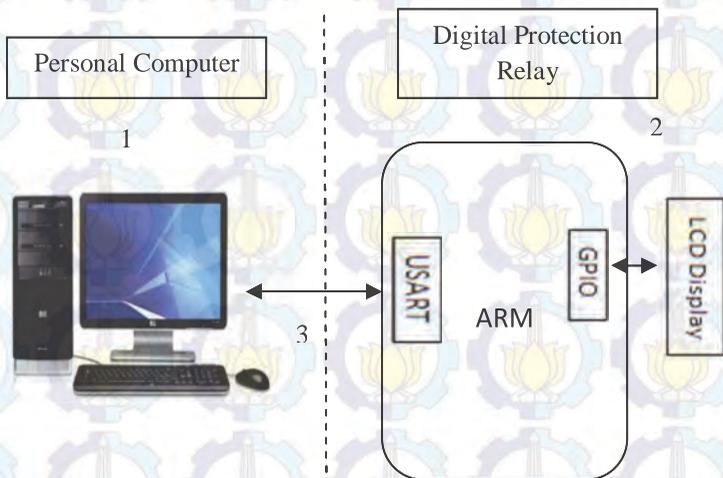


## BAB III

### PERANCANGAN HARDWARE DAN SOFTWARE

#### 3.1 Konfigurasi Sistem

Pada bab ini akan dijelaskan perencanaan dan pembuatan hardware dan software. Sistem yang akan dibuat terdiri dari mikrokontroller, LCD graph sebagai tampilan data, PC sebagai running ANFIS dan pengujian alat secara serial. Pada gambar 3.1. menunjukkan konfigurasi sistem yang dibuat.



Gambar 3. 1 Konfigurasi Sistem

Keterangan :

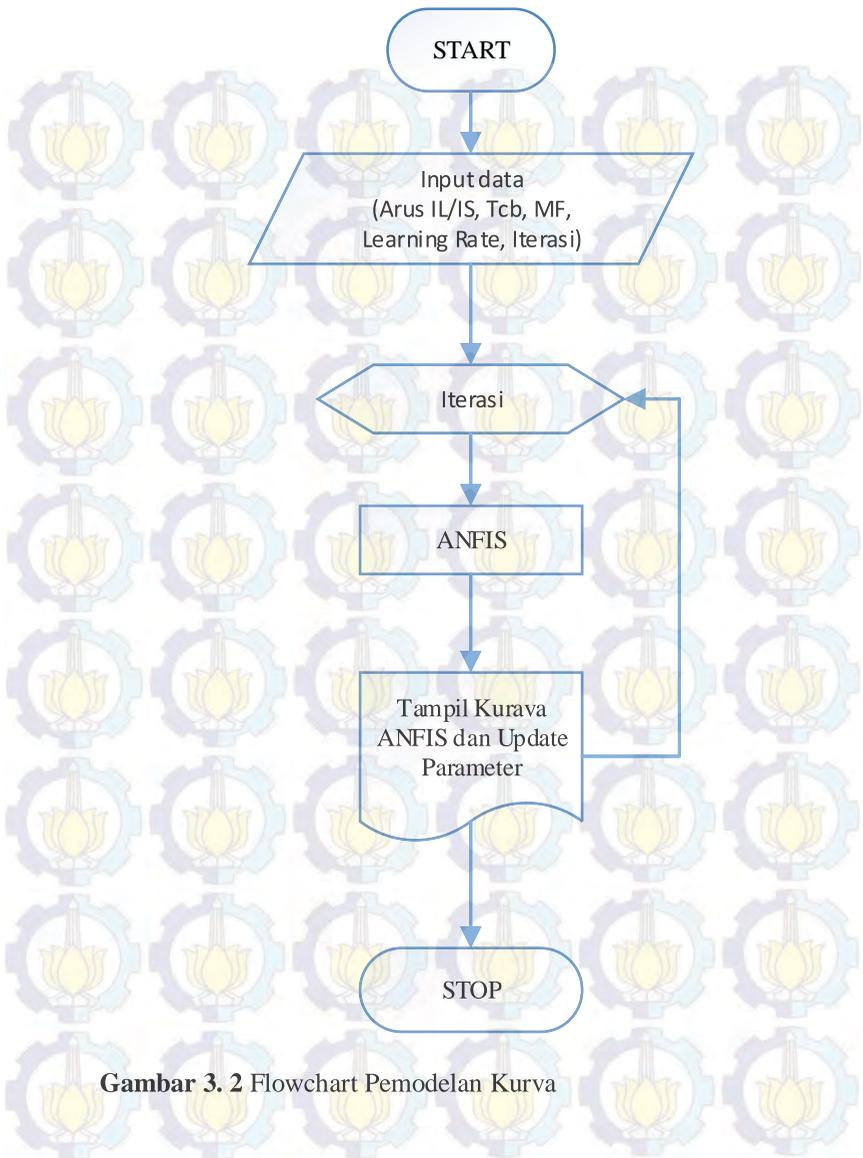
1. Personal Computer digunakan untuk memodelkan kurva *over current relay*. Setelah memodelkan dilakukan learning data menggunakan ANFIS yang telah dibuat. Hasil learning berupa kurva baru dan parameter premis konsekuen.
2. Kita menggunakan ARM sebagai *Digital Protection Relay*. Parameter dari hasil learning didownloadkan ke ARM. USART yang ada di dalam ARM berfungsi untuk melakukan komunikasi serial dengan PC. Sedangkan GPIO dihubungkan ke LCD display untuk tampilan rele.
3. Pengujian dilakukan dengan transfer data melalui komunikasi serial dari PC ke ARM. Pengujian ini dilakukan dengan mengirim arus IL/ IS ke rele kemudian rele akan menjawab dengan waktu trip.

Tugas akhir ini bertujuan untuk mendisain kurva konvensional dengan menggunakan metode *adaptive neuro fuzzy inference system (ANFIS)*. Pada penelitian terdiri dari beberapa tahap, yaitu:

1. Merancang ANFIS dan di implementasikan ke bahasa C#.
2. Merancang alat yang akan digunakan sebagai relay digital

### **3.2 Desain pemodelan kurva karakteristik inverse pada OCR menggunakan ANFIS**

Untuk tugas akhir kali ini struktur ANFIS yang digunakan yaitu 1 input 1 output. Data input yang kita gunakan yaitu data Arus IL/IS dan data waktu putus dari rele konvensional standar inverse. Dari data arus kemudian dilakukan latih data atau learning hingga batas ietarsi yang telah ditentukan. Akhir dari training data akan di peroleh parameter akhir. Parameter ini berupa parameter premis dan konsekuen yang nantinya akan di masukkan ke rele digitalya. Flow chart dari pemodelan kurva ANFIS akan seperti berikut :



**Gambar 3. 2** Flowchart Pemodelan Kurva

Flow chart di atas menjelaskan tentang pemodelan karakteristik kurva konvensional. Dalam mendesain kurva konvensional akan digunakan bahasa C# dengan software visual studio. Langkah pertama dalam melakukan pemodelan kurva yaitu user akan menginputkan data training yang berupa Arus IL/IS dan waktu pemutusan Tcb. Selain input data training diinputkan juga nilai learning rate dan jumlah iterasi yang di inginkan. Secara umum semakin banyak jumlah itersi maka semakin kecil nilai error MSE nya.

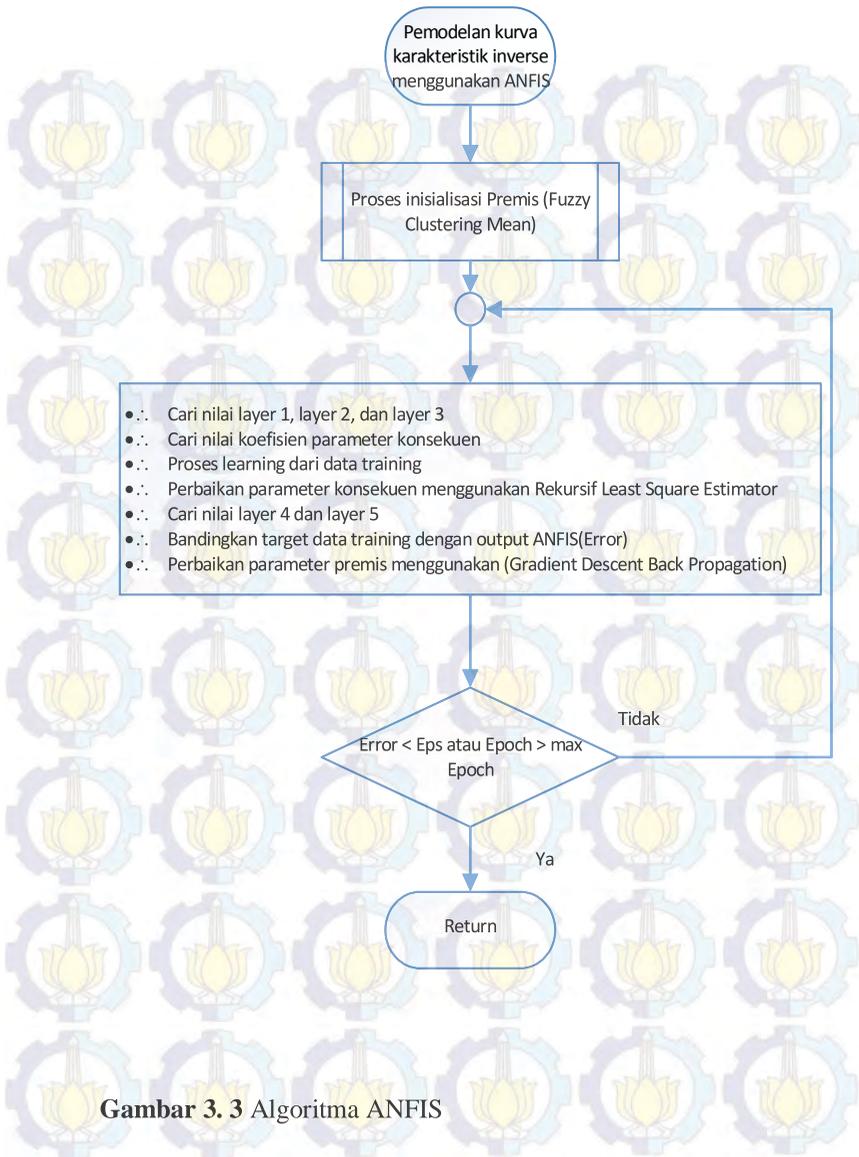
Langkah berikutnya yaitu proses training ANFIS dengan diawali inisialisasi nilai awal parameter. Inisialisasi menggunakan FCM (fuzzy clustering mean) merupakan suatu proses pengelompokan data dimana pada hasil akhir didapat parameter premis dari data yaitu perhitungan mean dan standar deviasai.

Setelah didapatkan parameter premis dari proses FCM, berikutnya masuk ke struktur ANFIS dimana pada bagaian ini data akan diolah tiap layernya. Pada layer 5 data akan manghasilkan nilai output. Pada bagian struktur ANFIS ini data akan melakukan iterasi hingga di dapat error yang sangat kecil. Error yang sangat kecil menunjukkan bahwa output mendekati atau sama dengan target.

