



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

TUGAS AKHIR - TE 091399

**STUDI KOORDINASI SISTEM PROTEKSI PADA PLTA PT. PJB
UNIT PEMBANGKITAN CIRATA**

Sherdian Sukma Rahardani
NRP 2213 105 030

Dosen Pembimbing
Dr. Ir. Margo Pujiantara, MT.
Feby Agung Pamuji, ST., MT.

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



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

FINAL PROJECT - TE 091399

**COORDINATION STUDY PROTECTION SYSTEM AT PLTA
PT. PJB CIRATA GENERATION UNIT**

Sherdian Sukma Rahardani
NRP 2213 105 030

Advisor
Dr. Ir. Margo Pujiantara, MT.
Feby Agung Pamuji, ST., MT.

DEPARTMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING
Faculty Of Industry Technology
Sepuluh Nopember Institute Of Technology
Surabaya 2015

**STUDI KOORDINASI SISTEM PROTEKSI PADA
PLTA PT. PJB UNIT PEMBANGKITAN CIRATA**

TUGAS AKHIR

**Diajukan Guna Memenuhi Sebagian Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada**

**Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga
Jurusan Teknik Elektro
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

Menyetujui :

Dosen Pembimbing I



Dr. Ir. Margo Pujiantara, MT.
NIP. 196603181990101001

Dosen Pembimbing II



Feby Agung Pamuji ST., MT.
NIP. 198702062012121002



Studi Koordinasi Sistem Proteksi Pada PLTA PT. PJB Pembangkitan Cirata

Nama Mahasiswa : Sherdian Sukma Rahardani
NRP : 2212105030
Dosen Pembimbing I : Dr. Ir. Margo Pujiantara, MT
NIP : 196603181990101001
Dosen Pembimbing II : Feby Agung Pamuji ST., MT
NIP : 198702062012121002

ABSTRAK

Sistem proteksi tenaga listrik berperan penting dalam menjaga kontinuitas pasokan daya pada PT. PJB Cirata. Selain disalurkan untuk transmisi 500 kV, pembangkit di Cirata digunakan untuk kebutuhan listrik internal. Sistem kelistrikan internal memiliki beberapa kekurangan, saat kondisi berbeban peralatan sistem tenaga listrik sering mengalami panas yang berlebih. Bila dibiarkan terus menerus akan merusak peralatan itu sendiri. Bertambahnya usia dari peralatan juga mempengaruhi keandalan peralatan proteksi dari PT. PJB Cirata yang telah memasuki 30 tahun. Untuk meningkatkan performa dari sistem proteksi perlu dilakukan analisa terhadap *setting* dan koordinasi rele proteksi yang ada seperti rele arus lebih. Analisa ini dapat dilakukan dengan menggambarkan kurva karakteristik rele arus lebih (*overcurrent relay*). Sebelum melakukan *setting* arus beban penuh, arus hubung singkat, dan *setting* waktu dari rele arus lebih maka perlu dilakukan perhitungan manual. Hasil analisa didapatkan koordinasi *resetting* rele arus lebih dan juga plot kurva arus – waktu yang sesuai untuk sistem kelistrikan PT. PJB Cirata.

Kata kunci : koordinasi, setting, resetting

Studi Koordinasi Sistem Proteksi Pada PLTA PT. PJB Pembangkitan Cirata

Nama Mahasiswa : Sherdian Sukma Rahardani
NRP : 2212105030
Dosen Pembimbing I : Dr. Ir. Margo Pujiantara, MT
NIP : 196603181990101001
Dosen Pembimbing II : Feby Agung Pamuji ST., MT
NIP : 198702062012121002

