



**PENERAPAN JARINGAN SYARAF TIRUAN  
*BACKPROPAGATION* TERHADAP AKURASI HASIL  
PENGATURAN RELAI ARUS LEBIH PADA  
JARINGAN DISTRIBUSI 20 KV**

**Skripsi**

**diajukan sebagai salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar  
Sarjana Pendidikan Program Studi Pendidikan Teknik Elektro**

**Oleh:**

**Wahyu Yanuar Rizky**

**NIM.5301415047**

**PENDIDIKAN TEKNIK ELEKTRO  
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG  
2019**

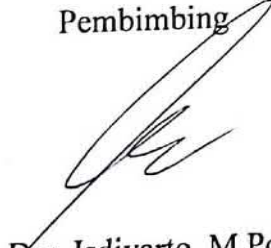
## PERSETUJUAN PEMBIMBING

Nama : Wahyu Yanuar Rizky  
NIM : 5301415047  
Program Studi : Pendidikan Teknik Elektro  
Judul : Penerapan Jaringan Syaraf Tiruan *Backpropagation* Terhadap  
Akurasi Hasil Pengaturan Relai Arus Lebih Pada Jaringan  
Distribusi 20 KV

Skripsi ini telah disetujui oleh pembimbing untuk diajukan ke sidang panitia ujian  
Skripsi Program Studi Pendidikan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas  
Negeri Semarang.

Semarang, 9 Agustus 2019

Pembimbing



Drs. Isdiyarto, M.Pd  
NIP. 195706051986011001

## PENGESAHAN

Skripsi dengan judul “Penerapan Jaringan Syaraf Tiruan *Backpropagation* terhadap Akurasi Hasil Pengaturan Relai Arus Lebih Pada Jaringan Distribusi 20 KV” telah dipertahankan di depan sidang Panitia Ujian Skripsi Fakultas Teknik UNNES pada tanggal 21 bulan Agustus tahun 2019.

Oleh:

Nama : Wahyu Yanuar Rizky  
NIM : 5301415047  
Program Studi : Pendidikan Teknik Elektro

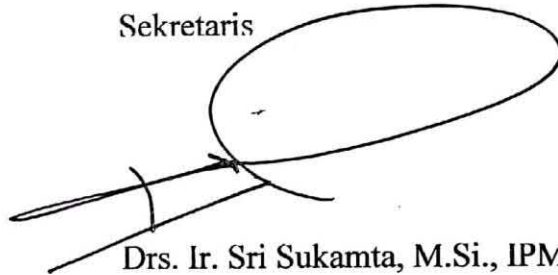
Panitia:

Ketua




Drs. Agus Suryanto, M.T.  
NIP. 196708181992031004

Sekretaris



Drs. Ir. Sri Sukamta, M.Si., IPM.  
NIP. 196505081991031003

Penguji 1



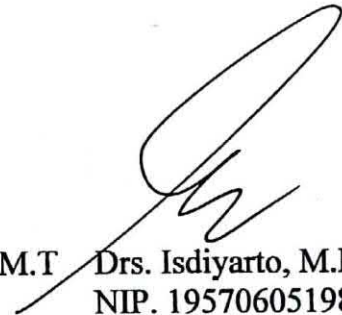
Dr. H. Noor Hudallah, M.T.  
NIP. 196410161989011001

Penguji 2



Drs. Yohanes Primadiyono, M.T.  
NIP. 196209021987031002

Penguji 3/Pembimbing



Drs. Isdiyarto, M.Pd  
NIP. 195706051986011001

Mengetahui,  
Dekan Fakultas Teknik UNNES



Sur Qudus, M.T., IPM.  
NIP. 196911301994031001

## PERNYATAAN KEASLIAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa:

1. Skripsi ini adalah asli dan belum pernah diajukan untuk mendapatkan gelar akademik (sarjana, magister, dan/atau doktor), baik di Universitas Negeri Semarang (UNNES) maupun di perguruan tinggi lain.
2. Skripsi ini adalah murni gagasan, rumusan, dan penelitian saya sendiri, tanpa bantuan pihak lain, kecuali arahan Pembimbing dan masukan tim penguji.
3. Dalam karya tulis ini tidak terdapat karya atau pendapat yang telah ditulis atau dipublikasikan orang lain, kecuali secara tertulis dengan jelas dicantumkan sebagai acuan dalam naskah dengan disebutkan nama pengarang dan dicantumkan dalam daftar pustaka.
4. Pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya dan apabila dikemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik berupa pencabutan gelar yang telah diperoleh karena karya ini, serta sanksi lainnya sesuai dengan norma yang berlaku di perguruan tinggi ini.

Semarang, 9 Agustus 2018  
Yang membuat pernyataan



Wahyu Yanuar Rizky  
NIM. 5301415047

## MOTTO DAN PERSEMBAHAN

### Motto:

- ❖ “Rajin, disiplin, masa depan terjamin”. (Penulis)
- ❖ “Orang yang tidak pernah melakukan kesalahan biasanya tidak pernah berbuat apa-apa”. (William Connor Magee)
- ❖ “Sebaik-baik kalian adalah yang bermanfaat dan berguna bagi orang lain”. (HR.Tirmidzi).

### Persembahan :

Dengan mengucapkan syukur kehadiran Allah SWT, kupersembahkan skripsi ini untuk:

- ❖ Orangtua tercinta, ibu (Sri Buti Indrawati) dan bapak (Bambang Brigonondho) atas segala doa, dukungan moral dan moril yang tak pernah lelah dan terhenti.
- ❖ Kedua kakak kandungku, mbak Kartika dan mas Chandra yang selalu memberi motivasi dan semangat.
- ❖ Kedua kakak iparku, mas Imam dan mbak Nurul yang selalu memberi arahan dan semangat.
- ❖ Keponakan, dek Aqilla, semoga jadi anak yang sholihah, cerdas dan berakhlak mulia
- ❖ Norma Widyastuti, *partner* yang selalu memberi semangat tanpa kenal waktu.
- ❖ Teman-teman Pendidikan Teknik Elektro 2015, khususnya ROMBEL 3
- ❖ Sahabat dan teman yang selalu ada setiap saat.

## RINGKASAN

Wahyu Yanuar Rizky. 2019. Penerapan Jaringan Syaraf Tiruan *Backpropagation* terhadap Akurasi Hasil Pengaturan Relai Arus Lebih pada Jaringan Distribusi 20 KV. Drs. Isdiyarto, M.Pd. Program Studi Pendidikan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Semarang.

Relai arus lebih merupakan relai proteksi yang dapat mengamankan jaringan dari gangguan hubung singkat atau beban lebih. Sejumlah besar relai trip terjadi karena pengaturan yang tidak tepat atau tidak memadai daripada kesalahan asli. Perkembangan teknologi informasi saat ini melahirkan berbagai macam algoritma untuk menyelesaikan suatu masalah. Salah satu algoritma pemrograman yang dapat digunakan untuk mengatur relai arus lebih adalah jaringan syaraf tiruan.

Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah eksperimen dengan bentuk *True experimental design*. Peneliti dapat mengontrol semua variabel luar yang mempengaruhi jalannya eksperimen. Jaringan syaraf tiruan digunakan untuk menentukan pengaturan TMS (Time Multiplier Setting) dan Iset.

Dari hasil pemodelan didapatkan model jaringan dengan fungsi pelatihan TRAINGDX dengan jumlah neuron 20. Model jaringan tersebut menghasilkan nilai  $R = 0,99617$  dan nilai  $MSE = 0,00031851$  pada epoch 206. Pelatihan tersebut dapat tercapai dalam waktu 6 detik. Nilai dari perf sebesar 0,00031851 dan lebih kecil dibandingkan nilai *max\_perf\_inc* sehingga bobot baru tersebut diterima. Hasil dari jaringan syaraf tiruan tersebut dicari nilai *trip time* relainya dan dibandingkan dengan pengaturan PLN. Selisih terbesar terjadi pada kasus ke-7 dengan selisih waktu *trip time* relai sebesar 0,025608 detik dan selisih terkecil terjadi pada kasus ke-15 dengan selisih 0,000274 detik.

*Kata kunci : Backpropagation, JST, Relai, TRAINGDX*

## PRAKATA

Segala puji dan syukur penulis ucapkan kehadirat Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Skripsi yang berjudul Penerapan Jaringan Syaraf Tiruan *Backpropagation* terhadap Akurasi Hasil Pengaturan Relai Arus Lebih pada Jaringan Distribusi 20 KV. Skripsi ini disusun sebagai salah satu persyaratan meraih gelar Sarjana Pendidikan pada Program Studi S1 Pendidikan Teknik Elektro Univeritas Negeri Semarang. Shalawat dan salam disampaikan kepada Nabi Muhammad SAW, mudah-mudahan kita semua mendapatkan safaat Nya di yaumil akhir nanti, Aamiin.

Penyelesaian karya tulis ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak, oleh karena itu pada kesempatan ini penulis menyampaikan ucapan terima kasih serta penghargaan kepada:

1. Bambang Brigonondho, S.Pd., dan Dra. Sri Buti Indrawati, kedua orangtua yang telah menyayangi penulis dengan dukungan moral dan moril sehingga penulis dapat menyelesaikan studi di Universitas Negeri Semarang.
2. Prof. Dr. Fathur Rokhman, M.Hum, Rektor Universitas Negeri Semarang atas kesempatan yang diberikan kepada penulis untuk menempuh studi di Universitas Negeri Semarang.
3. Dr. Nur Qudus, MT, Dekan Fakultas Teknik, Dr.-ing. Dhidik Prastiyanto, S.T., MT., selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro dan Koordinator Program Studi Pendidikan Teknik Elektro atas fasilitas yang disediakan bagi mahasiswa.
4. Drs. Isdiyarto, M.Pd., Dosen Pembimbing yang penuh perhatian dan atas berkenaan memberi bimbingan dan dapat dihubungi sewaktu-waktu disertai kemudahan menunjukkan sumber-sumber yang relevan dengan penulisan karya ini.
5. Dr. H. Noor Hudallah, M.T., selaku Dosen Penguji I dan Drs. Yohanes Primadiyono, M.T., selaku Dosen Penguji II yang telah memberi masukan

yang sangat berharga berupa saran, ralat, perbaikan, pertanyaan, komentar, tanggapan, menambah bobot dan kualitas karya tulis ini.

6. Galih Santiko Aji, pegawai PLN yang telah memberikan arahan dan ilmu dalam pengambilan data di PT.PLN UP3 Semarang.
7. Semua dosen jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik UNNES yang telah memberi bekal pengetahuan yang berharga.
8. Norma Widyastuti selaku *partner* yang selalu memberikan semangat dan doa tak kenal waktu
9. Aziz Saputro, teman kos satu kamar yang telah memberi semangat dengan cara yang tidak terduga-duga.
10. Teman-teman Rombel 3 PTE 2015 yang selalu memberikan semangat dan candaan setiap saat.
11. Berbagai pihak yang telah memberikan bantuan yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

Penulis harap semoga skripsi ini dapat bermanfaat untuk lembaga pendidikan, pengembang dan masyarakat.

Semarang, 9 Agustus 2019

Penulis



## DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL .....	i
LEMBAR PERSETUJUAN PEMBIMBING .....	ii
LEMBAR PENGESAHAN .....	iii
LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN .....	iv
MOTTO DAN PERSEMBAHAN .....	v
RINGKASAN .....	vi
PRAKATA .....	vii
DAFTAR ISI .....	ix
DAFTAR TABEL .....	xi
DAFTAR GAMBAR .....	xii
DAFTAR LAMPIRAN .....	xiv
BAB I PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Identifikasi Masalah .....	6
1.3 Pembatasan Masalah .....	6
1.4 Perumusan Masalah .....	7
1.5 Tujuan Penelitian .....	7
1.6 Manfaat Penelitian .....	8
1.7 Penegasan Istilah .....	8
BAB II KAJIAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI .....	10
2.1 Kajian Pustaka .....	10
2.2 Sistem Distribusi 20 KV .....	15
2.3 Gangguan Penyaluran Listrik .....	22
2.4 Transformator Arus .....	23
2.5 Relai .....	27
2.6 Jaringan Syaraf Tiruan .....	36
2.7 <i>Back Propagation</i> .....	41
2.8 Matlab .....	48
2.9 ETAP .....	49

BAB III METODE PENELITIAN .....	51
3.1 Waktu dan Tempat Pelaksanaan .....	51
3.2 Desain Penelitian .....	51
3.3 Rancangan Penelitian .....	51
3.4 Alat dan Bahan Penelitian .....	60
3.5 Parameter Penelitian .....	61
3.6 Teknik Pengumpulan Data .....	63
3.7 Teknik Analisis Data .....	64
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....	68
4.1 Hasil Penelitian .....	68
4.2 Pembahasan .....	81
BAB V PENUTUP .....	94
5.1 Simpulan .....	94
5.2 Saran .....	95
DAFTAR PUSTAKA .....	96
LAMPIRAN .....	99

## DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1 Konfigurasi Tegangan Negara-negara ASEAN .....	17
Tabel 2.2 Rasio Transformator Arus .....	25
Tabel 3.1 Data Input .....	55
Tabel 3.2 Data Output .....	55
Tabel 3.3 Pembobotan pada data input dan output .....	56
Tabel 3.4 Spesifikasi Objek Penelitian .....	60
Tabel 3.5 Tabel Pelatihan Jaringan Syaraf Tiruan .....	64
Tabel 3.6 Tabel Perbandingan pengaturan PLN dengan JST .....	66
Tabel 3.7 Tabel Perbandingan <i>Trip Time</i> Relai PLN dengan JST .....	66
Tabel 4.1 Data Arus gangguan, jenis gangguan, lokasi gangguan, Iset dan TMS dari PT. PLN .....	68
Tabel 4.2 Susunan pola data yang telah diberi bobot .....	69
Tabel 4.3 Parameter Hasil Penelitian .....	75
Tabel 4.4 Persentase nilai kesalahan pelatihan dan pengujian .....	77
Tabel 4.5 Perbandingan Hasil Keluaran dengan Target Y1 .....	78
Tabel 4.6 Perbandingan Hasil Keluaran dengan Target Y2 .....	79
Tabel 4.7 Perbandingan Pengaturan PLN dengan JST .....	80
Tabel 4.8 Perbandingan <i>Trip Time</i> Relai PLN dengan JST .....	87
Tabel 4.9 Kurva karakteristik relai .....	90
Tabel 4.10 Perbandingan dengan perhitungan .....	91

## DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 Jaringan Distribusi Tegangan Menengah (JTM), Jaringan Tegangan Rendah (JTR) dan Sambungan Rumah ke Pelanggan .....	16
Gambar 2.2 Topologi Jaringan Distribusi Radial .....	18
Gambar 2.3 Topologi Jaringan Distribusi <i>Loop</i> .....	19
Gambar 2.4 Topologi Jaringan Distribusi Mesh .....	21
Gambar 2.5 Rangkaian Ekuivalen Transformator Arus .....	27
Gambar 2.6 Skema Pengaman Saluran Transmisi/Distribusi oleh OCR..	30
Gambar 2.7 Rangkaian Relai arus lebih .....	31
Gambar 2.8 Kurva Relai arus lebih <i>Inverse time</i> .....	33
Gambar 2.9 Rangkaian Listrik Relai Arus Hubung Tanah Selektif .....	35
Gambar 2.10 Arsitektur Jaringan Neuron Y .....	37
Gambar 2.11 Model Matematis Syaraf Tiruan .....	38
Gambar 2.12 Fungsi Aktivasi Undak Bipolar .....	39
Gambar 2.13 Fungsi Aktivasi Linear .....	40
Gambar 2.14 Fungsi Aktivasi Sigmoid Biner .....	40
Gambar 2.15 Fungsi Aktivasi Sigmoid Biner .....	41
Gambar 2.16 Arsitektur Jaringan <i>Backpropagation</i> .....	43
Gambar 2.17 Tampilan Aplikasi MATLAB .....	49
Gambar 2.18 Tampilan Aplikasi ETAP .....	50
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian .....	52
Gambar 3.2 Diagram satu garis topologi jaringan <i>loop</i> .....	53
Gambar 3.3 Rancangan arsitektur jaringan syaraf tiruan .....	53
Gambar 3.4 Pembuatan data input untuk JST .....	57
Gambar 3.5 Perintah untuk <i>library</i> JST pada <i>Command Window</i> .....	57
Gambar 3.6 Kotak dialog data manager .....	58
Gambar 3.7 Pembuatan arsitektur jaringan .....	58
Gambar 4.1 Data <i>manager</i> arsitektur jaringan .....	70
Gambar 4.2 Kotak dialog <i>training info</i> .....	71
Gambar 4.3 Kotak dialog <i>training parameters</i> .....	71

Gambar 4.4 Kotak dialog proses pelatihan jaringan .....	71
Gambar 4.5 Kurva <i>performance</i> jaringan .....	73
Gambar 4.6 Kurva <i>regression</i> jaringan .....	74
Gambar 4.7 Model Jaringan TRAINGDX20 .....	81
Gambar 4.8 Kurva Relai KLS 07 berdasarkan Pengaturan PLN .....	84
Gambar 4.9 Kurva Relai KLS 07 berdasarkan Pengaturan JST .....	85

## DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
Lampiran 1. Usulan Topik Skripsi .....	99
Lampiran 2. Usulan Pembimbing .....	100
Lampiran 3. Surat Penetapan Dosen Pembimbing Skripsi .....	101
Lampiran 4. Usulan Judul Skripsi .....	102
Lampiran 5. Surat Tugas Penguji Seminar Proposal .....	103
Lampiran 6. Daftar Hadir Seminar Proposal Skripsi .....	104
Lampiran 7. Daftar Hadir Peserta Seminar Proposal Skripsi .....	105
Lampiran 8. Berita Acara Seminar Proposal Skripsi .....	106
Lampiran 9. Daftar Hadir Dosen Penguji Seminar Proposal Skripsi .....	107
Lampiran 10. Surat Izin Penelitian .....	108

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Dalam Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 20 Tahun 2002 tentang Ketenagalistrikan pasal 1 ayat 6 menyebutkan bahwa “Sistem tenaga listrik adalah rangkaian instalasi tenaga listrik dari pembangkitan, transmisi, dan distribusi yang dioperasikan secara serentak dalam rangka penyediaan tenaga listrik”. Dapat diartikan bahwa sistem ketenagalistrikan di Indonesia terbagi menjadi tiga komponen utama, yaitu pembangkit, transmisi, dan distribusi. Sistem pembangkitan dapat dibagi menjadi tiga bagian: pembangkitan, transmisi dan distribusi dan pembebanan. Pasal 1 ayat 7 UU RI No. 20/2002 menyebutkan bahwa “Pembangkitan Tenaga Listrik adalah kegiatan memproduksi tenaga listrik”. Selanjutnya dalam pasal 1 ayat 8 UU RI No. 20/2002 disebutkan bahwa “Transmisi tenaga listrik adalah penyaluran tenaga listrik dari suatu sumber pembangkitan ke suatu sistem distribusi atau kepada konsumen penyaluran tenaga listrik antarsistem”. Sedangkan dalam pasal 1 ayat 9 UU RI No. 20/2002 disebutkan bahwa “Distribusi tenaga listrik adalah penyaluran tenaga listrik dari sistem transmisi atau dari sistem pembangkitan kepada konsumen”.

Sistem distribusi merupakan sistem tenaga listrik yang berfungsi menyalurkan listrik ke konsumen (Setiajie, 2015). Sistem distribusi terdiri dari jaringan tegangan menengah (JTM) dan jaringan tegangan rendah (JTR). Tujuan utama dari sistem tenaga listrik adalah penyaluran daya listrik yang mempunyai

mutu dan keandalan yang tinggi serta aman terhadap peralatan listrik dan berbagai bentuk gangguan (Badaruddin, 2014). Syahputra (2017) dalam Buku Ajar Transmisi dan Distribusi Tenaga Listrik mengklasifikasikan jaringan distribusi berdasarkan letak jaringan terhadap posisi gardu distribusi menjadi dua jenis yaitu jaringan distribusi primer dan jaringan distribusi sekunder. Jaringan distribusi primer berfungsi menyalurkan tenaga listrik bertegangan menengah. Jaringan distribusi sekunder berfungsi menyalurkan tenaga listrik bertegangan rendah.

Dalam pasal 1 ayat 1 UU RI No. 20/2002 menyebutkan bahwa sistem ketenagalistrikan adalah segala sesuatu yang menyangkut penyediaan dan pemanfaatan tenaga listrik serta usaha penunjang tenaga listrik. Dalam pasal 1 ayat 3 UU RI No. 20/2002 menyebutkan bahwa penyediaan tenaga listrik adalah pengadaan tenaga listrik mulai dari titik pembangkitan sampai dengan titik pemakaian. Penyaluran tenaga listrik harus mengutamakan mutu keandalan dan kontinuitas penyaluran agar energi listrik dapat tersalurkan dengan baik menuju konsumen. Keandalan menjadi suatu indikator acuan pelayanan penyediaan tenaga listrik dari sistem menuju konsumen. Tidak dapat dipungkiri bahwa keandalan sistem distribusi tenaga listrik dipengaruhi dari berbagai aspek diantaranya konfigurasi sistem, alat pengaman yang dipasang, dan sistem proteksinya.

Berdasarkan data statistik ketenagalistrikan tahun 2018, jumlah pelanggan dari empat sektor pengguna (industri, rumah tangga, usaha dan umum) dalam kurun waktu lima tahun terakhir dari tahun 2012 hingga tahun 2017 semakin meningkat. Pada tahun 2012 jumlah pelanggan 49.795.249. Kemudian tahun 2013



terjadi kenaikan menjadi 53.996.208 pelanggan. Tahun 2014 jumlah pelanggan 57.493.234. Jumlah ini meningkat pada tahun 2015 menjadi 61.167.980 pelanggan. Pada tahun 2016 jumlah pengguna meningkat menjadi 64.282.493 pelanggan. Kemudian di tahun 2017 jumlah pengguna menjadi 68.068.283 pelanggan.

Data tersebut akan terus bertambah seiring berjalannya waktu dan sejalan dengan bonus demografi Indonesia yang ditandai dengan bertambahnya penduduk. Peningkatan tersebut tentunya harus diimbangi dengan pelayanan dalam penyaluran tenaga listrik. Apabila dalam distribusi tenaga listrik terjadi gangguan, maka peralatan proteksi harus mampu bekerja sesuai persyaratan sistem proteksi.

Masalah utama dalam sistem distribusi adalah jumlah gangguan yang relatif banyak dibandingkan dengan jumlah gangguan pada sistem lain (Marsudi, 2006:14). Dalam jaringan distribusi, salah satu peralatan yang harus dilindungi adalah trafo distribusi. Transformator adalah suatu alat listrik statis yang berfungsi merubah tegangan guna penyaluran daya listrik dari suatu rangkaian ke rangkaian yang lain yang bekerja berdasarkan prinsip induksi elektromagnetik (Badaruddin, 2014). Trafo distribusi berfungsi untuk menurunkan tegangan transmisi menjadi tegangan jaringan distribusi primer (6 kV sampai 20 kV) maupun tegangan jaringan distribusi sekunder (220 V / 380 V). Apabila trafo distribusi terjadi kerusakan, maka diperlukan perbaikan atau kerugian paling besar yaitu perlu mengganti trafo tersebut.

Gangguan yang terjadi pada operasi sistem tenaga listrik merupakan kejadian yang dapat memicu kinerja pengaman tenaga listrik. Gangguan yang terjadi pada jaringan distribusi dapat disebabkan oleh faktor alam maupun faktor manusia. Gangguan yang sering terjadi yaitu gangguan hubung singkat antar fasa atau gangguan hubung singkat fasa tanah (Setiajie dkk, 2015). Kondisi tersebut tidak dapat dibiarkan dalam waktu yang lama karena dapat menimbulkan kerusakan pada peralatan listrik serta dapat menimbulkan kerugian yang besar bagi pemasok listrik dalam hal ini PLN.

Sujito (2013) menyatakan bahwa gangguan yang dapat merusak kerja trafo distribusi disebabkan dari dua jenis, yaitu gangguan eksternal (sumber dari luar daerah pengamanan) dan gangguan internal (sumber dari dalam daerah pengamanan). Kedua gangguan tersebut tentu saja tidak dapat dihindarkan dan dapat merusak peralatan dan dapat membahayakan manusia. Dari gangguan tersebut hanya dapat diminimalisir resiko yang terjadi setelah gangguan tersebut.

Sistem proteksi merupakan sistem keamanan terhadap suatu alat yang dapat ditimbulkan dari gangguan alam maupun manusia. Dalam buku Pedoman Pemeliharaan Proteksi dan Kontrol Transformator disebutkan bahwa sistem proteksi bertujuan untuk mengidentifikasi gangguan dan memisahkan bagian yang terganggu dari bagian lain yang masih sehat sekaligus mengamankan bagian yang masih sehat dari kerusakan atau kerugian yang lebih besar. Sistem proteksi yang baik mampu bekerja berdasarkan keadaan yang terjadi tanpa mengganggu kontinuitas pelayanan distribusi listrik. Sistem proteksi dapat dikatakan baik apabila memenuhi persyaratan keandalan, selektif, kepekaan dan cepat.

Sistem proteksi terdiri dari Relai Proteksi, Transformator Arus (CT) dan atau Transformator Tegangan (PT), PMT, Catu daya yang terintegrasi dalam suatu rangkaian. Untuk efektifitas dan efisiensi, maka setiap peralatan proteksi yang dipasang harus disesuaikan dengan kebutuhan dan ancaman ketahanan peralatan yang dilindungi sehingga peralatan proteksi digunakan sebagai jaminan pengaman.

Dengan dituntutnya kebutuhan jaminan pengaman agar pelayanan tenaga listrik tetap kontinyu, maka peralatan proteksi perlu diatur sedemikian rupa sehingga mampu bekerja sesuai keadaan tanpa menginterupsi sistem yang telah ada.

Relai arus lebih (*Overcurrent Relay*) merupakan relai proteksi yang dapat mengamankan jaringan dari gangguan hubung singkat antarfasa atau fasa tanah. Sejumlah besar relai *trip* terjadi karena pengaturan yang tidak tepat atau tidak memadai daripada kesalahan asli. Kesalahan tersebut terjadi karena perhitungan *setting* yang sesuai dengan kondisi tertentu tetapi tidak dapat digunakan dalam kondisi lain.

Pemanfaatan teknologi informasi saat ini melahirkan berbagai macam algoritma untuk menyelesaikan suatu masalah. Salah satu perkembangan algoritma pemrograman yang sudah ada yaitu algoritma jaringan syaraf tiruan. Model dari jaringan syaraf tiruan yang dapat digunakan ialah *backpropagation*. Jaringan Syaraf Tiruan *Backpropagation* memiliki kelebihan karena pembelajarannya dilakukan berulang-ulang sehingga dapat mewujudkan sistem yang tahan akan kerusakan dan dapat bekerja dengan baik. Dengan menggunakan

Jaringan Syaraf Tiruan *Backpropagation* ini diharapkan dapat memberikan alternatif lain dalam memperkirakan dan mengatur *settingan* relai untuk keperluan proteksi (Sudarsono, 2016: 62).

Berdasarkan dari permasalahan yang telah diuraikan, maka perlu dilakukan penelitian dengan judul **“Penerapan Jaringan Syaraf Tiruan Terhadap Akurasi Hasil Pengaturan Relai Arus Lebih Pada Jaringan Distribusi 20 KV”**.

## **1.2 Identifikasi Masalah**

Gangguan dalam penyaluran tenaga listrik merupakan hal yang tidak dapat dihindarkan. Gangguan tersebut hanya dapat diminimalisir atas resiko yang terjadi dalam jaringan distribusi. Pengaturan relai arus lebih dalam jaringan distribusi merupakan hal yang sangat penting dalam pelayanan kontinuitas tenaga listrik. Pengaturan yang tidak sesuai akan berdampak pada kinerja relai dalam mengatasi gangguan. Dari permasalahan di atas perlu dilakukan pengaturan relai arus lebih dengan metode yang mampu mengenali berbagai kondisi dan dapat bekerja dengan handal dan cepat.

## **1.3 Pembatasan Masalah**

Dalam penelitian ini perlu adanya pembatasan masalah agar penelitian lebih terfokus pada masalah yang dihadapi. Pembatasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Penelitian ini dilakukan dengan perhitungan matlab r2013a dan disimulasikan dengan ETAP 12.6.0.

2. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaturan waktu dan arus pada relai arus lebih menggunakan jaringan syaraf tiruan.
3. Jaringan distribusi tenaga listrik yang digunakan dalam penelitian ini adalah tipe loop *double feeder*.
4. Jaringan syaraf tiruan yang digunakan dalam penelitian ini adalah propagasi balik.

#### **1.4 Perumusan Masalah**

Dari identifikasi masalah tersebut, permasalahan yang akan diambil dalam penelitian ini sebagai berikut:

1. Bagaimana memodelkan metode jaringan syaraf tiruan *backpropagation* yang tepat untuk pengaturan TMS dan Iset pada relai arus lebih penyulang KLS07 dan SRL09?
2. Bagaimana perbandingan *trip time* relai antara jaringan syaraf tiruan dengan PT.PLN pada pengaturan TMS dan arus pada relai arus lebih penyulang KLS07 dan SRL09?

#### **1.5 Tujuan Penelitian**

Berdasarkan rumusan masalah di atas, tujuan penelitian yang hendak dicapai yaitu:

1. Untuk memodelkan jaringan syaraf tiruan *backpropagation* yang tepat untuk pengaturan TMS dan Iset pada relai arus lebih penyulang KLS07 dan SRL09.

2. Untuk mengetahui perbandingan *trip time* relai antara jaringan syaraf tiruan dengan PT.PLN pada pengaturan TMS dan arus pada relai arus lebih KLS07 dan SRL09.

### **1.6 Manfaat Penelitian**

Dari penelitian ini, beberapa manfaat yang didapatkan yaitu:

1. Bagi Peneliti

Dapat menambah pengetahuan dan dapat mengaplikasikan ilmu yang telah didapatkan selama perkuliahan.

2. Bagi Peneliti selanjutnya

Dengan penelitian ini diharapkan dapat menjadi sarana referensi penelitian mengenai proteksi relai arus lebih dan jaringan syaraf tiruan khususnya *backpropagation*.

3. Bagi PT.PLN

Dengan penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi perkembangan algoritma pemrosesan yang dapat diterapkan pada relai arus lebih untuk proteksi sistem tenaga listrik 20 KV.