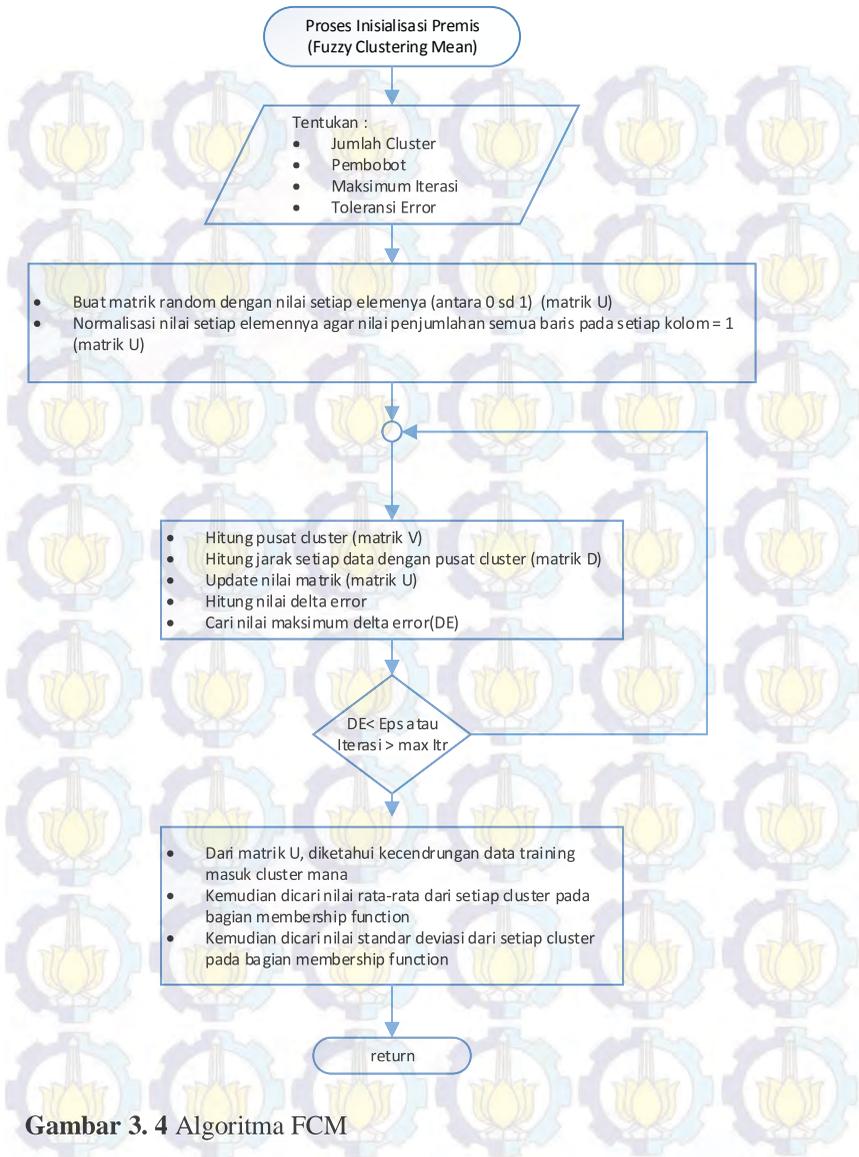
Setelah output mencapai target maka akan diperoleh parameter terbaru dan tampilan sebuah kurva ANFIS. Parameter terbaru ini adalah update dari parameter lama yang berupa premis dan konsekuen. Update keduanya didapat setelah proses training selesai. Kemudian untuk selanjutnya parameter ini di masukkan ke DPR (*digital protection relay*) untuk dilakukan pengujian.

### **3.2.1 Algoritma ANFIS**

Algoritma ANFIS yang akan digunakan untuk pemodelan kurva kurang lebih tertera di flowchart di halaman berikutnya. Berikut adalah flowchart algoritma ANFIS.



**Gambar 3. 3** Algoritma ANFIS



**Gambar 3. 4** Algoritma FCM

Jadi proses step pertama data diklompokan untuk mendapatkan parameter premis pada bagian inialisasi permis FCM.

Selanjutnya mencari nilai layer 1 sampai 3, dimana layer 1 menggunakan rumus menentukan fungsi keanggotaan dengan bentuk beta. Untuk layer merupakan perkalian dari fungsi kenggotaan yang terbentuk di layer 1, dan yang layer 3 merupakan bagian normalisasi. Selain itu pada bagian ini proses perbaikan parameter konsekuen menggunakan Least Square Estimator (LSE), dan proses perbaikan parameter premis menggunakan Gradient Descent Backpropagation. Perbaikan parameter premis dan parameter konsekuen dilakukan sampai epoch melebihi nilai maksimal epoch, atau error lebih kecil dari toleransi error yang diperbolehkan.

### **3.3 Perancangan dan Pembuatan Alat**

#### **3.3.1 Perancangan Hardware**

Untuk hardware rele digital menggunakan mikrokontroller ARM sebagai prototypenya. Selain rele dikendalikan dengan mikrokontroller rele akan menampilkan arus IL/IS dan waktu trip dengan tampilan LCD grafik 128 x 64. Berikut adalah tampilan mikrokontroller ARM yang akan digunakan sebagai prototype rele.

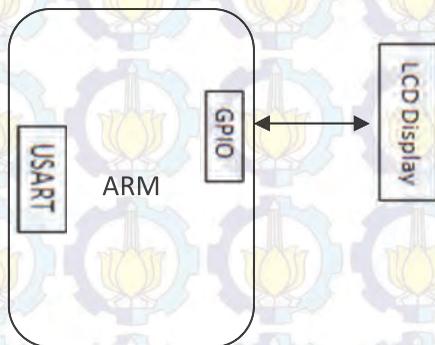


**Gambar 3. 5** Hardware Mikrokontroller ARM

LCD grafik 128 x 64 digunakan sebagai penampil data rele, jadi tujuan dari display ini hanya untuk menunjukkan apakah rele sudah bekerja sesuai dengan besarnya arus gangguan yang terjadi. Berikut ini adalah rangkaian LCD grafik 128 x 64.



**Gambar 3. 6** Rangkaian LCD grafik 128x64

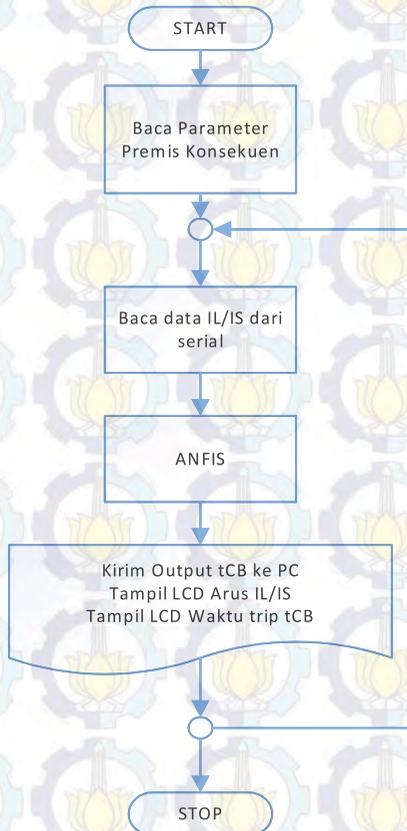


**Gambar 3. 7** Hardware Rele

### 3.3.2 Program ANFIS pada *Digital Protection Relay*

Input untuk rele ini berupa IL/IS. Inputan nilai arus ini tidak melalui sensor arus karena yang akan di rancang adalah prototype nya saja. Input dan Output alat ini akan dikirim dan diterima menggunakan USB serial. Karena seperti tujuan awal prototipe ini digunakan untuk membuktikan hasil kurvanya.

Untuk flowchartnya rele nya kurang lebih akan di tunjukkan seperti berikut :

