



***SETTING RELE DIFERENSIAL PADA TRANSFORMATOR GARDU INDUK  
BANARAN KEDIRI BERBASIS *NEURAL NETWORK****

**SKRIPSI**

Oleh :

**Gita Putri Suheni**

**NIM 161910201104**

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO STRATA 1**

**JURUSAN TEKNIK ELEKTRO**

**FAKULTAS TEKNIK**

**UNIVERSITAS JEMBER**

**2021**



***SETTING RELE DIFERENSIAL PADA TRANSFORMATOR GARDU INDUK  
BANARAN KEDIRI BERBASIS NEURAL NETWORK***

**SKRIPSI**

Diajukan guna melengkapi tugas akhir dan memenuhi salah satu syarat  
untuk menyelesaikan Program Studi Teknik Elektro (S1)  
dan mencapai gelar Sarjana Teknik

Oleh :

**Gita Putri Suheni**  
**NIM 161910201104**

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO STRATA 1**

**JURUSAN TEKNIK ELEKTRO**

**FAKULTAS TEKNIK**

**UNIVERSITAS JEMBER**

**2021**

## PERSEMBAHAN

Skripsi ini saya persembahkan untuk:

1. Allah SWT, atas segala limpahan rahmat nikmat, hidayah dan inayah-Nya sehingga berkesempatan menimba ilmu di Fakultas Teknik Universitas Jember;
2. Rasulullah Muhammad SAW, sebagai *uswah* terbaik sepanjang masa;
3. Untuk orangtuaku tercinta Alm. Ayah Sudarsono dan Almh. Mama Suhaenik yang sudah merawat, memberi kasih sayang sepenuh hati, nasehat, bimbingan, doa yang tulus serta pendewasaan diri yang luar biasa.
4. Untuk orangtuaku tercinta, Bapak Min Sugianto, Mama Faikatul Hikmah, dan Saudara-Saudari tercinta Nur Diana Faroh aini, Qomarus Zaman Dwi Putra, Moh. Akbar Suhendar dan Wulan Fitrih Henidar atas segala kasih sayang, motivasi, nasehat, dan bimbingan, serta doa setulus hati yang tiada henti diberikan sampai saat ini;
5. Guru-guru dan dosen saya dari taman kanak-kanak sampai dengan perguruan tinggi yang selalu menemani dan memberi semangat dalam menyelesaikan tugas akhir ini;
6. Dr. Bambang Sri Kaloko, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing Utama dan Suprihadi Prasetyono, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing Anggota yang telah meluangkan waktu dalam memberikan bimbingan dan motivasi dengan penuh kesabaran sehingga skripsi ini terselesaikan.
7. Sahabat-sahabat saya yang selalu menemani dan memberi semangat dalam menyelesaikan tugas akhir ini;
8. Semua dulur-dulur Ikatan Dulur Teknik Elektro 2016, Kakak tingkat, dan Adik tingkat yang telah berjuang bersama-sama di Almamater Fakultas Teknik Universitas Jember tercinta ini;
9. Almamater Teknik Elektro Fakultas Teknik Univeristas Jember.

## MOTTO

“Setiap manusia memiliki kapasitas kemampuan dan waktu yang berbeda jadi bersabarlah, jalani dengan keikhlasan hati dan sambut dengan gembira sampai proses pendewasaan diri itu berjalan dengan sempurna”

(Penulis)

“Jika sabar masih ada batasannya, berarti kamu belum tergolong sebagai orang yang sabar”

(Nazrul Hadi Winarto)

“Belajar untuk tau diri dan belajar terima kasih kepada orang lain”

(Alm. Ayah dan Almh. Mama)

“Jangan memaksakan diri sendiri, jalani yang bisa, syukuri yang ada” (Bapak dan Mama)

“Tidak ada balasan untuk kebaikan selain kebaikan (pula). Maka nikmat tuhanmu yang manakah yang kamu dustakan?”

(QS. Ar-Rahman: 60-61)

“Dialah yang menciptakan kamu dan menjadikan pendengaran, penglihatan dan hati nurani bagi kamu. (Tetapi) sedikit sekali kamu bersyukur” (QS. Al-Mulk: 23)

**PERNYATAAN**

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Gita Putri Suheni

NIM : 161910201104

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa proyek akhir yang berjudul: “*SETTING RELE DIFERENSIAL PADA TRANSFORMATOR GARDU INDUK BANARAN KEDIRI BERBASIS NEURAL NETWORK*” adalah benar- benar hasil karya sendiri, kecuali jika dalam pengutipan substansi disebutkan sumbernya dan belum pernah diajukan pada institusi mana pun serta bukan karya plagiasi. Saya bertanggung jawab atas keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya, tanpa adanya tekanan dan paksaan dari pihak manapun serta bersedia mendapat sanksi akademik jika ternyata di kemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, 26 Januari 2021

Yang menyatakan,

Gita Putri Suheni

NIM 161910201104

**SKRIPSI**

***SETTING RELE DIFERENSIAL PADA TRANSFORMATOR GARDU INDUK  
BANARAN KEDIRI BERBASIS NEURAL NETWORK***

Oleh

Gita Putri Suheni

NIM 161910201104

Pembimbing

Dosen Pembimbing Utama : Dr. Bambang Sri Kaloko, ST., MT

NIP. 197104022003121001

Dosen Pembimbing Anggota : Suprihadi Prasetyono, S.T., M.T

NIP. 197004041996011001

**PERSETUJUAN PEMBIMBING**

Laporan tugas akhir berjudul “*SETTING* RELE DIFERENSIAL PADA TRANSFORMATOR GARDU INDUK BANARAN KEDIRI BERBASIS *NEURAL NETWORK*” oleh Gita Putri Suheni NIM 161910201104 telah diuji dan disahkan oleh Fakultas Teknik Elektro Universitas Jember pada;

Hari : Sabtu  
Tanggal : 06 Februari 2021  
Tempat : Fakultas Teknik, Universitas Jember

Pembimbing Utama,

Pembimbing Anggota,

Dr. Bambang Sri Kaloko, S.T., M.T.

NIP. 197104022003121001

Suprihadi Prasetyono, S.T., M.T.

NIP. 197004041996011001

**LEMBAR PENGESAHAN**

Skripsi berjudul ”*SETTING RELE DIFERENSIAL PADA TRANSFORMATOR GARDU INDUK BANARAN KEDIRI BERBASIS NEURAL NETWORK*” Telah diuji dan disahkan pada :

Hari, Tanggal : Sabtu, 06 Februari 2021

Tempat : Fakultas Teknik Universitas Jember

Ketua,

Anggota I,

Dr. Bambang Sri Kaloko, S.T., M.T.

Suprihadi Prasetyono, S.T., M.T

NIP 197104022003121001

NIP. 197004041996011001

Anggota II,

Anggota III,

RB. Moch. Gozali, S.T., M.T

Samsul Bachri M, S.T., MMT.

NIP. 196906081999031002

NIP. 196403171998021001

Mengesahkan  
Dekan Fakultas Teknik  
Universitas Jember,

Dr. Triwahju Hardianto S.T., M.T.

NIP 197008261997021001

## RINGKASAN

*Setting* rele diferensial pada transformator gardu induk banaran kediri berbasis *neural network*; Gita Putri Suheni; 161910201104; 149 halaman Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Jember.

Pada perkembangan konsumen listrik saat ini berujung pada penambahan sejumlah besar unit pada pembangkit, saluran transmisi dan jaringan distribusi. Hal ini memang sesuai dengan kemajuan teknologi sekarang ini dimana telah banyak kegiatan tergantung terhadap tenaga listrik yang mana berarti kebutuhan tenaga listrik semakin meningkat. Hal ini menimbulkan bagaimana cara mengatasi keandalan sistem tenaga listrik dan juga peralatan operasional utama yang ada di pembangkit harus dijaga keandalannya dari kerusakan yang diakibatkan adanya gangguan-gangguan di sekitar peralatan tersebut salah satunya yaitu pada transformator. Dalam pengoperasiannya, transformator daya dapat mengalami 2 macam gangguan, yaitu gangguan internal dan gangguan eksternal. Salah satu sistem proteksi utama pada transformator yaitu rele diferensial pada Gardu Induk Banaran Kediri. Rele diferensial ini bekerja sangat selektif dan cepat tanpa waktu tunda. Rele diferensial bekerja pada saat ada gangguan dalam area pengamanannya dibatasi oleh transformator arus dan tidak boleh bekerja pada saat ada gangguan luar. *Setting* arus pada rele diferensial harus dihitung secara tepat sehingga mencegah adanya kegagalan proteksi dan meningkatkan kehandalan sebuah sistem tenaga listrik. Maka dari itu, terdapat perbandingan *setting* antara perhitungan konvensional dan menggunakan metode *neural network*. Selain itu, setelah mengetahui *setting* rele diferensial menggunakan perhitungan konvensional maupun *neural network* serta hasil perbandingannya pula, dapat pula diketahui efisiensi trafo yang dapat dilihat dari nilai MSE atau eror yang di peroleh saat *training* menggunakan *neural network*. Metode *neural network* ini merupakan pemroses pemodelan data yang berdasarkan jaringan saraf manusia sehingga untuk metode ini dapat memproses atau memodelkan berbagai macam data seperti data yang tidak lengkap, parsial maupun

*noisy*. Rele diferensial yang digunakan pada GI Banaran kediri yaitu trafo 4, trafo 5 dan trafo 7. Untuk nilai *input* yang digunakan pada *setting* yaitu  $I_{Nominal}$ ,  $I_{Rating}$ ,  $I_{CT}$ ,  $I_{Rele}$ ,  $I_{KCT}$ ,  $I_1$ ,  $I_2$ ,  $I_{Restraining}$  dan  $I_{Setting}$  serta untuk nilai target yang digunakan yaitu  $Error_{Mismatch}$  dan  $I_{Diferensial}$ . Pada trafo 4 dan trafo 5 memiliki spesifikasi yang sama sehingga hasil pengujiannya pun sama MSE yang diperoleh sebesar  $3.0799e-16$  dengan epoch sebesar 585 saat jumlah neuron sebesar 8 serta hasil *performance* sudah bagus, untuk hasil perbandingan antara *setting* perhitungan konvensional dan *neural network* yang diperoleh pada  $Error_{Mismatch}$  dan  $I_{Diferensial}$  sudah sesuai dengan yang ditargetkan. Pada trafo 7 menghasilkan grafik *performance* yang bagus, lalu diperoleh nilai MSE sebesar  $9.7346e-16$  dengan epoch sebesar 269 saat jumlah neuron sebesar 8, pada hasil perbandingan antara antara *setting* perhitungan konvensional dan *neural network* yang diperoleh untuk  $Error_{Mismatch}$  sudah sesuai target, sedangkan untuk  $I_{Diferensial}$  terdapat selisih hasil akan tetapi hampir mendekati nilai yang diinginkan atau target selisihnya yaitu sekitar sebesar  $0,00000002$  ( $2 \times 10^{-8}$ ) sampai  $0,000000033$  ( $3,3 \times 10^{-8}$ ) untuk mencapai target. Jadi, dari nilai MSE yang diperoleh pada trafo 4 dan trafo 5 menghasilkan lebih besar nilai MSE atau erornya dan iterasi epoch yang dibutuhkan lebih besar, sedangkan pada trafo 7 MSE yang diperoleh lebih kecil dan iterasi epoch yang dibutuhkan tidak terlalu besar.

## SUMMARY

*Differential relay settings on the transformer substation Banaran Kediri based on neural network; Gita Putri Suheni; 161910201104; 149 pages of the Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, University of Jember*

*The current development of electricity consumers has resulted in the addition of a large number of units in power plants, transmission lines and distribution networks. This is in accordance with current technological advances where many activities depend on electric power, which means that the need for electricity is increasing. This raises how to overcome the electric power system and also the main operational equipment in the plant must be protected from damage caused by disturbances around the equipment, one of which is the transformer. In its part, the power transformer can experience 2 types of interference, namely internal noise and external noise. One of the main protection systems on the transformer is the differential release at the Banaran Kediri Substation. This differential relay works very selectively and fast without time delay. The differential relay works when there is a fault in its security area of the current transformer and should not work when there is an external fault. The arrangement of the differential releases must be continuously calculated so as to prevent protective failures and increase the reliability of an electric power system. Therefore, there is a comparison of the settings between conventional calculations and using the neural network method. In addition, after seeing the settings that use calculations and neural networks and the results of their comparisons, it can also be seen that traffic can be seen from the MSE or error values that can be seen when training using a neural network. This neural network method is a data modeling process based on human neural networks so that this method can process or model various kinds of data such as incomplete, partial or noise data. The differential relays used in the Banaran Kediri GI are transformer 4, transformer 5 and transformer 7. For the input values used in the settings, namely yaitu  $I_{Nominal}$ ,  $I_{Rating}$ ,  $I_{CT}$ ,  $I_{Rele}$ ,  $I_{KCT}$ ,  $I_1$ ,  $I_2$ ,  $I_{Restraining}$  dan  $I_{Setting}$  and for the target values*

used are  $Error_{Mismatch}$  and  $I_{Diferensial}$ . In transformer 4 and transformer 5 have the same specifications so that the test results are the same as MSE obtained by  $3.0799e-16$  with an epoch of 585 when the number of neurons is 8 and the performance of the results is good, for comparison results between conventional calculation settings and the neural network obtained  $Error_{Mismatch}$  and  $I_{Diferensial}$  match the target. Transformer 7 produces a good performance graph, then an MSE value of  $9.7346e-16$  is obtained with an epoch of 269 when the number of neurons is 8, the results of the comparison between conventional calculation settings and neural networks obtained for  $Error_{Mismatch}$  are on target, while for  $I_{Diferensial}$  there is a difference in the results but it is almost close to the desired value or the target difference is around  $0,00000002$  ( $2 \times 10^{-8}$ ) to  $0,000000033$  ( $3,3 \times 10^{-8}$ ) to achieve target. So, from the MSE value obtained in transformer 4 and transformer 5 produces a larger MSE value or error and the epoch iteration needed is greater, while the MSE iteration in transformer 7 obtained is smaller and the epoch iteration required is not too large.

## PRAKATA

Puji syukur kehadiran Allah SWT atas segala rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “*Setting rele diferensial pada transformator gardu induk banaran kediri berbasis neural network*”. Skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat menyelesaikan pendidikan strata satu (S1) pada Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Jember.

