



TESIS - TE142599

**KOORDINASI DIRECTIONAL OVERCURRENT
RELE MENGGUNAKAN CASCADE FORWARD
NEURAL NETWORK PADA JARING DISTRIBUSI
PEMBANGKIT TERSEBAR**

ALFIN SAHRIN
NRP 07111550010204

DOSEN PEMBIMBING
Dr. Ir. Margo Pujiantara, M.T.
Prof. Dr. Ir. Mauridhi Hery Purnomo, M.Eng.

PROGRAM MAGISTER
BIDANG KEAHLIAN TEKNIK SISTEM TENAGA
DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNOLOGI ELEKTRO
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2018



TESIS - TE142599

**KOORDINASI DIRECTIONAL OVERCURRENT
RELE MENGGUNAKAN CASCADE FORWARD
NEURAL NETWORK PADA JARING DISTRIBUSI
PEMBANGKIT TERSEBAR**

ALFIN SAHRIN
NRP 07111550010204

DOSEN PEMBIMBING
Dr. Ir. Margo Pujiantara, M.T.
Prof. Dr. Ir. Mauridhi Hery Purnomo, M.Eng.

PROGRAM MAGISTER
BIDANG KEAHLIAN TEKNIK SISTEM TENAGA
DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNOLOGI ELEKTRO
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2018

LEMBAR PENGESAHAN

Tesis disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar
Magister Teknik (M.T)
di
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
oleh:

Alfin Sahrin
NRP. 07111550010204

Tanggal Ujian : 19 Desember 2017
Periode Wisuda : Maret 2018

Disetujui oleh:

1. Dr. Ir. Margo Pujiantara, M.T. (Pembimbing I)
NIP: 196603181990101001

2. Prof. Dr. Ir. Mauridhi Hery Purnomo, M.Eng. (Pembimbing II)
NIP: 195809161986011001

3. Dedet Candra Riawan, S.T., M.Eng., Ph.D. (Penguji)
NIP: 197311192000031001

4. Hery Suryoatmojo, S.T., M.T., Ph.D. (Penguji)
NIP: 198006032006041003

5. Dr. Dimas Anton Asfani, S.T., M.T. (Penguji)
NIP: 198109052005011002

Dekan Fakultas Teknologi Elektro

Dr. Tri Arief Sardjono, S.T., M.T.
NIP: 197002121995121001

Halaman ini sengaja dikosongkan

PERNYATAAN KEASLIAN TESIS

Dengan ini saya menyatakan bahwa isi keseluruhan Tesis saya dengan judul **“KOORDINASI DIRECTIONAL OVERCURRENT RELE MENGGUNAKAN CASCADE FORWARD NEURAL NETWORK PADA JARING DISTRIBUSI PEMBANGKIT TERSEBAR”** adalah benar-benar hasil karya intelektual mandiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diijinkan dan bukan merupakan karya pihak lain yang saya akui sebagai karya sendiri.

Semua referensi yang dikutip maupun dirujuk telah ditulis secara lengkap pada daftar pustaka. Apabila ternyata pernyataan ini tidak benar, saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku.

Surabaya, Nopember 2017

Alfin Sahrin

NRP. 07111550010204

Halaman ini sengaja dikosongkan

KOORDINASI DIRECTIONAL OVERCURRENT RELE MENGUNAKAN CASCADE FORWARD NEURAL NETWORK PADA JARING DISTRIBUSI PEMBANGKIT TERSEBAR

Nama mahasiswa : Alfin Sahrin
NRP : 07111550010204
Pembimbing : 1. Dr. Ir. Margo Pujiantara, M.T
2. Prof. Dr. Ir. Mauridhi Hery P, M.Eng.

ABSTRAK

Sistem proteksi dalam sistem jaring distribusi yang terhubung dengan pembangkit tersebar akan menimbulkan permasalahan baru yang perlu diselesaikan. Dengan menggunakan parameter arus sebagai dasar proteksi untuk *setting overcurrent* rele dengan sistem *loop* perlu dilengkapi elemen arah *forward* dan *reverse* sehingga menjadi *directional overcurrent* rele. Pada sistem jaring distribusi dengan pembangkit tersebar dimungkinkan akan terjadi perubahan topologi kombinasi jumlah pembangkit sehingga terjadi pula perubahan *setting directional overcurrent* rele. Solusi permasalahan tersebut dapat diselesaikan menggunakan sistem hirarki kontrol (hierarchical control) digunakan pengolahan, penginderaan dan penyesuaian, pemantauan dan pengawasan. Proses tersebut dapat dilakukan dengan cara melakukan pemodelan dengan menggunakan cascade forward neural network sehingga akan didapatkan hasil model jaringan saraf tiruan. Dari hasil model tersebut menghasilkan output nilai setting *Ipickup* dan *TDS* kemudian dilakukan pengujian dengan cara mensimulasikan pada software ETAP 12.6 dengan sistem IEEE 9 bus yang dimodifikasi dan di uji coba pada perangkat keras dengan sistem master dan slave. Proses pelatihan dan pengujian menggunakan metode *lavenberg marquadt* dengan mean square error $7,86e^{-14}$, dan data yang diproses pada master dapat dikirim ke slave dengan waktu rata – rata 31 detik.

Kata kunci: Koordinasi rele, *directional overcuurent relay*, jaringan saraf tiruan, kontrol hirarki.

Halaman ini sengaja dikosongkan

DIRECTIONAL OVERCURRENT RELAY COORDINATION USING CASCADE FORWARD NEURAL NETWORK ON DISTRIBUTED GENERATION DISTRIBUTION NETWORK

By : Alfin Sahrin
Student Identity Number : 07111550010204
Supervisor(s) : 1. Dr. Ir. Margo Pujiantara, M.T
2. Prof. Dr. Ir. Mauridhi Hery P, M.Eng.

ABSTRACT

Protection systems in a distribution system connected to distributed generation will create new problems that need to be solved. Using current parameter as protection base for setting relay overcurrent with loop system need to have forward and reverse element then become directional overcurrent relay. In a distribution system with distributed generators it is possible to change the topology of the combined number of plants, so there is also a change of directional overcurrent relay settings. The solution of the problems can be solved using a hierarchical control system used for processing, sensing and adjusting, monitoring and monitoring. The process can be done by way of modeling by using cascade forward neural network so that it will produce artificial neural network model. From the results of the model produces output values of setting pickup and TDS then tested by simulating the ETAP 12.6 software with modified IEEE 9 bus system and tested on hardware with master and slave system. The training and testing process uses the levenberg marquadt method with mean square error $7,86e^{-14}$, and data processed on the master can be sent to the slave with an average time of 31 seconds.

Key words: Relay coordination, directional overcurrent relay, artificial neural network, hierarchical control.

Halaman ini sengaja dikosongkan

KATA PENGANTAR

Syukur Alhamdulillah penulis memanjatkan kehadirat Allah SWT, yang telah memberikan segala rahmat, taufik dan hidayah-NYA sehingga penulis dapat menyelesaikan tesis ini dengan baik. Penulis bersyukur kepada seluruh pihak yang senantiasa membantu dan mensupport dalam menyelesaikan studi ini. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada :

1. Kedua orang tua yang telah banyak memberikan perhatian serta dukungan doa dan semangatnya.
2. Istri dan anak – anakku tercinta (Mama, Hisyam, Aisyah, Zahwa) yang selalu membawa keceriahan dan keberkahan.
3. Bapak Dr.Ir. Margo Pujiantara, M.T., dan Prof. Dr. Ir. Mauridhi Hery Purnomo, M.Eng. selaku dosen pembimbing yang selalu mengarahkan dan memberi semangat untuk menyelesaikan tesis ini.
4. Bapak Dr. Ir. Anang Tjahjono M.T. yang selalu membantu dalam menyelesaikan tesis ini.
5. Seluruh dosen Teknik Elektro – Teknik Sistem Tenaga atas ilmu yang diberikan.
6. Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral yang telah memberikan beasiswa tugas belajar.
7. Teman – teman Teknik Elektro – Teknik Sistem Tenaga dan semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

Penulis menyadari bahwa penyusunan tesis ini jauh dari kesempurnaan, untuk itu penulis mengharapkan kritik dan saran dari semua pihak. Semoga tesis ini dapat bermanfaat bagi kita semua.

Surabaya, Nopember 2017

Penulis

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	iii
PERNYATAAN KEASLIAN TESIS	v
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	ix
KATA PENGANTAR	xi
DAFTAR ISI	xiii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan	2
1.4 Batasan Masalah	3
1.5 Kontribusi	3
1.6 Metodologi Penelitian	3
BAB 2 KAJIAN PUSTAKA	5
2.1 Kajian Penelitian Terkait	5
2.2 Jaring Distribusi Sistem <i>Loop</i>	7
2.3 Gangguan Arus Lebih	8
2.4 Metode Perhitungan Arus Hubung Singkat	8
2.5 Koordinasi Proteksi	13
2.5.1 Pengaturan Arus <i>Pickup</i>	14
2.5.2 <i>Time Current Characteristic</i> (TCC)	14
2.5.3 <i>Clearing Time Interval</i> (CTI)	16
2.5.4 <i>Directional Overcurrent Rele</i> (DOCR)	17
2.5.5 <i>Distributed Generation</i> (DG)	18
2.6 Jaringan Sarat Tiruan	19
2.6.1 Metode Levenberg Marquadt	22
2.6.2 Tahap Pelatihan	23
2.6.3 Tahap Pengujian	25
2.7 Mikrokontroler ARM	25
2.7.1 Arsitektur STM32F4 Discovery	26

BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN	29
3.1 Desain Sistem Single Line Diagram	30
3.2 Pengambilan Data Ifla Saluran.....	32
3.3 Perubahan Topologi Jaringan.....	33
3.4 Pembentukan Model Jaringan Saraf Tiruan	34
3.4.1 Data Pelatihan dan Pengujian	35
3.5 Model JST	43
3.6 Kontrol Hirarki (<i>Hierarchical Control</i>)	44
3.7 Sistem Komunikasi.....	45
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN	47
4.1 Hasil Perhitungan Koordinasi Proteksi Pada Jaring Distribusi Sistem	
<i>Loop</i>	47
4.1.1 Hasil Setting Rele Pada Topologi 1.....	47
4.1.2 Hasil Setting Rele Pada Topologi 2.....	52
4.1.3 Hasil Setting Rele Pada Topologi 3.....	57
4.1.4 Hasil Setting Rele Pada Topologi 4.....	62
4.2 Pembentukan Model Jaringan Saraf Tiruan CFNN	67
4.3 Hasil Model Jaringan Saraf Tiruan CFNN.....	69
4.4 Sistem Komunikasi Kontrol Hirarki.....	70
4.4.1 Hasil Model Setting Rele Pada Topologi 1	73
4.4.2 Hasil Model Setting Rele Pada Topologi 2	79
4.4.3 Hasil Model Setting Rele Pada Topologi 3	85
4.4.4 Hasil Model Setting Rele Pada Topologi 4	91
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN	97
5.1 Kesimpulan.....	97
5.2 Penelitian Selanjutnya	97
DAFTAR PUSTAKA.....	99
LAMPIRAN	101

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Jaring distribusi sistem <i>loop</i>	7
Gambar 2. 2 Arus pada kondisi normal	9
Gambar 2. 3 Arus pada hubung singkat	9
Gambar 2. 4 Karakteristik arus hubung singkat	10
Gambar 2. 5 Gangguan hubung singkat 3 fasa	11
Gambar 2. 6 Gangguan hubung singkat 2 fasa	12
Gambar 2. 7 Gangguan hubung singkat fasa ke tanah	13
Gambar 2. 8 Tipe kurva rele arus lebih	15
Gambar 2. 9 Time Dial Setting (TDS) pada rele arus lebih	16
Gambar 2. 10 Dasar elemen arah <i>forward</i> dan <i>reverse</i>	17
Gambar 2. 11 Struktur dasar artificial neural network	20
Gambar 2. 12 Struktur cascade forward neural network	20
Gambar 2. 13 Fungsi sigmoid Biner	21
Gambar 2. 14 Fungsi linier (identitas) salah	22
Gambar 2. 15 Mikrokontroler STM32 discovery board	26
Gambar 2. 16 Arsitektur STM32 discovery	27
Gambar 3. 1 Proses Penelitian	29
Gambar 3. 2 Modifikasi <i>Single Line Diagram</i> standar IEEE 9 Bus	31
Gambar 3. 3 Struktur Jaringan Saraf Tiruan	37
Gambar 3. 4 Diagram Alir Pelatihan Dengan Algoritma Levenberg Marquadt ...	38
Gambar 3. 5 Diagram alir proses pengujian	43
Gambar 3. 6 Model JST	44
Gambar 3. 7 Komunikasi master slave	45
Gambar 4. 1 Sistem Konfigurasi Topologi 1	48
Gambar 4. 2 Sistem Konfigurasi Topologi 2	53
Gambar 4. 3 Sistem Konfigurasi Topologi 3	58
Gambar 4. 4 Sistem Konfigurasi Topologi 4	63
Gambar 4. 5 Perbandingan Antara Neuron dan MSE	68
Gambar 4. 6 Kurva performa proses Pelatihan	68

Gambar 4. 7 Kurva Kesesuaian Output Dengan Target	69
Gambar 4. 8 Model Jaringan Saraf Tiruan	70
Gambar 4. 9 Sistem Komunikasi Kontrol Hirarki	71
Gambar 4. 10 Waktu Pengiriman Data.....	72
Gambar 4. 11 Hasil Pemodelan Topologi 1	73
Gambar 4. 12 Simulasi Koordinasi Rele Topologi 1 pada bus 8	75
Gambar 4. 13 Kurva TCC Rele 8 dan 9 Saat Hubung Singkat 3 Phasa 0,5 Cycle	75
Gambar 4. 14 Simulasi Koordinasi Rele Topologi 1 antara bus 6 dan bus 9	76
Gambar 4. 15 Kurva TCC Rele 3 dan 4 Saat Hubung Singkat 3 Phasa 0,5 Cycle	76
Gambar 4. 16 Tampilan Unit Pengolah Data Topologi 1	78
Gambar 4. 17 Tampilan Mikrokontroler Topologi 1.....	78
Gambar 4. 18 Hasil Pemodelan Topologi 2	79
Gambar 4. 19 Simulasi Koordinasi Rele Topologi 2 pada bus 5	81
Gambar 4. 20 Kurva TCC Rele 10 dan 11 Saat Hubung Singkat 3 Phasa 0,5 Cycle	81
Gambar 4. 21 Simulasi Koordinasi Rele Topologi 1 antara bus 7 dan bus 8.....	82
Gambar 4. 22 Kurva TCC Rele 1 dan 2 Saat Hubung Singkat 3 Phasa 0,5 Cycle	82
Gambar 4. 23 Tampilan Unit Pengolah Data Topologi 2.....	84
Gambar 4. 24 Tampilan Mikrokontroler Topologi 2.....	84
Gambar 4. 25 Hasil Pemodelan Topologi 3	85
Gambar 4. 26 Simulasi Koordinasi Rele Topologi 3 pada bus 6	87
Gambar 4. 27 Kurva TCC Rele 4 dan 5 Saat Hubung Singkat 3 Phasa 0,5 Cycle	87
Gambar 4. 28 Simulasi Koordinasi Rele Topologi 3 antara bus 4 dan bus 5	88
Gambar 4. 29 Kurva TCC Rele 11 dan 15 Saat Hubung Singkat 3 Phasa 0,5 Cycle	88
Gambar 4. 30 Tampilan Unit Pengolah Data Topologi 3.....	90
Gambar 4. 31 Tampilan Mikrokontroler Topologi 3.....	90
Gambar 4. 32 Hasil Pemodelan Topologi 4	91
Gambar 4. 33 Simulasi Koordinasi Rele Topologi 4 pada bus 9	93
Gambar 4. 34 Kurva TCC Rele 3 dan 4 Saat Hubung Singkat 3 Phasa 0,5 Cycle	93
Gambar 4. 35 Simulasi Koordinasi Rele Topologi 1 antara bus 4 dan bus 6.....	94
Gambar 4. 36 Kurva TCC Rele 4 dan 5 Saat Hubung Singkat 3 Phasa 0,5 Cycle	94

Gambar 4. 37 Tampilan Unit Pengolah Data Topologi 4	96
Gambar 4. 38 Tampilan Mikrokontroler Topologi 4	96

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Koefisien Kurva Rele Inverse Standard IEC	15
Tabel 2. 2 <i>Clearing Time Interval Rele</i>	17
Tabel 2. 3 Kapasitas <i>Distributed Generation</i>	18
Tabel 3. 1 Data Generator	30
Tabel 3. 2 Data <i>Distributed Generation</i>	30
Tabel 3. 3 Data Beban.....	30
Tabel 3. 4 Data Transformator	31
Tabel 3. 5 Data Saluran.....	31
Tabel 3. 6 Data Pasangan Rele <i>Primer</i> dan <i>backup</i>	32
Tabel 3. 7 Data Arus maksimum Kabel XLPE 3 Core	33
Tabel 3. 8 Data <i>Ifla</i> saluran	33
Tabel 3. 9 Kombinasi topologi pembangkit.....	34
Tabel 3. 10 Struktur JST yang digunakan.....	36
Tabel 3. 11 Aturan Pembagian Data	36
Tabel 4. 1 Data <i>Isc</i> 3 fasa 0,5 <i>cycle</i> , <i>Ifla</i> dan CT pada Topologi 1	48
Tabel 4. 2 Data <i>Isc</i> 3 fasa 0,5 <i>cycle</i> Rele <i>Primer</i> dan <i>Backup</i> Topologi 1	49
Tabel 4. 3 Nilai <i>Ipickup</i> dan TDS Pada Topologi 1	52
Tabel 4. 4 Data <i>Isc</i> 3 fasa 0,5 <i>cycle</i> , <i>Ifla</i> dan CT pada Topologi 2	53
Tabel 4. 5 Data <i>Isc</i> 3 fasa 0,5 <i>cycle</i> Rele <i>Primer</i> dan <i>Backup</i> Topologi 2	54
Tabel 4. 6 Nilai <i>Ipickup</i> dan TDS Pada Topologi 2.....	57
Tabel 4. 7 Data <i>Isc</i> 3 fasa 0,5 <i>cycle</i> , <i>Ifla</i> dan CT pada Topologi 3	58
Tabel 4. 8 Data <i>Isc</i> 3 fasa 0,5 <i>cycle</i> Rele <i>Primer</i> dan <i>Backup</i> Topologi 3	59
Tabel 4. 9 Nilai <i>Ipickup</i> dan TDS Pada Topologi 3.....	62
Tabel 4. 10 Data <i>Isc</i> 3 fasa 0,5 <i>cycle</i> , <i>Ifla</i> dan CT pada Topologi 4	63
Tabel 4. 11 Data <i>Isc</i> 3 fasa 0,5 <i>cycle</i> Rele <i>Primer</i> dan <i>Backup</i> Topologi 4	64
Tabel 4. 12 Nilai <i>Ipickup</i> dan TDS Pada Topologi 4.....	67
Tabel 4. 13 Model jaringan saraf tiruan.....	70
Tabel 4. 14 Hasil pemodelan CFNN Pada Topologi 1	74
Tabel 4. 15 Waktu Operasi Rele <i>Primer</i> dan <i>Backup</i> Topologi 1.....	77
Tabel 4. 16 Hasil pemodelan CFNN Pada Topologi 2	80

Tabel 4. 17 Waktu Operasi Rele Primer dan Backup Topologi 2	83
Tabel 4. 18 Hasil pemodelan CFNN Pada Topologi 3	86
Tabel 4. 19 Waktu Operasi Rele Primer dan Backup Topologi 3	89
Tabel 4. 20 Hasil pemodelan CFNN Pada Topologi 4	92
Tabel 4. 21 Waktu Operasi Rele Primer dan Backup Topologi 4	95

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dalam menjaga pasokan energi listrik yang handal dan kontinyu dalam sistem jaringan pembangkit tersebar tidak lepas dari peran komponen pendukung sistem tenaga listrik. Salah satu komponen tersebut adalah sistem pengaman yang berperan melindungi sistem ketika terjadi suatu gangguan. Gangguan yang sering terjadi pada sistem adalah gangguan hubung singkat yang dapat mengakibatkan kegagalan dalam operasi suplai pasokan energi listrik. Maka diperlukan suatu sistem pengaman yang cerdas, yaitu mampu berkoordinasi secara dan mandiri dalam berbagai perubahan konfigurasi sumber pembangkit yang terjadi. Pembangkit tersebar (*Distrubuted Generation*) merupakan gabungan dari beberapa pembangkit dengan skala kecil dengan sumber utama dan ditempatkan secara tersebar[1]. Jenis pembangkit tersebar dapat berupa energi yang tidak dapat diperbarui maupun energi yang dapat diperbarui seperti pembangkit tenaga surya, pembangkit tenaga angin dan pembangkit listrik tenaga mikrohidro[2].

Koordinasi proteksi mempunyai peran penting untuk menjamin kontinuitas dari sumber energi, sehingga dalam desain koordinasi proteksi harus menjamin keandalan, selektivitas, fleksibilitas dan kecepatan operasi rele untuk mengisolasi area yang terkena gangguan tanpa mempengaruhi daerah yang lain[3]. Beberapa dampak dari sistem pembangkit sumber tersebar adalah perubahan besar gangguan hubung singkat dan kesalahan dalam pemutusan jaringan. Untuk mengatasi hal tersebut dilakukan optimasi koordinasi baru, maka perlu dilakukan perhitungan dengan mempertimbangkan keberadaan letak pembangkit dengan menentukan *time dial setting* dan arus *pick up* sehingga dapat menjadi koordinasi dan total waktu operasi rele yang minimal.

Koordinasi bisa dilakukan dengan menggunakan sistem kontrol hirarki (*hierarchical control*) dimana ada beberapa tingkatan dalam proses penyelesaian permasalahan. Dengan melakukan pengolahan, penginderaan dan penyesuaian, pemantauan dan pengawasan, dengan menggunakan perangkat untuk mengetahui

kondisi masing – masing topologi jaringan yang terjadi, selanjutnya akan menentukan nilai yang harus diberikan ke masing – masing rele sebagai nilai penyetelan saat itu yang sesuai dengan kondisi topologi[4].

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk membangun sebuah perangkat sistem proteksi yang mampu melakukan koordinasi serta dapat melakukan komunikasi dengan sistem hirarki kontrol untuk melakukan perubahan setting rele sesuai topologi jaringan dengan sistem *loop*. Untuk menyelesaikan masalah tersebut menerapkan algoritma Levenberg Marquadt dengan menggunakan Cascade Forward Neural Network yang digunakan untuk membangun model jaringan saraf tiruan. Hasil dari model yang dibuat kemudian disimulasikan pada software ETAP dan dilakukan pengujian dengan menggunakan perangkat keras. Sistem yang digunakan pada penelitian ini yaitu sistem standar IEEE 9 bus yang telah dimodifikasi menjadi jaring distribusi dengan pembangkit tersebar.

1.2 Rumusan Masalah

Permasalahan dalam penelitian ini dapat dirumuskan sebagai berikut :

1. Membangun suatu sistem untuk memperoleh pengaturan koordinasi proteksi pada sistem *loop* yang terhubung dengan pembangkit tersebar.
2. Menyederhanakan dari model sistem jaringan menjadi model data untuk mengurangi kompleksitas perhitungan koordinasi proteksi pada sistem *loop*.
3. Membuat model jaringan saraf tiruan dari model data yang telah dibuat dengan metode Levenberg Marquadt menggunakan Cascade Forward Neural Network.
4. Membangun sebuah perangkat proteksi dengan sistem kontrol hirarki yang dapat berkomunikasi dan melakukan setting koordinasi rele mengikuti perubahan topologi jaringan.

1.3 Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah membangun sebuah perangkat sistem proteksi dengan kontrol hirarki untuk melakukan setting koordinasi sesuai perubahan topologi jaringan dengan memperhatikan status pembangkit. Cara yang

dilakukan adalah dengan memodelkan jaring distribusi sistem loop menjadi model data yang lebih sederhana untuk dijadikan model jaringan saraf tiruan.

1.4 Batasan Masalah

Permasalahan pada penelitian ini dibatasi oleh hal – hal berikut :

1. Pengujian gangguan hubung singkat hanya dilakukan pada bus yang terhubung dalam sistem jaring *loop*.
2. Proses pengambilan data menggunakan simulasi dengan software ETAP.
3. Jenis kurva relay hubung singkat menggunakan invers rele.
4. Pada kombinasi pembangkit generator utama selalu dalam keadaan beroperasi.
5. Setting rele hanya digunakan untuk menproteksi gangguan 0,5 cycle.
6. Komunikasi data pada sistem kontrol hirarki hanya berdasarkan status pembangkit.

1.5 Kontribusi

Kontribusi dari penelitian ini adalah terbentuknya sebuah perangkat sistem proteksi berdasarkan kontrol hirarki dengan cara mengikuti kondisi status pembangkit melalui model jaringan saraf tiruan. Kedepannya diharapkan dapat dikembangkan dan di implementasikan secara nyata pada sistem jaringan yang lebih besar.

1.6 Metodologi Penelitian

Dalam menyelesaikan penelitian ini menggunakan metodologi sebagai berikut :

1. Studi literatur dan pengumpulan data

Studi literatur mencakup studi untuk teori proteksi, studi komponen yang digunakan di dalam single line diagram seperti *Directional Overcurrent Rele*, kapasitas pembangkit, transformator, kabel, dan perangkat hardware mikrokontroler serta kontrol hirarki. Selain itu juga dilakukan studi algoritma

yang akan digunakan paenelitian ini yaitu Levenberg Marquadt dengan Cascade Forward Neural Network.

2. Simulasi Sistem

Sistem yang digunakan pada penelitian ini yaitu sistem standar IEEE 9 bus yang dimodikasi menjadi jaring distribusi yang terdiri dari 1 generator utama dan 2 pembangkit tersebar. Sehingga didapatkan 4 kombinasi pembangkitan. Setelah itu dilakukan simulasi *load flow* untuk mendapatkan nilai arus full load (I_{fla}) pada saluran dan simulasi hubung singkat untuk mendapatkan nilai arus hubung singkat, sehingga didapatkan nilai setting rele.

3. Pemodelan Sistem

Data yang dihasilkan dari simulasi digunakan sebagai input dan output kemudian dimodelkan dengan metode Levenberg Marquadt menggunakan Cascade Forward Neural Network untuk mendapat model jaringan saraf tiruan.

4. Integrasi hasil pemodelan dengan perangkat keras

Hasil dari pemodelan dari model jaringan saraf tiruan dimasukkan kedalam mikrokontroler sebagai interface rele. Kemudian di integrasikan dengan perangkat pengolah data yang dapat berkomunikasi dengan mikrokontroler, dan masing – masing mikrokontroler juga bisa saling komunikasi. Sehingga antara pengolah data dan mikrokontroler bisa saling mengirim dan menerima data nilai setting rele sesuai dengan kondisi topologi pembangkit.

5. Analisa

Hasil dari model jaringan saraf tiruan berupa setting rele disimulasikan menggunakan software ETAP 12.6 kemudian dilakukan pengujian koordinasi rele di setiap kombinasi pembangkitan. Setelah itu model jaringan saraf tiruan yang telah diintegrasikan dengan perangkat keras juga dilakukan pengujian dan hasilnya akan dibandingkan dengan hasil simulasi.

6. Kesimpulan

Tahap akhir dari penelitian ini adalah menarik kesimpulan dari hasil penelitian yang telah dilakukan. Kemudian mencatat semua hasil penelitian sesuai standar yang telah ditentukan.

BAB 2

KAJIAN PUSTAKA

Implementasi sistem dengan pembangkit tersebar terus dilakukan meskipun masih menemui berbagai kendala, sehingga terkadang energi fosil masih perlu dilibatkan untuk di gunakan sebagai cadangan untuk kondisi darurat. Sehingga kehandalan serta kualitas layanan energi ke pengguna masih bisa terjamin. Dengan komposisi dari beberapa sumber energi pembangkit yang berbeda - beda maka diperlukan suatu teknologi yang dapat mengendalikannya.

Pesatnya perkembangan teknologi, berkembang pula teknologi proteksi sebagai kendali untuk menjaga kehandalan pasokan sumber energi yang cerdas dan mampu mengikuti perubahan topologi kombinasi sumber pembangkit yang berubah – ubah secara kontinyu.

Dalam penelitian tesis ini tidak lepas dari referensi penelitian yang telah dilakukan para peneliti sebelumnya yang berkaitan dengan koordinasi rele arus hubung singkat yang meliputi pemodelan kurva, koordinasi optimisasi, dan koordinasi .

2.1 Kajian Penelitian Terkait

Directional overcurrent rele mendeteksi arus gangguan pada sistem tenaga listrik yang dapat mengurangi kecepatan waktu operasi rele sampai 50 % bila dibandingkan dengan menggunakan rele tidak *non directional*[5]. Proteksi rele arus lebih bekerja ketika besaran arus melebihi arus *pick up*. Sistem tenaga listrik modern menggunakan rele digital yang dioperasikan dekat dengan batasan desain rele digital. Oleh karena itu, sistem tenaga listrik modern perlu model rele dengan kondisi realistis. Model arus lebih didefinisikan berbagai cara, Salah satunya yang paling terkenal adalah kurva arus-tegangan dari rele arus lebih[6].

Ada dua metode utama untuk mempresentasikan rele arus lebih yaitu memodelkan dengan software dan penyimpanan data langsung. Memodelkan dengan software untuk karakteristik rele arus lebih mempunyai peran penting dalam koordinasi proteksi pada sistem tenaga listrik. Literatur secara lengkap dari

memodelkan dengan software untuk karakteristik rele arus lebih ditinjau pada [7] dan M.S. Sachdev, menggunakan *polynomials* untuk memodelkan rele arus lebih untuk tujuan koordinasi.

Penyimpanan data langsung adalah metode lain untuk mempresentasikan rele arus lebih. Penyimpanan data langsung dengan menyimpan data dalam memori komputer untuk *time dial setting* yang berbeda dan kemudian titik operasi rele arus lebih dipilih berdasarkan data yang disimpan. Jika titik operasi rele arus lebih sesuai dengan kumpulan nilai data yang tersimpan maka interpolasi diperlukan untuk menentukan waktu trip. Oleh karena itu, permasalahan dengan metode ini adalah membutuhkan tempat untuk menyimpan dan menggunakan jumlah data yang besar. Pada titik tengah, interpolasi diperlukan sehingga mempengaruhi akurasi[8].

Dalam pembuatan model artificial neural network dengan menggunakan algoritma levenberg marquadt yang dikombinasikan cascade forward neural network dapat menghasilkan model yang layak dan sangat akurat[9]. Dengan menggunakan cascade forward neural network dalam proses training didapatkan waktu yang lebih efisien dibandingkan dengan menggunakan feedforward artificial neural network, karena dalam proses tersebut target input layer selain menjadi input pada hidden layer juga langsung menjadi input pada output layer. Sehingga hal ini dapat diperoleh output yang lebih akurat dalam waktu yang singkat.

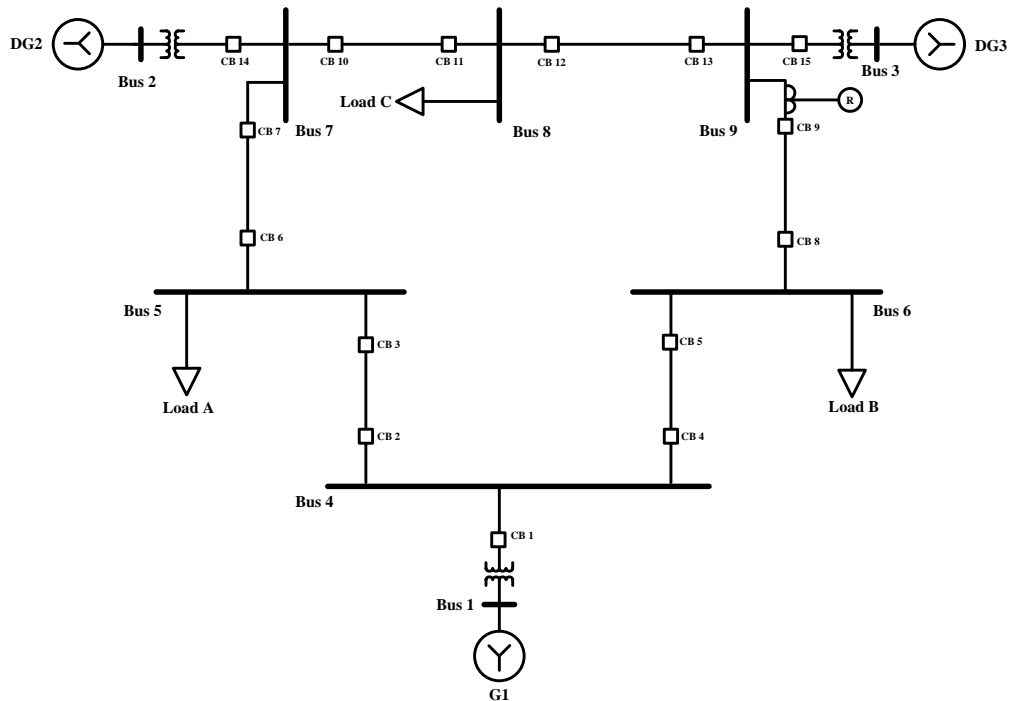
Peneliti yang telah melakukan risetnya adalah Zamani, M.A.[10] secara konsep telah berhasil melakukan simulasi sistem strategis pada proteksi tegangan rendah microgrid dengan grid yang terhubung dan mode islanded, untuk enabling proteksi, menggunakan software PSCAD/EMTDC, berbasis mikroprosesor, dengan tersambung grid dan mode islanded, tanpa komunikasi dan tidak .

Khederzadeh, M. Et al [11] melakukan perhitungan penyetelan dan konfigurasi microgrid secara offline kemudian disimpan di rele, saat tidak terhubung dari grid maka penyetelan rele akan berubah sesuai perhitungan *off line*. Dengan menggunakan *directional overcurrent rele* mampu mendeteksi gangguan, namun belum mempergunakan algoritma dalam prosesnya.

A. Tjahjono [12] menerapkan model kurva rele dengan menggunakan ANFIS dan diaplikasikan dalam sistem jaring di industri nyata untuk identifikasi gangguan dan lokasinya.

2.2 Jaringan Distribusi Sistem Loop

Jaring distribusi sistem *loop* merupakan gabungan dari jaringan dengan sistem *radial*. Pada jaringan dengan sistem ini memungkinkan suplai daya dari pembangkit ke beban lebih terjamin karena daya yang disuplai dari dua arah saluran atau lebih sehingga kontinuitas pelayanan lebih terjamin serta kualitas dayanya menjadi lebih baik.



Gambar 2. 1 Jaringan distribusi sistem *loop*

Keuntungan jaring distribusi sistem *loop* :

1. Kualitas tegangan baik sehingga *drop* tegangan juga baik dan rugi saluran menjadi kecil.
2. Kontinuitas suplai daya ke beban terjamin karena disuplai dari dua arah saluran atau lebih.

3. Jika terjadi gangguan di salah satu saluran maka tidak berpengaruh pada saluran yang lain dan tetap mampu menyalurkan daya listrik.

Kerugian jaring distribusi sistem *loop* :

1. Biaya investasi yang mahal, baik dari segi konstruksi maupun pengembangan sistem.
2. Koordinasi proteksi lebih sulit.

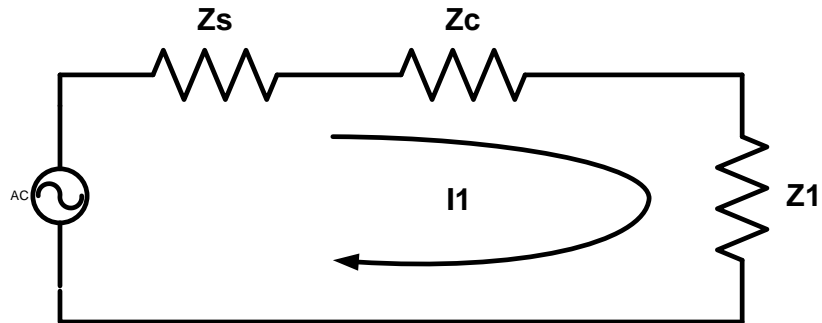
2.3 Gangguan Arus Lebih

Salah satu jenis gangguan dalam sistem tenaga listrik adalah [3raki] gangguan yang disebabkan oleh aliran arus berlebih. Kejadian ini disebabkan oleh dua hal yaitu hubung singkat dan daya beban yang berlebih. Daya beban berlebih umumnya disebabkan oleh peralatan yang dihubungkan dengan *rating* yang lebih besar maupun kurang tepatnya prosedur pengoperasian peralatan. Kondisi tersebut mengakibatkan bertambahnya aliran arus yang mengalir pada tegangan yang sama.

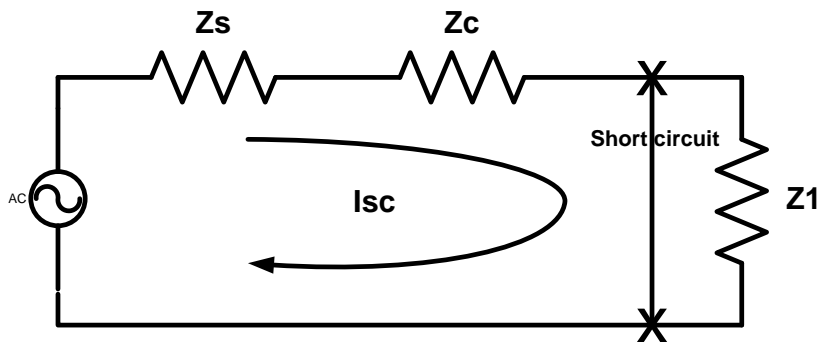
Hubung singkat pada umumnya disebabkan oleh kegagalan isolasi akibat panas yang berlebih (*excessive heat*), kelembaban, maupun kerusakan mekanis. Hubung singkat terjadi karena hubungan antar dua fasa, hubungan seluruh fasa pada sistem *polyphase*, atau hubungan antar fasa ke tanah. Pada kondisi ekstrim, hubung singkat dapat mengakibatkan *arcing* dan mungkin akan membakar isolasi sehingga memperburuk kejadian.

2.4 Metode Perhitungan Arus Hubung Singkat

Pada kondisi normal [13], arus adalah suatu aliran akibat adanya beda potensial pada suatu impedansi dalam sebuah sistem. Pada gambar 2.2 dapat diketahui bahwa total arus yang mengalir pada sistem adalah sumber tegangan dibagi dengan total impedansi sistem. Akan tetapi, pada kejadian hubung singkat, dapat dimisalkan suatu impedansi mengalami hubung singkat akibat terdapat sebuah konduktor yang dipasang secara paralel dengan impedansi tersebut seperti pada gambar 2.3.

