



**OPTIMASI KOORDINASI PROTEKSI RELE ARUS LEBIH PADA PT.
YEOH TIONG LAY (YTL) JAWA TIMUR MENGGUNAKAN METODE
*NEURAL NETWORK***

SKRIPSI

Oleh

Mohammad Syaiful Bahri

NIM 151910201051

**PROGRAM STUDI STRATA-1 TEKNIK ELEKTRO
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS JEMBER
2019**



**OPTIMASI KOORDINASI PROTEKSI RELE ARUS LEBIH PADA PT.
YEOH TIONG LAY (YTL) JAWA TIMUR MENGGUNAKAN METODE
*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

Mohammad Syaiful Bahri

NIM 151910201051

**PROGRAM STUDI STRATA 1 TEKNIK ELEKTRO
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS JEMBER
2019**

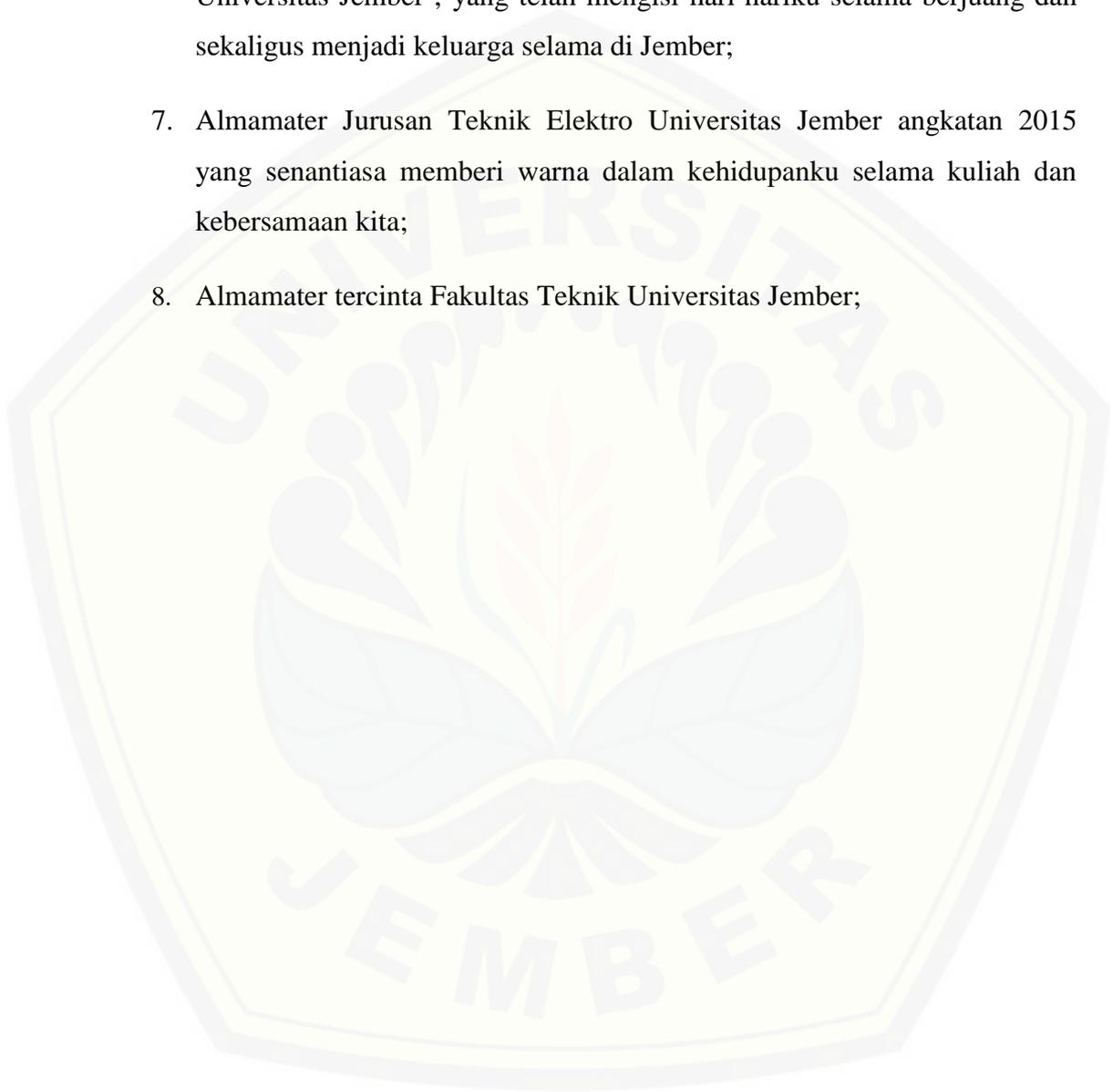
PERSEMBAHAN

Segala puji bagi Allah, Tuhan Maha Pengasih dan Maha Penyayang, serta sholawat atas kasih setia-Nya yang telah melimpahkan segala rahmat yang tak ternilai dan salam semoga terlimpah kepada makhluk-Mu yang paling mulia, Nabi Muhammad S.A.W. dengan segenap kerendahan hati saya persembahkan secuil kebahagiaan dalam perjalanan menyelesaikan penelitian ini teriring dengan rasa terima kasih kepada.

1. Kedua Orang tua, Ibu Aspuah Diyanti (Almh) dan Ayah Achmad Baharuddin (Alm), yang senantiasa telah yang telah membesarkan, mendidik, mendoakan tiada henti, memberi motivasi semangat, menitikkan air mata dan memberi kasih sayang yang tak pernah habis pengorbanannya selama ini;
2. Kakak, Abdul Latif Hodiri S.Pd, beserta istri Dita Agustin Damayanti yang telah berkenan menjadi orang tuaku selama ini dan tak hentinya selalu memberi nasehat dan dukungan moral maupun materi hingga skripsi ini selesai;
3. Bapak Suprihadi Prasetyono S.T., M.T., dan Bapak Dr. Bambang Sri Kaloko S.T., M.T. selaku pembimbing skripsi, yang dengan sabar telah memberikan motivasi, ilmu dan bimbingan selama menyelesaikan skripsi ini;
4. Guru-guru sejak taman kanak-kanak hingga perguruan tinggi dan seluruh Dosen Fakultas Teknik Elektro yang telah membimbing mulai tahun 2015 yang telah memberikan ilmu yang bermanfaat hingga saat ini sampai sekarang;
5. *Fantastic Four* (Moch. Atok Rohman, Iqbal Oxy Ardiansyah, Arifatul Jannah) saudara makan seompreng angkatan 66 Resimen Mahasiswa, yang telah bersedia menjadi keluarga dan sahabat yang selalu menemani dalam

menyelesaikan masalah dan memberikan semangat dalam penulisan skripsi ini

6. Seluruh rekan-rekan dan senior di Satuan Resimen Mahasiswa 807 Universitas Jember , yang telah mengisi hari-hariku selama berjuang dan sekaligus menjadi keluarga selama di Jember;
7. Almamater Jurusan Teknik Elektro Universitas Jember angkatan 2015 yang senantiasa memberi warna dalam kehidupanku selama kuliah dan kebersamaan kita;
8. Almamater tercinta Fakultas Teknik Universitas Jember;



MOTTO

“Semua orang merasakan hal yang sama, yang membedakan adalah pilihanmu mau bangkit atau hanya pasrah dengan keadaan. Jangan pernah merasa dirimu yang paling sengsara, namun bersyukurlah dan yakini Tuhan bersama kita”

(Mohammad Syaiful Bahri)

“Beda antara bisa dan tidak bisa hanyalah lima huruf. Lima huruf itulah yang akan menentukan arah hidup kita”

(Remez Sasson)

“Dipaksa, Terpaksa, Terbiasa”

(Slogan TNI)

PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Mohammad Syaiful Bahri

NIM : 15191020151

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa karya ilmiah yang berjudul: **“Optimasi Koordinasi Sistem Proteksi Rele Arus Lebih Pada PT. Yeoh Tiong Lay (YTL) Jawa Timur Menggunakan Metode *Neural Network*”** adalah benar-benar karya sendiri, kecuali jika dalam pengutipan substansi disebutkan sumbernya dan belum pernah diajukan pada institusi mana pun, serta bukan karya jiplakan. 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 mana pun serta bersedia mendapat sanksi akademik jika ternyata dikemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, 13 September 2019

Yang menyatakan

Mohammad Syaiful Bahri
NIM 151910201051

SKRIPSI

**OPTIMASI KOORDINASI PROTEKSI RELE ARUS LEBIH PADA PT.
YEON TIONG LAY (YTL) JAWA TIMUR MENGGUNAKAN METODE
*NEURAL NETWORK***

Oleh

Mohammad Syaiful Bahri

NIM 151910201051

Pembimbing

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

Dosen Pembimbing Anggota : Dr. Bambang Sri Kaloko, S.T.,M.T.

PENGESAHAN

Skripsi berjudul “Optimasi Koordinasi Proteksi Rele Arus Lebih Pada Pt. Yeoh Tiong Lay (YTL) Jawa Timur Menggunakan Metode *Neural Network*” karya Mohammad Syaiful Bahri telah diuji dan disahkan pada:

Hari : Jumat
Tanggal : 13 September 2019
Tempat : Fakultas Teknik Universitas Jember

Tim Penguji,

Pembimbing Utama,

Pembimbing Anggota,



Supriyadi Prasetyono, ST., MT.
NIP 197106141997021001



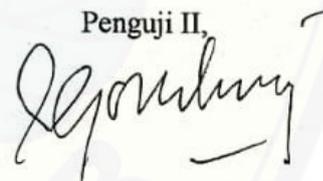
Dr. Bambang Sri Kaloko, ST., MT.
NIP 197104022003121001

Penguji I,



H. Samsul Bachri M, S.T., M.T.
NIP 19690608199903002

Penguji II,



H.R.B. Moch. Ghozali, ST., MT.
NIP 19690608199903002

Mengesahkan
Dekan Fakultas Teknik



Dr. Ir. Entin Hidayah, M.U.M.
NIP 196612151995032001

RINGKASAN

Optimasi Koordinasi Sistem Proteksi Rele Arus Lebih Pada PT. Yeoh Tiong Lay (YTL) Jawa Timur Menggunakan Metode *Neural Network*; Mohammad Syaiful Bahri, 151910201051; 2019; 69 halaman; Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Jember

PT. Yeoh Tiong Lay (YTL) Jawa Timur merupakan perusahaan swasta yang bergerak dalam bidang pengoperasian dan perawatan PLTU untuk unit 5 dan 6, memproduksi listrik rata-rata 8.943.084 MW/tahun untuk menyuplai kebutuhan listrik di Jawa dan Bali. Sehingga ancaman gangguan listrik terhadap peralatan listrik akan mempengaruhi kinerja dari unit lainnya, dan diperlukan sebuah sistem proteksi untuk mencegah terjadinya kerusakan akibat gangguan sedini mungkin. Sistem proteksi berfungsi sebagai “sensor gangguan” yang memantau operasi dari sebuah sistem yang tidak normal. Koordinasi proteksi sangat penting untuk menjamin keandalan sistem proteksi dalam mengantisipasi gangguan. Pengkoordinasian *relay* bertujuan supaya *relay* dapat bekerja sesuai dengan fungsinya. Terdapat pula *relay backup* yang letaknya dekat dengan *relay* utama untuk meningkatkan keandalan. *Relay backup* bekerja dengan memiliki waktu tunda. Agar *relay* utama dan *rele backup* tidak bekerja secara bersamaan apabila terjadi gangguan. Waktu tunda yang dimaksud adalah *Coordination Time Interval* dimana menurut standar IEEE 242 - 2001, CTI antar *relay* adalah 0,2 – 0,4 detik. Pada penelitian ini membahas optimasi koordinasi *Over Current Relay* untuk mengatasi gangguan hubung singkat tersebut dengan metode yang digunakan adalah *Neural Network*. Dengan menjadikan nilai I_p (arus *Pick up*) dan T_d (*Time Dial*) sebagai target data yang dioptimasi, kemudian nilai TMS, Iset, dan I_{sc} (Arus *short circuit*) digunakan sebagai input data dalam proses optimisasi. Seluruh data didapat dengan melakukan analisa perhitungan secara konvensional, kemudian di analisa kembali menggunakan algoritma *neural network* untuk mendapatkan nilai yang optimal. Dengan metode ini diharapkan dapat menggantikan metode konvensional dalam menentukan waktu operasi dari *relay* OCR yang lebih optimal dari rele yang berdekatan yang menggunakan *single line* dari PT. Yeoh Tiong Lay Jawa Timur.

SUMMARY

Optimization Coordination Overcurrent Relay in PT. Yeoh Tiong Lay (YTL) Eastern Java Using Neural Network Method; Mohammad Syaiful Bahri, 151910201051; 2019; 69 pages; Department of Electrical Engineering Faculty of Engineering University of Jember

PT . Yeoh Tiong Lay (YTL) Eastern Java is a private company leading on maintenance and operation of Steam Powered Electric Generator for unit 5 and 6, producing electricity about 8.943.084 MW/Year to supply electricity needs in Java and Bali. Thus, threat of electrical interruption to electric devices could influence performance of other units and it needs a protective system to prevent such damage as early as possible. This protective functions as “disturbance sensor” to monitor the operation of an abnormal system. This protective coordination is important to guarantee the system reliability in anticipating disturbance. This relay coordination aims to make it work as its function. There is also a backup relay which is located close to main relay to increase the performance. Relay backup works by delaying. To make those relays do not simultaneously work when a disturbance occurred, the delay – coordination time interval, according to the standard of IEEE 242 – 2001 – the CTI between the relays is 0.2 – 0.4 second. This research discusses optimization coordination Over Current Relay to handle short circuit electric current by using Neural Network. By making the I_p value (Pick up current) and T_d (Time Dial) as the optimized target data. Then, the value of TMS, I_{set} , and I_{sc} (short circuit current) is used as input data in the process. All data were gained by analysing conventionally then was rechecked by using neural network algorithm to get optimal value. The method is expected to replace the conventional method in determining operation time from Relay OCR which was more optimal than the close relay by using single line from PT. Yeoh Lay Eastern Java.

PRAKATA

Puji syukur kehadirat Allah SWT atas segala Rahmat dan Hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Karya Tulis Ilmiah yang berupa Laporan Skripsi ini dengan judul “Optimasi Koordinasi Proteksi Rele Arus Lebih Pada Pt. Yeoh Tiong Lay (Ytl) Jawa Timur Menggunakan Metode *Neural Network*”. Berbekal kemampuan dan pengetahuan, penulis berusaha menyelesaikan laporan akhir ini semaksimal mungkin guna memenuhi salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik (S.T.) pada program Strata 1 Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik.

Penulisan Laporan Skripsi ini dapat terselesaikan berkat bantuan, bimbingan, saran dan petunjuk dari semua pihak secara langsung maupun tidak langsung. Penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada :

1. Allah SWT, Tuhan seluruh alam semesta, dan Nabi Muhammad SAW, utusan Allah SWT untuk panutan seluruh umat manusia;
2. Ibu Dr. Ir. Entin Hidayah, M.U.M., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Jember;
3. Bapak Bapak Suprihadi Prasetyono S.T., M.T., selaku dosen pembimbing skripsi dan Dr. Bambang Sri Kaloko S.T., M.T. selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro Universitas Jember dan dosen pembimbing skripsi yang telah membimbing menyelesaikan skripsi ini;
4. Bapak H. Samsul Bachri M, S.T., M.T. dan bapak H.R.B. Moch. Ghozali, ST., MT., selaku dosen penguji yang telah memberikan saran untuk perbaikan skripsi ini;
5. Kedua orang tua, Ibu Aspuah Diyanti (Almh) dan Ayah Achmad Baharuddin (Alm), yang senantiasa telah berjuang senantiasa berdo'a untuk kesuksesanku,
6. Kakak, Abdul Latif Hodiri S.Pd, beserta istri Dita Agustin Damayanti yang selalu memberi nasehat dan dukungan hingga skripsi ini selesai;
7. Keluarga besar Resimen Mahasiswa (MENWA) Satuan 807 Universitas jember;

8. Terimakasih juga kepada rekan-rekan seperjuangan Teknik Elektro Universitas Jember angkatan 2015 yang selalu memberi semangat;
9. Serta semua orang yang tidak dapat disebutkan satu persatu, yang telah mendukung dalam penyelesaian skripsi ini.