ABSTRAK

Sistem proteksi tenaga listrik berperan penting dalam menjaga kontinuitas pasokan daya pada PT. PJB Cirata. Selain disalurkan untuk transmisi 500 kV, pembangkit di Cirata digunakan untuk kebutuhan listrik internal. Sistem kelistrikan internal memiliki beberapa kekurangan, saat kondisi berbeban peralatan sistem tenaga listrik sering mengalami panas yang berlebih. Bila dibiarkan terus menerus akan merusak peralatan itu sendiri. Bertambahnya usia dari peralatan juga mempengaruhi keandalan peralatan proteksi dari PT. PJB Cirata yang telah memasuki 30 tahun. Untuk meningkatkan performa dari sistem proteksi perlu dilakukan analisa terhadap *setting* dan koordinasi rele proteksi yang ada seperti rele arus lebih. Analisa ini dapat dilakukan dengan menggambarkan kurva karakteristik rele arus lebih (*overcurrent relay*). Sebelum melakukan *setting* arus beban penuh, arus hubung singkat, dan *setting* waktu dari rele arus lebih maka perlu dilakukan perhitungan manual. Hasil analisa didapatkan koordinasi *resetting* rele arus lebih dan juga plot kurva arus – waktu yang sesuai untuk sistem kelistrikan PT. PJB Cirata.

Kata kunci : koordinasi, setting, resetting



Coordination Study Protection System At PLTA PT. PJB Cirata Generation Unit

Student Name : Sherdian Sukma Rahardani
NRP : 2212105030
Advisor I : Dr. Ir. Margo Pujiantara, MT
NIP : 196603181990101001
Advisor II : Feby Agung Pamuji ST., MT
NIP : 198702062012121002

ABSTRACT

Protection system of electric power are important in maintaining continuity of supply at PT. PJB Cirata .In addition to be distributed to the transmission of 500 kV, Cirata's generation used to power in internal electricity needs. The electricy system internal have some disadvantages, when the electric power system equipment have load often experience excess heat. If allowed continuous would spoil the equipment itself. Age of equipment also affect the reliability of equipment at PT. PJB Cirata which has been 30 years old. To improve the performance of protection systems need to do analysis and coordination protection relay against a setting that is as relay over current .This analysis can be done by describing the over current relay curve characteristic (overcurrent relay). Before to setting the full burden, the hyphen brief, and setting the time from ove rcurrent relay need to do more calculations the manual. The analysis result of obtained coordination resetting the over current relay and also a plot a curve a current-time to electric system PT. PJB Cirata.

Keywords : coordination, setting, resetting



Halaman Ini Sengaja Dikosongkan

KATA PENGANTAR

Puji Syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT atas segala Rahmat, Karunia, dan Petunjuk yang telah dilimpahkan-Nya sehingga penulis mampu menyelesaikan tugas akhir dengan judul **“Studi Koordinasi Sistem Proteksi Pada PLTA PT. PJB Pembangkitan Cirata”**.

Tugas Akhir ini disusun sebagai salah satu persyaratan untuk menyelesaikan jenjang pendidikan S1 pada Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Atas selesainya penyusunan tugas akhir ini, penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada :

1. Allah SWT yang senantiasa memberikan petunjuk-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini.
2. Kedua orang tua dan keluarga yang selalu memberikan dukungan dan doa.
3. Dr. Ir. Margo Pujiantara, MT dan Feby Agung Pamuji ST., MT sebagai dosen pembimbing yang telah memberikan arahan dan perhatiannya selama tugas akhir.
4. Bapak Dr. Tri Arief Sardjono, ST., MT. selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro ITS.
5. Teman-teman sewaktu D3, Dwiky, Gusti dan Kemal yang telah memberikan bantuan dan dukungan kepada penulis dalam menyelesaikan tugas akhir.
6. Seluruh Dosen dan Karyawan di jurusan Teknik Elektro ITS atas fasilitas dan waktu yang diberikan.
7. Semua teman-teman mahasiswa Lintas Jalur Teknik Elektro ITS angkatan 2013 semester ganjil bidang studi Teknik Sistem Tenaga.

Semoga tugas akhir ini bermanfaat bagi mahasiswa maupun peneliti. Penulis menyadari bahwa masih banyak kekurangan, untuk itu kritik dan saran diharapkan untuk penyempurnaan tugas akhir ini.