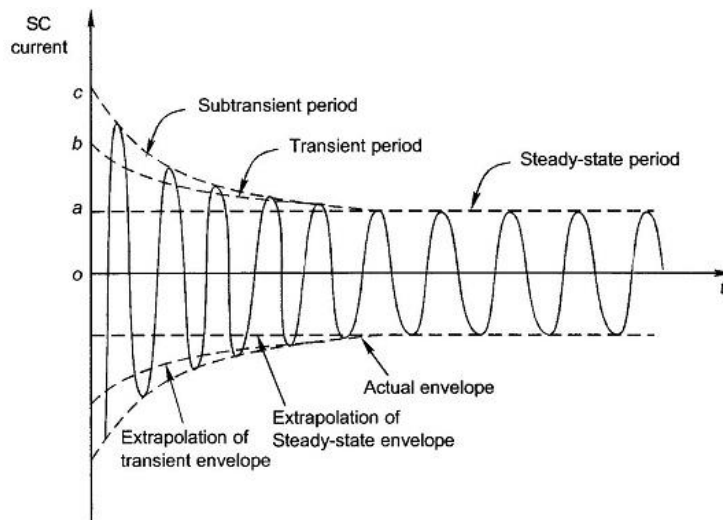


Gambar 2. 2 Arus pada kondisi normal



Gambar 2. 3 Arus pada hubung singkat

Karena pada kondisi hubung singkat terdapat pengurangan impedansi (akibat *short* oleh konduktor), maka arus hubung singkat tentu akan lebih besar dari pada arus normal. Selain itu, perubahan kondisi sistem dari normal menjadi hubung singkat terjadi sangat cepat, akan tetapi sistem tenaga listrik yang bersifat induktif tidak dapat mengalami perubahan arus secara seketika, maka dari itu munculah arus tidak simetris (*asymetrical current*) dengan dengan magnitude yang lebih tinggi daripada arus hubung singkat. Kejadian ini terjadi sangat cepat dan akan kembali pada kondisi simetris.



Gambar 2. 4 Karakteristik arus hubung singkat

Kejadian hubung singkat dibagi kedalam beberapa periode yaitu *subtransient* (0,5 cycle), *transient* (1,5 – 4 cycle), dan *steady state*.

Untuk menghitung arus akibat hubung singkat pada sistem kelistrikan, perlu dilakukan klasifikasi terhadap tipe hubung singkat. Terdapat beberapa kejadian yang dikategorikan sebagai berikut :

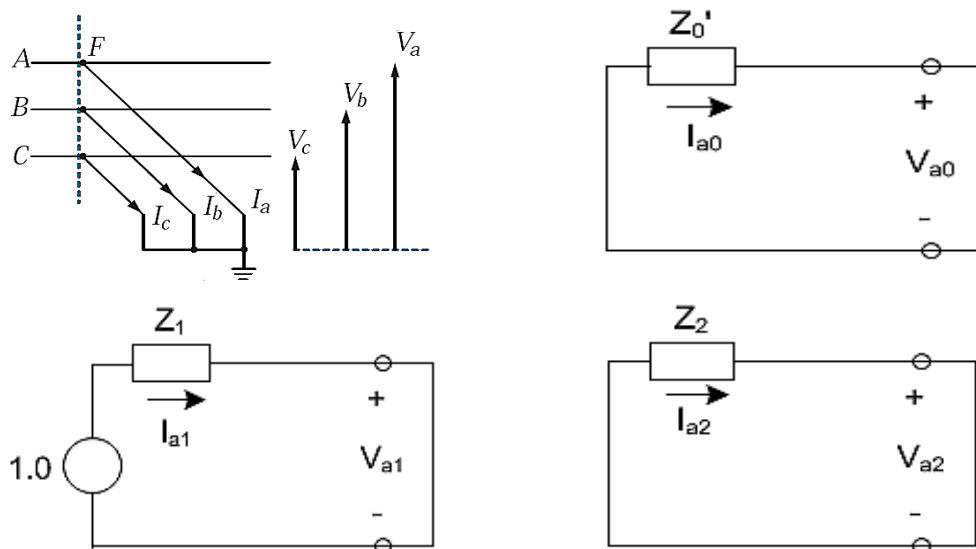
1. Hubung singkat tiga phasa

Kejadian hubung singkat dengan seluruh phasa terhubung menjadi satu titik. Dalam sistem kelistrikan, kemungkinan kejadian ini sebesar 5%. Nilai arus kejadian hubung singkat ini merupakan yang paling besar, dapat diformulasikan mealui persamaan berikut :

$$I_{sc} 3\phi = \frac{V_{LN}}{X_1} \tag{2.1}$$

Dimana V_{LN} adalah tegangan line to neutral dan X_1 adalah reaktansi positif

$$V_{a0} = 0 \qquad V_{a2} = 0 \qquad I_{a0} = 0 \qquad I_{a2} = 0$$



Gambar 2. 5 Gangguan hubung singkat 3 fase

2. Hubung singkat dua fase

Kejadian dimana antar fase pada suatu sistem bertemu dalam suatu titik dan mengakibatkan arus hubung singkat. Pada kondisi nyata, hubung singkat dua fase memiliki persentase kejadian sebesar 15%. Nilai hubung singkat dua fase ini sering disebut dengan arus hubung singkat minimum karena banyaknya jumlah impedansi yang berpengaruh.

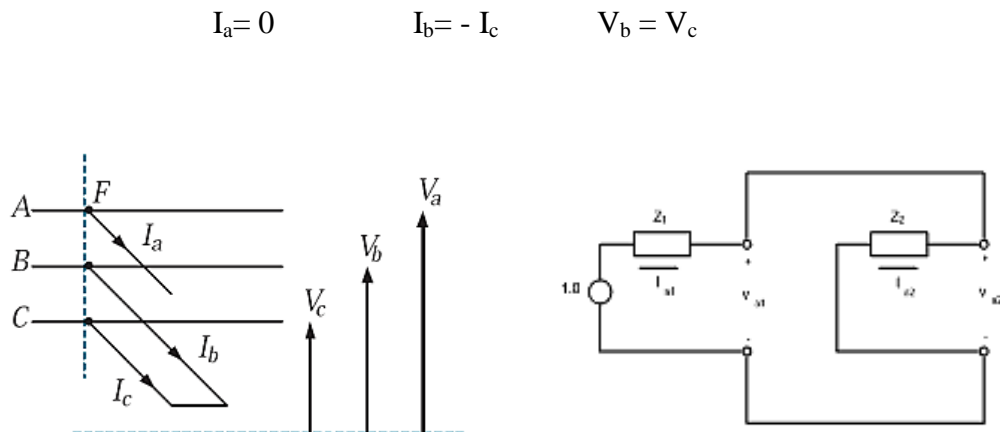
$$I_{sc\ 2\emptyset} = \frac{V_{LL}}{X_1 + X_2}$$

Dimana V_{LL} adalah tegangan *line to line* dan X_2 adalah reaktansi urutan negatif. Jika X_1 sama dengan X_2 maka :

$$I_{sc\ 2\emptyset} = \frac{\sqrt{3} \cdot V_{LL}}{X_1 + X_2}$$

Mengacu pada persamaan (2.1) maka :

$$I_{sc\ 2\emptyset} = \frac{\sqrt{3}}{2} I_{sc\ 3\emptyset} \quad (2.2)$$



Gambar 2. 6 Gangguan hubung singkat 2 fase

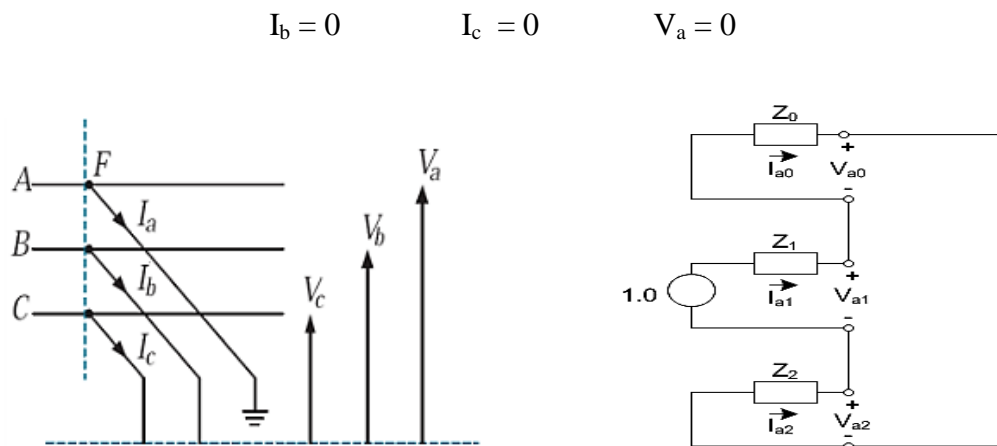
3. Hubung singkat phasa ke tanah

Kejadian hubung singkat yang paling sering terjadi pada sistem kelistrikan dengan persentase sebesar 80%. Hubung singkat ini terjadi saat salah satu phasa terhubung dengan tanah, baik melalui *body* peralatan maupun sentuhan dengan peralatan lain (disebut juga sebagai *ground fault*). Untuk menghitung nilai arus yang mengalir dapat digunakan persamaan sebagai berikut :

$$I_{sc\ 1\emptyset} = \frac{3 \cdot V_{LN}}{X_1 + X_2 + X_0 + Z_G}$$

Dimana Z_G adalah impedansi ke tanah. Apabila nilai Z_G minimum (mendekati nol), maka X_1 sama dengan X_2 dan X_3 , maka dapat disimpulkan :

$$I_{sc\ 1\emptyset} = \frac{V_{LN}}{X_1} = I_{sc\ 3\emptyset} \quad (2.3)$$



Gambar 2. 7 Gangguan hubung singkat fase ke tanah

2.5 Koordinasi Proteksi

Tujuan dari koordinasi proteksi sistem kelistrikan dengan parameter arus adalah untuk menentukan karakteristik, *rating*, dan *setting* dari peralatan pengaman arus lebih yang berfungsi untuk meminimalisasi kerusakan perangkat serta melokalisir hubung singkat secepat mungkin. Peralatan pengaman arus lebih bekerja dengan bagian primer dan *backup*. Bagian primer merupakan bagian pertama dalam menanggulangi kerusakan akibat gangguan. Maka bagian primer diperlukan peralatan yang bekerja lebih cepat dan apabila terjadi kegagalan akan ditanggulangi oleh peralatan bagian *backup*.

2.5.1 Pengaturan Arus *Pickup*

Pada peralatan proteksi, *pickup* memiliki arti nilai minimum arus yang mengalir sebelum perangkat memulai tindakan. Dengan kata lain, penerapan pada peralatan rele arus lebih adalah sebagai berikut :

Jika $I_F \geq I_P$, maka rele mengirimkan sinyal *trip*

Jika $I_F < I_P$, maka rele tidak melakukan apa-apa

Untuk menentukan arus *pickup* pada rele sebagai pelindung dari beban lebih adalah :

$$1,05 \text{ FLA} \leq I_p \leq 1,4 \text{ FLA} \quad (2.3)$$

Sementara untuk batas penentuan arus *pickup* pada rele sebagai pelindung kejadian hubung singkat adalah :

$$1,6 \text{ FLA} \leq I_p \leq 0,8 \text{ Isc min} \quad (2.4)$$

Dimana FLA adalah *Full Load Ampere* yang berarti arus yang mengalir pada beban sesuai daya maksimum, dan Isc min adalah arus hubung singkat minimum (Isc 2Ø) dalam durasi *steady state* (30 cycle).

2.5.2 *Time Current Characteristic* (TCC)

Suatu kurva TCC (*Time Current Characteristic*) didefinisikan dalam bentuk waktu operasi dan nilai arus operasi pada suatu peralatan proteksi. Kurva TCC digunakan sebagai panduan perancang dalam membuat suatu sketsa koordinasi proteksi. Kerangka pemikiran yang diperlukan adalah menentukan apakah antar kurva pada TCC boleh bersinggungan atau tidak, sesuai kebutuhan koordinasi.

Rele arus lebih pada umumnya digambarkan dalam suatu kurva satu garis. Pada rele *invers* terdapat beberapa tipe kurva yang membantu dalam melakukan koordinasi. Tipe kurva ini ditentukan berdasarkan persamaan (2.5) [14] :

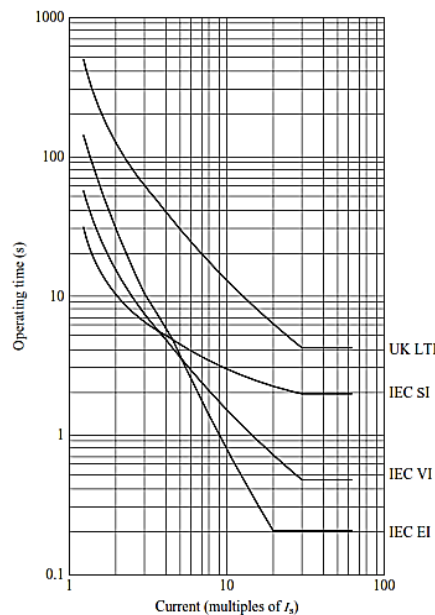
$$T_{op} = \frac{k \times TDS}{\left(\left(\frac{I}{I_p}\right)^\alpha - 1\right)} \quad (2.5)$$

Dimana T_{op} adalah waktu operasi rele, TDS adalah *Time Dial Setting*, I adalah arus pada keadaan t_{op} dan I_p adalah arus *pickup* untuk perlindungan beban lebih. Persamaan (2.5) juga disusun dengan beberapa koefisien seperti tabel 2.1.

Tabel 2. 1 Koefisien Kurva Rele Inverse Standard IEC

Tipe Kurva	k	α
Long Time Inverse	120	1
Standar Inverse	0,14	0,02
Very Inverse	13,5	1
Extremely Inverse	80	2

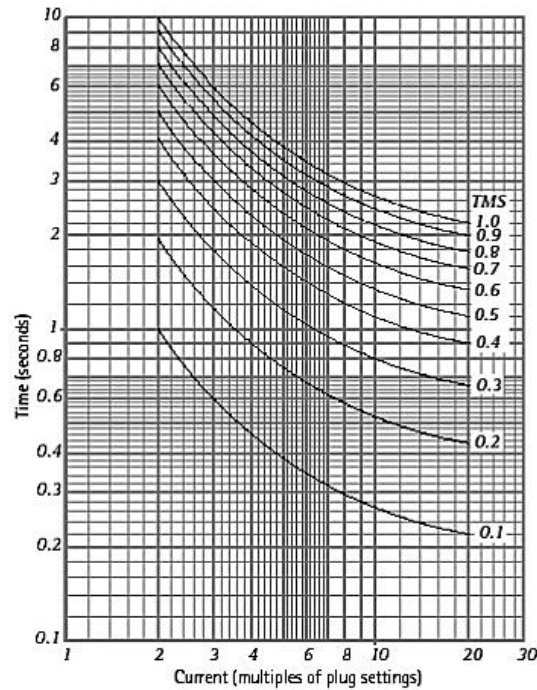
Dalam kurva TCC, perbedaan parameter koefisien dapat digambarkan seperti gambar 2.8.



Gambar 2. 8 Tipe kurva rele arus lebih

Pengaruh penentuan TDS pada persamaan (2.5) akan mempengaruhi waktu operasi rele, nilai TDS yang semakin besar akan semakin lama waktu

operasi rele dan jika semakin kecil akan mempercepat waktu operasi rele. Pengaruh TDS dapat digambarkan seperti pada gambar 2.9.



Gambar 2. 9 Time Dial Setting (TDS) pada rele arus lebih

2.5.3 Clearing Time Interval (CTI)

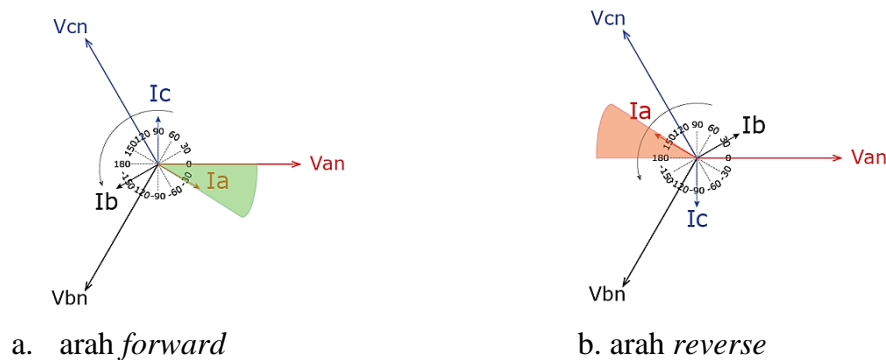
Salah satu pertimbangan dalam melakukan koordinasi rele arus lebih selain menentukan gradasi arus *pickup* adalah penentuan waktu kerja rele. Tanpa adanya interval antar rele, peralatan pengaman bekerja secara tidak tepat dan dapat memutus aliran daya ke lokasi yang tidak mengalami gangguan. Pada kurva arus dan waktu, selain memperhatikan koordinasi dengan tidak mentolerir adanya kurva rele yang berpotongan, perlu diperhatikan juga durasi tunggu antar rele. Dengan peralatan yang modern, durasi tunggu antar rele dipengaruhi oleh beberapa faktor, seperti cara kerja rele, *overtravel* rele, dan toleransi *error*. Secara ringkas, batasan CTI dapat dilihat pada tabel 2.2.

Tabel 2. 2 *Clearing Time Interval Rele*

Kerja Rele	Tipe Rele	
	Electromechanical	Static
<i>Circuit breaker opening time</i>	0,08s	0,08s
<i>Rele overtravel</i>	0,10s	0,00s
<i>Rele tolerance and setting error</i>	0,12s	0,12s
Total CTI	0,30s	0,20s

2.5.4 *Directional Overcurrent Rele (DOCR)*

Rele ini memiliki kemampuan yang dapat bekerja pada arah yang berbeda. Dalam satu rele bisa di *setting* dalam keadaan *foward* atau *reverse*, hal ini bertujuan agar tidak terjadi kesalahan koordinasi. *Directional rele* bekerja berdasarkan pergeseran fasa antara besar polarisasi dan besar operasinya. Pada kondisi *foward*, arus tertinggal dari tegangan, sedangkan untuk kondisi *reverse* arus mendahului tegangan. Karakteristik DOCR dapat dilihat pada gambar 2.10



Gambar 2. 10 Dasar elemen arah *forward* dan *reverse*

Directional Overcurrent Rele digunakan pada sistem yang mempunyai beberapa sumber pembangkit. Biasa digunakan untuk melindungi sistem dengan jaringan *mesh* maupun *loop*. Dalam penggunaannya rele ini sering digabungkan dengan overcurrent rele sehingga menjadi *directional overcurrent rele (DOCR)*.

2.5.5 Distributed Generation (DG)

Distributed Generator atau yang biasa disebut pembangkit tersebar adalah pembangkit listrik yang memiliki skala kecil dan terletak pada jaring distribusi. Pada umumnya DG memiliki skala antara 1 kW – 50 kW. Tetapi pada kenyatannya pengertian DG memiliki deskripsi yang berbeda – beda. *International Council on Large Electricity System (CIGRE)* mendiskripsikan bahwa *Distributed Generation* merupakan pembangkit dengan kapasitas maksimum 50 MW sampai 100 MW, yang biasa terhubung ke jaring distribusi. *Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE)*, mengatakan bahwa *Distributed Generation* sebagai pembangkit energi listrik yang dilakukan oleh peralatan yang lebih kecil dari pembangkit listrik pusat sehingga memungkinkan terjadi interkoneksi di hampir semua titik pada sistem tenaga listrik. Sedangkan *International Energy Agency (IEA)* mendefinisikan *Distributed Generation* sebagai unit pembangkit daya listrik pada sisi konsumen dan menyuplai daya listrik langsung ke jaring distribusi lokal.

Pada tabel 2.3 merupakan kapasitas DG yang digunakan pada jaring distribusi maupun transmisi.

Tabel 2. 3 Kapasitas *Distributed Generation*

<i>Distributed Generation</i>	Kapasitas DG
Combine cycle gas turbine	35 – 400 MW
Internal combustion engines	5 kW – 10 MW
Combustion turbine	1 – 250 MW
Micro turbines	35 kW – 1 MW
Small hydro	1 – 100 MW
Micro hydro	25 kW – 1 MW
Wind turbine	200 Watt – 3 MW
Photovoltaic arrays	20 Watt – 100 kW
Solar thermal, central receiver	1 – 10 MW
Solar thermal, Lutz system	10 – 80 MW
Biomass, e.g, based on gasification	100 kW – 20 MW
Fuel cells, phosacid	200 kW – 2 MW

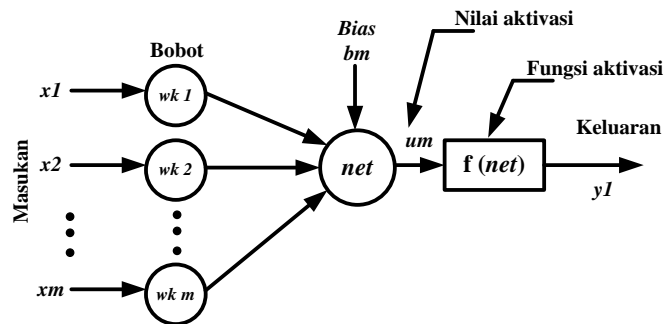
Lanjutan Tabel 2.3

<i>Distributed Generation</i>	Kapasitas DG
Fuel cells, molten carbonate	250 kW – 2 MW
Fuel cells, proton exchange	1 kW – 250 kW
Fuel cells, solid oxid	250 kW – 5 MW
Geothermal	5 – 100 MW
Ocean energy	100 kW – 1 MW
Stirling engine	2 -10 kW
Battery storage	500 kW – 5 MW

Penggunaan DG dapat membantu memenuhi kebutuhan listrik di tempat yang berada jauh dari pembangkit listrik utama sehingga kontinuitas daya ke pelanggan dan keandalan dari sistem akan semakin baik. Selain itu dengan adanya DG juga bisa mengurangi beban kerja dari pembangkit utama sehingga ketika terjadi beban puncak, pembangkit utama tetap mampu menyuplai daya dengan baik karena sebagian beban di suplai oleh DG.

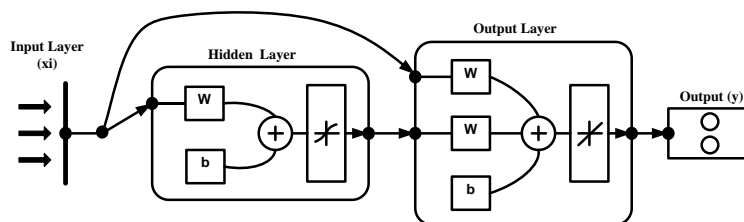
2.6 Jaringan Saraf Tiruan

Jaringan Saraf Tiruan (JST) atau *Artificial Neural Network* (ANN) didasari pada struktur jaringan biologi, khususnya jaringan otak manusia. Pada dasarnya jaringan saraf tiruan terbentuk dari satu trilyun lebih struktur dasar *neuron* yang terhubung satu sama lain oleh satu trilyun sinapsis sehingga dapat melaksanakan aktivasi menyimpan pengetahuan secara teratur dan terus menerus. *Neuron* merupakan unit pemroses terkecil pada otak manusia. Oleh karena itu *neural network* digunakan untuk memodelkan sistem yang kompleks antara input dan output sehingga dapat ditemukan pola – pola data. Fungsi *neuron* pada *neural network* sebagai bagian terkecil dari pemrosesan[15]. Pemodelan bentuk neuron bisa dilihat pada gambar 2.11.



Gambar 2. 11 Struktur dasar artificial neural network

Jaringan saraf tiruan memiliki berbagai jenis yaitu multilayer perceptron, feedforward neural network, functional link neural network, cascade forward neural network, time delay neural network, dll. Cascade forward neural network memiliki struktur yang sama dengan multi layer perceptron tetapi cascade forward neural network memiliki koneksi langsung bobot (weight) dari input layer ke output layer yang memiliki susunan yang kompleks seperti terlihat pada gambar 2.12.



Gambar 2. 12 Struktur cascade forward neural network

Pada gambar 2.12, “y1” menerima masukan dari neuron $x1$, $x2$, dan xm , dengan bobot hubungan masing-masing adalah $wk1$, $wk2$, dan $wk m$. Ketiga impuls neuron yang ada dijumlahkan menjadi persamaan 2.6.

$$net = x1wk1 + x2wk2 + \dots + xmwkm \quad (2.6)$$

Besarnya impuls yang diterima oleh y_l mengikuti fungsi aktivasi $y_l = f(\text{net})$. Apabila nilai fungsi aktivasi cukup kuat, maka sinyal akan diteruskan. Nilai fungsi aktivasi (keluaran model jaringan) juga dapat dipakai sebagai dasar untuk mengubah bobot. Sedangkan bias yang biasa disimbolkan dengan simbol “ b ” memiliki arti sebagai parameter model *neuron* terpisah, yang memiliki persamaan 2.7.

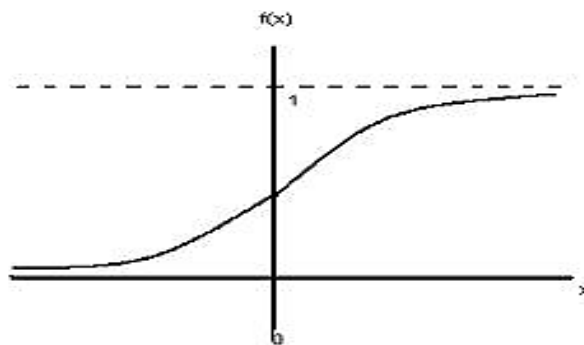
$$\text{net} = x_1w_{k1} + x_2w_{k2} + \dots + x_mw_{km} + b_m \quad (2.7)$$

Fungsi pengolah data masukan menjadi data keluaran disebut fungsi aktivasi neuron $f(\text{net})$, antara lain :

a. Fungsi Sigmoid Biner

Fungsi sigmoid biner memiliki range 0 sampai 1, seperti ditunjukkan pada gambar 2.13. Fungsi sigmoid biner seperti persamaan 2.8.

$$y = f(\text{net}) = \frac{1}{1 + \exp(-x)} \quad (2.8)$$

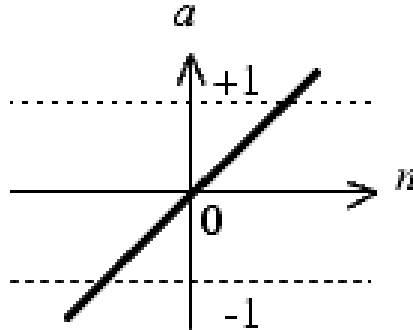


Gambar 2. 13 Fungsi sigmoid Biner

b. Fungsi Linear (identitas)

Fungsi identitas atau biasa disebut purelin memiliki nilai output range -1 sampai 1, seperti ditunjukkan pada gambar 2.14. Fungsi sigmoid bipolar seperti persamaan 2.9.

$$y = f(n) = x \quad (2.9)$$



Gambar 2. 14 Fungsi linier (identitas)

2.6.1 Metode Levenberg Marquadt

Metode ini menggunakan pendekatan matrik hesian (H) yang dapat dihitung dengan persamaan 2.10 [16].

$$H = J^T e \quad (2.10)$$

Sedangkan gradient dapat dihitung dengan persamaan 2.11.

$$g = J^T J \quad (2.11)$$

Dalam hal ini J merupakan sebuah matrik jacobian yang berisikan turunan pertama dari error jaringan terhadap bobot dan bias jaringan. Perubahan pembobot dapat dihitung dengan persamaan 2.12.

$$\Delta X = [J^T J + \mu I]^{-1} J^T e \quad (2.12)$$

Sehingga perbaikan pembobot dapat ditentukan dengan persamaan 2.13.

$$X = X + \Delta X \quad (2.13)$$

$$X = \Delta X + [J^T J + \mu I]^{-1} J^T e \quad (2.14)$$

$$J = \begin{bmatrix} \frac{\partial e_{11}(x)}{\partial x_1} & \frac{\partial e_{11}(x)}{\partial x_2} & \frac{\partial e_{11}(x)}{\partial x_3} & \dots & \frac{\partial e_{11}(x)}{\partial x_n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \frac{\partial e_{k1}(x)}{\partial x_1} & \frac{\partial e_{k1}(x)}{\partial x_2} & \frac{\partial e_{k1}(x)}{\partial x_3} & \dots & \frac{\partial e_{k1}(x)}{\partial x_n} \\ \frac{\partial e_{12}(x)}{\partial x_1} & \frac{\partial e_{12}(x)}{\partial x_2} & \frac{\partial e_{12}(x)}{\partial x_3} & \dots & \frac{\partial e_{12}(x)}{\partial x_n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \frac{\partial e_{k2}(x)}{\partial x_1} & \frac{\partial e_{k2}(x)}{\partial x_2} & \frac{\partial e_{k2}(x)}{\partial x_3} & \dots & \frac{\partial e_{k2}(x)}{\partial x_n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \frac{\partial e_{kp}(x)}{\partial x_1} & \frac{\partial e_{kp}(x)}{\partial x_2} & \frac{\partial e_{kp}(x)}{\partial x_3} & \dots & \frac{\partial e_{kp}(x)}{\partial x_n} \end{bmatrix} \quad (2.15)$$

- x = fungsi bobot - bobot jaringan dan bias
- $x = [v_{11}, v_{12}, \dots, v_{ij}; v_{01}, v_{02}, \dots, v_{0j}; w_{11}, w_{12} \dots w_{jk}; w_{01}, w_{02} \dots w_{0k}]$

e adalah vektor yang menyatakan semua error pada output jaringan

$$e = [t_1 - y_1, t_2 - y_2, \dots, t_p - y_p]^T$$

μ = konstanta pelatihan

I = matrik identitas

2.6.2 Tahap Pelatihan

Tahap pelatihan ini merupakan langkah bagaimana suatu jaringan syaraf itu berlatih, yaitu dengan cara melakukan perubahan bobot sambungan. Sedangkan tahap pemecahan masalah akan dilakukan jika proses belajar tersebut selesai, tahap tersebut merupakan proses pengujian atau *testing*. Secara garis besar algoritma Levenberg-Marquardt merupakan modifikasi dari backpropagation. Terdiri dari dua proses yaitu *feed forward* dan perbaikan pembobot, yang dilakukan secara serentak dengan menghitung matrik Jacobian terlebih dahulu.

1. Proses *feed forward* (Tahap Maju)
 - a. Inisialisasi faktor penimbang dengan nilai random yang kecil
 - b. Masing – masing *hidden* menjumlahkan faktor penimbang :

$$Z_j = f(Z_{in_j}) \quad (2.16)$$

Karena yang digunakan fungsi sigmoid maka :

$$Z_j = \frac{1}{1+\exp(-Z_{in_j})} \quad (2.17)$$

Kemudian mengirim sinyal tersebut ke semua unit di atasnya (*output unit*). Masing – masing unit output ($Y_k, k = 1,2,3, \dots, m$) dijumlahkan faktor penimbang:

$$Y_{in_k} = w_{ok} + \sum_{j=1}^p z_j w_{jk} \quad (2.18)$$

Menghitung sesuai dengan fungsi aktifasi:

$$Y_k = f(Y_{in_k}) \quad (2.19)$$

Masing – masing unit output ($Y_k, k = 1,2,3, \dots, m$) menerima pola target sesuai dengan pola masukan saat *training* dan menghitung *error*:

$$\partial_k = (t_k - Y_k) f'(Y_{in_k}) \quad (2.20)$$

Karena $f'(Y_{in_k}) = Y_k$ dengan menggunakan fungsi sigmoid, maka :

$$\begin{aligned} f'(Y_{in_k}) &= f(Y_{in_k})(1 - f(Y_{in_k})) \\ &= Y_k(1 - Y_k) \end{aligned} \quad (2.21)$$

2. Proses perbaikan pembobot

Pada lapisan *output*, diawali dengan membandingkan *output* jaringan dengan *output* target. *Error* yang terjadi digunakan untuk memperbaiki tiap bobot sambungan. *Error* diminimalkan dengan persamaan (2.22) :

$$E = \frac{1}{2} \sum_{k=1}^m (\beta_k)^2 \text{ dengan } \beta_k = (t_k - Y_k) \quad (2.22)$$

semua *error* yang terjadi dilapisan *output* dibandingkan (diturunkan satu kali) dengan semua bobot – bobot jaringan untuk membentuk matrik Jacobian. Setelah itu dilakukan proses perbaikan / *update* bobot.

2.6.3 Tahap Pengujian

Pada tahap ini, pola yang akan dikenali dimasukkan pada *input node* jaringan. Inisialisasi bobot sambungan diambil dari nilai bobot sambungan terakhir pada tahap belajar yang dianggap paling baik. Pola ini dikomputasikan dengan bobot interkoneksi hasil fase pelatihan, dengan persamaan 2.19 sampai 2.22. Nilai inilah yang akan dikirim kelapisan output seperti proses pada *hidden layer*, maka didapat hasil *output* adalah

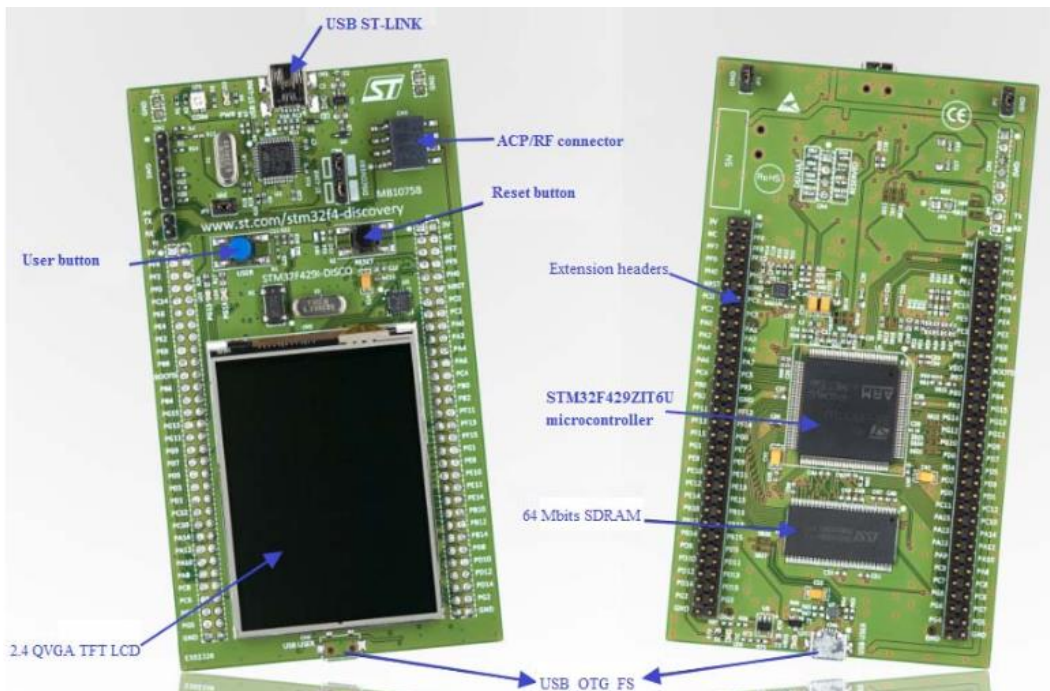
$$Y_{in_k} = w_{ok} + \sum_{j=1}^p z_j w_{jk} \quad (2.22)$$

Hasil aktivasi sel – sel pada lapisan keluaran merupakan keputusan dari jaringan syaraf tiruan. Pada perangkat lunak yang dibuat, hasil aktivasi sel sebagai keputusan JST ditampilkan dalam skala kebenaran, skala kebenaran terbesar merupakan keputusan terakhir dari jaringan syaraf tiruan.

2.7 Mikrokontroler ARM

STM32F4 *discovery* merupakan modul berbasis mikrokontroler dengan arsitektur ARM 32 bit dengan prosesor STM32F407VGT6 dan termasuk sebuah ST-LINK/V2 sebagai alat *debug*. Fitur yang dimiliki STM32F4Discovery diantaranya ST MEMS digital microphone, audio DAC yang reintegrasi pengendali speaker kelas D, led, tombol dan sebuah konektor USB OTG Micro-AB.

Prosesor STM 32F407VGT6 mempunyai banyak fitur, seperti I/O, *Timer*, ADC, DAC dan DMA. Kecepatan *clock* nya bisa mencapai 168Mhz sehingga memungkinkan untuk mengerjakan perintah program yang cukup panjang dalam waktu singkat. Pada gambar 2.15 menunjukkan bentuk fisik dari board STM32F4Discovery.

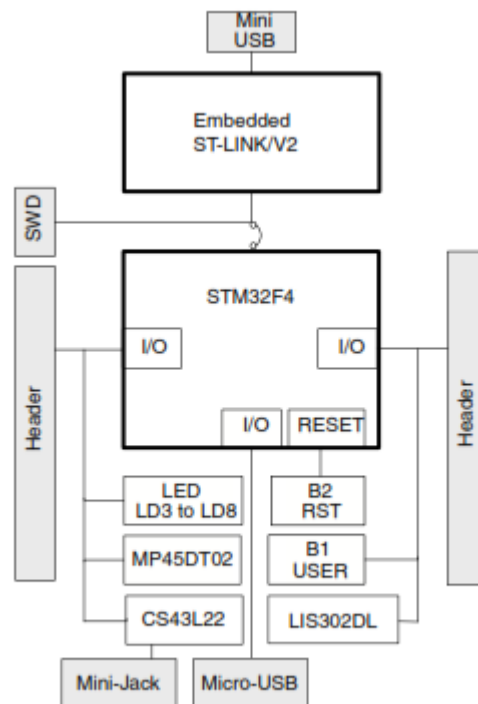


Gambar 2. 15 Mikrokontroler STM32 discovery board

2.7.1 Arsitektur STM32F4 Discovery

- Saluran I/O sebanyak 80 buah, GPIO A, GPIO B, GPIO C, GPIO D, dan GPIO E.
- ARM 32-bit Cortex-M4 CPU with FPU.
- Adaptive real time accelerator (ART Accelerator)
- 168 MHz maximum frequency, 210 DMIPS/1,25 DMIPS/MHz.
- Features 1024 Kbytes of flash.
- 196 Kbytes of SRAM.
- LCD paralel interface, 8080/6800 modes.
- 3 – 12 bits, 0,41 A/D converters up to 24 channels, 2 – 12 bit D/A converters.
- 16 stream DMA controller with centralized FIFOs and burst support.
- Up to 12 – 16 bit and 2 – 23 bit timers up to 150 MHz.
- Up to 136 fast I/Os up to 84 MHz, Up to 138,5 V tolerant I/Os.