Semoga skripsi ini dapat bermanfaat dalam mengembangkan ilmu pengetahuan, khususnya untuk disiplin ilmu teknik elektro. Kritik dan saran yang membangun diharapkan terus mengalir untuk lebih menyempurnakan skripsi ini dan dapat dikembangkan untuk penelitian selanjutnya.

Jember, 13 September 2019

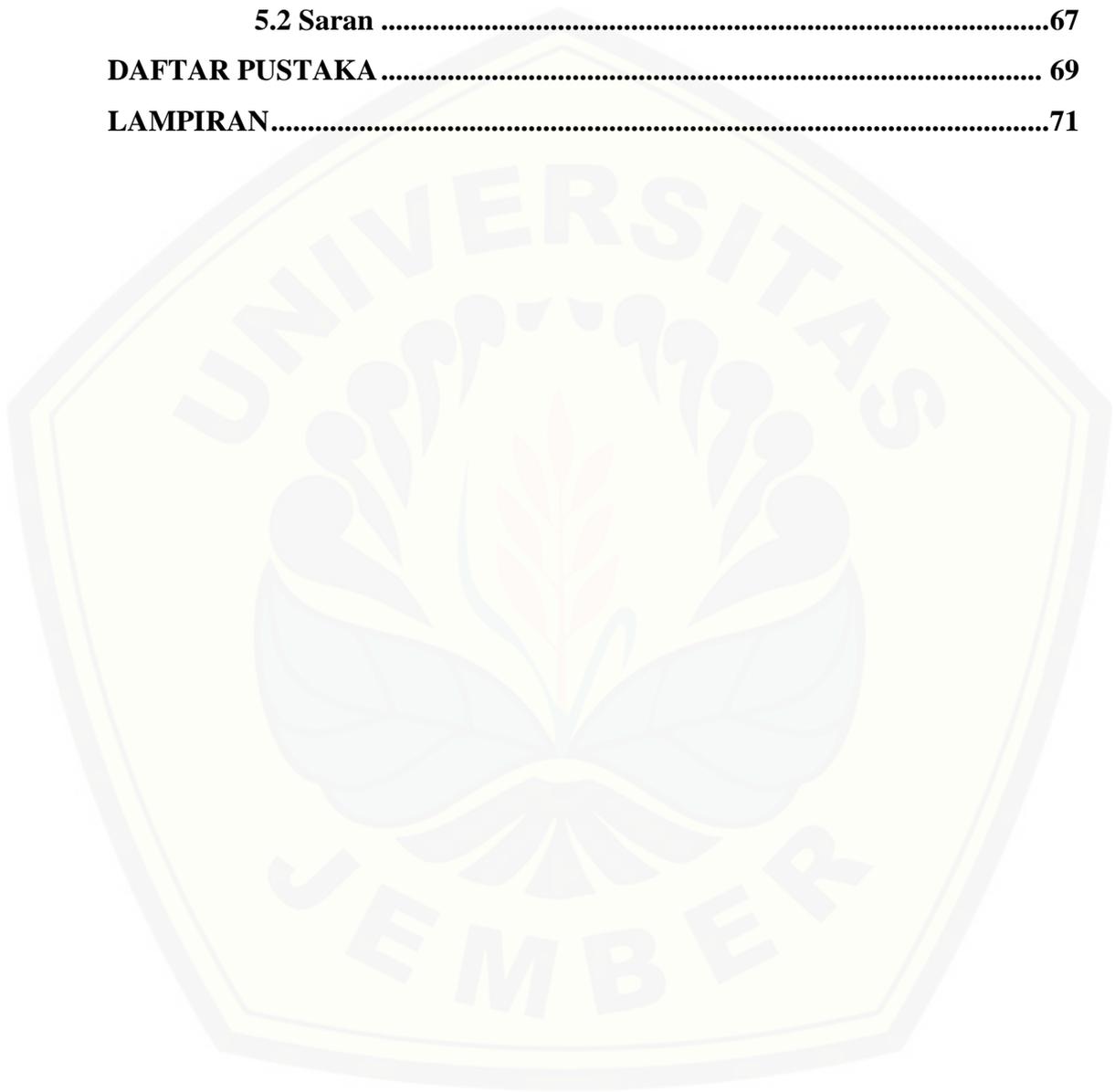
Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	ii
HALAMAN PERSEMBAHAN	iii
HALAMAN MOTTO	v
HALAMAN PERYATAAN	vi
HALAMAN PEMBIMBING	vii
HALAMAN PENGESAHAN	viii
RINGKASAN	ix
PRAKATA	xi
DAFTAR ISI	xiii
DAFTAR TABEL	xvi
DAFTAR GAMBAR	xvii
DAFTAR LAMPIRAN	xix
BAB 1. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang Masalah	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan Penelitian	3
1.5 Manfaat Penelitian	4
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Rele sebagai Sistem Proteksi	5
2.1.1 Pengertian Rele	5
2.1.2 Syarat Rele Proteksi	6
2.1.3 Fungsi Rele Proteksi	8
2.2 Rele Arus Lebih	9
2.2.1 Pengertian Rele Arus Lebih	9
2.2.2 Jenis Rele Arus Lebih	9
2.3 Perhitungan Setting Rele Arus Lebih	11

2.3.1	Setting Arus	11
2.3.2	Setting Waktu Rele Arus Lebih	13
2.4	Gangguan Hubung Singkat.....	14
2.4.1	Pengertian Gangguan Hubung Singkat	14
2.4.2	Jenis dan Metode Perhitungan Gangguan Hubung Singkat.....	15
2.5	Neural Network	17
2.5.1	Komponen <i>Neural Network</i>	20
2.5.2	Arsitektur <i>Neural Network</i>	22
BAB 3.	METODOLOGI PENELITIAN	23
3.1	Prosedur Penelitian.....	23
3.2	Diagram Alir Penelitian.....	25
3.3	Perencanaan Penelitian	26
3.4	Perencanaan Koordinasi	28
3.5	Perhitungan Arus Beban Penuh dan Arus Hubung Singkat ..	29
3.6	Perancangan Optimasi Menggunakan <i>Neural Network</i>	29
3.6.1	Diagram Alir Optimasi Menggunakan <i>Neural Network</i>	29
BAB 4.	HASIL DAN PEMBAHASAN	33
4.1	Pemodelan Sistem dan Pemilihan Tipikal Koordinasi	33
4.2	Perhitungan Arus Beban Penuh	36
4.3	Perhitungan Gangguan Hubung Singkat	37
4.4	Perhitungan Setting Rele dan Rekomendasi Rele.....	40
4.4.1	Koordinasi Rele pada Tipikal 1.....	40
4.4.2	Koordinasi Rele pada Tipikal 2.....	43
4.4.3	Koordinasi Rele pada Tipikal 3.....	47
4.5	Perhitungan setting Menggunakan <i>Neural Network</i>.....	51
4.5.1	Proses Input Data	52
4.5.2	Proses Training dan Testing.....	53
4.6	Hasil Optimasi Menggunakan <i>Neural Network</i>.....	58
4.7	Hasil Analisa Koordinasi Menggunakan <i>Neural Network</i>	60
4.7.1	Hasil Koordinasi Tipikal 1	60

4.7.2 Hasil Koordinasi Tipikal 2	62
4.7.3 Hasil Koordinasi Tipikal 3	64
BAB 5. PENUTUP	67
5.1 Kesimpulan	67
5.2 Saran	67
DAFTAR PUSTAKA	69
LAMPIRAN.....	71



DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1 Koefisien <i>inverse</i> menurut standar IEC	13
Tabel 4.1 Spesifikasi Transformator <i>Station Service</i>	35
Tabel 4.2 Data Spesifikasi Rele	35
Tabel 4.3 Rangkuman Hasil Perhitungan FLA Konvensional.....	36
Tabel 4.4 Rangkuman Hasil Arus Beban Maksimum.....	37
Tabel 4.5 Rangkuman Hasil Simulasi Arus Hubung Singkat Setiap Bus.....	38
Tabel 4.6 Arus Hubung Singkat Yang Melewatai Rele.....	39
Tabel 4.7 Rangkuman Hasil Perhitungan Manual Tipikal 1.....	43
Tabel 4.8 Rangkuman Hasil Perhitungan Manual Tipikal 2.....	46
Tabel 4.9 Rangkuman Hasil Perhitungan Manual Tipikal 3.....	51
Tabel 4.10 Tabel Input dan Target.....	52
Tabel 4.11 Nilai MSE Dari Neuron yang Diuji	54
Tabel 4.12 Hasil <i>Output</i> Dengan Optimasi NN Dan Perhitungan Konvensional .	58
Tabel 4.13 Perbandingan Hasil Perhitungan Konvensional dengan Algoritma NN Pada Tipikal Koordinasi 1.....	60
Tabel 4.14 Perbandingan Hasil Perhitungan Konvensional dengan Algoritma NN Pada Tipikal Koordinasi 2.....	62
Tabel 4.15 Perbandingan Hasil Perhitungan Konvensional dengan Algoritma NN Pada Tipikal Koordinasi 3.....	64

DAFTAR GAMBAR

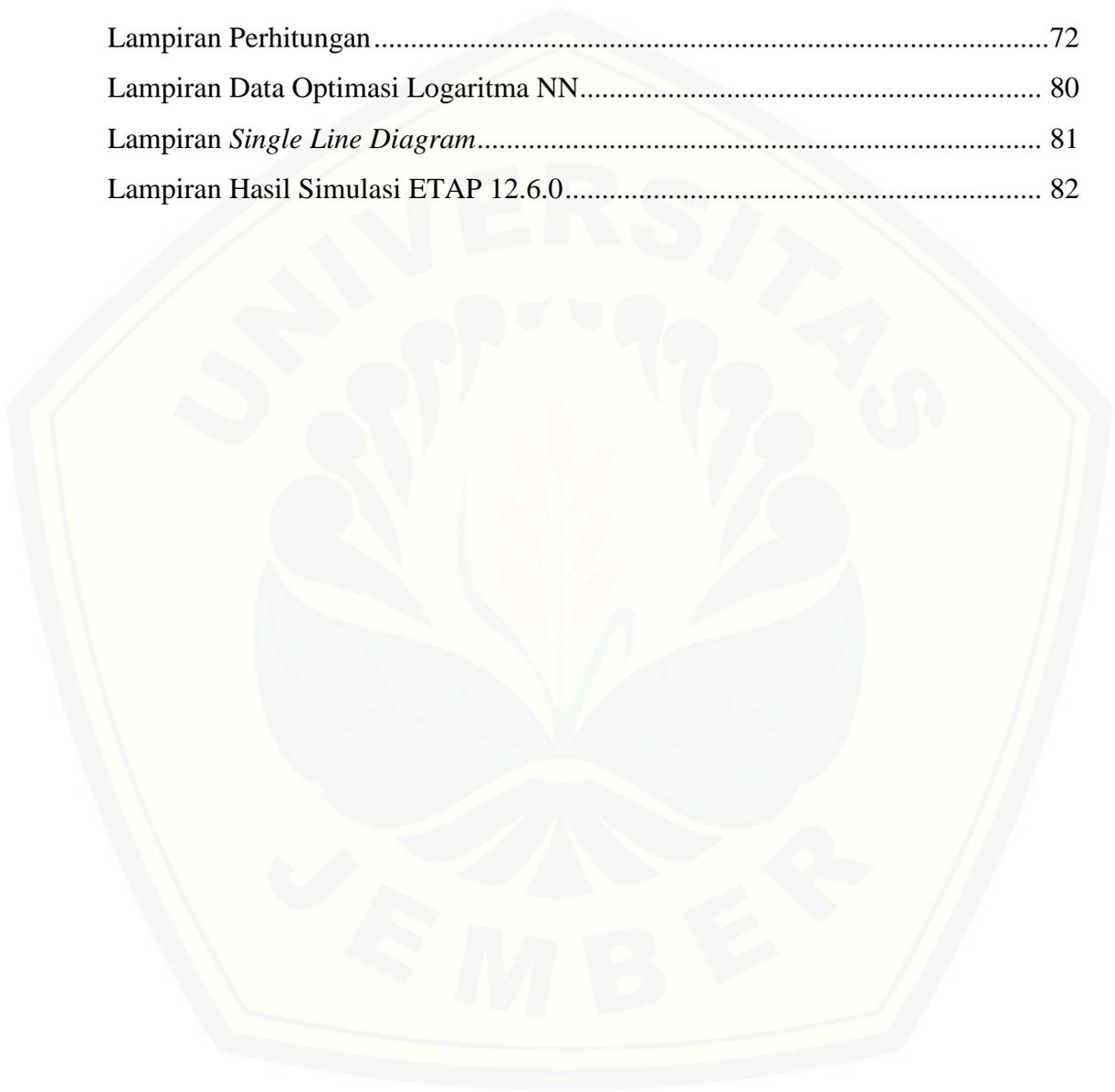
	Halaman
Gambar 2.1 Kurva Waktu Terhadap Arus Lebih Seketika (<i>Instantaneous</i>)	10
Gambar 2.2 Kurva Waktu Terhadap Arus Lebih Waktu Tertentu	10
Gambar 2.3 Kurva Waktu Terhadap Arus Lebih Kebalikan (<i>Inverse Time</i>)	11
Gambar 2.4 Rangkaian Pengganti Hubung Singkat 1 Fasa ke Tanah.....	15
Gambar 2.5 Rangkaian Pengganti Hubung Singkat dua Fasa ke Tanah.....	16
Gambar 2.6 Rangkaian Pengganti Hubung Singkat tiga Fasa	17
Gambar 2.7 Struktur <i>Neural Network</i>	21
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian	25
Gambar 3.2 Sistem Kelistrikan <i>Station Service</i> PT. YTL Jawa Timur.....	27
Gambar 3.3 Tipikal Koordinasi <i>Single Line Diagram</i> PT. YTL Jawa Timur.....	28
Gambar 3.4 Diagram Alir Optimasi dengan <i>Neural Network</i>	30
Gambar 3.5 struktur pelatihan <i>Neural Network</i> pada Matlab 2015a	32
Gambar 4.1 <i>Single Line Diagram</i> PT. YTL Jawa Timur.....	34
Gambar 4.2 Contoh Arsitektur <i>Neural Network</i>	52
Gambar 4.3 Variabel <i>Input</i>	53
Gambar 4.4 Variabel <i>Output</i>	53
Gambar 4.5 Nilai dari Neuron dan MSE.....	55
Gambar 4.6 <i>Plot Performance</i> dengan jumlah <i>neuron</i> 8	55
Gambar 4.7 <i>plot Regression State</i> dengan jumlah <i>neuron</i> 8.....	56
Gambar 4.8 Output Optimasi <i>Neural Network</i>	57
Gambar 4.9 Grafik perbandingan I_p konvensional dan I_p NN	59
Gambar 4.10 Grafik perbandingan T_d konvensional dan T_d NN.....	59
Gambar 4.11 Kurva TCC Rele Pada Tipikal Koordinasi 1.....	61
Gambar 4.12 <i>Sequence Of Operating</i> Rele C-1	61
Gambar 4.13 <i>Sequence Of Operating</i> Rele C-2.....	62
Gambar 4.14 Kurva TCC Rele Pada Tipikal Koordinasi 2.....	63
Gambar 4.15 <i>Sequence Of Operating</i> Rele D-3.....	64

Gambar 4.16 <i>Sequence Of Operating</i> Rele D-4.....	64
Gambar 4.17 Kurva TCC Rele Pada Tipikal Koordinasi 3.....	65
Gambar 4.18 <i>Sequence Of Operating</i> Rele A-1.....	66
Gambar 4.19 <i>Sequence Of Operating</i> Rele A-2.....	66



DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
Lampiran Perhitungan.....	72
Lampiran Data Optimasi Logaritma NN.....	80
Lampiran <i>Single Line Diagram</i>	81
Lampiran Hasil Simulasi ETAP 12.6.0.....	82



BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kebutuhan akan listrik merupakan sebuah kebutuhan yang sangat penting bagi manusia. Listrik juga merupakan sumber energi utama pada sektor industri, Seperti pada PT. Yeoh Tiong Lay (YTL) Jawa Timur, yang merupakan perusahaan swasta yang bergerak dalam bidang pengoperasian dan perawatan PLTU untuk unit 5 dan 6 yang merupakan unit pembangkit turbo generator berbahan bakar batubara dengan kapasitas 2 x 610 MW (*full load*). Kedua unit ini beroperasi dengan *capacity factor* pertahun rata-rata sebesar 92%, memproduksi listrik rata-rata 8.943.084 MW/tahun untuk menyuplai kebutuhan listrik di Jawa dan Bali, serta menghabiskan sekitar 4,3 juta ton batubara pertahun. Untuk sebuah pembangkit, menghasilkan listrik dibutuhkan beberapa proses yang saling terkait. Sehingga ancaman gangguan terhadap peralatan listrik akan mempengaruhi kinerja dari unit lainnya. Sehingga diperlukan sebuah sistem proteksi untuk mencegah terjadinya kerusakan akibat gangguan sedini mungkin.