Surabaya, Juli 2015
Penulis



Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR ISI

	HALAMAN
JUDUL	
LEMBAR PERNYATAAN	
HALAMAN PENGESAHAN	
ABSTRAK	i
ABSTRACT	iii
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xiii
BAB 1 PENDAHULUAN	
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Perumusan Masalah	2
1.3. Batasan Masalah	2
1.4. Tujuan	2
1.5. Metodologi	2
1.6. Sistematika	3
1.7. Relevansi	4
BAB 2 KOORDINASI PROTEKSI SISTEM TENAGA LISTRIK	
2.1. Gangguan Sistem Tenaga Listrik	5
2.2. Gangguan Beban Lebih	6
2.3. Gangguan Hubung Singkat	6
2.3.1 Sumber Arus Hubung Singkat	7
2.4. Perhitungan Arus Hubung Singkat	8
2.4.1. Hubung Singkat 3 Fasa	10
2.4.2. Hubung Singkat 2 Fasa	10
2.4.3. Hubung Singkat Satu Fasa ke Tanah	10
2.5. Trafo Arus (<i>Current Transformer</i>)	10
2.6. Rele Pengaman	11
2.6.1. Pengertian dan Fungsi Rele Pengaman	11
2.6.2. Elemen Dasar Rele Pengaman	12
2.6.3. Daerah Pengaman	13
2.6.4. Syarat-Syarat Rele Pengaman	14
2.7. Rele Arus Lebih (<i>Over Current Relay</i>)	16
2.7.1. Rele Arus Lebih Waktu Tertentu	17

2.7.2. Rele Arus Lebih Waktu Invers	18
2.7.3. Rele Arus Lebih Waktu Instan	19
2.8. Penyetelan Rele Arus Lebih	20
2.8.1. <i>Setting</i> Rele Arus Lebih Waktu Invers	20
2.8.2. <i>Setting</i> Rele Arus Lebih Waktu Instan	21
2.8.3. Koordinasi Berdasarkan Arus dan Waktu	22
2.9. Rele Gangguan Ke Tanah	23

BAB 3 SISTEM KELISTRIKAN PT. PJB UNIT PEMBANGKITAN CIRATA

3.1. Sistem Kelistrikan PLTA Cirata.....	25
3.2. Jumlah Total Pembangkitan dan <i>Demand</i>	26
3.3. Kapasitas PLTA Cirata.....	27
3.4. Sistem Distribusi di PT. PJB Unit Pembangkitan Cirata.....	28
3.5. Beban Tenaga Listrik di PT. PJB Unit Pembangkitan Cirata.....	30

BAB 4 HASIL SIMULASI DAN ANALISA KOORDINASI PROTEKSI PLTA PADA PT. PJB UP CIRATA

4.1. Pemodelan Sistem Kelistrikan Pada PT. PJB UP Cirata	33
4.2. Pemilihan Tipikal Koordinasi Pada PT. PJB UP Cirata	33
4.3. Analisis Arus Gangguan Hubung Singkat	36
4.3.1. Hubung Singkat Minimum.....	37
4.3.2. Hubung Singkat Maksimum	38
4.4. Koordinasi rele Arus Lebih Gangguan Fasa.....	40
4.4.1. Koordinasi Rele Arus Lebih Gangguan Fasa Tipikal 1	40
4.4.1.1. Sistem Reseting Koordinasi Rele Pengaman Tipikal 1	44
4.4.2. Koordinasi Rele Arus Lebih Gangguan Fasa Tipikal 2	52
4.4.2.1. Sistem Reseting Koordinasi Rele Pengaman Tipikal 2	55
4.4.3. Koordinasi Rele Arus Lebih Gangguan Fasa Tipikal 3	60
4.4.3.1. Sistem Reseting Koordinasi Rele Pengaman Tipikal 3	63
4.5. Koordinasi rele Arus Lebih Gangguan ke Tanah.....	69
4.5.1. Koordinasi Rele Arus Lebih Gangguan Fasa ke Tanah 1 .	70
4.5.2. Koordinasi Rele Arus Lebih Gangguan Fasa ke Tanah 2 .	76
4.5.3. Koordinasi Rele Arus Lebih Gangguan Fasa ke Tanah 3 .	78