- Up to 3 I2C interfaces, Up to 4 USARTs/2 UARTs (10,5 Mbit/s, ISO 7816, LIN, IrDA, modem control), Up to 3 SPIs (37.5 Mbits/s).
- 2 C_CAN interfaces (2.0B Active), SDIO interface.
- USB 2.0 FS device/host/OTG controller with dedicated DMA, on chip FS PHY and ULPI.
- Hardware acceleration for AES 128, 192, 256, triple DES, HASH (MD5, SHA-1)
- Analog true random number generator, CRC calculation unit, 96 bit unique ID.
- RTC : subsecond accuracy, hardware calender.
- LIS302DL, ST MEMS motion sensor, 3 axis digital output accelerometer.
- MP45DT02, ST MEMS audio sensor, omnidirectional digital microphone.



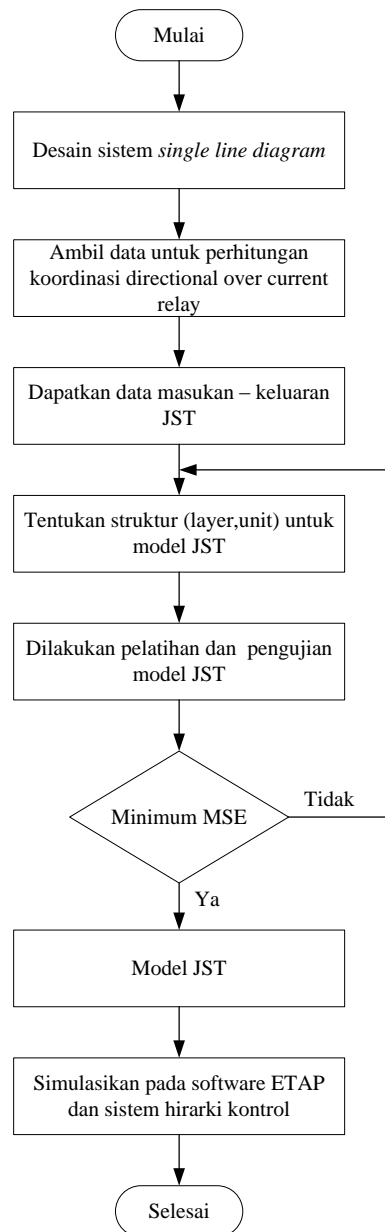
Gambar 2. 16 Arsitektur STM32 discovery

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 3

METODOLOGI PENELITIAN

Dalam penyelesaian dan tercapainya tujuan penelitian tidak terlepas dari dari perencanaan dan proses penelitian yang sudah dirancang sebelumnya. Proses penelitian ini digambarkan dalam sebuah *flowchart* pada gambar 3.1 :



Gambar 3. 1 Proses Penelitian

3.1 Desain Sistem Single Line Diagram

Sistem kelistrikan yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan sistem standar IEEE 9 bus yang telah dimodifikasi. Dimana terdapat satu generator utama (*grid*) yang diatur sebagai *swing* dan dua DG (*Distributed Generation*) atau pembangkit tersebar. Selain itu jenis beban yang digunakan adalah *lump load* yang terhubung pada bus 5, 6, dan 8. DG1 terhubung dengan bus 2 dan DG2 terhubung dengan bus 3. Spesifikasi komponen sistem kelistrikan dapat dilihat pada tabel 3.1, 3.2, 3.3, 3.4, dan 3.5.

Tabel 3. 1 Data Generator

No	Jenis	Rating Daya (MW)	Rating Tegangan (kV)	Power faktor (%)
1	Generator (<i>grid</i>)	10	16,5	85

Tabel 3. 2 Data *Distributed Generation*

No	Jenis	Rating Daya (MW)	Rating Tegangan (kV)	Power faktor (%)
1	DG1	5	18	85
2	DG2	3	13,8	85

Tabel 3. 3 Data Beban

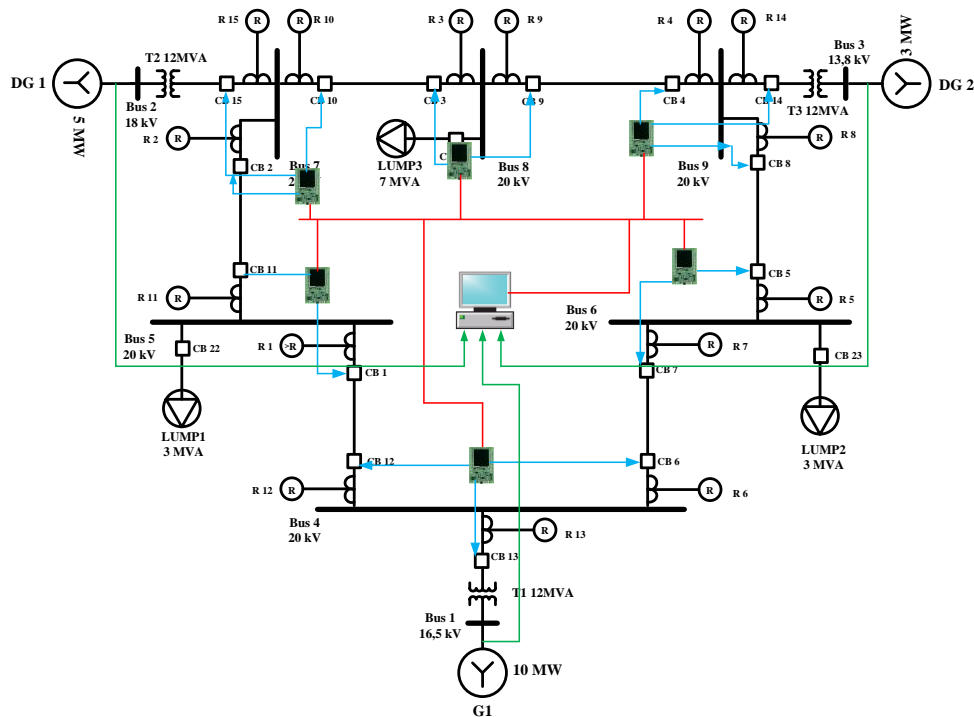
No	Jenis	Rating Daya (MVA)	Rating Tegangan (kV)	Power faktor (%)
1	Load 1	3	20	85
2	Load 2	3	20	85
3	Load 3	7	20	85

Tabel 3. 4 Data Transformator

No	Jenis	Rating Daya (MVA)	Tegangan (kV)		Z (%)
			Primer	sekunder	
1	Transformator 1	12	16,5	20	5,76
2	Transformator 2	12	18	20	6,25
3	Transformator 3	12	13,8	20	5,86

Tabel 3. 5 Data Saluran

No	Bus	R/Km	X/Km	Jarak (Km)
		(Ohm)	(Ohm)	
1	4 - 5	0,196	0,127	3
2	4 - 6	0,196	0,127	2
3	5 - 7	0,196	0,127	2
4	6 - 9	0,196	0,127	1
5	8 - 9	0,196	0,127	1,5
6	7 - 8	0,196	0,127	2



Gambar 3. 2 Modifikasi Single Line Diagram standar IEEE 9 Bus

Pada koordinasi proteksi membutuhkan rele primer dan rele *backup* yang akan bekerja sesuai dengan *grading time* yang sudah ditentukan. Tabel 3.6 menunjukkan data pasangan rele primer dan rele *backup*.

Tabel 3. 6 Data Pasangan Rele *Primer* dan *backup*

No	Rele <i>Primer</i>	Rele <i>Backup</i>	No	Rele <i>Primer</i>	Rele <i>Backup</i>
1	R1	R6	7	R7	R12
		R13			R13
2	R2	R1	8	R8	R7
3	R3	R2	9	R9	R8
		R15			R14
4	R4	R3	10	R10	R9
5	R5	R4	11	R11	R10
		R14			R15
6	R6	R5	12	R12	R11

3.2 Pengambilan Data *I_{fla}* Saluran

Pada penelitian ini menggunakan *setting* rele pada kondisi lowset dan menggunakan kurva rele *inverse*. Sehingga diperlukan data *I_{sc max}* (arus *short circuit* maksimal) pada setiap kondisi pembangkitan dan *I_{fla}* (arus beban penuh) setiap peralatan. Setelah itu dilakukan perhitungan TDS dan *I pickup*. Data *I_{fla}* pada sistem loop dengan menggunakan nilai maksimum arus yang diperbolehkan mengalir pada saluran. Pada proses pengambilan data menggunakan simulasi dengan *software* ETAP 12.6.

Heesung	Non-Mag.	60 Hz	Code : 120		
XLPE	100 %	20 kV	3/C	CU	120 mm ²

Tabel 3. 7 Data Arus maksimum Kabel XLPE 3 Core

10-90 kV XLPE 3-core cables		
Cross section mm ²	Copper conductor	Aluminium conductor
	A	A
95	300	235
120	340	265
150	375	300
185	420	335
240	480	385
300	530	430
400	590	485
500	655	540
630	715	600
800	775	660
1000	825	720

Tabel 3.7 merupakan tabel diameter kabel saluran yang digunakan beserta arus maksimal yang bisa di bebaskan pada saluran.

Tabel 3. 8 Data *I_{fla}* saluran

Line	Bus	Diameter (mm ²)	Arus (Ampere)
1	4 - 5	120	265
2	4 - 6	120	265
3	5 - 7	120	265
4	6 - 9	120	265
5	8 - 9	120	265
6	7 - 8	120	265

3.3 Perubahan Topologi Jaringan

Jaring distribusi dengan pembangkit tersebar memiliki karakteristik perubahan konfigurasi yang disebabkan adanya perubahan status DG yaitu kondisi sedang beroperasi atau tidak. Hal tersebut menyebabkan koordinasi proteksi pada jaringan tersebut. Perubahan topologi pada penelitian ini yaitu :

1. Topologi 1 : pembangkit utama, DG1, dan DG2 dalam keadaan beroperasi.

2. Topologi 2 : pembangkit utama dan DG1 dalam keadaan beroperasi.
3. Topologi 3 : pembangkit utama dan DG2 dalam keadaan beroperasi.
4. Topologi 4 : pembangkit utama dalam keadaan beroperasi.

Tabel 3. 9 Kombinasi topologi pembangkit

Topologi	Kondisi Pembangkitan		
	G	DG1	DG2
1	1	1	1
2	1	1	0
3	1	0	1
4	1	0	0

3.4 Pembentukan Model Jaringan Saraf Tiruan

Perancangan merupakan langkah yang paling penting, karena dengan perancangan ini diharapkan akan dihasilkan model JST dengan performansi yang baik. JST yang digunakan merupakan jaringan saraf tiruan dengan struktur *Cascade Foward Neural Network* (CFNN) dan dilakukan pelatihan dengan algoritma Levenberg Marquardt. Pada tahap ini beberapa hal yang harus diperhatikan adalah pemilihan *input* dan *output*, penentuan jumlah *hidden node*. Pemilihan input dan output mengacu pada korelasi antara setiap *input* terhadap *output*, pemilihan yang kurang baik akan menghasilkan JST dengan akurasi yang kurang baik. Penentuan jumlah *hidden node* juga harus diperhatikan karena terlalu sedikit atau terlalu banyak jumlah *hidden node* yang digunakan pada JST juga mempengaruhi akurasi JST tersebut.

Data *input* berisi tentang kondisi topologi pembangkit yaitu pembangkit utama, DG1, dan DG2. Sedangkan data *output* terdiri dari nilai TDS dan I *pickup*. Dari gambar 3.3 struktur JST dipilih menjadi 3 bagian untuk diproses, yaitu pelatihan, validasi, dan pengujian.

3.4.1 Data Pelatihan dan Pengujian

Pada penelitian ini, data diperoleh dari koordinasi adaptive rele yang disimulasikan pada software ETAP 12.6. Pada proses pelatihan terdapat 4 data yang terdiri dari 3 variabel input yang menggambarkan bahwa pembangkit dalam keadaan beroperasi dengan nilai 1 dan tidak beroperasi dengan nilai 0. Sedangkan data output berjumlah 30 yang terdiri dari 2 variabel output yaitu TDS dan *I pickup* pada setiap rele yang berjumlah 15 rele.

Tujuan proses pelatihan adalah memperoleh keseimbangan sistem jaringan saat diberi masukan pola untuk dihafalkan. Sehingga sistem dapat mengenali pola yang sesuai dengan yang dikenali saat pelatihan jika sistem di beri pola lain. Pada proses pelatihan dan pengujian menggunakan jaringan saraf tiruan dengan menggunakan algoritma Levenberg Marquardt seperti pada persamaan 2.10 dengan menggunakan struktur jaringan *Cascade Forward Neural Network* (CFNN) untuk mengubah bobot yang terhubung dengan *neuron* yang ada pada lapisan tersembunyi. Pada tiap lapisan arsitektur jaringan saraf tiruan ditetapkan beberapa parameter yang akan diberikan pada proses pelatihan dan pengujian untuk membentuk model adalah fungsi aktivasi, jumlah neuron, toleransi error, jumlah epoch, dan laju pembelajaran (*learning rate*). Untuk inisialisasi bobot awal digunakan inisialisasi secara random. Fungsi aktivasi yang digunakan pada lapisan tersembunyi adalah tan sigmoid, sedangkan pada lapisan *output* menggunakan fungsi aktivasi pureline. Toleransi kesalahan minimum (*error*) ditentukan pada 0,0001. Toleransi *error* yang cukup kecil diharapkan akan memberikan hasil yang cukup baik. Jumlah *epoch* maksimal yang ditetapkan dalam penelitian ini adalah 1000. Hal ini diperlukan sebagai kriteria henti jaringan disamping toleransi *error* untuk membatasi waktu yang disediakan bagi jaringan dalam melakukan pelatihan.

Adapun parameter yang divariasikan dalam proses *pelatihan* adalah *learning rate* 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9. *Learning rate* dapat mempengaruhi konvergensi kecepatan pada proses *pelatihan*, sehingga perlu dilakukan percobaan pada *learning rate* yang berbeda untuk mendapatkan nilai rentan data yang sesuai. Untuk lebih detail dapat dilihat pada tabel 3.10.

Tabel 3. 10 Struktur JST Yang Digunakan

Karakteristik	Spesifikasi
Arsitektur Jaringan	Cascade Foward Neural Network
Algoritma pelatihan	Levenberg Marquadt
Jumlah node input	3
Jumlah node lapisan tersembunyi	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9
Fungsi aktivasi lapisan tersembunyi	Tan sigmoid
Jumlah node lapisan output	2
Fungsi aktivasi lapisan output	Pureline
Toleransi error	0,0001
Learning rate	0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9
Maksimum epoch	1000

Tabel 3. 11 Aturan Pembagian Data

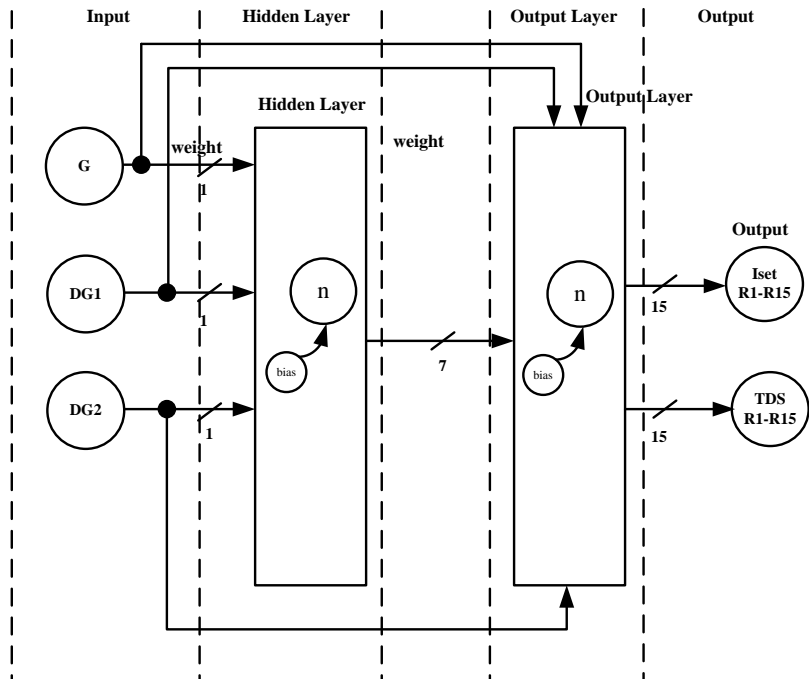
Pembagian (%)	Data Latih (%)	Data Uji (%)
10	10	90
20	20	80
30	30	70
40	40	60
50	50	50
60	60	40
70	70	30
80	80	20
90	90	10
100	100	100

3.4.1.1 Data Pelatihan

Tujuan dari pelatihan pada jaringan syaraf tiruan adalah untuk memperoleh keseimbangan sistem jaringan saat diberi masukan pola untuk dihafalkan. Sehingga system dapat mengenali pola yang sesuai dengan yang dikenali saat pelatihan jika sistem diberi pola lain.

Jaringan syaraf tiruan pada penelitian ini menggunakan jaringan multi lapis yang ditunjukkan pada gambar 3.3. Terdapat 3 lapis layer, yaitu :

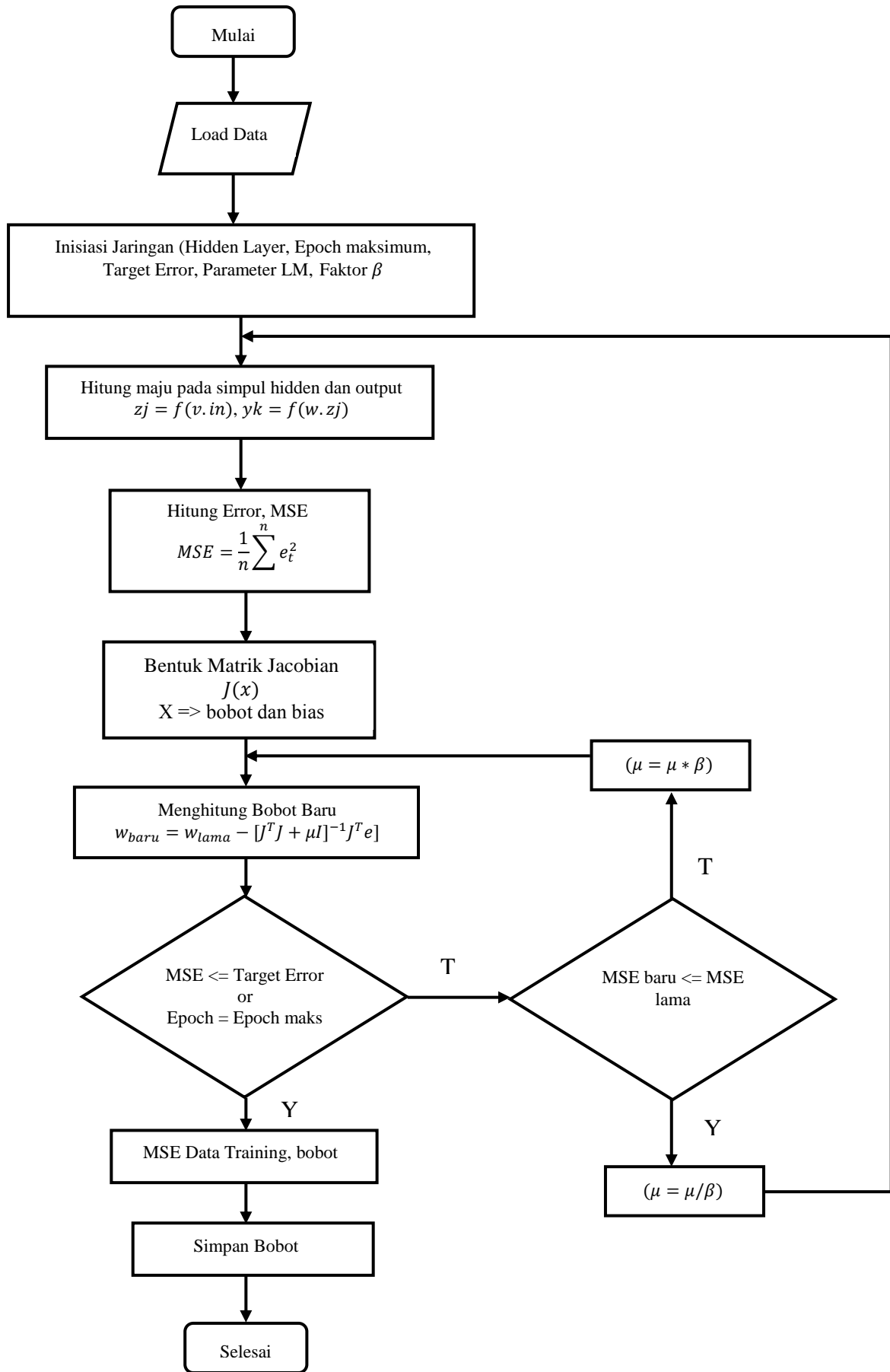
- Lapisan masukan (*input layer*), terdiri dari 3 neuron
- Lapisan tersembunyi (*hidden layer*), terdiri dari 7 neuron
- Lapisan keluaran (*Output layer*), terdiri dari 30 neuron.



Gambar 3. 3 Struktur Jaringan Saraf Tiruan

Prosedur yang dilaksanakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Pelatihan /Pembelajaran (*learning*) jaringan.



Gambar 3. 4 Diagram Alir Pelatihan Dengan Algoritma Levenberg Marquadt

a. Langkah 1

Input yang digunakan adalah data topologi pembangkit yang digunakan.

b. Langkah 2

Set nilai awal bobot secara random untuk ketiga buah bobot yang dipergunakan, yaitu untuk bobot antara *input layer* dengan *hidden layer* (v) dan bobot antara *hidden layer* dengan *output layer* (w).

c. Langkah 3

Menghitung fungsi jaringan secara maju (*feed forward*)

- Setiap *node hidden* (z_j , dimana $j=1, \dots, p$) menjumlahkan sinyal *input* terbobotnya sebaga berikut :

$$z_{i_{nj}} = (x_i * v_{ij}) + v_{0j} \quad (3.1)$$

$z_{i_{nj}}$ = Sinyal input untuk *hidden node* ke-j

x_i = Nilai pada *input node* ke-i

v_{ij} = Nilai bobot yang menghubungkan *input node* ke-i dengan *hidden node* ke-j.

v_{0j} = Nilai bobot yang menghubungkan *node bias* dengan *hidden node* ke-j.

- Menentukan nilai *hidden node* ke-j dengan menggunakan fungsi aktivasi *sigmoid biner*.

$$z_j = f(z_{i_{nj}}) = \frac{1}{1 + \exp(-z_{i_{nj}})} \quad (3.2)$$

z_j = Nilai *hidden node* ke-j

- Setiap *node output* (y_k , dimana $k=1, \dots, m$) menjumlahkan sinyal *hidden* terbobotnya sebagai berikut:

$$y_{i_{nk}} = (z_j * w_{jk}) + w_{0k} \quad (3.3)$$

$y_{i_{nk}}$ = Sinyal *input* untuk *output node* ke-k

z_j = Nilai *hidden node* ke-j

w_{jk} = Nilai bobot yang menghubungkan *hidden node* ke-j dengan *output node* ke-k

w_{0k} = Nilai bobot yang menghubungkan *node bias* dengan *output node* ke-k

p = jumlah *hidden node*

- Menentukan nilai output node ke-j dengan menggunakan fungsi aktivasi linier (identitas)

$$y_k = f(y_{i_{nk}}) = x \quad (3.4)$$

y_k = Nilai *output node* ke-k

d. Langkah 4

Setelah dilakukan perhitungan maju, maka setiap output (y_k) dibandingkan dengan target (t_k -y) akan menghasilkan suatu nilai *error*.

e. Langkah 5

Hitung matrik Jacobian. Matriks Jacobian (J) merupakan turunan pertama dari *error* terhadap bobot dan turunan pertama terhadap bias. Matriks Jacobian antara *input node* dan *hidden layer* adalah matrik yang terisi turunan *error* terhadap bobot antara *input node* dan *hidden layer* beserta biasnya.

$$J = \begin{bmatrix} \frac{\partial e_1}{\partial v_{(1,1)}} & \frac{\partial e_1}{\partial v_{(1,2)}} & \dots & \frac{\partial e_1}{\partial v_{(1,j)}} \\ \frac{\partial e_1}{\partial v_{(2,1)}} & \frac{\partial e_1}{\partial v_{(2,2)}} & \dots & \frac{\partial e_1}{\partial v_{(2,j)}} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ \frac{\partial e_1}{\partial v_{(i,1)}} & \frac{\partial e_1}{\partial v_{(i,2)}} & & \frac{\partial e_1}{\partial v_{(i,j)}} \end{bmatrix} \quad (3.5)$$

Matriks Jacobian antara *hidden node* dengan *input node* adalah matrik yang berisi turunan *error* pertama terhadap bobot antara *hidden node* dengan *output node*.

$$J = \begin{bmatrix} \frac{\partial e_1}{\partial v_{(1,1)}} & \frac{\partial e_1}{\partial v_{(1,2)}} & \dots & \frac{\partial e_1}{\partial v_{(1,k)}} \\ \frac{\partial e_1}{\partial v_{(2,1)}} & \frac{\partial e_1}{\partial v_{(2,2)}} & \dots & \frac{\partial e_1}{\partial v_{(2,k)}} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ \frac{\partial e_1}{\partial v_{(j,1)}} & \frac{\partial e_1}{\partial v_{(j,2)}} & & \frac{\partial e_1}{\partial v_{(i,k)}} \end{bmatrix} \quad (3.6)$$

Elemen matriks Jacobian ini dapat dihitung dengan menggunakan aturan rantai dari persamaan (2.20), (2.21), (2.22).

f. Langkah 6

Hitung ΔX (Delta bobot) untuk semua bobot dan bias menggunakan persamaan

$$\Delta X = [J^T J + \mu I]^{-1} \cdot J^T e \quad (3.7)$$

Langkah – langkah dalam perhitungan ΔX adalah,

- Menghitung pendekatan matrik Hessian yaitu dengan mengalikan matrik Jacobian dengan matrik transposnya, $[J^T J]$.
- Menghitung matrik dari hasil penjumlahan matrik Hessian dengan sebuah matrik identitas yang telah dikalikan dengan konstanta $\mu = [J^T J + \mu I]$
 μ = faktor pengali (konstanta pelatihan) yang sudah diset oleh user pada saat awal, merupakan konstanta untuk mempercepat proses *learning*.
 I = matrik identitas
- Menghitung invers matrik dari hasil penjumlahan matrik Hessian dengan sebuah matrik identitas $[J^T J + \mu I]^{-1}$.
- Menghitung *gradient* dari *error* pada mesin – masing *node* dengan $J^T e$.

e adalah vektor yang menyatakan semua *error* pada *output* jaringan $e = [t_1 - y_1 \ t_2 - y_2 \ \dots \ t_p - y_p]^T$. Hitung delta bobot yaitu selisih bobot lama dengan bobot sekarang dengan persamaan $\Delta X = [J^T J + \mu I]^{-1} \cdot J^T e$. Setelah didapat selisih masing – masing pembobot, maka dilakukan pembaharuan (*update*) untuk masing – masing pembobot tersebut. Dengan persamaan,

$$W_{(baru)} = W_{(lama)} + \Delta X \quad (3.8)$$

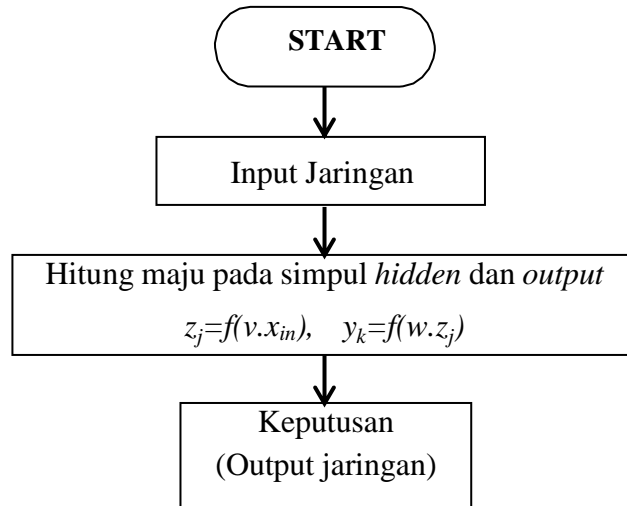
Setelah didapat bobot baru dihitung kembali *error* menggunakan persamaan (3.4) jika *error* baru ini berkurang lakukan (μ / β) , dan kembali ke langkah dua sampai langkah ke 7. Jika *error* baru ini tidak berkurang maka lakukan $(\mu x \beta)$ dan kembali ke langkah 5. Lakukan terus sampai *error* sama dengan *error* limit. Setelah *error* limit ini tercapai simpan bobot dan bias yang terakhir dalam sebuah *file*.

Untuk menguji apakah jaringan sudah memiliki kemampuan yang baik dalam mengenal data baru yang diberikan kepadanya, yang ditunjukkan dengan nilai *Mean Square Error* (MSE). Pembelajaran model JST levenberg – marquardt bersifat *iterative* dan dibuat untuk meminimalkan MSE antara *output* yang dihasilkan dan output yang diinginkan (*target*).

Sebelum proses pelatihan terlebih dahulu ditentukan bobot – bobot awal dan toleransi kesalahan minimum. Bobot – bobot awal ini nantinya akan diinisialisasi dan digunakan pada proses umpan maju awal, sedangkan proses umpan maju selanjutnya menggunakan bobot – bobot yang telah mengalami perbaikan. Toleransi kesalahan minimum berfungsi sebagai pembatas berulangnya proses iterasi dalam suatu pelatihan. Proses pelatihan akan terus berulang hingga diperoleh koreksi kesalahan yang sama atau lebih kecil dari toleransi kesalahan minimum.

3.4.1.2 Data Pengujian

Proses pengujian yang dilakukan bertujuan untuk pengenalan pola data input terhadap jaringan yang telah mengenal proses pelatihan.

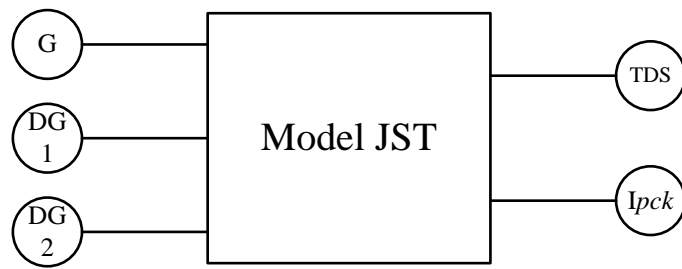


Gambar 3. 5 Diagram Alir Proses Pengujian

Pada tahap ini jaringan hanya merespon input dan langsung mengeluarkan output, tanpa pelatihan kembali. Proses yang dilakukan hanya proses penghitungan maju (feed forward) dengan menggunakan bobot yang sudah tersimpan pada saat pelatihan, maka setiap pola input dilewatkan ke jaringan untuk mendapatkan input jaringan.

3.5 Model JST

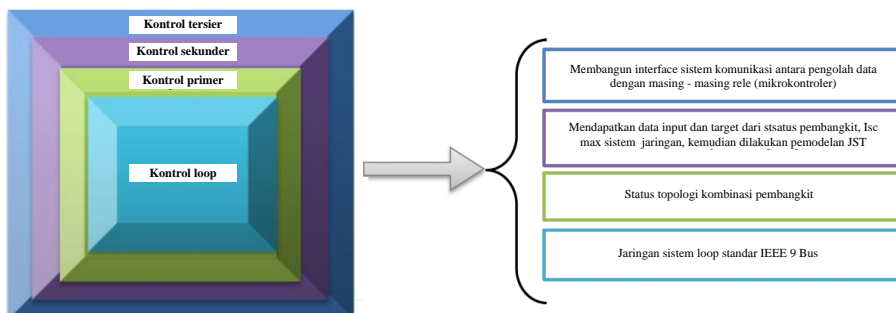
Pada gambar 3.6 adalah model JST yang mana proses awal pembuatan model menggunakan masukan berupa konfigurasi sumber pembangkit, kemudian diproses menggunakan jaringan saraf tiruan dengan algoritma balajar Levenberg Marquardt sehingga menghasilkan keluaran berupa TDS dan Ipickup.



Gambar 3. 6 Model JST

3.6 Kontrol Hirarki (*Hierarchical Control*)

Kontrol hirarki adalah suatu sistem dan mekanisme pengendalian suatu sistem dilakukan secara terstruktur. Struktur pengendalian meliputi pengolahan, penginderaan dan penyesuaian, pemantauan dan pengawasan. Kontrol hirarki yang dilakukan yaitu melakukan perubahan setting rele berdasarkan topologi kombinasi status pembangkit. Struktur kontrol hirarki dapat dilihat seperti gambar 3.7.

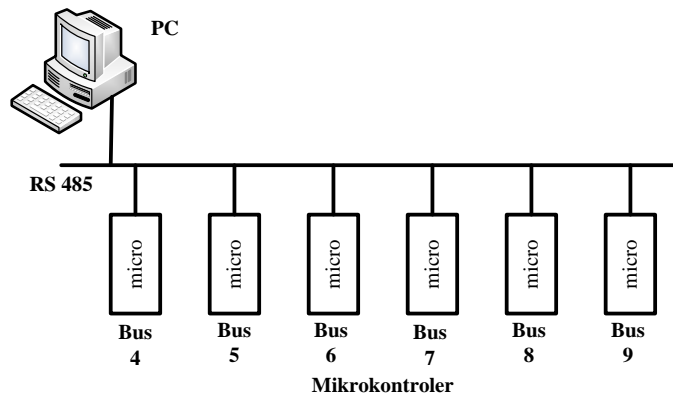


Gambar 3. 7 Struktur Kontrol Hirarki

1. Kontrol loop yaitu kontrol utama dari sistem komponen sistem tenaga listrik yang telah dibangun.
2. Kontrol primer yaitu kontrol dari status perubahan topologi kombinasi pembangkit yang beroperasi.
3. Kontrol sekunder yaitu kontrol untuk proses pemodelan untuk mendapatkan setting rele Ipickup dan TDS yang tepat..
4. Kontrol tersier yaitu kontrol membangun sistem interface antara unit pengolah data dengan mikrokontroler

3.7 Sistem Komunikasi

Sistem ini menggunakan PC sebagai unit pengolahan dan mikrokontroler sebagai unit pengawasan, dimana semua pengolahan data diproses melalui PC setelah mendapatkan informasi dari status pembangkit. Dari proses tersebut kemudian data setting rele dikirim ke masing – masing mikrokontroler dengan menggunakan komunikasi serial RS 485.



Gambar 3. 8 Sistem Komunikasi

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Perhitungan Koordinasi Proteksi Pada Jaring Distribusi Sistem

Loop

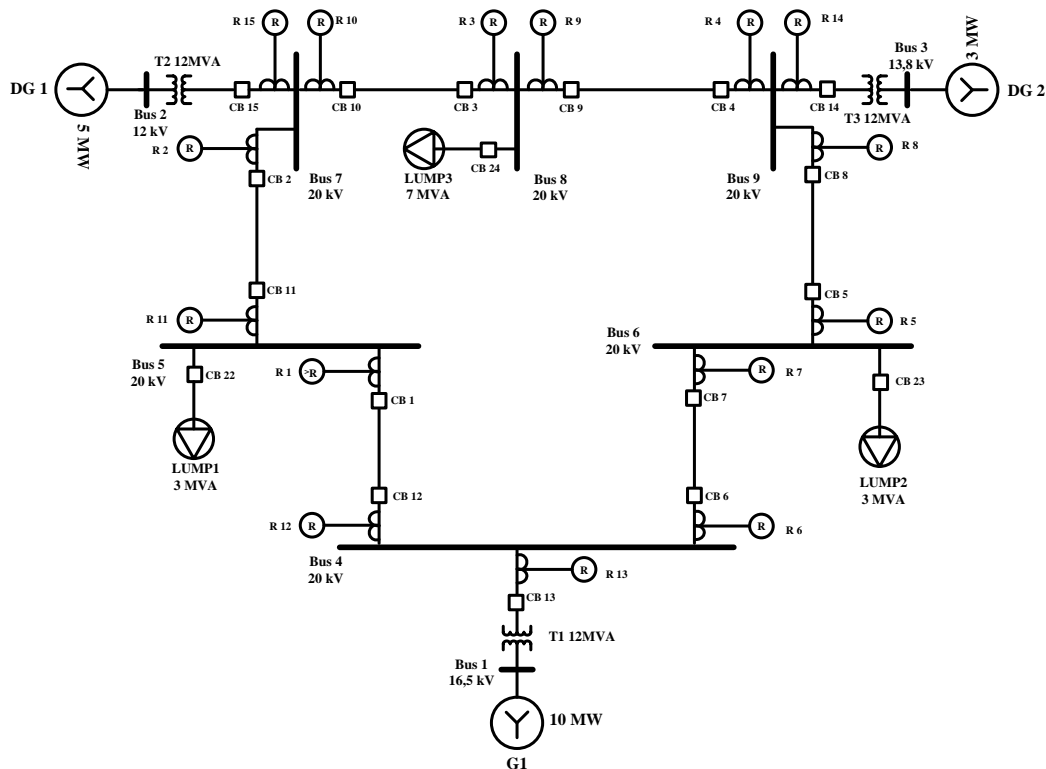
Hasil dari perhitungan dan pemodelan merupakan hasil kombinasi input pembangkitan yang akan didapatkan nilai arus *pickup* dan *time dial setting*, sistem distribusi dengan pembangkit tersebar dibagi menjadi 4 topologi pembangkitannya, yaitu :

1. Topologi 1 : pembangkit utama, DG1, dan DG2 dalam keadaan beroperasi.
2. Topologi 2 : pembangkit utama dan DG1 dalam keadaan beroperasi.
3. Topologi 3 : pembangkit utama dan DG2 dalam keadaan beroperasi.
4. Topologi 4 : pembangkit utama dalam keadaan beroperasi.

Pembagian pengaturan rele berdasarkan pembangkitannya ini digunakan sebagai perhitungan yang akurat untuk semua kondisi pembangkitan. Berikut merupakan hasil dari masing – masing topologi :

4.1.1 Hasil Setting Rele Pada Topologi 1

Pada topologi 1 kondisi seluruh pembangkit dalam keadaan beroperasi semua. Seperti terlihat pada gambar 4.1 dimana G1 adalah pembangkit utama sebagai *swing bus*, DG1 dan DG2 adalah pembangkit tersebar yang berfungsi sebagai *voltage control bus*.



Gambar 4. 1 Sistem Konfigurasi Topologi 1

Pada tabel 4.1 menunjukkan data arus gangguan , I_{fla} , dan ratio CT yang digunakan untuk mendapatkan nilai *setting loowset* rele.