Salah satu contoh gangguan listrik adalah gangguan hubung singkat yang dapat terjadi tiba-tiba di setiap bagian sistem tenaga listrik. Gangguan ini membahayakan sistem, sehingga perlu segera diisolasi dengan sistem proteksi. Sistem proteksi berfungsi sebagai “sensor gangguan” yang memantau operasi dari sebuah sistem yang tidak normal, dan rele akan membuka pemutus tenaga (CB) untuk memisahkan bagian yang terganggu dengan yang normal saat terjadi gangguan baik simetris atau asimetris, sehingga pasokan listrik terputus. Sistem proteksi yang mempunyai tingkat selektifitas tinggi akan sangat diperlukan agar keandalan sistem yang bagus dapat dicapai. Dengan kecepatan dan ketepatan yang dimiliki oleh sebuah sistem pengamanan akan mampu untuk bisa mengisolasi sistem yang terganggu sesegera mungkin. Rele proteksi akan bekerja ketika terdapat arus yang mengalir melebihi nilai nominal. Berkembangnya sistem kelistrikan di bagian pembangkitan, transmisi dan distribusi membuat koordinasi rele proteksi sangat dibutuhkan agar rele bekerja sama untuk menjamin operasi sistem yang

aman dan handal, sehingga pelayanan listrik tetap berjalan dengan baik. (Chairul Makhfuz Shiddiq, 2018)

Prinsip dari sebuah rele proteksi adalah dimana sebuah rele harus bekerja pada daerahnya masing-masing atau disebut dengan zona proteksi. Agar rele proteksi tidak bekerja diluar zonanya maka sistem harus dirancang dengan baik. Koordinasi proteksi berperan sangat penting untuk menjamin keandalan sistem proteksi dalam mengantisipasi gangguan (Dani Brami Purwosetyo, 2011). Pengkoordinasian rele bertujuan supaya rele dapat bekerja sesuai dengan fungsinya. Terdapat pula rele *backup* yang letaknya dekat dengan rele utama untuk meningkatkan keandalan. Rele *backup* bekerja dengan memiliki waktu tunda. Agar rele utama dan rele *backup* tidak bekerja secara bersamaan apabila terjadi gangguan. Waktu tunda yang dimaksud adalah *Coordination Time Interval* (CTI) dimana menurut standar IEEE 242 - 2001, CTI antar rele adalah 0,2 – 0,4 detik. (Dony Zsazsa Yudhistira, 2018).

Sebelum sistem proteksi diimplementasikan, diperlukan perhitungan dan analisis agar *setting* rele dapat diketahui supaya rele dapat bekerja secara baik. Nilai *setting* pada rele yang kurang tepat bisa membuat *breaker* bekerja secara tidak terkoordinir dengan baik, sehingga penyaluran dan keandalan sistem kelistrikan dapat mengalami gangguan dan kemungkinan terburuknya sistem bisa mengalami pemadaman listrik. Untuk menyelesaikan permasalahan koordinasi rele arus lebih, berbagai metode dan teknik yang telah dilakukan diklasifikasikan menjadi tiga jenis, yaitu teknik *Curve Fitting*, teknik teori *Graph* dan teknik optimalisasi. Teknik optimalisasi dibedakan menjadi tiga jenis yaitu teknik optimalisasi konvensional, teknik optimalisasi *Interior Point* dan teknik optimalisasi menggunakan *Artificial Intelligence*. (Dinesh Birla, 2005).

Pada penelitian ini rele yang digunakan untuk mengatasi gangguan hubung singkat tersebut adalah rele arus lebih (*Over Current Relay*) dan metode yang digunakan adalah *Neural Network*. Dengan metode ini kita dapat menggantikan metode konvensional dalam menentukan waktu operasi dari rele arus lebih yang lebih optimal dari rele yang berdekatan yang menggunakan *single line* dari PT. Yeoh Tiong Lay Jawa Timur. Dengan adanya penelitian ini diharapkan sistem

proteksi bisa handal dan bekerja optimal serta dimungkinkan dapat memperbaiki kinerja pengamanan.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, berikut ini adalah beberapa masalah yang akan diselesaikan dalam penelitian ini yaitu:

- a. Bagaimana menentukan koordinasi setting rele arus lebih yang tepat dengan perhitungan konvensional dan menggunakan metode *Neural Network* ?
- b. Bagaimana hasil dan tingkat performansi dari simulasi koordinasi rele arus lebih dengan membandingkan hasil perhitungan setting konvensional dan *Neural Network* ?

1.3 Batasan Masalah

Berdasarkan rumusan masalah penelitian diatas, agar pembahasan tidak terlalu luas maka diperlukan suatu pembatasan masalah sebagai berikut.

- a. Pembahasan hanya di *Station Service* 150 kV PT. YTL Jawa Timur.
- b. Metode digunakan adalah *Neural Network*.
- c. Optimasi koordinasi proteksi menggunakan jaringan layar jamak (*multi layer network*)
- d. Pada pembahasan rele yang digunakan adalah rele arus lebih (OCR).
- e. Pembahasan hanya rele yang masuk dalam zona tipikal kordinasi.
- f. Analisa gangguan yang dibahas adalah gangguan hubung singkat 3fasa.
- g. Tidak membahas aspek ekonomis

1.4 Tujuan Penelitian

Penelitian yang diusulkan dalam proposal ini memiliki beberapa tujuan sebagai berikut.

- a. Mendapatkan setting relai arus lebih yang tepat dengan menggunakan metode *Neural Network* guna keandalan sistem proteksi yang handal dan bekerja optimal.

- b. Membandingkan hasil performansi dari hasil simulasi koordinasi rele proteksi dari hasil perhitungan konvensional dan hasil setting menggunakan *Neural Network*.

1.5 Manfaat Penelitian

Dengan adanya penelitian koordinasi rele arus lebih sebagai pengaman trafo daya PT. YTL Jawa Timur diharapkan:

- a. Mampu meningkatkan stabilitas tegangan yang akan ditransmisikan ke PLN dan meningkatkan keandalan dari koordinasi sistem proteksi rele arus lebih dengan menggunakan metode *Neural Network*
- b. Penyusun mendapatkan ilmu pengalaman tentang permasalahan yang akan dihadapi dalam dunia kerja, khususnya bidang proteksi.

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

Tinjauan pustaka ini, dibuat sebagai bahan dasar acuan penulis untuk melakukan sebuah penelitian tugas akhir yang berjudul “ Optimasi Koordinasi Proteksi Rele Arus Lebih Pada PT. Yeoh Tiong Lay (YTL) Jawa Timur Menggunakan Metode *Neural Network*”. Selain itu bertujuan untuk mengembangkan ilmu pengetahuan, sehingga dalam melakukan penelitian yang didapatkan dapat berkembang.

2.1 Rele sebagai Sistem Proteksi

2.1.1 Pengertian Rele

Rele merupakan peralatan yang terdiri dari kontak-kontak yang mampu menutup rangkaian alarm/rangkaian gulungan kerja ketika mendapat isyarat tertentu dari rangkaian lain. Rele dapat mendeteksi kondisi abnormal yang mungkin terjadi pada sistem dengan mengukur besaran listrik yang berbeda pada keadaan normal dan keadaan gangguan, besaran tersebut yang nantinya akan menjadi batasan apakah sistem tersebut terjadi gangguan atau tidak.

Rele proteksi diperlukan hampir di semua bagian sistem tenaga listrik, dan tidak ada bagian pada sistem tenaga listrik yang luput dari proteksi. Umumnya, gangguan pada sistem tenaga listrik tidak bisa dihilangkan, karena ada beberapa faktor penyebab seperti: kondisi instalasi atau peralatan yang buruk, kondisi alam (hujan, petir, angin yang menyebabkan pohon tumbang) dan lainnya. Namun, dengan kualitas peralatan yang baik, penempatan atau jenis proteksi yang baik dan tepat, diharapkan proses pemutusan-pemutusan penyaluran energi listrik dapat diperkecil dengan cara melokalisir gangguan supaya tidak menyebar.

Demikian pada transformator, mengingat sangat vitalnya peran transformator pada sistem tenaga listrik sebelum energy listrik disalurkan, maka macam dan penyebab gangguan yang terjadi juga cukup banyak. Oleh karena itu, sistem proteksi rele pada prinsipnya harus mampu bekerja dengan cepat dan tepat, sehingga gangguan dapat dihilangkan secepat mungkin, agar tidak terjadi kemungkinan masalah yang lebih luas pada peralatan dan sistem tenaga listrik.

2.1.2 Syarat Rele Proteksi

Tujuan utama dari sistem proteksi adalah mendeteksi keadaan abnormal (gangguan) dan mengisolir peralatan yang mengalami gangguan. Rele proteksi merupakan peralatan yang sangat penting guna kelangsungan beroperasinya tenaga listrik. Untuk menjamin keandalan dari sebuah sistem tenaga listrik, rele proteksi harus mampu memenuhi persyaratan-persyaratan kualitas, karena persyaratan ini sangat penting. Diantaranya:

1. Kecepatan

Rele proteksi harus mampu melepaskan bagian yang mengalami gangguan secepat mungkin. Kecepatan kerja rele ini diperlukan supaya :

- Menjaga kestabilan sistem;
- Mengurangi bagian-bagian peralatan yang rusak supaya tidak meluas;
- Mengurangi kemungkinan berkembangnya gangguan yang lebih besar;
- Memungkinkan kecepatan penutupan kembali dari Pemutus Tenaga (*Circuit Breaker*)

Selang waktu yang dibutuhkan ketika suatu bagian yang terganggu dapat dipisahkan dari sistem adalah jumlah dari waktu operasi dari rele proteksi (ketika saat terjadi gangguan hingga kontak penggerak pada *circuit breaker* bekerja) ditambah dengan waktu pemutusan dari *circuit breaker*.

2. Selektivitas

Merupakan kemampuan rele proteksi untuk menentukan gangguan terjadi dan memilih pemutus tenaga (*circuit breaker*) terdekat mana yang akan bekerja membebaskan sistem yang dari gangguan dengan kerusakan minimum. Sistem dibagi menjadi beberapa bagian yang akan melindungi dari gangguan, dan rele harus bekerja ketika dalam kondisi tidak normal saja, sehingga proteksi harus dapat memisahkan bagian sistem yang terganggu sekecil mungkin yaitu hanya pada peralatan yang

terganggu saja yang termasuk dalam kawasan pengamanan utamanya. Sistem rele harus mampu membedakan antara kondisi normal dan kondisi abnormal.

Jadi relay harus dapat membedakan apakah gangguan utamanya di mana ia harus bekerja cepat, jika gangguan terletak di sisi berikutnya di mana dia harus bekerja dengan waktu tunda (sebagai pengamanan cadangan) atau menahan diri untuk tidak trip. Jika gangguannya berada di luar daerah pengamanannya, dia juga tidak harus bekerja sama sekali. Untuk itu dibuat rele dengan bermacam jenis dan karakteristiknya. Dengan pemilihan jenis dan karakteristik yang tepat, spesifikasi trafo yang benar, serta penentuan *setting* rele yang terkoordinir dengan baik, selektifitas yang baik akan diperoleh.

3. Sensitivitas

Adalah kemampuan rele proteksi bekerja dengan baik sesuai dengan karakteristiknya dengan penyimpangan sekecil mungkin. Pada prinsipnya rele harus cukup peka sehingga dapat mendeteksi gangguan di kawasan pengamanannya. Sistem proteksi yang peka lebih rumit dan perlu banyak peralatan serta rangkaian, sehingga biasanya digunakan sistem proteksi yang sederhana yang tingkat sensitivitasnya rendah.

Sensitivitas sebuah sistem proteksi dapat dinyatakan dengan antara perbandingan arus gangguan minimum dengan arus minimum yang membuat rele bekerja.

4. Keandalan

Artinya sistem proteksi setiap saat harus dapat berfungsi dengan baik pada setiap kondisi gangguan yang telah direncanakan untuk rele tersebut. Keandalan sebuah rele proteksi dapat dihitung dengan jumlah kerja rele berbanding jumlah gangguan yang terjadi. Prosentase keandalan rele dapat dikatakan andal adalah sekitar 90-99%. Kualitas peralatan dan ketepatan cara pemasangan sangat mempengaruhi

keandalan sebuah rele proteksi. Ada 3 aspek yang sangat penting dalam keandalan sebuah sistem proteksi:

- 1) *Dependability* (kepastian bekerjanya), artinya sebuah rele proteksi tidak boleh gagal dalam bekerja mendeteksi, dan melepaskan bagian yang terganggu.
- 2) *Security* (kepastian tidak salah kerja), artinya sebuah rele proteksi tidak boleh bekerja diluar dari wilayah pengamanannya dan diluar waktu yang seharusnya dia bekerja.
- 3) *Availability*, artinya perbandingan antara waktu dimana pengaman dalam keadaan berfungsi/siap kerja dan waktu total dalam operasinya.

5. Kesederhanaan

Artinya faktor-faktor yang mempengaruhi keandalan sistem harus dipenuhi diantaranya, memiliki kualitas bahan yang bagus, ketelitian dalam perencanaan, kemudahan dalam pemasangan dan pemeliharaan.

2.1.3 Fungsi Rele Proteksi

Rele proteksi memiliki peranan dan fungsi diantaranya adalah mencegah kerusakan sistem tenaga listrik, dan membatasi kerusakannya serta mencegah supaya gangguan tersebut tidak meluas. Secara khusus rele proteksi berperan :

- 1) Membrikan sinyal alarm untuk memerintahkan trip pada PMT dengan tujuan mengisolir gangguan atau keadaan abnormal lainnya seperti hubung singkat, *overload*, perubahan frekuensi atau kondisi abnormal lainnya.
- 2) Melepaskan peralatan yang tidak normal dengan cepat untuk mencegah kerusakan yang lebih besar dan menjaga kestabilan sistem, kontinuitas pelayanan dan kerja sistem.