BAB 5 PENUTUP

5.1. Kesimpulan..... 85
5.2. Saran..... 86

DAFTAR PUSTAKA 77

BIOGRAFI PENULIS

LAMPIRAN





Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Koefisien <i>Invers Time Dial</i>	21
Tabel 3.1	Pembangkit Utama Tipe <i>Swing</i>	26
Tabel 3.2	Pembangkit Utama Tipe <i>Non Swing</i>	26
Tabel 3.3	Data Total <i>Demand</i> pada PT. PJB	26
Tabel 3.4	Data <i>Emergency Generator</i>	27
Tabel 3.5	Data Kapasitas Pembangkit PLTA	27
Tabel 3.6	Data Kapasitas Transformator pada PLTA Cirata	29
Tabel 3.7	Data Busbar pada PLTA Cirata	30
Tabel 3.8	Data Beban pada Bus 0.38 kV	31
Tabel 3.9	Data Beban pada Bus 20 kV	31
Tabel 3.10	Data Beban pada Bus 16.5 kV	32
Tabel 4.1	Data Arus Hubung Singkat Minimum	37
Tabel 4.2	Data Arus Hubung Singkat Maksimum 0.5 <i>Cycle</i>	38
Tabel 4.3	Data Arus Hubung Singkat Maksimum 4 <i>Cycle</i>	39
Tabel 4.4	Data Rele <i>Existing</i> Tipikal 1	42
Tabel 4.5	Data Rele <i>Existing</i> Tipikal 2	53
Tabel 4.6	Data Rele <i>Existing</i> Tipikal 3	61
Tabel 4.7	Tingkat Tegangan dan Peralatan Pentanahan	69
Tabel 4.8	Perbandingan <i>Existing</i> dan <i>Resetting</i> Tipikal 1	84
Tabel 4.9	Perbandingan <i>Existing</i> dan <i>Resetting</i> Tipikal 2	85
Tabel 4.10	Perbandingan <i>Existing</i> dan <i>Resetting</i> Tipikal 3	86



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Arah Aliran Arus Saat Hubung Singkat	9
Gambar 2.2	Alur Kerja Rele	11
Gambar 2.3	Pembagian Kerja Rele Pengaman	11
Gambar 2.4	Konsep Dasar Rele Pengaman	13
Gambar 2.5	Sensitivitas Rele Terhadap Gangguan	15
Gambar 2.6	Karakteristik Rele Arus Lebih Waktu Tertentu	17
Gambar 2.7	Karakteristik <i>standard inverse</i> , <i>very inverse</i> dan <i>extremely inverse</i>	18
Gambar 2.8	Karakteristik Rele Arus Lebih Instan	19
Gambar 2.9	Kombinasi IDMT dengan OCR	20
Gambar 2.10	Rele Arus Lebih Pengaman Transformator	22
Gambar 3.1	<i>Single Line Diagram</i> PLTA Unit Pembangkitan Cirata.....	25
Gambar 4.1	Tipikal Koordinasi 1 dan 2.....	35
Gambar 4.2	Tipikal Koordinasi 3	36
Gambar 4.3	<i>Single Line</i> Tipikal 1	41
Gambar 4.4	Hasil Plot Rele <i>Existing</i> Tipikal 1	43
Gambar 4.5	Hasil Plot Rele <i>Reseting</i> Tipikal 1	51
Gambar 4.6	<i>Single Line</i> Tipikal 2.....	52
Gambar 4.7	Hasil Plot Rele <i>Existing</i> Tipikal 1	54
Gambar 4.8	Hasil Plot Rele <i>Reseting</i> Tipikal 2	59
Gambar 4.9	<i>Single Line</i> Tipikal 3	60
Gambar 4.10	Hasil Plot Rele <i>Existing</i> Tipikal 3.....	62
Gambar 4.11	Hasil Plot Rele <i>Reseting</i> Tipikal 3	68
Gambar 4.12	Rangkaian Tipikal 1 <i>Ground Fault</i> Zona 1	70
Gambar 4.13	<i>Time-Current Curve</i> Tipikal 1 <i>Ground Fault</i> Zona 1	72
Gambar 4.14	Rangkaian Tipikal 1 <i>Ground Fault</i> Zona 2.....	73
Gambar 4.15	<i>Time-Current Curve</i> Tipikal 1 <i>Ground Fault</i> Zona 2	75
Gambar 4.16	Rangkaian Tipikal 2 <i>Ground Fault</i>	76
Gambar 4.17	<i>Time-Current Curve</i> Tipikal 2 <i>Ground Fault</i>	78
Gambar 4.18	Rangkaian Tipikal 3 <i>Ground Fault</i> Zona 1	79
Gambar 4.19	<i>Time-Current Curve</i> Tipikal 3 <i>Ground Fault</i> Zona 1	80
Gambar 4.20	Rangkaian Tipikal 3 <i>Ground Fault</i> Zona 2.....	81
Gambar 4.21	<i>Time-Current Curve</i> Tipikal 3 <i>Ground Fault</i> Zona 2	83