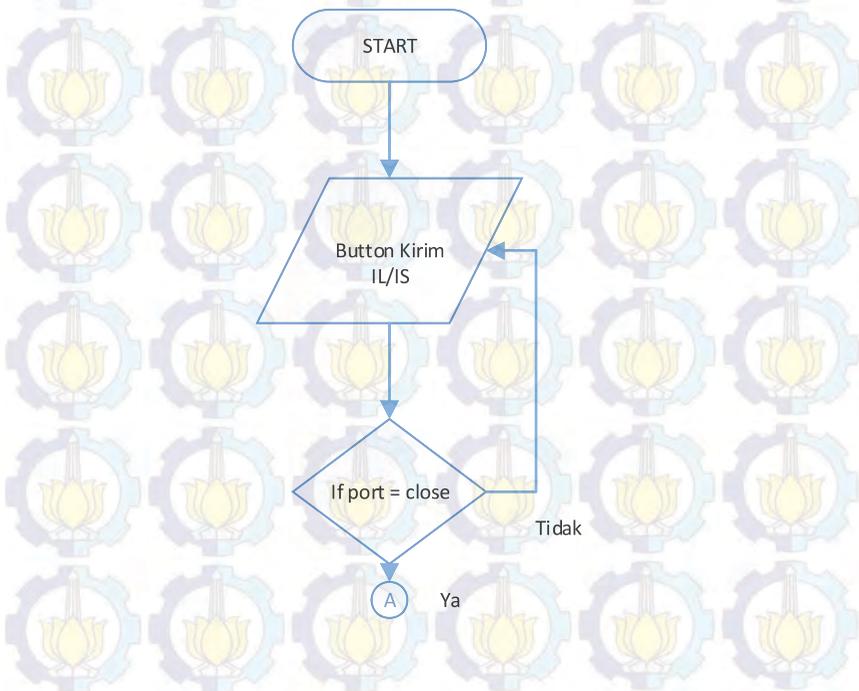


**Gambar 3. 8** Flowchart Program Mikrokontroler

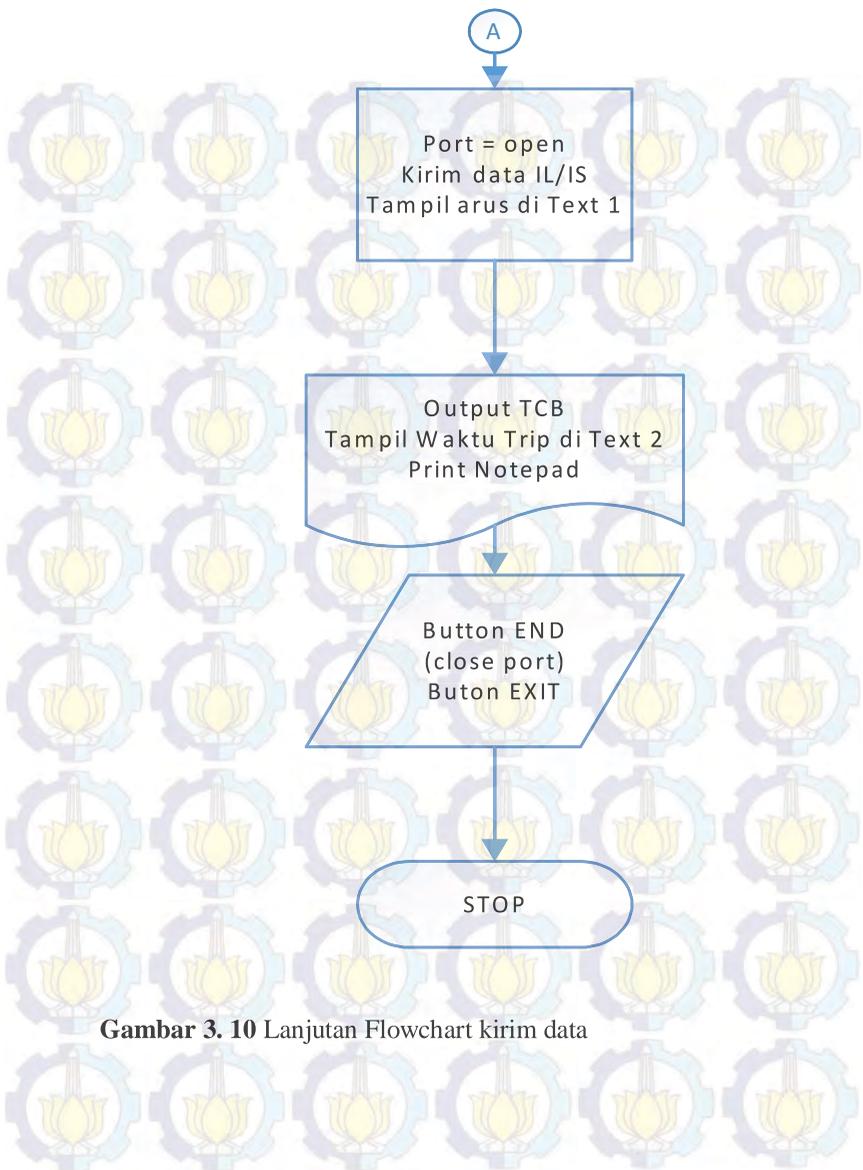
### 3.3.3 Program Komunikasi Serial

Selain dibuat program untuk alat, pada tugas akhir ini akan di buat program untuk pengiriman data arus dan penerima data waktu trip. Tujuan dibuatnya program ini untuk mengecek hasil kurva over current relay nanti seperti apa. Dan hasil kurva dari alat ini akan dibandingkan dengan kurva ANFIS yang telah di training sebelumnya.

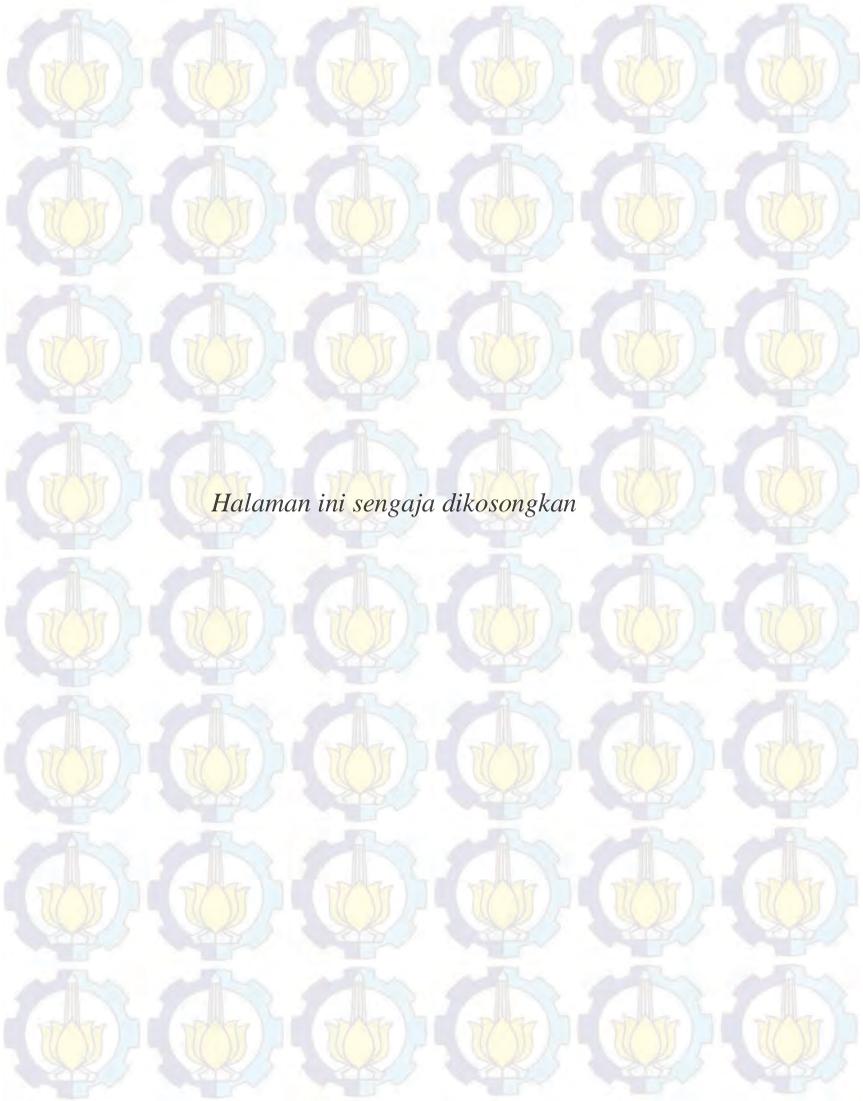
Flowchart program pengiriman arus IL/IS dan data terima waktu trip akan di tunjukkan berikut :



**Gambar 3. 9** Flowchart Program kirim dan terima data



**Gambar 3. 10** Lanjutan Flowchart kirim data



*Halaman ini sengaja dikosongkan*

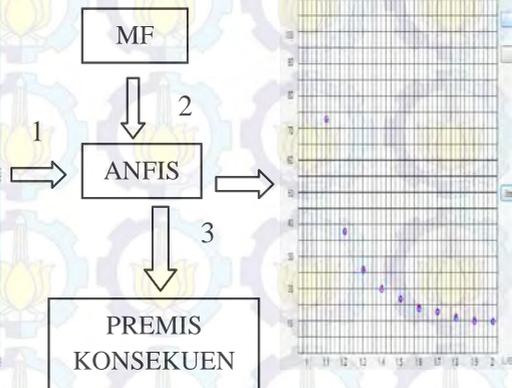
## BAB IV HASIL PENGUJIAN DAN ANALISIS

Pada bab IV ini akan di lakukan pengujian, pengujian tersebut meliputi pengujian software program yang telah dibuat dengan menggunakan metode ANFIS, dan juga pengujian kinerja hardware menggunakan Mikrokontroller ARM sebagai prototype rele nya.

Data Kurva  
Konvensional

No	IL/IS (input)	Tcb(output)
1	1.1	73.85
2	1.2	53.2
3	1.3	39.73
4	1.4	31.2
5	1.5	27.16
6	1.6	24.02
7	1.7	22.22
8	1.8	20.87
9	1.9	20.87
10	2.0	20.87

Model kurva ANFIS

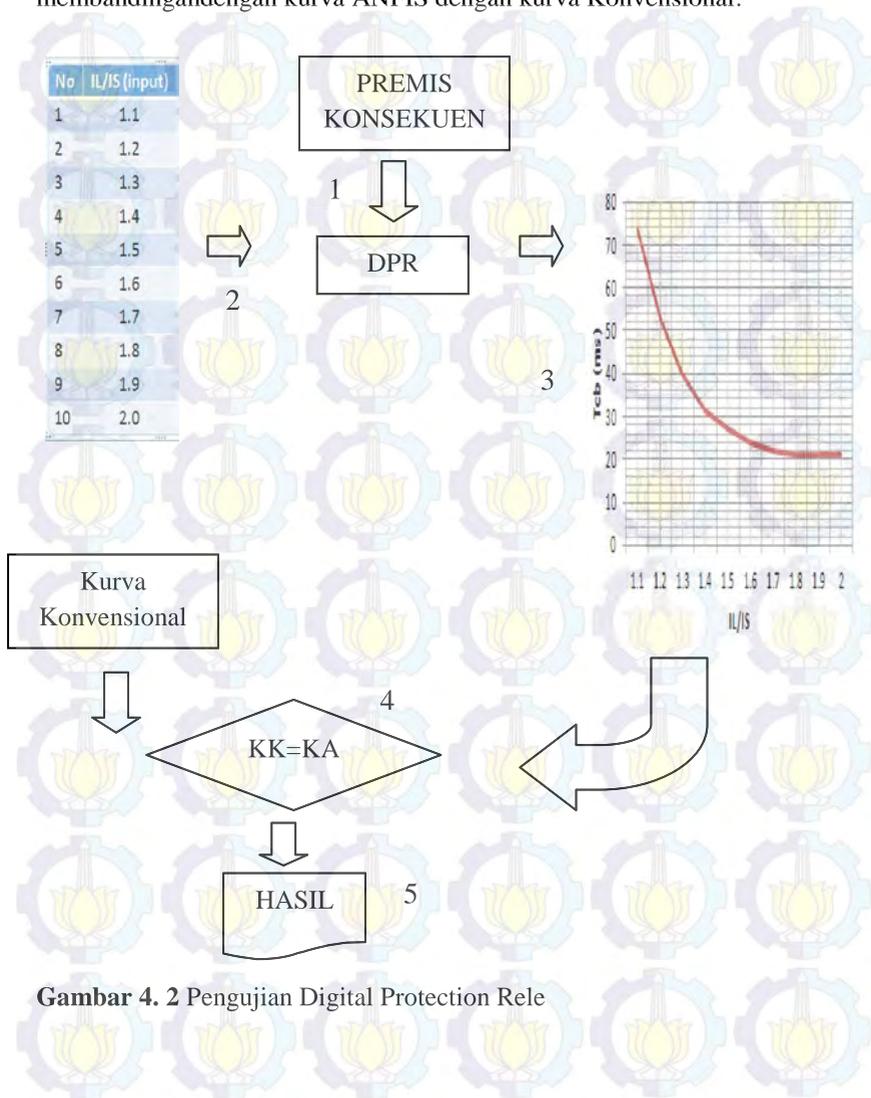


**Gambar 4. 1** Pengujian software program

Keterangan :

1. Data kurva konvensional inverse di masukkan ke program ANFIS
2. Dimasukkan nilai MF
3. Output ANFIS menghasilkan kurva baru dan didapatkan parameter Premis dan Konsekuen

Berikut merupakan bagan pengujian Digital Protection Relay serta membandingkan dengan kurva ANFIS dengan kurva Konvensional.



**Gambar 4. 2** Pengujian Digital Protection Rele

Keterangan :

1. Download parameter Premis dan Konsekuen hasil learning ANFIS
2. Masukkan data arus ke DPR, tiap 1 data arus yang masuk maka DPR akan menampilkan waktu trip
3. Keluaran DPR berupa data waktu trip sehingga jika di urutkan akan membentuk sebuah kurva inverse
4. Membandingkan kurva konvensional dengan kurva ANFIS dari DPR
5. Hasil dari perbandingan dapat diketahui apakah hasilnya sama atau tidak, sehingga dapat diketahui nilai errornya

#### 4.1 Pengujian Keakuratan dengan merubah *Membership Function*

Pengujian pertama akan dilakukan pengujian kurva konvensional dengan mentraining hingga mendapat error terkecil. Pengujian ini dilakukan dengan merubah nilai derajat keanggotaannya (*Membership Function*). Data rele yang akan di training berupa data input arus IL/IS dimana merupakan arus beban per arus setting. Selain data arus, akan di masukkan data tcb atau waktu trip CB sebagai target training.