2.2 Rele Arus Lebih

2.2.1 Pengertian Rele Arus Lebih

Rele Arus Lebih (*Over Current Relay*) merupakan rele proteksi prinsip kerjanya berdasarkan besarnya arus masukan. Rele Arus Lebih akan bekerja ketika terjadi peningkatan arus yang melebihi suatu nilai pengaman tertentu dan dalam jangka waktu tertentu. Rele Arus Lebih akan bekerja bila besarnya arus yang mengalir ke rangkaian rele sama atau lebih besar dari nilai *seting* arus kerja (I_p) yang dinyatakan oleh gulungan sekunder dari trafo arus (CT). Rele akan bekerja bila suatu gangguan terjadi di dalam daerah perlindungan rele, besarnya arus gangguan (I_f) juga dinyatakan oleh gulungan sekunder trafo arus (CT). Rele akan bekerja apabila memenuhi keadaan :

1. Jika $I_f > I_p$, maka rele akan bekerja (*trip*).
2. Jika $I_f < I_p$, maka rele tidak akan bekerja (*block*).

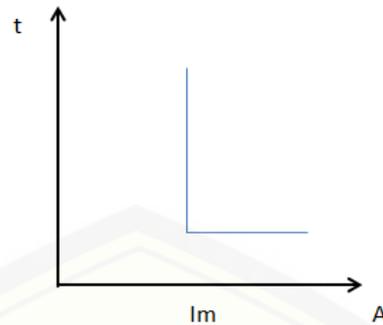
Pada sebuah transformator tenaga, rele arus lebih hanya berfungsi sebagai pengaman cadangan (*back-up protection*) dan dipasang pada tegangan tinggi dan menengah saja, serta pada sisi tegangan tinggi dan menengah sekaligus. Rele arus lebih juga digunakan untuk proteksi terhadap gangguan hubung singkat antar fasa dan hubung singkat fasa ke tanah.

2.2.2 Jenis Rele Arus Lebih

Rele Arus Lebih memiliki beberapa jenis dan klasifikasi. Jika dilihat dari karakteristik waktunya rele dibedakan menjadi :

1. Rele Arus Lebih Seketika (*Instantaneous*)

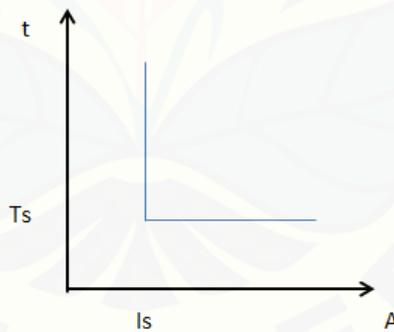
Rele Arus Lebih ini tidak memiliki waktu tunda, artinya jangka waktu kerjanya ketika mulai merasakan arus gangguan (*pick up*) sampai selesainya kerja rele sangat singkat tanpa ada waktu penundaan. Rele ini sangat berguna untuk digunakan pada saluran panjang atau pada sebuah trafo daya yang disuplai oleh suatu pembangkitan yang besar.



Gambar 2.1 Kurva Waktu Terhadap Arus Lebih Seketika (*Instantaneous*)

2. Rele Arus Lebih Waktu Tertentu (*Definite Time*)

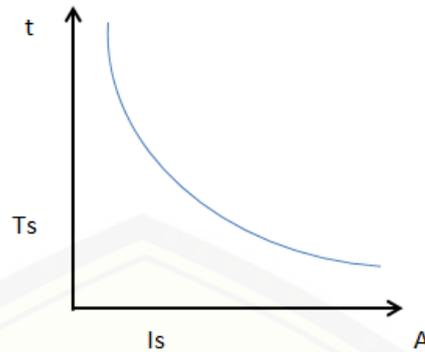
Rele Arus Lebih ini memiliki waktu tunda yang tetap dan tidak bergantung pada besarnya arus gangguan. Artinya, jangka waktu mulai merasakan arus gangguan (*pick up*) sampai rele selesai kerja dapat diperpanjang dengan nilai tertentu dan tidak tergantung dari besarnya arus gangguan. Rele seperti ini berguna untuk dipakai pada sistem tenaga listrik yang mempunyai variasi gangguan.



Gambar 2.2 Kurva Waktu Terhadap Arus Lebih Waktu Tertentu (*Definite Time*)

3. Rele Arus Lebih Kebalikan (*Invers Time*)

Rele ini memiliki karakteristik waktu tunda yang bergantung pada besarnya arus gangguan, artinya semakin besar nilai arus gangguan maka waktu kerja rele untuk *trip* akan semakin cepat. Arus gangguan berbanding terbalik dengan waktu kerja rele.



Gambar 2.3 Kurva Waktu Terhadap Arus Lebih Kebalikan (*Invers Time*)

4. Rele Arus Lebih IDMT

Rele ini adalah kombinasi karakteristik antara rele arus lebih waktu terbalik (*inverse time*) dan rele arus lebih waktu tertentu (*definite time*). Rele ini memiliki karakteristik kerja waktu yang berbanding terbalik untuk arus gangguan yang kecil setelah kondisi *pick-up* (*Iset*) dan berubah menjadi waktu tertentu untuk nilai arus gangguan besar.

2.3 Perhitungan Setting Rele Arus Lebih

2.3.1 Setting Arus dan Waktu

Setting arus untuk rele arus lebih mempunyai batasan untuk besarnya arus yaitu batasan minimum dan batasan maksimum. Untuk menentukan besarnya arus *setting* sisi primer (*Iset*) untuk rele arus lebih menggunakan kaidah *British Standard BS 142*:

$$FLA = \frac{VA}{\sqrt{3}x VU} \dots\dots\dots (2.1)$$

$$1,05 FLA < Iset < 1,4 FLA \dots\dots\dots (2.2)$$

Dimana :

Iset = Besar arus primer (A)

VA = Daya pada beban/Trafo (VA)

FLA = Arus beban penuh (A)

V_{ll} = Tegangan yang mengalir ke beban (*line to line*)

Dari kaidah diatas terlihat bahwa besar arus *setting* sisi primer rele (Iset) harus lebih besar dari 1,05 arus beban penuh (FLA) dan lebih kecil dari 1,3 arus beban penuh (FLA)yang dirasakan oleh rele arus lebih.

Pada rele arus lebih, besarnya arus *pick up* ini ditentukan dengan pemilihan *tap*. Adapun untuk menentukan besarnya *tap* yang digunakan dapat menggunakan persamaan :

$$I_{pickup} = \frac{I_{set}}{nCT} \dots \dots \dots (2.3)$$

Dimana :

Iset = Besar arus primer (Ampere)

nCT = Rasio CT (antara primer dan sekunder)

Sedangkan menentukan *time dial* dari masing-masing kurva karakteristik invers rele IEC 60255-3 or BS 142 *standards* adalah sebagai berikut :

1. *Inverse* (Tipe A)

$$t = \frac{0.14}{\left(\frac{I}{I_{set}}\right)^{0.02} - 1} \cdot TMS \dots \dots \dots (2.4)$$

2. *Very Inverse* (Tipe B)

$$t = \frac{13.5}{\left(\frac{I}{I_{set}}\right)^1 - 1} \cdot TMS \dots \dots \dots (2.5)$$

3. *Extremely Inverse* (Tipe C)

$$t = \frac{80}{\left(\frac{I}{I_{set}}\right)^2 - 1} \cdot TMS \dots \dots \dots (2.6)$$

4. *Long Inverse* (Tipe B)

$$t = \frac{120}{\left(\frac{I}{I_{set}}\right)^1 - 1} \cdot TMS \dots \dots \dots (2.7)$$

5. TMS (*Time Multiple Setting*)

$$TMS = \frac{t \left(\frac{I}{I_{set}} \right)^{\alpha} - 1}{k} \dots\dots\dots(2.8)$$

Dimana :

- t = Waktu kerja rele (s)
- I = Arus gangguan yang melewati rele (Ampere)
- Iset = Arus primer (Ampere)
- α,β = koefisien dari *inverse*

Tabel 2.1 koefisien *inverse* menurut standar IEC

Tipe kurva	K	A	B
<i>Long Inverse Time</i>	120	1	13,33
<i>Standard Inverse</i>	0,14	0,02	2,97
<i>Very Inverse</i>	13,5	1	1,5
<i>Extremely Inverse</i>	80	2	0,808
<i>Ultra Inverse</i>	315,2	2,5	1

2.3.2 Koordinasi Berdasarkan Arus dan Waktu

Coordination Time Interval (CTI) dihitung dengan menggunakan rumus berikut. (Dony, 2017) :

$$CTI = t_{primer} - t_{backup} \dots\dots\dots(2.9)$$

Dimana :

- t_{primer} = Waktu operasi rele primer (s)
- t_{backup} = Waktu operasi rele *backup* (s)

Nilai t_{primer} dan t_{backup} didapatkan dari sebuah persamaan sebagai berikut :

$$t_{primer_n} = \frac{k \times \frac{TMS_n}{\beta}}{\left(\frac{I_{sc\ backup_n}}{I_{p_n}} \right)^{\alpha} - 1} \dots\dots\dots(2.10)$$

$$t_{backup_n} = \frac{k \times TMS_n}{\left(\frac{I_{sc\ backup_n}}{I_{p_n}} \right)^{\alpha} - 1} \dots\dots\dots(2.11)$$

Dari persamaan-persamaan diatas, I_{se} adalah setting arus relai dalam besaran sisi primer CT, sedangkan $I_{pick up}$ adalah nilai I_{set} setelah ditransformasi oleh CT. t_{op} (t) adalah waktu operasi relai. Perhitungan setting waktu untuk relai berarah dilakukan dengan memperhatikan relai mana yang menjadi relai utama dan mana yang menjadi relai *back up* sesuai arah relai dan arah arus gangguan. (A. Andrianti, 2017)

Penyetelan waktu kerja rele lebih terutama pertimbangan terhadap kecepatan dan selektivitas kerja dari rele, sehingga rele tidak salah operasi dan tidak bekerja bersamaan yang dapat menyebabkan tujuan pengaman tidak berguna. Sehingga diperlukan adanya waktu tunda antara rele primer dan *backup*. Sesuai *standard* dari IEEE 242, *setting* waktu yaitu sebagai berikut :

- Waktu terbuka circuit breaker : 0,04 – 0.1 det (2-5 Cycle)
- *Overtravel* dari rele : 0.1 det
- Faktor keamanan : 0.12 – 0.22 det

2.4 Gangguan Hubung Singkat

2.4.1 Pengertian Gangguan Hubung Singkat

Gangguan adalah setiap keadaan dimana sistem yang tidak normal, umumnya gangguan terdiri dari hubung singkat (*short circuit*) dan rangkaian terbuka (*open circuit*). Gangguan hubung singkat lebih sering terjadi dibandingkan dengan gangguan-gangguan rangkaian terbuka. Gangguan hubung singkat diartikan sebagai gangguan yang terjadi disebabkan adanya penurunan kekuatan dasar isolas antara sesama kawat fasa ataupun antara kawat fasa dengan tanah yang menyebabkan kenaikan arus secara berlebihan. Gangguan hubung singkat yang mungkin terjadi dalam jaringan (sistem kelistrikan) diantaranya :

1. Gangguan hubung singkat tiga fasa.
2. Gangguan hubung singkat dua fasa.
3. Gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah.

Untuk menghitung besarnya arus gangguan hubung singkat tertentu, biasanya diambil beberapa asumsi-asumsi, misalnya untuk impedansi yang nilai

tahanannya (R) atau kapasitansinya (C) jauh lebih kecil dari nilai induktansinya (L), maka nilai resistansi dan kapasitansi tersebut dapat diabaikan.

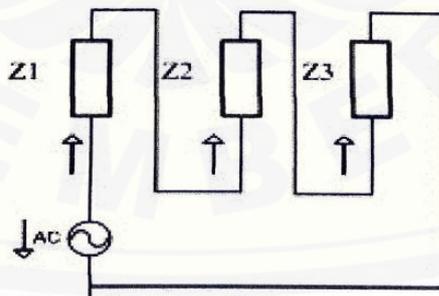
Bila hubung singkat dibiarkan berlangsung agak lama pada suatu sistem, maka yang dapat terjadi antara lain (Stevenson, 1983:317):

1. Berkurangnya batas-batas kestabilan untuk sistem daya itu.
2. Rusaknya peralatan yang berada dekat gangguan yang disebabkan oleh arus yang besar, arus tak seimbang, atau tegangan rendah yang ditimbulkan oleh hubungan singkat.
3. Ledakan-ledakan yang mungkin terjadi pada peralatan yang mengandung minyak isolasi sewaktu terjadinya hubung singkat, dan yang mungkin menimbulkan kebakaran sehingga dapat membahayakan orang yang menanganinya dan merusak peralatan-peralatan yang lain.
4. Terpecah-pecahnya keseluruhan daerah pelayanan sistem daya itu oleh suatu rentetan tindakan pengamanan yang diambil oleh sistem-sistem pengamanan yang berbeda-beda, kondisi ini dikenal “*cascading*”

2.4.2 Jenis dan Metode Perhitungan Gangguan Hubung Singkat

Analisa gangguan dilakukan dengan memperhitungkan gangguan melalui impedansi gangguan (Z_f).

1. Hubung Singkat Satu Fasa ke Tanah



Gambar 2.4 Rangkaian Pengganti Hubung Singkat 1 Fasa ke Tanah

Dari gambar diatas didapatkan persamaan perhitungan arus gangguan hubung singkat berikut ini :

$$I = \frac{V}{Z}$$

$$I \text{ 1 fasa} = \frac{3 \times V_{ph}}{Z_{1 \text{ eq}} + Z_{2 \text{ eq}} + Z_{0 \text{ eq}}}$$

$$I \text{ 1 fasa} = \frac{3 \times V_{ph}}{2 \times Z_{1 \text{ eq}} + Z_{0 \text{ eq}}} \dots\dots\dots(2.12)$$

Dimana

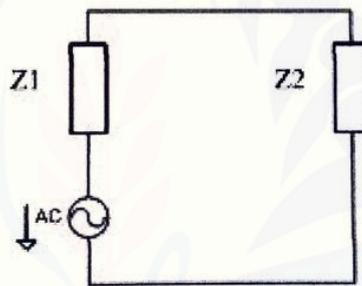
$I \text{ 1 fasa}$ = Arus gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah (A)

V_{ph} = Tegangan fasa-netral sistem (V)

$Z_{1 \text{ eq}}$ = Impedansi urutan positif (ohm)

$Z_{0 \text{ eq}}$ = Impedansi urutan nol (ohm)

2. Hubung Singkat Dua Fasa



Gambar 2.5 Rangkaian Pengganti Hubung Singkat Dua Fasa ke Tanah

Dari gambar diatas didapatkan persamaan perhitungan arus gangguan hubung singkat berikut ini :

$$I = \frac{V}{Z}$$

$$I \text{ 2 fasa} = \frac{V_{ph-ph}}{Z_{1 \text{ eq}} + Z_{2 \text{ eq}}}$$

$$I \text{ 2 fasa} = \frac{V_{ph-ph}}{2 \times Z_{1 \text{ eq}}} \dots\dots\dots(2.13)$$

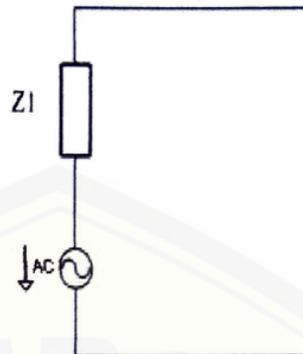
Dimana :

$I \text{ 2 fasa}$ = Arus gangguan hubung singkat dua fasa ke tanah (A)

V_{ph-ph} = Tegangan fasa-fasa sistem

$Z_{1 \text{ eq}}$ = Impedansi urutan positif (ohm)

3. Hubung Singkat Tiga Fasa



Gambar 2.6 Rangkaian Pengganti Hubung Singkat Tiga Fasa

Gambar diatas didapatkan dari perhitungan berikut ini :

$$I = \frac{V}{Z}$$

$$I_{3 \text{ fasa}} = \frac{V_{ph}}{Z_{1 \text{ eq}}} \dots \dots \dots (2.15)$$

Dimana :

$I_{3 \text{ fasa}}$ = Arus gangguan hubung singkat dua fasa ke tanah (A)

V_{ph} = Tegangan fasa-netral sistem

$Z_{1 \text{ eq}}$ = Impedansi urutan positif (ohm)

2.5 *Neural Network*

Kesuksesan sistem kerja otak manusia yang memiliki jutaan bahkan ratusan miliar neuron dalam bentuk jaringan yang berguna untuk mengenali, memproses dan menyelesaikan suatu permasalahan yang muncul, maka para ahli mencoba menciptakan terobosan baru untuk menyelesaikan permasalahan-permasalahan dalam skala besar dan kompleks guna memudahkan manusia. Terobosan baru itu diberi nama jaringan saraf tiruan yang merupakan terjemahan dari kata “*Artificial Neural Network*”.