Tabel 4. 1 Data I_{sc} 3 phasa 0,5 cycle, I_{fla} dan CT pada Topologi 1

Rele	$I_{sc\ max}$ A	I_{fla} A	CT
1	1810	265	400/5
2	1500	265	400/5
3	1560	265	400/5
4	1980	265	400/5
5	2100	265	400/5
6	1790	265	400/5
7	1770	265	400/5
8	1870	265	400/5
9	1810	265	400/5

Lanjutan Tabel 4.1

Rele	Isc max	Ifla	CT
	A	A	
10	2010	265	400/5
11	2030	265	400/5
12	1340	265	400/5
13	1240	346,4	400/5
14	540	346,4	400/5
15	845	346,4	400/5

Tabel 4. 2 Data Isc 3 phasa 0,5 cycle Rele Primer dan Backup Topologi 1

Bus	Rele primer	Arah	Arus (A)	Rele Backup	Arah	Arus (A)
4	Rele 6	<i>Forward</i>	1790	Rele 5	<i>Forward</i>	1320
	Rele 12	<i>Reverse</i>	1340	Rele 11	<i>Reverse</i>	912
5	Rele 1	<i>Forward</i>	1810	Rele 6	<i>Forward</i>	662
	Rele 11	<i>Reverse</i>	2030	Rele 10	<i>Reverse</i>	1240
6	Rele 5	<i>Forward</i>	2100	Rele 4	<i>Forward</i>	1590
	Rele 7	<i>Reverse</i>	1770	Rele 12	<i>Reverse</i>	599
7	Rele 2	<i>Forward</i>	1500	Rele 1	<i>Forward</i>	1080
	Rele 10	<i>Reverse</i>	2010	Rele 9	<i>Reverse</i>	1030
8	Rele 3	<i>Forward</i>	1560	Rele 2	<i>Forward</i>	756
	Rele 9	<i>Reverse</i>	1810	Rele 8	<i>Reverse</i>	1290
9	Rele 4	<i>Forward</i>	1980	Rele 3	<i>Forward</i>	982
	Rele 8	<i>Reverse</i>	1870	Rele 7	<i>Reverse</i>	1390

❏ Proses perhitungan koordinasi rele

Dengan menggunakan formulasi persamaan 2.3 dan 2.5, untuk langkah awal harus memilih rele mana yang akan di *setting* pertama kali. Pada perhitungan ini dipilih rele 6. Untuk nilai TDS diasumsikan nilainya berkisar dari 0,025 sampai 1,2, oleh karena itu dipilih nilai 0,03 untuk asumsi nilai TDS awal.

Rele 6 (forward)

Isc max primer : 1790 A

FLA : 265 A

CT ratio : 400/5

Low Set Current Setting

$$1,05 \text{ FLA} \leq I_p \leq 1,4 \text{ FLA}$$

$$1,05 \times 265 \leq I_p \leq 1,4 \times 265$$

$$278,25 \leq I_p \leq 358,4$$

Dipilih $I_p = 278,25$

$$\text{Tap} = \frac{I_p}{\text{CT ratio}} = \frac{278,25}{400/5} = 3,478$$

Waktu Operasi

$$\begin{aligned} T_{op} &= \frac{k \times TDS}{\left(\left(\frac{I}{I_p}\right)^\alpha - 1\right)} \\ &= \frac{13,5 \times 0,03}{\left(\left(\frac{1790}{278,25}\right)^1 - 1\right)} = 0,075 \end{aligned}$$

Rele 5 (forward)

Isc max primer : 2100 A

Isc max backup : 1320 A

FLA : 265 A

CT ratio : 400/5

Low Set Current Setting

$$1,05 \text{ FLA} \leq I_p \leq 1,4 \text{ FLA}$$

$$1,05 \times 265 \leq I_p \leq 1,4 \times 265$$

$$278,25 \leq I_p \leq 358,4$$

$$\text{Dipilih } I_p = 278,25$$

$$\text{Tap} = \frac{I_p}{\text{CT ratio}} = \frac{278,25}{400/5} = 3,478$$

Time Dial Setting

$$T_{op5} = 0,075 + 0,24 = 0,315$$

$$0,315 = \frac{13,5 \times TDS}{\left(\left(\frac{I}{I_p}\right)^\alpha - 1\right)}$$

$$0,315 = \frac{13,5 \times TDS}{\left(\left(\frac{1320}{278,25}\right)^1 - 1\right)}$$

$$TDS = 0,087$$

Waktu Operasi

$$\begin{aligned} T_{op5} &= \frac{k \times TDS}{\left(\left(\frac{I}{I_p}\right)^\alpha - 1\right)} \\ &= \frac{13,5 \times 0,087}{\left(\left(\frac{2100}{278,25}\right)^1 - 1\right)} = 0,180 \end{aligned}$$

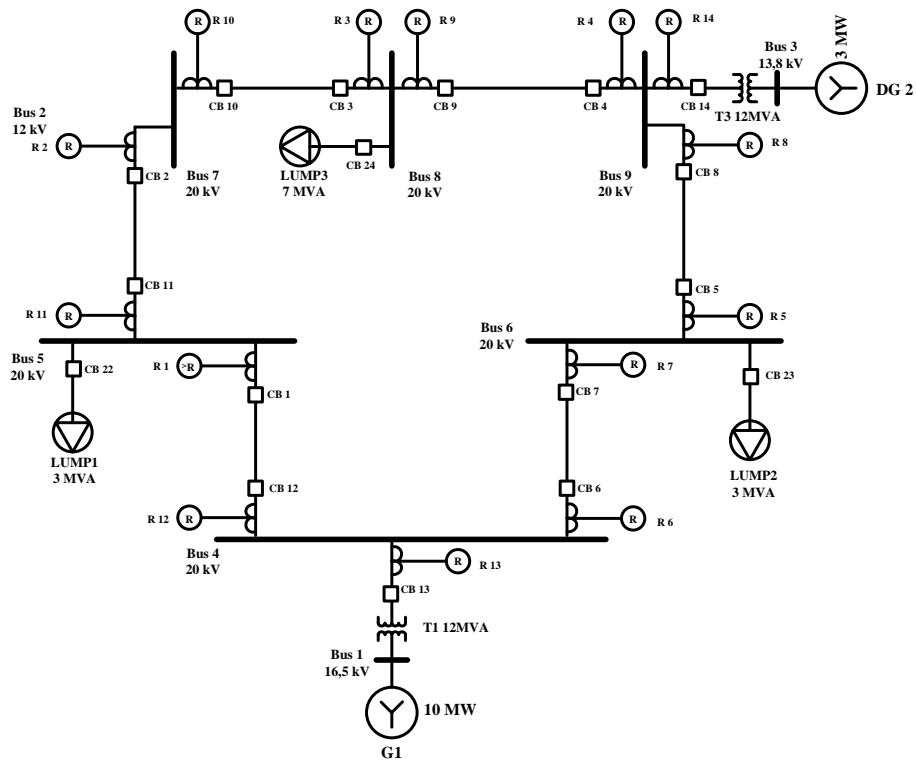
Pada proses perhitungan tersebut dilakukan secara berurutan dari rele 6 sampai rele 1 pada arah *forward*, begitu pula dilakukan untuk perhitungan arah *reverse* sampai dengan 5 kali iterasi. Pada proses iterasi ke 1 sampai ke 5 terjadi perbedaan, tetapi tidak terlalu signifikan. Pada iterasi ke 2 sampai ke 5 sudah menunjukkan angka yang sama, seperti pada rele 5 dengan iterasi ke 1 menghasilkan nilai TDS 0,087 dan T_{op} 0,180 tetapi ketika pada iterasi ke 5 menghasilkan nilai TDS 0,100 dan T_{op} 0,119. Untuk hasil perhitungan secara keseluruhan dapat dilihat pada tabel 4.3.

Tabel 4. 3 Nilai *Ipickup* dan TDS Pada Topologi 1

Rele	Ipickup	TDS	Top (detik)
R1	3,478	0,102	0,250
R2	3,478	0,070	0,215
R3	3,478	0,114	0,334
R4	3,478	0,149	0,329
R5	3,478	0,100	0,206
R6	3,478	0,048	0,119
R7	3,478	0,162	0,408
R8	3,478	0,122	0,288
R9	3,478	0,095	0,233
R10	3,478	0,098	0,213
R11	3,478	0,076	0,163
R12	3,478	0,054	0,191
R13	4,547	0,162	0,908
R14	4,547	0,037	1,031
R15	4,547	0,082	0,837

4.1.2 Hasil Setting Rele Pada Topologi 2

Pada gambar 4.2 menunjukkan saat kondisi pembangkitan terhubung oleh generator utama dan DG 2.



Gambar 4. 2 Sistem Konfigurasi Topologi 2

Pada tabel 4.4 menunjukkan data arus gangguan , I_{fla} , dan ratio CT yang digunakan untuk mendapatkan nilai *setting loowset* rele.

Tabel 4. 4 Data I_{sc} 3 fasa 0,5 cycle, I_{fla} dan CT pada Topologi 2

Rele	$I_{sc max}$	I_{fla}	CT
	A	A	
1	1510	265	400/5
2	1370	265	400/5
3	811	265	400/5
4	1400	265	400/5
5	1610	265	400/5
6	1470	265	400/5
7	1280	265	400/5
8	1470	265	400/5
9	1540	265	400/5

Lanjutan Tabel 4.4

Rele	Isc max	Ifla	CT
	A	A	
10	1920	265	400/5
11	1330	265	400/5
12	922	265	400/5
13	981	346,4	400/5
14	540	346,4	400/5

Tabel 4. 5 Data Isc 3 phasa 0,5 cycle Rele Primer dan Backup Topologi 2

Bus	Rele primer	Arah	Arus (A)	Rele Backup	Arah	Arus (A)
4	Rele 6	<i>Forward</i>	1470	Rele 5	<i>Forward</i>	1000
	Rele 12	<i>Reverse</i>	922	Rele 11	<i>Reverse</i>	484
5	Rele 1	<i>Forward</i>	1510	Rele 6	<i>Forward</i>	534
	Rele 11	<i>Reverse</i>	1330	Rele 10	<i>Reverse</i>	1320
6	Rele 5	<i>Forward</i>	1610	Rele 4	<i>Forward</i>	1100
	Rele 7	<i>Reverse</i>	1280	Rele 12	<i>Reverse</i>	358
7	Rele 2	<i>Forward</i>	1370	Rele 1	<i>Forward</i>	944
	Rele 10	<i>Reverse</i>	1920	Rele 9	<i>Reverse</i>	932
8	Rele 3	<i>Forward</i>	811	Rele 2	<i>Forward</i>	811
	Rele 9	<i>Reverse</i>	1540	Rele 8	<i>Reverse</i>	1020
9	Rele 4	<i>Forward</i>	1400	Rele 3	<i>Forward</i>	347
	Rele 8	<i>Reverse</i>	1470	Rele 7	<i>Reverse</i>	981

✚ Proses perhitungan koordinasi rele

Dengan menggunakan formulasi persamaan 2.3 dan 2.5, untuk langkah awal harus memilih rele mana yang akan di *setting* pertama kali. Pada perhitungan ini dipilih rele 6. Untuk nilai TDS diasumsikan nilainya berkisar dari 0,025 sampai 1,2, oleh karena itu dipilih nilai 0,03 untuk asumsi nilai TDS awal.

Rele 6 (forward)

Isc max primer : 1470 A

FLA : 265 A

CT ratio : 400/5

Low Set Current Setting

$$1,05 \text{ FLA} \leq I_p \leq 1,4 \text{ FLA}$$

$$1,05 \times 265 \leq I_p \leq 1,4 \times 265$$

$$278,25 \leq I_p \leq 358,4$$

Dipilih $I_p = 278,25$

$$\text{Tap} = \frac{I_p}{\text{CT ratio}} = \frac{278,25}{400/5} = 3,478$$

Waktu Operasi

$$\begin{aligned} T_{op} &= \frac{k \times TDS}{\left(\left(\frac{I}{I_p}\right)^\alpha - 1\right)} \\ &= \frac{13,5 \times 0,03}{\left(\left(\frac{1470}{278,25}\right)^1 - 1\right)} = 0,095 \end{aligned}$$

Rele 5 (forward)

Isc max primer : 1610 A

Isc max backup : 1000 A

FLA : 265 A

CT ratio : 400/5

Low Set Current Setting

$$1,05 \text{ FLA} \leq I_p \leq 1,4 \text{ FLA}$$

$$1,05 \times 265 \leq I_p \leq 1,4 \times 265$$

$$278,25 \leq I_p \leq 358,4$$

$$\text{Dipilih } I_p = 278,25$$

$$\text{Tap} = \frac{I_p}{\text{CT ratio}} = \frac{278,25}{400/5} = 3,478$$

Time Dial Setting

$$T_{op5} = 0,095 + 0,22 = 0,315$$

$$0,315 = \frac{13,5 \times TDS}{\left(\left(\frac{I}{I_p}\right)^\alpha - 1\right)}$$

$$0,315 = \frac{13,5 \times TDS}{\left(\left(\frac{1000}{278,25}\right)^1 - 1\right)}$$

$$TDS = 0,060$$

Waktu Operasi

$$\begin{aligned} T_{op5} &= \frac{k \times TDS}{\left(\left(\frac{I}{I_p}\right)^\alpha - 1\right)} \\ &= \frac{13,5 \times 0,060}{\left(\left(\frac{1610}{278,25}\right)^1 - 1\right)} = 0,170 \end{aligned}$$

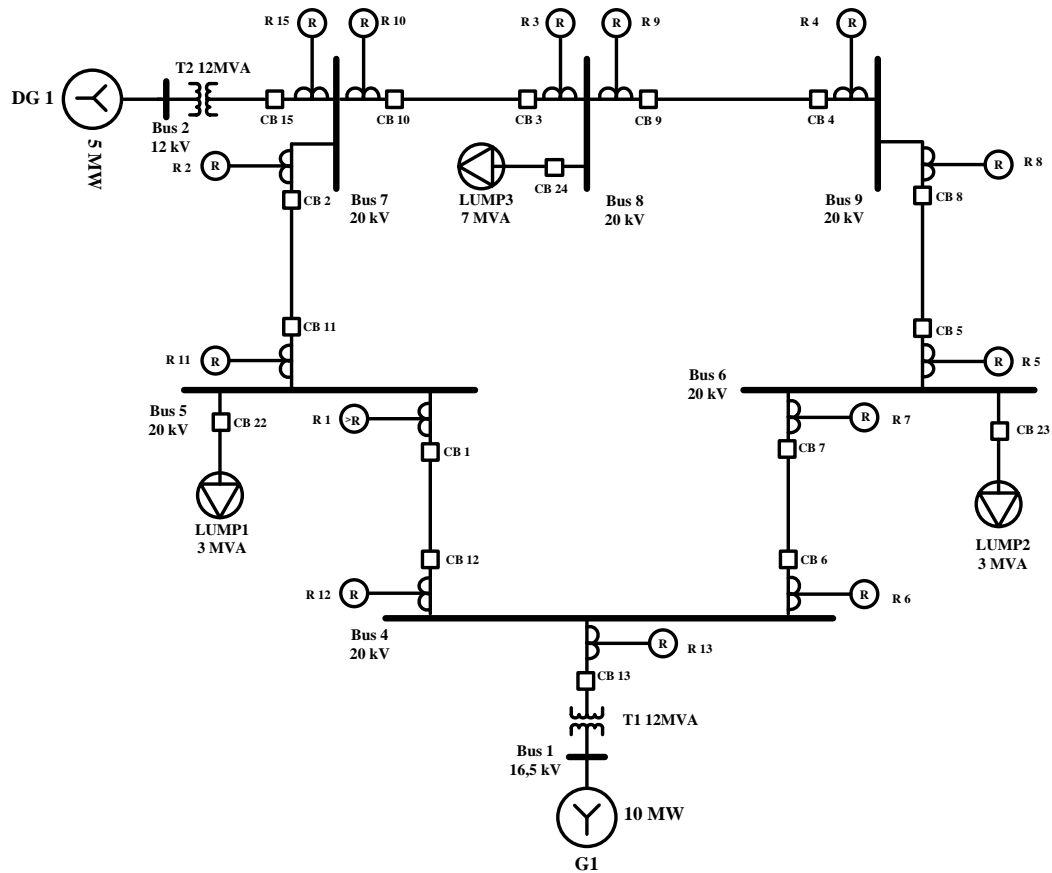
Pada proses perhitungan tersebut dilakukan secara berurutan dari rele 6 sampai rele 1 pada arah *forward*, begitu pula dilakukan untuk perhitungan arah *reverse* sampai dengan 5 kali iterasi. Pada proses iterasi ke 1 sampai ke 5 terjadi perbedaan, tetapi tidak terlalu signifikan. Pada iterasi ke 2 sampai ke 5 sudah menunjukkan angka yang sama, seperti pada rele 5 dengan iterasi ke 1 menghasilkan nilai TDS 0,060 dan T_{op} 0,170 tetapi ketika pada iterasi ke 5 menghasilkan nilai TDS 0,064 dan T_{op} 0,181. Untuk hasil perhitungan secara keseluruhan dapat dilihat pada tabel 4.6.

Tabel 4. 6 Nilai *Ipickup* dan TDS Pada Topologi 2

Rele	Ipickup	TDS	Top (detik)
R1	3,478	0,068	0,207
R2	3,478	0,048	0,165
R3	3,478	0,016	0,113
R4	3,478	0,088	0,295
R5	3,478	0,064	0,181
R6	3,478	0,037	0,117
R7	3,478	0,094	0,352
R8	3,478	0,090	0,284
R9	3,478	0,079	0,235
R10	3,478	0,102	0,233
R11	3,478	0,041	0,146
R12	3,478	0,027	0,158
R13	4,547	0,070	0,557
R14	4,547	0,037	1,031

4.1.3 Hasil Setting Rele Pada Topologi 3

Pada gambar 4.3 menunjukkan saat kondisi pembangkitan terhubung oleh generator utama dan DG 1.



Gambar 4. 3 Sistem Konfigurasi Topologi 3

Pada tabel 4.7 menunjukkan data arus gangguan , I_{fla} , dan ratio CT yang digunakan untuk mendapatkan nilai *setting loowset* rele.

Tabel 4. 7 Data I_{sc} 3 phasa 0,5 cycle, I_{fla} dan CT pada Topologi 3

Rele	$I_{sc max}$ A	I_{fla} A	CT
1	1420	265	400/5
2	1230	265	400/5
3	1410	265	400/5
4	1930	265	400/5
5	1600	265	400/5
6	1440	265	400/5
7	1530	265	400/5
8	1700	265	400/5

Lanjutan Tabel 4.7

Rele	Isc max A	Ifla A	CT
9	1230	265	400/5
10	1590	265	400/5
11	1740	265	400/5
12	1220	265	400/5
13	981	346,4	400/5
15	845	346,4	400/5

Tabel 4. 8 Data Isc 3 phasa 0,5 cycle Rele Primer dan Backup Topologi 3

Bus	Rele primer	Arah	Arus (A)	Rele Backup	Arah	Arus (A)
4	Rele 6	<i>Forward</i>	1440	Rele 5	<i>Forward</i>	967
	Rele 12	<i>Reverse</i>	1220	Rele 11	<i>Reverse</i>	794
5	Rele 1	<i>Forward</i>	1420	Rele 6	<i>Forward</i>	506
	Rele 11	<i>Reverse</i>	1740	Rele 10	<i>Reverse</i>	945
6	Rele 5	<i>Forward</i>	1600	Rele 4	<i>Forward</i>	1600
	Rele 7	<i>Reverse</i>	1530	Rele 12	<i>Reverse</i>	603
7	Rele 2	<i>Forward</i>	1230	Rele 1	<i>Forward</i>	801
	Rele 10	<i>Reverse</i>	1590	Rele 9	<i>Reverse</i>	590
8	Rele 3	<i>Forward</i>	1410	Rele 2	<i>Forward</i>	602
	Rele 9	<i>Reverse</i>	1230	Rele 8	<i>Reverse</i>	1230
9	Rele 4	<i>Forward</i>	1930	Rele 3	<i>Forward</i>	924
	Rele 8	<i>Reverse</i>	1700	Rele 7	<i>Reverse</i>	1210

❏ Proses perhitungan koordinasi rele

Dengan menggunakan formulasi persamaan 2.3 dan 2.5, untuk langkah awal harus memilih rele mana yang akan di *setting* pertama kali. Pada perhitungan ini dipilih rele 6. Untuk nilai TDS diasumsikan nilainya berkisar dari 0,025 sampai 1,2, oleh karena itu dipilih nilai 0,03 untuk asumsi nilai TDS awal.

Rele 6 (forward)

Isc max primer : 1440 A

FLA : 265 A

CT ratio : 400/5

Low Set Current Setting

$$1,05 \text{ FLA} \leq I_p \leq 1,4 \text{ FLA}$$

$$1,05 \times 265 \leq I_p \leq 1,4 \times 265$$

$$278,25 \leq I_p \leq 358,4$$

Dipilih $I_p = 278,25$

$$\text{Tap} = \frac{I_p}{\text{CT ratio}} = \frac{278,25}{400/5} = 3,478$$

Waktu Operasi

$$\begin{aligned} T_{op} &= \frac{k \times TDS}{\left(\left(\frac{I}{I_p}\right)^\alpha - 1\right)} \\ &= \frac{13,5 \times 0,03}{\left(\left(\frac{1440}{278,25}\right)^1 - 1\right)} = 0,097 \end{aligned}$$

Rele 5 (forward)

Isc max primer : 1600 A

Isc max backup : 967 A

FLA : 265 A

CT ratio : 400/5

Low Set Current Setting

$$1,05 \text{ FLA} \leq I_p \leq 1,4 \text{ FLA}$$

$$1,05 \times 265 \leq I_p \leq 1,4 \times 265$$

$$278,25 \leq I_p \leq 358,4$$

$$\text{Dipilih } I_p = 278,25$$

$$\text{Tap} = \frac{I_p}{\text{CT ratio}} = \frac{278,25}{400/5} = 3,478$$

Time Dial Setting

$$T_{op5} = 0,097 + 0,22 = 0,317$$

$$0,317 = \frac{13,5 \times TDS}{\left(\left(\frac{I}{I_p}\right)^\alpha - 1\right)}$$

$$0,317 = \frac{13,5 \times TDS}{\left(\left(\frac{967}{278,25}\right)^1 - 1\right)}$$

$$TDS = 0,058$$

Waktu Operasi

$$\begin{aligned} T_{op5} &= \frac{k \times TDS}{\left(\left(\frac{I}{I_p}\right)^\alpha - 1\right)} \\ &= \frac{13,5 \times 0,058}{\left(\left(\frac{1600}{278,25}\right)^1 - 1\right)} = 0,165 \end{aligned}$$

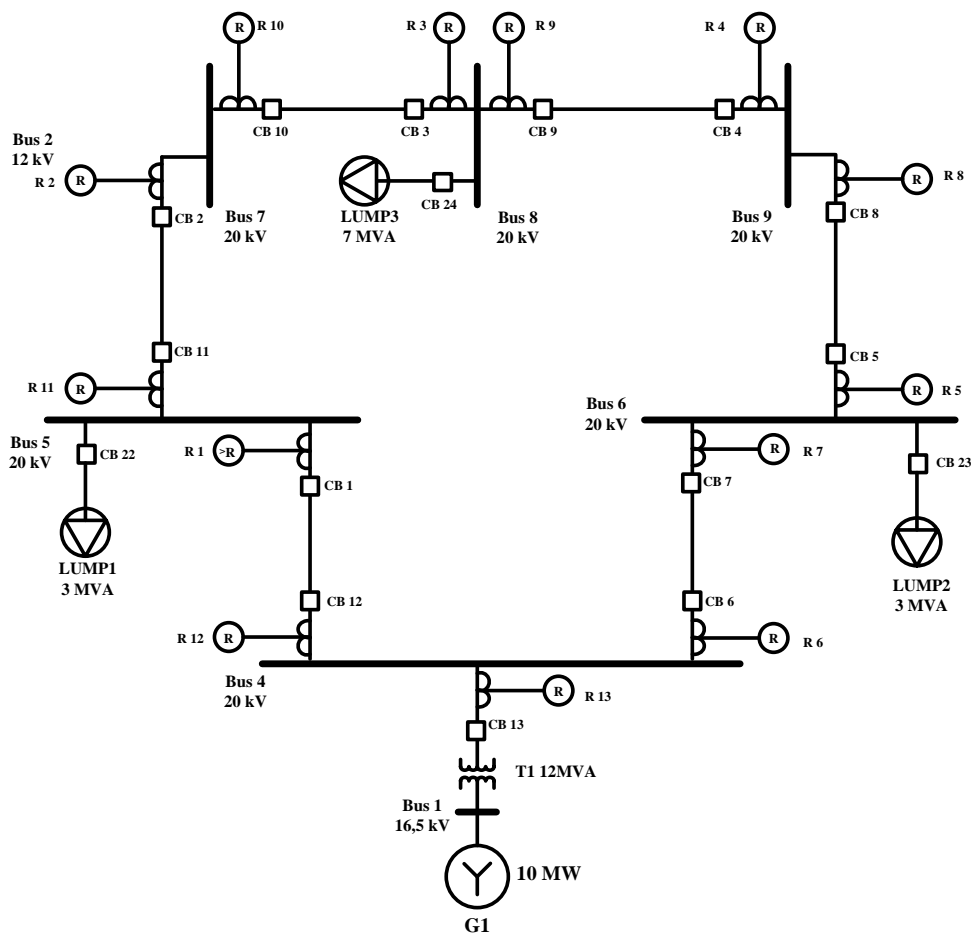
Pada proses perhitungan tersebut dilakukan secara berurutan dari rele 6 sampai rele 1 pada arah *forward*, begitu pula dilakukan untuk perhitungan arah *reverse* sampai dengan 5 kali iterasi. Pada proses iterasi ke 1 sampai ke 5 terjadi perbedaan, tetapi tidak terlalu signifikan. Pada iterasi ke 2 sampai ke 5 sudah menunjukkan angka yang sama, seperti pada rele 5 dengan iterasi ke 1 menghasilkan nilai TDS 0,058 dan T_{op} 0,165 tetapi ketika pada iterasi ke 5 menghasilkan nilai TDS 0,061 dan T_{op} 0,173. Untuk hasil perhitungan secara keseluruhan dapat dilihat pada tabel 4.9.

Tabel 4. 9 Nilai *Ipickup* dan TDS Pada Topologi 3

Rele	Ipickup	TDS	Top (detik)
R1	3,478	0,056	0,184
R2	3,478	0,047	0,186
R3	3,478	0,097	0,322
R4	3,478	0,139	0,316
R5	3,478	0,061	0,173
R6	3,478	0,035	0,113
R7	3,478	0,114	0,342
R8	3,478	0,091	0,240
R9	3,478	0,036	0,142
R10	3,478	0,073	0,209
R11	3,478	0,074	0,190
R12	3,478	0,064	0,255
R13	4,763	0,068	0,541
R15	4,763	0,061	0,622

4.1.4 Hasil Setting Rele Pada Topologi 4

Pada gambar 4.4 menunjukkan saat kondisi pembangkitan terhubung dengan generator utama.



Gambar 4. 4 Sistem Konfigurasi Topologi 4

Pada tabel 4.10 menunjukkan data arus gangguan , I_{fla} , dan ratio CT yang digunakan untuk mendapatkan nilai *setting loowset* rele.

Tabel 4. 10 Data I_{sc} 3 fasa 0,5 cycle, I_{fla} dan CT pada Topologi 4

Rele	$I_{sc max}$ A	I_{fla} A	CT
1	1290	265	400/5
2	1210	265	400/5
3	730	265	400/5
4	1390	265	400/5
5	1130	265	400/5
6	1110	265	400/5
7	1220	265	400/5

Lanjutan Tabel 4.10

Rele	Isc max	Ifla	CT
	A	A	
8	1460	265	400/5
9	1080	265	400/5
10	1580	265	400/5
11	1090	265	400/5
12	781	265	400/5
13	981	346,4	400/5

Tabel 4. 11 Data Isc 3 phasa 0,5 cycle Rele Primer dan Backup Topologi 4

Bus	Rele primer	Arah	Arus (A)	Rele Backup	Arah	Arus (A)
4	Rele 6	<i>Forward</i>	1110	Rele 5	<i>Forward</i>	641
	Rele 12	<i>Reverse</i>	781	Rele 11	<i>Reverse</i>	367
5	Rele 1	<i>Forward</i>	1290	Rele 6	<i>Forward</i>	377
	Rele 11	<i>Reverse</i>	1090	Rele 10	<i>Reverse</i>	1090
6	Rele 5	<i>Forward</i>	1130	Rele 4	<i>Forward</i>	1130
	Rele 7	<i>Reverse</i>	1220	Rele 12	<i>Reverse</i>	305
7	Rele 2	<i>Forward</i>	1210	Rele 1	<i>Forward</i>	804
	Rele 10	<i>Reverse</i>	1580	Rele 9	<i>Reverse</i>	584
8	Rele 3	<i>Forward</i>	730	Rele 2	<i>Forward</i>	730
	Rele 9	<i>Reverse</i>	1080	Rele 8	<i>Reverse</i>	1080
9	Rele 4	<i>Forward</i>	1390	Rele 3	<i>Forward</i>	361
	Rele 8	<i>Reverse</i>	1460	Rele 7	<i>Reverse</i>	969

✚ Proses perhitungan koordinasi rele

Dengan menggunakan formulasi persamaan 2.3 dan 2.5, untuk langkah awal harus memilih rele mana yang akan di *setting* pertama kali. Pada perhitungan ini dipilih rele 6. Untuk nilai TDS diasumsikan nilainya berkisar dari 0,025 sampai 1,2, oleh karena itu dipilih nilai 0,03 untuk asumsi nilai TDS awal.

Rele 6 (forward)

Isc max primer : 1110 A

FLA : 265 A

CT ratio : 400/5

Low Set Current Setting

$$1,05 \text{ FLA} \leq I_p \leq 1,4 \text{ FLA}$$

$$1,05 \times 265 \leq I_p \leq 1,4 \times 265$$

$$278,25 \leq I_p \leq 358,4$$

Dipilih $I_p = 278,25$

$$\text{Tap} = \frac{I_p}{\text{CT ratio}} = \frac{278,25}{400/5} = 3,478$$

Waktu Operasi

$$\begin{aligned} T_{op} &= \frac{k \times TDS}{\left(\left(\frac{I}{I_p}\right)^\alpha - 1\right)} \\ &= \frac{13,5 \times 0,03}{\left(\left(\frac{1110}{278,25}\right)^1 - 1\right)} = 0,135 \end{aligned}$$

Rele 5 (forward)

Isc max primer : 1130 A

Isc max backup : 641 A

FLA : 265 A

CT ratio : 400/5

Low Set Current Setting

$$1,05 \text{ FLA} \leq I_p \leq 1,4 \text{ FLA}$$

$$1,05 \times 265 \leq I_p \leq 1,4 \times 265$$

$$278,25 \leq I_p \leq 358,4$$

$$\text{Dipilih } I_p = 278,25$$

$$\text{Tap} = \frac{I_p}{\text{CT ratio}} = \frac{278,25}{400/5} = 3,478$$

Time Dial Setting

$$T_{op5} = 0,135 + 0,22 = 0,355$$

$$0,355 = \frac{13,5 \times TDS}{\left(\left(\frac{I}{I_p}\right)^\alpha - 1\right)}$$

$$0,355 = \frac{13,5 \times TDS}{\left(\left(\frac{641}{278,25}\right)^1 - 1\right)}$$

$$TDS = 0,034$$

Waktu Operasi

$$\begin{aligned} T_{op5} &= \frac{k \times TDS}{\left(\left(\frac{I}{I_p}\right)^\alpha - 1\right)} \\ &= \frac{13,5 \times 0,034}{\left(\left(\frac{1130}{278,25}\right)^1 - 1\right)} = 0,151 \end{aligned}$$

Pada proses perhitungan tersebut dilakukan secara berurutan dari rele 6 sampai rele 1 pada arah *forward*, begitu pula dilakukan untuk perhitungan arah *reverse* sampai dengan 5 kali iterasi. Pada proses iterasi ke 1 sampai ke 5 terjadi perbedaan, tetapi tidak terlalu signifikan. Pada iterasi ke 2 sampai ke 5 sudah menunjukkan angka yang sama, seperti pada rele 5 dengan iterasi ke 1 menghasilkan nilai TDS 0,034 dan T_{op} 0,151 tetapi ketika pada iterasi ke 5 menghasilkan nilai TDS 0,033 dan T_{op} 0,146. Untuk hasil perhitungan secara keseluruhan dapat dilihat pada tabel 4.12.

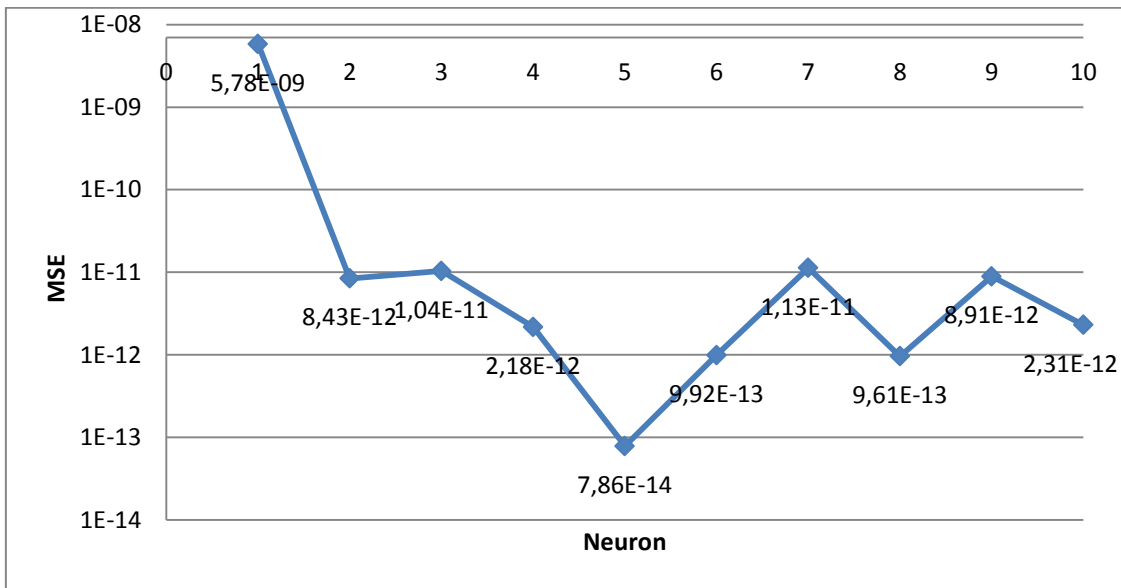
Tabel 4. 12 Nilai *Ipickup* dan TDS Pada Topologi 4

Rele	Ipickup	TDS	Top (detik)
R1	3,478	0,053	0,197
R2	3,478	0,039	0,157
R3	3,478	0,012	0,100
R4	3,478	0,101	0,341
R5	3,478	0,033	0,146
R6	3,478	0,026	0,117
R7	3,478	0,090	0,359
R8	3,478	0,085	0,270
R9	3,478	0,038	0,178
R10	3,478	0,086	0,248
R11	3,478	0,039	0,180
R12	3,478	0,060	0,448
R13	4,547	0,070	0,557

4.2 Pembentukan Model Jaringan Saraf Tiruan CFNN

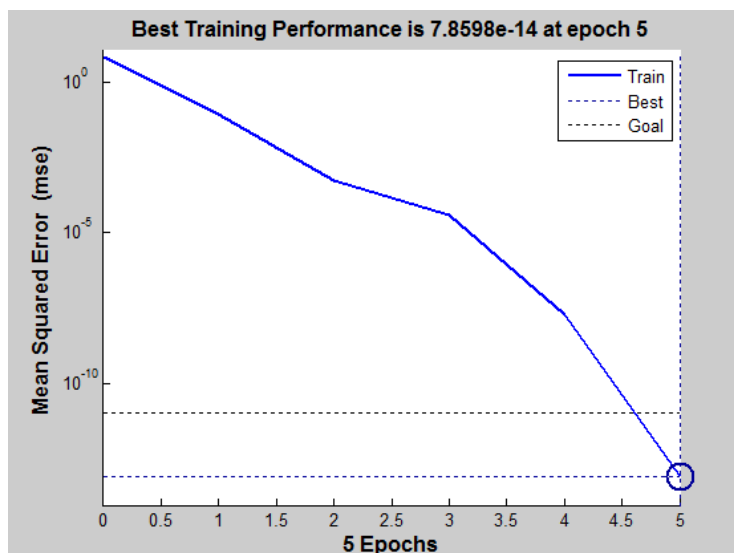
Pada penelitian ini proses pembentukan model menggunakan cascade forward neural network dengan metode Levenberg Marquardt. Pada proses pelatihan, data input yang digunakan terdiri dari 5 data set dengan kombinasi pembangkitan generator utama, DG 1, dan DG 2. Output berupa nilai *Ipickup* dan TDS yang terdiri dari 15 rele.

Jaringan saraf tiruan ini terdiri dari 3 lapisan yaitu 1 lapisan input, 1 lapisan tersembunyi dan 1 lapisan output. Untuk mendapatkan nilai Mean Squared Error (MSE) yang paling minimum maka proses pelatihan dilakukan beberapa kali dengan cara merubah jumlah neuron lapisan tersembunyi hingga mendapatkan nilai MSE terkecil dengan jumlah neuron yang paling sedikit.



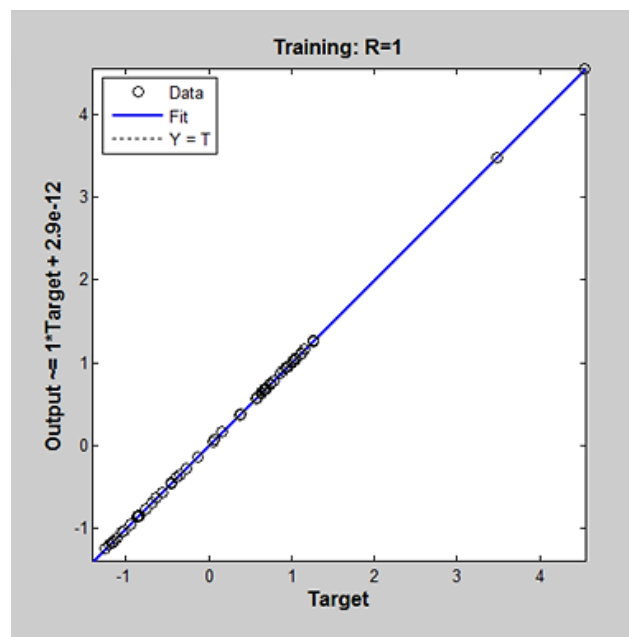
Gambar 4. 5 Perbandingan Antara Neuron dan MSE

Pada gambar 4.5 menunjukkan bahwa dengan jumlah 5 neuron memiliki nilai yang paling bagus dibandingkan dengan yang lain dengan nilai MSE $7,86e^{-14}$, dikarenakan pada neural network harus memiliki jumlah yang tepat untuk mendapatkan hasil yang diinginkan harus dilakukan percobaan dengan berbagai jumlah neuron.