Halaman ini sengaja dikosongkan

BIOGRAFI



Sherdian Sukma Rahardani terlahir sebagai anak ketiga dari tiga bersaudara di Surabaya pada tanggal 22 Desember 1990. Praktikan menyelesaikan pendidikan Sekolah Menengah Atas di SMAN 9 Surabaya pada tahun 2009. Penulis melanjutkan studi dan menyelesaikan diploma (D3) pada bidang Teknik Elektro Industri di Politeknik Elektronika Negeri Surabaya (PENS) tahun 2012. Hingga sekarang penulis masih menempuh pendidikan sarjana (S1) program lintas jalur pada bidang Teknik Sistem Tenaga Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS). Email: rahardani22@gmail.com

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pasokan daya pada suatu sistem tenaga listrik di perusahaan pembangkitan tenaga listrik harus berjalan secara terus menerus. Hal ini diperlukan agar daya pada beban tidak terganggu sehingga konsumen menerima tenaga listrik sesuai kebutuhan. Apabila sistem kelistrikan tersebut mengalami gangguan maka proses penyaluran daya dari pembangkit menuju ke beban tersebut dapat berhenti dan mengalami kerugian yang cukup besar. Gangguan yang terjadi juga dapat menimbulkan terjadinya kerusakan pada peralatan yang mendukung proses produksi. Oleh karena itu diperlukan sistem proteksi yang sesuai untuk mengamankan peralatan yang terpasang dari gangguan yang mungkin terjadi.

Peralatan proteksi yang digunakan juga harus diperhatikan tingkat keandalannya, hal ini dimaksudkan agar setiap terjadi gangguan maka peralatan proteksi tersebut dapat merespon dengan baik dan mengamankan dengan segera. Namun, seiring berjalannya waktu maka tingkat keandalan dari peralatan proteksi akan semakin menurun. Oleh sebab itu, pada suatu titik, peralatan proteksi tersebut harus diperbarui untuk mendapatkan sistem proteksi yang memiliki tingkat keandalan yang tinggi. Dengan adanya sistem proteksi yang handal diharapkan gangguan yang terjadi dapat dilokalisasi sehingga daerah-daerah lain tidak terganggu pasokan dayanya. Lebih lanjut, diperlukan koordinasi dari alat-alat sistem proteksi tersebut agar tidak terjadi kesalahan kerja dari masing-masing sistem proteksi. Diharapkan ketika terjadi gangguan maka pemutus atau *circuit breaker* (CB) yang terdekat dengan titik gangguan bekerja untuk mengamankan gangguan tersebut. Tetapi bila CB gagal maka CB berikutnya, Atau *backup* yang bekerja untuk mengamankan sistem dari gangguan. Hal ini dilakukan dengan memperhatikan prioritas beban dan juga peralatan yang terpasang, sehingga *setting* rele dapat dilakukan dan terbentuk koordinasi yang tepat.

PT. PJB UP Cirata memiliki sistem proteksi eksisting yang sudah berusia lebih dari 30 tahun dan sering terjadi *malfunction*. Oleh karena itu perlu dilakukan penggantian peralatan proteksi untuk menjaga keandalan dan sistem tenaga listrik berjalan optimal. Sehubungan

dengan hal tersebut, maka tugas akhir ini difokuskan pada studi koordinasi proteksi untuk mengetahui *setting* rele yang tepat setelah penggantian peralatan sistem proteksi di PT. PJB UP Cirata.

1.2 Perumusan Masalah

Permasalahan yang akan dibahas pada tugas akhir ini adalah:

1. Bagaimana memodelkan dan mensimulasikan perencanaan setting koordinasi rele pengaman di PT. PJB Unit Pembangkitan Cirata.
2. Analisa short circuit pada sistem kelistrikan PT. PJB Unit Pembangkitan Cirata.
3. Bagaimana mengatur sistem koordinasi proteksi yang handal pada PT. PJB Unit Pembangkitan Cirata dengan analisa kurva perencanaan setting koordinasi rele pengaman pada sistem kelistrikannya.