Neural Network atau jaringan saraf tiruan (JST) merupakan jaringan yang terdiri atas sekelompok unit pemroses kecil yang dipresentasikan berdasarkan jaringan saraf pada manusia. Seperti jaringan saraf biologis, *Neural Network* memiliki kemampuan untuk belajar dan beradaptasi terhadap masukan-masukan

yang diberikan. *Neural Network* serupa dengan otak manusia dalam hal pengetahuan yang diperoleh jaringan melalui proses belajar dan kekuatan hubungan antar sel saraf (neuron) yang dikenal sebagai bobot-bobot sinaptik digunakan untuk menyimpan pengetahuan (Kusmaryanto,2014). Mekanisme *Neural Network* memiliki satu atau lebih neuron yang berfungsi sebagai elemen pengolah dari beberapa masukan pada dendrit. Sebuah neuron berperan untuk mengolah masukan beserta bobotnya. Selain itu juga berfungsi untuk transfer yang bertanggung jawab pada pengaliran luarnya ke neuron pengolah lain.

Jaringan syaraf tiruan (JST) atau *Neural Network* adalah metode komputasi yang meniru sistem jaringan syaraf biologis, JST dibentuk sebagai generalisasi model matematika dari jaringan syaraf biologi, dengan asumsi bahwa (Dedy Harto, 2012) :

- Pemrosesan informasi terjadi pada banyak elemen sederhana (*neuron*)
- Sinyal dikirimkan antara neuron-neuron melalui penghubung-penghubungnya
- Penghubung antar neuron memiliki bobot yang akan memperkuat atau memperlemah sinyal
- Untuk menentukan *output*, setiap neuron menggunakan fungsi aktivasi yang dikenakan pada sejumlah masukan yang diterima. Besarnya keluaran ini selanjutnya dibandingkan dengan suatu batas ambang.

Pada tahun 1982, Hopfield telah memperluas aplikasi *Neural Network* untuk memecahkan masalah optimasi. Hopfield berhasil memperhitungkan fungsi energi ke dalam jaringan saraf, yaitu agar jaringan memiliki kemampuan mengingat atau memperhitungkan suatu obyek dengan obyek yang pernah dikenal atau diingat sebelumnya (*associative memory*) (Puspitaningrum, 2006). Beberapa istilah dalam NN yang sering ditemui diantaranya :

1. *Neuron/node*, adalah sel saraf tiruan yang merupakan elemen pengolahan jaringan syaraf tiruan. Setiap *neuron* menerima data *input* dan memproses *input* tersebut kemudian mengirimkan hasilnya berupa *output*

2. Jaringan, merupakan kumpulan dari *neuron* yang saling terhubung dan membentuk sebuah lapisan
3. *Hidden layer* (lapisan tersembunyi), merupakan lapisan yang tidak secara langsung berinteraksi dengan dunia luar. Lapisan ini memperluas kemampuan jaringan saraf tiruan dalam menghadapi masalah-masalah yang kompleks.
4. *Input*, adalah sebuah nilai masukan yang diproses menjadi *output*
5. *Output*, adalah sebuah solusi dari nilai *input*.
6. Bobot, merupakan nilai matematis dari sebuah koneksi antar-*neuron*.
7. Fungsi aktivasi, adalah fungsi yang digunakan untuk *update* nilai bobot per-iterasi dari semua nilai *input*.
8. Fungsi aktivasi sederhana, merupakan proses mengalikan input dengan bobotnya kemudian menjumlahkannya (penjumlahan sigma) berbentuk linier atau tidak linier dan sigmoid.
9. Paradigma pembelajaran, merupakan bentuk pembelajaran, *supervised learning/unsupervised learning*.

Jaringan saraf tiruan (*neural network*) dibentuk sebagai generalisasi model matematika dari jaringan saraf biologi (Siang, 2009), dengan asumsi bahwa :

- a. Pemrosesan informasi terjadi pada banyak elemen sederhana.
- b. Sinyal dikirimkan di antara *neuron-neuron* melalui penghubung-penghubung.
- c. Penghubung antar-*neuron* memiliki bobot yang akan memperkuat atau memperlemah sinyal.
- d. Untuk menentukan *output*, setiap neuron menggunakan fungsi aktivasi (biasanya bukan fungsi linier) yang dikenakan pada jumlahan *input* yang diterima. Besarnya *output* ini selanjutnya dibandingkan dengan suatu batas ambang (*threshold*).

Neural Network ditentukan oleh 3 hal yaitu pola hubungan antar *neuron* (arsitektur jaringan), metode untuk menentukan bobot penghubung (metode *training/learning*) dan fungsi yang digunakan untuk menentukan keluaran suatu *neuron* (fungsi aktivasi) (Siang, 2009).

2.5.1 Komponen *Neural Network*

Umumnya NN memiliki dua lapisan, yaitu *input layer* dan *output layer*. Tapi pada perkembangannya, terdapat *neural network* yang memiliki satu lapisan lagi, yaitu *hidden layer* yang terletak di antara *input layer* dan *output layer*.

1. *Input Layer*,

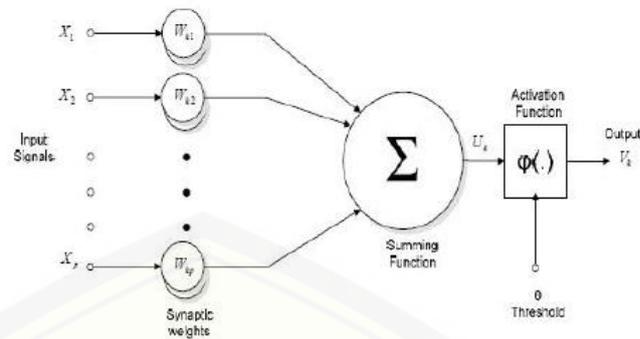
Ada dua bagian pada *input*, yaitu bagian yang nilainya berubah-ubah sesuai respon dari perangkat masukan (i_0, i_1, \dots, i_n) dan yang kedua adalah bagian yang nilainya tetap/tidak berubah yang disebut dengan bias (b_1). Masing-masing *input* tersebut terhubung dengan neuron melalui jalur yang disebut dendrit. Jalur tersebut memiliki nilai bobot (*weight*) yang disimbolkan dengan huruf “w”. setiap *neuron* pada *input layer* terhubung dengan setiap *neuron* pada *hidden layer*. Dan setiap neuron pada *hidden layer* terhubung ke setiap *neuron* pada *output layer*.

2. *Hidden Layer*

Bukan karena letak lapisannya tersembunyi hingga dinamakan *hidden layer*. Tapi karena semua proses pada fase *training* dan fase pengenalan dijalankan di lapisan ini. Jumlah lapisan ini tergantung dari arsitektur yang akan dirancang, tapi umumnya terdiri dari satu lapisan *hidden layer*. *Neuron* pada *hidden layer* terdiri dari dua bagian. Bagian pertama yaitu proses penggabungan dari seluruh *input* dari *neuron* atau disimbolkan dengan sigma (Σ), dan bagian kedua adalah fungsi aktivasi dari *neuron* untuk kemudian informasi yang diperoleh akan diteruskan menuju bagian *output*.

3. *Output Layer*

Output Layer berfungsi untuk menampilkan hasil perhitungan sistem oleh fungsi aktivasi pada lapisan *hidden layer* berdasarkan *input* yang diterima (Welli Agustina, 2015).

Gambar 2.7 Struktur *Neural Network*

(sumber: Welli, 2017)

Secara matematis cara kerja Gambar 6.9 dirumuskan sebagai berikut :

$$\text{Nilai } \Sigma \text{Input} = (x_0 * W_0) + (x_1 * W_1) + w_b \dots \dots \dots (2.16)$$

Dari persamaan tersebut dapat diketahui :

$$\text{Nilai aktivasi} = \text{SigAct}(\text{nilai } \Sigma \text{Input})$$

$$\text{Nilai Neuron} = \text{Nilai aktivasi}$$

Dimana :

W : *Weight* atau bobot

X : *Input*

V : *Output*

SigAct : Fungsi aktivasi

SigAct ada yang berjenis model sinyal **tan**, **log**, atau bahkan **pure** tergantung dari proses perancangan yang kita buat. Pada nilai aktivasi inilah yang menjadi nilai keluaran atau nilai akhir dari sebuah jaringan atau bahkan bisa menjadi nilai masukan bagi jaringan setelahnya dimana *output neuron* masih dilempar ke *neuron* lainnya yang mau tidak mau harus masuk melalui *input neuron* berikutnya (Welli Agustina, 2015).

Cara kerja dari Gambar 6.9 diatas adalah dengan informasi (*input*) akan dikirim ke *neuron* dengan bobot tertentu. Input ini akan diproses oleh suatu fungsi yang akan menjumlahkan nilai- nilai bobot yang ada. Hasil penjumlahan yang

kemudian akan dibandingkan dengan suatu nilai ambang (*threshold*) tertentu melalui fungsi aktivasi setiap *neuron*. Apabila input tersebut melewati suatu nilai ambang tertentu, maka *neuron* tersebut akan diaktifkan, jika tidak maka neuron tidak akan diaktifkan. Apabila *neuron* tersebut diaktifkan maka *neuron* tersebut akan mengirim *output* melalui bobot-bobot *output*-nya ke semua *neuron* yang berhubungan dengannya.

2.5.2 Arsitektur *Neural Network*

Dalam berbagai aplikasi sering menggunakan arsitektur dari saraf tiruan. Arsitektur itu berfungsi untuk menjelaskan arah sinyal atau data di dalam jaringan. Arsitektur *neural network* tersebut, antara lain (Hermawan, 2006):

1. Jaringan Layar Tunggal (*single layer network*)

Jaringan dengan lapisan tunggal hanya terdiri dari 1 *layer input* dan 1 *layer output*. Setiap *neuron* yang terdapat di dalam lapisan/*layer input* selalu terhubung dengan setiap *neuron* yang terdapat pada *layer output*. Jaringan ini hanya menerima input kemudian secara langsung akan mengolahnya menjadi *output* tanpa harus melalui *hidden layer*.

2. Jaringan Layar Jamak (*multi layer network*)

Jaringan dengan lapisan jamak mempunyai ciri khas yaitu memiliki 3 jenis *layer* yaitu *layer input*, *layer output*, *hidden layer*. Jaringan dengan banyak lapisan ini dapat menyelesaikan permasalahan yang kompleks dibandingkan jaringan dengan lapisan tunggal. Namun proses pelatihan sering membutuhkan waktu cenderung lama.

3. Jaringan dengan lapisan kompetitif

Pada jaringan ini sekumpulan *neuron* bersaing untuk mendapatkan hak menjadi aktif.

BAB 3. METODE PENELITIAN

Pembahasan pada metode penelitian ini dijelaskan beberapa hal pokok yaitu obyek penelitian, tahap penelitian, tempat dan waktu penelitian, alat dan bahan, langkah-langkah dalam pengambilan data dan manajemen penelitian di lapangan, pengolahan data serta *software* yang digunakan dalam penelitian.

3.1 Prosedur Penelitian

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

1. Tahap persiapan

Dalam tahap ini peneliti memperkirakan dan mempersiapkan data apa saja yang perlu dan nantinya akan 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 penelitian untuk dikembangkan lebih lanjut untuk analisa rele OCR menggunakan metode *Neural Network*.

3. Pengumpulan data

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

- a. Sistem kelistrikan dari PT. YTL Jawa Timur, yang nantinya akan dipilih tipikal koordinasi pada beberapa line bus untuk dijadikan objek penelitian koordinasi rele.
- b. Data spesifikasi transformator, generator dan saluran.
- c. Data arus beban yang mengalir
- d. Data pembangkitan energi listrik
- e. Data konduktor
- f. Data spesifikasi dan kurva karakteristik rele arus lebih

- g. Data *setting* rele arus lebih
- h. Data CT (*Current Transformer*)

4. Pengolahan dan analisa data

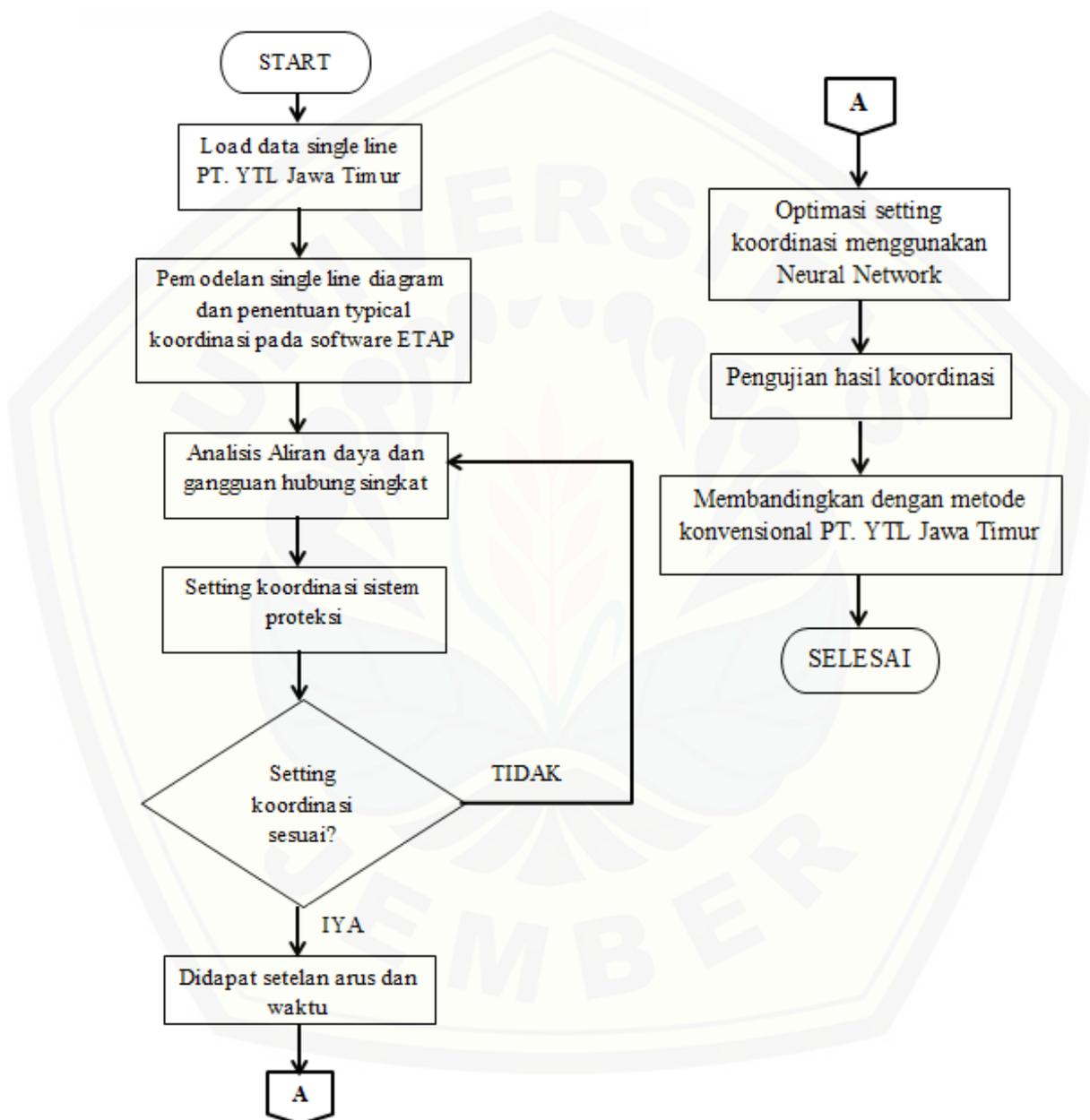
Dalam tahap ini, data yang diperoleh kemudian diolah dan dianalisa. Penentuan tipikal koordinasi dan pemodelan sistem kelistrikan PT. YTL Jawa Timur menggunakan perangkat lunak ETAP 12.6.0, kemudian menghitung nilai setelan arus yang nantinya akan menjadi input serta nilai setelan waktu sebagai target untuk analisa menggunakan metode *Neural Network*. Kemudian selanjutnya metode optimalisasi mencari parameter *setting* optimal menggunakan *Neural Network*. Metode analisa tersebut dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak Matlab 2015b. Kemudian hasil optimalisasi *setting* koordinasi menggunakan *Neural Network* dibandingkan dengan hasil *setting* koordinasi menggunakan metode konvensional pada PT. YTL Jawa Timur.