### **1.7 Penegasan Istilah**

Untuk memudahkan pemahaman dan menghindari salah penafsiran, maka dalam penelitian ini dijabarkan beberapa istilah sebagai berikut:

1. Jaringan distribusi *loop* merupakan tipe jaringan yang dipilih untuk wilayah pelanggan yang membutuhkan tingkat keandalan sangat tinggi, misalnya di wilayah industri berat/besar, kantor-kantor strategis/vital yang

membutuhkan suplai daya listrik terus menerus tanpa sedikitpun waktu pemadaman (Ngadirin, 2008: 52).

2. Relai arus lebih merupakan relai yang digunakan pada sistem tenaga listrik untuk mengamankan sistem dari gangguan beban lebih (*overload*) dan gangguan hubung singkat (*overcurrent*). (Hasben, 2016: 237)
3. Jaringan syaraf tiruan merupakan sistem pengolah informasi yang memiliki karakteristik mirip seperti jaringan syaraf biologi (Siang, 2005: 2).
4. “Propagasi balik merupakan algoritma pembelajaran yang terawasi dan biasanya digunakan oleh perceptron dengan banyak lapisan untuk mengubah bobot-bobot yang terhubung dengan neuron-neuron yang ada pada lapisan tersembunyinya” (Kusumadewi, 2004: 93).
5. “Akurasi merupakan kesamaan atau kedekatan suatu hasil pengukuran terhadap angka atau data sebenarnya” (KBBI, 2019).

Berdasarkan istilah-istilah yang telah dijelaskan bahwa penelitian ini berbentuk simulasi menggunakan aplikasi software MATLAB dan ETAP. Pengaturan relai arus lebih dalam penelitian ini menggunakan algoritma jaringan syaraf tiruan *backpropagation*, dimana algoritma ini digunakan untuk menentukan pengaturan arus dan pengaturan faktor pengali waktu. Penelitian ini diterapkan pada jaringan distribusi listrik 20 KV yang notabene nya sering mendapat gangguan karena berdekatan dengan konsumen.

## BAB II

### KAJIAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

#### 2.1 Kajian Pustaka

Berikut ini merupakan beberapa penelitian terdahulu yang berkaitan dengan pengaturan relai arus lebih menggunakan metode jaringan syaraf tiruan propagasi balik pada jaringan distribusi 20 kV:

1. Penelitian Musirikare, *et al.*, (2018) judul “*ANN-Based Modeling of Directional Overcurrent Relay Characteristic Applied in Radial Distribution System with Distributed Generations*”. Penelitian ini menggunakan jaringan syaraf tiruan *backpropagation* dengan fungsi pelatihan *Lavenberg-marquardt*. *Input* data dari penelitian ini adalah sumber tegangan, lokasi gangguan dan arus maksimum gangguan. *Output* data dari penelitian ini adalah pengaturan TMS, arus *pickup* dan *trip time* relai. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai MSE sebesar  $1,6766 \times 10^{-12}$ . Nilai ini membuktikan bahwa *output* jaringan sangat mendekati target. Nilai  $R=1$  yang menunjukkan adanya hubungan antara *input* dan *output*.
2. Penelitian Lestari, *et al.*, (2018) judul “*Adaptive DOCR Coordination in Loop Distribution System With Distributed Generation Using Firefly Algorithm-Artificial Neural Network*”. Penelitian ini menggunakan dua algoritma yaitu *firefly algorithm* dan jaringan syaraf tiruan. *Input* data untuk jaringan syaraf tiruan berupa besarnya arus gangguan maksimal dan



*target* data berupa TMS dan *Ipickup*. Dari hasil pelatihan dan pengujian menggunakan jaringan syaraf tiruan, nilai MSE sebesar  $1,1666e-11$  dengan nilai  $R = 1$  sehingga data *output* mendekati target.

3. Penelitian Thouern, *et al.*, (2017) judul “*Overcurrent Relay Modeling Using Artificial Neural Network*”. Penelitian ini menggunakan *prototype* relai arus lebih dengan menggunakan *microcontroller* dengan arus gangguan sebagai *input* data dan *trip time* relai sebagai target data. Hasil penelitian tersebut menyimpulkan bahwa penggunaan jaringan syaraf tiruan *bayesian regularized backpropagation* menghasilkan nilai *Mean Squared Error* sangat kecil dan cepat. Hasil pengujian memiliki *error* yang sangat kecil antara data aktual dengan target data. Dalam penelitian ini relai arus lebih dapat bekerja tanpa bergantung dari rumus baku dalam menentukan *trip time* relai.
4. Penelitian Tjahjono, *et al.*, (2016) judul “*Modeling Characteristic Curves of Digital Overcurrent Relay (DOCR) for User-defined Characteristic Curve Using Artificial Neural Network*”. Penelitian ini menggunakan *microcontroller* sebagai OCR dengan dilengkapi sensor arus dan tegangan untuk mengukur aliran arus secara *real time*. Penggunaan jaringan syaraf tiruan untuk memodelkan karakteristik kurva agar mendekati kurva standar karakteristik relai. Jaringan syaraf tiruan yang digunakan menggunakan *feedforward backpropagation* dengan dua *input* yaitu TMS dan perbandingan antara arus gangguan dengan arus *pickup*. *Output* yang digunakan hanya satu yaitu waktu kerja relai. Dari penelitian yang

dilakukan menghasilkan jaringan dengan  $rmse$  0,0034,  $mse=2,463e-5$ ,  $R=1$ ,  $m1=0,7926$  dan  $b1=0,9884$ .

5. Penelitian Hasben, dkk (2016) judul “Koordinasi Proteksi Adaptif Relai Arus Lebih Digital Menggunakan Metoda *Artificial Neural Network* pada Sistem Mesh dengan Pembangkit Tersebar”. Hasil penelitian tersebut menyimpulkan bahwa metode *artificial neural network* / jaringan syaraf tiruan dapat mempelajari kondisi sistem sehingga bisa menghasilkan *output setting* relai sesuai kondisi yang terjadi pada sistem. Penelitian ini membuktikan JST dapat memprediksi parameter TMS dan t, bahkan JST dapat bekerja secara adaptif menyesuaikan kondisi yang terjadi pada sistem.
6. Penelitian Emmanuel (2015) judul “*Artificial Neural Network Application in Coordination of Directional Overcurrent Protective Relays in Electrical Mesh Distribution Network*”. Penelitian tersebut mempunyai kesimpulan bahwa masalah koordinasi antar DOCR diatasi dengan kesalahan minimal. Kelengkapan fungsi nonlinier yang ditangani oleh jaringan syaraf tiruan memungkinkan DOCR bekerja secepat mungkin untuk mengatasi gangguan dalam jaringan distribusi *mesh*. Dalam penelitian ini waktu kerja dari DOCR dapat dioptimalkan menggunakan jaringan syaraf tiruan.
7. Penelitian Sari (2017) judul “Studi Koordinasi OCR dan GFR terhadap Kinerja *Recloser* sebagai Pengaman pada Jaringan Distribusi 20 kV di PT.PLN (Persero) Area Tegal”. Penelitian tersebut mengemukakan bahwa

evaluasi pengaturan OCR dan GFR sudah sesuai perhitungan. Penelitian yang dilakukan Sari (2017) ini hanya sebatas mengevaluasi pengaturan OCR dan GFR menggunakan hitung manual. Jaringan yang dijadikan sebagai objek penelitian berupa jaringan radial.

8. Penelitian Setiajie (2015) judul “Evaluasi *Setting Relay* Arus Lebih dan *Setting Relay* Gangguan Tanah pada Gardu Induk Spondol”. Penelitian tersebut mengemukakan bahwa arus gangguan tertinggi yang di dapat pada simulasi ETAP 7.0 dan Matlab pada gangguan 3 fasa = 6154.2 ampere, arus gangguan 2 fasa = 5329,6 ampere, arus gangguan 2 fasa ke tanah = 6154,2 ampere dan 1 fasa ke tanah = 6154,2 ampere dengan perbedaan tidak lebih dari 0.0032%. Penyetelan OCR pada sisi *incoming* di dapat nilai TMS = 0.258 dengan waktu kerja  $t(s) = 1$  detik. Sedangkan setting OCR pada sisi *outgoing* didapat nilai TMS = 0.224 dengan waktu kerja  $t(s) = 0.6$  detik. Penyetelan GFR pada sisi *incoming* di dapat nilai TMS = 0.423 dengan waktu kerja  $t(s) = 1.089$  detik. Sedangkan *setting* GFR pada sisi *outgoing* didapat nilai TMS = 0.287 dengan waktu kerja  $t(s) = 0.636$  detik. Penelitian ini masih berupa evaluasi pengaturan OCR dan GFR, tetapi sudah menggunakan aplikasi *software* menggunakan MATLAB dan ETAP.
9. Penelitian Badaruddin dan Budi (2014) judul “*Setting* Koordinasi *Overcurrent Relay* pada Trafo 60 MVA 150/20 KV dan Penyulang 20 KV”. Penelitian tersebut mengemukakan bahwa berdasarkan perhitungan diperoleh nilai *setting* relai untuk nilai arus lebih pada penyulang 20 kV

adalah 720 A (primer) / 6A (sekunder) dan pada relai gangguan tanah adalah 120 A (primer) / 1 A (sekunder), nilai *setting* relai arus lebih pada *incoming* trafo 20 kV adalah 2078 A (primer) / 5,19 A (sekunder) dan pada relai gangguan tanah 346,4 A (primer) / 0,86 A (skunder), nilai *setting* relai arus lebih pada trafo sisi 150 kV adalah 277,12 A (primer) / 0,92 A (sekunder) dan relai gangguan tanah 115,47 A (primer) / 0,38 A (sekunder). Berdasarkan perhitungan diperoleh *setting* nilai TMS untuk relai arus lebih pada penyulang 20 kV adalah 0,125 detik dan TMS pada relai gangguan tanah adalah 0,150 detik, nilai *setting* TMS untuk relai arus lebih pada *incoming* trafo 20 kV adalah 0,175 detik dan TMS pada relai gangguan tanah adalah 1,150 detik, sedangkan nilai *setting* TMS relai arus lebih pada trafo sisi 150 kV 0,300 detik, dan TMS untuk relai gangguan tanah 0,550 detik. Penelitian yang dilakukan oleh Badaruddin dan Budi ini memiliki kesamaan alur penelitian dengan Sari, hanya berbeda pada objek penelitiannya.

10. Penelitian Jumarwanto (2009) judul "*Aplikasi Jaringan Saraf Tiruan Backpropagation untuk Memprediksi Penyakit THT di Rumah Sakit Mardi Rahaya Kudus*". Penelitian tersebut menggunakan input gejala yang terjadi pada penyakit THT meliputi hidung tersumbat, pilek, bersin, keluar sekret, hidung gatal, batuk, alergi, nyeri kepala, demam, keluar darah, lemas. Fungsi aktivasi yang digunakan logsig dan algoritma pelatihan yang digunakan ialah traingdx. Hasil dari penelitian tersebut mengemukakan bahwa penerapan jaringan syaraf tiruan mampu

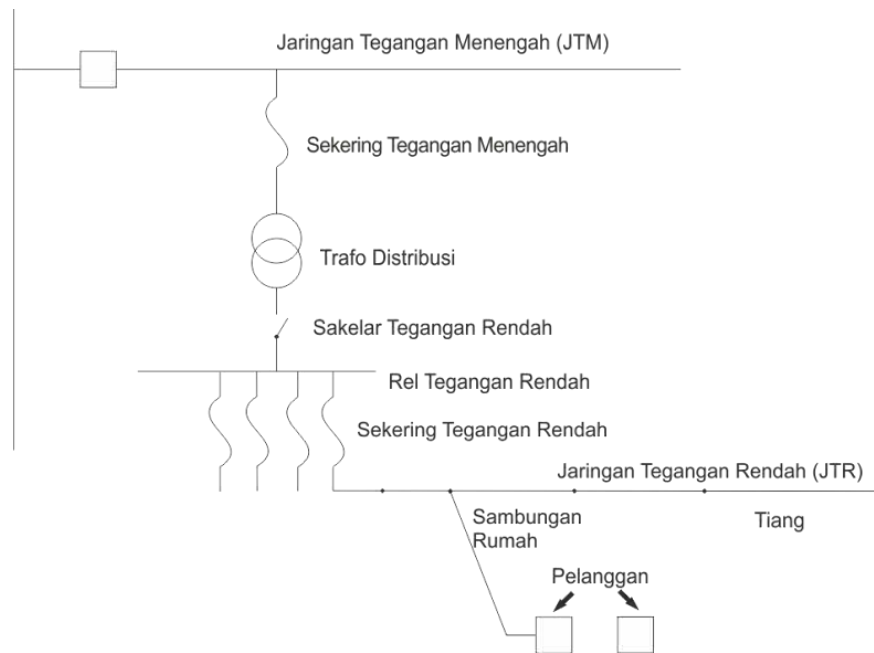
menghasilkan tingkat akurasi 100% pada tahap pelatihan maupun pengujian. Jaringan tersebut mampu mengenali pola data THT dengan sempurna (benar).

Dari beberapa penelitian yang telah dijelaskan bahwa penggunaan JST pada koordinasi proteksi relai arus lebih dapat menghasilkan pengaturan relai arus lebih sesuai dengan pengaturan PLN. Disamping itu, JST dapat bekerja secara adaptif menyesuaikan kondisi yang terjadi pada sistem. Dalam penelitian ini, JST akan diterapkan untuk pengaturan relai arus lebih pada jaringan distribusi 20 KV dengan topologi jaringan loop.

## **2.2 Sistem Distribusi 20 KV**

Sistem distribusi merupakan sistem tenaga listrik yang menyuplai tegangan 20 kV kepada konsumen (Setiajie, 2015). Sistem tenaga listrik yang paling banyak mendapat gangguan adalah sistem distribusi, sehingga masalah utama dalam operasi sistem distribusi adalah mengatasi gangguan. Bagian yang paling dekat dengan konsumen adalah sistem distribusi (Marsudi, 2006: 14). Ditinjau dari segi *volume* fisiknya, jaringan distribusi pada umumnya lebih panjang dibanding dengan jaringan transmisi dan jumlah gangguannya dalam kali per 100 km per tahun juga paling tinggi dibandingkan jumlah gangguan pada saluran transmisi (Marsudi, 2006: 341).

Sistem distribusi merupakan jaringan yang tersusun dari sebuah gardu induk (GI) seperti ditunjukkan oleh gambar 2.1.



Gambar 2.1 Jaringan Distribusi Tegangan Menengah (JTM), Jaringan Tegangan Rendah (JTR) dan Sambungan Rumah ke Pelanggan  
(Sumber: Marsudi, 2006: 3)

Klasifikasi jaringan distribusi berdasarkan letak jaringan terhadap posisi gardu distribusi dibedakan menjadi dua jenis yaitu:

1. Jaringan distribusi primer (jaringan distribusi tegangan menengah).
2. Jaringan distribusi sekunder (jaringan distribusi tegangan rendah).