Gambar 4. 6 Kurva performa proses Pelatihan

Pada gambar 4.6 menunjukkan kurva pelatihan hingga mencapai nilai performa yang paling baik. Nilai performa yang paling baik adalah nilai MSE terkecil yang bisa tercapai selama pelatihan. Semakin kecil nilai MSE maka semakin sama antara target dan *output neural network*. Dengan melihat error hasil pelatihan dan pengujian terhadap sekumpulan data baru dapat dilakukan evaluasi dengan menggunakan analisis regresi terhadap respon jaringan terhadap target yang diharapkan.



Gambar 4. 7 Kurva Kesesuaian Output Dengan Target

Pada gambar 4.7 menunjukkan kurva kesesuaian antara data output dan target. Dengan nilai kesesuaian sama dengan 1 yang berarti nilai target sama dengan nilai output.

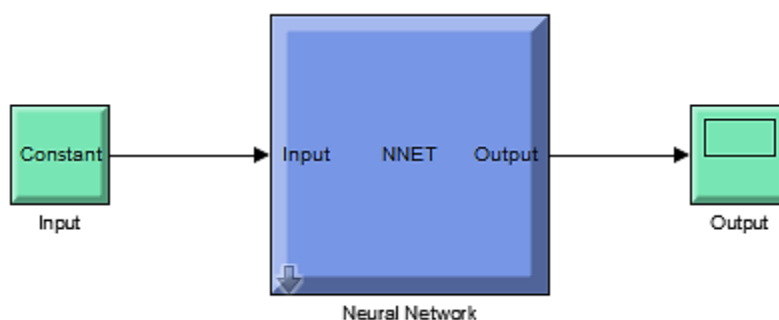
4.3 Hasil Model Jaringan Saraf Tiruan CFNN

Setelah dilakukan pelatihan dan pengujian maka didapatkan sebuah model yang dibentuk dari data pada tabel 4.13 yang menghasilkan nilai bobot dan bias yang dihasilkan dari proses pembelajaran dan pengujian.

Tabel 4. 13 Model Jaringan Saraf Tiruan

Karakteristik	Spesifikasi
Arsitektur Jaringan	Cascade Foward Neural Network
Algoritma pelatihan	Levenberg Marquadt
Persentase pembagian	Pelatihan 100%, Pengujian 100%
Jumlah node input	3
Jumlah node lapisan tersembunyi	1
Fungsi aktivasi lapisan tersembunyi	Tan sigmoid
Jumlah node lapisan output	2
Fungsi aktivasi lapisan output	Pureline
Toleransi error	0,0001
Learning rate	0.5
Performance	MSE
Maksimum epoch	1000

Dari hasil pembentukan model, maka didapatkan sebuah model jaringan saraf tiruan seperti pada gambar 4.8.



Gambar 4. 8 Model Jaringan Saraf Tiruan

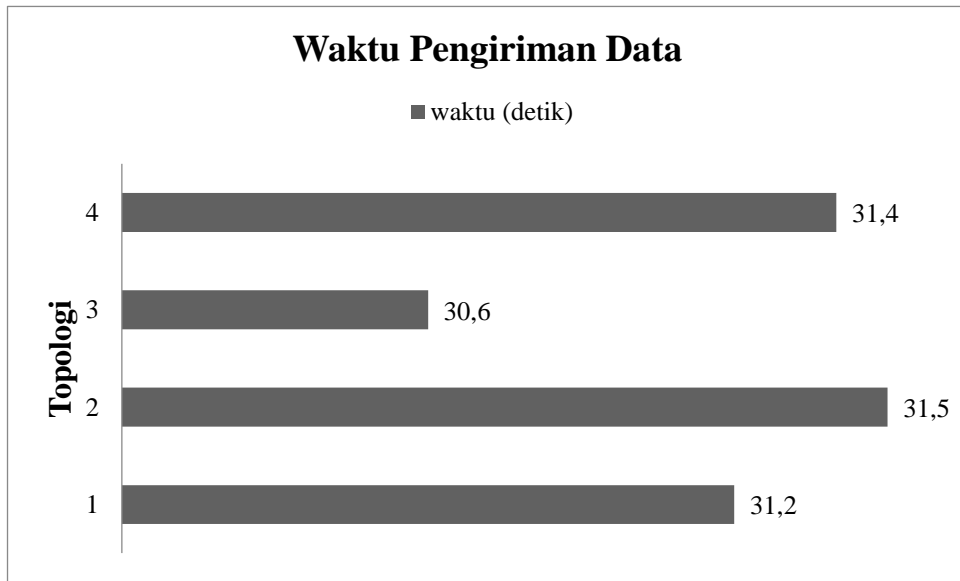
4.4 Sistem Komunikasi Kontrol Hirarki

Hasil dari model jaringan saraf tiruan seperti gambar 4.8 ketika mendapat input sari status pembangkit maka output akan memberikan nilai setting pada setiap rele. Pada penelitian ini model jaringan saraf tiruan ditampilkan dengan

menggunakan GUI matlab yang dijadikan sebagai unit pengolah data. Dari unit pengolah data kemudian data setting rele dikirim ke masing – masing mikrokontroler. Gambar 4.9 menunjukkan tampilan sistem komunikasi antara unit pengolah data dengan mikrokontroler. Sedangkan pada gambar 4.10 menunjukkan waktu pengiriman data setting rele dari pengolah data menuju ke mikrokontroler.



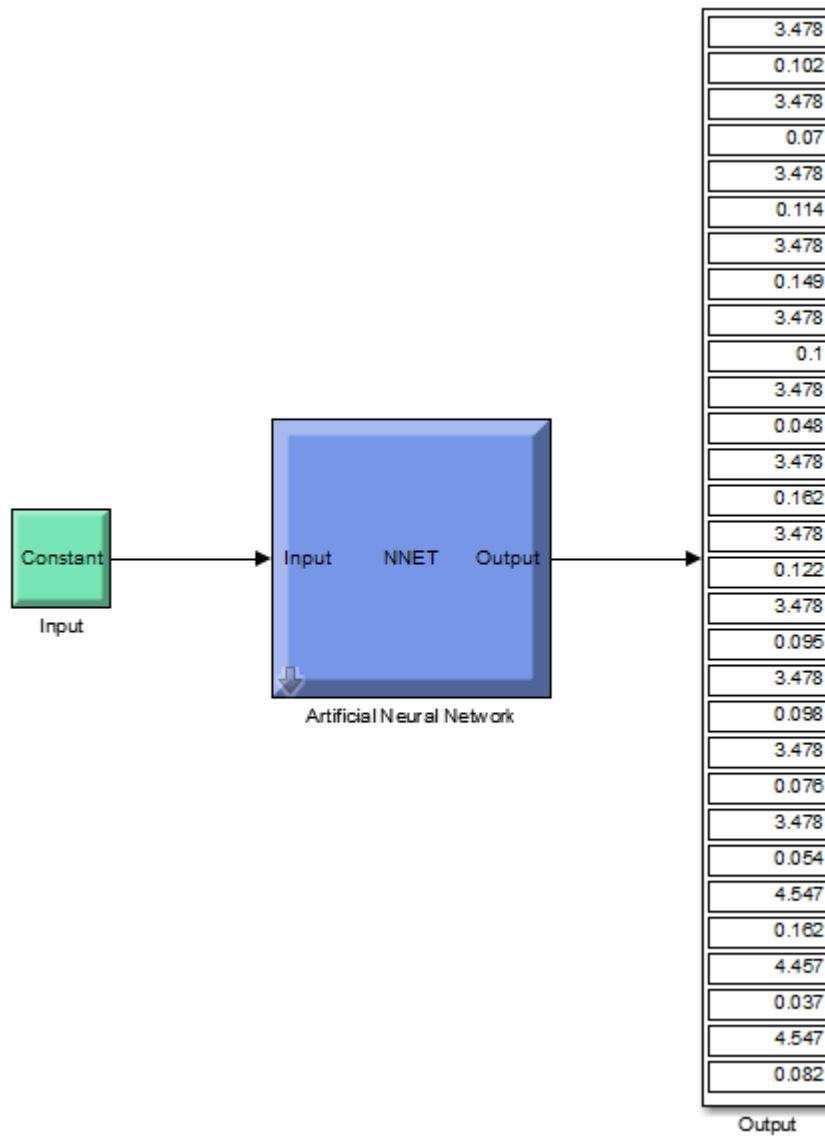
Gambar 4. 9 Sistem Komunikasi Kontrol Hirarki



Gambar 4. 10 Waktu Pengiriman Data

4.4.1 Hasil Model Setting Rele Pada Topologi 1

Setelah dilakukan pemodelan menggunakan CFNN dengan algoritma levenberg marquadt maka diperoleh nilai Ipickup dan TDS seperti pada gambar 4.11.



Gambar 4. 11 Hasil Pemodelan Topologi 1

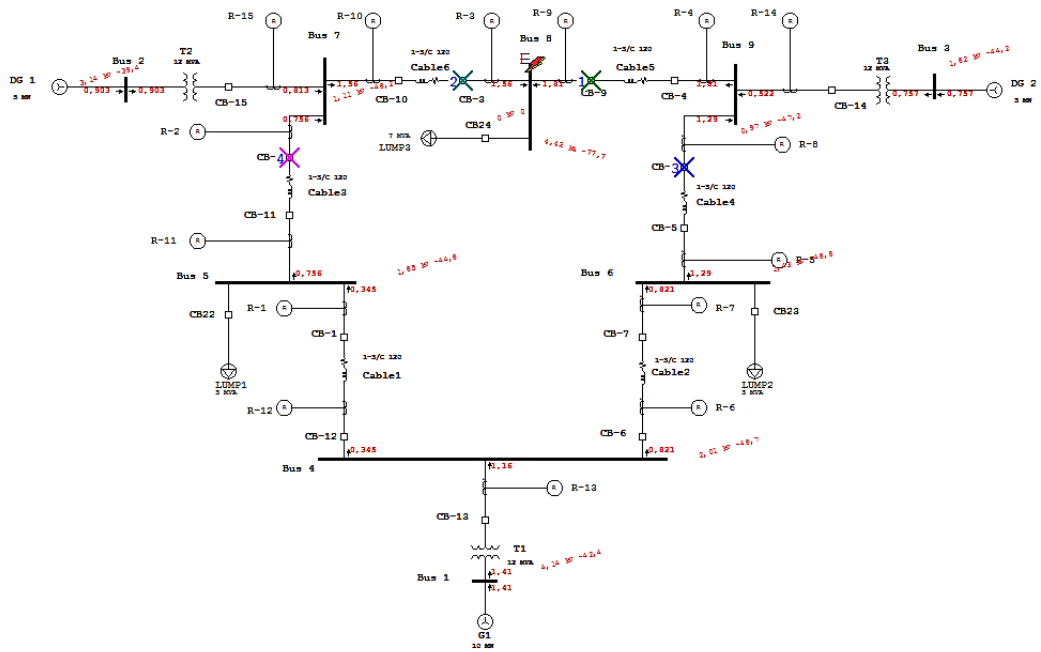
Hasil dari pemodelan dapat dilihat pada tabel 4.14.

Tabel 4. 14 Hasil pemodelan CFNN Pada Topologi 1

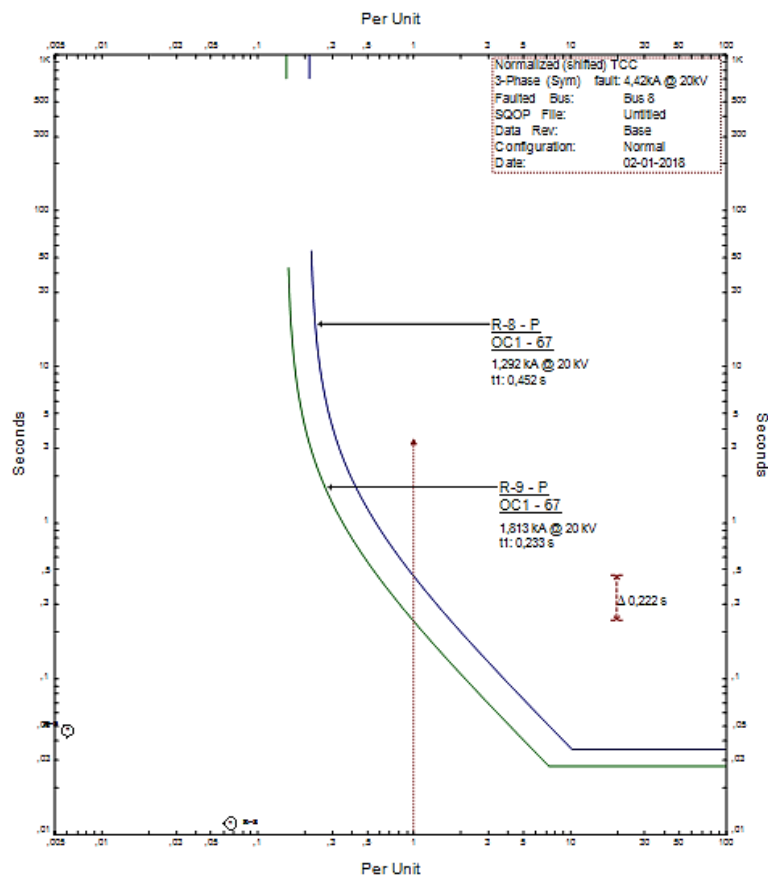
Rele	CFNN	
	IPickup	TDS
R1	3,478	0,102
R2	3,478	0,070
R3	3,478	0,114
R4	3,478	0,149
R5	3,478	0,100
R6	3,478	0,048
R7	3,478	0,162
R8	3,478	0,122
R9	3,478	0,095
R10	3,478	0,098
R11	3,478	0,076
R12	3,478	0,054
R13	4,547	0,162
R14	4,032	0,037
R15	4,547	0,082

Tabel 4.14 menunjukkan nilai Ipickup dan TDS pada rele 1 sampai rele 15 yang dihasilkan dari pemodelan dengan CFNN pada topologi 1. Hasil pemodelan tersebut kemudian disimulasikan pada software ETAP 12.6.

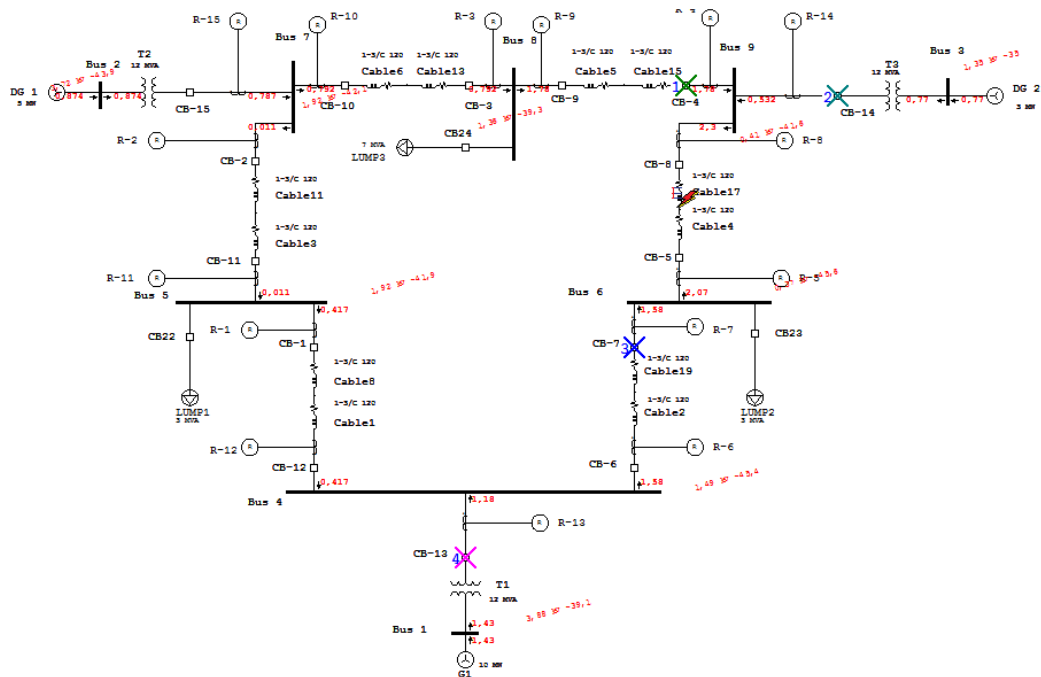
Gambar 4.12 menunjukkan simulasi hubung singkat 0,5 cycle terjadi pada bus 8 dan terjadi koordinasi rele 9 sebagai rele primer dan rele 8 sebagai rele backup. Sedangkan gambar 4.13 menunjukkan kurva TCC dimana rele 9 terjadi trip terlebih dahulu pada waktu 0,233 detik dengan arus yang terdeteksi 1,813 kA dan disusul rele 8 sebagai rele backup pada waktu 0,452 detik dengan arus trip 1,292 kA.



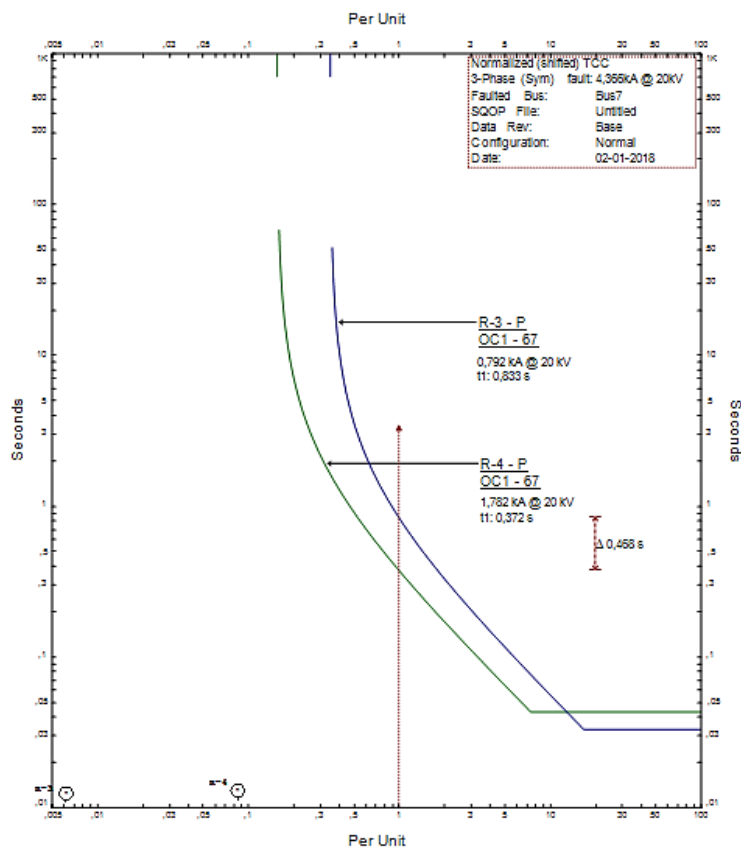
Gambar 4. 12 Simulasi Koordinasi Rele Topologi 1 pada bus 8



Gambar 4. 13 Kurva TCC Rele 8 dan 9 Saat Hubung Singkat 3 Fasa 0,5 Cycle



Gambar 4. 14 Simulasi Koordinasi Rele Topologi 1 antara bus 6 dan bus 9



Gambar 4. 15 Kurva TCC Rele 3 dan 4 Saat Hubung Singkat 3 Phasa 0,5 Cycle

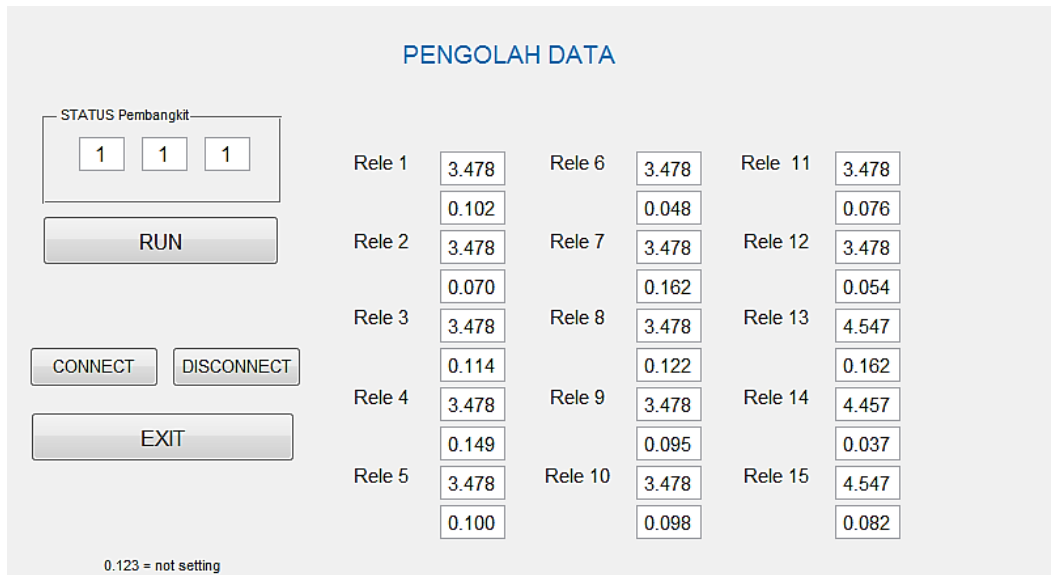
Pada gambar 4. 14 menunjukkan simulasi hubung singkat 0,5 cycle terjadi antara bus 6 dan bus 9 dan terjadi koordinasi rele 4 sebagai rele primer dan rele 3 sebagai rele backup. Sedangkan gambar 4.15 menunjukkan kurva TCC dimana rele 4 terjadi trip terlebih dahulu pada waktu 0,372 detik dengan arus yang terdeteksi 1,782 kA dan disusul rele 3 sebagai rele backup pada waktu 0,833 detik dengan arus trip 0,792 kA.

Tabel 4. 15 Waktu Operasi Rele Primer dan Backup Topologi 1

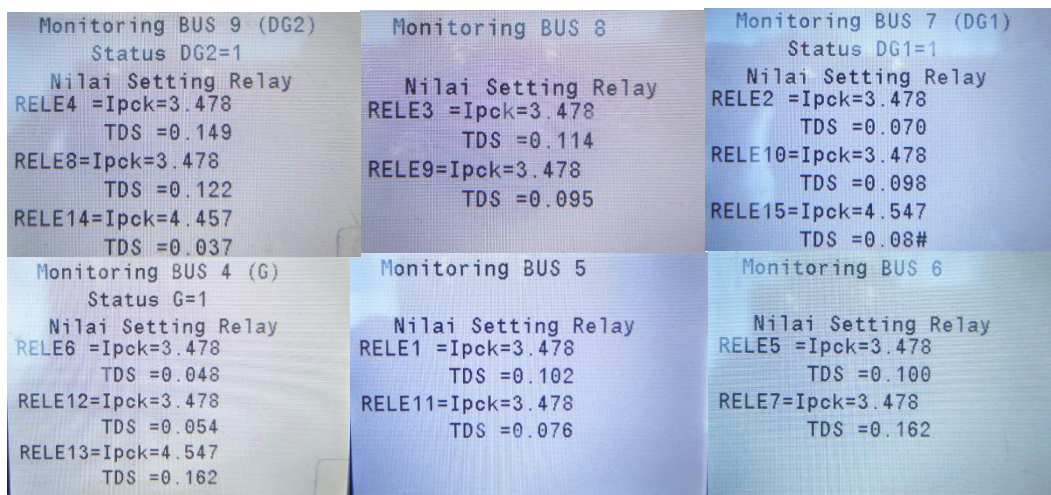
Rele		Top primer	Top backup	CTI
Primer	Backup	(detik)	(detik)	(detik)
1	6	0,250	0,469	0,219
2	1	0,215	0,481	0,266
3	2	0,333	0,551	0,218
4	3	0,328	0,609	0,281
5	4	0,206	0,428	0,222
6	5	0,120	0,362	0,242
7	12	0,408	0,632	0,224
8	7	0,287	0,548	0,261
9	8	0,233	0,452	0,219
10	9	0,212	0,473	0,261
11	10	0,163	0,384	0,221
12	11	0,191	0,450	0,259
1	13	0,250	0,997	0,747
7	13	0,408	0,962	0,554
5	14	0,206	1,130	0,924
9	14	0,233	1,150	0,917
3	15	0,333	0,896	0,563
11	15	0,163	0,921	0,758

Tabel 4.15 menunjukkan waktu operasi rele primer dan backup topologi 1, waktu operasi rele ini ketika terjadi hubung singkat 3 fasa 0,5 cycle pada masing

– masing bus. Waktu operasi rele primer sudah sesuai dengan persyaratan yaitu $0,1 \text{ detik} \leq T_{op} \text{ primer} < 1 \text{ detik}$ sedangkan CTI antara rele primer dan rele backup yaitu $0,2 \text{ detik} \leq CTI$.



Gambar 4. 16 Tampilan Unit Pengolah Data Topologi 1

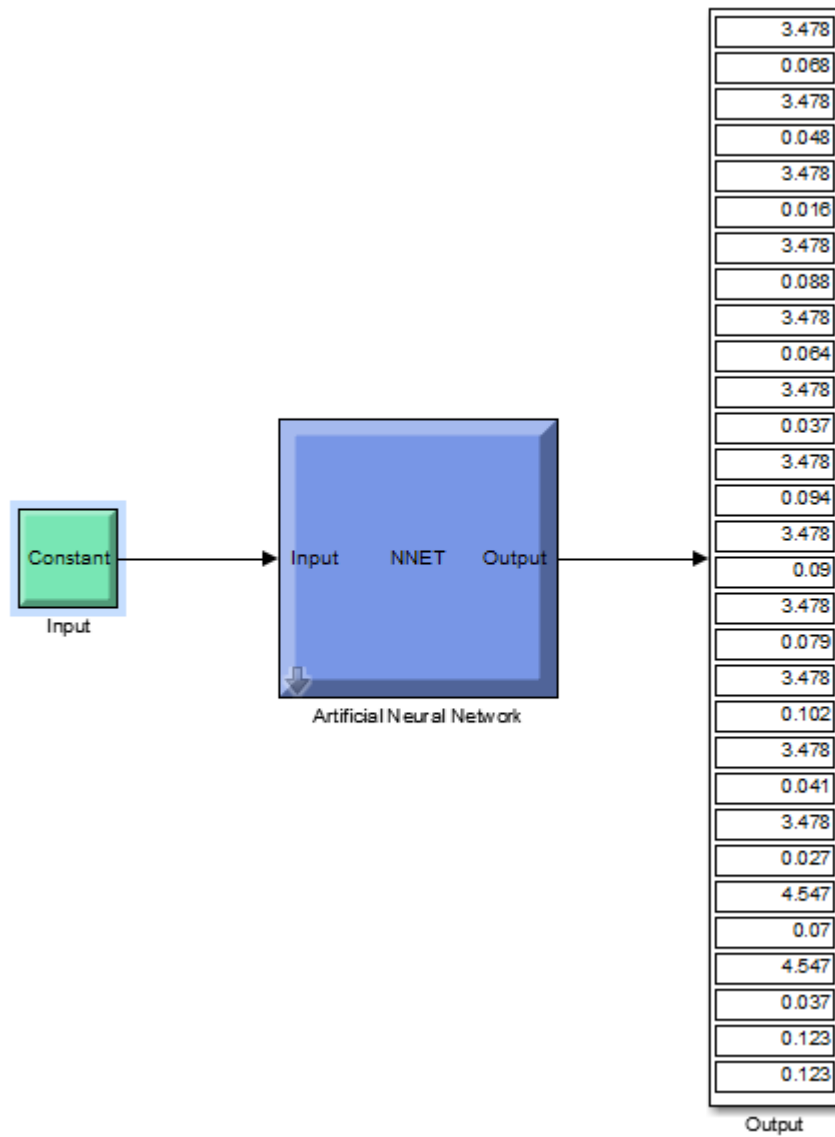


Gambar 4. 17 Tampilan Mikrokontroler Topologi 1

Pada gambar 4.16 menunjukkan tampilan unit pengolah data sedangkan pada gambar 4.17 menunjukkan tampilan pada mikrokontroler. Dari tampilan antara unit pengolah data dan mikrokontroler tersebut maka data *setting* rele dapat terkirim dengan baik pada setiap rele dengan waktu pengimanan selama 31,2 detik.

4.4.2 Hasil Model Setting Rele Pada Topologi 2

Setelah dilakukan pemodelan menggunakan CFNN dengan algoritma levenberg marquadt maka diperoleh nilai Ipickup dan TDS seperti pada gambar 4.18.



Gambar 4. 18 Hasil Pemodelan Topologi 2

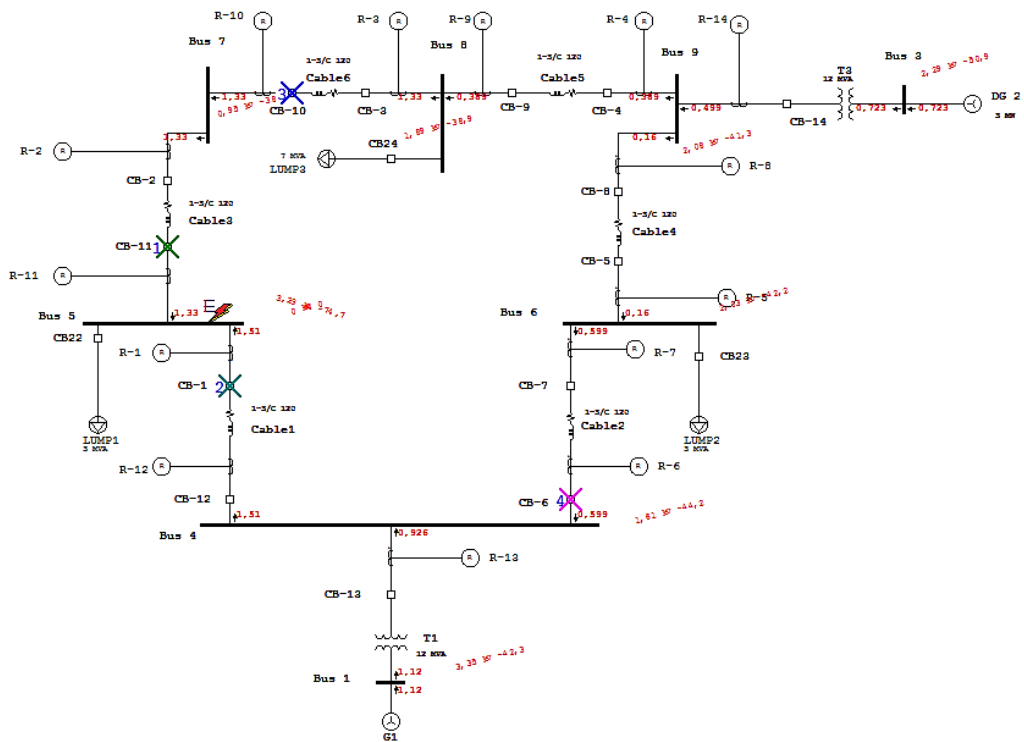
Hasil pemodelan dapat dilihat pada tabel 4.16.

Tabel 4. 16 Hasil pemodelan CFNN Pada Topologi 2

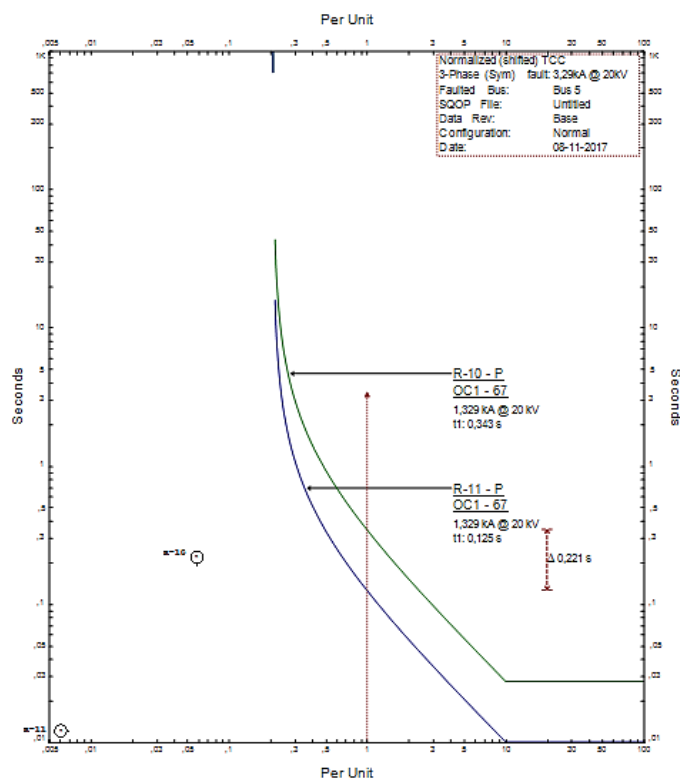
Rele	CFNN	
	IPickup	TDS
R1	3,478	0,068
R2	3,478	0,048
R3	3,478	0,016
R4	3,478	0,088
R5	3,478	0,064
R6	3,478	0,037
R7	3,478	0,094
R8	3,478	0,090
R9	3,478	0,079
R10	3,478	0,102
R11	3,478	0,041
R12	3,478	0,027
R13	4,547	0,070
R14	4,032	0,037

Tabel 4.16 menunjukkan nilai IPickup dan TDS pada rele 1 sampai rele 14 yang dihasilkan dari pemodelan dengan CFNN pada topologi 2. Hasil pemodelan tersebut kemudian disimulasikan pada software ETAP 12.6.

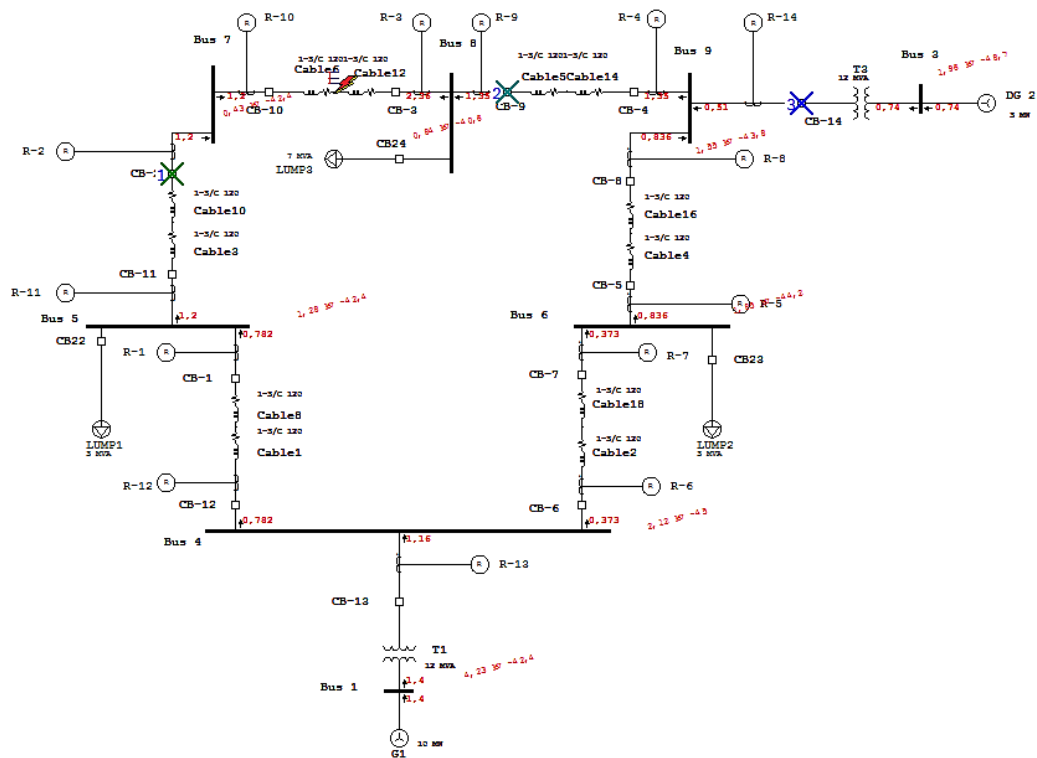
Gambar 4.19 menunjukkan simulasi hubung singkat 0,5 cycle terjadi pada bus 5 dan terjadi koordinasi rele 11 sebagai rele primer dan rele 10 sebagai rele backup. Sedangkan gambar 4.20 menunjukkan kurva TCC dimana rele 11 terjadi trip terlebih dahulu pada waktu 0,147 detik dengan arus yang terdeteksi 1,329 kA dan disusul rele 10 sebagai rele backup pada waktu 0,365 detik dengan arus trip 1,329 kA.



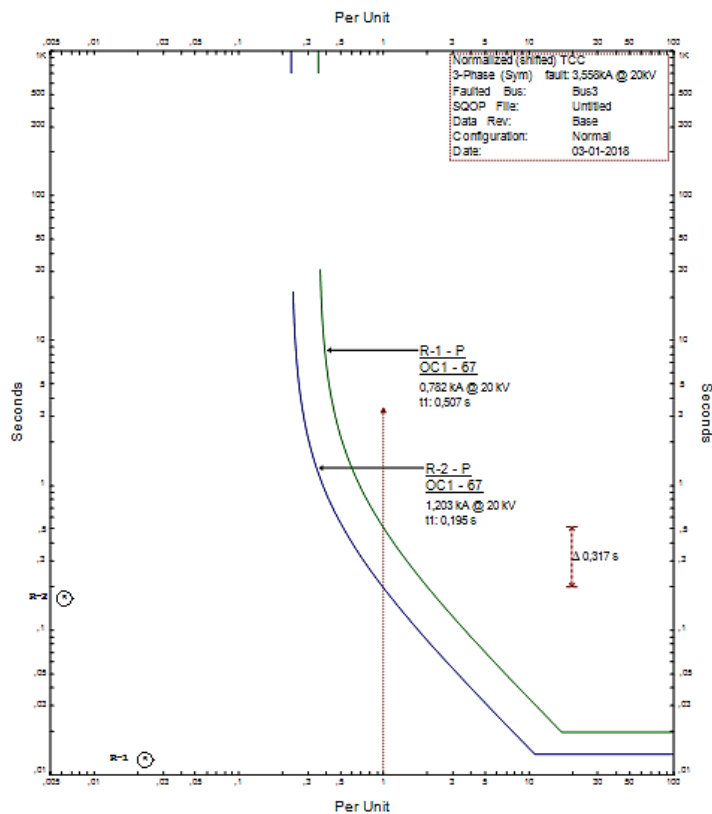
Gambar 4. 19 Simulasi Koordinasi Rele Topologi 2 pada bus 5



Gambar 4. 20 Kurva TCC Rele 10 dan 11 Saat Hubung Singkat 3 Phasa 0,5 Cycle



Gambar 4. 21 Simulasi Koordinasi Rele Topologi 1 antara bus 7 dan bus 8



Gambar 4. 22 Kurva TCC Rele 1 dan 2 Saat Hubung Singkat 3 Phasa 0,5 Cycle

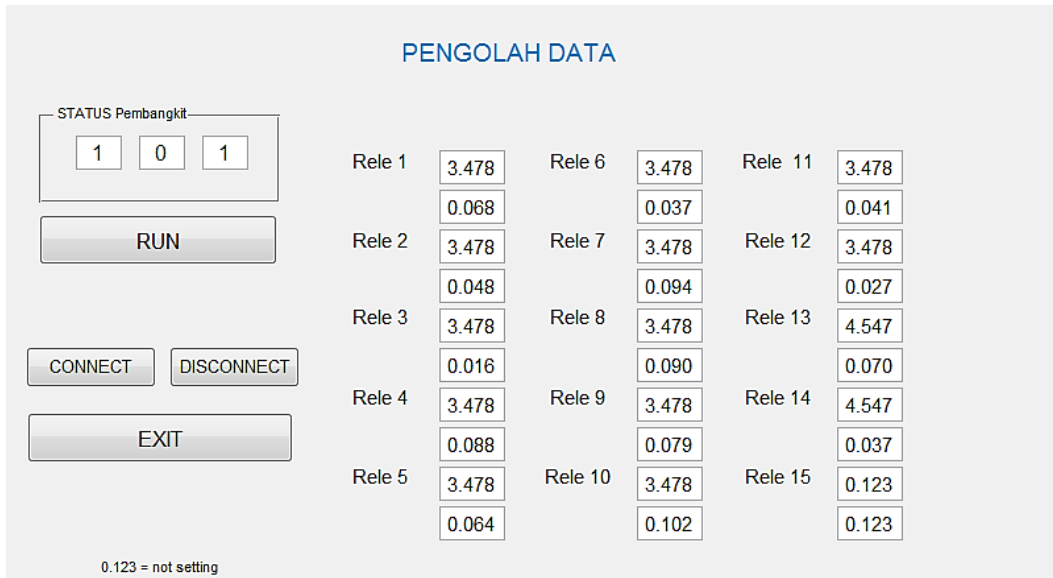
Pada gambar 4. 21 menunjukkan simulasi hubung singkat 0,5 cycle terjadi antara bus 7 dan bus 8 dan terjadi koordinasi rele 2 sebagai rele primer dan rele 1 sebagai rele backup. Sedangkan gambar 4.22 menunjukkan kurva TCC dimana rele 2 terjadi trip terlebih dahulu pada waktu 0,195 detik dengan arus yang terdeteksi 1,203 kA dan disusul rele 1 sebagai rele backup pada waktu 0,507 detik dengan arus trip 0,782 kA.