5. Pengambilan kesimpulan

Pada tahap ini dilakukan pengambilan kesimpulan berdasarkan hasil hasil analisa dan perbandingan. Dan juga pemberian saran yang dimaksud untuk pertimbangan atas pengembangan selanjutnya. Pengambilan kesimpulan dan saran dilakukan setelah menganalisa data yang telah didapat.

3.2 Diagram Alir Penelitian

Pada proses penelitian ini ada beberapa tahapan yang harus dilalui. Adapun tahapan yang akan dilaksanakan dapat dilihat pada gambar 7.1 dibawah ini.



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

Berdasarkan gambar 3.1 dapat dijelaskan tentang alur kerja dalam sistem yang digunakan dalam tugas akhir ini :

1. Pertama dilakukan pengambilan data dari PT. YTL Jawa Timur yang meliputi data rele, data beban, data transformator, sistem kelistrikan dan lain-lain.
2. Kemudian memodelkan sistem kelistrikan PT. YTL Jawa Timur menggunakan perangkat lunak ETAP 12.6.0.
3. Menentukan tipikal koordinasi rele arus lebih yang digunakan untuk dapat diketahui posisi rele utama dan cadangannya (*backup*).
4. Melakukan simulasi aliran daya dan analisa gangguan hubung singkat pada area bus kerja rele untuk mendapatkan nilai I_{scmax} rele primer dan rele *backup*. Kemudian dilakukan analisa pada transformator maupun beban yang dilindungi oleh rele untuk menentukan nilai FLA yang melewati rele.
5. Menentukan *setting* optimal rele arus lebih yaitu nilai setting arus I_{set} dan I_p (arus *pickup*) dan TMS (*Time Multiplier Setting*) serta t (waktu operasi) yang nantinya akan menjadi parameter input dan target untuk proses optimasi menggunakan metode *Neural Network* .
6. Melakukan perancangan program perhitungan *setting* koordinasi rele menggunakan metode *Neural Network* pada perangkat lunak Matlab dengan memasukkan parameter *setting* rele.
7. Setelah didapatkan *setting* arus dan waktu yang optimal dari hasil optimalisasi menggunakan metode *neural network*, dilakukan pengujian nilai *setting* koordinasi rele menggunakan perangkat lunak ETAP 12.6.0.
8. Membandingkan hasil optimalisasi *setting* koordinasi menggunakan metode NN dengan *setting* koordinasi metode konvensional pada PT. YTL Jawa Timur.

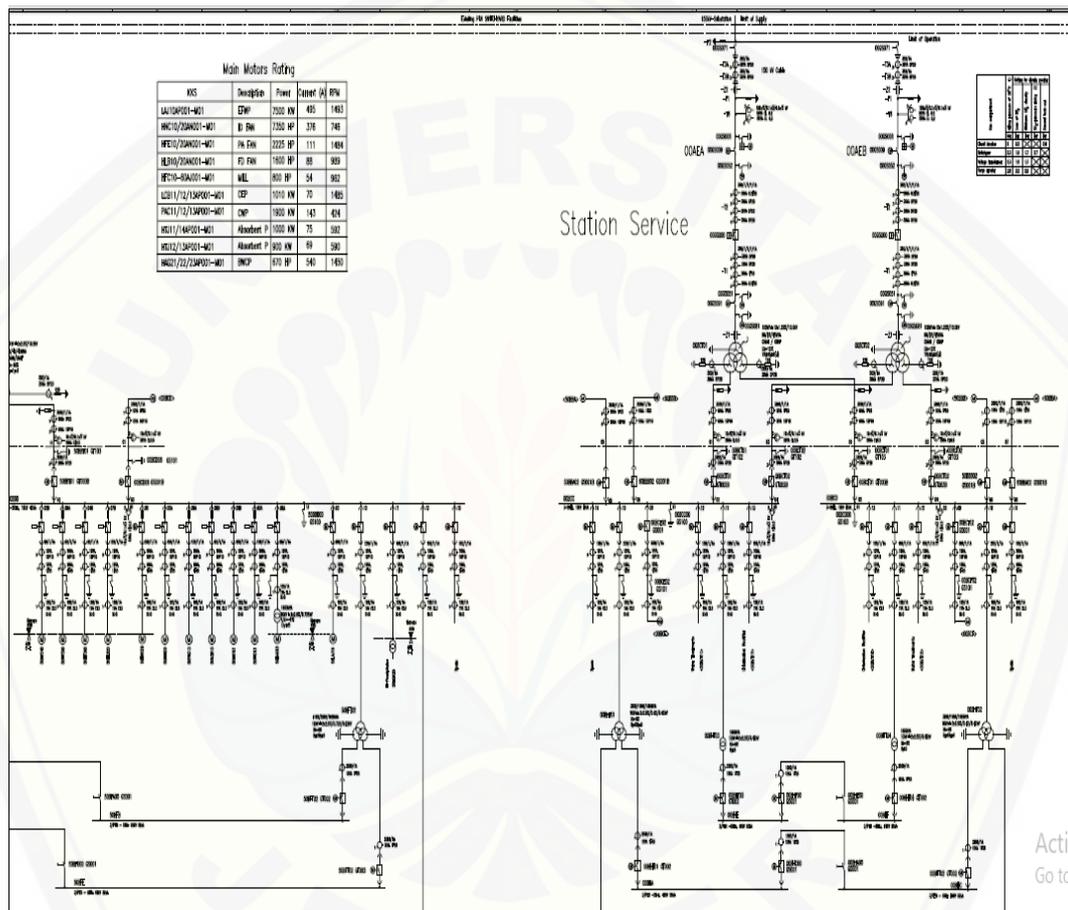
3.3 Perencanaan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah mendapatkan koordinasi rele arus lebih di PT. YTL Jawa Timur secara optimal dengan cara meminimalkan nilai *setting* TMS tiap-tiap rele yang dikoordinasikan. Koordinasi yang optimal akan menciptakan system kelistrikan yang handal dan selektif untuk menangani gangguan yang terjadi.

Pengambilan data yang dilakukan dalam penelitian ini diantaranya Data kelistrikan yang akan digunakan selama penelitian, meliputi :

- a. Sistem Kelistrikan (*single line diagram*) PT. YTL Jawa Timur

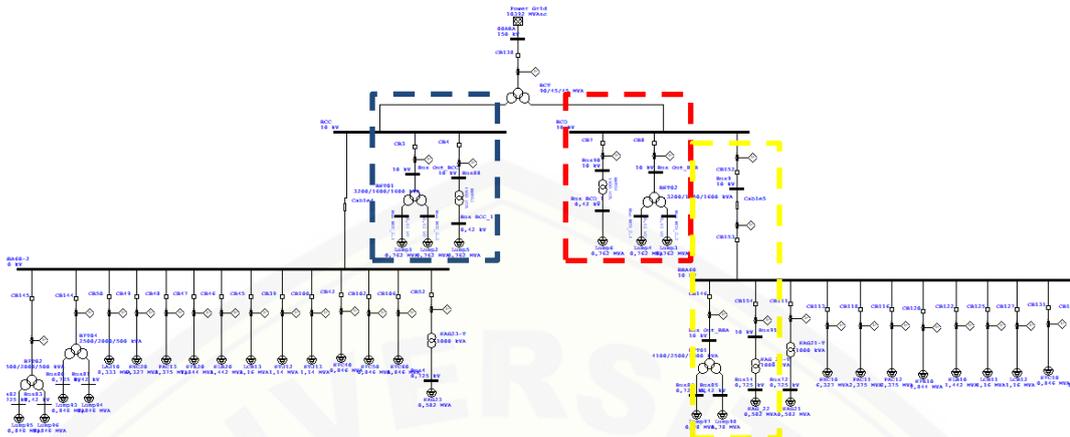
PT. YTL memiliki 2 unit yang beroperasi, yaitu Unit 5 dan 6 dan unit *Station Service*. Seperti gambar 3.2 dibawah ini



Gambar 3.2 Sistem Kelistrikan *Station Service* PT. YTL Jawa Timur

Station Service pada PT. YTL merupakan *substation* yang mendapat suplai listrik dari PLN sebesar 150 kV untuk menyuplai beban-beban sebelum unit 5 dan 6 beroperasi.

Berikut adalah *single line diagram* *Station Service* PT. YTL Jawa Timur.



Gambar 3.3 Tipikal Koordinasi pada *Single Line Diagram Station Service* PT.
YTL Jawa Timur

3.4 Perencanaan Koordinasi

Dari sistem kelistrikan yang dimiliki PT. YTL Jawa Timur diatas akan dipilih beberapa tipikal koordinasi untuk menganalisis setelan koordinasi rele arus lebih. Adapun tipikal koordinasi yang akan dibahas dalam skripsi ini adalah sebagai berikut :

a. Tipikal 1

Koordinasi rele arus lebih dari Transformator 00BCT01 45 MVA, hingga Transformator 00BHT01 1600 kVA dan Transformator 00BHT03 1600 kVA.

b. Tipikal 2

Koordinasi rele arus lebih dari Transformator 00BCT01 45 MVA, hingga Transformator 00BHT02 1600 kVA dan Transformator 00BHT04 1600 kVA.

c. Tipikal 3

Koordinasi rele arus lebih dari Transformator HAG_22-T 1000 kVA bus 60BBA dan Transformator BFT01 4,1/2,5/1,6 MVA hingga rele *Incoming* dan *Outgoing* yang melindungi beban pada buss 60BBA.

3.5 Perhitungan Arus Beban Penuh dan Arus Hubung Singkat

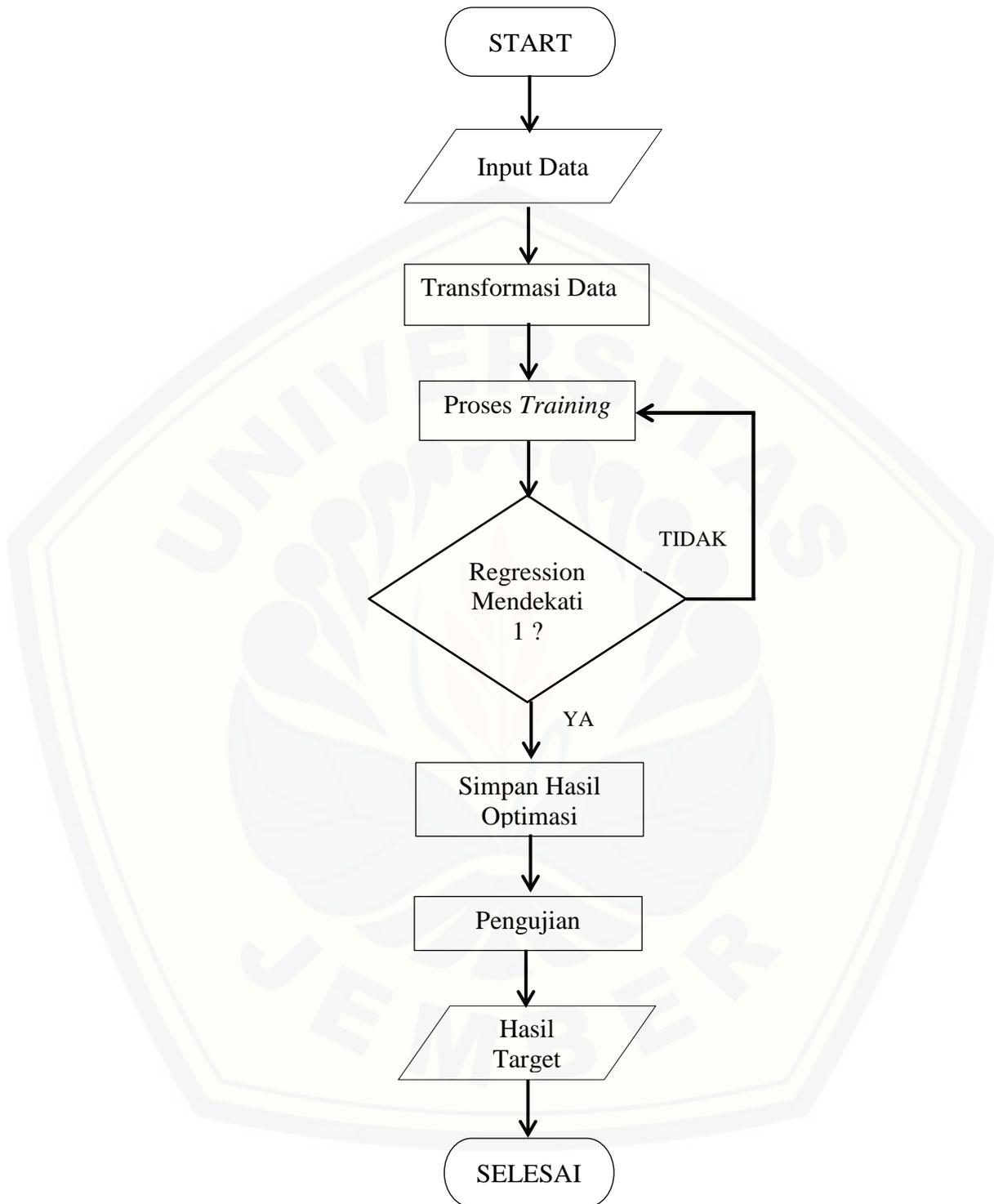
Menentukan nilai arus beban penuh sangat penting untuk koordinasi rele arus lebih, supaya menghindari rele tidak bekerja saat system sedang normal dan ketika arus beban penuh melewati rele. Arus beban penuh juga digunakan untuk menentukan seberapa besar arus yang mengalir ke tanah. Nilai Arus beban penuh adalah hasil dari analisa aliran daya dengan menggunakan metode *Newton-Rhapson* seperti pada persamaan 2.1.

Sedangkan perhitungan arus gangguan hubung singkat berguna untuk menentukan besar arus *pickup* (I_p) atau arus minimum rele harus mulai bekerja untuk menguji ketahanan peralatan terhadap arus gangguan. Untuk melakukan analisa gangguan hubung singkat dilakukan pada *software* ETAP 12.6.0.

3.6 Perancangan Optimasi Menggunakan *Neural Network*

3.6.1 Diagram Alir Optimasi menggunakan *Neural Network*

Setelah mendapatkan nilai setting dari hasil perhitungan konvensional, maka selanjutnya adalah proses optimasi dengan metode *neural network* dengan bantuan *software* Matlab 2015b. Perancangan optimasi ini dimaksudkan untuk melakukan perhitungan secara algoritma menggunakan *neural network* dari data hasil perhitungan manual sebagai input dan targetnya. Pada gambar 3.6 merupakan tahapan-tahapan optimasi yang akan dilalui.