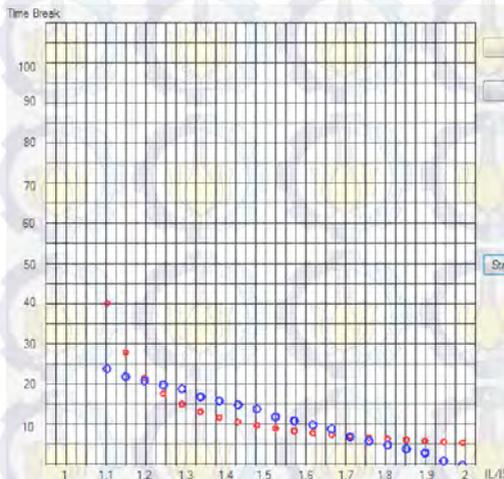
**Tabel 4. 1** Data Input Kurva Konvensional

No	IL/IS	Tcb (ms)	No	IL/IS	Tcb (ms)
1	1,10	40,35	11	1,56	8,51
2	1,14	28,06	12	1,61	7,99
3	1,19	21,70	13	1,66	7,53
4	1,24	17,82	14	1,70	7,14
5	1,28	15,20	15	1,75	6,80
6	1,33	13,31	16	1,80	6,49
7	1,38	11,88	17	1,84	6,22
8	1,42	10,77	18	1,89	5,97
9	1,47	9,87	19	1,94	5,75
10	1,52	9,13	20	1,98	5,55

Dari data rele konvensional diatas akan dilakukan training dengan memasukkan nilai membership function. MF yang dimasukkan dimulai dari yang terkecil yaitu 1 hingga yang terbesar di program ANFIS ini yaitu 10. Untuk MF dengan nilai 1 didapat hasil keluaran jauh dari target dengan nilai MSE 486,067. Hasil table output ANFIS dengan MF 1 ditunjukkan pada tabel berikut

**Tabel 4. 2** Data Kurva ANFIS dengan MF1

No	IL/IS	Tcb (ms)	No	IL/IS	Tcb (ms)
1	1,10	24,00	11	1,56	11,69
2	1,14	22,77	12	1,61	10,46
3	1,19	21,53	13	1,66	9,22
4	1,24	20,30	14	1,70	7,99
5	1,28	19,07	15	1,75	6,76
6	1,33	17,84	16	1,80	5,53
7	1,38	16,61	17	1,84	4,30
8	1,42	15,38	18	1,89	3,07
9	1,47	14,15	19	1,94	1,84
10	1,52	12,92	20	1,98	0,61

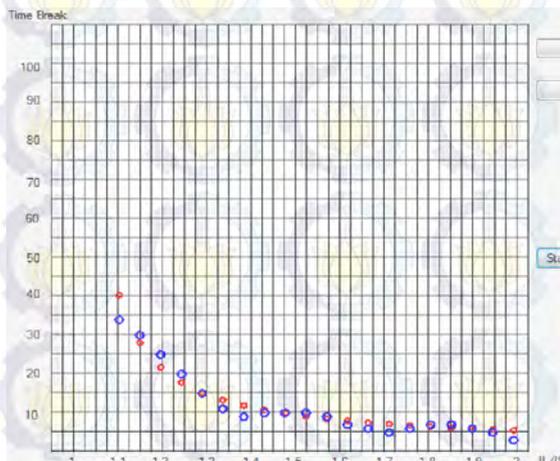


**Gambar 4. 3** Kurva ANFIS dengan MF 1

Pada gambar 4.3 menunjukkan bahwa kurva konvensional tertera pada titik merah, sedangkan untuk kurva ANFIS tertera pada titik biru. Jadi dari gambar tersebut dapat dikatakan output ANFIS belum mendekati target. Berikutnya dengan data input yang sama dilakukan training data dengan meningkatkan nilai membership function menjadi 3. Setelah di training didapatkan tabel output ANFIS sebagai berikut

**Tabel 4. 3** Data Kurva ANFIS dengan MF 3

No	IL/IS	Tcb (ms)	No	IL/IS	Tcb (ms)
1	1,10	34,96	11	1,56	9,45
2	1,14	30,19	12	1,61	7,47
3	1,19	25,16	13	1,66	6,06
4	1,24	20,04	14	1,70	5,98
5	1,28	15,25	15	1,75	6,86
6	1,33	11,58	16	1,80	7,67
7	1,38	9,88	17	1,84	7,73
8	1,42	10,11	18	1,89	6,94
9	1,47	10,91	19	1,94	5,46
10	1,52	10,82	20	1,98	3,49



**Gambar 4. 4** Kurva ANFIS dengan MF 3

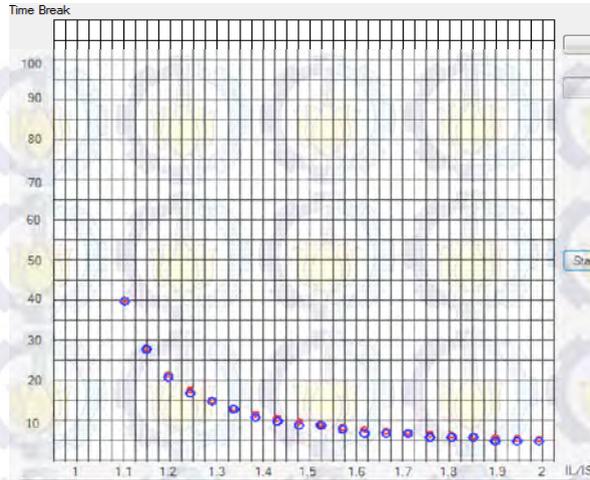
Tabel 4.3 menunjukkan bahwa data waktu trip mulai naik mendekati target. Dengan meningkatkan nilai membership function menjadi 3 menunjukkan perbaikan data output. Data ANFIS diatas memperoleh nilai MSE sebesar 75,46. Dengan turunnya nilai error berarti kurva ANFIS mulai mendekati target. Hal ini dapat ditunjukkan seperti pada gambar 4.4.

Selanjutnya membership function di tingkatkan menjadi 5, 8, dan terakhir 10. Untuk pengujian dengan nilai MF 10 didapat nilai MSE terkecil yaitu 2,39E-20. Dimana hasil data kurva ANFIS telah mendekati atau sama dengan data kurva konvensional.

**Tabel 4. 4** Data Kurva ANFIS dengan MF 10

No	IL/IS	Tcb (ms)	No	IL/IS	Tcb (ms)
1	1,10	40,35	11	1,56	8,51
2	1,14	28,06	12	1,61	7,99
3	1,19	21,70	13	1,66	7,53
4	1,24	17,82	14	1,70	7,14
5	1,28	15,20	15	1,75	6,80
6	1,33	13,31	16	1,80	6,49
7	1,38	11,88	17	1,84	6,22
8	1,42	10,77	18	1,89	5,97
9	1,47	9,87	19	1,94	5,75
10	1,52	9,13	20	1,98	5,55

Dari tabel diatas didapatkan sebuah data kurva ANFIS yang nilainya sama dengan kurva konvensional. Sehingga pada bentuk kurvanya kurva baru akan menindih persis kurva lama. Hal ini dapat ditunjukkan pada gambar berikut.



**Gambar 4. 5** Kurva ANFIS dengan MF 10

Dengan hasil error yang sangat kecil maka parameter pada kurva ANFIS MF 10 ini diambil untuk diujikan di *digital protection relay*.

Dari keseluruhan pengujian nilai MF didapatkan data tabel MF terhadap MSE (Mean Squared Error). Dalam tabel ini menunjukkan bahwa semakin besar nilai *membership function* semakin kecil error yang didapatkan.

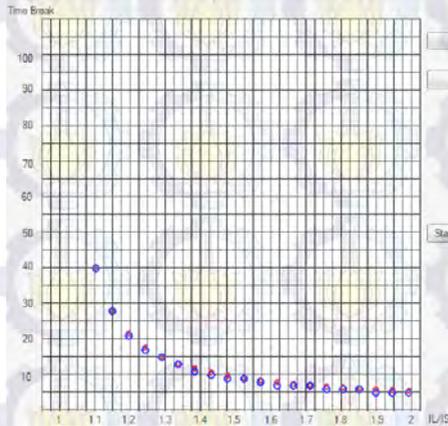
**Tabel 4. 5** Data MF terhadap MSE

MF	1	3	5	8	10
MSE	486,067	75,463	25,621	5,764	2,39E-20

#### 4.2 Pengujian Keakuratan dengan merubah Learning Rate

Pengujian berikutnya dilakukan pengujian keakuratan dengan merubah nilai *learning rate* atau laju pembelajaran. Dalam pengujian ini telah ditentukan nilai MF dari pengujian sebelumnya bahwa makin besar MF tingkat keakuratan semakin bagus. Maka nilai MF yang akan dimasukkan dalam pengujian ini adalah 10.

Untuk *learning rate* secara teori bernilai  $0 < lr < 1$ . Dengan data kurva konvensional yang sama akan di training dengan nilai *learning rate* yang berbeda.



**Gambar 4. 6** Kurva ANFIS dengan LR 0,2

Pertama dengan diberikan nilai *learning rate* sebesar 0,2, didapatkan kurva ANFIS pada gambar 4.6. Hasil kurva ANFIS telah diperoleh kurva yang sama dengan sebelumnya. Pada pengujian ini diperoleh nilai MSE  $1,451E-20$ .

Berikutnya dilakukan pengujian dengan diberikan nilai *lr* 0,3, didapatkan kurva ANFIS yang sama. Namun disini menunjukkan nilai MSE yang berbeda yaitu sebesar  $2,036E-20$ . Nilai ini lebih besar dari nilai MSE sebelumnya, hal ini menunjukkan laju pembelajaran atau *learning rate* mempengaruhi tingkat keakuratannya.

Selanjutnya dilakukan pengujian dengan *learning rate* bernilai 0,5, 0,7, dan 0,9. Dari hasil pengujian keseluruhan didapatkan tabel berikut.

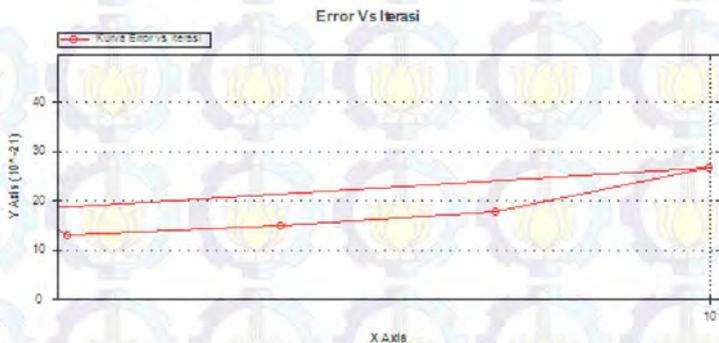
**Tabel 4. 6** Data LR terhadap MSE

LR	0,2	0,3	0,5	0,7	0,9
MSE	$1,45E-20$	$2,03E-20$	$2,23E-22$	$4,57E-22$	$4,62E-22$

dari tabel 4.6 ditunjukkan bahwa nilai MSE terkecil ditunjukkan pada *learning rate* 0,5. Selain itu pada pengujian ini MSE yang dihasilkan dari *learning rate* yang berbeda tidak tentu, namun diantaranya dapat diperoleh nilai MSE terkecil. Dengan nilai MSE terkecil tersebut maka *learning rate* 0,5 paling bagus di gunakan pada training data.