1.3 Batasan Masalah

Mengingat ruang lingkup yang luas, maka batasan masalah pada tugas akhir ini adalah :

1. Peralatan pengaman yang dilakukan penyetelan dan koordinasi adalah rele arus lebih dan rele gangguan ke tanah.
2. Simulasi menggunakan software ETAP 11.0
3. Koordinasi dilakukan berdasarkan tipikal yang mewakili *single line diagram*.

1.4 Tujuan

Tujuan yang ingin dicapai pada tugas akhir ini adalah untuk mendapatkan setelan dan koordinasi rele arus lebih dan rele pengaman gangguan tanah yang tepat pada sistem kelistrikan PT. PJB Unit Pembangkitan Cirata yang belum melakukan studi koordinasi ulang setelah penambahan pembangkit selama kurun waktu 30 tahun.

1.5 Metodologi

Metodologi penelitian yang digunakan pada tugas akhir ini adalah :

1. Studi literatur
Hal yang dilakukan pertama kali yaitu mempelajari buku serta referensi yang berhubungan dengan koordinasi proteksi. Hal ini dilakukan untuk menambah pemahaman mengenai permasalahan

yang dihadapi dan mengetahui langkah-langkah dalam menyelesaikan permasalahan tersebut.

2. Pengumpulan data

Data yang diperlukan adalah *rating* trafo, kabel, motor, kapasitas busbar dan *single line diagram* PT. PJB Unit Pembangkitan Cirata.

3. Pemodelan

Pemodelan sistem kelistrikan PT. PJB Unit Pembangkitan Cirata dalam bentuk *single line diagram* menggunakan software ETAp 11.0. Pemodelan dilakukan untuk mendapatkan studi aliran daya dan besar arus hubung singkatnya.

4. Simulasi

Simulasi yang dilakukan yaitu simulasi gangguan hubung singkat, baik hubung singkat maksimum maupun hubung singkat minimum yang terjadi pada sistem kelistrikannya.

5. Analisa Data

Setelah mendapatkan hasil dari simulasi aliran daya dan hubung singkat, maka digunakan untuk menganalisa setelan dan koordinasi rele-rele pengamanan arus lebih gangguan fasa.

Analisa ini dilakukan dengan menyajikan perhitungan *high set* dan *low set*, sehingga didapatkan nilai *time dial*, *time delay*, *setting time over current pickup*, *instantaneous pickup* dan plot *time current curve*. Dengan hasil analisa ini, akan dapat diketahui setelan dan koordinasi rele pengamanan arus lebih sudah tepat atau masih perlu diperbaiki lagi.

6. Kesimpulan

Setelah melakukan analisa data dapat ditarik kesimpulan yang merupakan jawaban dari permasalahan.

1.6 Sistematika

Sistematika penulisan tugas akhir ini adalah :

1. BAB I

Bab ini membahas tentang latar belakang, perumusan masalah, batasan masalah, tujuan, metodologi, sistematika dan relevansi.

2. BAB II

Bab ini menjelaskan tentang teori yang menunjang dalam pengerjaan tugas akhir.

3. BAB III

Bab ini menerangkan tentang sistem kelistrikan PT. PJB Unit Pembangkitan Cirata, mengenai bagaimana konfigurasinya serta

beberapa hal mengenai operasi sistem tenaga listrik di PT. PJB Unit Pembangkitan Cirata.

4. BAB IV

Bab ini membahas mengenai perhitungan-perhitungan dan hasil simulasi yang telah dilakukan. Dalam bab ini menyajikan analisa terhadap koordinasi proteksi yang baru setelah *resetting* dengan dilengkapi hasil *ploting* kurva yang dilakukan.

5. BAB V

Bab ini berisi kesimpulan dan saran dari hasil pembahasan yang telah dilakukan.

1.7 Relevansi

Dengan adanya penerapan pemodelan matrik admitansi transformator tiga fasa, diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut :

1. Menjadi pertimbangan bagi PT. PJB Unit Pembangkitan Cirata yang berkaitan mengenai koordinasi rele pengaman arus lebih dan gangguan ke tanah..
2. Menjadi referensi bagi mahasiswa lain yang akan melakukan penelitian tentang studi koordinasi proteksi pada suatu plan.