Penyusunan skripsi ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis menyampaikan terima kasih kepada:

1. Allah SWT, karena berkat kuasa dalam kehendak-Nya penulis diberi kekuatan jasmani dan rohani, kesabaran, ketabahan, kelancaran, dan kemudahan;
2. Untuk orangtuaku tercinta, Alm. Ayah Sudarsono dan Almh. Mama Suhaenik yang sudah merawat, memberi kasih sayang sepenuh hati, nasehat, bimbingan, doa yang tulus serta pendewasaan diri yang luar biasa.
3. Untuk orangtuaku tercinta, Bapak Min Sugianto, Mama Faikatul Hikmah dan Saudara-Saudari tercinta Nur Diana Faroh aini, Qomarus Zaman Dwi Putra, Moh. Akbar Suhendar dan Wulan Fitrih Henidar atas segala kasih sayang, motivasi, nasehat, dan bimbingan, serta doa setulus hati yang tiada henti diberikan sampai saat ini;
4. Nazrul Hadi Winarto dan keluarga yang selalu memberikan nasehat, semangat dan doa yang tulus untuk menguatkan penulis dalam menyelesaikan skripsi ini;
5. Bapak Dr. Triwahju Hardianto, S.T., M.T., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Jember;
6. Bapak Dr. Bambang Sri Kaloko, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing Utama dan Bapak Suprihadi Prasetyono, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing Anggota yang telah meluangkan waktu dalam memberikan bimbingan dan motivasi dengan penuh kesabaran sehingga skripsi ini terselesaikan, serta Bapak RB. Moch. Gozali, S.T., M.T selaku Dosen Penguji I dan Bapak Samsul Bachri, S.T., MMT., selaku Dosen Penguji II yang telah memberikan kritik dan saran demi

kesempurnaan skripsi ini;

7. Alfredo Bayu Satriya, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing Akademik yang telah memberikan bimbingan dan nasehat selama ini;
8. Dulur-dulur angkatan INDUKTRO 16 atas segala kebersamaan dan kerja samanya selama  $\pm$  4th;
9. Guru-guruku dari taman kanak-kanak hingga perguruan tinggi dan guru ngaji yang turut memberikan dampak positif yang di rasakan hingga saat ini;
10. Almamaterku Universitas Jember tercinta yang aku banggakan;
11. Serta seluruh pihak yang berkaitan secara langsung maupun tidak langsung yang namanya tidak tertera pada lembar persembahan ini, penulis sampaikan terima kasih.

Penulis juga menerima segala kritik dan saran dari semua pihak demi kesempurnaan skripsi ini. Akhirnya penulis berharap, semoga skripsi ini dapat bermanfaat.

Jember, 06 Februari 2021

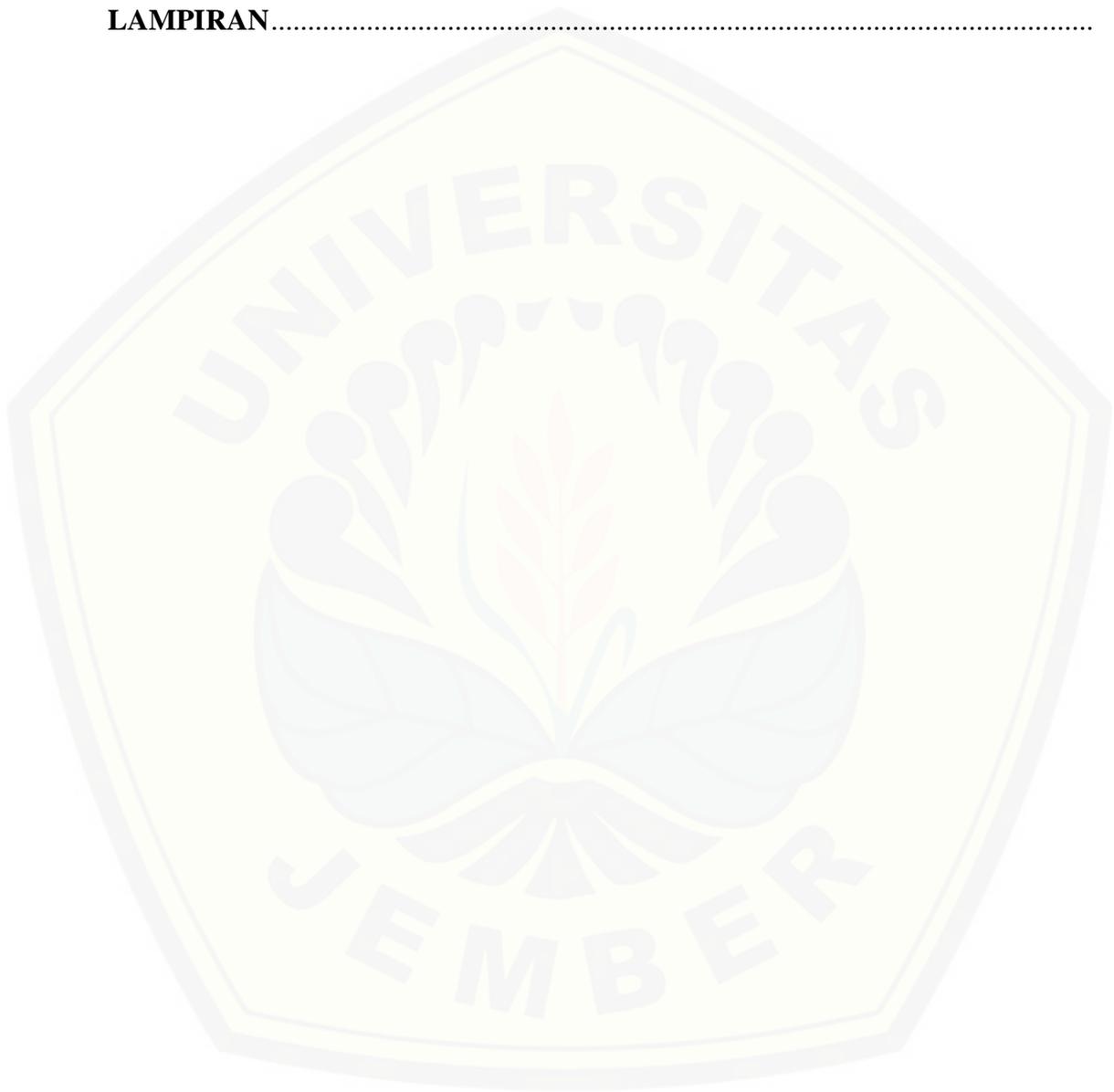
Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	ii
<b>HALAMAN PERSEMBAHAN</b> .....	iii
<b>HALAMAN MOTTO</b> .....	iv
<b>HALAMAN PERNYATAAN</b> .....	v
<b>HALAMAN PEMBIMBING</b> .....	vii
<b>HALAMAN PENGESAHAN</b> .....	viii
<b>RINGKASAN/SUMMARY</b> .....	ix
<b>PRAKATA</b> .....	xiii
<b>DAFTAR ISI</b> .....	xv
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	xviii
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	xix
<b>BAB 1. PENDAHULUAN</b> .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	3
1.3 Batasan Masalah .....	3
1.4 Tujuan .....	4
1.5 Manfaat .....	4
1.6 Sistematika Penulisan .....	4
<b>BAB 2. TINJAUAN UMUM</b> .....	6
2.1 Sistem Proteksi.....	6
2.1.1 Pengertian Sistem Proteksi .....	6
2.1.2 Syarat-Syarat Rele .....	7
2.1.3 Bagian Umum Rele.....	9
2.2 Rele Diferensial .....	10
2.2.1 Pengertian Rele Diferensial .....	10
2.2.2 Prinsip Kerja Rele Diferensial .....	11
2.2.3 Karakteristik Rele Diferensial.....	13

2.3	Perhitungan Setting Rele Diferensial.....	14
2.3.1	Menghitung Rasio CT Ideal.....	14
2.3.2	<i>Error Mismatch</i> .....	15
2.3.3	Menentukan Nilai Arus Sekunder pada CT.....	15
2.3.4	Menentukan Nilai Arus Diferensial pada CT.....	16
2.3.5	Menentukan Arus <i>Restrained</i> pada CT.....	16
2.3.6	Menghitung Arus <i>Setting</i> .....	16
2.4	<i>Neural Network</i> .....	17
2.4.1	Jenis-jenis <i>Neural Network</i> .....	19
2.4.2	Komponen <i>Neural Network</i> .....	20
2.4.3	Karakteristik <i>Neural Network</i> .....	21
<b>BAB 3.</b>	<b>METODOLOGI PENELITIAN</b> .....	<b>23</b>
3.1	Tempat dan Waktu Penelitian.....	23
3.2	Tahap Penelitian.....	23
3.3	Alat dan Bahan.....	24
3.4	Diagram Alir Penelitian.....	27
3.5	Perhitungan Arus.....	29
3.6	Perancangan <i>Setting Neural Network</i> .....	29
3.6.1	Diagram Alir <i>Setting</i> menggunakan <i>Neural Network</i> .....	29
<b>BAB 4.</b>	<b>PEMBAHASAN</b> .....	<b>32</b>
4.1	Perhitungan Konvensional.....	32
4.2	Perhitungan <i>Setting Rele Diferensial</i> menggunakan <i>Neural Network</i> ... ..	38
4.3	Trafo 4.....	38
4.3.1	Proses <i>Training</i> dan <i>Testing</i> .....	40
4.3.2	Perbandingan Hasil.....	42
4.4	Trafo 5.....	44
4.4.1	Proses <i>Training</i> dan <i>Testing</i> .....	46
4.4.2	Perbandingan Hasil.....	49
4.5	Trafo 7.....	51
4.5.1	Proses <i>Training</i> dan <i>Testing</i> .....	53
4.5.2	Perbandingan Hasil.....	57

<b>BAB 5. PENUTUP</b> .....	60
5.1 Kesimpulan .....	60
5.2 Saran .....	61
<b>DAFTAR PUSTAKA</b> .....	62
<b>LAMPIRAN</b> .....	64



**DAFTAR GAMBAR**

Gambar 2.1 Bagian Umum <i>Rele</i> .....	9
Gambar 2.2 Rangkaian Rele Diferensial Keadaan Normal .....	11
Gambar 2.3 Rangkaian Rele Diferensial Ketika Gangguan Internal .....	11
Gambar 2.4 Rangkaian Rele Diferensial Ketika Gangguan Eksternal .....	12
Gambar 2.5 Karakteristik Rele Diferensial .....	13
Gambar 2.6 Struktur Dasar JST dan Struktur Sederhana Sebuah Neuron.....	17
Gambar 2.7 <i>Single-Layer Neural Network</i> .....	19
Gambar 2.8 <i>Multilayer Neural Network</i> .....	19
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian .....	27
Gambar 3.2 Diagram Alir <i>Setting</i> dengan <i>Neural Network</i> .....	30
Gambar 4.1 Arsitektur <i>Neural Network</i> .....	38
Gambar 4.2 <i>Plot Performance</i> dengan Jumlah Neuron 8 .....	41
Gambar 4.3 <i>Plot Regression State</i> dengan Jumlah Neuron 8 .....	41
Gambar 4.4 <i>Output Neural Network</i> .....	42
Gambar 4.5 Grafik Perbandingan <i>Error Mismatch</i> Konvensional dengan NN.....	44
Gambar 4.6 Grafik Perbandingan Arus Diferensial Konvensional dengan NN .....	44
Gambar 4.7 <i>Plot Performance</i> dengan Jumlah Neuron 8 .....	47
Gambar 4.8 <i>Plot Regression State</i> dengan Jumlah Neuron 8 .....	48
Gambar 4.9 <i>Output Neural Network</i> .....	48
Gambar 4.10 Grafik Perbandingan <i>Error Mismatch</i> Konvensional dengan NN.....	50
Gambar 4.11 Grafik Perbandingan Arus Diferensial Konvensional dengan NN .....	50
Gambar 4.12 <i>Plot Performance</i> dengan Jumlah Neuron 8 .....	54
Gambar 4.13 <i>Plot Regression State</i> dengan Jumlah Neuron 8 .....	55
Gambar 4.14 <i>Output Neural Network</i> .....	56
Gambar 4.15 Grafik Perbandingan <i>Error Mismatch</i> Konvensional dengan NN.....	58
Gambar 4.16 Grafik Perbandingan Arus Diferensial Konvensional dengan NN .....	59

**DAFTAR TABEL**

Tabel 3.1 Spesifikasi Trafo 4CG POWER.....	24
Tabel 3.2 Spesifikasi Trafo 5 TELK.....	25
Tabel 3.3 Spesifikasi Trafo 7 ABB.....	25
Tabel 3.4 Spesifikasi Rele Trafo 4.....	25
Tabel 3.5 Spesifikasi Rele Trafo 5.....	26
Tabel 3.6 Spesifikasi Rele Trafo 7.....	26
Tabel 3.7 Data Beban.....	26
Tabel 4.1 Data pada Trafo 4.....	36
Tabel 4.2 Data pada Trafo 5.....	37
Tabel 4.3 Data pada Trafo 7.....	37
Tabel 4.4 Variabel <i>Input</i> dan Target Trafo 4 pada NN.....	39
Tabel 4.5 Nilai MSE pada Neuron yang Diuji.....	40
Tabel 4.6 Hasil Konvensional dan NN.....	43
Tabel 4.7 Variabel <i>Input</i> dan Target Trafo 5 pada NN.....	45
Tabel 4.8 Nilai MSE pada Neuron yang Diuji.....	46
Tabel 4.9 Hasil Konvensional dan NN.....	49
Tabel 4.10 Variabel <i>Input</i> dan Target Trafo 7 pada NN.....	52
Tabel 4.11 Nilai MSE pada Neuron yang Diuji.....	53
Tabel 4.12 Hasil Konvensional dan NN.....	57

## BAB 1. PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Sistem tenaga listrik yang sudah diketahui terdiri dari tiga bagian yaitu pembangkit, transmisi, dan distribusi. Seiring pertumbuhan penduduk yang semakin pesat, maka konsumen listrik juga berkembang pesat. Perkembangan konsumen yang pesat ini berujung pada penambahan sejumlah besar unit pada pembangkit, saluran transmisi dan jaringan distribusi. Hal ini memang sesuai dengan kemajuan teknologi sekarang ini dimana telah banyak kegiatan tergantung terhadap tenaga listrik yang mana berarti kebutuhan tenaga listrik semakin meningkat. Hal ini menimbulkan bagaimana cara mengatasi keandalan sistem tenaga listrik dan juga peralatan operasional utama yang ada di pembangkit harus dijaga keandalannya dari kerusakan yang diakibatkan adanya gangguan-gangguan di sekitar peralatan tersebut salah satunya yaitu pada transformator. (Hari Firdaus, 2018)