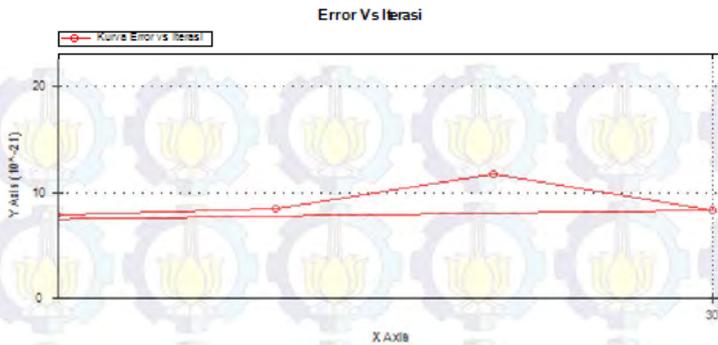
### 4.3 Pengujian Keakuratan dengan merubah Jumlah Iterasi

Selanjutnya dilakukan pengujian keakuratan dengan mengubah nilai iterasi. Kedua pengujian sebelumnya kita telah mendapatkan nilai *membership function* dan nilai *learning rate* sehingga dapat dihasilkan nilai MSE yang kecil. Dengan kedua data sebelumnya, pengujian ini akan dikombinasikan dengan merubah rubah nilai itersi. Data yang akan digunakan dalam pengujian ini sama dengan sebelumnya. Pengujian pertama digunakan 10 iterasi selama proses training data berlangsung.



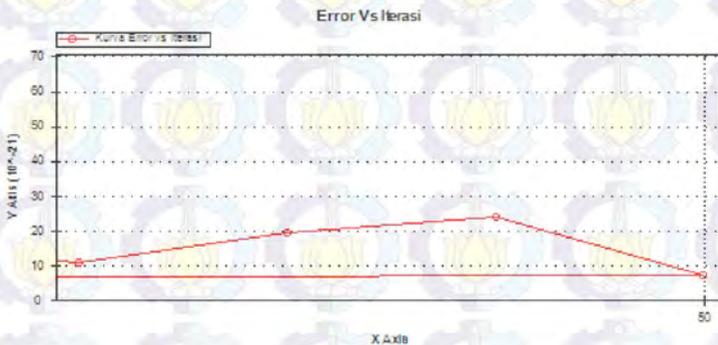
**Gambar 4. 7** Kurva MSE dengan 10 kali Iterasi

Hasil dari pengujian ditunjukkan pada gambar 4.7, gambar tersebut menunjukkan bahwa pada iterasi ke 10 nilai MSE telah mencapai 2,66E-20. Hasil ini menunjukkan bahwa data training telah mencapai target yang diinginkan. Selanjutnya dilakukan pengujian data dengan 30 iterasi.



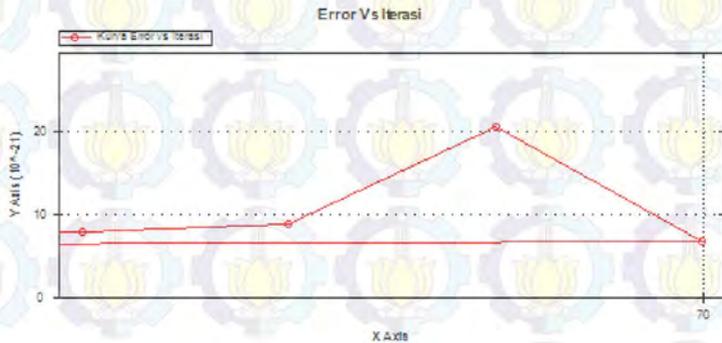
**Gambar 4. 8** Kurva Error dengan 30 kali Iterasi

Setelah pengujian dengan 30 iterasi didapatkan turunnya nilai MSE. Dari 2,66E-20 menjadi 8,20E-21, namun jika di lihat dari grafik kurva pada gambar 4.8 MSE sempat turun dengan pada iterasi ke 28 dan naik pada iterasi ke 29. Namun hasil MSE yang sangat kecil dapat dikatakan sudah bagus, karena sesuai tujuan data telah hampir mendekati target. Berikutnya dilakukan pengujian dengan input 50 iterasi.



**Gambar 4. 9** Kurva Error dengan 50 kali Iterasi

Dengan 50 kali iterasi telah didapatkan nilai MSE yang jauh lebih kecil dari sebelumnya yaitu  $7,10E-21$ . Pengujian ini berlanjut dengan data iterasi 70 kali.



**Gambar 4. 10** Kurva Error dengan 70 kali Iterasi

Dengan iterasi sebanyak 70 kali didapatkan hasil MSE sebesar  $6,75E-21$ . Hasil ini menunjukkan bahwa banyaknya iterasi mempengaruhi nilai MSE atau *Mean Squared Error*. Dan yang terakhir dilakukan pengujian keakuratan dengan 100 kali iterasi.



**Gambar 4. 11** Kurva Error dengan 100 kali Iterasi

Gambar 4.11 menunjukkan bahwa nilai MSE dengan 100 kali iterasi adalah  $6,74E-21$ . Dari keseluruhan pengujian keakuratan dengan

jumlah iterasi dapat diketahui bahwa banyaknya iterasi menghasilkan tingkat keakuratan yang bagus dengan nilai error yang sangat kecil.

#### 4.4 Pengujian 4 jenis kurva Inverse Konvensional

Kurva konvensional inverse secara umum dibagi menjadi 4, yaitu *standart inverse*, *very inverse*, *extremely inverse*, dan *long time inverse*. Pada pengujian kali ini akan dilakukan pengujian data training dengan 4 jenis kurva diatas. Pada pengujian ini hanya dilakukan training di setiap jenis kurva.

##### 4.4.1 Standart Inverse

Data pada pengujian *Standart Inverse* telah didapat sebelumnya dari rele ocr di salah satu plan PT HESS. Jadi data rele kurang lebih sudah ditunjukkan pada tabel 4.1. Untuk perhitungannya sendiri menggunakan rumusan berikut.

$$tcb = \frac{0,14 \times D}{\left(\frac{IL}{IS}\right)^{0,02} - 1}$$

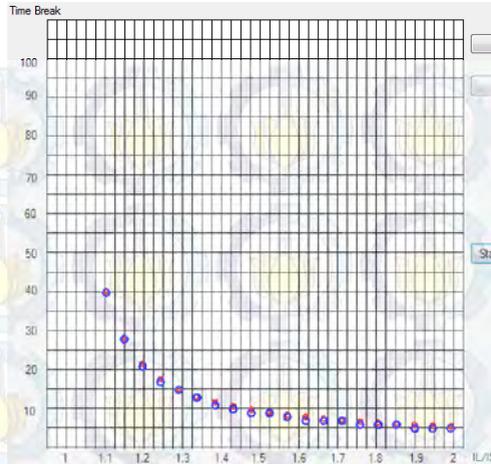
Pada data 4.1 yang sudah diketahui IL/IS dan tcb, jadi yang belum ditemukan yaitu nilai D atau *time dial*. Maka dapat dihitung misalkan IL/IS 1,1 dan tcb 40,35 maka D dapat diketahui.

$$40,35 = \frac{0,14 \times D}{(1,1)^{0,02} - 1}$$

$$0,076 = 0,14 \times D$$

$$D = 0,55$$

Nilai D tersebut dapat digunakan untuk perhitungan mencari tcb pada *very inverse*, *extremely inverse*, dan *long time inverse*. Selanjutnya data tabel 4.1 diplot dan ditraining.



**Gambar 4. 12** Kurva Standar Inverse

Pengujian kurva standar inverse telah didapat hasil training yang mendekati target dengan nilai MSE 1,43E-20.

#### 4.4.2 Very Inverse

Dengan data IL/IS dan *time dial* yang sama dengan kurva *standart inverse*, maka nilai tcb pada kurva *very inverse* dapat diketahui dengan perhitungan menggunakan rumus berikut.

$$tcb = \frac{13,5 \times D}{\left(\frac{Il}{Is}\right) - 1}$$

Dari data tabel 4.1 IL/IS bernilai 1,1 dan diperhitungkan sebelumnya D diketahui bernilai 0,55. Maka perhitungan dengan rumus very inverse seperti berikut.

$$tcb = \frac{13,5 \times 0,55}{1,1 - 1}$$

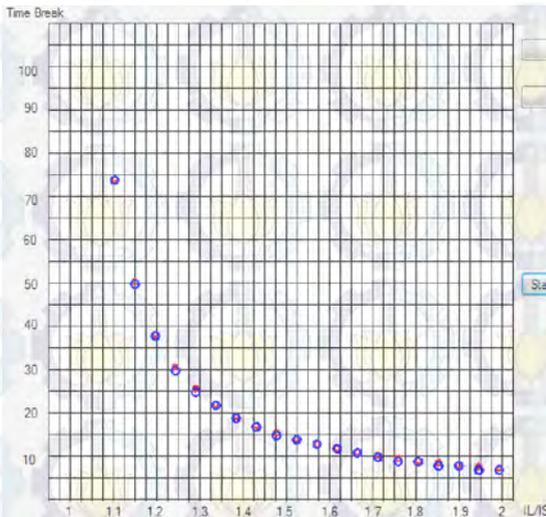
$$tcb = 74,25$$

Begitu juga dengan 19 data IL/IS berikutnya dapat diketahui tcbnya dengan cara melakukan perhitungan seperti pada rumus *very inverse*

diatas. Setelah semua perhitungan dilakukan didapatkan data sebagai berikut

**Tabel 4. 7** Data Kurva Very Inverse

No	IL/IS	Tcb (ms)	No	IL/IS	Tcb (ms)
1	1,10	74,25	11	1,56	13,06
2	1,14	50,56	12	1,61	12,06
3	1,19	38,33	13	1,66	11,21
4	1,24	30,87	14	1,70	10,47
5	1,28	25,84	15	1,75	9,82
6	1,33	22,21	16	1,80	9,25
7	1,38	19,48	17	1,84	8,74
8	1,42	17,35	18	1,89	8,28
9	1,47	15,64	19	1,94	7,87
10	1,52	14,23	20	1,98	7,50



**Gambar 4. 13** Kurva Very Inverse

Berbeda dengan *standart inverse*, kurva *very inverse* memiliki waktu trip lebih lama dari *standart inverse*. Dari pengujian kurva ini didapatkan nilai MSE sebesar 2,28E-20. Sesuai dengan hasil error

pada gambar 4.13 menunjukkan kurva ANFIS hampir menyamai kurva konvensional *very inverse*.