Jaringan distribusi primer (JDPM) merupakan jaringan yang letaknya sebelum gardu distribusi yang berfungsi menyalurkan tenaga listrik bertegangan menengah (6 kV atau 20 kV). PLN saat ini hanya mengembangkan tegangan menengah 20 kV (Marsudi, 2006: 342). Penghantar dapat berupa kabel dalam tanah atau saluran udara yang menghubungkan gardu induk (sekunder trafo) dengan gardu distribusi. Jaringan distribusi sekunder (JDTR) merupakan jaringan yang letaknya setelah gardu distribusi yang berfungsi menyalurkan tenaga listrik bertegangan rendah (380/220 V). Penghantar berupa kabel tanah atau kabel udara

yang menghubungkan gardu distribusi menuju konsumen (Syahputra, 2017: 130). Konfigurasi tegangan pada jaringan distribusi di tiap negara berbeda-beda, baik untuk jaringan distribusi primer maupun sekunder.

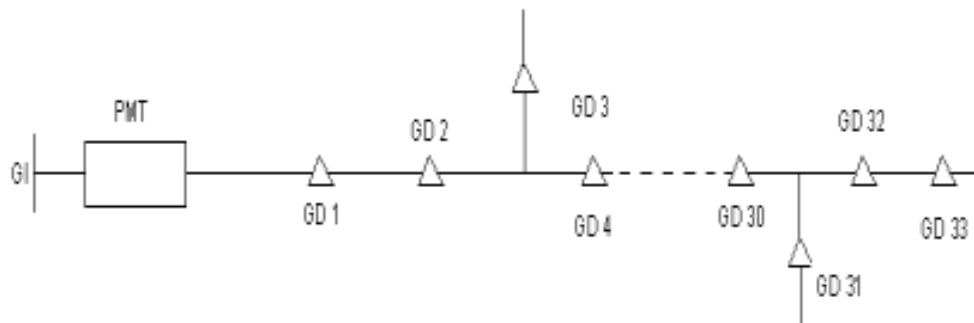
Tabel 2.1 Konfigurasi tegangan negara-negara ASEAN  
(Sumber: Ngadirin, 2008: 3)

Negara	Frekuensi	Level Tegangan	
		Jaringan Primer (KV)	Jaringan Sekunder (V)
Burma	50	11 ; 6,6	400/230
Indonesia	50	20 ; 11 ; 6,6 ; 3,3	380/220 ; 220 / 127
Philipina	60	13,6 ; 4,16 ; 2,4	220/110
Singapura	50	22 ; 6,6	400/230 ; 230
Vietnam	50	15	380/220 ; 208/120

Jaringan distribusi memiliki tiga macam konfigurasi sistem, yaitu sistem jaringan distribusi radial, loop dan spindel.

### 2.2.1 Topologi Jaringan Radial

Bentuk jaringan ini merupakan bentuk yang paling sederhana, banyak digunakan dan murah. Dinamakan radial karena saluran ini ditarik secara radial dari suatu titik yang merupakan sumber dari jaringan itu dan dicabang ke titik beban yang dilayani seperti terlihat pada gambar 2.2.



Gambar 2.2 Topologi Jaringan Distribusi Radial  
(Sumber: Syahputra, 2017: 131)

Catu daya berasal dari satu titik sumber dan karena adanya pencabangan – pencabangan tersebut, maka arus beban yang mengalir disepanjang saluran menjadi tidak sama sehingga luas penampang konduktor pada jaringan bentuk radial ini ukurannya tidak sama sehingga luas penampang konduktor pada jaringan bentuk radial ini ukurannya tidak sama karena arus yang paling besar mengalir pada jaringan yang paling dekat dengan gardu induk. Sehingga saluran yang paling dekat dengan gardu induk ini ukuran penampangnya relatif besar dan saluran cabang – cabangnya makin ke ujung dengan arus beban yang lebih kecil mempunyai ukuran konduktornya lebih kecil pula. Spesifikasi dari jaringan bentuk radial ini adalah :

1. Bentuknya sederhana.
2. Biaya investasinya murah
3. Kualitas pelayanan dayanya relatif jelek, karena rugi tegangan dan rugi daya yang terjadi pada saluran relatif besar.
4. Kontinuitas pelayanan daya kurang terjamin sebab antara titik sumber dan titik beban hanya ada satu alternatif saluran sehingga bila saluran tersebut

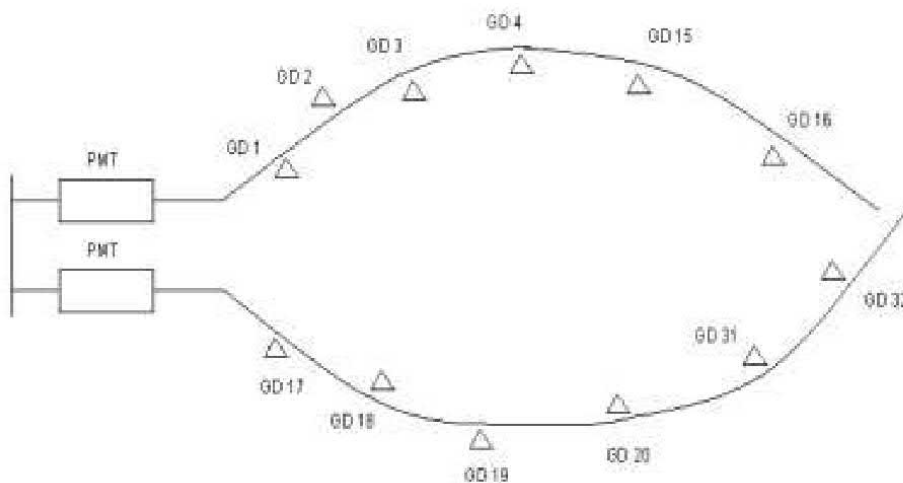


mengalami pemadaman total, yaitu daerah saluran sesudah atau dibelakang titik gangguan selama gangguan belum teratasi.

Untuk melokalisir gangguan pada bentuk radial ini biasanya dilengkapi dengan peralatan pengaman, fungsinya untuk membatasi daerah yang mengalami pemadaman total, yaitu daerah saluran sesudah atau dibelakang titik gangguan selama gangguan belum teratasi.

### 2.2.2 Topologi Jaringan Loop

Tipe jaringan ini memiliki bentuk tertutup, disebut juga tipe jaringan ring. Susunan rangkaian saluran membentuk ring yang memungkinkan titik beban terlayani dari dua arah saluran. Tipe jaringan ini memiliki kontinuitas pelayanan lebih terjamin serta kualitas dayanya menjadi lebih baik karena drop tegangan dan rugi daya saluran menjadi lebih kecil.



Gambar 2.3 Topologi Jaringan Distribusi *Loop*  
(Sumber: Syahputra, 2017: 133)

Bentuk sistem jaringan distribusi loop ini ada dua macam yaitu:

1. Bentuk *open loop*, bila dilengkapi dengan *normally open switch* yang terletak pada salah satu bagian gardu distribusi, dalam keadaan normal rangkaian selalu terbuka.
2. Bentuk *close loop*, bila dilengkapi dengan *normally close switch* yang terletak pada salah satu bagian diantara gardu distribusi, dalam keadaan normal rangkaian selalu tertutup.

Struktur jaringan ini merupakan gabungan dari dua buah struktur jaringan radial, dimana pada jurung dari dua buah jaringan dipasang sebuah pemutus tenaga (PMT), pemisah (PMS). Pada saat terjadi gangguan, setelah gangguan dapat diisolir, maka pemutus atau pemisah ditutup sehingga aliran daya listrik ke bagian yang tidak terkena gangguan terhenti. Pada umumnya penghantar dari struktur ini mempunyai struktur yang sama, ukuran konduktor tersebut dipilih sehingga dapat menyalurkan seluruh daya listrik beban struktur *loop*, yang merupakan jumlah daya listrik beban dari kedua struktur radial. Jaringan distribusi *loop* mempunyai kualitas dan kontinuitas pelayanan daya yang lebih baik, tetapi biaya investasi lebih mahal dan cocok digunakan pada daerah yang padat dan memerlukan keandalan tinggi (Syahputra, 2017: 134).

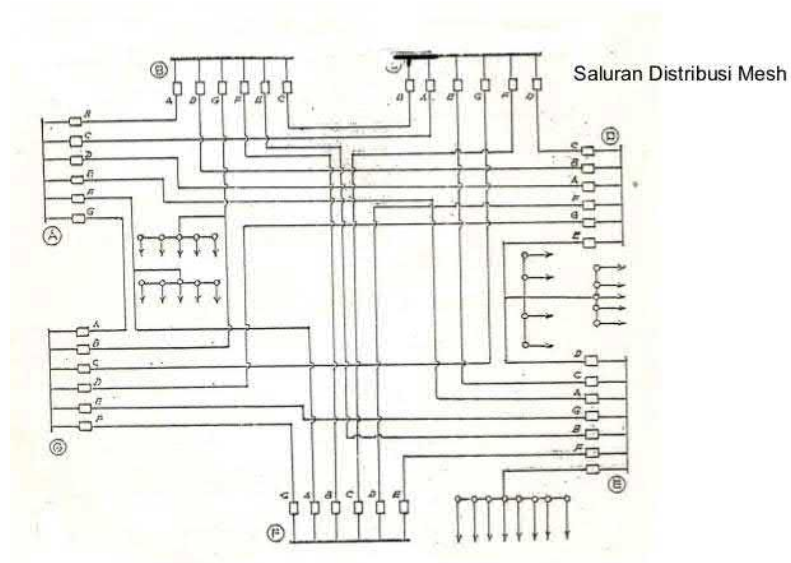
Tipe *loop* (tertutup) dipilih untuk area pelanggan yang membutuhkan tingkat keandalan sangat tinggi, misalnya di wilayah industri berat / besar, kantor-kantor strategis / vital yang membutuhkan suplai tenaga listrik secara kontinu tanpa ada pemadaman. Apabila terjadi gangguan pada salah satu *feeder* (jaringan suplai), pelanggan dapat disuplai melalui jaringan lain, sehingga tidak terjadi peristiwa pemadaman di area tersebut. Pada tipe *loop* bilamana jaringan dalam kondisi

normal tanpa ada jaringan yang terganggu / sedang dalam perbaikan, *disconnect switch* dalam kondisi tertutup (*on*). Apabila ada salah satu atau beberapa wilayah jaringan terganggu / sedang dalam perbaikan, maka *disconnect switch* yang tidak dibutuhkan akan dimatikan (*off*) (Ngadirin, 2008: 52).

### 2.2.3 Topologi Jaringan Spindel

Tipe ini dipilih bilamana kelompok pelanggan listrik masuk wilayah yang membutuhkan tingkat keandalan sangat tinggi, sehingga area pelanggan tersebut harus dapat disuplai lebih dari beberapa arah. Dengan demikian daerah tersebut dikatakan tidak pernah mengalami pemadaman.

Tipe ini memiliki tingkat *reliability* dan *quality* sangat tinggi melebihi tipe lain seperti tipe radial maupun loop. Salah satu hambatannya yaitu tingkat desain dan operasional lebih sulit dibandingkan sistem radial atau *loop*, sehingga memerlukan biaya jaringan yang mahal.



Gambar 2.4 Topologi Jaringan Distribusi Mesh  
(Sumber: google.com)

### 2.3 Gangguan Penyaluran Listrik

Gangguan penyaluran listrik merupakan hambatan yang mengganggu aliran arus dalam penyaluran listrik. Sujito (2013) menerangkan bahwa gangguan pada saluran tegangan menengah berupa: (a) gangguan fasa yaitu terhubungnya dua buah fasa atau lebih secara langsung atau tidak, (b) gangguan terhadap tanah (pentanahan) yaitu terhubungnya satu fasa atau lebih dengan tanah, secara langsung atau tidak. Yang dimaksud dengan tanah termasuk antara lain dengan tiang, badan trafo, selubung timah dari kabel dan lain sebagainya, dan (c) gangguan konduktor putus.

Gangguan fasa pada saluran udara umumnya disebabkan karena angin, burung atau dahan pohon, sehingga menimbulkan gangguan sementara, yaitu gangguan yang berlangsung cepat dan bila telah selesai tidak meninggalkan bekas kerusakan apapun. Gangguan terdiri atas beberapa bentuk (PULN, 1982: 74), yaitu:

1. Gangguan sementara merupakan gangguan yang berlangsung dengan waktu sangat pendek dan perlu pemadaman jaringan beberapa saat (beberapa sepersepuluh detik) termasuk untuk menghilangkan busur api yang timbul.
2. Gangguan sementara yang padam dengan sendirinya merupakan gangguan yang dapat hilang dengan sendirinya tanpa pemadaman, misalnya jaringan yang menggunakan *peterson coil*.
3. Gangguan semi permanen merupakan seperti gangguan sementara hanya waktu pemadaman busur api tidak cukup dengan beberapa per sepuluh

detik saja tetapi misalnya perlu waktu lebih dari sepuluh detik. Sebagai contoh yang disebabkan oleh binatang atau dahan pohon yang mengenai saluran.

4. Gangguan permanen memerlukan serangkaian kegiatan manusia untuk menghilangkannya karena terjadinya kerusakan komponen jaringan.

Untuk mengatasi gangguan tersebut perlu dilakukan penutupan kembali pemutusan tenaga dengan cara mencoba sekali atau lebih secara manual atau otomatis.

Gangguan pada transformator daya disebabkan ada dua jenis, yaitu:

1. Gangguan eksternal adalah yang sumber gangguan berasal dari luar pengamanan *transformator*, tetapi dampaknya dirasakan oleh *transformator* tersebut, antaranya: gangguan hubung singkat pada jaringan, beban lebih dan surja petir.
2. Gangguan internal: adalah gangguan bersumber dari daerah pengamanan/petak *bay transformator*, diantaranya: gangguan antar fasa pada belitan, fasa terhadap *ground* antar belitan transformator, gangguan *tap changer*, kerusakan *bushing*, kebocoran minyak dan suhu lebih.

## 2.4 Transformator Arus

Transformator arus atau biasa disebut dengan *Current Transformator* (CT) merupakan bagian dalam sistem tenaga listrik. Transformator arus digunakan untuk mengukur arus beban suatu rangkaian. Jaringan yang menggunakan transformator arus beban yang besar dapat diukur hanya dengan alat ukur (ammeter) yang tidak terlalu besar (Ngadirin, 2008: 124). Trafo arus jenis trafo

instrumen yang digunakan untuk mengubah arus listrik skala besar ke skala yang lebih kecil (Subekti, dkk, 2013). Transformator secara umum berfungsi untuk:

1. Memperkecil besaran arus listrik (Ampere) pada sistem tenaga listrik menjadi besaran arus untuk sistem pengukuran dan proteksi;
2. Mengisolasi rangkaian sekunder terhadap rangkaian primer, yaitu memisahkan instalasi pengukuran dan proteksi dari tegangan tinggi;
3. Meningkatkan standarisasi *rating* arus untuk peralatan sisi sekunder.

Jenis transformator ini di desain secara khusus untuk pengukuran dalam sistem daya. Transformator ini banyak digunakan dalam sistem daya karena mempunyai berbagai kelebihan atau keuntungan, yaitu: secara fisik lebih sederhana bentuknya, secara ekonomi lebih murah dan keadalannya lebih tinggi mempunyai tingkat yang lebih handal, memberikan isolasi elektrik bagi sistem daya dan tahan terhadap beban untuk berbagai tingkatan.