Transformator daya di pembangkit merupakan komponen utama yang sangat penting bagi pelayanan sistem tenaga listrik, maka dari itu transformator daya harus dilindungi dari adanya gangguan-gangguan yang dapat menyebabkan keandalannya berkurang. Dalam pengoperasiannya, transformator daya dapat mengalami 2 macam gangguan, yaitu gangguan internal dan gangguan eksternal. Gangguan internal merupakan gangguan yang terjadi pada transformator itu sendiri. Sedangkan gangguan eksternal merupakan gangguan yang terjadi di luar transformator daya tetapi dapat menimbulkan gangguan pada transformator yang bersangkutan. (Hari Firdaus, 2018)

Salah satu sistem proteksi utama pada transformator yaitu rele diferensial. Rele diferensial bekerja sangat selektif dan cepat tanpa waktu tunda. Rele diferensial bekerja pada saat ada gangguan dalam area pengamanannya dibatasi oleh transformator arus dan tidak boleh bekerja pada saat ada gangguan luar. *Setting* arus pada rele diferensial harus dihitung secara tepat sehingga mencegah adanya kegagalan proteksi dan meningkatkan keandalan sebuah sistem tenaga

listrik. Simulasi menjadi sangat penting untuk mengantisipasi gangguan-gangguan yang mungkin terjadi. (Hari Firdaus, 2018)

Transformator dalam sistem tenaga membutuhkan tipe proteksi yang berbeda-beda. Proteksi ini disediakan oleh berbagai jenis relay, baik elektromagnetik maupun statik. Secara umum proteksi transformator berfungsi untuk memproteksi transformator apabila terjadi gangguan, sehingga transformator dapat terhindar dari kerusakan. Relay yang akan digunakan untuk memproteksi transformator adalah relay differensial. Relay ini bekerja apabila terdapat perbedaan arus pada Current Transformer [CT] sisi primer dan sekunder. Jika terjadi gangguan diluar peralatan listrik peralatan listrik yang diamankan (*external fault*), maka arus yang mengalir akan bertambah besar, akan tetapi sirkulasinya akan tetap sama dengan pada kondisi normal, sehingga relay pengaman tidak akan bekerja untuk gangguan luar tersebut. Jika gangguan terjadi didalam (*internal fault*), maka arah sirkulasi arus disalah satu sisi akan terbalik, menyebabkan keseimbangan pada kondisi normal terganggu, akibatnya arus ID akan mengalir melalui relay pengaman dari terminal 1 menuju ke terminal 2. (Syukriyadin, 2011)

Gangguan listrik yang terjadi dalam suatu sistem tenaga mengakibatkan terjadinya peningkatan arus listrik, penurunan tegangan, frekuensi dan faktor daya. Relay tidak dapat menghilangkan kemungkinan adanya gangguan, tetapi akan bekerja setelah terjadi gangguan. Suatu relay proteksi bertugas untuk mengamankan suatu alat atau bagian dari sistem tenaga listrik dalam zona proteksi. Pemutus tenaga [PMT] diletakkan agar setiap bagian dari sistem dapat dipisah-pisahkan. Maka tugas relay adalah mendeteksi adanya gangguan yang terjadi pada zona proteksi, memberi perintah untuk membuka PMT, dan memisahkan bagian dari sistem yang terganggu. Dengan demikian bagian sistem yang lain yang tidak terganggu dapat beroperasi dengan normal. Hal ini berfungsi untuk mengetahui selektifan relay tersebut. (Syukriyadin, 2011)

Skripsi ini membahas mengenai *setting* rele diferensial pada transformator Gardu Induk Banaran Kediri berbasis *neural network*. Data yang diperoleh akan *diinputkan* menggunakan *software* MATLAB, kemudian untuk *single line*

*diagram* akan dibuat dengan bantuan *software* ETAP 12.6.0 untuk mengetahui arus gangguan dari cara kerja rele diferensial.

### 1.2 Rumusan Masalah

Dari latar belakang yang telah diuraikan diatas dapat ditarik beberapa permasalahan yaitu :

1. Bagaimana menentukan *setting* rele diferensial pada transformator Gardu Induk Banaran Kediri berbasis *neural network* dan perhitungan konvensional.
2. Bagaimana perbandingan hasil yang diperoleh *setting* rele diferensial pada transformator Gardu Induk Banaran Kediri berbasis *neural network* dengan perhitungan konvensional.
3. Bagaimana efisiensi dari masing-masing trafo yang digunakan pada Gardu Induk Banaran Kediri yang diketahui melalui *setting* rele diferensial pada transformator berbasis *neural network*.

### 1.3 Batasan Masalah

Berdasarkan uraian masalah tersebut, maka pembahasan pada skripsi dibatasi pada hal-hal sebagai berikut :

1. Tidak melakukan rancang bangun.
2. *Setting* data rele diferensial menggunakan MATLAB R2015a
3. Pemodelan guna mengetahui cara kerja rele disimulasikan menggunakan ETAP 12.6.0.
4. Membahas *neural network* sebagai *setting* rele diferensial.
5. Membahas pada trafo 4, trafo 5 dan trafo 7.
6. Data yang diperlukan spesifikasi rele, spesifikasi rele, data CT dan data beban
7. Trafo yang digunakan terdapat 3 yaitu pada TRAFO 5 TELK, TRAFO 4CG POWER dan TRAFO 7 ABB.
8. Membahas perbandingan hasil dari *setting* rele diferensial berbasis *neural network* dan perhitungan konvensional.
9. Membahas efisiensi dari masing-masing trafo.

#### 1.4 Tujuan

Dengan meninjau latar belakang pada permasalahan yang telah diuraikan, maka dapat dirumuskan tujuan utama dari penelitian ini diantaranya :

1. Mengetahui *setting* rele diferensial pada transformator Gardu Induk Banaran Kediri berbasis *neural network* agar proteksi bekerja secara optimal.
2. Membandingkan hasil *setting* rele diferensial yang diperoleh ketika menggunakan *neural network* dengan perhitungan konvensional.
3. Mengetahui efisiensi dari masing-masing trafo yang digunakan pada Gardu Induk Banaran Kediri yang diketahui melalui *setting* rele diferensial pada transformator berbasis *neural network*.

#### 1.5 Manfaat

Adapun manfaat yang didapatkan dari hasil penelitian yang akan saya lakukan tentang optimasi *setting* rele diferensial pada trafo Gardu Induk Banaran Kediri berbasis *neural network* antara lain :

1. Mampu meningkatkan kinerja dari sistem proteksi pada *setting* rele diferensial berbasis *neural network*.
2. Peneliti mendapatkan ilmu dan pengalaman di dunia kerja khususnya dalam bidang sistem proteksi.

#### 1.6 Sistematika Penulisan

Secara garis besar dalam penyusunan laporan skripsi ini yaitu sebagai berikut:

##### BAB 1. PENDAHULUAN

Dalam pendahuluan ini yaitu berisi tentang latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, manfaat dari dilakukannya penelitian dan sistematika penulisan.

##### BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

Berisi tentang teori mengenai pendapat penelitian terdahulu dan penelitian yang akan dilakukan.

### BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN

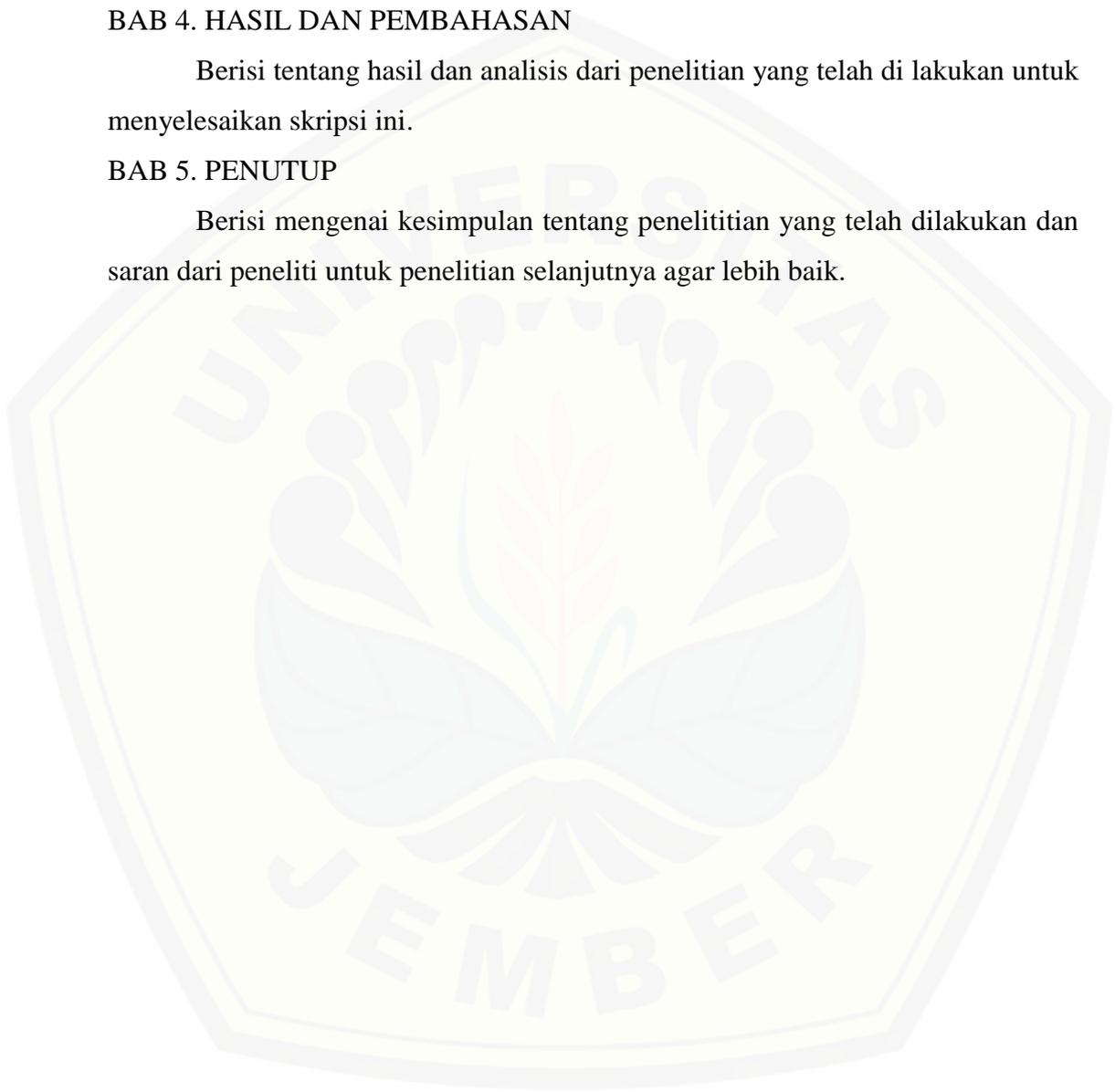
Berisi mengenai penjelasan metode yang digunakan untuk menyelesaikan laporan skripsi ini.

### BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Berisi tentang hasil dan analisis dari penelitian yang telah dilakukan untuk menyelesaikan skripsi ini.

### BAB 5. PENUTUP

Berisi mengenai kesimpulan tentang penelitian yang telah dilakukan dan saran dari peneliti untuk penelitian selanjutnya agar lebih baik.



## **BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA**

### **2.1 Sistem Proteksi**

#### **2.1.1 Pengertian Sistem Proteksi**

Seperti yang telah kita ketahui secara umum sistem proteksi merupakan bagian penting dalam sebuah sistem kelistrikan yang menjadi salah satu penentu kehandalan sebuah sistem. Sedangkan relay yaitu merupakan bagian dari sistem proteksi yang berfungsi sebagai pengaman peralatan (Badaruddin, 2012). Rele proteksi adalah susunan peralatan yang direncanakan untuk dapat merasakan atau mengukur adanya ketidaknormalan pada peralatan atau bagian sistem tenaga listrik dan bekerja secara otomatis untuk mengatur atau memberikan informasi agar segera membuka pemutus tenaga, untuk memisahkan peralatan atau bagian sistem yang terganggu dan memberikan isyarat bahwa telah terjadi gangguan.

Sistem proteksi/pengaman suatu tenaga listrik yang membentuk suatu pola pengaman tidaklah hanya relay pengaman saja tetapi juga Current Transformer [CT] dan Voltage Transformer [VT] yang merupakan perangkat instrumen pada relay pengaman, sumber daya DC merupakan sumber untuk mengoperasikan relay pengaman dan pemutus tenaga PMT yang akan menerima perintah akhir dari relay pengaman. Jadi sistem proteksi/pengaman tenaga listrik adalah satu kesatuan antara CT, VT, Relay, sumber DC, dan PMT. Adanya kesalahan dari salah satu komponen tersebut akan berakibat sistem tersebut tidak jalan. Relay proteksi dapat merasakan adanya gangguan pada peralatan yang diamankan dengan mengukur atau membandingkan besaran-besaran yang diterimanya, misalnya arus, tegangan, daya, sudut fasa, frekuensi, impedansi dan sebagainya, dengan besaran yang telah ditentukan, kemudian mengambil keputusan untuk seketika ataupun dengan perlambatan waktu membuka pemutus tenaga. (Syukriyadin, Syahrizal dan Cut Rizky Nakhriya, 2011).

### 2.1.2 Syarat-Syarat Rele

Dalam perencanaan sistem proteksi, maka untuk mendapatkan suatu sistem proteksi yang baik diperlukan persyaratan-persyaratan sebagai berikut : (Hazairin Samaulan, 2004)

a. Kepekaan (*sensitivity*)

Pada prinsipnya rele harus cukup peka sehingga dapat mendeteksi gangguan di kawasan pengamanannya meskipun dalam kondisi yang memberikan rangsangan yang minimum. Rangsangan minimum ini, biasanya terjadi saat penghantar udara tersentuh pohon (karena tahanan pohon besar). Bila 1 fasa (fasa R) tersentuh pohon, arus gangguan 1 fasa ketanah dapat menjadi kecil (lebih kecil dari penghantar udara langsung terkena tanah).

b. Keandalan (*reliability*)

Terdapat 3 aspek dalam keandalan (*reliability*) yaitu :

- ***Depandability***

Yaitu tingkat kepastian bekerjanya (keandalan kemAuan bekerjanya). Pada prinsipnya pengaman harus dapat diandalkan bekerjanya (dapat mendeteksi dan melepaskan bagian yang terganggu), Tidak boleh gagal bekerja. Dengan lain perkataan *dependability*nya harus tinggi.