BAB II

KOORDINASI PROTEKSI SISTEM TENAGA LISTRIK

Proteksi untuk sistem tenaga listrik setiap industri berfungsi untuk mengamankan peralatan yang terpasang dari kerusakan akibat adanya arus gangguan. Sistem proteksi juga harus mampu mengisolir arus gangguan sehingga dapat meminimalisasi kerusakan pada peralatan dan menjaga kontinuitas pelayanan dayapada bagian yang tidak mengalami gangguan[1].

Sistem proteksi yang terpasang harus mampu memutus arus gangguan dengan cepat dan selektif saat terjadi gangguan. Rele yang terpasang dekat dengan titik gangguan adalah yang beroperasi, dan bila gagal maka rele berikutnya yang bekerja sebagai *backup*. Hal ini dapat dilakukan dengan mengatur rele-rele yang terpasang agar berkoordinasi sedemikian rupa.

2.1 Gangguan Sistem Tenaga Listrik

Ketika terjadi gangguan pada sistem tenaga listrik akan mengalir arus yang menuju ke titik gangguan. Arus tersebut memiliki nilai yang lebih besar dari rating arus maksimum yang diijinkan, sehingga peralatan yang terpasang akan menjadi panas hingga terjadi kerusakan. Gangguan yang sering terjadi antara lain :

1. Gangguan Elektris

- Gangguan hubung singkat tiga fasa
- Gangguan hubung singkat dua fasa
- Gangguan hubung singkat satu fasa
- Gangguan beban lebih (*over load*)
- Gangguan tegangan lebih (*over voltage*)

2. Gangguan Mekanis

Jenis gangguan ini disebabkan oleh adanya kerusakan secara fisik dari peralatan. Selain itu, jenis gangguan ini juga berhubungan dengan ketahanan fisik dari peralatan sistem tenaga listrik.

3. Gangguan Sistem

Jenis gangguan ini disebabkan keadaan sistem. Gangguan ini erat hubungannya dengan kondisi parameter sistem seperti tegangan, frekuensi, dan daya.

4. Gangguan Akibat Operasi Sistem

Jenis gangguan ini disebabkan beroperasinya sistem. Perbedaan gangguan akibat operasi sistem dengan gangguan sistem terletak pada akibat operasi sistem yang menitikberatkan pada kerja peralatan yang akan menimbulkan gangguan. Jika ditinjau dari segi durasi gangguan yang terjadi pada sistem tenaga listrik dapat dikelompokkan menjadi dua jenis yaitu[2]:

- Gangguan yang bersifat temporer. Gangguan ini dapat hilang dengan sendirinya atau dengan memutuskan sesaat bagian yang mengalami gangguan terhadap sistem. Jika gangguan sementara ini masih belum bisa hilang dengan sendirinya ataupun dengan bekerjanya alat pengaman maka gangguan tersebut akan berubah menjadi gangguan permanen.
- Gangguan yang bersifat permanen. Gangguan ini akan hilang dengan cara tindakan perbaikan atau mencari penyebab gangguan tersebut sehingga gangguan bisa segera dihilangkan.

2.2 Gangguan Beban Lebih

Gangguan yang disebabkan oleh arus yang melebihi arus nominalnya ($>I_n$). Gangguan ini menyebabkan temperature peralatan yang terpasang akan naik dan panas, dan bila dibiarkan terus menerus dapat merusak peralatan listrik tersebut.

2.3 Gangguan Hubung Singkat

Gangguan hubung singkat dapat dibagi dua yaitu hubung singkat seimbang (*balance fault*) dan gangguan hubung singkat tidak seimbang (*unbalance fault*) atau asimetri[3]. Gangguan ini dapat mengakibatkan mengalirnya arus lebih pada fasa dan kenaikan tegangan. Gangguan yang sering terjadi adalah gangguan tak seimbang dengan jenis gangguan sebagai berikut :

1. Gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah
2. Gangguan hubung singkat 2 fasa ke tanah
3. Gangguan hubung singkat antar fasa
4. Gangguan hubung singkat 3 fasa langsung (*simetri*)

Bila terjadi arus hubung singkat, maka arus yang mengalir sangat tinggi dengan tiba-tiba dari sumber ke titik gangguan. Besarnya arus yang mengalir dipengaruhi oleh nilai reaktansi sumber dan reaktansi rangkaian yang dialiri arus hubung singkat. Untuk reaktansi pertama. Adanya gangguan hubung singkat mengakibatkan rusaknya peralatan listrik, berkurangnya stabilitas daya dan terganggunya kontinuitas daya akibat terbukanya *circuit breaker*.