#### 4.4.3 Extrimely Inverse

Kurva extrimely inverse memiliki karakteristik waktu trip lebih lama dari kurva *very inverse*, selain itu dilihat dari bentuk kurva *extremely* ini memiliki tingkat kecuraman yang lebih disbanding dengan ketiga kurva lain. Untuk menentukan tcb kurva ini dapat dilakukan dengan perhitungan dengan menggunakan rumus berikut.

$$tcb = \frac{80 \times D}{\left(\frac{Il}{Is}\right)^2 - 1}$$

Dengan rumusan tersebut dapat ditentukan tcb pada setiap data IL/IS yang ada di tabel 4.1. Sebagai contoh perhitungannya akan dilakukan seperti berikut.

$$tcb = \frac{80 \times 0,55}{(1,1)^2 - 1}$$

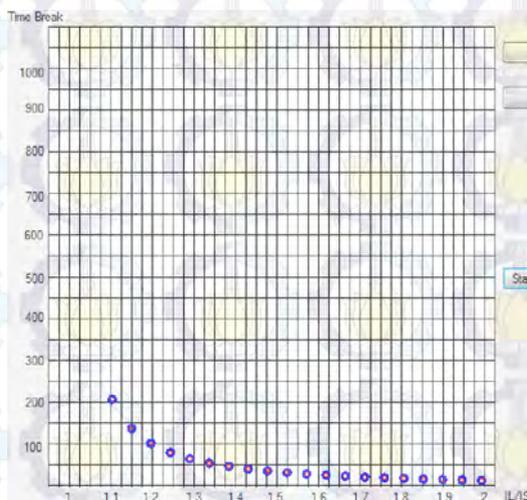
$$tcb = 209,52$$

Dengan dilakukan perhitungan pada 19 data IL/IS berikutnya maka akan didapat sebuah data yang membentuk kurva karakteristik *extremely inverse*. Data tersebut dicantumkan di tabel berikut.

**Tabel 4. 8** Data Kurva Extrimely Inverse

No	IL/IS	Tcb (ms)	No	IL/IS	Tcb (ms)
1	1,10	209,52	11	1,56	30,14
2	1,14	139,57	12	1,61	27,34
3	1,19	103,56	13	1,66	24,96
4	1,24	81,65	14	1,70	22,91
5	1,28	66,94	15	1,75	21,12
6	1,33	56,40	16	1,80	19,56
7	1,38	48,50	17	1,84	18,18
8	1,42	42,35	18	1,89	16,95
9	1,47	37,45	19	1,94	15,85
10	1,52	33,45	20	1,98	14,86

Dari tabel 4.8 dapat diplotkan menjadi bentuk kurva karakteristik extremely inverse. Seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.14 kurva extremely inverse tampil, namun pada gambar tersebut tidak menunjukkan bentuk curam pada bentuk kurva. Hal ini disebabkan penskalaan pada program ini diperkecil, oleh karena itu bentuk kurva tidak bisa terlihat jelas. Dari gambar terlihat bahwa setelah di training, kurva ANFIS dapat menyesuaikan dengan bentuk kurva konvensional extremely inversenya. Selain itu dari hasil pengujian didapatkan nilai MSE sebesar  $3,73E-19$ .



**Gambar 4. 14** Kurva Extrimely Inverse

#### 4.4.4 Long Time Inverse

Dan yang terakhir dilakukan pengujian kurva long time inverse. Sama dengan pengujian 3 kurva sebelumnya, data dari long time inverse didapat dari tabel 4.1. Untuk tcb dapat dicari dengan perhitungan yang menggunakan rumus berikut.

$$tcb = \frac{120 \times D}{\left(\frac{Il}{Is}\right) - 1}$$

Sehingga dari rumusan tersebut dapat diketahui nilai tcb atau waktu trip dari rele dengan karakteristik long time inverse. Sebagai contoh perhitungan dimisalkan IL/IS kita ambil nilai 1,42 maka tcb nya adalah

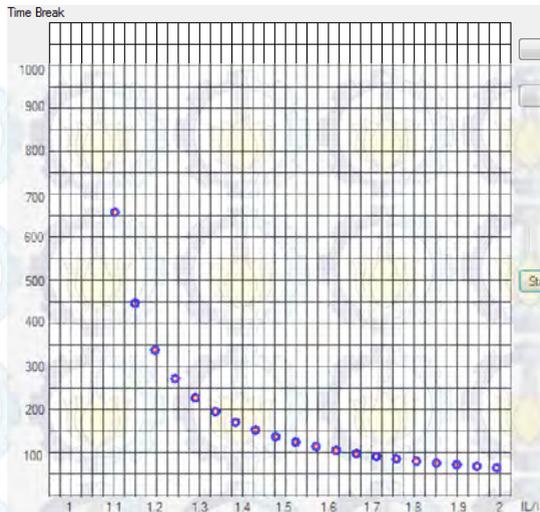
$$tcb = \frac{120 \times 0,55}{(1,42) - 1}$$

$$tcb = 157,4$$

Maka waktu trip saat terdapat arus IL/IS adalah 157,4 ms. Begitu juga dengan 19 data IL/IS lainnya dapat dihitung menggunakan perumusan tersebut. Dari keseluruhan perhitungan maka di dapatkan data pada tabel berikut.

**Tabel 4. 9** Data Kurva Long Time Inverse

No	IL/IS	Tcb (ms)	No	IL/IS	Tcb (ms)
1	1,10	660	11	1,56	116,12
2	1,14	449,48	12	1,61	107,28
3	1,19	340,78	13	1,66	99,69
4	1,24	274,42	14	1,70	93,10
5	1,28	229,69	15	1,75	87,33
6	1,33	197,50	16	1,80	82,23
7	1,38	173,22	17	1,84	77,70
8	1,42	154,26	18	1,89	73,64
9	1,47	139,04	19	1,94	69,98
10	1,52	126,55	20	1,98	66,67



**Gambar 4. 15** Kurva Long Time Inverse

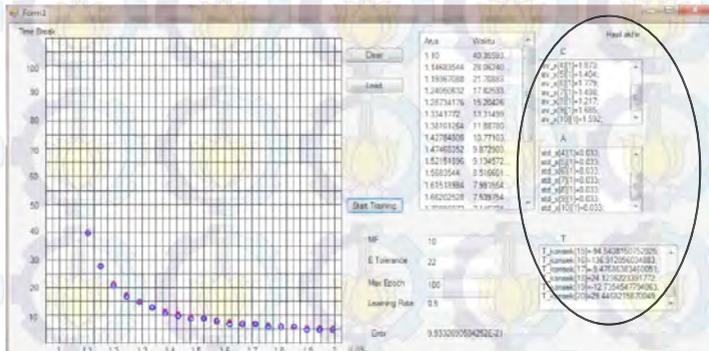
Dari hasil perhitungan dan plot kurva didapat diketahui bahwa waktu trip pada kurva long time inverse ini lebih lama dari 3 kurva lainnya. Selain itu kurva ANFIS menyesuaikan dengan kurva konvensionalnya. Dalam pengujian ini didapatkan nilai MSE sebesar  $1,27E-18$ .

#### 4.5 Pengujian Digital Protection Relay

Pada bagian ini akan dilakukan pengujian alat, dimana alat yang akan digunakan sebagai prototype rele adalah mikrokontroller dengan tampilan LCD grafik. Pengujian ini dilakukan menggunakan USB serial untuk input output data. Untuk input rele ini berupa data arus IL/IS, sedangkan untuk output berupa data waktu trip. Pengujian ini bertujuan hanya untuk mengecek hasil kurva yang menunjukkan sebuah kerja rele.

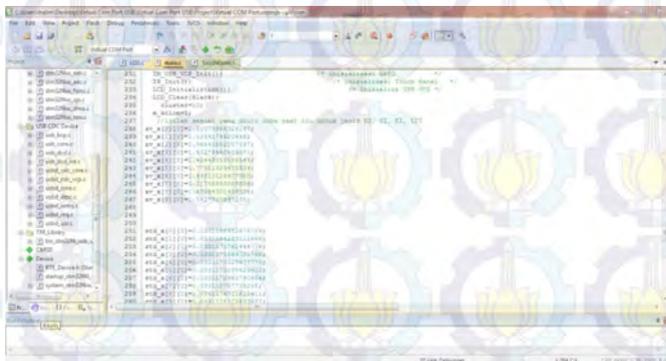
Pertama akan dilakukan learning data kurva konvensional. Data yang di uji menggunakan data tabel 4.1

- Melakukan learning hingga mendapat nilai MSE minimal
- Mengambil parameter premis dan konsekuen. Parameter premis disini ditunjukkan pada listbox C dan A, sedangkan parameter konsekuen ditunjukkan pada ditunjukkan pada list box T.



**Gambar 4. 16** Mengambil parameter Premis dan Konsekuen

- Memindahkan kedua parameter tersebut ke program mikrokontroller



**Gambar 4. 17** Masukkan parameter ke program mikrokontroller

- Mendownloadkan program ke alat
- Melakukan pengujian

Berikutnya dilakukan pengujian rele, dimana yang akan dilakukan menginputkan nilai arus IL/IS dan selanjutnya rele akan menjawab berapa ms waktu trip nya.



**Gambar 4. 18** Pengujian Digital Protection Relay

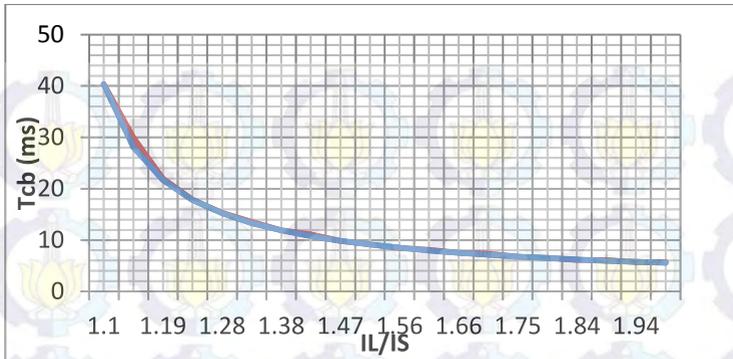
Untuk menginputkan data secara serial kita dapat menggunakan aplikasi H-term, selain itu kita dapat melakukan pengujian dengan membuat program kirim data dengan menggunakan aplikasi visual studio. Dari data keseluruhan yang di ujikan nantinya akan dikumpulkan dan dibentuk kurva dengan menggunakan ms excel.