- ***Security***

Yaitu tingkat kepastian untuk tidak salah kerja (keandalan untuk tidak salah kerja). Salah kerja adalah kerja yang semestinya tidak harus kerja, misalnya karena lokasi gangguan diluar kawasan pengamanannya atau sama sekali tidak ada gangguan, atau kerja yang terlalu cepat atau terlalu lambat.

- ***Availability***

Yaitu perbandingan antara waktu dimana pengaman dalam keadaan siap kerja (*actuallyin service*) dan waktu total operasinya.

c. Selektifitas (*selectivity*)

Pengaman harus dapat memisahkan bagian sistem yang terganggu sekecil mungkin yaitu hanya seksi yang terganggu saja yang menjadi kawasan pengamanan utamanya. Pengamanan sedemikian disebut pengamanan yang selektif. Jadi rele harus dapat membedakan apakah gangguan terletak dikawasan pengamanan utamanya dimana ia harus bekerja cepat atau terletak di seksi berikutnya di mana ia harus bekerja dengan waktu tunda atau harus tidak bekerja sama sekali karena gangguannya diluar daerah pengamanannya atau sama sekali tidak ada gangguan.

d. Kecepatan (*speed*)

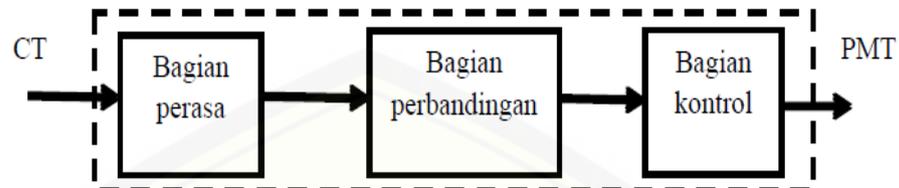
Untuk memperkecil kerugian atau kerusakan akibat gangguan, maka bagian yang terganggu harus dipisahkan secepat mungkin dari bagian sistem lainnya. Untuk menciptakan selektifitas yang baik, mungkin saja suatu pengaman terpaksa diberi waktu tunda (*timedelay*). Antara pengaman yang terpasang namun waktu tunda itu harus secepat mungkin, setelah waktu minimum yang diset kan ke rele untuk menghindari *thermal stress*.

e. Ekonomis

Suatu rele proteksi yang digunakan hendaknya ekonomis dengan tidak mengesAingkan fungsi dan keandalan sesuai dengan kebutuhan. Pada aspek ekonomis ini harus mempertimbangkan kualitas dari pengaman utama dan pengaman *backup*.

### 2.1.3 Bagian Umum Rele

Dari berbagai jenis-jenis rele proteksi yang digunakan pada pembangkit listrik umumnya terdiri dari tiga bagian yaitu :



Gambar 2.1 Bagian Umum Rele

(sumber : Hazairin Samaulan, 2004)

Dari gambar di atas yaitu macam-macam bagian umum dari rele proteksi dengan keterangan bahwa:

- Bagian perasa (*sensig element*)

Pada bagian ini, berfungsi untuk mendeteksi atau merasakan besaran-besaran listrik, seperti tegangan, arus, frekuensi, dan sebagainya sesuai dengan jenis rele yang digunakan. perubahan dari besaran ukur yang dirasakan selanjutnya diteruskan kebagian pembanding.

- Bagian pembanding (*comparing element*)

Setelah dari bagian perasa, akan dilanjutkan ke bagian pembanding yang akan membandingkan dan menentukan apakah besaran ukur itu masih dalam keadaan normal atau tidak.

- Bagian pengukur (*control*)

Pada bagian ini pembukaan *circuit breaker* (PMT) atau pemberi tanda atau signal diatur dan dilaksanakan. Atau dapat di katakan pada bagian ini sebuah rele berfungsi untuk segera memberikan isyarat terjadinya gangguan dengan memutuskan PMT atau memberikan sinyal alarm gangguan.

## 2.2 Rele Diferensial

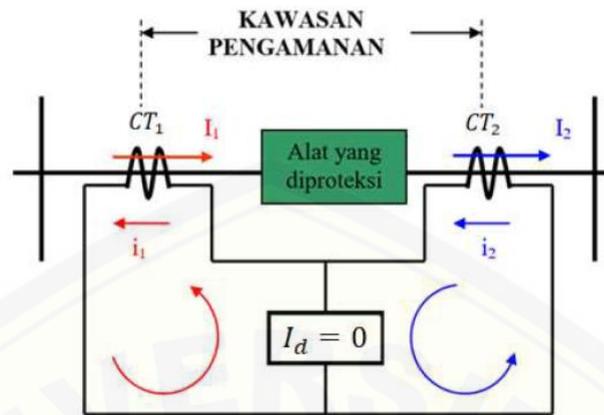
### 2.2.1 Pengertian Rele Diferensial

Definisi secara spesifik mengenai rele diferensial yaitu rele yang bekerja ketika ada gangguan hubung singkat antar fasa atau fasa ke tanah di *internal* peralatan (daerah yang proteksi) yang bekerja seketika dan merupakan pelindung utama pada transformator daya. Daerah proteksi rele diferensial yaitu dibatasi oleh 2 trafo arus yaitu CT1 dan CT2. (Hari Firdaus, 2018)

Perlindungan diferensial adalah salah satu yang paling penting dan perlindungan dasar transformator daya. Itu perlu meningkatkan kecepatan, sensitivitas dan akurasi operasi perlindungan diferensial. Rele diferensial didasarkan pada perbedaan antara arus tegangan rendah dan tinggi tegangan transformator. Dalam mode operasi normal, tidak ada arus diferensial yang signifikan tetapi sementara apabila kesalahan internal terjadi, arus diferensial akan meningkat. (Iman Sepehri Rad, 2011)

Rele diferensial menggunakan prinsip hukum kirchof, yang artinya jumlah arus masuk pada suatu titik sama dengan jumlah arus yang keluar dari titik tersebut. Rele yang akan digunakan untuk memproteksi transformator adalah rele diferensial. Rele ini bekerja apabila terdapat perbedaan arus pada *Current Transformer* [CT] sisi primer dan sekunder. Apabila gangguan terjadi di luar zona proteksi, maka relay tidak akan bekerja. (Syukriyadin, Syahrizal dan Cut Rizky Nakhrisya, 2011)

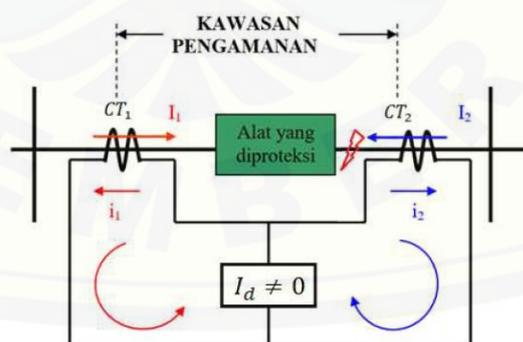
### 2.2.2 Prinsip Kerja Rele Diferensial



Gambar 2.2 Rangkaian Rele Diferensial Keadaan Normal

(sumber : Muhammad Rizki, 2018)

Prinsip kerja relay proteksi differensial adalah membandingkan dua vektor arus atau lebih yang masuk ke rele, apabila pada sisi primer transformator arus ( $CT_1$ ) dialiri arus  $I_1$ , maka pada sisi sekunder transformator arus ( $CT_2$ ) akan dialiri arus  $I_2$ , pada saat yang sama sisi sekunder kedua transformator arus, akan mengalir arus  $i_1$  dan  $i_2$  yang besarnya tergantung dari rasio yang terpasang, jika besarnya  $i_1 = i_2$  maka rele tidak bekerja, karena tidak ada selisih arus, tetapi jika besarnya arus  $i_1 \neq i_2$  maka rele akan bekerja, karena adanya selisih atau perbedaan arus. (Muhammad Rizki, 2018)



Gambar 2.3 Rangkaian Rele Diferensial Ketika Gangguan Internal

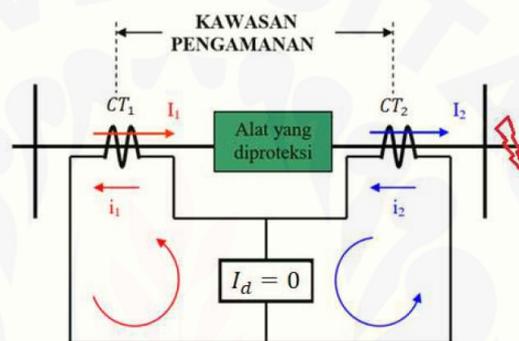
(sumber : Muhammad Rizki, 2018)

Gangguan internal adalah gangguan yang terjadi pada daerah pengaman rele differensial. Pada saat terjadi gangguan pada daerah pengaman rele

diferensial, maka arus akan mengalir menuju titik gangguan tersebut. Sehingga arus yang mengalir pada  $CT_2$  atau sisi sekunder akan berbalik dari arah normalnya menuju titik gangguan tersebut. Gangguan tersebut mengakibatkan keamanan transformator terancam ketika transformator bekerja dan menjadikan sistem tidak seimbang dapat diasumsikan sebagai berikut:

$$I_d = |i_1 + i_2| \dots \dots \dots (1)$$

Karena  $I_d \neq 0$ , maka rele diferensial harus bekerja dengan memberikan sinyal trip kepada CB karena dapat menyebabkan kerusakan kepada transformator jika gangguan tersebut dibiarkan. (Muhammad Rizki, 2018)



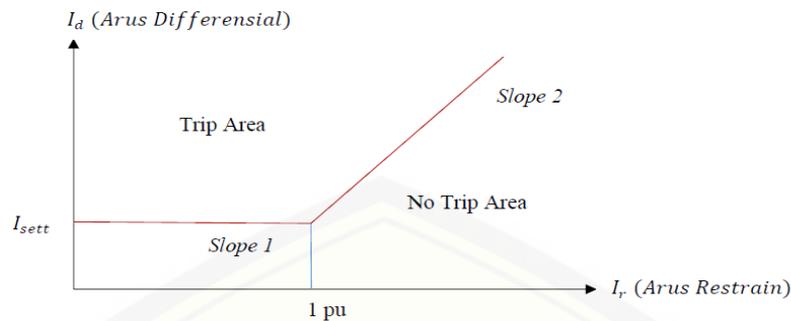
Gambar 2.4 Rangkaian Rele Diferensial Ketika Gangguan Eksternal

(sumber : Muhammad Rizki, 2018)

Gangguan eksternal adalah gangguan yang terjadi di luar daerah pengaman rele diferensial seperti gangguan hubung singkat pada saluran transmisi dan gangguan lainnya. Pada saat terjadi gangguan di luar daerah pengaman rele diferensial, rele diferensial tidak akan bekerja. Karena arus yang mengalir pada  $CT_1$  dan  $CT_2$  besarnya sama tetapi arahnya berlawanan dapat diasumsikan sebagai berikut:

$$I_d = |i_1 + i_2| = 0 \dots \dots \dots (2)$$

### 2.2.3 Karakteristik Rele Diferensial



Gambar 2.5 Karakteristik Rele Diferensial

(sumber : Muhammad Rizki, 2018)

Setiap rele diferensial dilengkapi dengan nilai settingannya dan memberikan karakteristik *tripping* tertentu. Karakteristik inilah yang akan mengenali jenis gangguan. Gambar 2.5 menunjukkan karakteristik *tripping* rele diferensial.

Slope<sub>1</sub> merupakan setting untuk menentukan titik dimana rele diferensial mulai bekerja (*pick-up* rele). Sehingga bisa dibilang Slope<sub>1</sub> ini merupakan nilai penentu kapan rele diferensial ini akan bekerja. Slope<sub>1</sub> bertugas untuk mengenali gangguan internal.

Slope<sub>2</sub> bertugas untuk mengenali gangguan eksternal. Nilai Slope<sub>2</sub> digunakan untuk melihat adanya gangguan di luar daerah pengamanan. Pada saat gangguan eksternal nilai arus yang melewati transformator sangat besar. Arus yang besar tersebut idealnya ditransformasikan oleh CT bernilai sama besar pada masing-masing sisi transformator. Tetapi setiap CT memiliki karakteristik error yang mengakibatkan arus diferensial menjadi besar pada sisi belitan transformator. Untuk membedakan apakah arus diferensial itu disebabkan oleh gangguan internal atau gangguan eksternal, maka digunakan perhitungan arus *restrain* (persamaan) untuk mengetahui nilai arus rata-rata yang mengalir pada kedua sisi belitan transformator. Perhitungan arus *restrain* ini yang digunakan sebagai dasar perhitungan Slope<sub>2</sub>.

### 2.3 Perhitungan Setting Rele Diferensial

Perhitungan Parameter Rele adalah perhitungan untuk mencari nilai rasio CT pada trafo daya yang ada dengan cara menghitung nilai arus nominal dan arus rating. Langkah selanjutnya setelah memperoleh rasio CT adalah menghitung nilai *error mismatch*, menghitung arus diferensial, arus restrain, arus *percent slope*, dan arus *setting* rele diferensial. Perhitungan terakhir adalah menghitung arus yang keluar pada CT ketika terdapat gangguan yang mengakibatkan berpengaruhnya rele diferensial.

Pemilihan CT disesuaikan dengan alat ukur dan proteksi. Pemilihan CT dengan kualitas baik akan memberikan perlindungan sistem yang baik pula. Rele diferensial sangat tergantung terhadap karakteristik CT.

Jika karakteristik CT bekerja dengan baik, maka sistem akan terlindungi oleh rele diferensial ini secara optimal. CT ditempatkan di kedua sisi peralatan yang akan diamankan (transformator daya).

Rasio CT untuk rele diferensial yang dipilih sebaiknya memiliki nilai yang mendekati nilai  $I_{rating}$ .

#### 2.3.1 Menghitung rasio CT ideal

Nilai rasio CT diperoleh dari perhitungan arus *rating*, dibawah ini merupakan persamaan untuk menghitung nilai arus *rating* :

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

Dimana :

$$I_n = \frac{s}{V \times \sqrt{3}} \dots \dots \dots (4)$$

Keterangan:

$I_n$  = Arus nominal (A)

S = Daya tersalur (MVA)

V = Arus pada sisi primer dan sekunder (V)

### 2.3.2 Error Mismatch

*Error Mismatch* adalah kesalahan dalam membaca perbedaan arus dan tegangan di sisi primer dan sekunder transformator tenaga. *Error mismatch* diharapkan nilainya sekecil mungkin agar proteksi rele diferensial bekerja secara optimal dalam mengamankan transformator tenaga.