Tabel 4. 17 Waktu Operasi Rele Primer dan Backup Topologi 2

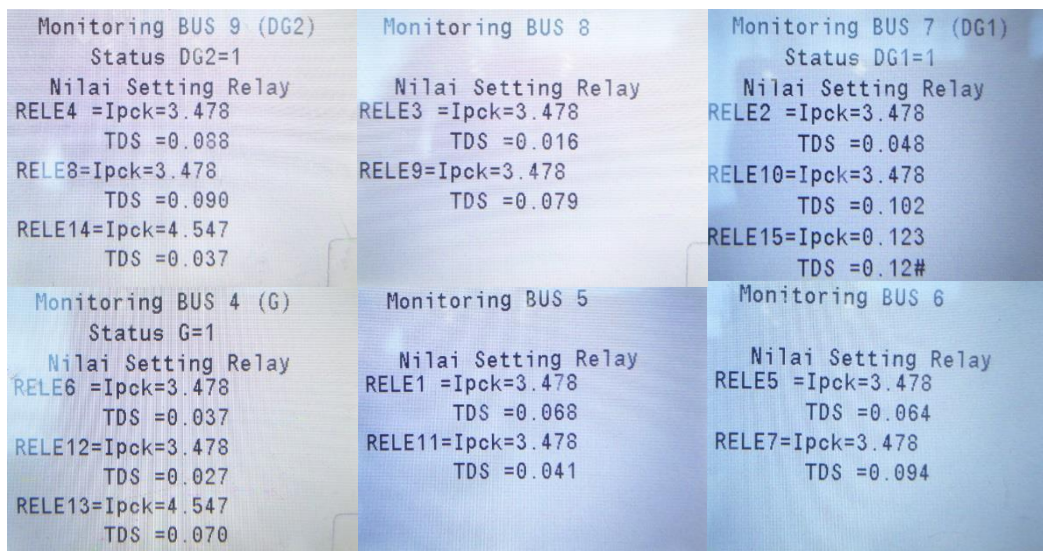
Rele		Top primer	Top backup	CTI
Primer	Backup	(detik)	(detik)	(detik)
1	6	0,207	0,434	0,227
2	1	0,165	0,384	0,219
3	2	0,113	0,338	0,225
4	3	0,294	0,625	0,331
5	4	0,181	0,403	0,222
6	5	0,116	0,333	0,217
7	12	0,352	1,270	0,918
8	7	0,284	0,502	0,218
9	8	0,235	0,459	0,224
10	9	0,234	0,454	0,220
11	10	0,147	0,365	0,218
12	11	0,158	0,747	0,589
1	13	0,207	0,611	0,404
7	13	0,353	0,587	0,234
5	14	0,181	1,110	0,929
9	14	0,235	1,130	0,895

Tabel 4.17 menunjukkan waktu operasi rele primer dan backup topologi 2, waktu operasi rele ini ketika terjadi hubung singkat 3 fasa 0,5 cycle pada masing – masing bus. Waktu operasi rele primer sudah sesuai dengan persyaratan

yaitu $0,1 \text{ detik} \leq T_{op} \text{ primer} < 1 \text{ detik}$ sedangkan CTI antara rele primer dan rele backup yaitu $0,2 \text{ detik} \leq CTI$.



Gambar 4. 23 Tampilan Unit Pengolah Data Topologi 2

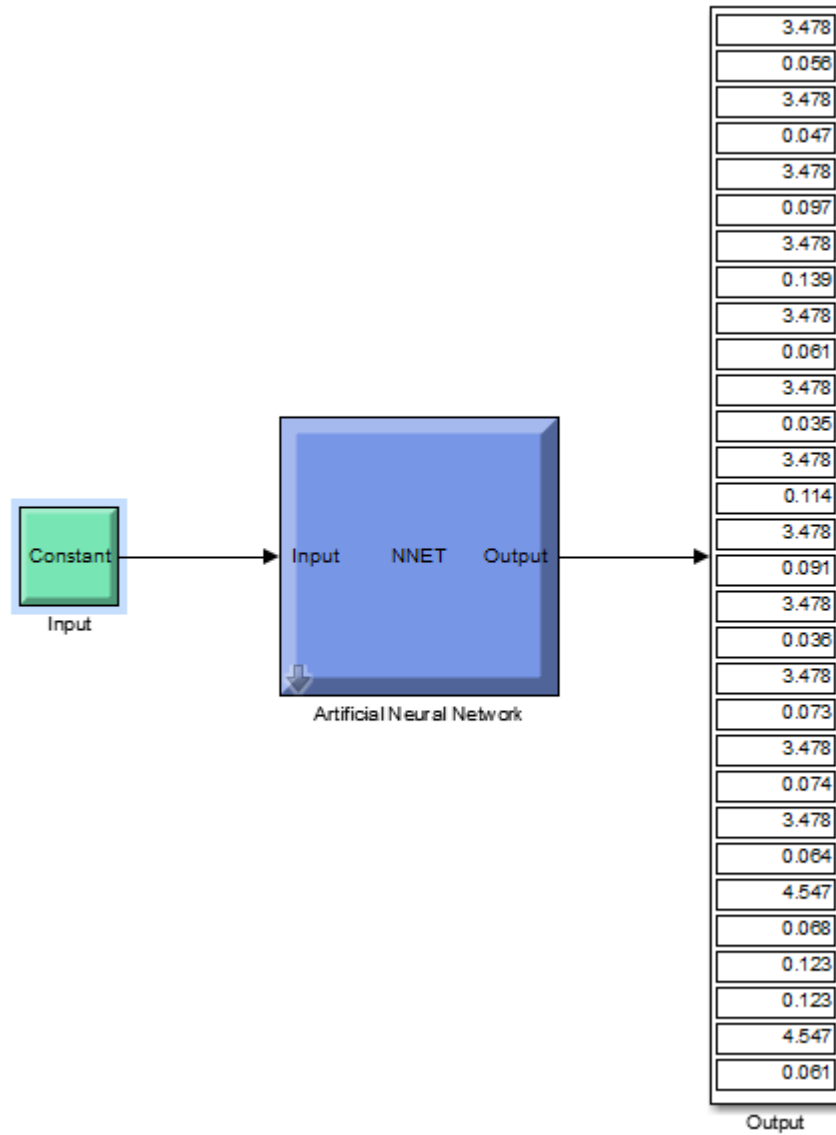


Gambar 4. 24 Tampilan Mikrokontroler Topologi 2

Pada gambar 4.23 menunjukkan tampilan unit pengolah data sedangkan pada gambar 4.24 menunjukkan tampilan pada mikrokontroler. Dari tampilan antara unit pengolah data dan mikrokontroler tersebut maka data *setting* rele dapat terkirim dengan baik pada setiap rele dengan waktu pengiman selama 31,5 detik.

4.4.3 Hasil Model Setting Rele Pada Topologi 3

Setelah dilakukan pemodelan menggunakan CFNN dengan algoritma levenberg marquadt maka diperoleh nilai Ipickup dan TDS seperti pada gambar 4.25.



Gambar 4. 25 Hasil Pemodelan Topologi 3

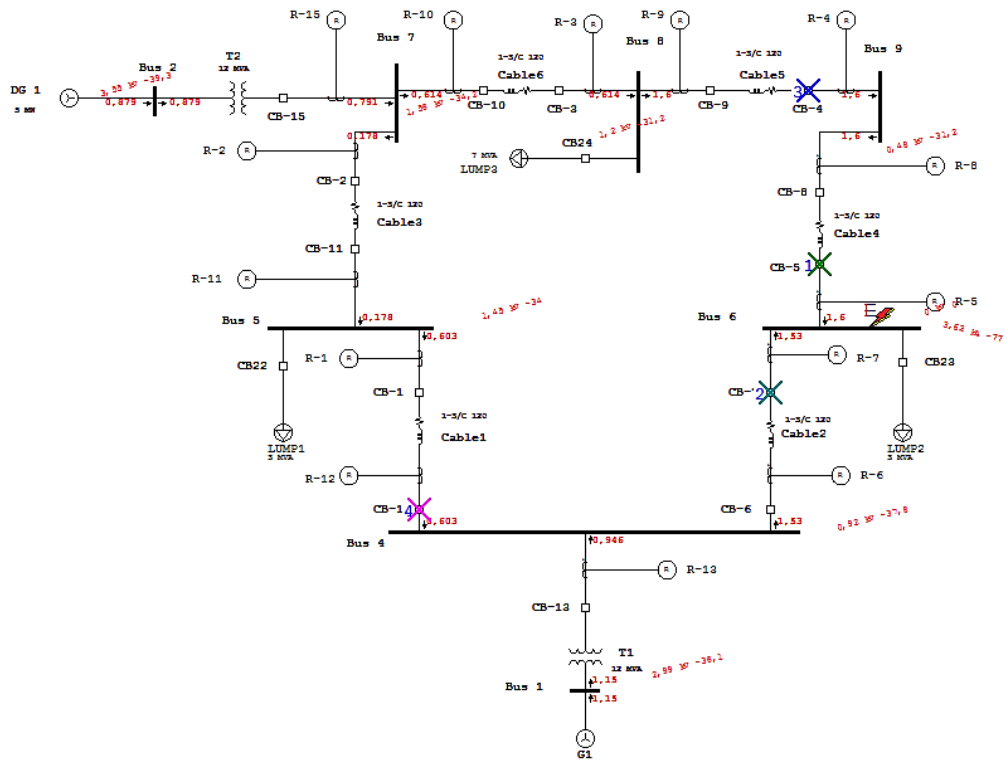
Hasil pemodelan dapat dilihat pada tabel 4.18.

Tabel 4. 18 Hasil pemodelan CFNN Pada Topologi 3

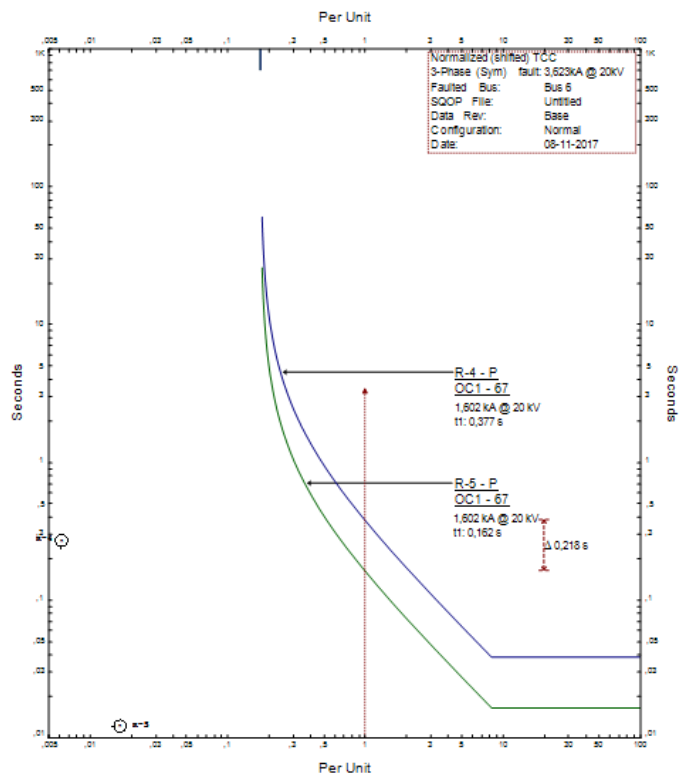
Rele	CFNN	
	IPickup	TDS
R1	3,478	0,056
R2	3,478	0,047
R3	3,478	0,097
R4	3,478	0,139
R5	3,478	0,061
R6	3,478	0,035
R7	3,478	0,114
R8	3,478	0,091
R9	3,478	0,036
R10	3,478	0,073
R11	3,478	0,074
R12	3,478	0,064
R13	4,547	0,068
R15	4,547	0,061

Tabel 4.18 menunjukkan nilai Ipickup dan TDS pada rele 1 sampai rele 15 yang dihasilkan dari pemodelan dengan CFNN pada topologi 3. Hasil pemodelan tersebut kemudian disimulasikan pada software ETAP 12.6.

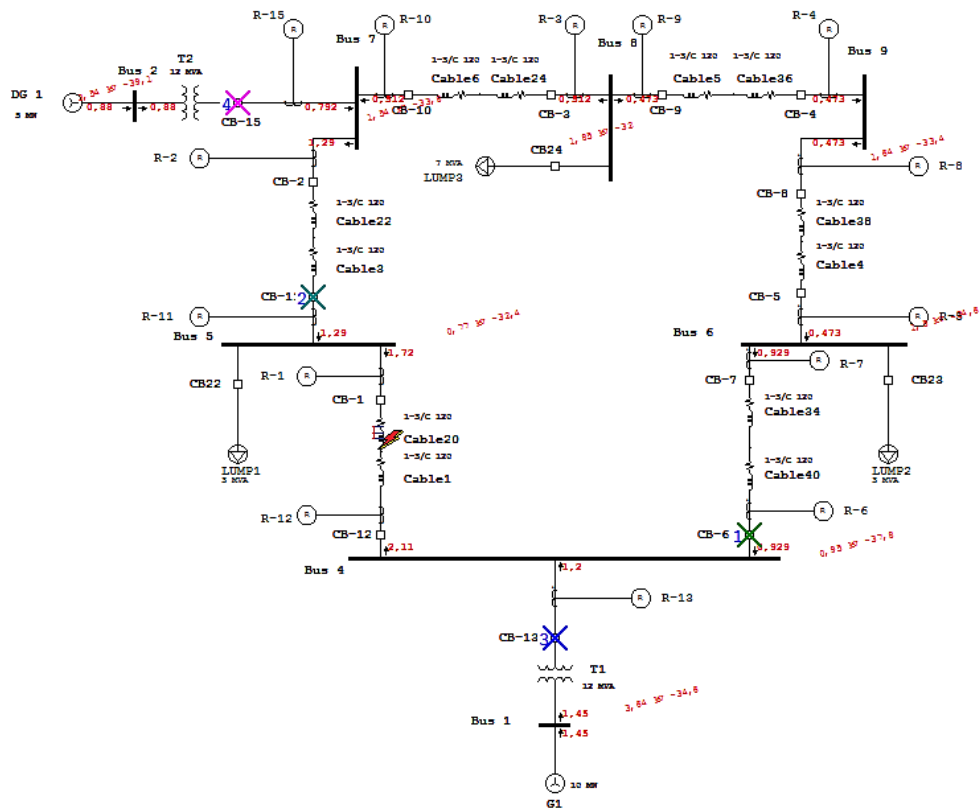
Gambar 4.26 menunjukkan simulasi hubung singkat 0,5 cycle terjadi pada bus 6 dan terjadi koordinasi rele 5 sebagai rele primer dan rele 4 sebagai rele backup. Sedangkan gambar 4.27 menunjukkan kurva TCC dimana rele 5 terjadi trip terlebih dahulu pada waktu 0,162 detik dengan arus yang terdeteksi 1,602 kA dan disusul rele 4 sebagai rele backup pada waktu 0,377 detik dengan arus trip 1,602 kA.



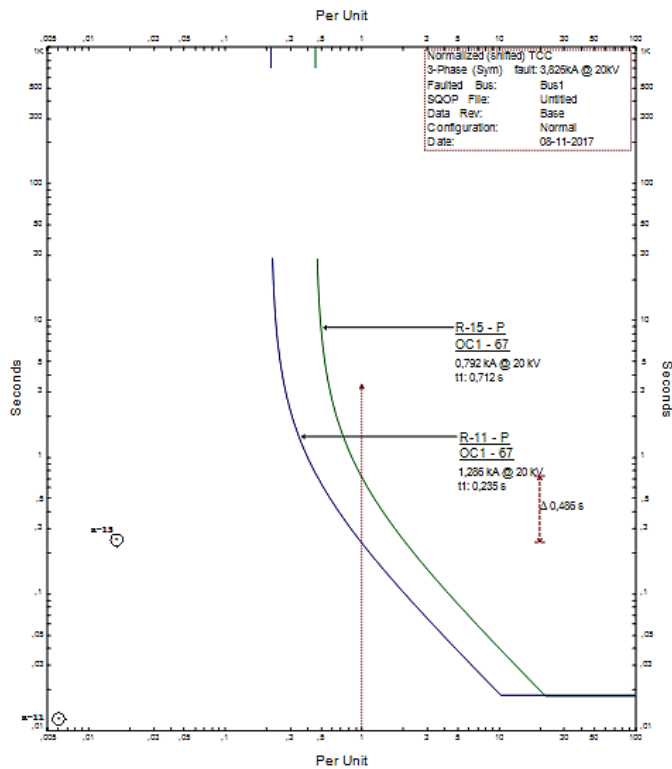
Gambar 4. 26 Simulasi Koordinasi Rele Topologi 3 pada bus 6



Gambar 4. 27 Kurva TCC Rele 4 dan 5 Saat Hubung Singkat 3 Fasa 0,5 Cycle



Gambar 4. 28 Simulasi Koordinasi Rele Topologi 3 antara bus 4 dan bus 5



Gambar 4. 29 Kurva TCC Rele 11 dan 15 Saat Hubung Singkat 3 Phase 0,5 Cycle

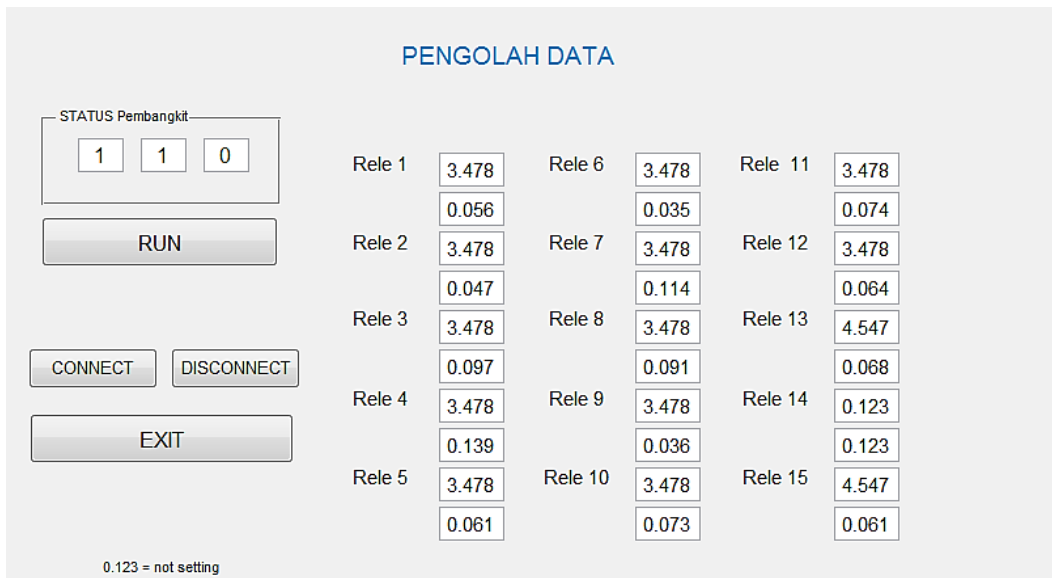
Pada gambar 4.28 menunjukkan simulasi hubung singkat 0,5 cycle terjadi antara bus 4 dan bus 5, dan terjadi koordinasi rele 11 sebagai rele primer dan rele 15 sebagai rele backup. Sedangkan gambar 4.29 menunjukkan kurva TCC dimana rele 11 terjadi trip terlebih dahulu pada waktu 0,235 detik dengan arus yang terdeteksi 1,286 kA dan disusul rele 15 sebagai rele backup pada waktu 0,712 detik dengan arus trip 0,792 kA.

Tabel 4. 19 Waktu Operasi Rele Primer dan Backup Topologi 3

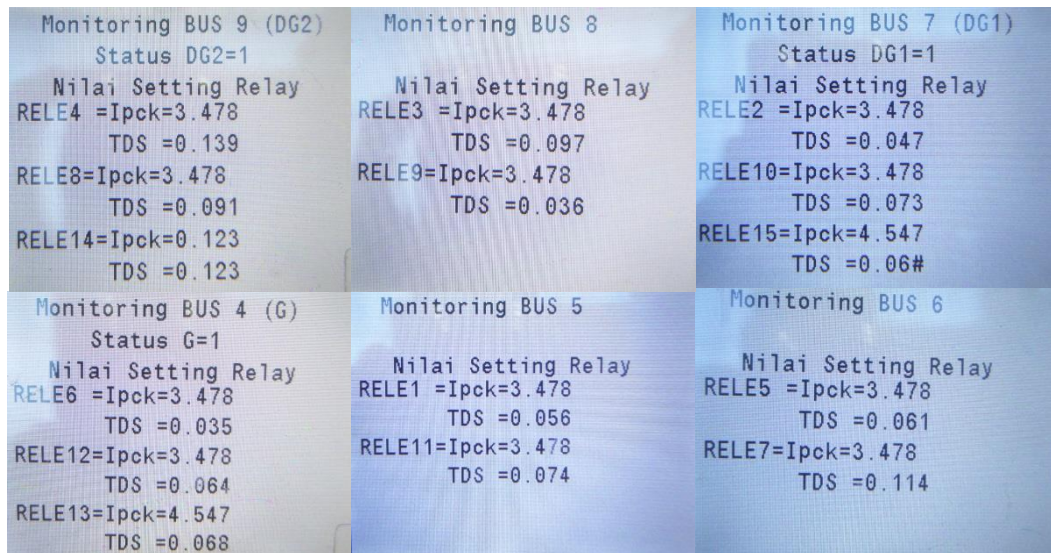
Rele		Top primer	Top backup	CTI
Primer	Backup	(detik)	(detik)	(detik)
1	6	0,184	0,577	0,393
2	1	0,185	0,402	0,217
3	2	0,321	0,546	0,225
4	3	0,316	0,564	0,248
5	4	0,173	0,394	0,221
6	5	0,113	0,333	0,220
7	12	0,341	0,740	0,399
8	7	0,264	0,505	0,241
9	8	0,143	0,361	0,218
10	9	0,209	0,434	0,225
11	10	0,190	0,412	0,222
12	11	0,254	0,539	0,285
1	13	0,184	0,588	0,404
7	13	0,341	0,574	0,233
3	15	0,321	0,660	0,339
11	15	0,190	0,672	0,482

Tabel 4.19 menunjukkan waktu operasi rele primer dan backup topologi 3, waktu operasi rele ini ketika terjadi hubung singkat 3 fasa 0,5 cycle pada masing – masing bus. Waktu operasi rele primer sudah sesuai dengan persyaratan

yaitu $0,1 \text{ detik} \leq T_{op} \text{ primer} < 1 \text{ detik}$ sedangkan CTI antara rele primer dan rele backup yaitu $0,2 \text{ detik} \leq CTI$.



Gambar 4. 30 Tampilan Unit Pengolah Data Topologi 3

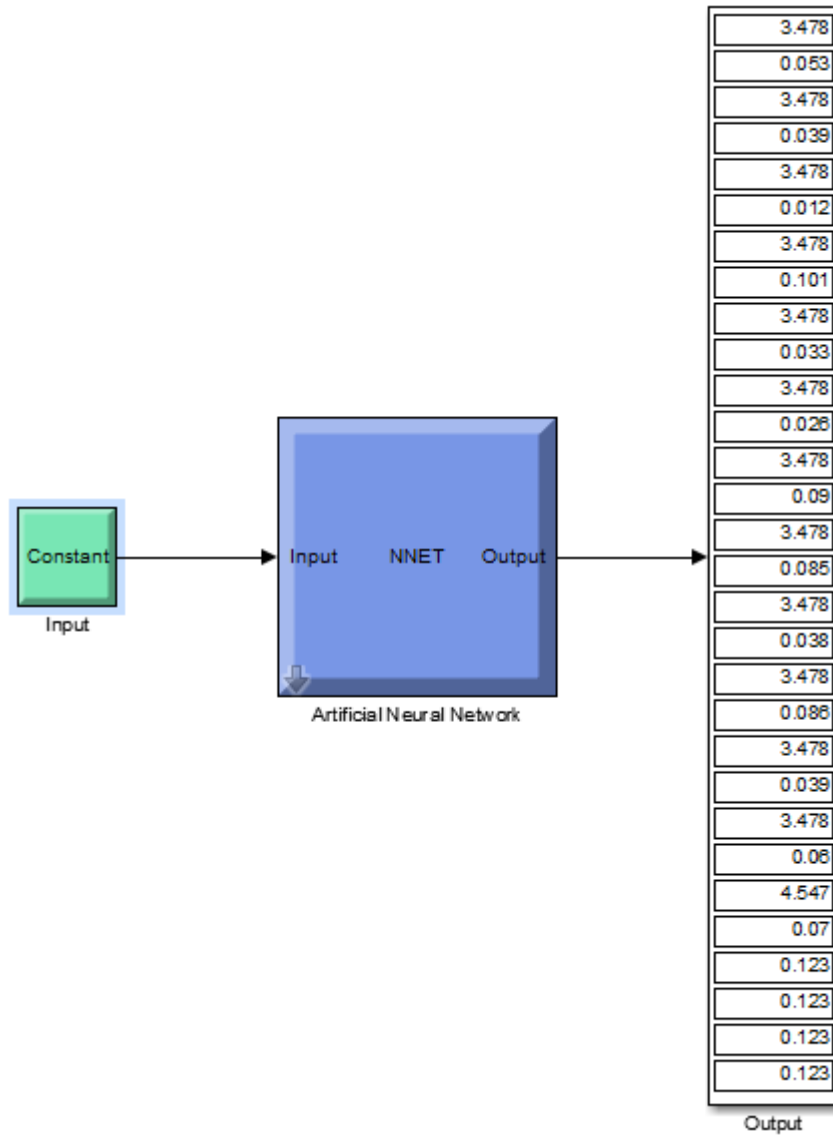


Gambar 4. 31 Tampilan Mikrokontroler Topologi 3

Pada gambar 4.30 menunjukkan tampilan unit pengolah data sedangkan pada gambar 4.31 menunjukkan tampilan pada mikrokontroler. Dari tampilan antara unit pengolah data dan mikrokontroler tersebut maka data *setting* rele dapat terkirim dengan baik pada setiap rele dengan waktu pengiman selama 30,6 detik.

4.4.4 Hasil Model Setting Rele Pada Topologi 4

Setelah dilakukan pemodelan menggunakan CFNN dengan algoritma levenberg marquadt maka diperoleh nilai Ipickup dan TDS seperti pada gambar 4.32.



Gambar 4. 32 Hasil Pemodelan Topologi 4

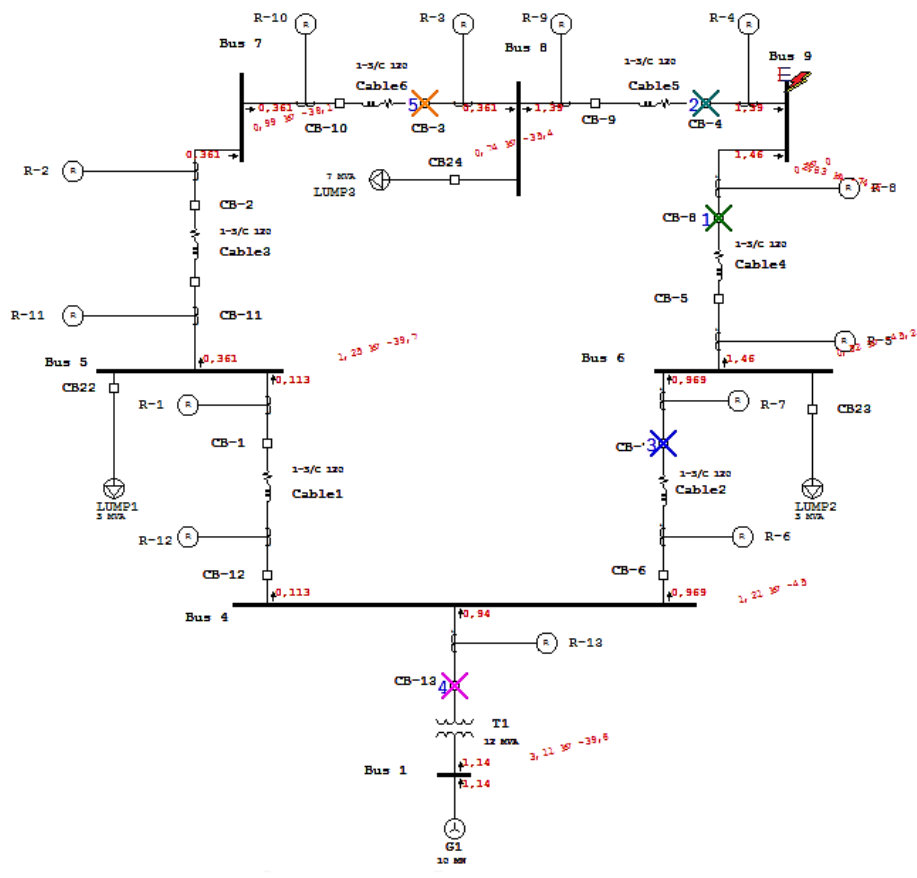
hasil pemodelan dapat dilihat pada tabel 4.20.

Tabel 4. 20 Hasil pemodelan CFNN Pada Topologi 4

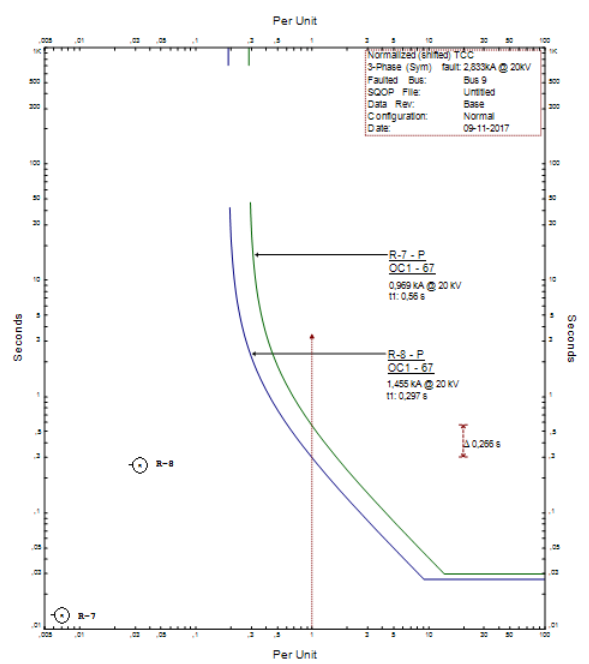
Rele	CFNN	
	IPickup	TDS
R1	3,478	0,053
R2	3,478	0,039
R3	3,478	0,012
R4	3,478	0,101
R5	3,478	0,033
R6	3,478	0,026
R7	3,478	0,090
R8	3,478	0,085
R9	3,478	0,038
R10	3,478	0,086
R11	3,478	0,039
R12	3,478	0,060
R13	4,547	0,070

Tabel 4.20 menunjukkan nilai Ipickup dan TDS pada rele 1 sampai rele 15 yang dihasilkan dari pemodelan dengan CFNN pada topologi 4 . Hasil pemodelan tersebut kemudian disimulasikan pada software ETAP 12.6.

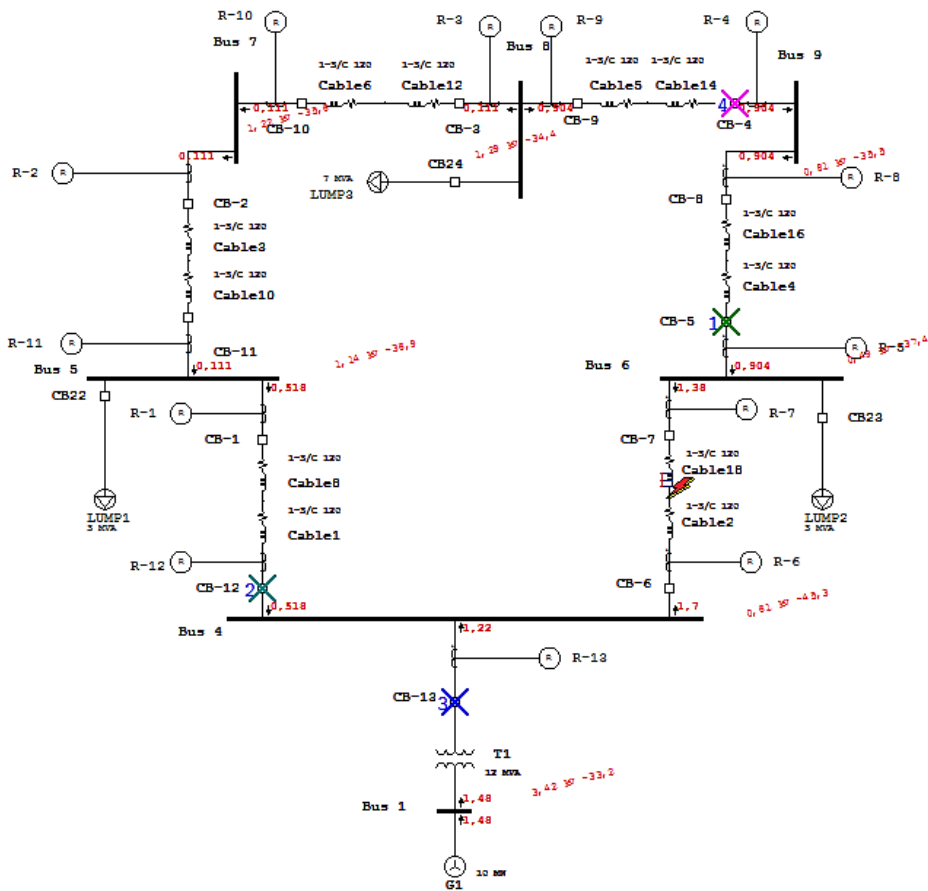
Gambar 4.33 menunjukkan simulasi hubung singkat 0,5 cycle terjadi pada bus 9 dan terjadi koordinasi rele 8 sebagai rele primer dan rele 7 sebagai rele backup. Sedangkan gambar 4.34 menunjukkan kurva TCC dimana rele 8 terjadi trip terlebih dahulu pada waktu 0,297 detik dengan arus yang terdeteksi 1,455 kA dan disusul rele 7 sebagai rele backup pada waktu 0,560 detik dengan arus trip 0,969 kA.



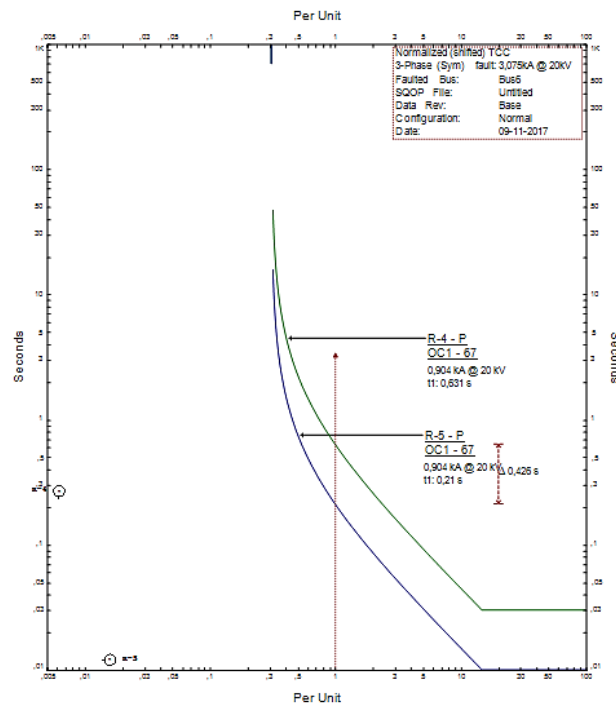
Gambar 4. 33 Simulasi Koordinasi Rele Topologi 4 pada bus 9



Gambar 4. 34 Kurva TCC Rele 3 dan 4 Saat Hubung Singkat 3 Phase 0,5 Cycle



Gambar 4. 35 Simulasi Koordinasi Rele Topologi 1 antara bus 4 dan bus 6



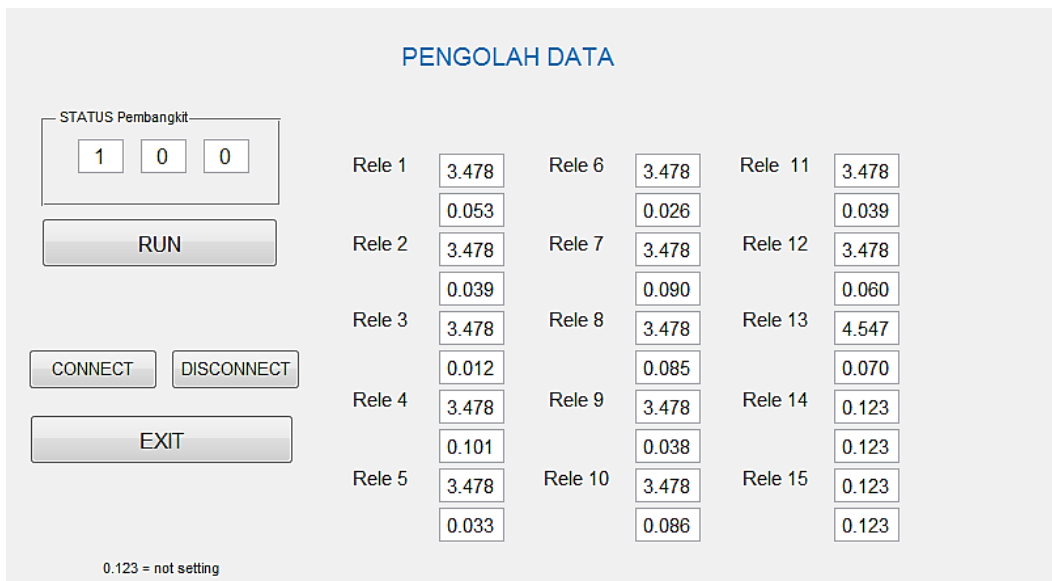
Gambar 4. 36 Kurva TCC Rele 4 dan 5 Saat Hubung Singkat 3 Phasa 0,5 Cycle

Gambar 4.35 menunjukkan simulasi hubung singkat 0,5 cycle terjadi antara bus 4 dan bus 6 terjadi koordinasi rele 5 sebagai rele primer dan rele 4 sebagai rele backup. Sedangkan gambar 4.36 menunjukkan kurva TCC dimana rele 5 terjadi trip terlebih dahulu pada waktu 0,210 detik dengan arus yang terdeteksi 0,904 kA dan disusul rele 6 sebagai rele backup pada waktu 0,631 detik dengan arus trip 1,926 kA.