Transformator pengukuran terdiri atas dua tipe / jenis, yaitu:

- a. Transformator tegangan (VT)
- b. Transformator arus (CT)

Arus dan tegangan pada peralatan daya yang harus dilindungi dirubah oleh transformator arus dan transformator tegangan ke tingkat yang lebih rendah untuk pengoperasian relai. Tingkat-tingkat yang lebih rendah ini diperlukan karena dua alasan, yaitu:

1. Tingkat masukan yang lebih rendah ke relai-relai menjadikan bahwa komponen-komponen yang digunakan untuk konstruksi relai-relai tersebut

secara fisik akan menjadi cukup kecil, karena itu dilihat dari segi ekonomi biayanya lebih murah.

2. Petugas-petugas yang bekerja dengan relai-relai tersebut dapat bekerja dalam suatu lingkungan yang aman.

Daya yang diberikan oleh transformator-transformator ini tidak seberapa besar, karena beban yang dihubungkan dengannya hanya terdiri dari relai-relai dan meter-meter yang mungkin digunakan pada waktu tertentu. Beban pada transformator arus dan transformator tegangan dikenal sebagai muatan (*burden*) dari transformator tersebut.

Istilah muatan biasanya melukiskan impedansi yang dihubungkan pada kumparan sekunder transformator itu, tetapi dapat juga menetapkan voltampere yang diberikan kepada beban.

Transformator arus (CT) mempunyai standar arus sekunder 5 A. perbandingan arus yang ada diperlihatkan pada tabel berikut:

Tabel 2.2 Rasio Transformator arus  
(Sumber: Sulasno, 1993: 355)

<b>Rasio Arus</b>	<b>Rasio Lilitan</b>
50:5	1:10
100:5	1:20
200:5	1:40
400:5	1:80
600:5	1:120
800:5	1:160

1200:5	1:240
--------	-------

Dalam hal lilitan primer dan sekunder, transformator arus (CT) terbagi menjadi tiga macam yaitu (Ngadirin, 2008: 125):

1. *Single Core Single Ratio* (SC SR)

Dalam keadaan operasi, sekunder CT harus ditutup / *short*. Pada kawat primer yang dialiri arus akan timbul medan yang mengalir ke kawat sekunder dengan arus maksimal. Arus maksimal tersebut akan terus mengalir sehingga menimbulkan fluksi. Jadi pada kawat primer akan timbul dua medan yang mempunyai arah yang berlawanan.

Secara umum CT yang digunakan dalam proteksi jaringan listrik memiliki rasio 100/5. Hal ini dapat diartikan bahwa apabila arus yang mengalir pada kawat primer sebesar 100 A, maka pada kawat sekunder mengalir arus sebesar 5 A. Hal ini terjadi karena lilitan pada kawat primer menimbulkan fluks.

2. *Single Core Multi Ratio* (SC MR)

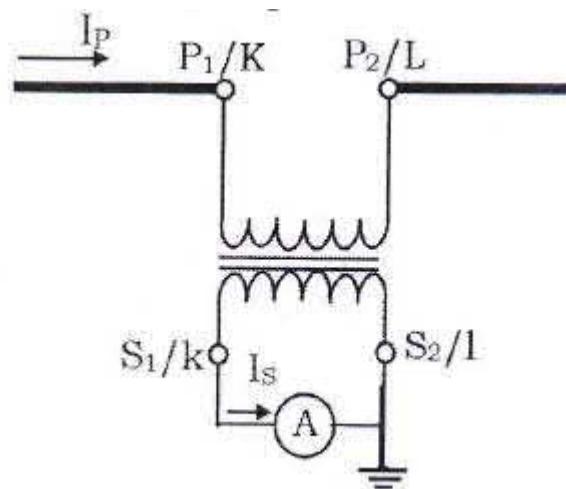
Dalam keadaan operasi, satu inti CT harus tertutup (dua terminal) dan inti lain terbuka. Apabila salah satu terminal di *short* maka akan terjadi kesalahan pengukuran / rasio. Hal ini disebabkan karena fluks yang mengalir kembali ke lilitan sehingga tidak sampai ke alat pembacaan.

3. *Multi Core Multi Ratio* (MC MR)

Pada dasarnya hampir sama dengan SC SR hanya saja jumlah lilitan sekunder lebih banyak.



Rangkaian ekivalen transformatur arus dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 2.5 Rangkaian ekivalen transformatur arus  
(Sumber: Subekti, 2013: 72)

Jika arus pada sisi primer merupakan  $I_p$  dan arus pada sisi sekunder merupakan  $I_s$ , maka perbandingan antara arus primer dan sekunder dinyatakan oleh rumus berikut.

$$\frac{I_p}{I_s} = \frac{N_s}{N_p} \quad (2.1)$$

Keterangan:

$I_p$  = Arus pada sisi primer

$I_s$  = Arus pada sisi sekunder

$N_p$  = Jumlah lilitan primer

$N_s$  = Jumlah lilitan sekunder

## 2.5 Relai

Relai merupakan suatu peralatan yang dilengkapi dengan kotak-kotak yang mampu menutup rangkaian alarm/rangkaian gulungan kerja mendapat isyarat

tertentu dari rangkaian lain. Oleh karena itu pemutus tenaga yang dilengkapi dengan relai digunakan sebagai peralatan perlindungan suatu sistem tenaga dari kemungkinan kerusakan yang diakibatkan oleh gangguan. Relai bekerja karena ada gaya dan torsi yang timbul akibat dari perubahan keadaan sistem yang dilindungi sampai melebihi harga batas yang telah ditentukan. Selanjutnya relai akan bekerja jika harga gaya atau torsi kerja lebih besar dari harga batasnya (Sulasno, 1993: 344).

Dalam memilih suatu perlindungan yang sesuai dengan kepentingan dan keadaan daerah perlindungan suatu peralatan yang dilindungi diperlukan pertimbangan-pertimbangan sehubungan dengan kemampuan untuk melindungi suatu sistem tenaga. Relai merupakan kunci kelangsungan kerja dari suatu sistem tenaga, maka untuk menjamin keandalan dari sistem tenaga yang bersangkutan, relai pengaman harus memenuhi persyaratan-persyaratan sebagai berikut (Sulasno, 1993: 384):

1. Kecepatan bereaksi

Kecepatan bereaksi relai adalah saat relai mulai merasakan adanya gangguan sampai dengan pelaksanaan pembukaan pemutusan tenaga. Waktu bereaksi diusahakan sesingkat mungkin sehingga kerusakan yang terjadi semakin kecil, serta dapat mengurangi meluasnya akibat dari adanya gangguan itu sendiri sehingga stabilitas sistem dapat lebih baik. Untuk kepentingan koordinasi dengan sistem perlindungan lain, waktu bereaksi relai perlu adanya tunda waktu. Tunda waktu diperlukan untuk membedakan antara perlindungan utama dengan perlindungan kedua atau

ketiga/pada sisi ril perlindungan yang lain, juga untuk menghindari salah operasi dari sistem perlindungan.

## 2. Selektivitas

Selektivitas relai adalah relai dapat mendeteksi gangguan secara tepat dan cepat saat terjadi gangguan. Relai harus mampu memisahkan bagian yang terkena gangguan dari bagian sistem lain sehingga dampak gangguan terhadap sistem secara keseluruhan dapat dikurangi sampai sekecil mungkin.

## 3. Kepekaan

Kepekaan relai adalah kecepatan relai untuk memberikan tanggapan bila merasakan adanya gangguan. Walaupun yang dikenakan pada sistem merupakan nilai besaran yang terkecil.

Namun kepekaan relai perlu dibatasi agar tidak beroperasi bila ada kenaikan arus beban yang masih dalam batas toleransi dan untuk gangguan yang terjadi diluar daerah perlindungan, relai tidak boleh bekerja.

Kepekaan suatu sistem perlindungan dinyatakan dengan perbandingan antara arus gangguan minimum dengan arus minimum yang menyebabkan relai bekerja.

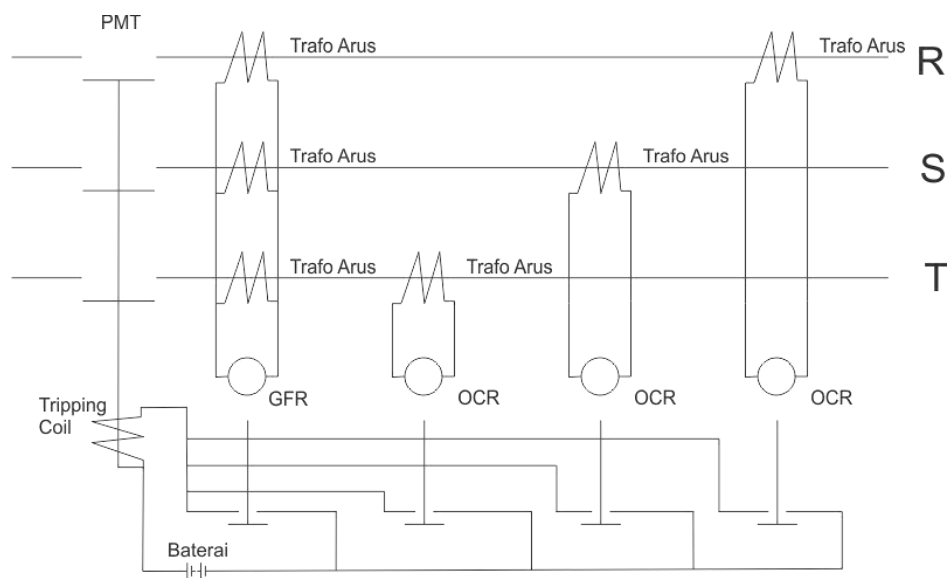
## 4. Keandalan

Keandalan dari pada relai dapat dihitung dengan jumlah relai yang bekerja berbanding jumlah gangguan yang terjadi. Keandalan dari relai yang baik adalah 90-99%. Untuk mencapai keandalan yang tinggi tentunya tidak

dapat terlepas dari kualitas peralatan yang digunakan dan juga cara pemasangannya.

Dalam jaringan distribusi, *feeder* distribusi yang keluar dari gardu induk dilengkapi dengan (Marsudi, 2006: 394):

1. Relai arus lebih
2. Relai arus hubung tanah



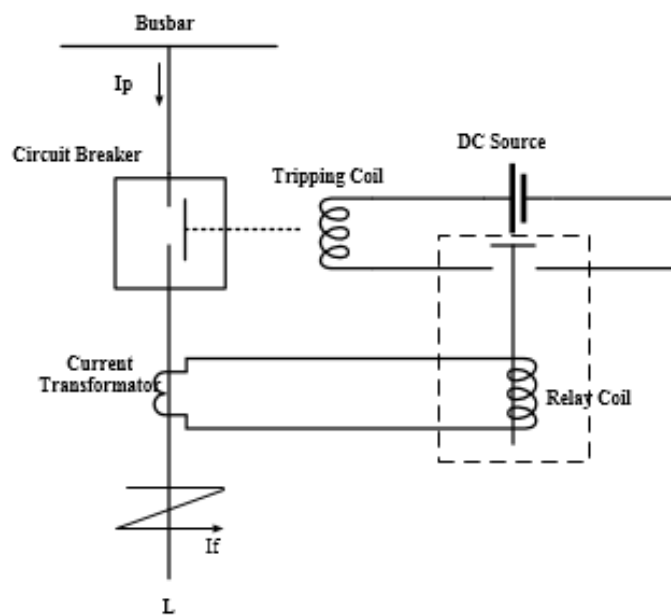
Gambar 2.6 Skema pengamanan saluran tranmisi/distribusi oleh OCR dan GFR  
(Sumber: Marsudi, 2006: 385)

### 2.5.1 Relai Arus Lebih

Relai arus lebih adalah relai yang bekerja apabila arus yang mengalir pada saluran yang diamankan melebihi arus penyetelan dari relai arus lebih tersebut (Sulasno, 1993: 345). Secara prinsip relai ini bekerja mengamankan peralatan dari arus lebih yang terjadi karena pembebanan berlebihan dan gangguan hubung singkat antar fasa. Apabila relai menerima *input* lebih besar dari pada penahannya,

maka relai akan menutup sirkit dan memberi perintah PMT untuk *open* (Ngadirin, 2008: 131).

Saat relai membaca adanya aliran arus yang melebihi pengaturan relainya maka relai akan mengirim sinyal ke *tripping coil* untuk memerintahkan *Circuit breaker* untuk membuka (Hasben, 2016: B237).



Gambar 2.7 Rangkaian Relai Arus Lebih  
(Sumber: [www.google.com](http://www.google.com))

$I_f > I_p$  Relai bekerja (*trip*)

$I_f < I_p$  Relai tidak bekerja (blok)

Relai arus lebih bekerja berdasarkan dua prinsip, keadaan normal dan saat kondisi gangguan. Pada saat kondisi jaringan dalam keadaan normal, arus yang mengalir pada sekunder CT akan mengalir pada kumparan dan akan menimbulkan gaya medan magnet untuk menarik penahan R, namun gaya tersebut tidak mampu menarik saklar karena penahan R masih mampu menahannya, sehingga PMT akan tetap dalam kondisi *close*. Pada saat kondisi gangguan, arus yang mengalir pada

sekunder CT akan melebihi arus nominal pengaturan pada relai. Dalam kondisi ini gaya yang ditimbulkan oleh kumparan I terlalu besar sehingga penahan R tidak mampu menahannya. Akhirnya saklar akan menutup dan mengaktifkan kumparan, selanjutnya dari kumparan tersebut akan mengaktifkan *Tripping Coil* (TC) dan akan memberi instruksi PMT untuk *open*.

Karakteristik relai arus lebih didasarkan dari parameter arus (I) dan waktu (t). Acuan standar yang digunakan yaitu *International Electrical Commission* (IEC), *American Nation Standart Institute* (ANSI), dan *Inver Definite Maximum Time* (IDMT). Dari parameter tersebut, relai arus lebih mempunyai tiga karakter tipe sebagai berikut:

1. *Instantenous* ( $t=0$ )

Tipe ini mempunyai karakter tanpa *time delay*. Apabila terjadi gangguan maka relai langsung *trip* dengan waktu tunda maksimum 200 milidetik.

2. *Time Delay*

- 2.1 *Definite*

Pada saat terjadi gangguan maka secara otomatis akan mengaktifkan relai yang kemudian relai tersebut akan mengaktifkan *timer* dan selanjutnya tugas dari TC untuk melepaskan PMT. Waktu *time delay* bergantung dari pengaturan dan tidak bergantung dari besarnya arus gangguan.

- 2.2 *Invers* (waktu terbalik)

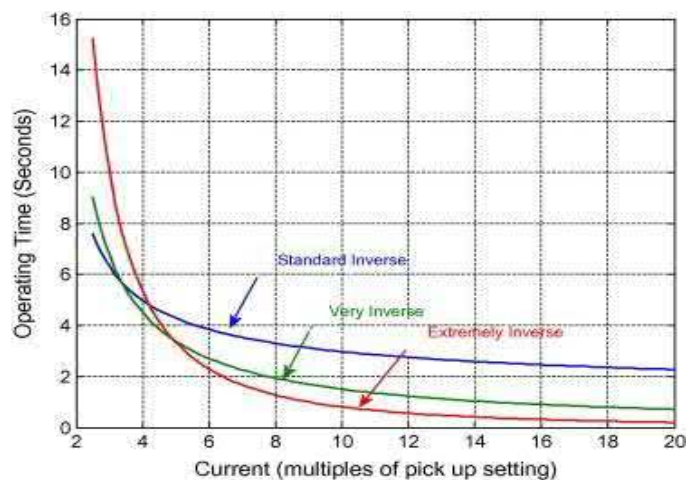
Pada saat terjadi gangguan, apabila arus gangguannya semakin besar maka *time delay* akan semakin cepat.