Menentukan *Error Mismatch* dapat ditentukan dengan cara melakukan perbandingan antara CT ideal dengan CT hasil dari produksi pabrik yang dijual dipasaran saat ini. Syarat untuk melakukan perbandingan antar kedua CT tersebut, yaitu besar rasio yang digunakan tidak boleh lebih dari 5 % . Persamaan dibawah ini merupakan untuk melakukan perhitungan *Error Mismatch* yaitu :

$$\text{Error Mismatch} = \frac{CT \text{ Ideal}}{CT \text{ Terpasang}} \% \dots\dots\dots(5)$$

Dimana:

$$\frac{CT_2}{CT_1} = \frac{V_1}{V_2} \dots\dots\dots(6)$$

Keterangan:

CT (Ideal) = trafo arus ideal

V1 = tegangan sisi tinggi

V2 = tegangan sisi rendah

### 2.3.3 Menentukan Nilai Arus Sekunder pada CT

Arus yang dikeluarkan oleh CT disebut arus sekunder, dibawah ini merupakan persamaan untuk menghitung nilai arus sekunder yaitu:

$$I_{CT} = \frac{5}{\text{rasio CT}} \times I_n \dots\dots\dots(7)$$

$$I_{RELE} = \frac{\text{Iratting}}{\text{rasio CT}} \times I_n \dots\dots\dots(8)$$

$$ACT = \frac{5}{I_{sCT}} \dots\dots\dots(9)$$

$$I_s = I_{RELE} \times ACT \dots\dots\dots(10)$$

Keterangan:

$I_n$  = Arus Nominal (A)

$I_{CT}$  = Arus yang Masuk pada CT (A)

$I_{RELE}$  = Arus yang Masuk pada Rele (A)

ACT = Auxilliary CT (A)

$I_s$  = Arus Sekunder yang mengalir pada CT<sub>1</sub> dan CT<sub>2</sub> (A)

### 2.3.4 Menentukan Nilai arus Diferensial Pada CT

Arus differensial merupakan selisih arus pada sisi tegangan tinggi dengan sisi tegangan rendah. Persamaan yang digunakan untuk mencari arus differensial adalah :

$$I_{dif} = I_1 - I_2 \dots \dots \dots (11)$$

Keterangan:

$I_{dif}$  = Arus Diferensial

$I_1$  = Arus Sekunder CT<sub>1</sub> (A)

$I_2$  = Arus Sekunder CT<sub>2</sub> (A)

### 2.3.5 Menentukan Arus Restrain Pada CT

Arus restrain adalah arus penahan yang digunakan sebagai parameter kerja dari rele differensial. Arus restrain digunakan untuk mengetahui arus rata-rata yang mengalir pada transformator sisi tegangan tinggi dengan sisi tegangan rendah.

$$I_{restrain} = \frac{I_{CT1} + I_{CT2}}{2} \dots \dots \dots (12)$$

Keterangan:

$I_r$  = Arus Pertanahan (A)

$I_{CT1}$  = Arus Sekunder CT<sub>1</sub> (A)

$I_{CT2}$  = Arus Sekunder CT<sub>2</sub> (A)

### 2.3.6 Menghitung Arus Setting

Arus *setting* merupakan batasan dalam menentukan apakah rele differensial akan bekerja atau tidak dengan cara membandingkan dengan arus differensial. Jika arus differensial nilainya melebihi arus *setting* maka rele akan bekerja men-*tripkan* jaringan. Berikut merupakan persamaan untuk menghitung arus *setting*:

$$I_{setting} = Slope_1 \times I_r \dots \dots \dots (13)$$

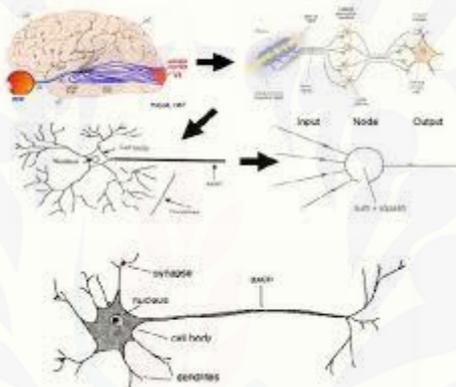
Keterangan:

$I_{set}$  = Arus *Setting* (A)

$I_r$  = Arus *Restrain* (A)

## 2.4 Neural Network

Otak manusia memiliki struktur yang sangat kompleks dan memiliki kemampuan yang luar biasa. Otak terdiri dari neuran-neuron dan penghubung yang disebut sinapsis



Gambar 2.6 Struktur dasar jaringan syaraf tiruan dan Struktur sederhana sebuah neuron  
(sumber : Eko Prasetyo, 2019)

Jaringan syaraf tiruan pertama kali ditemukan oleh Warren Mc. Coloch dan Walter Pitts dalam tulisannya yang berjudul: “*A Logical Calculus of the idea Immanent in Nervous Activity*” pada tahun 1943 di *buletin of Mathematical Biophysics* (Fausett, 1994 : 22). Jaringan syaraf tiruan merupakan salah satu sistem pemrosesan informasi yang didesain dengan menirukan cara kerja otak manusia dalam menyelesaikan suatu masalah dengan melakukan proses belajar melalui perubahan bobot sinapsisnya. Jaringan syaraf tiruan mampu mengenali kegiatan dengan berbasis pada data masa lalu. Data masa lalu akan dipelajari oleh jaringan syaraf tiruan sehingga mempunyai kemampuan untuk memberi keputusan terhadap data yang belum pernah dipelajari.

Struktur neuron pada otak manusia dan proses kerja yang dijelaskan diatas, maka konsep dasar pembangunan *neural network* buatan (*Artificial Neural Network*) terbentuk. Ide mendasar dari ANN adalah mengadopsi mekanisme berpikir sebuah system atau aplikasi yang menyerupai otak manusia, baik untuk pemrosesan berbagai sinyal elemen yang diterima, toleransi terhadap kesalahan/error, dan juga *parallel processing*. Karakteristik dari NN dilihat dari pola hubungan antar neuron, metode penentuan bobot dari tiap koneksi, dan fungsi aktivasinya. (Eka Prasetyo Hidayat, 2019)

Artificial neural network atau jaringan saraf tiruan adalah jaringan dari sekelompok unit pemroses yang dimodelkan berdasarkan jaringan saraf manusia. ANN merupakan sistem adaptif yang dapat mengubah strukturnya untuk memecahkan masalah berdasarkan informasi eksternal maupun internal. Neuron-neuron dalam neural network disusun dalam grup, yang disebut dengan layer (lapis). Pada dasarnya ANN terdiri dari 3 lapisan (layer), yaitu input layer, process, dan output layer. Pada input layer berisi variabel data input, process layer berisi langkah pengenalan objek dan output layer berisi hasil pengenalan suatu objek. (Edo Satrio Noviando, Edy Ervianto dan Indra Yasri, 2016)

Jaringan syaraf tiruan merupakan pengembangan dari jaringan syaraf pada otak manusia yang direpresentasikan melalui pemrograman komputer. Menurut Sri Kusumadewi (2003 : 207), Jaringan syaraf tiruan adalah salah satu representasi buatan dari otak manusia yang selalu mencoba untuk mensimulasikan proses pembelajaran pada otak manusia. Istilah buatan digunakan karena jaringan syaraf ini diimplimentasikan dengan menggunakan program komputer yang mampu menyelesaikan sejumlah proses perhitungan selama proses pembelajaran.

Menurut Fausett (1994 : 3), karakteristik jaringan syaraf tiruan ditentukan oleh faktor-faktor berikut :

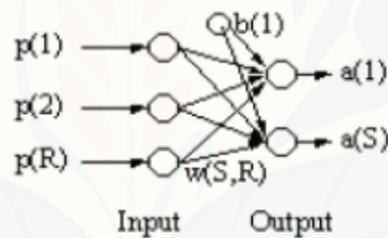
- Pola hubungan antara *neuron-neuron* (arsitektur jaringan)
- Metode penentuan bobot pada jaringan (metode pelatihan atau pembelajaran)
- Fungsi aktivasi yang dikerjakan pada *neuron*.

#### 2.4.1 Jenis-jenis *Neural Network*

Pada umumnya artificial neural network terdapat 2 jenis yang sering digunakan yaitu *Single-Layer Neural Network* dan *Multilayer Neural Network*

##### a. *Single-Layer Neural Network*

Pada *Single-Layer Neural Network*, *input layer* terhubung langsung ke *output layer*. Kelemahan dari jenis ini adalah hanya bisa digunakan pada kasus sederhana.

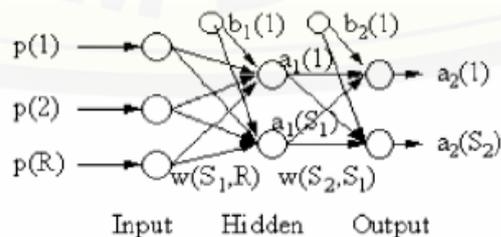


Gambar 2.7 *Single-Layer Neural Network*

(sumber : Edo, Edy dan Indra Yasri, 2016)

##### b. *Multilayer Neural Network*

Pada *Multilayer Neural Network*, terdapat *hidden layer* yang terletak diantara *input layer* dan *output layer*.



Gambar 2.8 *Multilayer Neural Network*

(sumber : Edo, Edy dan Indra Yasri, 2016)

#### 2.4.2 Komponen *Neural Network*

Pada umumnya *neural network* ini memiliki layer *input* dan layer *output* seperti yang dapat diketahui pada penjelasan dibawah ini. (Mohammad Syaiful, 2019)

- ***Layer Input***

Layer input yang berperan sebagai media informasi berupa data-data yang berkenaan dengan output yang diinginkan. Input layer ini terdiri dari beberapa neuron yang merepresentasikan variabel-variabel ataupun parameter-parameter yang diperlukan untuk menyelesaikan suatu permasalahan. Input layer akan meneruskan data-data ini kepada neuron selanjut-nya pada layer hidden ataupun layer output melalui satu set bobot. Bobot ini adalah penghubung dari setiap neuron kepada neuron lainnya pada layer selanjutnya yang akan membantu menyesuaikan struktur ANN pada pola data yang diberikan dengan cara *learning*. Pada proses *learning*, bobot akan diperbarui secara terus menerus hingga salah satu dari jumlah iterasi, *error* dan waktu proses telah tercapai. Hal ini dilakukan dalam rangka penyesuaian struktur ANN terhadap pola yang diinginkan berdasarkan masalah tertentu yang akan dipecahkan dengan menggunakan ANN. Bobot disebut juga sebagai parameter bebas, sedangkan ANN adalah model parametrik yang memerlukan estimasi nilai parameter yang optimum.

- ***Layer Output***

Layer output adalah layer yang akan memberikan hasil perhitungan akhir dari input dan weight menggunakan fungsi aktivasi (*activation function*). Fungsi aktivasi atau sering juga disebut sebagai fungsi transfer adalah filter *non-linear* terhadap hasil perhitungan – dari input dan bobot. Telah disampaikan sebelumnya bahwa bobot akan diperbarui secara terus-menerus dalam rangka penyesuaian struktur ANN yang tepat, proses perubahan bobot ini akan diatur oleh fungsi pembelajaran (*learning function*) dan metode pembelajaran. (Sri Kusumadewi, 2013)

### 2.4.3 Karakteristik *Neural Network*

Selain komponen-komponen dasar ANN, jenis-jenis ANN beserta proses kerja ANN, dapat diketahui beberapa karakteristik khusus yang dimiliki oleh ANN, yaitu: (Mohammad Syaiful, 2019)

1. ANN terhubung tanpa putus secara terus menerus dari input hingga menghasilkan output, sehingga ANN memiliki kemampuan pemetaan yang ANN dapat memetakan pola pada input terhadap pola pada output yang menjadi pasangannya.
2. ANN adalah suatu metode yang menitikberatkan pada proses *learning*, yaitu ANN akan dilatih (*train*) dengan menggunakan contoh dari suatu kasus, sehingga ANN akan mengenal pola dari contoh. Berdasarkan hasil *train* ini, ANN akan dites dengan menggunakan contoh lain yang baru dari kasus yang sama, dimana ANN akan dapat juga mengidentifikasi pola pada contoh baru tersebut dengan baik.
3. ANN memiliki kemampuan generalisasi, yaitu ANN dapat memprediksi hasil yang baru berdasarkan tren dari pola.
4. ANN toleran terhadap berbagai jenis data, ia mampu mengidentifikasi suatu pola pada data yang tidak lengkap, parsial ataupun *noisy*.
5. ANN dapat memproses informasi secara paralel dan kecepatan tinggi.

Seperti yang dapat diketahui dari karakteristik-karakteristik di atas menunjukkan bahwa ANN dapat diandalkan dalam melakukan beberapa tugas dalam rangka menemukan solusi dari suatu kasus. Tugas-tugas yang dapat dilakukan oleh ANN diantaranya adalah prediksi atau penaksiran fungsi, klasifikasi, *clustering* dan peramalan (*forecasting*). ANN memiliki kemampuan yang baik dalam menyesuaikan model nonlinear yang kompleks dengan data multidimensi dalam rangka prediksi atau penaksiran fungsi. Sedangkan dari segi pengelompokan, ANN tangguh dalam melakukan pengelompokan berdasarkan target yang diinginkan (klasifikasi) dan pengelompokan tanpa target (*clustering*). Kelas linear, nonlinear, kompleks dan multi kelas adalah jenis klasifikasi yang mampu dilakukan oleh ANN, sementara dalam *clustering*, ANN dapat secara

simultan mengungkap hubungan spatial dari setiap kelompok data dalam rangka menemukan cluster data tersebut.



### BAB 3. METODE PENELITIAN

Pada metode penelitian ini dijelaskan beberapa pokok yaitu tempat dan waktu penelitian, tahap penelitian, alat dan bahan serta diagram alir penelitian.

#### 3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Gardu Induk Banaran Kediri yang dilakukan pada bulan Januari sampai Januari sampai Maret 2020.

#### 3.2 Tahap Penelitian

Dalam pembuatan skripsi dan penelitian ini, langkah-langkah atau prosedur yang dilakukan yaitu sebagai berikut:

##### 1. Tahap Persiapan

Dalam tahap ini peneliti memperkirakan dan mempersiapkan data apa saja yang perlu diambil dan digunakan untuk parameter pada metode neural network.

##### 2. Studi Literatur Terhadap Objek dan Penelitian

Mengumpulkan dan mempelajari dari buku-buku, internet, *International Journal*, jurnal nasional penelitian sebelumnya, maupun *e-book* untuk dijadikan acuan atau referensi nasional penelitian untuk dikembangkan lebih lanjut untuk analisis rele diferensial berbasis *Neural Network*.