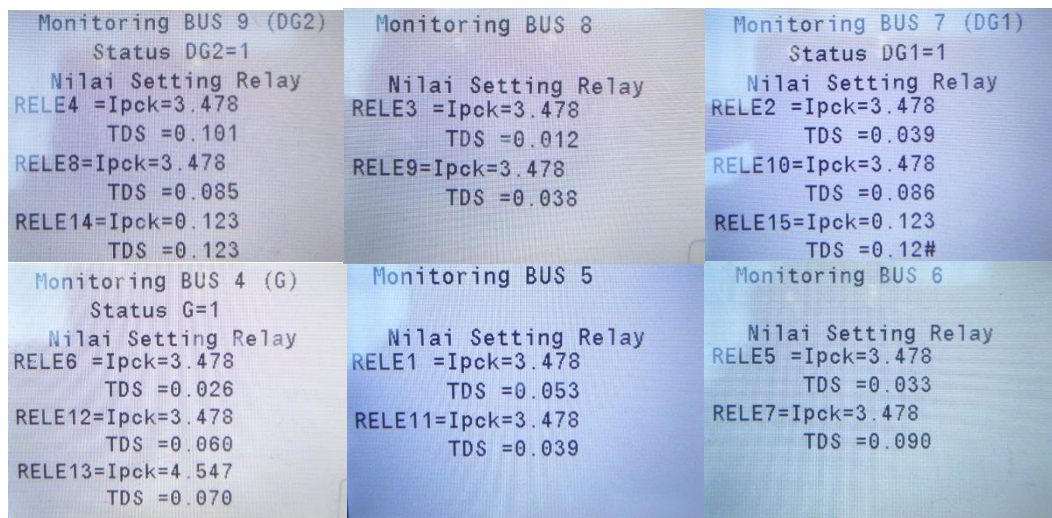
Tabel 4. 21 Waktu Operasi Rele Primer dan Backup Topologi 4

Rele		Top primer	Top backup	CTI
Primer	Backup	(detik)	(detik)	(detik)
1	6	0,197	0,985	0,788
2	1	0,157	0,379	0,222
3	2	0,141	0,383	0,242
4	3	0,342	0,544	0,202
5	4	0,145	0,443	0,298
6	5	0,118	0,342	0,224
7	12	0,211	0,411	0,200
8	7	0,297	0,560	0,263
9	8	0,174	0,398	0,238
10	9	0,248	0,467	0,219
11	10	0,181	0,400	0,219
12	11	0,448	1,650	1,202
1	13	0,197	0,603	0,406
7	13	0,359	0,858	0,499

Tabel 4.21 menunjukkan waktu operasi rele primer dan backup topologi 3, waktu operasi rele ini ketika terjadi hubung singkat 3 phasa 0,5 cycle pada masing – masing bus. Waktu operasi rele primer sudah sesuai dengan persyaratan yaitu $0,1 \text{ detik} \leq T_{op} \text{ primer} < 1 \text{ detik}$ sedangkan CTI antara rele primer dan rele backup yaitu $0,2 \text{ detik} \leq CTI$.



Gambar 4. 37 Tampilan Unit Pengolah Data Topologi 4



Gambar 4. 38 Tampilan Mikrokontroler Topologi 4

Pada gambar 4.37 menunjukkan tampilan unit pengolah data sedangkan pada gambar 4.38 menunjukkan tampilan pada mikrokontroler. Dari tampilan antara unit pengolah data dan mikrokontroler tersebut maka data *setting* rele dapat terkirim dengan baik pada setiap rele dengan waktu pengiman selama 31,4 detik.

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

1.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa Jaringan Saraf tiruan (JST) menggunakan metode pelatihan levenberg marquadt dengan jaringan cascade forward neural network pada jaring distribusi pembangkit tersebar dapat diperoleh kesimpulan :

1. Pada jaring distribusi dengan pembangkit tersebar dapat menyebabkan penambahan nilai arus dan arah arus yang berubah – ubah sesuai dengan kombinasi topologi jaringan.
2. Pemodelan koordinasi directional overcurrent rele menggunakan metode levenberg marquadt dengan jaringan cascade forward neural network menghasilkan nilai MSE $7,86e^{-14}$.
3. Hasil dari pemodelan dengan menggunakan jaringan saraf tiruan dapat diaplikasikan secara nyata untuk mengirim nilai setting rele dengan kondisi topologi yang berubah ubah melalui sistem komunikasi kontrol hirarki.

1.2 Penelitian Selanjutnya

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat diberikan saran untuk dilakukan penelitian selanjutnya :

1. Koordinasi proteksi dilakukan menggunakan rele *invers* dan rele *instantaneous*.
2. Menambahkan algoritma untuk optimisasi dalam proses pemodelan agar didapatkan nilai Ipickup dan TDS yang lebih akurat.
3. Penambahan parameter input untuk melakukan pemodelan agar lebih bervariasi.
4. Sistem komunikasi menggunakan fiber optik agar kecepatan komunikasi lebih maksimal.
5. Perlu dilakukan pengembangan sistem komunikasi langsung antar mikrokontroler.

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR PUSTAKA

- [1] R. C. D. Thomas E. McDermot, "Distributed Generation," *IEEE Ind. Apl. Mag.*, vol. 8, no. 2, Apr. 2002.
- [2] Thomas Ackerman, Goran Anderson, "Distributed Generation: A Definition," *Elsevier Electric Power Syst. Res.*, vol. 57, 2001.
- [3] M.H Hussain, S.R.A. Rahim, I.Musirin, "Optimal Overcurrent Relay Coordination: A Review," *Malays. Tech. Univ. Conf. Eng. Technol. MUCET*, vol. 1, 2012.
- [4] Omid Palizban, Kimmo Kauhaniemi, "Hierarchical control structure in microgrids with distributed generation: Island and grid-connected mode," *Renew. Sustain. Energi Rev.*, 2014.
- [5] H.H. Zeinaldin, Hebatallah, H. Sharaf, D.K. Ibrahim, "Optimal Protection Coordination for Meshed Distribution System With DG Using Dual Setting Directional Overcurrent Relays," *IEEE Trans. Smart Grid*, vol. 6, no. 1, Jan. 2015.
- [6] P.G. McLaren, K. Mustaphi, G. Benmouyal, S. Chano, A. Girgis, C. Henville, M. Kezunovic, L. Kojovic, R.Martila, M. Meisinger, G. Michel, M.S. Sachdev, V. Skendzic, T.S. sidhu, D. Tziouvaras, "Software Models for Relays," *IEEE*, Apr. 2001.
- [7] S.G. Aquiles perez, M.S Sachdev, T.S. Sidhu, "Modeling Relays for use in Power System Protection Studies," *IEEE CCCECECCGEI*, May 2005.
- [8] M.S. Sachdev (Coordinator) et al, "Advancements in Microprocessor Based Protection and Communication," *Tutor. Publ. IEEE*, 1997.
- [9] M. Lashkarbolooki, Z. Sadat Shafipour, A.Z. Hezave, "Trainable Cascade Forward Backpropagation Network Modeling of Spearmint Oil Extrction in a Packed Bed Using SC-CO₂," *Elsevier J. Supercrit. Fluids*, Oct. 2012.
- [10] M. Amin Zamani, T.S. Sidhu, A. Yuzdani, "A Protection strategy and Microprocessor Based Relay for Low Voltage Microgrids," *IEEE Trans. Power Deliv.*, vol. 26, no. 3, Jul. 2011.

- [11] M. Khederzadeh, "Adaptive Setting of Protective Relays In Microgrids in Grid Connected And Autonomous Operation," *Power Water Univ. Technol. PWUT*, 2012.
- [12] A. Tjahjono, D.O. Anggriawan, A. priyadi, M.H. Purnomo, "Overcurrent Relay Curve Modeling and Its Application in the Real Industrial Power Systems Using Adaptive Neuro Fuzzy Inference System," *IEEE Comput. Intell. Virtual Environments Measurements Syst. Appl.*, 2015.
- [13] IEEE Standar 242, *Protection and Coordination of Industrial and Comercial Power System*. Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2001.
- [14] IEEE Standard C37, "IEEE Standard Inverse Time Characteristic Equation for Overcurrent Relays," *Power Syst. Relaying Commitee IEEE Power Eng. Soc.*, 1996.
- [15] Sri Kusumadewi, *Membangun Jaringan Syaraf Tiruan Menggunakan Matlab & Excel Link*. Graha Ilmu, 2004.
- [16] Rahmat, R. setiawan, M.H. Purnomo, "Perbandingan Algoritma Levenberg Marquadt Dengan Metode Backpropagation Pada Proses Learning Jaringan Saraf Tiruan Untuk Pengenalan Pola Elektrokardiograf," *Semin. Nas. Apl. Teknol. Inf.*, Jun. 2006.
- [17] Soman, S.A, *Directional Overcurrent Relay Coordination (Tutorial)*. India: NPTL.

LAMPIRAN

1. Data Pelatihan dan Pengujian

Input			Target													
			R1		R2		R3		R4		R5		R6		R7	
1	1	1	3,478	0,102	3,478	0,07	3,478	0,114	3,478	0,149	3,478	0,100	3,478	0,048	3,478	0,162
1	0	1	3,478	0,068	3,478	0,048	3,478	0,016	3,478	0,088	3,478	0,064	3,478	0,037	3,478	0,094
1	1	0	3,478	0,056	3,478	0,047	3,478	0,097	3,478	0,139	3,478	0,061	3,478	0,035	3,478	0,114
1	0	0	3,478	0,053	3,478	0,039	3,478	0,012	3,478	0,101	3,478	0,033	3,478	0,026	3,478	0,090

Target															
R8		R9		R10		R11		R12		R13		R14		R15	
3,478	0,122	3,478	0,095	3,478	0,098	3,478	0,076	3,478	0,054	4,547	0,162	4,457	0,037	4,547	0,082
3,478	0,090	3,478	0,079	3,478	0,102	3,478	0,041	3,478	0,027	4,547	0,07	4,547	0,037	0,123	0,123
3,478	0,091	3,478	0,036	3,478	0,073	3,478	0,074	3,478	0,064	4,547	0,068	0,123	0,123	4,547	0,061
3,478	0,085	3,478	0,038	3,478	0,086	3,478	0,039	3,478	0,060	4,547	0,070	0,123	0,123	0,123	0,123

2. Nilai Bobot dan Bias

BobotAwal_LayerPertama <5x3 double>			
	1	2	3
1	2.4501	-3.1331	-2.6655
2	2.9452	-1.6076	3.4155
3	-3.0174	0.3792	3.6981
4	3.2090	3.5516	-0.1135
5	1.1137	3.9116	2.5266

BiasAwal_LayerPertama <5x1 double>			
	1	2	3
1	-0.7197		
2	-3.5735		
3	-0.5300		
4	-2.1265		
5	-1.3819		

BobotAkhir_LayerPertama_Input <5x3 double>			
	1	2	3
1	2.1345	-3.1276	-2.9811
2	3.0218	-1.4740	3.4921
3	-3.7143	-0.6233	3.0011
4	3.4438	3.5507	0.1213
5	1.0769	3.9116	2.4898

BiasAwal_LayerPertama <5x1 double>			
	1	2	3
1	-0.7197		
2	-3.5735		
3	-0.5300		
4	-2.1265		
5	-1.3819		

BiasAkhir_LayerPertama <5x1 double>			
	1	2	3
1	0.2257		
2	-3.5004		
3	-1.6212		
4	-1.9274		
5	-1.5066		

BobotAwal_LayerKedua <30x5 double>					
	1	2	3	4	5
4	0.3784	0.0997	0.1504	0.6353	-0.4839
5	0.4963	-0.7101	-0.8804	0.5897	-0.1826
6	-0.0989	0.7061	-0.5304	0.2886	0.1898
7	-0.8324	0.2441	-0.2937	-0.2428	-0.4756
8	-0.5420	-0.2981	0.6424	0.6232	0.2057
9	0.8267	0.0265	-0.9692	0.0657	0.4224
10	-0.6952	-0.1964	-0.9140	-0.2985	-0.5565
11	0.6516	-0.8481	-0.6620	0.8780	-0.7652
12	0.0767	-0.5202	0.2982	0.7519	-0.4066
13	0.9923	-0.7534	0.4634	0.1003	-0.3624
14	-0.8436	-0.6322	0.2955	0.2450	-0.1517
15	-0.1146	-0.5201	-0.0982	0.1741	0.0157
16	-0.7867	-0.1655	0.0940	-0.5845	-0.8290
17	0.9238	-0.9007	-0.4074	-0.3975	-0.4750
18	-0.9907	0.8054	0.4894	-0.0582	0.6020
19	0.5498	0.8896	-0.6221	-0.5390	-0.9416
20	0.6346	-0.0183	0.3736	0.6886	0.8577
21	0.7374	-0.0215	-0.6330	-0.6105	0.4607
22	-0.8311	-0.3246	-0.2630	-0.5482	-0.0228
23	-0.2004	0.8001	0.2512	-0.6586	0.1571
24	-0.4803	-0.2615	0.5605	-0.5447	-0.5254
25	0.6001	-0.7776	-0.8377	-0.1286	-0.0823
26	-0.1372	0.5605	0.8588	-0.3778	0.9262
27	0.8213	-0.2205	0.5514	0.8468	0.0936
28	-0.6363	-0.5166	-0.0264	-0.1396	0.0423
29	-0.4724	-0.1922	-0.1283	-0.6304	-0.5368
30	-0.7089	-0.8071	-0.1064	0.8098	-0.0222

BobotAkhir_LayerKedua <30x5 double>					
	1	2	3	4	5
1	-0.4981	-0.7785	-1.2274	-0.6634	0.9508
2	-0.7625	0.5026	0.7786	-0.2792	-0.3321
3	-0.6675	-0.1013	0.2687	-0.5652	-0.9780
4	0.5000	-0.0419	0.0521	0.4743	-0.6416
5	0.4059	-0.7419	-1.2260	0.3862	-0.2495
6	-0.3368	0.1474	-0.6775	-0.0633	-0.2426
7	-1.3622	0.2243	-0.7761	-0.7197	-0.5804
8	-0.3162	-0.4898	0.6262	0.3219	-0.0638
9	0.3297	-0.5492	-1.2369	-0.1951	0.0685
10	-0.7775	-0.1737	-0.7752	-0.1326	-0.4811
11	-0.0351	-0.9242	-1.1853	0.6629	-0.7596
12	0.3247	-0.4455	0.1277	0.5405	-0.4729
13	0.1234	-0.8540	0.0916	0.0086	-0.2953
14	-1.0514	-0.5537	0.1129	0.0227	-0.1576
15	-0.9845	-0.7414	-0.5232	-0.1403	-0.0869
16	-0.9889	0.3474	-0.0455	-0.5302	-0.4704
17	-0.0621	-0.4836	-0.7106	-0.0372	0.0908
18	-1.1887	0.3504	0.2726	-0.6715	0.1205
19	0.0240	0.9218	-1.0261	-0.6967	-0.8828
20	0.8941	-0.3128	0.1919	0.3208	0.5125
21	0.4618	0.0343	-1.0935	-0.8799	0.4551
22	-0.5594	-0.0084	-0.0784	-0.3702	0.1767
23	-1.4479	0.1788	-0.3316	-1.3332	-0.2627
24	-0.7702	-0.0207	0.7588	-0.2337	-0.2255
25	-0.6639	-0.8216	-1.4970	-0.3287	0.0417
26	-0.5448	0.2305	0.4228	-1.0311	0.5552
27	0.2776	-0.0544	0.4374	1.0998	0.3938
28	-0.4716	-0.2305	-0.1104	-0.2192	0.1544
29	-1.7395	-0.8388	0.6585	0.2208	-0.4324
30	-0.3702	-0.3751	-0.2155	0.7727	0.1688

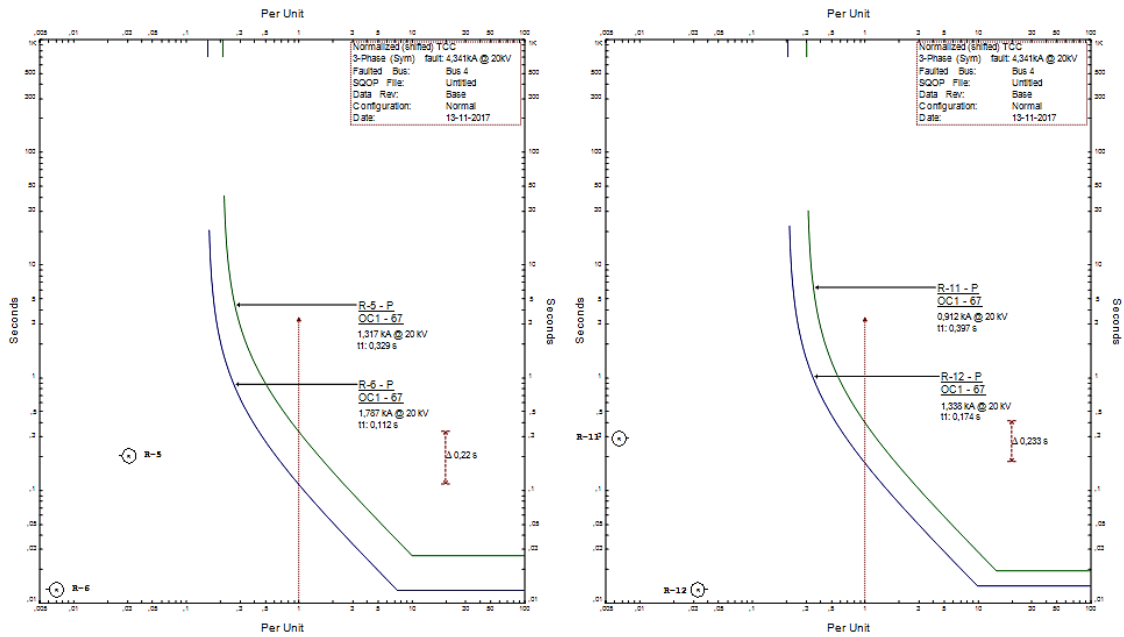
BiasAwal_LayerKedua <30x1 double>			
	1	2	3
1	0.2481		
2	0.3583		
3	-0.2090		
4	-0.2651		
5	0.9760		
6	-0.9245		
7	0.7703		
8	0.8266		
9	0.5924		
10	-0.8026		
11	-0.4763		
12	-0.3293		
13	0.3595		
14	-0.7269		
15	0.4425		
16	-0.7865		
17	0.3075		
18	-0.0117		
19	0.5581		
20	0.4301		
21	0.8074		
22	0.7818		
23	-0.3317		
24	0.3975		
25	-0.6044		
26	-0.9389		
27	0.4881		
28	4.4871e-05		
29	-0.0402		
30	0.8094		

BiasAkhir_Layerkedua <30x1 double>			
	1	2	3
1	1.9083		
2	0.9330		
3	2.3654		
4	-0.1582		
5	1.6607		
6	-0.5685		
7	2.0829		
8	0.5005		
9	1.5881		
10	-1.2241		
11	1.4244		
12	-0.2679		
13	2.4326		
14	-0.2369		
15	2.2689		
16	-0.3139		
17	2.4052		
18	0.3754		
19	1.9868		
20	0.5157		
21	1.9742		
22	-0.0842		
23	2.1712		
24	0.4855		
25	2.2250		
26	0.3401		
27	1.8324		
28	-0.1741		
29	0.0816		
30	0.5283		

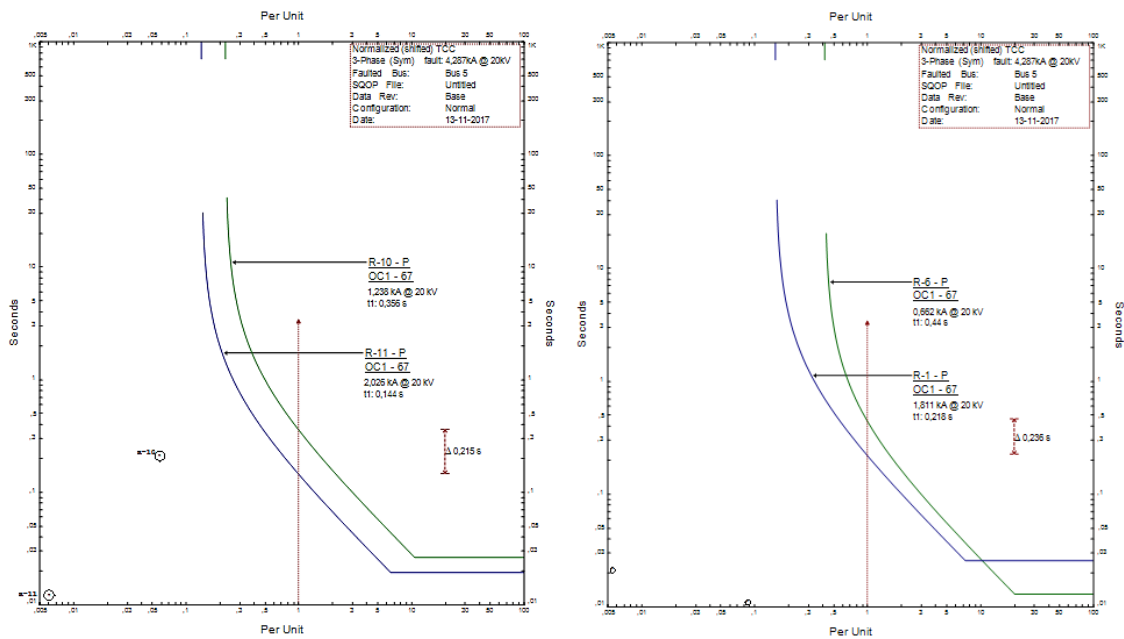
3. Kurva Koordinasi Rele

a. Topologi 1

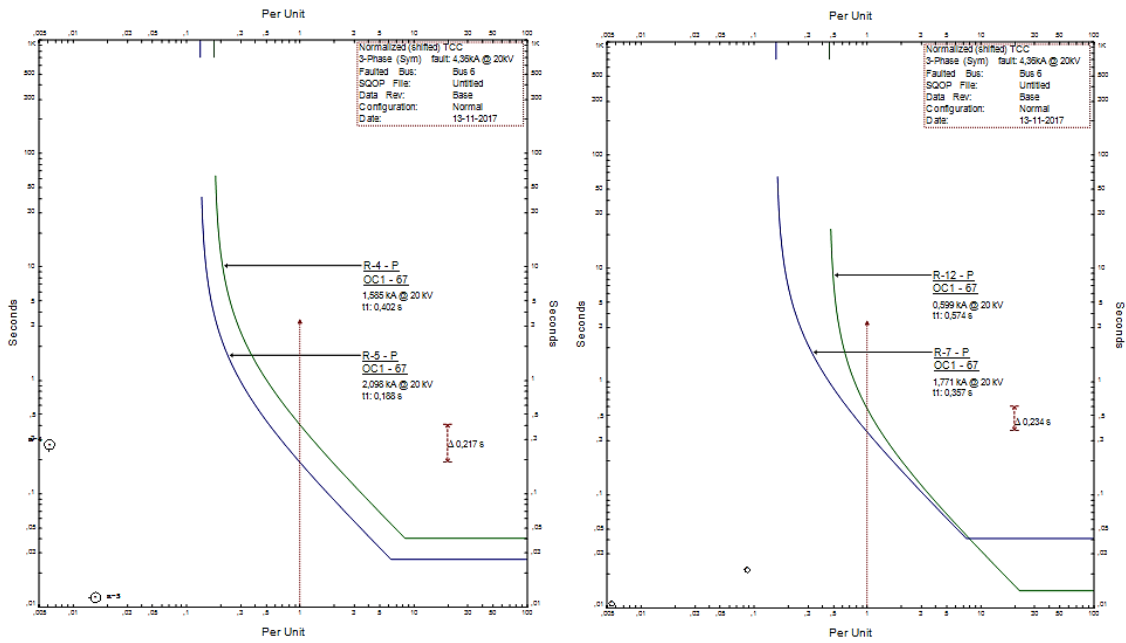
- Kurva rele saat terjadi hubung singkat pada bus 4



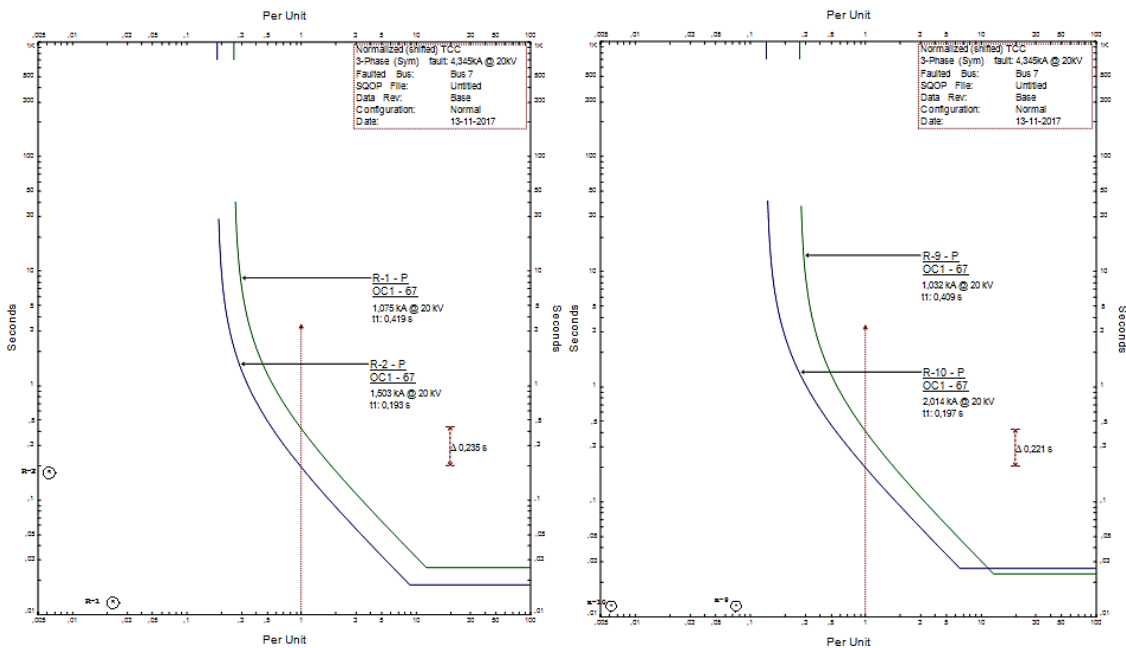
- Kurva rele saat terjadi hubung singkat pada bus 5



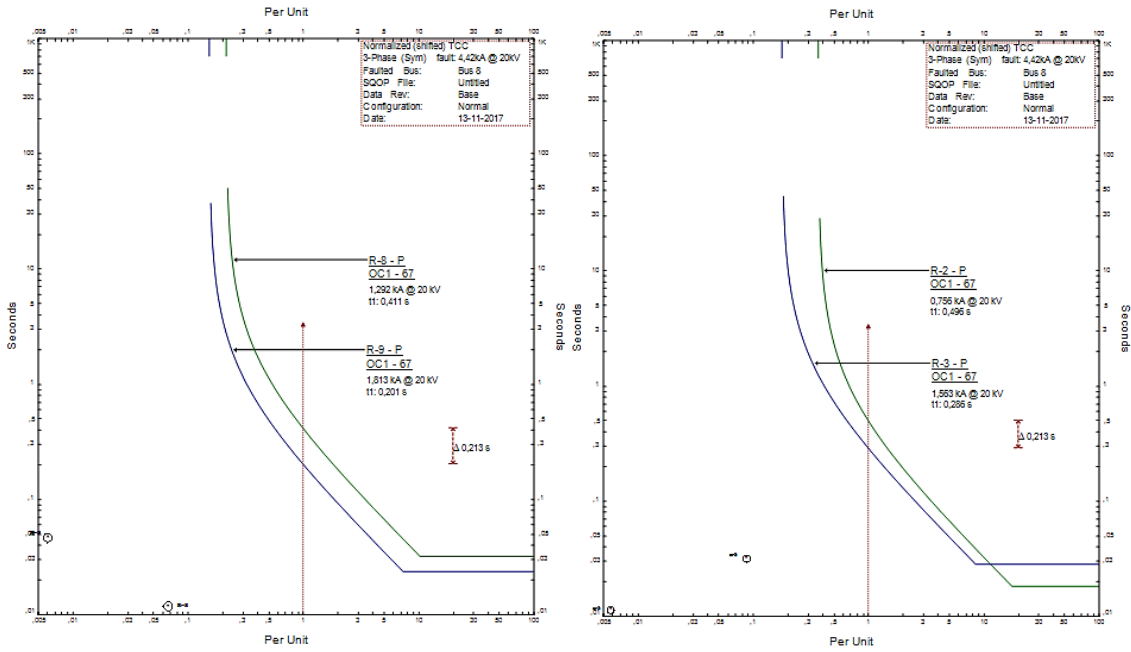
- Kurva rele saat terjadi hubung singkat pada bus 6



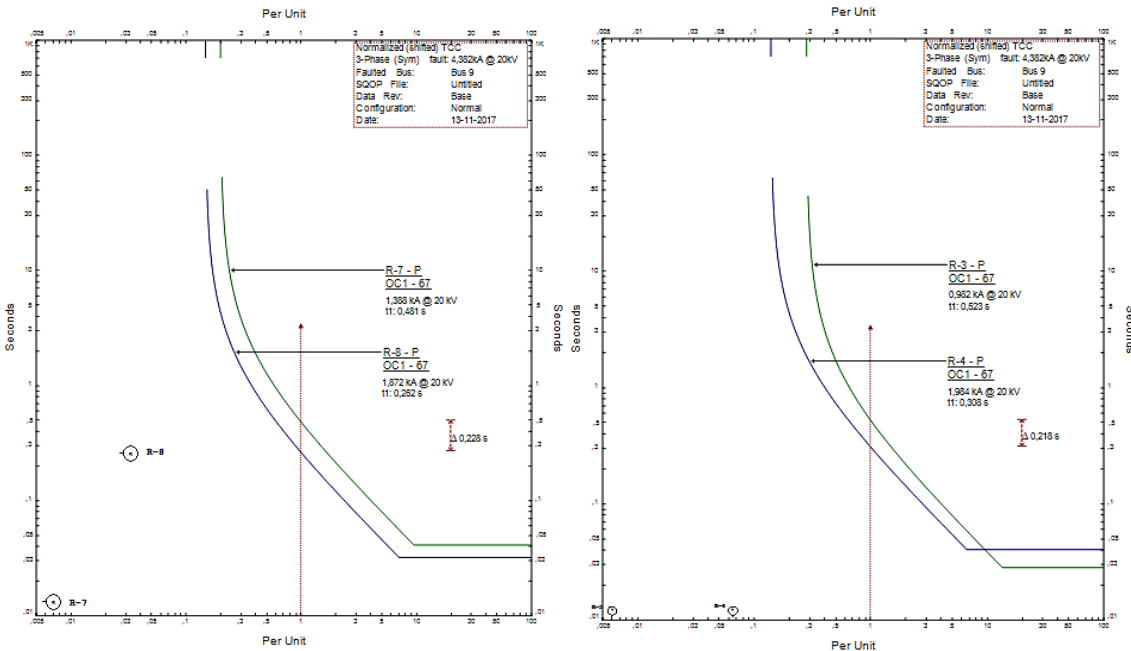
- Kurva rele saat terjadi hubung singkat pada bus 7



- Kurva rele saat terjadi hubung singkat pada bus 8

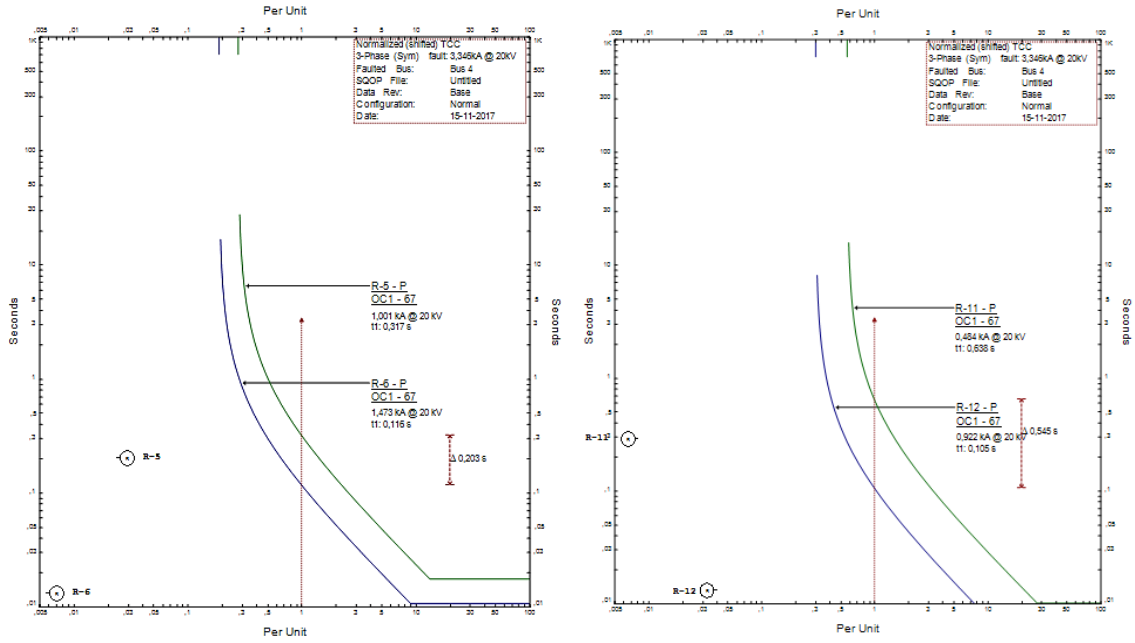


- Kurva rele saat terjadi hubung singkat pada bus 9

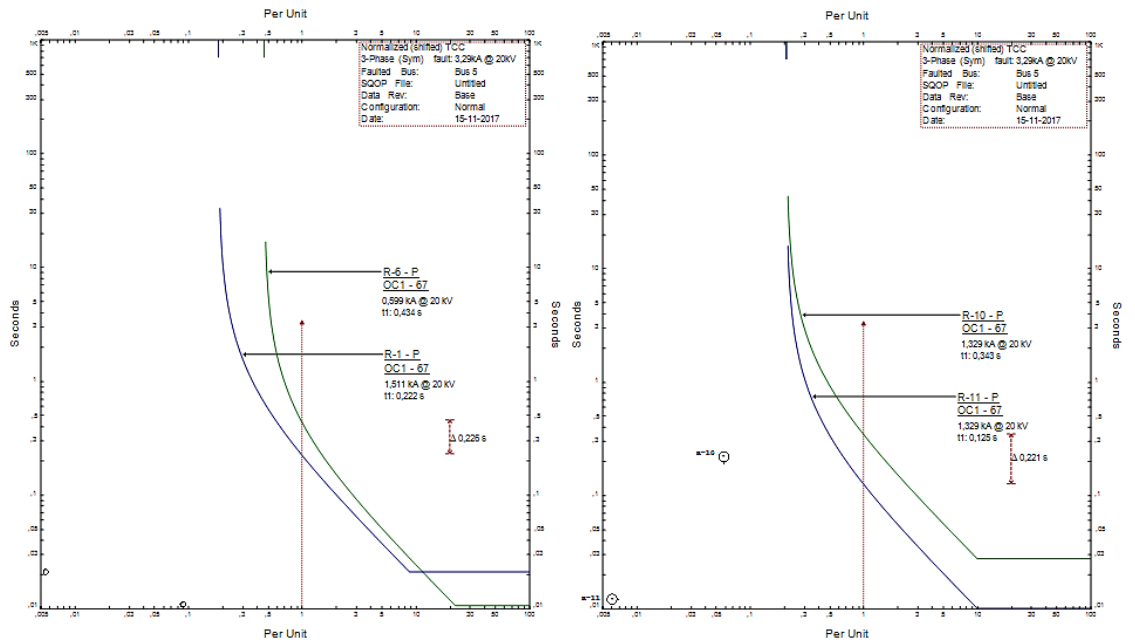


b. Topologi 2

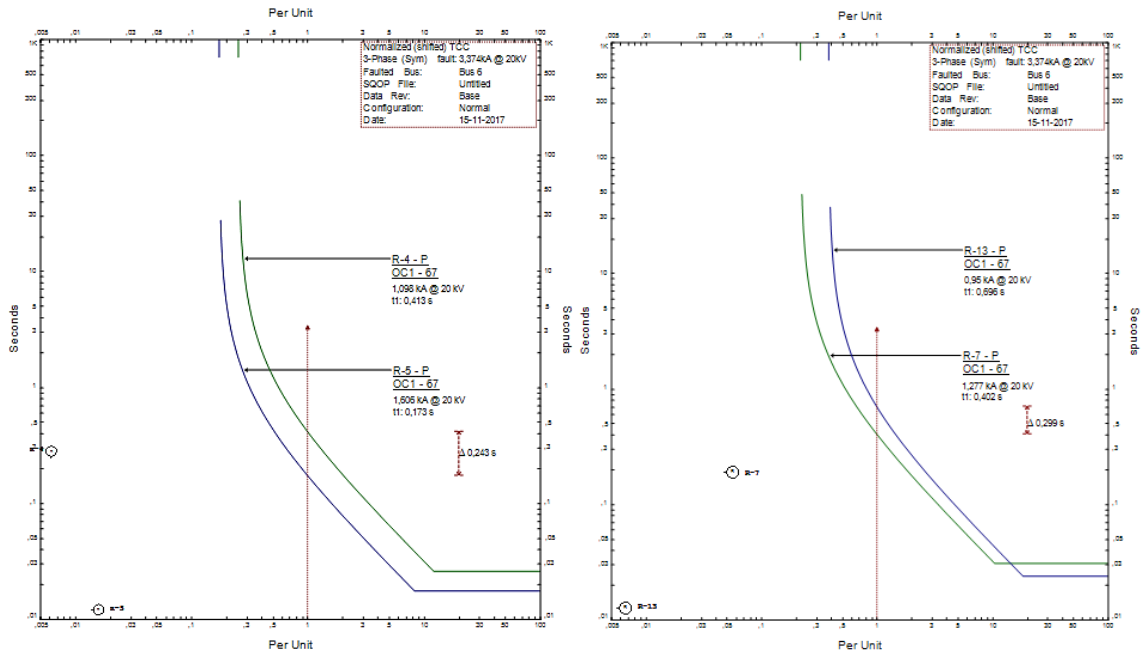
- Kurva rele saat terjadi hubung singkat pada bus 4