### 3. Kombinasi

Karakteristik ini merupakan gabungan antara *instantaneous* dan *time delay*.

Berdasarkan pertimbangan bahwa saat arus gangguan terlalu besar, arus tersebut dapat menyebabkan kerusakan kumparan pada piringan pegas, sehingga untuk mengatasi hal tersebut arus yang besarnya melebihi nominal dari arus pengaturan akan langsung dialirkan melalui relai instan.

Pengaturan relai arus lebih dapat menggunakan jenis pengaturan *Standard Inverse Time*. Jenis pengaturan ini memiliki karakteristik apabila semakin besar arus gangguan maka waktu operasi relai semakin cepat (Hasben, 2016: B238). Pada relai arus lebih terdapat dua pengaturan, yaitu pengaturan arus (Iset) dan waktu (TMS).



Gambar 2.8 Kurva Relai arus lebih *Inverse time*  
(Sumber: [www.google.com](http://www.google.com))

Penyetelan harus memperhatikan besar arus beban maksimal, yang artinya setelan arus pada waktu invers harus diatas arus beban penuh. Hal ini bertujuan agar saat kondisi pada beban maksimum relai tidak bekerja. Iset merupakan

setingan arus *pickup* yang dapat diartikan sama dengan arus yang dibaca pada arus primer CT.

Penyetelan waktu dilakukan dengan penyetingan *Time Multiplier Setting* (TMS). TMS bertujuan untuk mendapatkan waktu operasi dari relai tersebut. Pengaturan TMS didapatkan dari persamaan berikut:

$$t = \frac{0,14 \times TMS}{\left[\left(\frac{I_{fault}}{I_{set}}\right)^{0.02} - 1\right]} \quad (2.2)$$

Keterangan:

t = waktu operasi (detik)

TMS = Kelipatan waktu terhadap selisih arus (*Time multiplier setting*)

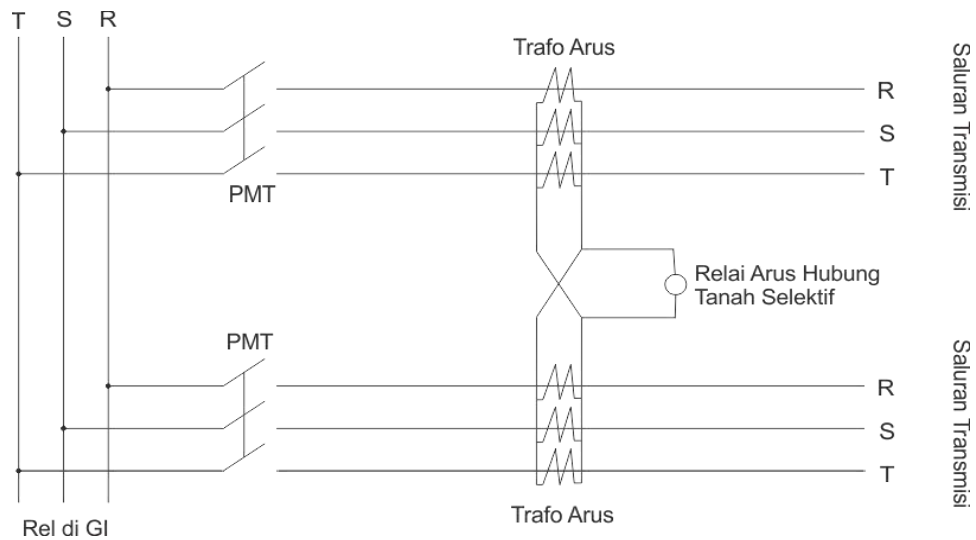
I<sub>fault</sub> = Arus maksimal atau arus gangguan (Ampere)

I<sub>set</sub> = Arus *pickup* (Ampere)

### 2.5.2 Relai Gangguan Tanah

Relai gangguan tanah merupakan relai yang bekerja apabila terjadi hubung singkat antara fasa dengan tanah (Sulasno, 1993: 346). Prinsip kerja relai hubung tanah sama dengan relai arus lebih, hanya berbeda pada rangkaian listriknya.





Gambar 2.9 Rangkaian listrik relai arus hubung tanah selektif  
(Sumber: Marsudi, 2006: 387)

Pada setiap jaringan transmisi/distribusi terdapat tiga buah transformator arus yang terdapat di tiap fasa saluran. Apabila tidak ada gangguan hubung tanah, maka tidak ada arus urutan nol sehingga relai tidak bekerja. Apabila salah satu sirkit saluran transmisi terganggu dan menimbulkan arus urutan nol yang tidak sama pada setiap sirkit saluran transmisi, maka relai akan bekerja dan mentrip sirkit yang terganggu. Untuk dapat membedakan antara sirkit yang terganggu dengan sirkit yang tidak terganggu kontak dari relai arus hubung tanah selektif dihubungkan seri dengan kontak dari sebuah relai daya yang bertugas mendeteksi arah daya, yaitu apabila menjauhi rel Gardu Induk maka ia akan menutup kontak dan sebaliknya apabila daya menuju rel GI ia akan membiarkan kontak tetap terbuka (Marsudi, 2006: 387).

Pengaturan relai hubung tanah dapat dilakukan dengan rumus relai arus lebih (2.3). Pada prinsipnya relai hubung tanah dan relai arus lebih memiliki konsep yang sama, hanya berbeda penerapan.

## 2.6 Jaringan Syaraf Tiruan

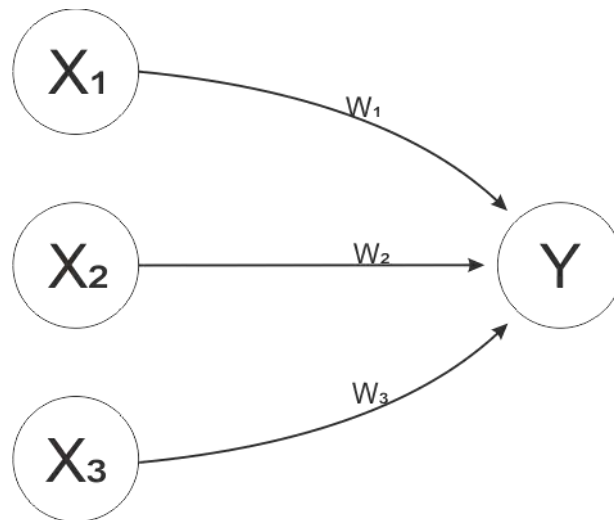
Jaringan syaraf tiruan merupakan sistem pemroses informasi yang mempunyai karakteristik mirip seperti jaringan syaraf biologi (Siang, 2005: 2). Jaringan syaraf tiruan dapat digunakan untuk memodelkan hubungan yang kompleks antara input dan output untuk menemukan pola-pola data (Hasben, 2016: B238). Jaringan syaraf tiruan (JST) dibentuk sebagai penggambaran model matematika dari jaringan syaraf biologi, dengan asumsi bahwa:

1. Pemroses informasi terjadi pada banyak elemen sederhana (neuron).
2. Sinyal dikirimkan diantara neuron melalui penghubung.
3. Penghubung antar neuron memiliki bobot yang akan memperkuat atau memperlemah sinyal.
4. 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.

Pemrograman menggunakan JST ditentukan dari tiga hal:

1. Pola hubungan antar neuron (arsitektur jaringan).
2. Metode untuk menentukan bobot penghubung (metode *training / learning / algoritma*).
3. Fungsi aktivasi.

Berikut merupakan contoh dari neuron:



Gambar 2.10 Arsitektur jaringan neuron Y

(Sumber: Siang, 2005: 3)

Y menerima input dari neuron  $x_1$ ,  $x_2$  dan  $x_3$  dengan bobot hubungan masing-masing adalah  $w_1$ ,  $w_2$  dan  $w_3$ . Ketiga impuls neuron yang ada dijumlahkan menjadi:

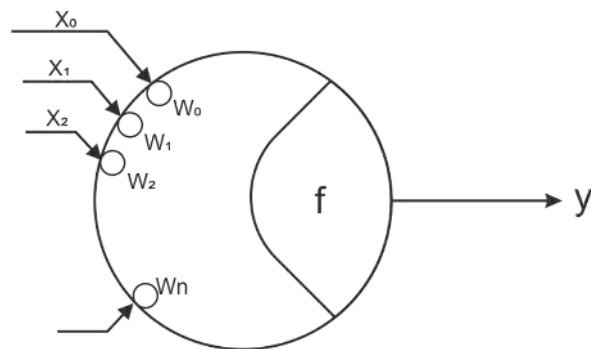
$$\text{net} = x_1w_1 + x_2w_2 + x_3w_3 \quad (2.3)$$

besarnya impuls yang diterima oleh Y mengikuti fungsi aktivasi  $y = f(\text{net})$ . Apabila nilai fungsi aktivasi cukup kuat, maka sinyal akan diteruskan. Nilai fungsi aktivasi (keluaran model jaringan) juga dapat dipakai sebagai dasar untuk merubah bobot (Siang, 2005: 4).

Secara matematis, cara kerja jaringan syaraf tiruan yang diusulkan McCulloch dan Pitts (1943) digambarkan terdiri dari masukan  $X_0, X_1, \dots, X_n$  dan bobot yang menyertainya  $W_0, W_1, \dots, W_n$ , serta fungsi aktivasi sigmoid  $f$  dan kelajuan pembelajaran  $\sigma$ .

Jaringan syaraf tiruan dikembangkan berdasarkan model matematis dengan mengasumsikan:

1. Informasi diproses oleh elemen elemen sederhana yang disebut neuron.
2. Sinyal sinyal dilewatkan antara neuron yang saling berhubungan.
3. Setiap sambungan antara dua neuron ada bobotnya masing masing yang akan mengalikan sinyal yang ditransmisikan.
4. Tiap neuron memiliki fungsi aktivasi yang akan menentukan besaran keluaran.



Gambar 2.11 Model Matematis Syaraf Tiruan  
(Sumber: Muis, 2006: 4)

Fungsi keluaran jaringan syaraf tiruan didefinisikan sebagai berikut:

$$y = 0 = f(\text{net}) = \frac{1}{1 + e^{-\sigma \cdot \text{net}}} \quad (2.4)$$

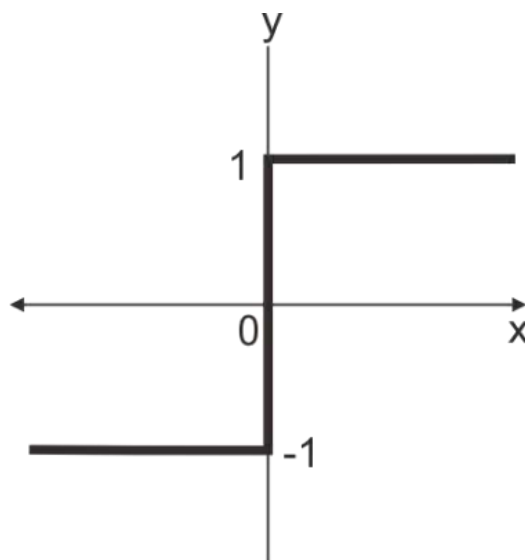
$$y = 0 = f(\text{net}) = \frac{1 - e^{-\sigma \cdot \text{net}}}{1 + e^{-\sigma \cdot \text{net}}} \quad (2.5)$$

Dimana net sendiri adalah:

$$\text{net} = \sum_{i=0}^n X_i W_i \quad (2.6)$$

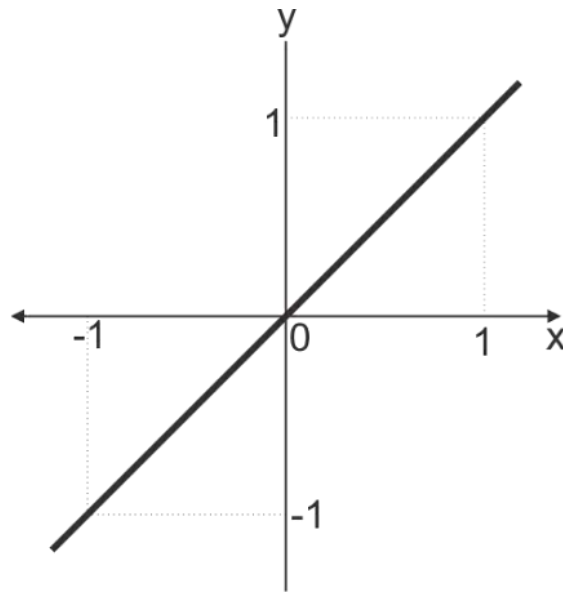
Fungsi aktivasi di atas disebut fungsi sigmoid biner (gambar 2.10, persamaan 2.5) dan sigmoid bipolar (gambar 2.11, persamaan 2.6), fungsi aktivasi bisa dalam bentuk lain seperti fungsi undak (gambar 2.8) atau fungsi linear/tanjak (gambar 2.9). Dalam aplikasi jaringan syaraf tiruan yang menggunakan algoritma pembelajaran yang bersifat malar/kontinu, banyak menggunakan fungsi sigmoid karena sifat fungsi eksponensial yang tidak memasuki daerah jenuh (bersifat konvergen), dengan batas garis singgung antara 0 -1 atau -1 +1, sedangkan jaringan syaraf tiruan yang menggunakan algoritma pembelajaran yang bersifat tak malar/diskrit pada umumnya menggunakan fungsi undak atau linear (Muis, 2006: 4).

$$y = 0 = \begin{cases} 1; & \text{jika } x > 0 \\ 0; & \text{jika } x = 0 \\ -1; & \text{jika } x < 0 \end{cases} \quad (2.7)$$



Gambar 2.12 Fungsi aktivasi undak bipolar  
(Sumber: Muis, 2006: 5)

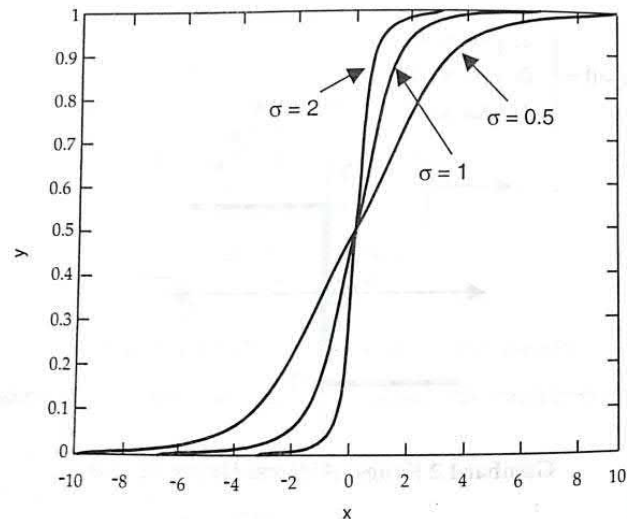
$$y = x$$



Gambar 2.13 Fungsi aktivasi linear  
(Sumber: Muis, 2006: 5)

$$y = 0 = f(x) = \frac{1}{1+e^{-\sigma x}} \quad (2.8)$$

$$f'(x) = \sigma f(x)[1-f(x)] \quad (2.9)$$

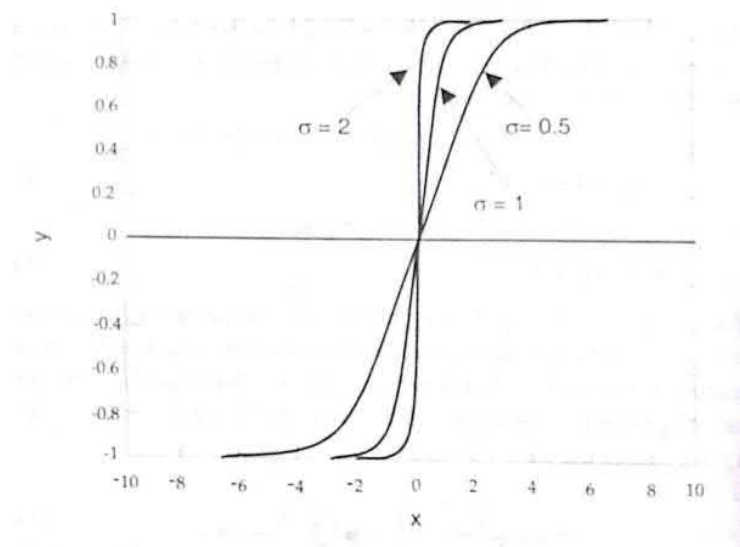


Gambar 2.14 Fungsi aktivasi sigmoid biner  
(Sumber: Muis, 2006: 6)

$$y = 0 = f(x) = \frac{1+e^{-x}}{1+e^{-x}} \quad (2.10)$$

$$f'(x) = \sigma[1 - f^1(x)][1 - f(x)] \quad (2.11)$$

$f'(x)$  = diferensiasi fungsi  $f(x)$  terhadap variabel  $x$ .