##### 3. Pengumpulan Data

Pada tahap ini dilakukan pengumpulan data yang dapat menunjang proses penelitian. Data-data yang dikumpulkan antara lain yaitu:

- a. Spesifikasi transformator
- b. Spesifikasi rele diferensial
- c. Data CT (*Current Transformer*)
- d. *Single Line* Gardu Induk Banaran
- e. Data Beban

##### 4. Pengolahan dan Analisis Data

Dalam tahap ini, data yang diperoleh akan diolah dan dianalisa. Penentuan pemodelan *single line* gangguan Gardu Induk Kediri menggunakan perangkat lunak ETAP 12.6.0, kemudian menghitung nilai *setting* arus pada rele yang akan digunakan sebagai *input* serta target untuk analisis menggunakan perhitungan

konvensional dan *neural network*. Selanjutnya, mencari parameter *setting* rele diferensial berbasis *neural network*. Metode analisis dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak matlab 2015a. kemudian hasil *setting* rele diferensial berbasis *neural network* dibandingkan dengan hasil *setting* menggunakan metode konvensional pada GI Kediri.

## 5. Kesimpulan

Pada tahap ini dilakukan pengambilan kesimpulan berdasarkan hasil analisis dan perbandingan. Serta pemberian saran yang ditujukan untuk pertimbangan atas pengembangan selanjutnya. Pengambilan kesimpulan dan saran dilakukan setelah menganalisis data yang telah didapatkan.

### 3.3 Alat dan Bahan

Pada penelitian ini menggunakan *software* ETAP 12.6.0 untuk pemodelan simulasi dan matlab 2015a untuk *setting* data rele diferensial menggunakan *neural network* agar didapatkan *setting* yang baik dan bagus untuk sistem.

Pada penelitian terdapat data-data yang telah diperoleh pada GI Banaran Kediri meliputi data spesifikasi trafo, data spesifikasi rele dan data beban. Untuk trafo yang digunakan pada penelitian ini terdapat 3 macam trafo yaitu trafo 4, trafo 5 dan trafo 7 dengan spesifikasi:

Tabel 3.1 Spesifikasi Trafo 4CG POWER

Merk	CG PAUWELS
Type	ORF 60/275
No. Seri	30111450054
Vektor Grup	YnynO
Arus	230,9/1732
Tegangan Kerja	150/20 KV
Daya	60 MVA
Impedansi	12,831%

Tabel 3.2 Spesifikasi Trafo 5 TELK

Merk	TELK
Type	SALOCR
No. Seri	130105-3
Vektor Grup	Ynyno d1
Arus	231/1732
Tegangan Kerja	150/20 KV
Daya	60 MVA
Impedansi	12,3%

Tabel 3.3 Spesifikasi Trafo 7 ABB

Merk	ABB
Type	-
No. Seri	Z2496
Vektor Grup	YnynO+d0
Arus	231/1576
Tegangan Kerja	150/22 KV
Daya	60 MVA

untuk data-data yang telah didapatkan pada GI Banaran Kediri meliputi data selain spesifikasi trafo yaitu data rele yang digunakan pada penelitian ini yaitu terpasang pada beberapa trafo yaitu trafo 4, trafo 5 dan trafo 7 dengan spesifikasi:

Tabel 3.4 Spesifikasi Rele Trafo 4

Merk	AREVA
Type	MICOM P632
Arus Nominal	5 A
Rasio	$CT_p = 400/5$
	$CT_s = 2000/5$

Tabel 3.5 Spesifikasi Rele Trafo 5

Merk	AREVA
Type	MICOM P643
Arus Nominal	5 A
Rasio	$CT_p = 400/5$
	$CT_s = 2000/5$

Tabel 3.6 Spesifikasi Rele Trafo 7

Merk	ABB
Type	RET670
Arus Nominal	5 A
Rasio	$CT_p = 300/5$
	$CT_s = 2000/5$

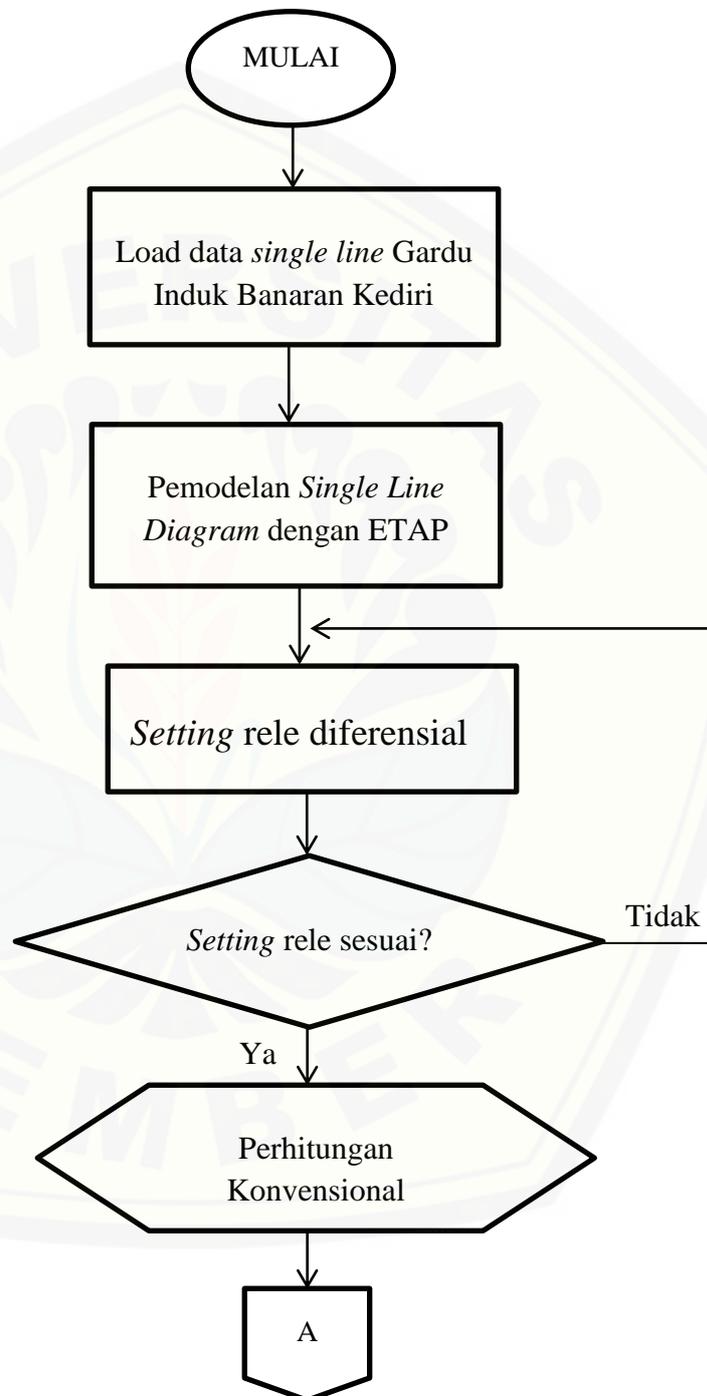
Selanjutnya merupakan data-data yang telah didapatkan pada GI Banaran Kediri meliputi selain data spesifikasi trafo dan data spesifikasi rele yaitu data beban. Untuk beban yang dihasilkan pada beberapa trafo yaitu trafo 4, trafo 5 dan trafo 7 yaitu:

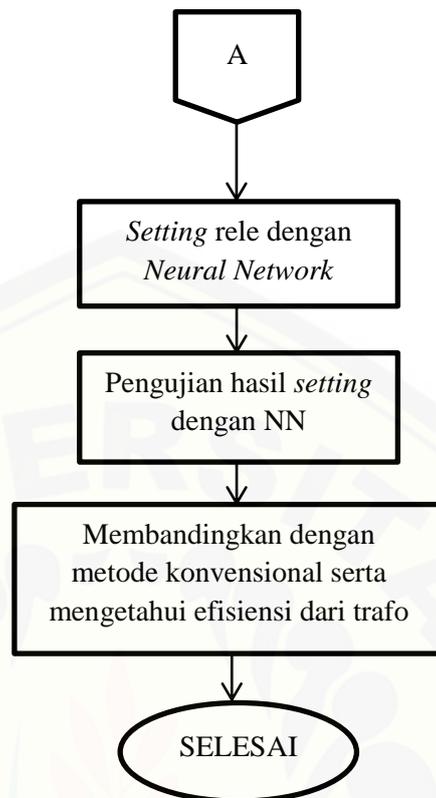
Tabel 3.7 Data Beban

<b>TRAFO</b>	<b>BEBAN</b>
TRAFO 4	1143 A
TRAFO 5	452 A
TRAFO 7	295 A

### 3.4 Diagram Alir Penelitian

Pada proses penelitian ini ada beberapa tahapan yang harus dilalui. Tahapan yang akan dilaksanakan yaitu sebagai berikut:





Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

Berdasarkan gambar 3.1 dapat dijelaskan tentang alur sistem yang digunakan dalam penelitian ini yaitu:

1. Pertama dilakukan pengambilan data dari GI Kediri yang meliputi data trafo atau transformator, data rele, data CT dan lain-lain.
2. Kemudian memodelkan *single line* GI Kediri menggunakan perangkat lunak ETAP 12.6.0 untuk mengetahui nilai arus gangguan serta cara kerja rele.
3. Menentukan *setting* rele diferensial yaitu nilai *setting* arus Iset, Id, Irestrain, Isekunder CT, Irating dan *error mismatch* yang nanti akan menjadi parameter input dan target untuk proses *setting* rele diferensial berbasis *neural network*.
4. Melakukan program perhitungan *setting* rele menggunakan metode *neural network* pada perangkat lunak Matlab R2015a dengan memasukkan parameter *setting* rele.

5. Membandingkan hasil *setting* rele menggunakan metode *neural network* dengan *setting* rele menggunakan metode konvensional serta mengetahui efisiensi dari masing-masing trafo yang digunakan pada GI Banaran Kediri.

### 3.5 Perhitungan Arus

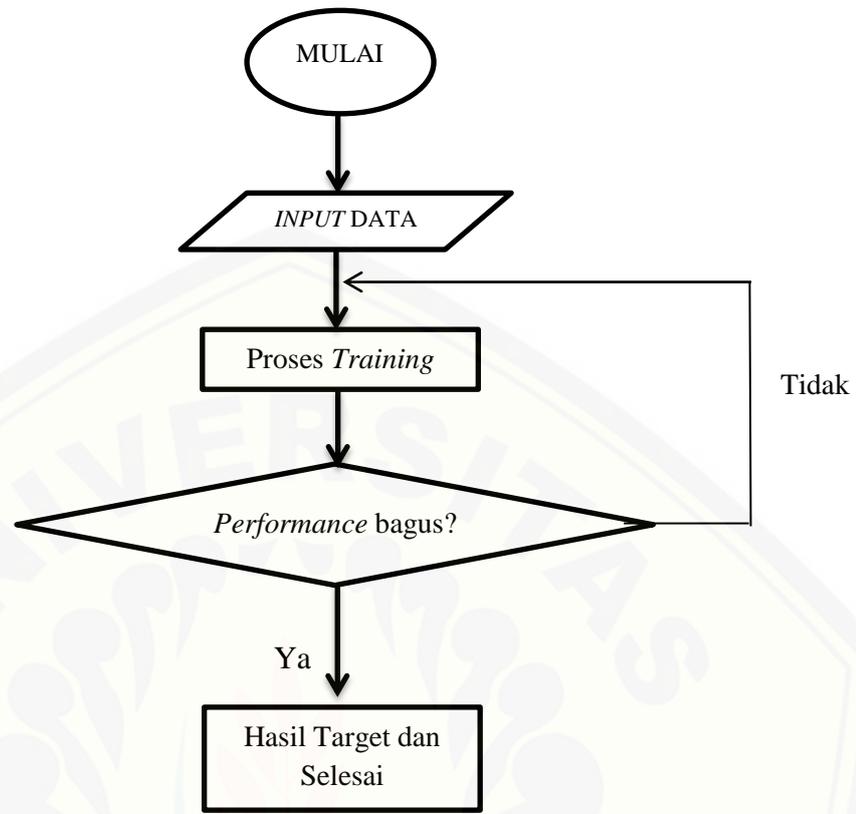
Perhitungan arus sangat penting untuk mengetahui adanya gangguan yang terjadi seperti gangguan internal maupun gangguan eksternal. Dari nilai arus pada masing-masing trafo yang diketahui nanti akan menghasilkan nilai arus diferensial, *error mismatch*, arus pada CT dan lain-lain seperti yang ada pada rumus-rumus perhitungan, lalu nilai ini akan di *setting* menggunakan metode *neural network*. Untuk rele diferensial menggunakan metode hukum *kirchoff* seperti pada persamaan 2.2.

Sedangkan arus gangguan atau arus diferensial berguna untuk mengetahui kinerja dari rele diferensial tersebut.

### 3.6 Perancangan *Setting Neural Network*

#### 3.6.1 Diagram Alir *Setting* menggunakan *Neural Network*

Setelah mendapatkan nilai *setting* rele dari hasil perhitungan konvensional, maka selanjutnya adalah proses *setting* berbasis *neural network* dengan bantuan *software* Matlab R2015a. *Setting* ini dimaksudkan untuk melakukan perhitungan secara algoritma menggunakan *neural network* dari data hasil perhitungan manual sebagai *input* dan targetnya. Pada gambar 3.3 merupakan tahapan-tahapan *setting* yang akan dilakukan.



Gambar 3.2 Diagram Alir *Setting* dengan *Neural Network*

Berdasarkan gambar 3. dapat dijelaskan proses tahapan yang akan dilakukan sebagai berikut:

a. *Input Data*

Sebelum melakukan *setting* menggunakan *neural network* maka dilakukan pengklasifikasian nilai *input* dan *output* yang nantinya akan digunakan sebagai parameter *setting*. *Input* yang digunakan pada *setting* ini adalah nilai arus arus  $I_{\text{setting}}$ ,  $I_{\text{restrain}}$ ,  $I_{\text{sekunder CT}}$ ,  $I_{\text{sekunder rele}}$ ,  $I_{\text{rating}}$ ,  $I_{\text{KCT}}$ ,  $I_1$  dan  $I_2$ . Sedangkan nilai *output* atau target merupakan nilai *error mismatch* dan  $I_{\text{Diferensial}}$  yang didapatkan dari persamaan 2.3.

b. *Proses Training dan Testing*

*Setting* rele diferensial berbasis *neural network* menggunakan metode *Training Algorithm* Lavenberg Marquart *backpropagation* yang merupakan *training algorithm* terawazu oleh perceptron dengan jaringan lapis banyak (*Multilayer Perceptron*) untuk mengubah nilai bobot yang terhubung pada

neuron-neuron pada *hidden layer*. Data yang didapatkan dari perhitungan konvensional selanjutnya akan dilatih dengan algoritma *backpropagation* dimana nilai eror dari masukan digunakan untuk mengubah nilai bobot-bobotnya dalam arah mundur (*backward*). Eror didapatkan melalui tahap maju (*forward propagation*). Pada saat perambatan maju, neuron akan diaktifkan dengan menggunakan fungsi aktivasi.