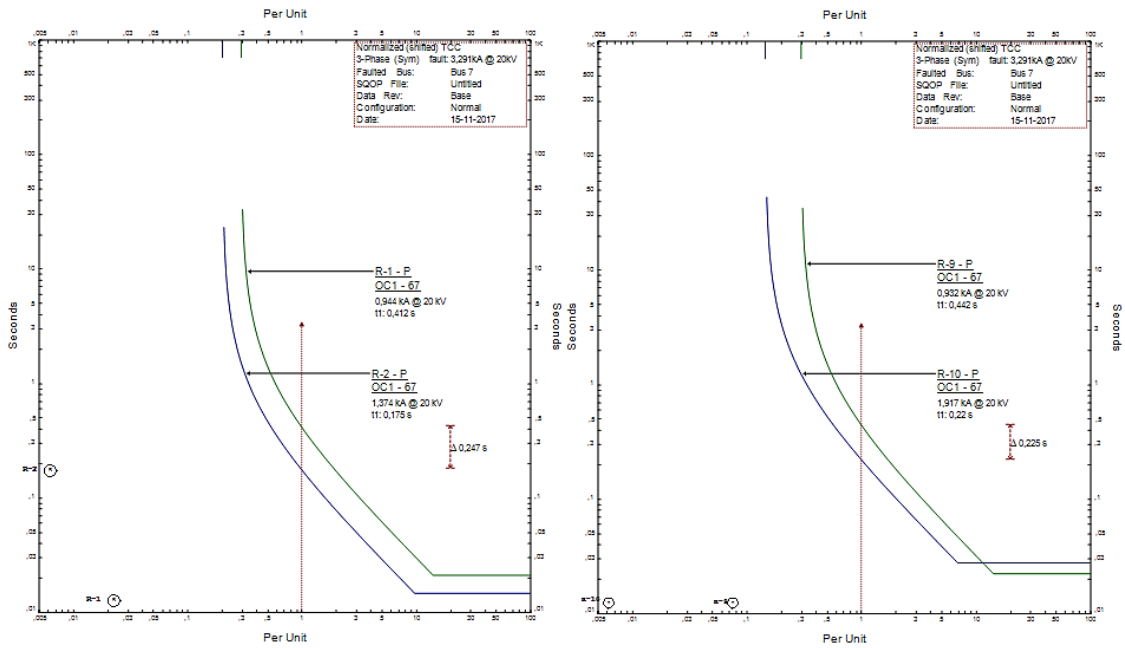
- Kurva rele saat terjadi hubung singkat pada bus 5



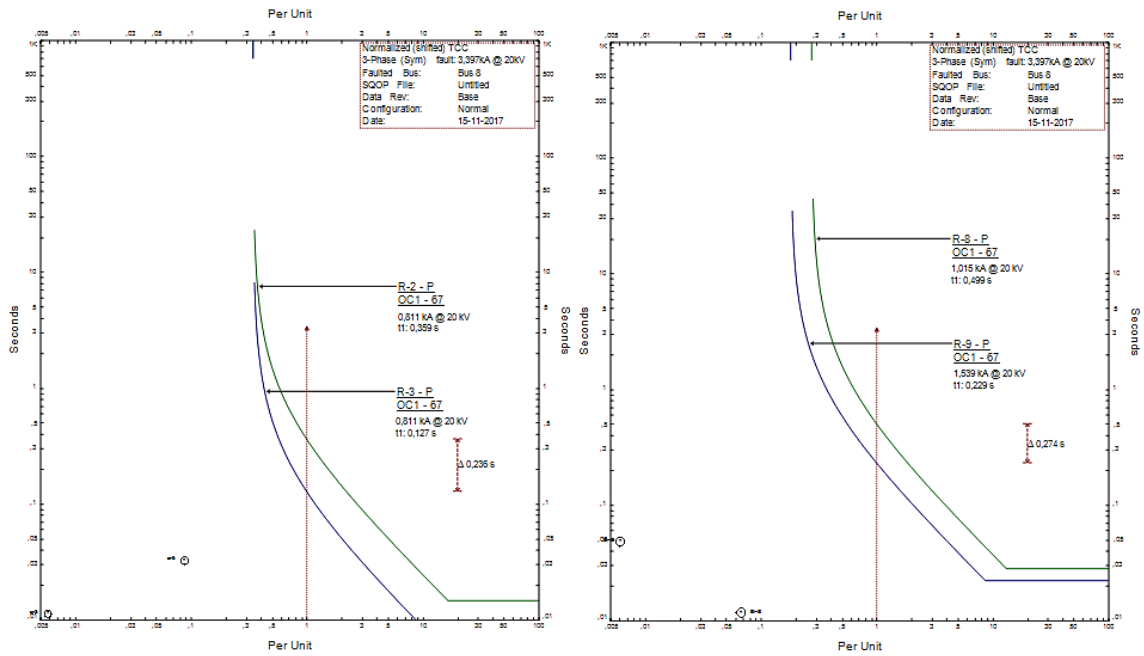
- Kurva rele saat terjadi hubung singkat pada bus 6



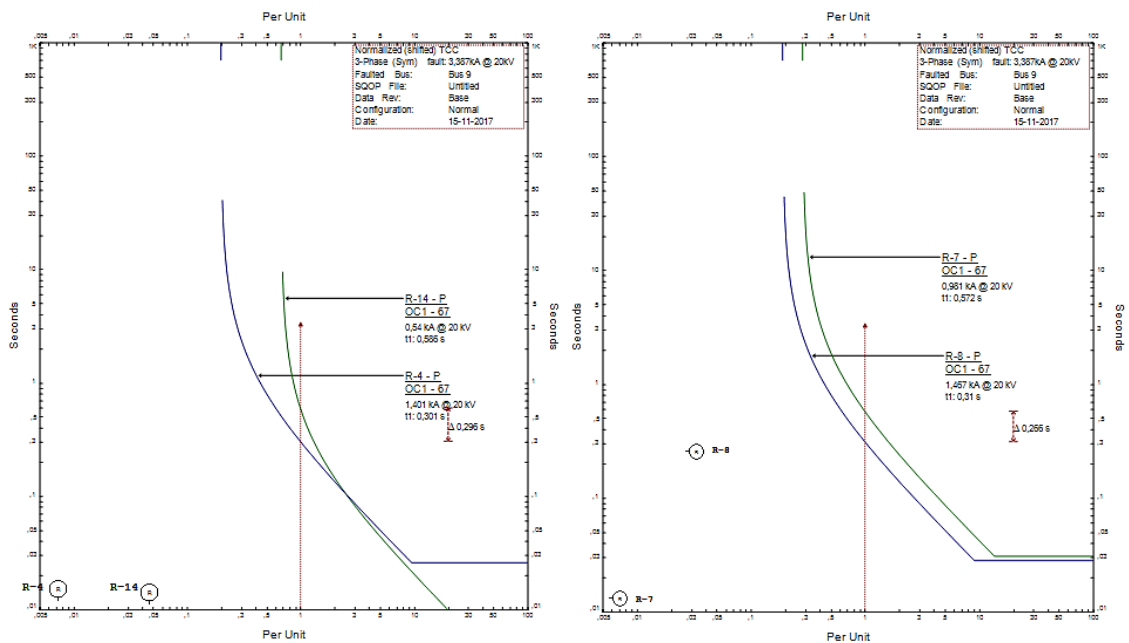
- Kurva rele saat terjadi hubung singkat pada bus 7



- Kurva rele saat terjadi hubung singkat pada bus 8

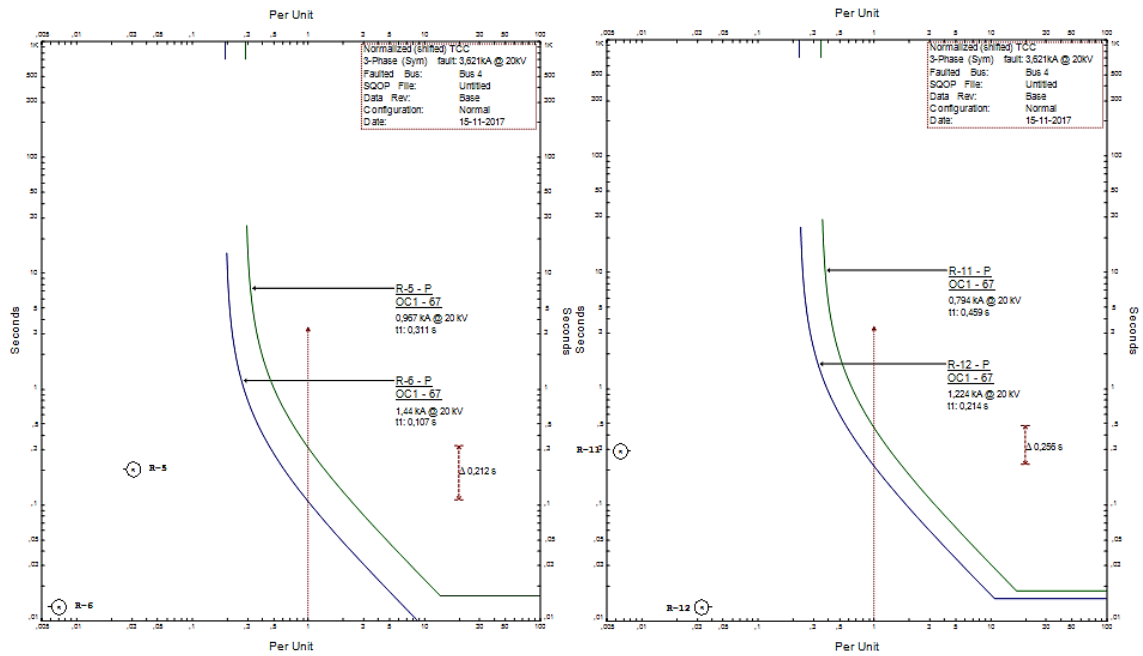


- Kurva rele saat terjadi hubung singkat pada bus 9

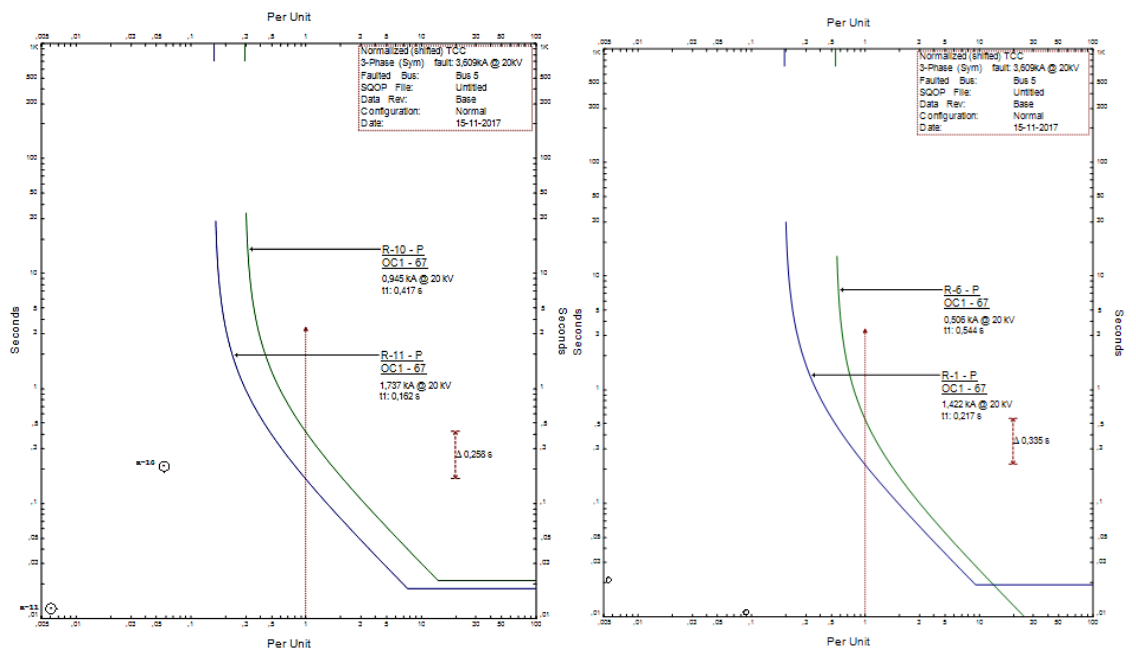


a. Topologi 3

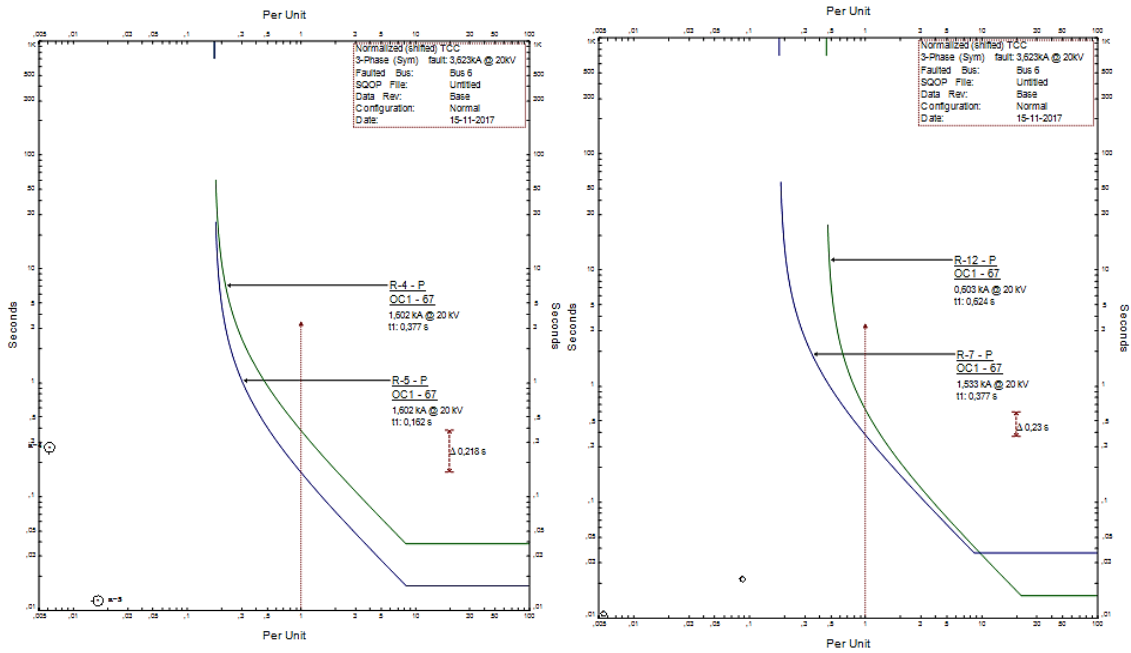
- Kurva rele saat terjadi hubung singkat pada bus 4



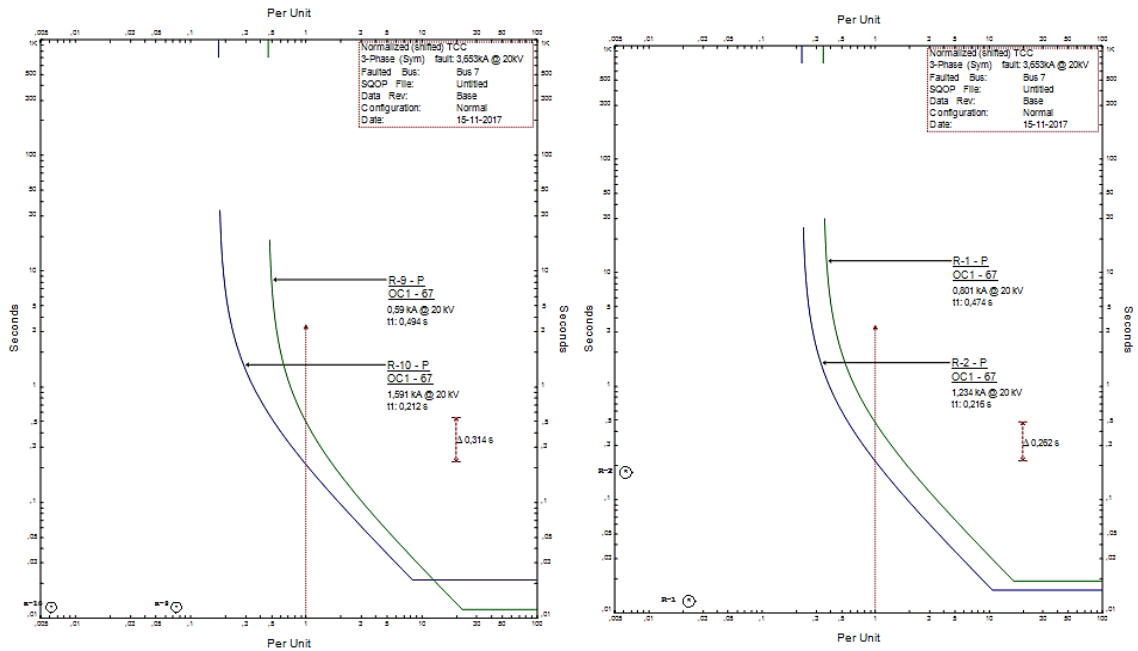
- Kurva rele saat terjadi hubung singkat pada bus 5



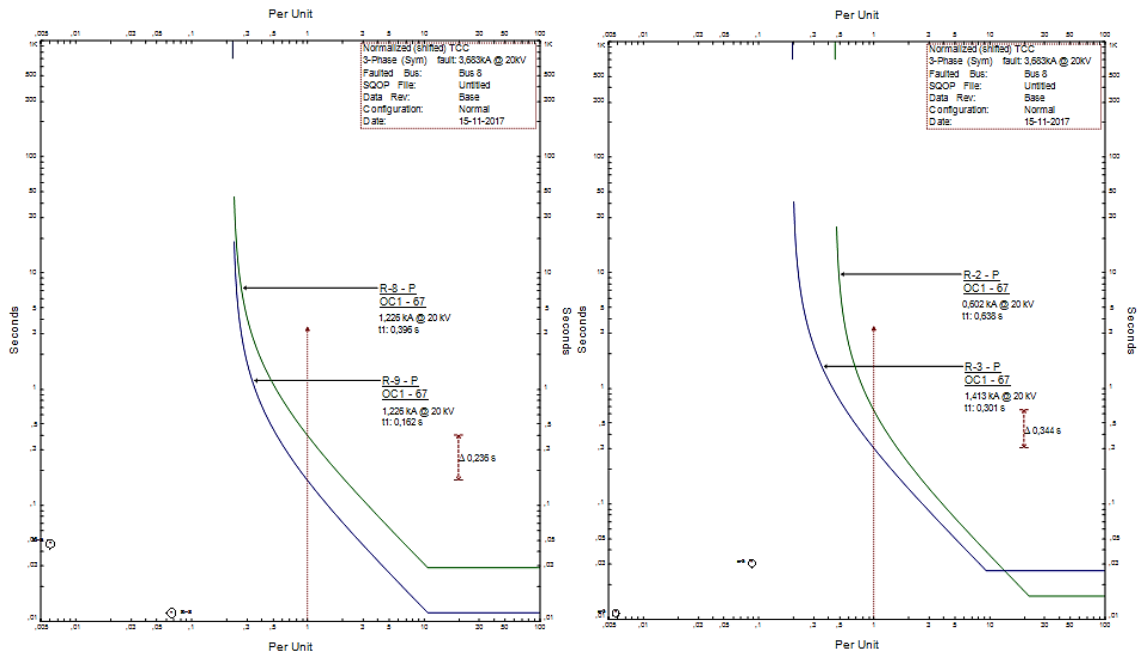
- Kurva rele saat terjadi hubung singkat pada bus 6



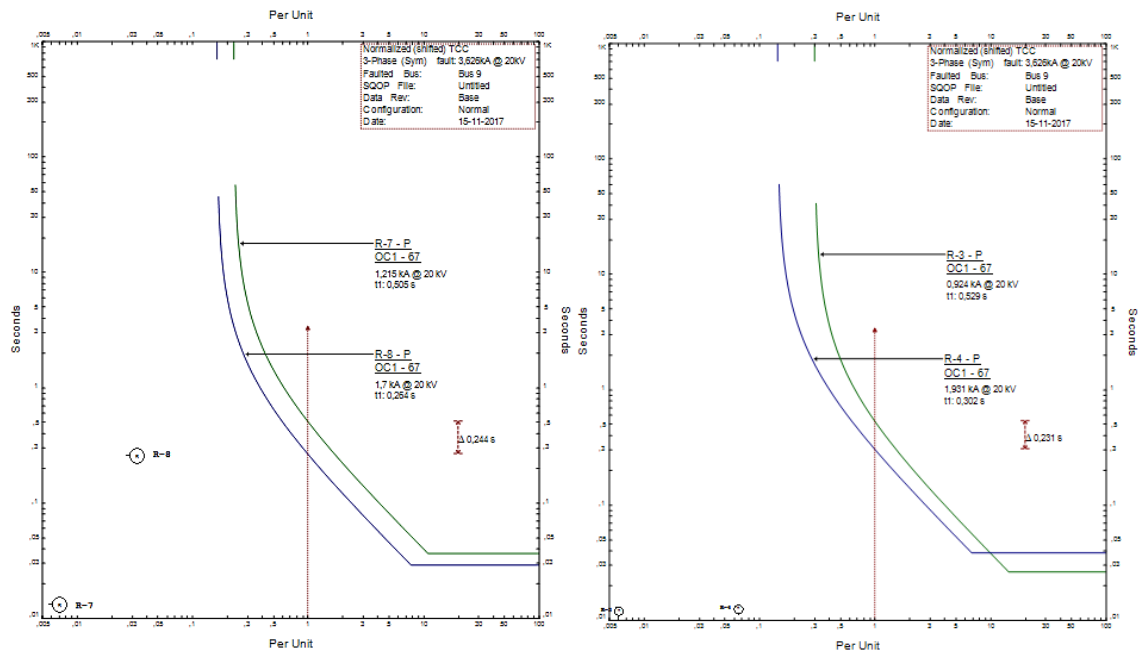
- Kurva rele saat terjadi hubung singkat pada bus 7



- Kurva rele saat terjadi hubung singkat pada bus 8

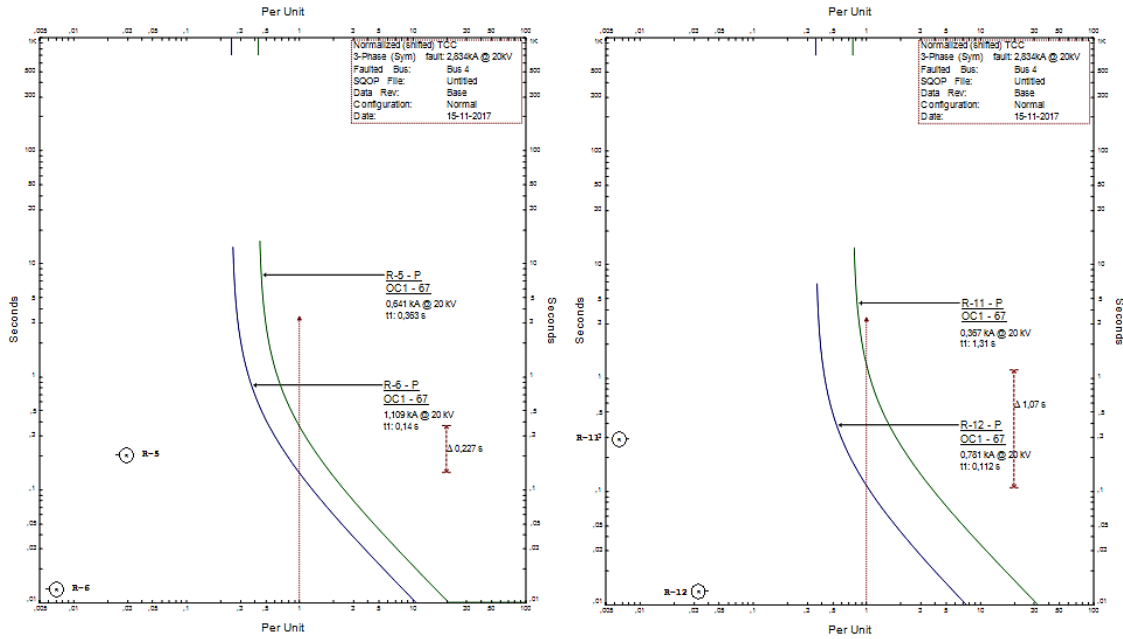


- Kurva rele saat terjadi hubung singkat pada bus 9

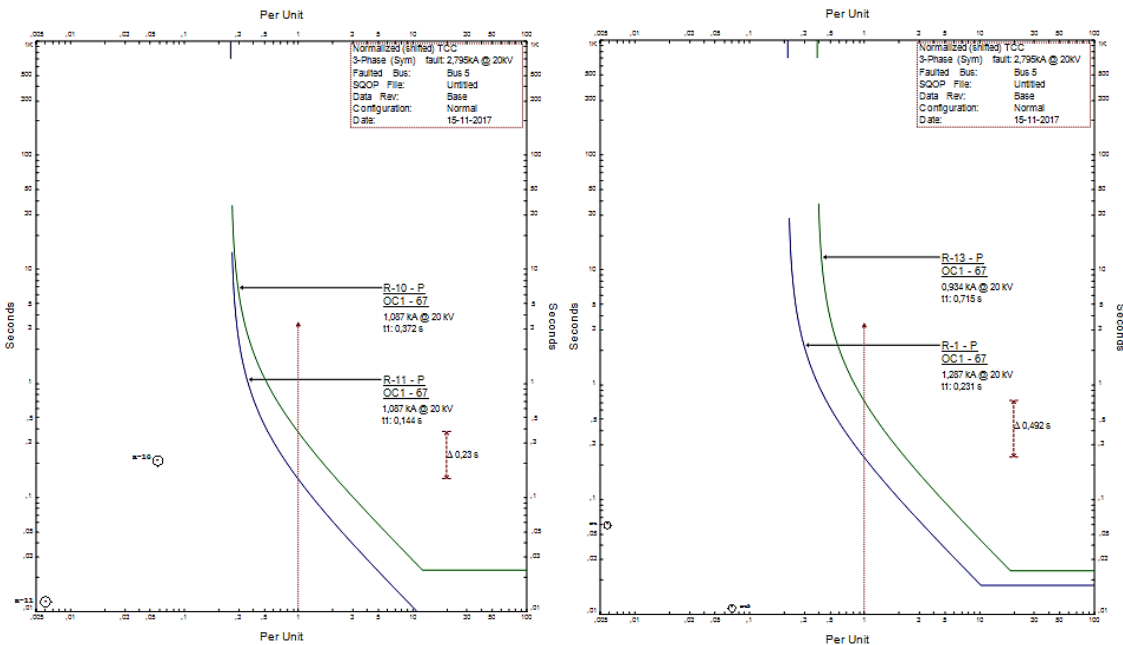


a. Topologi 4

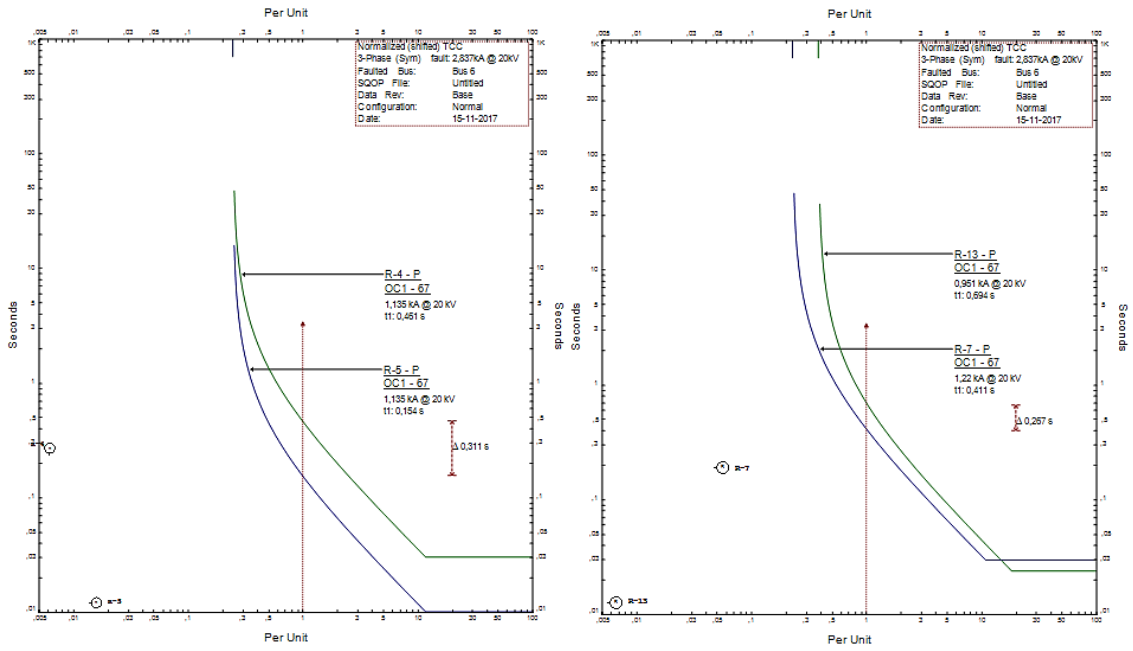
- Kurva rele saat terjadi hubung singkat pada bus 4



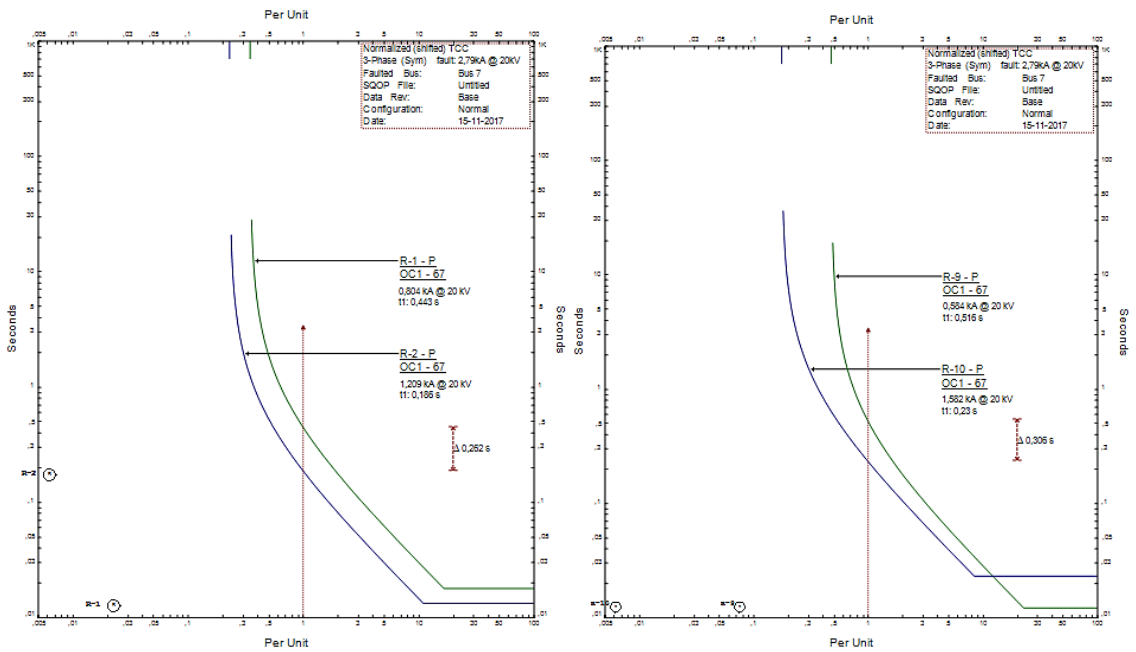
- Kurva rele saat terjadi hubung singkat pada bus 5



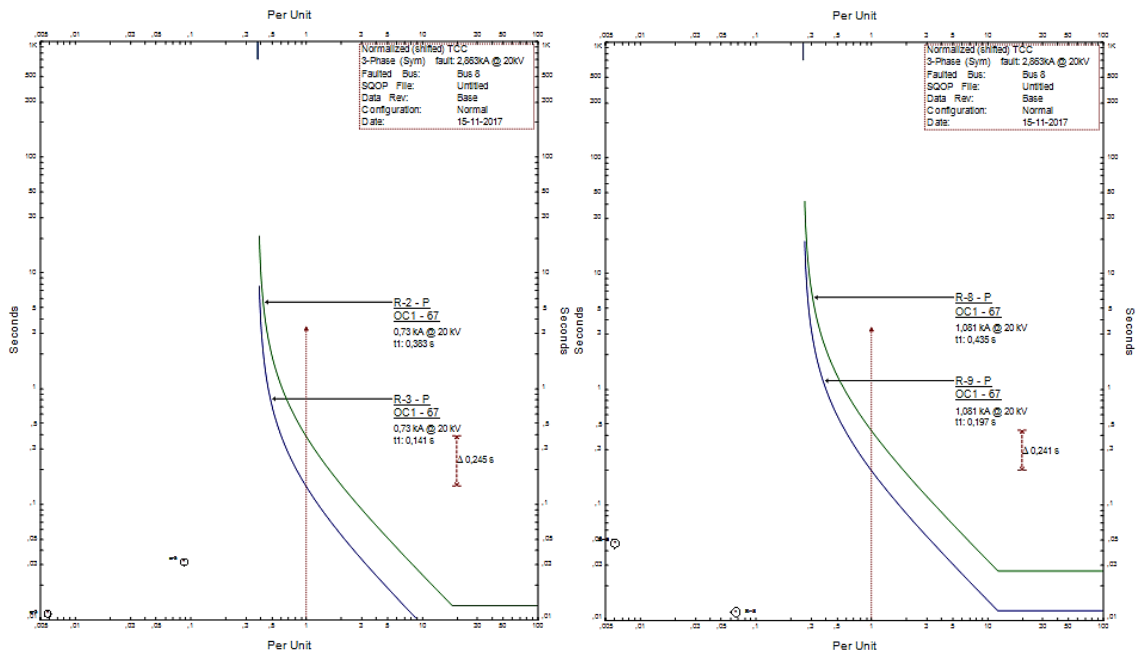
- Kurva rele saat terjadi hubung singkat pada bus 6



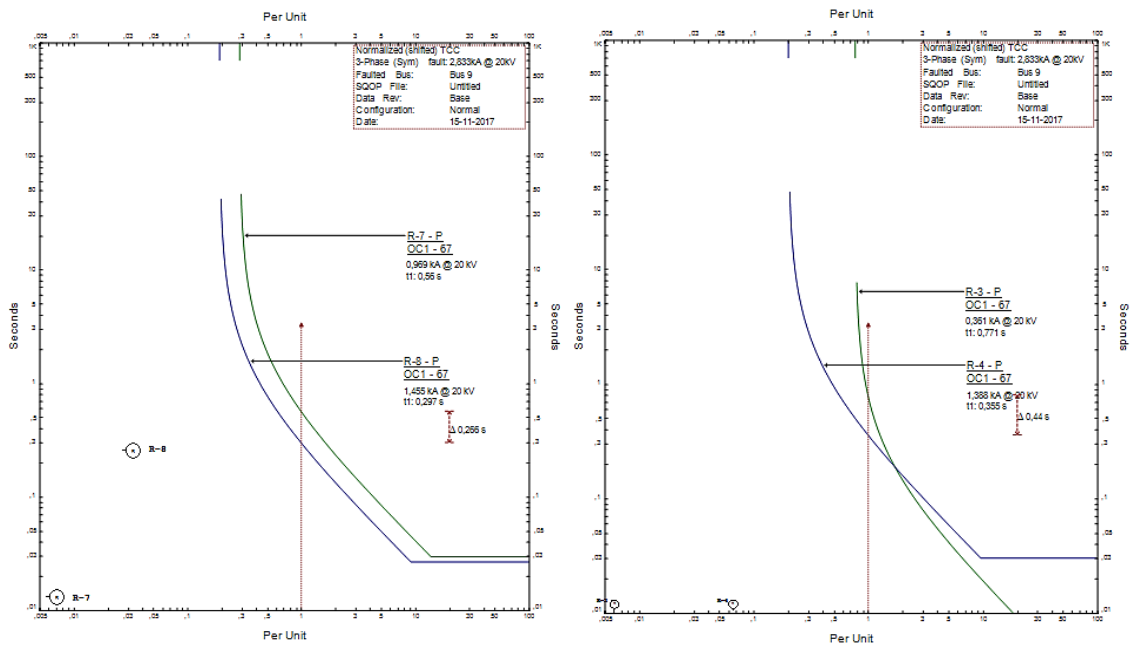
- Kurva rele saat terjadi hubung singkat pada bus 7



- Kurva rele saat terjadi hubung singkat pada bus 8



- Kurva rele saat terjadi hubung singkat pada bus 9



BIOGRAFI PENULIS



Alfin Sahrin dilahirkan di Sidoarjo, 20 Juli 1981. Penulis adalah anak ke 3 dari 3 bersaudara. Penulis menempuh pendidikan S1 Teknik Elektro Universitas Kristen Indonesia (UKI Jakarta) lulus tahun 2012. Kemudian melanjutkan jenjang S2 di Fakultas Teknologi Elektro Program Studi Teknik Sistem Tenaga Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya (ITS) dengan beasiswa Kementerian ESDM. Saat ini penulis bekerja di Politeknik Energi dan Mineral Akamigas, Cepu – Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia.

Penulis dapat dihubungi pada email : alfinsahrin98@gmail.com