**Tabel 4. 10** Hasil pengujian DPR

No	IL/IS	Tcb (ms)	No	IL/IS	Tcb (ms)
1	1,10	40,35	11	1,56	8,49
2	1,14	29,88	12	1,61	8,11
3	1,19	21,90	13	1,66	7,53
4	1,24	17,87	14	1,70	7,31
5	1,28	15,32	15	1,75	6,77
6	1,33	13,57	16	1,80	6,53
7	1,38	11,89	17	1,84	6,17
8	1,42	11,09	18	1,89	6,07
9	1,47	9,87	19	1,94	5,73
10	1,52	9,18	20	1,98	5,72

**Tabel 4. 11** Perbandingan antara Konvensional dengan ANFIS

No	IL/IS	Kurva Konvensional Tcb (ms)	Kurva ANFIS Tcb (ms)	Error %
1	1,10	40,35	40,35	0%
2	1,14	28,06	29,88	6%
3	1,19	21,70	21,90	0,9%
4	1,24	17,82	17,87	0,2%
5	1,28	15,20	15,32	0,7%
6	1,33	13,31	13,57	1,9%
7	1,38	11,88	11,89	0%
8	1,42	10,77	11,09	2,8%
9	1,47	9,87	9,87	0%
10	1,52	9,13	9,18	0,5%
11	1,56	8,51	8,49	0,2%
12	1,61	7,99	8,11	1,4%
13	1,66	7,53	7,53	0%
14	1,70	7,14	7,31	2,3%
15	1,75	6,80	6,77	0,4%
16	1,80	6,49	6,53	0,6%
17	1,84	6,22	6,17	0,8%
18	1,89	5,97	6,07	1,6%
19	1,94	5,75	5,73	0,3%
20	1,98	5,55	5,72	2,9%



**Gambar 4.19** Perbandingan antara Kurva DPR dengan Kurva Konvensional

Keterangan :

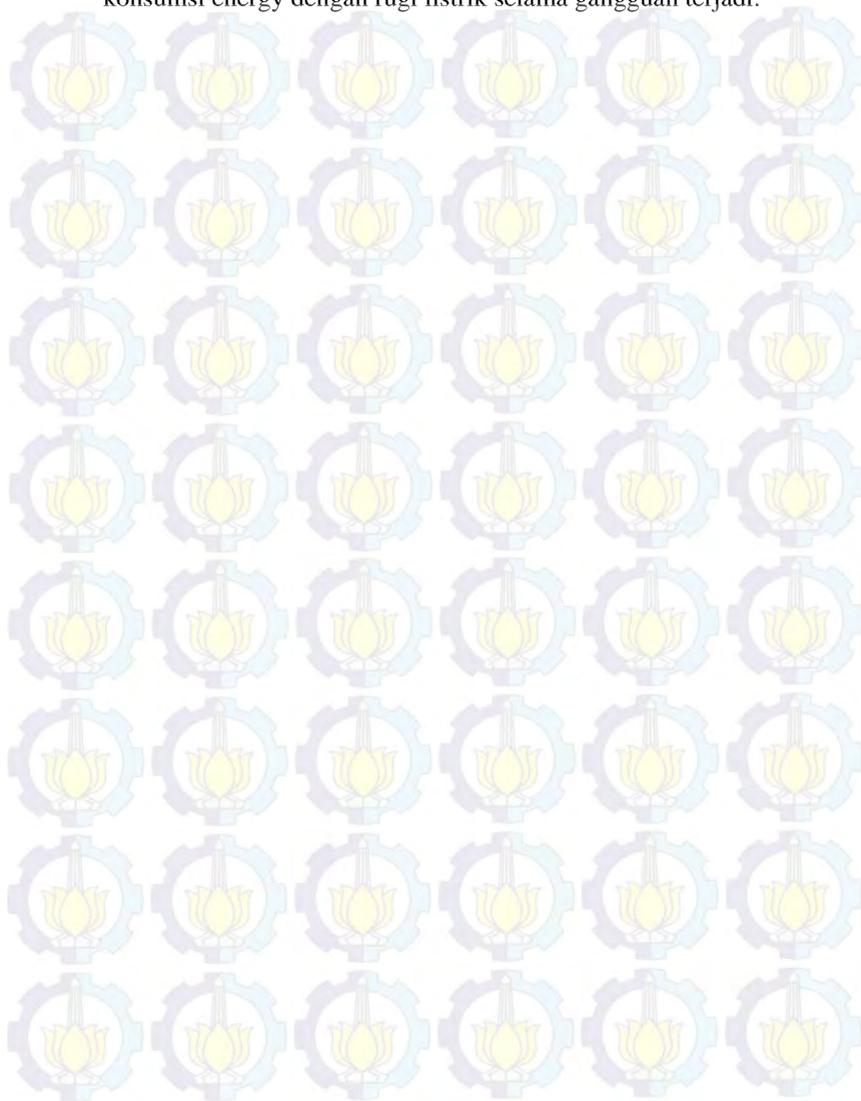
- : Kurva Konvensional
- : Kurva DPR

Dari data tabel 4.11 maupun gambar kurva diatas menunjukkan bahwa kurva DPR dari hasil learning dapat mengikuti kurva konvensional. Namun pada kurva DPR masih terlihat error% terhadap kurva konvensional saat arus IL/IS 1,14. Tetapi error% ini sangat kecil dan tidak terlalu jauh.

Dari keseluruhan yang dilakukan pada bab 4 dapat diketahui bahwa pemodelan kurva karakteristik inverse bisa dilakukan dengan metode ANFIS. Dimana metode ini melakukan training pada data plot kurva inverse, sehingga output dari data plot kurva inverse tersebut dapat mewakili plot kurva inverse yang menggunakan persamaan pada umumnya.

Riset ini digunakan sebagai dasar untuk dikembangkannya pemodelan kurva ANFIS menggunakan data plot kurva *unconventional*. Untuk keadaan tertentu kurva *unconventional* sangat dibutuhkan misalnya untuk mengatasi kurva inverse yang bersimpangan pada koordinasi rele jarak. Selain itu manfaat pemodelan kurva *unconventional* ini dapat mengurangi stress mekanik, efek termal dan dapat mencegah kerusakan elemen utama

dalam kelistrikan industri. Disamping itu dapat mengurangi konsumsi energy dengan rugi listrik selama gangguan terjadi.





*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## **BAB V PENUTUP**

### **5.1 Kesimpulan**

Berdasarkan hasil pengujian dan pembahasan yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa :

1. Pemodelan kurva karakteristik inverse dapat dilakukan dengan metode pembelajaran ANFIS.
2. Hasil dari learning ANFIS berupa kurva baru dan parameter premis konsekuen.
3. Parameter premis dan konsekuen digunakan untuk running ANFIS pada rele digital.
4. Semakin besar nilai MF maka tingkat keakuratan semakin bagus, pada pengujian ini MF dengan tingkat keakuratan paling bagus adalah 10. Sedangkan semakin banyak jumlah iterasi maka nilai MSE akan semakin kecil atau keakuratan semakin bagus, pada pengujian ini iterasi yang menunjukkan MSE terkecil adalah 100 iterasi.

### **5.2 Saran**

Saran yang dapat diberikan berdasarkan penelitian ini adalah perlu dilakukan penelitian lanjutan mengenai pemodelan kurva proteksi, semisal kurva unkonvensional. Selain itu dapat dilakukan pengembangan untuk koordinasi proteksinya.



*Halaman ini sengaja di kosongkan*

## LAMPIRAN

### Data Pengujian DPR

Dengan MF 1

No	IL/IS	Kurva Konvensional Tcb (ms)	Kurva ANFIS Tcb (ms)
1	1,10	40,35	24,00
2	1,14	28,06	22,77
3	1,19	21,70	21,53
4	1,24	17,82	20,30
5	1,28	15,20	19,07
6	1,33	13,31	17,84
7	1,38	11,88	16,61
8	1,42	10,77	15,38
9	1,47	9,87	14,15
10	1,52	9,13	12,92
11	1,56	8,51	11,69
12	1,61	7,99	10,46
13	1,66	7,53	9,22
14	1,70	7,14	7,99
15	1,75	6,80	6,76
16	1,80	6,49	5,53
17	1,84	6,22	4,30
18	1,89	5,97	3,07
19	1,94	5,75	1,84
20	1,98	5,55	0,61

Dengan MF 3

No	IL/IS	Kurva Konvensional Tcb (ms)	Kurva ANFIS Tcb (ms)
1	1,10	40,35	34,96
2	1,14	28,06	30,19
3	1,19	21,70	25,16
4	1,24	17,82	20,04
5	1,28	15,20	15,25
6	1,33	13,31	11,58
7	1,38	11,88	9,88
8	1,42	10,77	10,11
9	1,47	9,87	10,91
10	1,52	9,13	10,83
11	1,56	8,51	9,45
12	1,61	7,99	7,47
13	1,66	7,53	6,06
14	1,70	7,14	5,98
15	1,75	6,80	6,86
16	1,80	6,49	7,67
17	1,84	6,22	7,73
18	1,89	5,97	6,94
19	1,94	5,75	5,46
20	1,98	5,55	3,49

Dengan MF 5

No	IL/IS	Kurva Konvensional Tcb (ms)	Kurva ANFIS Tcb (ms)
1	1,10	40,35	38,70
2	1,14	28,06	29,33
3	1,19	21,70	21,19
4	1,24	17,82	16,29
5	1,28	15,20	14,84
6	1,33	13,31	13,24
7	1,38	11,88	10,44
8	1,42	10,77	8,35
9	1,47	9,87	7,07
10	1,52	9,13	6,05
11	1,56	8,51	5,41
12	1,61	7,99	5,70
13	1,66	7,53	7,04
14	1,70	7,14	8,10
15	1,75	6,80	7,42
16	1,80	6,49	5,85
17	1,84	6,22	5,53
18	1,89	5,97	6,46
19	1,94	5,75	6,61
20	1,98	5,55	4,82

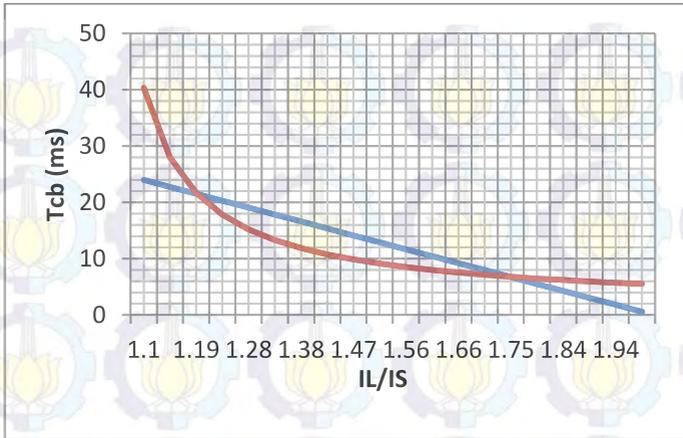
Dengan MF 8

No	IL/IS	Kurva Konvensional Tcb (ms)	Kurva ANFIS Tcb (ms)
1	1,10	40,35	39,62
2	1,14	28,06	29,47
3	1,19	21,70	20,62
4	1,24	17,82	18,39
5	1,28	15,20	15,01
6	1,33	13,31	13,11
7	1,38	11,88	12,47
8	1,42	10,77	10,19
9	1,47	9,87	10,22
10	1,52	9,13	8,93
11	1,56	8,51	8,60
12	1,61	7,99	8,01
13	1,66	7,53	7,31
14	1,70	7,14	7,56
15	1,75	6,80	6,45
16	1,80	6,49	6,66
17	1,84	6,22	6,26
18	1,89	5,97	5,70
19	1,94	5,75	6,26
20	1,98	5,55	5,24