Dengan hasil data yang konsisten (*linier*) serta neuron pembentuk yang cukup pada *hidden layer*, maka akan mempermudah melakukan pemetaan dengan algoritma tersebut. Sehingga dapat dihasilkan *output* yang sesuai dengan target yang diinginkan yang dapat dilihat dari hasil *performancenya*.

c. Hasil Target

Nilai hasil *setting* yang didapatkan pada *neural network* selanjutnya akan di bandingkan dengan hasil dari perhitungan konvensional, kemudian dianalisis. Apabila masih terjadi kesalahan atau belum akurat, maka proses diulang kembali. jika nilai hasil perbandingan pada proses *setting* menggunakan *neural network* dengan perhitungan konvensional sudah benar, maka nilai parameter-parameter yang digunakan sudah sesuai dan dapat dikatakan sudah sesuai dengan yang diinginkan.

## BAB 5. PENUTUP

### 5.1 Kesimpulan

Dari hasil percobaan penelitian dan pembahasan yang telah dilakukan pada *setting* rele diferensial pada trafo 4, trafo 5 dan trafo 7 GI Banaran Kediri menggunakan metode *neural network*, didapatkan kesimpulan sebagai berikut:

1. Pada *setting* rele diferensial harus dihitung secara tepat untuk meminimalisir terjadinya kesalahan, maka dari itu pada rele ini juga menggunakan KCT atau kompensasi pada CT yang difungsinya untuk menyesuaikan arus *input* yang masuk ke rele agar sama dengan arus yang masuk ke CT baik dari sisi primer maupun sisi sekunder mengingat rasio pada CT tidak sama persis dengan arus nominal pada trafo. Pada hasil dari perhitungan konvensional *setting* rele yang di peroleh pada CT<sub>1</sub> menghasilkan arus I<sub>1</sub> sebesar 5.49A dan CT<sub>2</sub> menghasilkan arus I<sub>2</sub> sebesar 5.48A sehingga menghasilkan I<sub>dif</sub> sebesar 0.01A. kemudian hasil metode *neural network*, *setting* rele yang di peroleh pada CT<sub>1</sub> menghasilkan arus I<sub>1</sub> sebesar 5.5A dan CT<sub>2</sub> menghasilkan arus I<sub>2</sub> sebesar 5.5A sehingga menghasilkan I<sub>dif</sub> sebesar 0A dapat dilihat pada Tabel 4.6, Tabel 4.9 dan Tabel 4.12.
2. Untuk hasil perbandingan *output* konvensional dan *output* menggunakan *neural network* antara trafo 4, trafo 5 maupun trafo 7. Pada trafo 4 dan trafo 5 sudah sesuai dengan yang diinginkan atau yang ditargetkan dengan nilai *error mismatch* pada CT<sub>1</sub> sebesar 0.13% dan CT<sub>2</sub> sebesar 0.3% serta arus diferensial pada CT<sub>1</sub> dan CT<sub>2</sub> sebesar 0.01 A seperti pada Tabel 4.6 dan Tabel 4.9 tetapi iterasi yang dilakukan pada saat proses *train* lebih besar yaitu terhenti pada iterasi ke-585 dapat dilihat pada Gambar 4.2 dan 4.7. Sedangkan pada trafo 7 hasil *training* belum mencapai nilai yang di targetkan akan tetapi sudah hampir mencapai target dengan nilai *error mismatch* pada CT<sub>1</sub> sebesar 0.19% dan CT<sub>2</sub> sebesar 0.2% serta arus diferensial pada CT<sub>1</sub> dan CT<sub>2</sub> sebesar sekitar 0A sampai

$3,3 \times 10^{-8}$  seperti pada Tabel 4.12, untuk iterasi yang di perlukan pada trafo ini lebih sedikit yaitu terhenti pada iterasi ke-269 dibanding dengan trafo 4 dan 5 dapat dilihat pada Gambar 4.12.

3. Efisiensi dari masing-masing trafo yaitu dari trafo 4, trafo 5 dan trafo 7 tidak jauh berbeda. Dalam menggunakan metode *neural network* pun cocok dan bisa mendapatkan *output* yang mendekati atau bahkan sama dengan target yang diinginkan. Akan tetapi untuk respon iterasi dan hasil MSE yang lebih efisien yaitu pada trafo 7 karena iterasi dan MSE yang dihasilkan lebih kecil sebesar  $9,7346 \times 10^{-16}$  dibandingkan dengan trafo 4 dan 5 iterasi dan MSE yang dihasilkan lebih besar sebesar  $3,0799 \times 10^{-16}$ . Untuk hasil *performancenya* kurang lebih sama dan sudah bagus.

## 5.2 Saran

Dari penelitian maupun analisa yang telah dilakukan pada *setting* rele diferensial menggunakan metode *neural network*, terdapat beberapa saran yang dapat dijadikan acuan atau perbaikan untuk penelitian yang selanjutnya.

1. Dapat menambahkan beberapa parameter atau beberapa trafo agar data yang di *train* dapat menghasilkan *output* yang maksimal dan sesuai target apabila menggunakan metode *neural network* ini.
2. Dapat menggunakan metode lain selain *neural network* untuk dibandingkan hasilnya lebih bagus atau maksimal serta lebih efisien pula.

## DAFTAR PUSTAKA

S. Sudha, A. Ebenezer Jeyakumar. (2009). *PSOWNN Based Relaying for Power Transformer Protection*. Government College Of Engineering, Salem 636 011, Tamil Nadu, India.

Yuniarto, Arkhan Subari, Dinda Hapsari Kusumastuti. (2015). *Setting Relay Differensial Pada Gardu Induk Kaliwungu Guna Menghindari Kegagalan Proteksi*. PSD III Teknik Elektro Fakultas Teknik. Universitas Diponegoro.

Muhammad Rizki Muharam. (2018). *Analisis Performa Relay Differensial Transformator Pada Gardu Induk Cilegon Lama*. Universitas Islam Indonesia.

Edo Satrio Noviando, Edy Ervianto, Indra Yasri. (2016). *Studi Penerapan ANN (Artificial Neural Network) Untuk Menghilangkan Harmonisa Pada Gedung Pusat Komputer*. Universitas Riau, Indonesia.

Hari Firdaus, Azriyenni Azhari Zakri. (2018). *Pemodelan Relai Diferensial Pada Transformator Daya 25 Mva Menggunakan ANFIS*. Universitas Riau, Indonesia.

Eka Prasetyo Hidayat. Vol 8 (2019). *PEMODELAN BACKPROPAGATION NEURAL NETWORK PADA RELAY DIFFERENSIAL TRANSFORMATOR GI BABADAN 150 KV*. Universitas Negeri Surabaya, Indonesia.

Neha Gupta, Harish Balaga, D. N Vishwakarma. Vol 3 (2013). *Numerical Differential Protection of Power Transformer using GA Trained ANN*. *International Journal of Emerging Trends in Electrical and Electronics*.

M. Geethanjali, S. Mary Raja Slochanal, R. Bhavani. 904–918 (2007). *PSO trained ANN-based differential protection scheme for power transformers*. *Department of Electrical and Electronics Engineering, Thiagarajar College of Engineering, Madurai 625 015, Tamilnadu, India*.

Mohammad Syaiful Bahri, (2019). OPTIMASI KOORDINASI PROTEKSI ARUS LEBIH PADA PT. YEOH TIONG LAY (YTL) JAWA TIMUR MENGGUNAKAN METODE *NEURAL NETWORK*. Teknik Elektro. Universitas Jember, Indonesia.



### Lampiran Perhitungan Konvensional

#### 1. Trafo 4 (150/20 kV)

$$CT_p = 400/5$$

$$CT_s = 2000/5$$

$$\text{Slope}_1 = 30\%$$

- $I_{\text{restrain}}$

- $$I_{\text{restrain}} = \frac{I_{\text{sek}}(CT_1) + I_{\text{sek}}(CT_2)}{2}$$
$$= \frac{2.88 + 4.33}{2}$$
$$= 3.6 \text{ A}$$

- $I_{\text{setting}}$

- $$I_{\text{set}} = \text{Slope}_1 \times I_{\text{res}}$$
$$= 30\% \times 3.6$$
$$= 1 \text{ A}$$

- $I_{\text{nominal}}$

- $$I_{n1} = \frac{s}{kV\sqrt{3}}$$
$$= \frac{60000}{150\sqrt{3}}$$
$$= 230.94 \text{ A}$$

- $$I_{n2} = \frac{s}{kV\sqrt{3}}$$
$$= \frac{60000}{20\sqrt{3}}$$
$$= 1732 \text{ A}$$

- CT Ideal

- $I_{\text{rating1}} = \text{Beban} \times I_{n1}$   
 $= 110\% \times 230.94$   
 $= 254 \text{ A}$

- $I_{\text{rating2}} = \text{Beban} \times I_{n2}$   
 $= 110\% \times 1732$   
 $= 1732 \text{ A}$

- Error Mismatch

- $CT_1 = \frac{CT_s}{5} \times \frac{V_2}{V_1}$   
 $= \frac{2000}{5} \times \frac{20 \text{ kV}}{150 \text{ kV}}$   
 $= 53.33 \text{ A}$

- Error =  $\frac{CT_1}{CT_p}$   
 $= \frac{53.33}{400}$   
 $= 0.13\%$

- $CT_2 = \frac{CT_p}{5} \times \frac{V_1}{V_2}$   
 $= \frac{400}{5} \times \frac{150 \text{ kV}}{20 \text{ kV}}$   
 $= 600 \text{ A}$

- Error =  $\frac{CT_2}{CT_s}$   
 $= \frac{600}{2000}$   
 $= 0.3\%$

- I<sub>sekunder</sub> (CT)

- $I_{S1} = \frac{5}{\text{Rasio CT}} \times I_n$

- $= \frac{5}{400} \times 230.94$

- $= 2.88 \text{ A}$

- $I_{S2} = \frac{5}{\text{Rasio CT}} \times I_n$

- $= \frac{5}{2000} \times 1732$

- $= 4.33 \text{ A}$

- $KCT_1 = \frac{5}{I_{S1}}$

- $= \frac{5}{2.88}$

- $= 1.73 \text{ A}$

- $KCT_2 = \frac{5}{I_{S2}}$

- $= \frac{5}{4.33}$

- $= 1.15 \text{ A}$

- I<sub>sekunder</sub> (Rele)

- $I_{S1} = \frac{I_{\text{Ratting 1}}}{CT_p} \times 5$

- $= \frac{254}{400} \times 5$

- $= 3.175 \text{ A}$

$$\begin{aligned} \circ I_{S2} &= \frac{I_{\text{Rating } 2}}{CT_s} \times 5 \\ &= \frac{1905}{2000} \times 5 \\ &= 4.762 \text{ A} \end{aligned}$$

•  $I_{\text{differensial}}$

$$\begin{aligned} \circ I_1 &= I_{\text{sek}} (\text{Rele}) \times KCT_1 \\ &= 3.175 \times 1.73 \\ &= 5.49 \text{ A} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \circ I_2 &= I_{\text{sek}} (\text{Rele}) \times KCT_2 \\ &= 4.762 \times 1.15 \\ &= 5.48 \text{ A} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \circ I_{\text{diff}} &= I_1 - I_2 \\ &= 5.49 - 5.48 \\ &= 0.01 \text{ A} \end{aligned}$$

• Arus Gangguan

$$\begin{aligned} \circ I_f \text{Rele} &= I_{\text{fault}} (\text{ETAP}) \times CT_2 \\ &= 16760 \times \frac{5}{2000} \\ &= 42 \text{ A} \end{aligned}$$

## 2. Trafo 5 (150/20 kV)

$$CT_p = 400/5$$

$$CT_s = 2000/5$$

$$\text{Slope}_1 = 30\%$$

- $I_{\text{restrain}}$

- $$I_{\text{restrain}} = \frac{I_{\text{sek}}(CT_1) + I_{\text{sek}}(CT_2)}{2}$$
$$= \frac{2.88 + 4.33}{2}$$
$$= 3.6 \text{ A}$$

- $I_{\text{setting}}$

- $$I_{\text{set}} = \text{Slope}_1 \times I_{\text{res}}$$
$$= 30\% \times 3.6$$
$$= 1 \text{ A}$$

- $I_{\text{nominal}}$

- $$I_{n1} = \frac{s}{\text{kV}\sqrt{3}}$$
$$= \frac{60000}{150\sqrt{3}}$$
$$= 230.94 \text{ A}$$

- $$I_{n2} = \frac{s}{\text{kV}\sqrt{3}}$$
$$= \frac{60000}{20\sqrt{3}}$$
$$= 1732 \text{ A}$$

- CT Ideal

- $$I_{\text{rating1}} = \text{Beban} \times I_{n1}$$
$$= 110\% \times 230.94$$
$$= 254 \text{ A}$$

$$\begin{aligned} \circ I_{\text{rating2}} &= \text{Beban} \times I_{n2} \\ &= 110\% \times 1732 \\ &= 1732 \text{ A} \end{aligned}$$

• Error Mismatch

$$\begin{aligned} \circ CT_1 &= \frac{CT_s}{5} \times \frac{V_2}{V_1} \\ &= \frac{2000}{5} \times \frac{20 \text{ kV}}{150 \text{ kV}} \\ &= 53.33 \text{ A} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \circ \text{Error} &= \frac{CT_1}{CT_p} \\ &= \frac{53.33}{400} \\ &= 0.13\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \circ CT_2 &= \frac{CT_p}{5} \times \frac{V_1}{V_2} \\ &= \frac{400}{5} \times \frac{150 \text{ kV}}{20 \text{ kV}} \\ &= 600 \text{ A} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Error} &= \frac{CT_2}{CT_s} \\ &= \frac{600}{2000} \\ &= 0.3\% \end{aligned}$$