Gambar 2.15 Fungsi aktivasi sigmoid bipolar  
(Sumber: Muis, 2006: 7)

## 2.7 Back Propagation

*Backpropagation* adalah algoritma pembelajaran yang terawasi dan biasanya digunakan oleh perceptron dengan *multilayer* untuk mengubah bobot-bobot yang terhubung dengan neuron-neuron yang ada pada lapisan tersembunyinya (Kusumadewi, 2004: 93). Algoritma *backpropagation* menggunakan *error output* untuk mengubah nilai bobot-bobotnya dalam arah mundur (*backward*). Untuk mendapatkan *error* ini, tahap perambatan maju (*forward propagation*) harus dikerjakan terlebih dahulu. Pada saat perambatan maju, neuron-neuron diaktifkan dengan menggunakan fungsi aktivasi yang dapat dideferensiasikan, seperti sigmoid:

$$y = f(x) = \frac{1}{1 + e^{-\sigma x}} \quad (2.12)$$

dengan:  $f'(x) = \sigma f(x)[1 - f(x)]$

atau tansig:

$$y = f(x) = \frac{e^x - e^{-x}}{e^x + e^{-x}} \quad (2.13)$$

$$\text{atau } y = f(x) = \frac{1 - e^{-2x}}{1 + e^{-2x}}$$

dengan:  $f'(x) = [1+f(x)][1-f(x)]$

atau purelin

$$y = f(x) = x \quad (2.14)$$

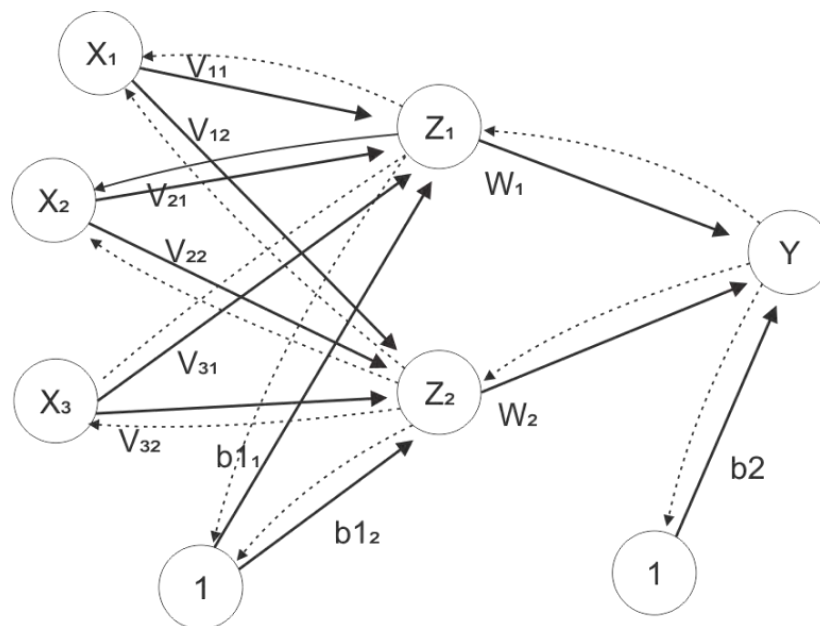
dengan:  $f'(x) = 1$

### 2.7.1 Arsitektur *Backpropagation*

Arsitektur jaringan *backpropagation* seperti terlihat pada gambar 2.12. Pada gambar 2.12, jaringan terdiri atas 3 unit (neuron) pada lapisan input, yaitu  $x_1$ ,  $x_2$ , dan  $x_3$ ; 1 lapisan tersembunyi dengan 2 neuron, yaitu  $z_1$  dan  $z_2$ ; serta 1 unit pada lapisan output, yaitu  $y$ . Bobot yang menghubungkan  $x_1$ ,  $x_2$ , dan  $x_3$  dengan neuron pertama pada lapisan tersembunyi, adalah  $v_{11}$ ,  $v_{21}$ , dan  $v_{31}$  ( $v_{ij}$ : bobot yang menghubungkan neuron input ke- $i$  ke neuron ke- $j$  pada lapisan tersembunyi). Perlu diingat bahwa, untuk pemakaian *toolbox nnet* pada Matlab, bobot  $v_{ij}$  memiliki pengertian yang sebaliknya ( $v_{ij}$ : bobot yang menghubungkan neuron ke- $j$  pada suatu lapisan ke neuron ke- $i$  pada lapisan sesudahnya). Misal:  $v_{12}$  adalah bobot yang menghubungkan neuron ke-2 pada lapisan input, ke neuron ke-1 pada lapisan tersembunyi. Kembali ke Gambar 2.12,  $b_{11}$  dan  $b_{12}$  adalah bobot bias yang menuju ke neuron pertama dan kedua pada lapisan tersembunyi. Bobot yang



menghubungkan  $z_1$  dan  $z_2$  dengan neuron pada lapisan output, adalah  $w_1$  dan  $w_2$ . Bobot bias  $b_2$  menghubungkan lapisan tersembunyi dengan lapisan *output*. Fungsi aktivasi yang digunakan, antara lapisan *input* dan lapisan tersembunyi, dan antara lapisan tersembunyi dengan lapisan *output* adalah fungsi aktivasi logsig (tidak diperlihatkan dalam gambar).



Gambar 2.16 Arsitektur jaringan backpropagation  
(Sumber: Kusumadewi, 2004: 94)

Pada umumnya, neuron-neuron yang terletak pada lapisan yang sama akan memiliki keadaan yang sama. Faktor terpenting dalam menentukan perlakuan suatu neuron adalah fungsi aktivasi dan pola bobotnya. Arsitektur jaringan merupakan sebuah arsitektur yang menentukan pola antar neuron. Di mana neuron-neuron tersebut terkumpul dalam lapisan yang disebut neuron layer, lapisan penyusun Jaringan Syaraf Tiruan dibagi menjadi tiga. Dalam kasus ini Arsitektur Jaringan Syaraf Tiruan yang digunakan adalah jaringan Backpropagation yaitu (Sudarsono, 2016: 65):

1. Lapisan *Input (Input layer)*, adalah unit-unit dalam lapisan input disebut unit-unit input yang bertugas menerima pola masukan dari luar yang menggambarkan suatu permasalahan dengan 2 simpul.
2. Lapisan tersembunyi (*hidden layer*) merupakan unit-unit dalam lapisan tersembunyi disebut unit-unit tersembunyi yang mana nilai keluarannya tidak dapat diamati secara langsung. Jumlah simpul yang ditentukan oleh pengguna.
3. Lapisan *output (output layer)* merupakan unit-unit dalam lapisan *output* yang merupakan solusi Jaringan Syaraf Tiruan terhadap suatu permasalahan.

### 2.7.2 Fungsi Aktivasi

Dalam *backpropagation* fungsi aktivasi yang digunakan harus memenuhi beberapa syarat yaitu: kontinu, terdiferensial dengan mudah dan merupakan fungsi yang tidak turun. Salah satu fungsi yang memenuhi ketiga syarat tersebut sehingga sering digunakan adalah fungsi sigmoid biner yang memiliki range (0, 1).

$$f(x) = \frac{1}{1+e^{-x}} \text{ dengan turunan } f'(x) = f(x)(1 - f(x)) \quad (2.15)$$

Fungsi lain yang dapat digunakan adalah fungsi sigmoid bipolar yang bentuk fungsinya mirip dengan fungsi sigmoid biner namun dengan range (-1, 1).

$$f(x) = \frac{2}{1+e^{-x}} - 1 \text{ dengan turunan } f'(x) = \frac{(1+f(x))(1-f(x))}{2} \quad (2.16)$$

Fungsi sigmoid memiliki nilai maksimum = 1. Untuk pola yang targetnya > 1, pola masukan dan keluaran harus terlebih dahulu ditransformasi sehingga semua polanya mempunyai *range* yang sama seperti fungsi sigmoid yang digunakan. Alternatif lain yaitu menggunakan fungsi aktivasi sigmoid hanya pada layar yang bukan layar keluaran. Pada layar keluaran, fungsi aktivasi yang digunakan adalah fungsi identitas  $f(x) = x$ .

### 2.7.3 Pelatihan Algoritma *Backpropagation*

Berikut merupakan langkah-langkah pelatihan algoritma *backpropagation* dikutip dari Kusumadewi (2004: 97).

- Inisialisasi bobot (ambil bobot awal dengan nilai *random* yang cukup kecil)
- Tentukan maksimum *epoch*, target *error*, dan *learning rate*.
- Inisialisasi *epoch* = 1, MSE = 1.
- Kerjakan langkah-langkah berikut selama (*Epoch* < maksimum *epoch*) dan (MSE > target *error*)
  1.  $Epoch = epoch + 1$
  2. Untuk tiap-tiap pasangan elemen yang akan dilakukan pelatihan, lakukan:

#### ***Feedforward:***

- a. Tiap-tiap unit *input* ( $X_i, i=1,2,3,\dots,n$ ) menerima sinyal  $x_i$  dan meneruskan sinyal tersebut ke semua unit pada lapisan yang ada di atasnya (lapisan tersembunyi).
- b. Tiap-tiap unit pada suatu lapisan tersembunyi ( $Z_j, j=1,2,3,\dots,p$ ) menjumlahkan sinyal-sinyal *input* terbobot:

$$z\_in_j = b1_j + \sum_{i=1}^n X_i V_{ij} \quad (2.17)$$

gunakan fungsi aktivasi untuk menghitung sinyal *outputnya*:

$$z_j = f(z\_in_j) \quad (2.18)$$

dan kirimkan sinyal tersebut ke semua unit di apisan atasnya (unit-unit *output*).

- c. Tiap-tiap unit *output* ( $Y_k, k=1,2,3,\dots,m$ ) menjumlahkan sinyal-sinyal *input* terbobot.

$$y\_in_k = b2_k + \sum_{i=1}^p Z_i W_{jk} \quad (2.19)$$

gunakan fungsi aktivasi untuk menghitung sinyal *outputnya*:

$$y_k = f(y\_in_k) \quad (2.20)$$

Dan kirimkan sinyal tersebut ke semua unit di lapisan atasnya (unit-unit *output*).

Langkah (b) dilakukan sebanyak jumlah lapisan tersembunyi.

### ***Backpropagation***

- d. Tiap-tiap unit *output* ( $Y_k, k=1,2,3,\dots,m$ ) menerima target pola yang berhubungan dengan pola input pembelajaran, hitung informasi *errornya*:

$$\Delta 2_k = (t_k - y_k) f'(y\_in_k) \quad (2.21)$$

$$\phi 2_{jk} = \Delta_k z_j \quad (2.22)$$

$$\beta 2_k = \Delta_k \quad (2.23)$$

kemudian hitung koreksi bobot (yang nantinya akan digunakan untuk memperbaiki nilai ( $w_{jk}$ ):

$$\Delta W_{jk} = \alpha \phi 2_{jk} \quad (2.23)$$

hitung juga koreksi bias (yang nantinya akan digunakan untuk memperbaiki nilai  $b2_k$ ):

$$\Delta b_{2k} = \alpha \beta_{2k} \quad (2.24)$$

Langkah (d) ini juga dilakukan sebanyak jumlah lapisan tersembunyi, yaitu menghitung informasi *error* dari suatu lapisan tersembunyi ke lapisan tersembunyi sebelumnya.