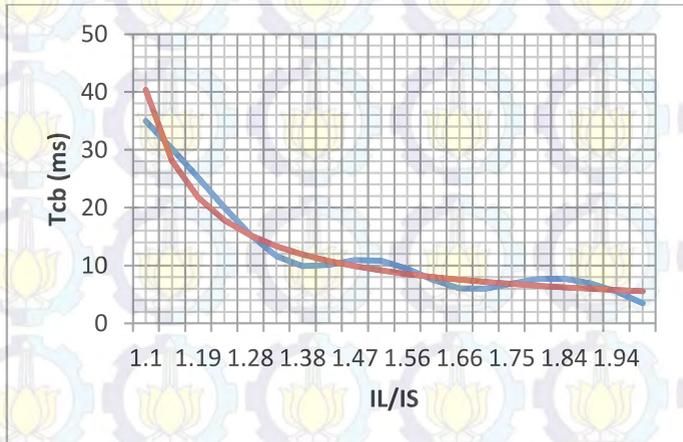
Dengan MF 10

No	IL/IS	Kurva Konvensional Tcb (ms)	Kurva ANFIS Tcb (ms)
1	1,10	40,35	40,35
2	1,14	28,06	29,88
3	1,19	21,70	21,90
4	1,24	17,82	17,87
5	1,28	15,20	15,32
6	1,33	13,31	13,57
7	1,38	11,88	11,89
8	1,42	10,77	11,09
9	1,47	9,87	9,87
10	1,52	9,13	9,18
11	1,56	8,51	8,49
12	1,61	7,99	8,11
13	1,66	7,53	7,53
14	1,70	7,14	7,31
15	1,75	6,80	6,77
16	1,80	6,49	6,53
17	1,84	6,22	6,17
18	1,89	5,97	6,07
19	1,94	5,75	5,73
20	1,98	5,55	5,72

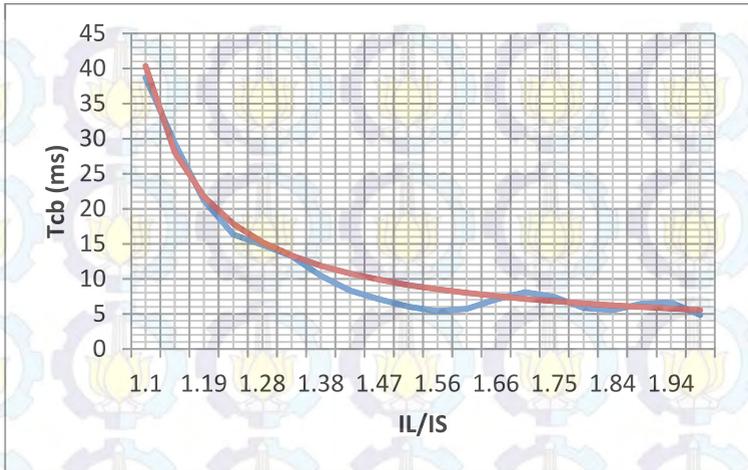
### Kurva dengan MF 1



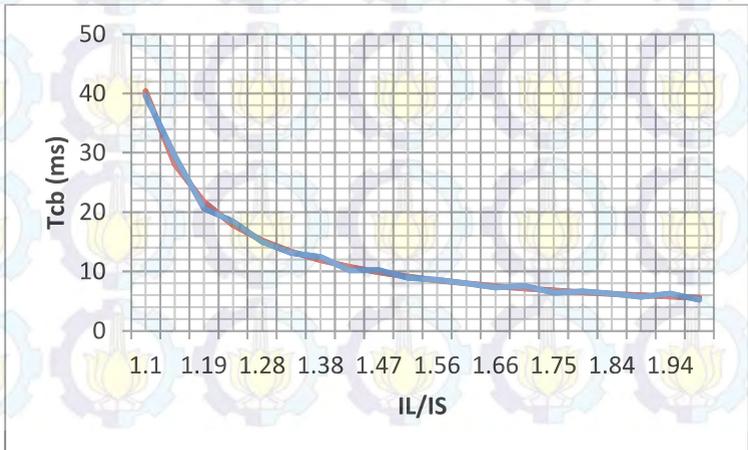
### Kurva dengan MF 3



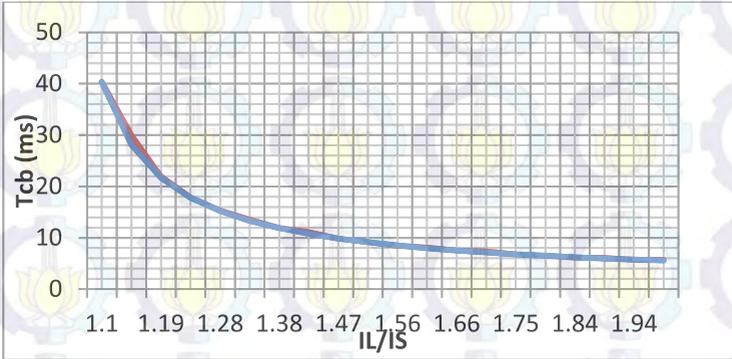
Kurva dengan MF 5



Kurva dengan MF 8



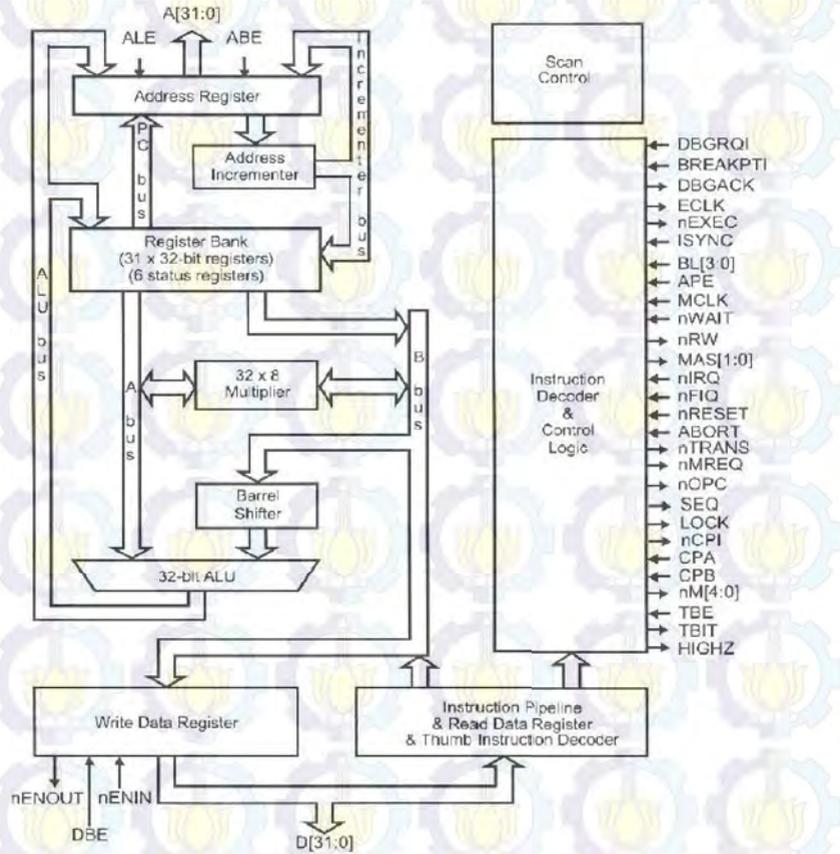
Kurva dengan MF 10



### **Fitur STM32F4DISCOVERY**

- STM32F407VGT6 microcontroller featuring 32-bit ARM Cortex-M4F core, 1 MB Flash, 192 KB RAM in an LQFP100 package
- On-board ST-LINK/V2 with selection mode switch to use the kit as a standalone ST-LINK/V2 (with SWD connector for programming and debugging)
- Board power supply: through USB bus or from an external 5 V supply voltage
- External application power supply: 3 V and 5 V
- LIS302DL, ST MEMS motion sensor, 3-axis digital output accelerometer
- MP45DT02, ST MEMS audio sensor, omni-directional digital microphone
- CS43L22, audio DAC with integrated class D speaker driver
- Eight LEDs:
  - LD1 (red/green) for USB communication
  - LD2 (red) for 3.3 V power on
  - Four user LEDs, LD3 (orange), LD4 (green), LD5 (red) and LD6 (blue)
  - 2 USB OTG LEDs LD7 (green) VBus and LD8 (red) over-current
- Two push buttons (user and reset)
- USB OTG FS with micro-AB connector
- Extension header for all LQFP100 I/Os for quick connection to prototyping board and easy probing

Di bawah ini adalah diagram Core ARM :



## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Heru Dibyo Laksono, M. Nasir Sonni "Perancangan dan Implementasi Relay Arus Lebih Sesaat Berbasis Mikrokontroler". Jurusan Teknik Elektro, Universitas Andalas Padang Sumatera Barat. September 2007.
- [2] "Studi Rele Pengaman (Over Current Relay dan Ground Fault Relay) Pada Pemakaian Distribusi Daya Sendiri Dari PLTU Rembang" Tugas Akhir Teknik Elektro ITS 2013.
- [3] M.Geethanjali, S. Mary Raja Slochanal "*A combined adaptive network and fuzzy inference system (ANFIS) approach for overcurrent relay system*", Madurai-625 015, Tamilnadu, India. April 2007.
- [4] "Pemodelan Kurva Karakteristik Inverse Overcurrent Relay Oleh User Menggunakan Adaptive Neuro Fuzzy Inference System", Tugas Akhir Teknik Elektro Industri PENS ITS 2012.
- [5] "Datasheet Overcurrent Protection Relays", CKR Series.
- [6] Sri Kusumadewi, Sri Hartati "Neuro – Fuzzy Integrasi Sistem Fuzzy dan Jaringan Syaraf". GRAHA ILMU, Yogyakarta, 2006.
- [7] Mahalik, nitaigour premchand. "*Mechatronics: Principles, Concepts and Application*" McGraw-Hill , Singapore, 2003.
- [8] Hossein Askarian. "*A New Method for Overcurrent Relay (O/C) Using Neural Network and Fuzzy Logic*" IEEE TENCON,1997.
- [9] Jarm Long Chung. "*Study of Solving the Coordination Curve Intersection of Inverse Time Overcurrent Relays in*

*Subtransmission Systems*” IEEE Transactions, Vol.23,No.4,  
October 2008.

- [10] O. Arreola Soria. “*Overcurrent Relay with Unconventional Curves and Its Application in Industrial Power Systems*”  
Electric Power System Research 110(2014) 113-121,  
February 2014.

## RIWAYAT PENULIS



Penulis memiliki nama lengkap Rachman Halim. Anak pertama dari dua bersaudara dari pasangan Bapak Bambang Supriyono dan Ibu Sri Kustianingsih. Berasal dari Kabupaten Sidoarjo dan lahir pada tanggal 27 Januari 1992 di Sidoarjo. Mengawali pendidikannya di SDN 1 Pekarungan pada tahun 1998 hingga lulus pada tahun 2004. Kemudian melanjutkan pendidikan pada tingkat menengah pertama di SMP Negeri 1 Sidoarjo pada tahun 2004 dan lulus pada tahun 2007. Pada tahun 2007, penulis melanjutkan pendidikan di SMA Negeri 1 Taman Sidoarjo dan lulus pada tahun 2010.

Setelah dinyatakan lulus dalam menyelesaikan pendidikannya di tingkat SMA pada tahun 2010, penulis meneruskan pendidikan ke jenjang perkuliahan di Diploma 3 Teknik Elektro Politeknik Elektronika Negeri Surabaya Jurusan Teknik Elektronika hingga tamat pada tahun 2013. Saat ini penulis sedang menyelesaikan Lintas Jalur S1 di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya, Fakultas Teknologi Industri, Jurusan Teknik Elektro, bidang studi Teknik Sistem Tenaga.

Email :

[rachman13@mhs.ee.its.ac.id](mailto:rachman13@mhs.ee.its.ac.id)  
[rachmanhalim27@gmail.com](mailto:rachmanhalim27@gmail.com)