•  $I_{\text{sekunder (CT)}}$

$$\begin{aligned} \circ I_{S1} &= \frac{5}{\text{Rasio CT}} \times I_n \\ &= \frac{5}{400} \times 230.94 \\ &= 2.88 \text{ A} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \circ I_{S2} &= \frac{5}{\text{Rasio CT}} \times I_n \\ &= \frac{5}{2000} \times 1732 \\ &= 4.33 \text{ A} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \circ KCT_1 &= \frac{5}{I_{s1}} \\ &= \frac{5}{2.88} \\ &= 1.73 \text{ A} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \circ KCT_2 &= \frac{5}{I_{s2}} \\ &= \frac{5}{4.33} \\ &= 1.15 \text{ A} \end{aligned}$$

•  $I_{\text{sekunder (Rele)}}$

$$\begin{aligned} \circ I_{S1} &= \frac{I_{\text{Rating 1}}}{CT_p} \times 5 \\ &= \frac{254}{400} \times 5 \\ &= 3.175 \text{ A} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \circ I_{S2} &= \frac{I_{\text{Rating 2}}}{CT_s} \times 5 \\ &= \frac{1905}{2000} \times 5 \\ &= 4.762 \text{ A} \end{aligned}$$

•  $I_{\text{diferensial}}$

$$\begin{aligned} \circ I_1 &= I_{\text{sek (Rele)}} \times KCT_1 \\ &= 3.175 \times 1.73 \\ &= 5.49 \text{ A} \end{aligned}$$

- $I_2 = I_{\text{sek}}(\text{Rele}) \times KCT_2$   
 $= 4.762 \times 1.15$   
 $= 5.48 \text{ A}$

- $I_{\text{diff}} = I_1 - I_2$   
 $= 5.49 - 5.48$   
 $= 0.01 \text{ A}$

- Arus Gangguan

- $I_f \text{Rele} = I_{\text{fault}}(\text{ETAP}) \times CT_2$   
 $= 16760 \times \frac{5}{2000}$   
 $= 42 \text{ A}$

### 3. Trafo 7 (150/22 kV)

$$CT_p = 300/5$$

$$CT_s = 2000/5$$

$$\text{Slope}_1 = 30\%$$

- $I_{\text{restrain}}$

- $I_{\text{restrain}} = \frac{I_{\text{sek}}(CT_1) + I_{\text{sek}}(CT_2)}{2}$   
 $= \frac{3.849 + 3.936}{2}$   
 $= 3.8 \text{ A}$

- $I_{\text{setting}}$

- $I_{\text{set}} = \text{Slope}_1 \times I_{\text{res}}$   
 $= 30\% \times 3.8$   
 $= 1.14 \text{ A}$

•  $I_{\text{nominal}}$

$$\begin{aligned} \circ I_{n1} &= \frac{S}{kV\sqrt{3}} \\ &= \frac{60000}{150\sqrt{3}} \\ &= 230.94 \text{ A} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \circ I_{n2} &= \frac{S}{kV\sqrt{3}} \\ &= \frac{60000}{22\sqrt{3}} \\ &= 1574.5 \text{ A} \end{aligned}$$

• CT Ideal

$$\begin{aligned} \circ I_{\text{rating1}} &= \text{Beban} \times I_{n1} \\ &= 110\% \times 230.94 \\ &= 254 \text{ A} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \circ I_{\text{rating2}} &= \text{Beban} \times I_{n2} \\ &= 110\% \times 1574.5 \\ &= 1731.9 \text{ A} \end{aligned}$$

• Error Mismatch

$$\begin{aligned} \circ CT_1 &= \frac{CT_s}{5} \times \frac{V_2}{V_1} \\ &= \frac{2000}{5} \times \frac{22 \text{ kV}}{150 \text{ kV}} \\ &= 58.67 \text{ A} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \circ \text{Error} &= \frac{CT_1}{CT_p} \\ &= \frac{58.67}{300} \\ &= 0.19\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \circ \text{CT}_2 &= \frac{\text{CT}_p}{5} \times \frac{V_1}{V_2} \\ &= \frac{400}{5} \times \frac{150 \text{ kV}}{22 \text{ kV}} \\ &= 409 \text{ A} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Error} &= \frac{\text{CT}_2}{\text{CT}_s} \\ &= \frac{409}{2000} \\ &= 0.2\% \end{aligned}$$

• I<sub>sekunder</sub> (CT)

$$\begin{aligned} \circ \text{I}_{s1} &= \frac{5}{\text{Rasio CT}} \times I_n \\ &= \frac{5}{300} \times 230.94 \\ &= 3.848 \text{ A} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \circ \text{I}_{s2} &= \frac{5}{\text{Rasio CT}} \times I_n \\ &= \frac{5}{2000} \times 1732 \\ &= 3.936 \text{ A} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \circ \text{KCT}_1 &= \frac{5}{\text{I}_{s1}} \\ &= \frac{5}{3.848} \\ &= 1.30 \text{ A} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \circ \text{KCT}_2 &= \frac{5}{\text{I}_{s2}} \\ &= \frac{5}{3.936} \\ &= 1.27 \text{ A} \end{aligned}$$

- $I_{\text{sekunder (Rele)}}$

- $I_{S1} = \frac{I_{\text{Ratting 1}}}{CT_p} \times 5$   
 $= \frac{254}{300} \times 5$   
 $= 4.23 \text{ A}$

- $I_{S2} = \frac{I_{\text{Ratting 2}}}{CT_s} \times 5$   
 $= \frac{1731.9}{2000} \times 5$   
 $= 4.33 \text{ A}$

- $I_{\text{differensial}}$

- $I_1 = I_{\text{sek (Rele)}} \times KCT_1$   
 $= 4.23 \times 1.30$   
 $= 5.5 \text{ A}$

- $I_2 = I_{\text{sek (Rele)}} \times KCT_2$   
 $= 4.33 \times 1.27$   
 $= 5.5 \text{ A}$

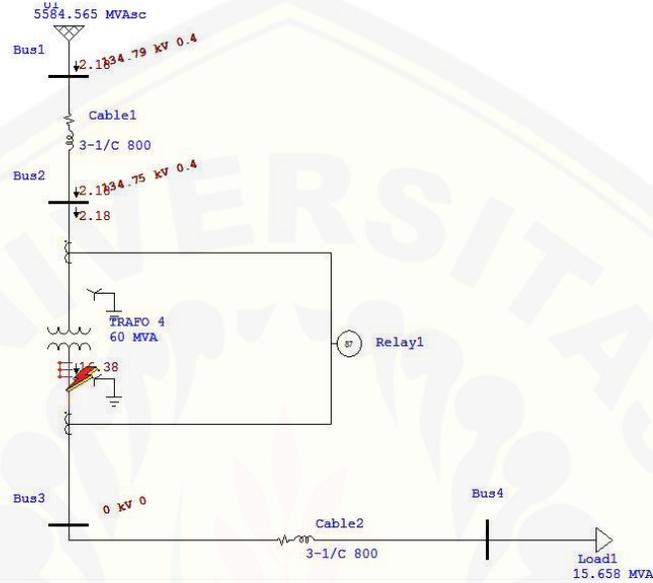
- $I_{\text{diff}} = I_1 - I_2$   
 $= 5.5 - 5.5$   
 $= 0 \text{ A}$

- Arus Gangguan

- $I_f \text{Rele} = I_{\text{fault (ETAP)}} \times CT_2$   
 $= 15237 \times \frac{5}{2000}$   
 $= 38 \text{ A}$

Lampiran Simulasi ETAP

1. Trafo 4 (150/20 kV)



Project: ETAP Page: 1  
 Location: 12.6 OH Date: 10-17-2020  
 Contract: SN:  
 Engineer: Study Case: SM Revision: Base  
 Filename: trafo 4 Config.: Normal

SHORT-CIRCUIT REPORT

Fault at bus: Bus3

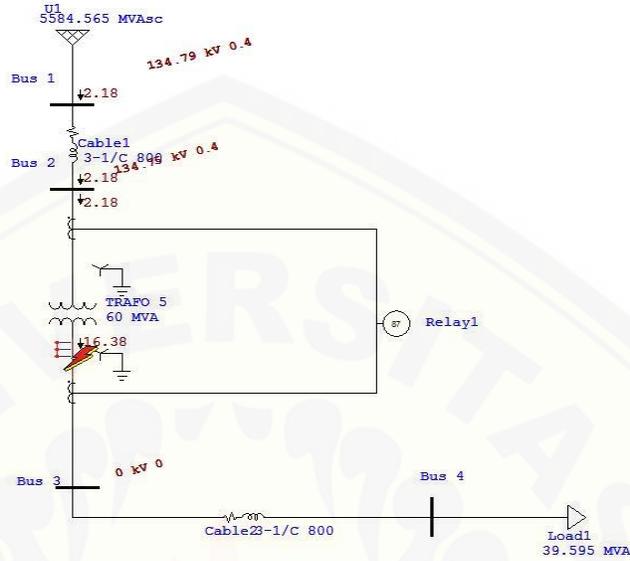
Prefault voltage = 20.000 kV = 100.00 % of nominal bus kV (20.000 kV)  
 = 100.00 % of base kV (20.000 kV)

Contribution		3-Phase Fault			Line-To-Ground Fault			Positive & Zero Sequence Impedances Looking into "From Bus"				
From Bus ID	To Bus ID	% V From Bus	kA Symm rms	% Voltage at From Bus	1A Symm rms Ia	1A Symm rms Ix	% Impedance on 100 MVA base					
				Va	Vb	Vc	X1	X2	X0	Z0		
Bus3	Total	0.00	143.79	0.00	98.98	98.73	16.760	16.760	6.44E-001	1.76E+001	5.26E-001	1.64E+001
Bus4	Bus3	0.00	0.000	0.00	98.98	98.73	0.000	0.000				
Bus2	Bus3	99.94	143.79	91.93	98.98	98.73	16.760	16.760	6.44E-001	1.76E+001	5.26E-001	1.64E+001
Bus1	Bus2	99.86	2.184	91.97	98.98	98.73	2.235	2.235	1.80E-001	1.76E+000	6.19E-002	5.87E-001
U1	Bus1	100.00	2.184	100.00	100.00	100.00	2.235	2.235	1.78E-001	1.76E+000	5.73E-002	5.73E-001

= Indicates fault current contribution is from three-winding transformers

\* Indicates a zero sequence fault current contribution (I0) from a grounded Delta-Y transformer

2. Trafo 5 (150/20 kV)



Project: ETAP  
 Location: 12.6.0H  
 Contract:  
 Engineer:  
 Filename: trafo 5 cobs

Study Case: SM

Page: 1  
 Date: 10-17-2020  
 SN:  
 Revision: Base  
 Config: Normal

SHORT - CIRCUIT REPORT

Fault at bus: Bus 3

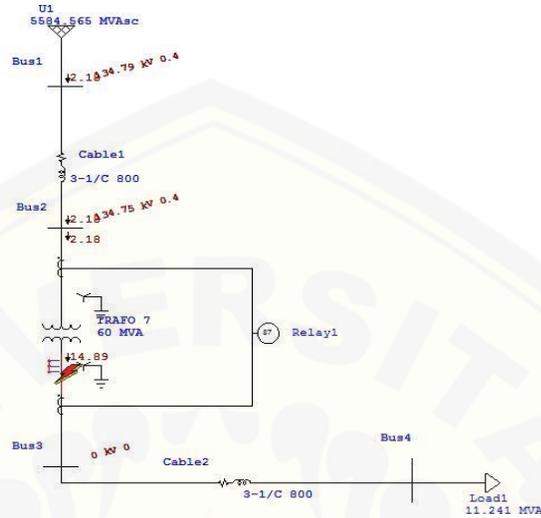
Prefault voltage = 20.000 kV = 100.00 % of nominal bus kV ( 20.000 kV)  
 = 100.00 % of base kV ( 20.000 kV)

Contribution		3-Phase Fault			Line-To-Ground Fault			Positive & Zero Sequence Impedances Looking into "F from Bus"				
From Bus ID	To Bus ID	% V From Bus	I A Symm. rms	% Voltage at From Bus	Ia	Ia Symm. rms	% Impedance on 100 MVA base					
				Va	Vb	Vc	R1	X1	R0	X0		
Bus 3	Total	0.00	16379	0.00	98.98	98.73	16.760	16.760	6.44E-001	1.76E+001	5.26E-001	1.64E+001
Bus 4	Bus 3	0.00	0.000	0.00	98.98	98.73	0.000	0.000	6.44E-001	1.76E+001	5.26E-001	1.64E+001
Bus 2	Bus 3	99.84	16379	91.93	98.98	98.73	16.760	16.760	6.44E-001	1.76E+001	5.26E-001	1.64E+001
Bus 1	Bus 2	99.86	2.184	91.97	98.98	98.72	2.235	2.235	1.80E-001	1.79E+000	6.19E-002	5.87E-001
U1	Bus 1	100.00	2.184	100.00	100.00	100.00	2.235	2.235	1.78E-001	1.78E+000	5.75E-002	5.75E-001

\* Indicates fault current contribution is from three-winding transformers

\* Indicates a zero sequence fault current contribution (I0) from a grounded Delta-Y transformer

3. Trafo 7 (150/22 kV)



Project: ETAP  
 Location: 12.6.0H  
 Contract:  
 Engineer:  
 Filename: trafo 7

Page: 1  
 Date: 10-17-2020  
 SN:  
 Revision: Base  
 Config: Normal

Study Case: SM

SHORT - CIRCUIT REPORT

Fault at bus: Bus3

Prefault voltage = 22.000 kV = 100.00 % of nominal bus kV ( 22.000 kV)  
 = 100.00 % of base kV ( 22.000 kV)

Contribution		3-Phase Fault		Line-To-Ground Fault				Positive & Zero Sequence Impedances Looking into "From Bus"				
From Bus ID	To Bus ID	% V From Bus	I A Symm rms	% Voltage at From Bus Va	Vb	Vc	I A Symm rms Ia	I10	% Impedance on 100 MVA base R1	X1	R0	X0
Bus3	Total	0.00	14.590	0.00	98.98	98.73	12.237	12.237	6.44E-001	1.76E+001	5.26E-001	1.64E+001
Bus4	Bus3	0.00	0.000	0.00	98.98	98.73	0.000	0.000	6.44E-001	1.76E+001	5.26E-001	1.64E+001
Bus2	Bus3	99.94	14.590	91.93	98.98	98.73	12.237	12.237	6.44E-001	1.76E+001	5.26E-001	1.64E+001
Bus1	Bus2	99.86	2.184	91.97	98.98	98.72	2.235	2.235	1.80E-001	1.79E+000	6.19E-002	5.87E-001
U1	Bus1	100.00	2.184	100.00	100.00	100.00	2.235	2.235	1.78E-001	1.78E+000	5.70E-002	5.75E-001

# Indicates fault current contribution is from three-winding transformers  
 \* Indicates a zero sequence fault current contribution (I10) from a grounded Delta-Y transformer