Gambar 3.4 Diagram Alir Optimasi dengan *Neural Network*

Berdasarkan gambar 3.4 dapat dijelaskan proses tahapan yang akan dilakukan sebagai berikut :

a. *Input Data*

Sebelum melakukan optimasi menggunakan *neural network*, dilakukan pengklasifikasian nilai *input* dan *output* yang nantinya akan digunakan sebagai parameter optimasi. Input yang akan digunakan pada optimasi ini adalah nilai besar arus primer (Iset), TMS dan besar arus hubung singkat yang melewati rele. Sedangkan nilai output atau target merupakan nilai setelan waktu dan arus *pick up* (Ip), yang didapat dari persamaan 2.8.

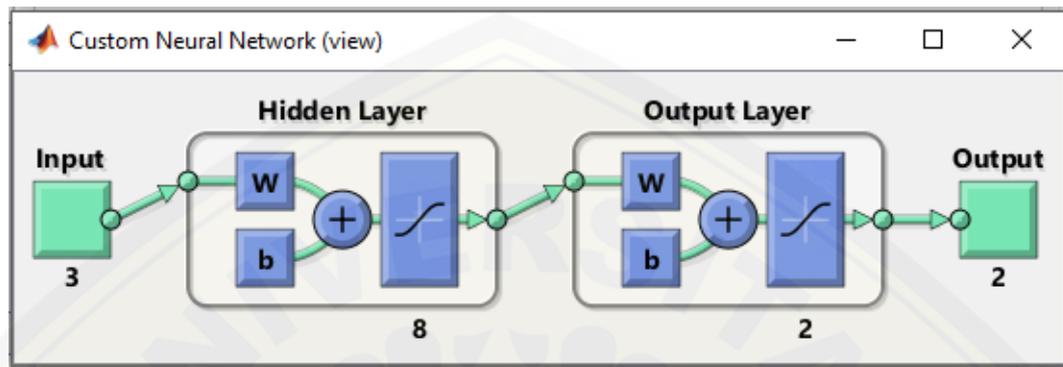
b. *Proses Training dan Testing*

Optimasi koordinasi rele arus lebih dengan metode *Neural Network* menggunakan metode *Training Algorithm Lavenberg Marquart backpropagation* yang merupakan *training algorithm* terawasi oleh perceptron dengan jaringan lapis banyak (*multilayer perceptron*) untuk mengubah nilai bobot yang terhubung pada neuron-neuron pada *hidden layer*. Data yang telah didapat dari perhitungan konvensional selanjutnya akan dilatih dengan algoritma *backpropagation* dimana nilai *error input* digunakan untuk mengubah nilai bobot-bobotnya dalam arah mundur (*backward*). *Error* didapatkan melalui tahap perambatan 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. Untuk mendapatkan nilai output yang diinginkan tentunya diperlukan beberapa parameter untuk proses *training*, diantaranya :

- Fungsi aktivasi = Tansig (*hidden layer* input)
- Jumlah input = 3
- Jumlah *neuron hidden layer* input = 8
- Jumlah output = 2
- Target *error* = 1e-15
- *Training algorithm* = Lavenberg Marquart
- jumlah iterasi = 1000

Pada proses pelatihan nantinya akan digunakan 70% data *training*, 15% data *validation*, dan 15% data *test* dari total keseluruhan data. Berikut merupakan gambaran struktur pelatihan yang akan digunakan.



Gambar 3.5 struktur pelatihan *Neural Network* pada Matlab 2015a

Proses *training* nantinya dilakukan *train* dan *retrain* berulang kali supaya didapat nilai *regression* (keakuratan data) yang mendekati angka 1, karena nilai *regression* menentukan korelasi antara nilai *output* dan target. Jika nilai *regression* bernilai mendekati satu 1 maka menunjukkan adanya korelasi sedangkan sebaliknya jika tidak mendekati 1 (mendekati 0), maka menunjukkan bahwa nilai *output* yang didapat masih jauh dari target yang diinginkan.

c. Hasil Target

Nilai hasil optimasi yang didapat selanjutnya akan dibandingkan dengan hasil dari perhitungan konvensional dan disimulasikan menggunakan ETAP 12.6.0, kemudian dianalisa koordinasi proteksinya. Apabila masih terjadi kesalahan dalam proteksi, maka proses diulang kembali. Jika nilai hasil proses optimasi menggunakan *neural network* benar, parameter-parameter yang digunakan sudah benar.

BAB 5. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Dari hasil pembahasan dan percobaan yang dilakukan pada optimasi koordinasi proteksi menggunakan *Neural Network*, didapatkan kesimpulan sebagai berikut :

1. Berdasarkan perbandingan hasil perhitungan setting menggunakan algoritma *neural network* dan konvensional, error yang dihasilkan sangat kecil, dan ada sejumlah data output algoritma NN yang sama dengan data hasil perhitungan konvensional, yaitu nilai I_p dari Rele C-2, rele D-4, rele *outgoing*, dan rele *incoming*. Lihat tabel 4.12.
2. Hasil perhitungan *setting Time dial* (T_d) dan I_p rele menggunakan metode *Neural Network* lebih cepat atau lebih kecil dibandingkan hasil perhitungan konvensional. Sehingga dapat dikatakan performansi dari optimasi *Neural Network* sangat mendekati keakuratan dari target yang diinginkan.
3. Dalam proses *training* dan *testing*, didapatkan jumlah *neuron* yang sesuai dengan mempertimbangkan nilai MSE terkecil dari seluruh jumlah *neuron* yang diuji, sehingga dilakukan percobaan berulang kali. Dengan data yang digunakan sebanyak 5 data pembelajaran didapatkan nilai *Mean Squared Error* (MSE) terkecil yaitu sebesar $2,678e-14$ pada percobaan 8 *neuron*.

5.2 Saran

Setelah melakukan penelitian dan analisa koordinasi proteksi menggunakan neural network, beberapa saran yang dapat dipertimbangkan untuk pengembangan penelitian selanjutnya yaitu :

1. Menambahkan lebih banyak parameter dan kondisi dari pembangkitan sistem untuk keperluan data pembelajaran. Missal kan dengan menambahkan parameter data seluruh rele pada sistem pembangkitan atau data grid pembangkitan.

2. Menggunakan metode perhitungan algoritma yang lain untuk membandingkan hasil *setting* koordinasi rele yang lebih optimal.



DAFTAR PUSTAKA

- Agustina, Welli. (2017). Optimasi Pengaturan Tap OLTC Untuk Meningkatkan Stabilitas Tegangan Transformator Daya 500 KV Unit 6 PT. YTL Jawa Timur Berbasis *Artificial Neural Network*.
- Hudananta, Septiantoro. (2014). Analisa Koordinasi Rele Arus Lebih Menggunakan Metode *Particle Swarm Optimization* Pada PT. Petrokimia Gresik.
- Shiddiq, Chairul Makhfuz. (2018). Optimasi Koordinasi Rele Arus Lebih Menggunakan Fuzzy Logic (Studi Kasus: PT. INALUM)
- Yudhistira, Dony Zsazsa. (2018). Optimalisasi Koordinasi Rele Arus Lebih Menggunakan *Modified Particle Swarm Optimization* (MPSO) Pada Sistem Kelistrikan Pabrik Indarung VI PT. Semen Padang.
- Purwosetyo, Dani Brami, Margo Pujiantara, Heri Suryoatmojo. (2011). Koordinasi Proteksi Rele Arus Lebih Dengan *Metode Fuzzy Logic* Menggunakan *Plant* PT. KPI (Kaltim Parna Industri.).
- Jauhari, M. Alfian Fadli. (2017). Koordinasi Proteksi arus Lebih Adaptif Pada Sistem Distribusi Ring Dengan Pembangkit Tersebar Menggunakan *Artificial Neural Network*.
- Afandi, Irfan. (2009). Analisa Setting Relai Arus Lebih dan Relai Gangguan Tanah Pada Penyulang Sadewa di GI Cawang.
- Dinesh, Birla, Rudra Prakash Maheshwari, dan Hari Om Gupta. (2005). *Time Overcurrent Relay Coordination: A Review*. International Journal Of Engineering Electrical Power System. Article 1039.
- Grainger, J.J.,Stevenson, Jr.W.D. (1994). Analisa Sistem Tenaga Listrik, terjemahan Ir.Kamal Idris, cetakan keempat, Jakarta : Erlangga.
- Puspitaningrum, D. (2006). Pengantar Jaringan Syaraf Tiruan. Yogyakarta : ANDI.

Siang, J. J. (2009). Jaringan syaraf tiruan dan pemrogramannya menggunakan MATLAB. Yogyakarta : ANDI

Hermawan, A. (2006). Jaringan Syaraf Tiruan, Teori dan Aplikasi. Yogyakarta : ANDI

Kusmaryanto, S. (2014). Jaringan Saraf Tiruan Backpropagation Untuk Pengenalan Wajah Metode Ekstraksi Fitur Berbasis Tekstur. JURNAL EECCIS Vol. 8 No. 2, 193-18

Harto, Dedy. (2012). Aplikasi Jaringan Syaraf Tiruan untuk Mendeteksi *White Spot*. JURNAL EECCIS Vol. 6 No.1

Andrianti, A. dan Prasetya, R. (2017). Rekonfigurasi Rele Proteksi Setelah Penambahan Pembangkit Tersebar pada Jaringan Distribusi. Jurnal Nasional Teknik Elektro Vol. 6 No.2, 2302-2949.

Lampiran Perhitungan

1. Perhitungan Konvensional Isc Max

- **Rele EA-1**

$$I_{sc} = \frac{V}{Z}$$

$$I_{sc} = \frac{86602,5404}{2,154} = 40,205 \text{ kA}$$

- **Rele C-1**

$$I_{sc} = \frac{V}{Z}$$

$$I_{sc} = \frac{5773,50269}{0,139} = 41,535 \text{ kA}$$

- **Rele C-2**

$$I_{sc} = \frac{V}{Z}$$

$$I_{sc} = \frac{5773,50269}{0,69} = 8,367 \text{ kA}$$

- **Rele D-3**

$$I_{sc} = \frac{V}{Z}$$

$$I_{sc} = \frac{5773,50269}{2,64} = 2,186 \text{ kA}$$

- **Rele D-4**

$$I_{sc} = \frac{V}{Z}$$

$$I_{sc} = \frac{5773,50269}{0,139} = 41,535 \text{ kA}$$

- **Rele Incoming**

$$I_{sc} = \frac{V}{Z}$$

$$I_{sc} = \frac{5773,50269}{0,139} = 41,535 \text{ kA}$$

- **Rele Outgoing**

$$I_{sc} = \frac{V}{Z}$$

$$I_{sc} = \frac{5773,50269}{0,139} = 41,535 \text{ kA}$$

- **Rele A-1**

$$I_{sc} = \frac{V}{Z}$$

$$I_{sc} = \frac{5773,50269}{0,139} = 41,535 \text{ kA}$$

- **Rele A-2**

$$I_{sc} = \frac{V}{Z}$$

$$I_{sc} = \frac{5773,50269}{0,89} = 6,487 \text{ kA}$$

2. Error % Isc Max Hasil Perhitungan Konvensional dengan simulasi**• Rele EA-1**

$$\text{Error \%} = \left| \frac{HT - HS}{HT} \right| \times 100 \%$$

$$\text{Error \%} = \left| \frac{40,205 - 40,197}{40,205} \right| \times 100 \% = 0,01 \%$$

• Rele C-1

$$\text{Error \%} = \left| \frac{HT - HS}{HT} \right| \times 100 \%$$

$$\text{Error \%} = \left| \frac{41,535 - 41,261}{41,535} \right| \times 100 \% = 0,66 \%$$

• Rele C-2

$$\text{Error \%} = \left| \frac{HT - HS}{HT} \right| \times 100 \%$$

$$\text{Error \%} = \left| \frac{8,367 - 8,274}{8,367} \right| \times 100 \% = 1,11 \%$$

• Rele D-3

$$\text{Error \%} = \left| \frac{HT - HS}{HT} \right| \times 100 \%$$

$$\text{Error \%} = \left| \frac{2,186 - 2,183}{2,186} \right| \times 100 \% = 0,14 \%$$

• Rele D-4

$$\text{Error \%} = \left| \frac{HT - HS}{HT} \right| \times 100 \%$$

$$\text{Error \%} = \left| \frac{41,535 - 41,406}{41,535} \right| \times 100 \% = 0,31 \%$$

• Rele Incoming

$$\text{Error \%} = \left| \frac{HT - HS}{HT} \right| \times 100 \%$$

$$\text{Error \%} = \left| \frac{41,535 - 41,261}{41,535} \right| \times 100 \% = 0,66 \%$$

- **Rele Outgoing**

$$\text{Error \%} = \left| \frac{HT - HS}{HT} \right| \times 100 \%$$

$$\text{Error \%} = \left| \frac{41,535 - 41,261}{41,535} \right| \times 100 \% = 0,66 \%$$

- **Rele A-1**

$$\text{Error \%} = \left| \frac{HT - HS}{HT} \right| \times 100 \%$$

$$\text{Error \%} = \left| \frac{41,535 - 41,406}{41,535} \right| \times 100 \% = 0,31 \%$$

- **Rele A-2**

$$\text{Error \%} = \left| \frac{HT - HS}{HT} \right| \times 100 \%$$

$$\text{Error \%} = \left| \frac{6,487 - 6,489}{6,487} \right| \times 100 \% = 0,03 \%$$

3. Error % Ip Rele Hasil Perhitungan Konvensional dengan simulasi**• Rele EA-1**

$$\text{Error \%} = \left| \frac{HT - HS}{HT} \right| \times 100 \%$$

$$\text{Error \%} = \left| \frac{1,21 - 1,2065}{1,21} \right| \times 100 \% = 0,29 \%$$

• Rele C-1

$$\text{Error \%} = \left| \frac{HT - HS}{HT} \right| \times 100 \%$$

$$\text{Error \%} = \left| \frac{1,13 - 1,129}{1,13} \right| \times 100 \% = 0,09 \%$$

• Rele C-2

$$\text{Error \%} = \left| \frac{HT - HS}{HT} \right| \times 100 \%$$

$$\text{Error \%} = \left| \frac{2,26 - 2,25890}{2,26} \right| \times 100 \% = 0,05 \%$$

• Rele D-3

$$\text{Error \%} = \left| \frac{HT - HS}{HT} \right| \times 100 \%$$

$$\text{Error \%} = \left| \frac{1,13 - 1,129}{1,13} \right| \times 100 \% = 0,089 \%$$

• Rele D-4

$$\text{Error \%} = \left| \frac{HT - HS}{HT} \right| \times 100 \%$$

$$\text{Error \%} = \left| \frac{2,26 - 2,25890}{2,26} \right| \times 100 \% = 0,05 \%$$

• Rele Incoming

$$\text{Error \%} = \left| \frac{HT - HS}{HT} \right| \times 100 \%$$

$$\text{Error \%} = \left| \frac{0,5214 - 0,5214}{0,5214} \right| \times 100 \% = 0 \%$$

- **Rele Outgoing**

$$\text{Error \%} = \left| \frac{HT - HS}{HT} \right| \times 100 \%$$

$$\text{Error \%} = \left| \frac{0,5214 - 0,5214}{0,5214} \right| \times 100 \% = 0 \%$$

- **Rele A-1**

$$\text{Error \%} = \left| \frac{HT - HS}{HT} \right| \times 100 \%$$

$$\text{Error \%} = \left| \frac{1,16 - 1,1599}{1,16} \right| \times 100 \% = 0,009 \%$$

- **Rele A-2**

$$\text{Error \%} = \left| \frac{HT - HS}{HT} \right| \times 100 \%$$

$$\text{Error \%} = \left| \frac{1,18 - 1,16260}{1,18} \right| \times 100 \% = 1,5 \%$$

4. Error % Td Rele Hasil Perhitungan Konvensional dengan simulasi**• Rele EA-1**

$$\text{Error \%} = \left| \frac{HT - HS}{HT} \right| \times 100 \%$$

$$\text{Error \%} = \left| \frac{0,499 - 0,465}{0,499} \right| \times 100 \% = 6,81 \%$$