- e. Tiap-tiap lapisan tersembunyi ( $Z_j$ ,  $j=1,2,3,\dots,p$ ) menjumlahkan delta inputnya (dari unit-unit yang berada pada lapisan di atasnya).

$$\Delta_{in_j} = \sum_{k=1}^m \Delta z_k W_{jk} \quad (2.25)$$

kalikan nilai ini dengan turunan dari fungsi aktivasinya untuk menghitung informasi *error*:

$$\Delta l_j = \Delta_{in_j} f'(z_{in_j}) \quad (2.26)$$

$$\phi_{1ij} = \Delta l_j x_j \quad (2.27)$$

$$\beta_{1j} = \Delta l_j \quad (2.28)$$

kemudian hitung koreksi bobot (yang nantinya akan digunakan untuk memperbaiki nilai  $v_{ij}$ ):

$$\Delta v_{ij} = \alpha \phi_{1ij} \quad (2.29)$$

hitung juga koreksi bias (yang nantinya akan digunakan untuk memperbaiki nilai  $b_{1j}$ ):

$$\Delta b_{1j} = \alpha \beta_{1j} \quad (2.30)$$

- f. Tiap-tiap unit *output* ( $Y_k$ ,  $k=1,2,3,\dots,m$ ) memperbaiki bias dan bobotnya ( $j=0,1,2,\dots,p$ ):

$$W_{jk} \text{ (baru)} = w_{jk} \text{ (lama)} + \Delta w_{jk} \quad (2.31)$$

$$b_{2k} \text{ (baru)} = b_{2k} \text{ (lama)} + \Delta b_{2k} \quad (2.32)$$

Tiap-tiap unit tersembunyi ( $z_j$ ,  $j=1,2,3,\dots,p$ ) memperbaiki bias dan bobotnya ( $i=0,1,2,\dots,n$ ):

$$V_{ij} (\text{baru}) = v_{ij} (\text{lama}) + \Delta v_{ij} \quad (2.33)$$

$$b_{1j} (\text{baru}) = b_{1j} (\text{lama}) + \Delta b_{1j} \quad (2.34)$$

3. Hitung MSE.

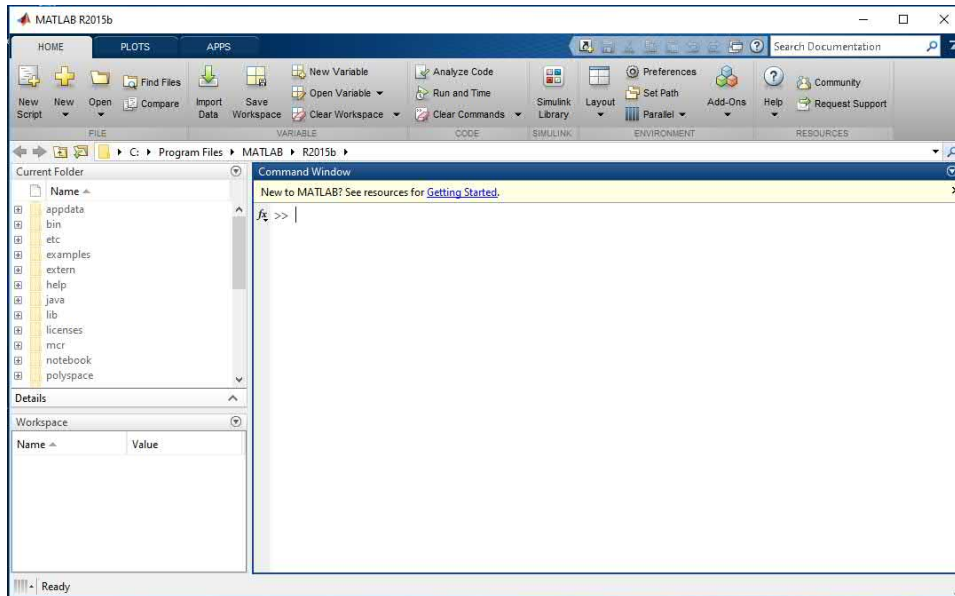
## 2.8 Matlab

*Matrix Laboratory* (MATLAB) merupakan bahasa pemrograman dengan unjuk kerja tinggi untuk komputasi teknis, yang mengintegrasikan komputasi, visualisasi, dan pemrograman di dalam lingkungan yang mudah penggunaannya dalam memecahkan persoalan dengan solusinya yang dinyatakan dengan notasi matematik (Wijaya dan Agus, 2007: 1). Dengan memanfaatkan Matlab, pengguna dapat melakukan analisis data, mengembangkan algoritma dan membuat model maupun aplikasi (Parinduri, 2018: 42).

MATLAB dapat mengatasi berbagai masalah diantaranya analisis data, komunikasi tanpa kabel, *deep learning*, *computer vision*, pemrosesan sinyal, *quantitative finance and risk management*, robotik dan sistem kontrol (Mathworks, 19/02/19 22:20). MATLAB dapat digunakan untuk mengatasi berbagai masalah diantaranya (Wijaya, 2007: 1) :

1. Matematika dan komputasi
2. Pengembangan algoritma
3. Pemodelan, simulasi dan pembuatan *prototipe*
4. Analisis data, eksplorasi dan visualisasi
5. Grafik untuk sains dan teknik

6. Pengembangan aplikasi, termasuk pembuatan antarmuka grafis untuk pengguna (*Graphical User Interface*)



Gambar 2.17 Tampilan aplikasi MATLAB  
(Sumber: Dokumentasi Peneliti)

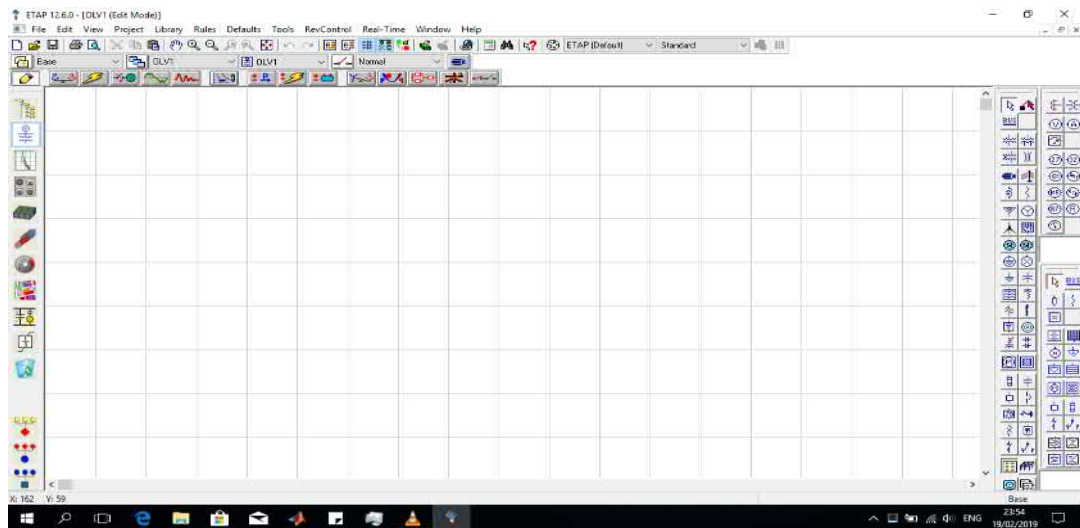
Fitur-fitur MATLAB untuk penyelesaian spesifik disebut *toolboxes*. *Toolboxes* merupakan koleksi komprehensif dari fungsi-fungsi MATLAB (M-file) yang memperlebar lingkungan MATLAB dalam menyelesaikan kelas-kelas tertentu dari permasalahan. Beberapa *toolbox* yang tersedia meliputi bidang: pengolahan sinyal, sistem kendali, jaringan syaraf tiruan, logika *fuzzy*, *wavelet*, simulasi dan lain sebagainya (Wijaya, 2007: 2).

## 2.9 Etap

ETAP merupakan aplikasi *engineering* yang digunakan untuk menyelesaikan masalah dibidang ketenagalistrikan. ETAP adalah perusahaan perangkat lunak rekayasa analitik spektrum penuh yang berspesialisasi dalam analisis, simulasi, pemantauan, kontrol, optimisasi, dan otomatisasi sistem tenaga listrik. Aplikasi ini

bekerja dengan melakukan perhitungan matematis dan dapat diterapkan pada jaringan *real* dan dapat memonitor jaringan tersebut secara *realtime*. Sehingga dengan simulasi ini dapat membantu pengguna untuk mengamati suatu operasi sistem ketenagalistrikan tanpa harus melakukan eksperimen secara langsung.

ETAP dapat digunakan untuk membuat proyek sistem tenaga listrik dalam bentuk diagram satu garis (*single line diagram*) dan jalur sistem pentanahan untuk berbagai bentuk analisis, antara lain: aliran daya, hubung singkat, starting motor, *transient stability*, koordinasi relai proteksi dan sistem harmonisasi. Proyek sistem tenaga listrik memiliki masing - masing elemen rangkaian yang dapat diedit langsung dari diagram satu garis dan atau jalur sistem pentanahan. Untuk kemudahan hasil perhitungan analisis dapat ditampilkan pada diagram satu garis. (Saputra, 2016).



Gambar 2.18 Tampilan aplikasi ETAP  
(Sumber: Dokumentasi Peneliti)



## BAB V

### PENUTUP

#### 5.1 Simpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah diuraikan, maka dapat diambil simpulan sebagai berikut:

1. Pemodelan jaringan syaraf tiruan yang tepat untuk jaringan distribusi 20 KV dengan penyulang KLS07 dan SRL09 terdapat pada parameter jaringan TRAINGDX20, dimana fungsi pelatihan menggunakan TRAINGDX (*Gradient Descent* dengan momentum dan *Adaptive Learning Rate*) dengan jumlah neuron 20. Penerapan jaringan syaraf tiruan mampu melakukan perhitungan dengan nilai  $R = 0,99617$  dan nilai  $MSE = 0,00031851$  pada epoch 206. Pelatihan tersebut dapat tercapai dalam waktu 6 detik. Nilai dari *perf* sebesar 0,0105 dan lebih kecil dibandingkan nilai *max\_perf\_inc* sehingga bobot baru tersebut diterima.
2. Terdapat perbedaan *trip time* antara pengaturan PLN dengan JST. Perbedaan *trip time* relai menggunakan kedua pengaturan tersebut tidak terlampau jauh. Selisih terbesar terjadi pada kasus ke-7 dengan selisih waktu *trip time* relai sebesar 0,025608 detik dan selisih terkecil terjadi pada kasus ke-3 dengan selisih 0,000274 detik.

## 5.2 Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, ada beberapa saran yang dapat dipertimbangkan untuk penelitian selanjutnya, diantaranya yaitu:

1. Penelitian dapat dikembangkan menggunakan algoritma selain jaringan syaraf tiruan seperti *fuzzy logic* untuk meningkatkan akurasi dan meminimalisir besaran *error* yang terjadi.
2. Topologi jaringan yang digunakan masih menggunakan jaringan *double feeder*, sehingga kedepannya dapat diterapkan pada topologi jaringan dengan *feeder* lebih dari dua.

## DAFTAR PUSTAKA

- Badaruddin dan Budi Wirawan. 2014. **Setting Koordinasi Over Current Relay pada Trafo 60 MVA 150/20 KV dan Penyulang 20 KV**. *SINERGI Vol. 18, No. 3, Oktober 2014*.
- Emmanuel, Osaji., H. Hizam, M.L. Othman, M.M. Othman. 2015. **Artificial Neural Network Application in Optimal Coordination of Directional Overcurrent Protective Relays in Electrical Mesh Distribution Network**. *Applied Mechanics and Materials Vol. 785 (2015) pp 48-52 Trans Tech Publications, Switzerland doi:10.4028/www.scientific.net/AMM.785.48*.
- Hasben, Rizky Fadhli., M. Pujiantara. A. Priyadi. 2016. **Koordinasi Proteksi Adaptif Rele Arus Lebih Digital Menggunakan Metoda Artificial Neural Network pada Sistem Mesh dengan Pembangkit Tersebar**. *JURNAL TEKNIK ITS Vol. 5, No. 2, (2016) ISSN: 2337-3539 (2301-9271 Print)*.
- Jumarwanto, Arif, R. Hartanto, D. Prastiyanto. 2009. **Aplikasi Jaringan Syaraf Tiruan Backpropagation Untuk Memprediksi Penyakit THT di Rumah Sakit Mardi Rahayu Kudus**. *Jurnal Teknik Elektro UNNES Vol.1 No.1. Januari – Juni 2009*.
- KBBI Daring. [kbbi.kemdikbud.go.id/entri/akurasi](http://kbbi.kemdikbud.go.id/entri/akurasi) 17 Juli 2019 (10:04)
- Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral. 2018. **Statistik Ketenagalistrikan 2017**. Edisi No.31 Tahun Anggaran 2018. Direktorat Jenderal Ketenagalistrikan.
- Kusumadewi, Sri. 2004. **Membangun Jaringan Syaraf Tiruan menggunakan MATLAB & EXCEL LINK**. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Lestari, Destina S, M Pujiantara, M.H. Purnomo, D. Rahmatullah. 2018. **Adaptive DOCR Coordination in Loop Distribution System With Distributed Generation Using Firefly Algorithm-Artificial Neural Network**. *International Conference on information and communication technology (ICOIACT)*.
- Marsudi, Djiteng. 2006. *Operasi Sistem Tenaga Listrik*. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- \_\_\_\_\_. 2011. *Pembangkitan Energi Listrik*. Jakarta: Erlangga.
- Muis, Saludin. 2006. *Teknik Jaringan Syaraf Tiruan*. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Musirikare, Alexandre, M. Pujiantara, A. Tjahjono, M.H. Purnomo. 2018. **ANN-Based Modeling of Directional Overcurrent Relay Characteristics Applied in Radial Distribution System with Distributed Generations**. *10th International conference on information technology and electrical engineering (ICITEE)*.

- Ngadirin. 2008. *Jaringan Distribusi*. Semarang: UNNES Press.
- Parinduri, Ikhsan. 2018. **Model dan Simulasi Rangkaian Rlc Menggunakan Aplikasi Matlab Metode Simulink**. *Journal of Science and Social Research*. February 2018, I (1): 42 – 47. Available online at <http://jurnal.goretanpena.com/index.php/JSSR>.
- Saputra, Rizky Ahmad. 2016. **Perhitungan Rugidaya Beban Terpasang Dalam Kondisi Standby Pada Rumah Tinggal Di Perumahan Bumi Sako Damai Palembang Menggunakan Aplikasi Etap 12.6**. <http://eprints.polsri.ac.id/3417/> 19 Februari 2019 (23:45).
- Sari, Ana Puspita. 2017. **Studi Koordinasi OCR dan GFR terhadap Kinerja Recloser Sebagai Pengaman pada Jaringan Distribusi 20 KV di PT.PLN (Persero) Area Tegal**. *Skripsi*. Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang.
- Setiajie, Prayoga., Juningtyastuti, S. Handoko. 2015. **Evaluasi Setting Relay Arus Lebih Dan Setting Relay Gangguan Tanah Pada Gardu Induk Spondol**. *TRANSIENT, VOL.4, NO. 2, JUNI 2015, ISSN: 2302-9927, 237*
- Siang, Jong Jek. 2005. **Jaringan Syaraf Tiruan dan Pemrogramannya menggunakan Matlab**. Yogyakarta: Andi Yogyakarta.
- Subekti, Lukman dan Suyoto. 2013. **Pengaruh Faktor Daya terhadap Hasil Transformasi pada Trafo Arus**. *Jurnal Teknik Elektro dan Teknologi Informasi UGM*.
- Sudarsono, Aji. 2016. **Jaringan Syaraf Tiruan untuk Memprediksi Laju Pertumbuhan Penduduk Menggunakan Metode Backpropagation (Studi Kasus di Kota Bengkulu)**. *Jurnal Media Infotama vol. 12 No. 1, Februari 2016, ISSN: 1858-2680*.
- Sugiyono. 2017. **Metode Penelitian Pendidikan (Pendekatan Kuantitatif, Kualitatif dan R&D)**. Cetakan ke-25. Bandung: Alfabeta.
- Sujito. 2013. **Koordinasi Proteksi Arus Lebih pada Jaringan Distribusi Menggunakan Software Edsa 2005**. *Tekno, Vol : 19 Maret 2013, ISSN : 1693-8739*.
- Sulasno. 1993. **Analisa Sistem Tenaga Listrik**. Semarang: Satya Wacana.
- Syahputra, Dr. Ramadoni. 2017. **Transmisi dan Distribusi Tenaga Listrik**. Yogyakarta: Penerbit LP3M UMY.
- Thoeurn, Muy, A. Priyadi, A. Tjahjono, M.H. Purnomo. 2017. **Overcurrent Relay Modeling Using Artificial Neural Network**. *International Electrical Engineering Congress, Pattaya, Thailand*.
- Tjahjono, Anang, A. Priyadi, M. Pujiantara, M.H. Purnomo. 2016. **Modeling Characteristic Curves of Digital Overcurrent Relay (DOCR) for User-defined Characteristic Curve Using Artificial Neural Network**.

*International Conference on Computational Science and Computational Intelligence.*

Undang-undang Republik Indonesia Nomor 20 Tahun 2002. ***Ketenagalistrikan.***  
Lembaran Negara Republik Indonesia Nomor 4226. Jakarta.

Wijaya, Marvin Chandra dan Agus Prijono. 2007. ***Pengolahan Citra Digital Menggunakan Matlab Image Processing Toolbox.*** Bandung: Penerbit Informatika.