• Rele C-1

$$\text{Error \%} = \left| \frac{HT - HS}{HT} \right| \times 100 \%$$

$$\text{Error \%} = \left| \frac{0,997 - 0,994}{0,997} \right| \times 100 \% = 0,3009\%$$

• Rele C-2

$$\text{Error \%} = \left| \frac{HT - HS}{HT} \right| \times 100 \%$$

$$\text{Error \%} = \left| \frac{0,199 - 0,19869}{0,199} \right| \times 100 \% = 0,15 \%$$

• Rele D-3

$$\text{Error \%} = \left| \frac{HT - HS}{HT} \right| \times 100 \%$$

$$\text{Error \%} = \left| \frac{0,994 - 0,994}{0,994} \right| \times 100 \% = 0\%$$

• Rele D-4

$$\text{Error \%} = \left| \frac{HT - HS}{HT} \right| \times 100 \%$$

$$\text{Error \%} = \left| \frac{0,1992 - 0,19891}{0,1992} \right| \times 100 \% = 0,15\%$$

- **Rele Incoming**

$$\text{Error \%} = \left| \frac{HT - HS}{HT} \right| \times 100 \%$$

$$\text{Error \%} = \left| \frac{0,5 - 0,495}{0,5} \right| \times 100 \% = 1 \%$$

- **Rele Outgoing**

$$\text{Error \%} = \left| \frac{HT - HS}{HT} \right| \times 100 \%$$

$$\text{Error \%} = \left| \frac{0,69 - 0,68766}{0,69} \right| \times 100 \% = 0,33 \%$$

- **Rele A-1**

$$\text{Error \%} = \left| \frac{HT - HS}{HT} \right| \times 100 \%$$

$$\text{Error \%} = \left| \frac{0,1 - 0,9971}{0,1} \right| \times 100 \% = 0,29 \%$$

- **Rele A-2**

$$\text{Error \%} = \left| \frac{HT - HS}{HT} \right| \times 100 \%$$

$$\text{Error \%} = \left| \frac{0,199 - 0,19869}{0,199} \right| \times 100 \% = 0,15 \%$$

Lampiran Data Optimasi Logaritma NN

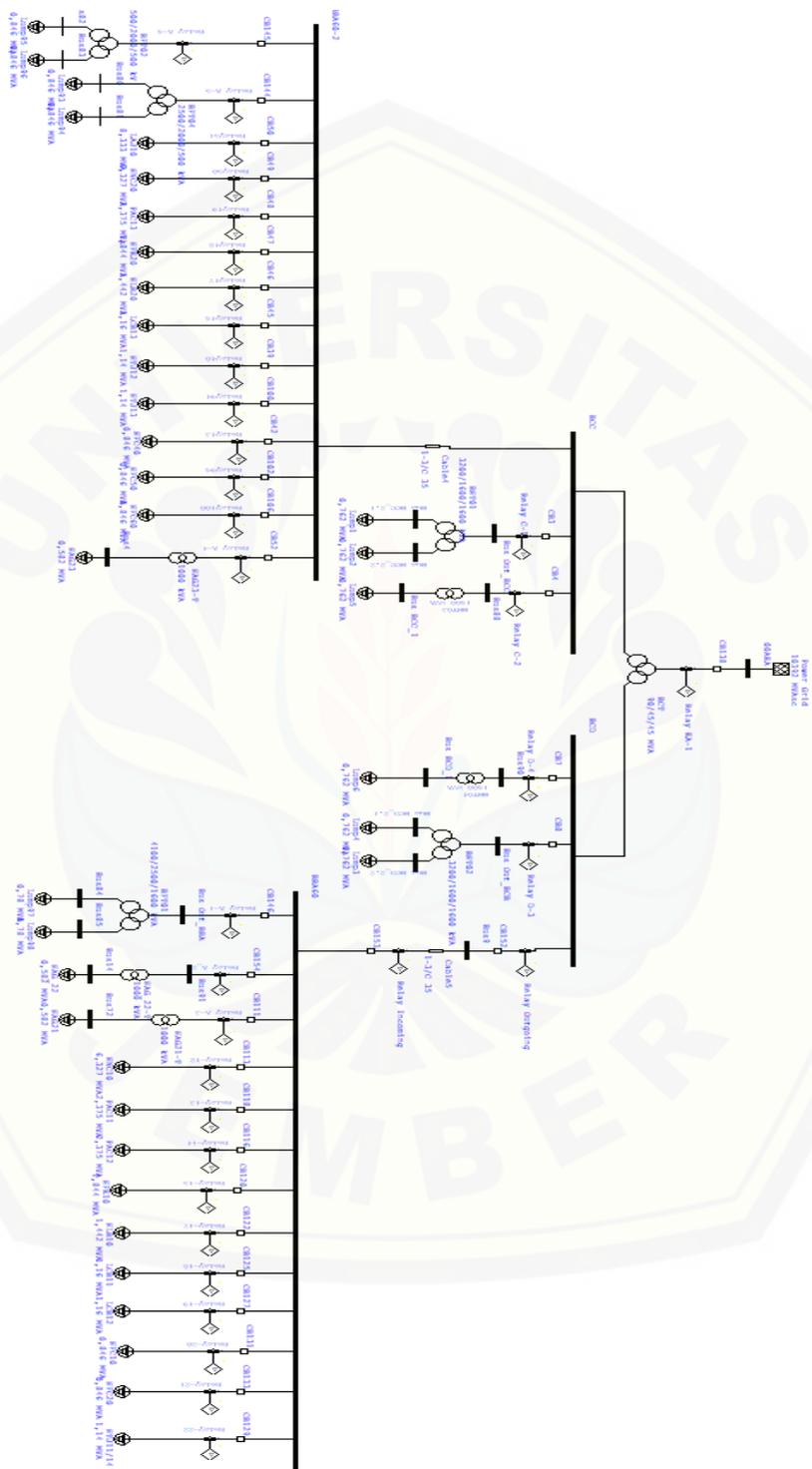
Bobot layer 1 dari input 1		
0,69123	1,7157	0,14483
-3,623	2,8926	-0,73716
-2,8071	-2,7836	-1,3516
-2,4867	0,98381	-1,7749
2,2609	-1,1869	-1,4457
-2,1917	1,3448	1,1842
2,,4389	-0,44814	1,5218

Bobot layer						
1,3115	-0,84977	-0,30444	0,38929	1,0379	-0,49785	-1,5645
-0,70776	-0,74766	-0,86853	0,013067	-3,629	-0,81188	-0,41789

Bias layer 1						
-3,9064	0,48064	0,86884	-0,44849	0,77642	-2,1181	2,4175

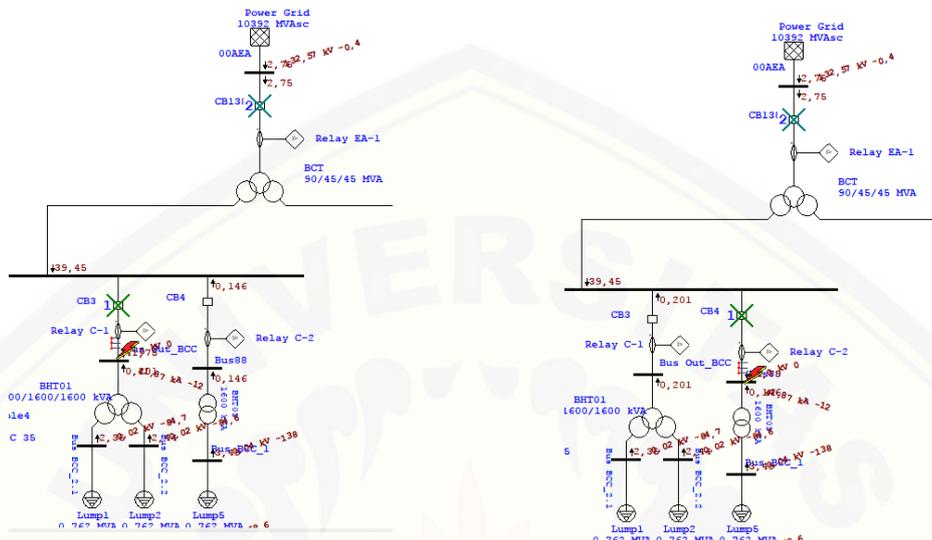
Bias layer 2	
0,88026	1,6571

Lampiran Single Line Diagram



Lampiran Hasil Simulasi ETAP 12.6.0

Tipikal Koordinasi 1



Sequence-of-Operation Event Summary Report

Symmetrical 3-Phase Fault at Bus Out_BCC.

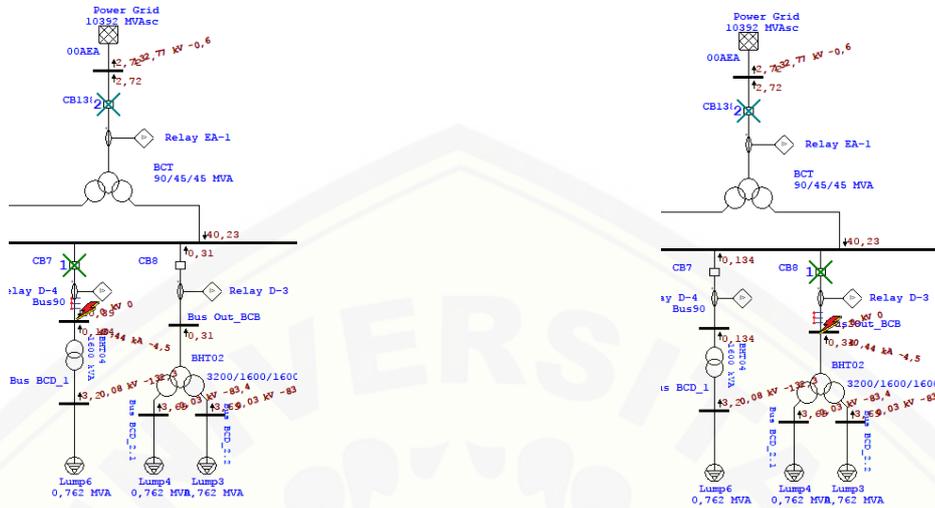
Time (ms)	ID	If (kA)	T1 (ms)	T2 (ms)	Condition
706	Relay C-1	39.510	<706		Phase - OC1 - S1
716	CB3		10,0		Tripped by Relay C-1 Phase - OC1 - S1
1137	Relay EA-1	2.755	1137		Phase - OC1 - S1
1147	CB138		10,0		Tripped by Relay EA-1 Phase - OC1 - S1

Sequence-of-Operation Event Summary Report

Symmetrical 3-Phase Fault at Bus88.

Time (ms)	ID	If (kA)	T1 (ms)	T2 (ms)	Condition
140	Relay C-2	39.543	<140		Phase - OC1 - S1
150	CB4		10,0		Tripped by Relay C-2 Phase - OC1 - S1
1137	Relay EA-1	2.755	1137		Phase - OC1 - S1
1147	CB138		10,0		Tripped by Relay EA-1 Phase - OC1 - S1

Tipikal Koordinasi 2



Sequence-of-Operation Event Summary Report

Symmetrical 3-Phase Fault at Bus Out_BCB.

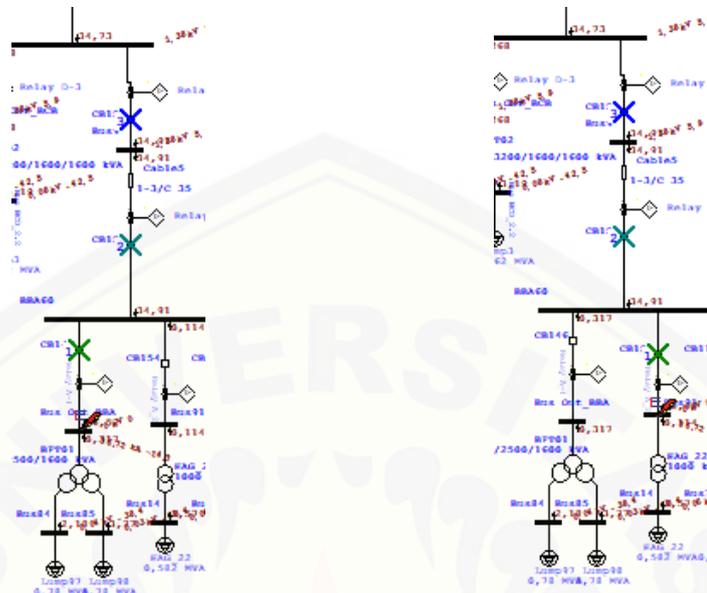
Time (ms)	ID	If (kA)	T1 (ms)	T2 (ms)	Condition
70.3	Relay D-3	39.487	<70,3		Phase - OC1 - 51
71.1	Relay D-3	39.487	<71,1		Phase - OC2 - 51
80.3	CB8		10,0		Tripped by Relay D-3 Phase - OC1 - 51
1136	Relay EA-1	2.755	1136		Phase - OC1 - 51
1146	CB138		10,0		Tripped by Relay EA-1 Phase - OC1 - 51

Sequence-of-Operation Event Summary Report

Symmetrical 3-Phase Fault at Bus90.

Time (ms)	ID	If (kA)	T1 (ms)	T2 (ms)	Condition
141	Relay D-4	39.585	<141		Phase - OC1 - 51
151	CB7		10,0		Tripped by Relay D-4 Phase - OC1 - 51
1136	Relay EA-1	2.755	1136		Phase - OC1 - 51
1146	CB138		10,0		Tripped by Relay EA-1 Phase - OC1 - 51
3570	Relay D-3	0.310	3570		Phase - OC1 - 51
3580	CB8		10,0		Tripped by Relay D-3 Phase - OC1 - 51
3618	Relay D-3	0.310	3618		Phase - OC2 - 51

Tipikal Koordinasi 3



Sequence-of-Operation Event Summary Report

Symmetrical 3-Phase Fault at Bus Out_BBA.

Time (ms)	ID	If (kA)	T1 (ms)	T2 (ms)	Condition
0.2	Relay A-3	0.114	<0,2		Phase - OC2 - 51
0.5	Relay A-5	0.152	0,5		Phase - OC2 - 51
71.1	Relay A-1	36.519	<71,1		Phase - OC1 - 51
81.1	CB146		10,0		Tripped by Relay A-1 Phase - OC1 - 51
99.2	Relay Incoming	34.912	<99,2		Phase - OC1 - 51
109	CB153		10,0		Tripped by Relay Incoming Phase - OC1 - 51
476	Relay Outgoing	34.912	<476		Phase - OC1 - 51
486	CB152		10,0		Tripped by Relay Outgoing Phase - OC1 - 51
1379	Relay EA-1	2.344	1379		Phase - OC1 - 51
1389	CB138		10,0		Tripped by Relay EA-1 Phase - OC1 - 51

Sequence-of-Operation Event Summary Report

Symmetrical 3-Phase Fault at Bus91.

Time (ms)	ID	If (kA)	T1 (ms)	T2 (ms)	Condition
0.2	Relay A-3	0.114	<0,2		Phase - OC2 - 51
0.5	Relay A-5	0.152	0,5		Phase - OC2 - 51
71.1	Relay A_2	36.651	<71,1		Phase - OC1 - 51
81.1	CB154		10,0		Tripped by Relay A_2 Phase - OC1 - 51
99.2	Relay Incoming	34.912	<99,2		Phase - OC1 - 51
109	CB153		10,0		Tripped by Relay Incoming Phase - OC1 - 51
476	Relay Outgoing	34.912	<476		Phase - OC1 - 51
486	CB152		10,0		Tripped by Relay Outgoing Phase - OC1 - 51
1379	Relay EA-1	2.344	1379		Phase - OC1 - 51
1389	CB138		10,0		Tripped by Relay EA-1 Phase - OC1 - 51