Analisa hubung singkat dapat dipakai di berbagai bidang seperti sistem *utility*, sistem kelistrikan industri, sistem kelistrikan *auxillary* pada pembangkit maupun pada sistem kelistrikan yang dimiliki kapal. Analisa hubung singkat ini berfungsi untuk mengetahui dan menentukan nilai *rating* peralatan dan sebagai acuan terhadap koordinasi proteksi. Adapun peralatan yang dimaksud antara lain *busbar*, *circuit breaker*, *cable*, *transformer* dan peralatan-peralatan lainnya. Adapun cara untuk mengoreksi keamanan dari peralatan ini digunakan analisa dan perhitungan arus hubung singkat maksimum. Sedangkan, perhitungan arus hubung singkat minimum berfungsi untuk perhitungan guna mendapatkan nilai *setting* rele pengaman arus lebih. Analisa hubung singkat ini juga berguna untuk mempertimbangkan kualitas penyaluran daya pada sistem, seperti tegangan kedip, harmonisa, dan untuk menghitung ketidakseimbangan tegangan.

2.3.1 Sumber Arus Hubung Singkat

Sumber arus hubung singkat berasal dari berbagai peralatan antara lain sistem *utility*, generator, motor sinkron, dan motor induksi[4]. Generator merupakan salah satu sumber terjadinya arus hubung singkat. Saat hubung singkat terjadi, *prime mover* akan tetap bekerja dan eksitasi masih tetap bekerja menjaga kecepatan putar dari *prime mover*. Sehingga hal ini mengakibatkan generator memberikan kontribusi yang sangat besar dan hanya dibatasi oleh reaktansi generator dan impedansi total dari generator menuju titik gangguan. X''_d merupakan reaktansi subtransient yang membatasi arus hubung singkat selama 0.1 detik setelah gangguan. Selain itu, X'_d merupakan reaktansi *transient*

generator dan X_d adalah reaktansi sinkron dari generator atau reaktansi generator saat *steady state*[3].

Motor sinkron bekerja sama halnya dengan generator saat terjadi hubung singkat dimana akan memberikan arus kontribusi karena kedua mesin ini sama-sama memiliki sistem eksitasi. Saat hubung singkat, motor sinkron akan berhenti menyerap daya. Tetapi inersia dari motor sinkron berfungsi untuk menjaga putaran motor, sehingga inersia yang bekerja seperti *prime mover* ditambah dengan eksitasi maka akan menghasilkan arus kontribusi seperti generator selama beberapa *cycle* setelah hubung singkat terjadi[3].

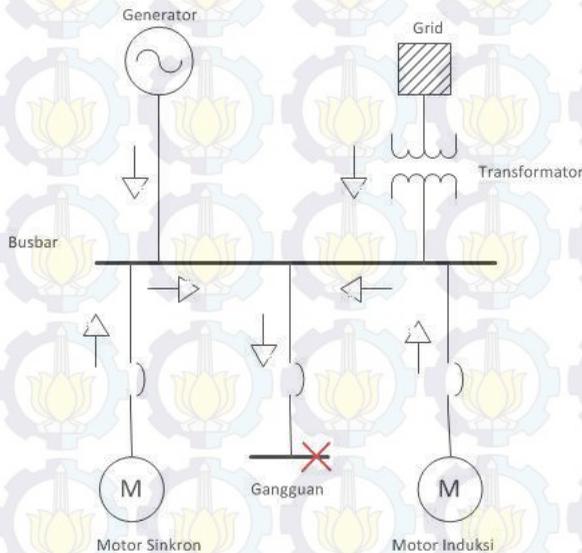
Motor induksi akan memberikan arus kontribusi saat hubung singkat terjadi. Motor induksi tidak mempunyai eksitasi yang dihasilkan oleh DC *winding* melainkan dari statornya mesin induksi itu sendiri sehingga bila hubung singkat terjadi maka arus kontribusi hanya dihasilkan sesaat. Hal ini disebabkan motor induksi hanya memiliki nilai X''_d dan nilai tersebut sebanding dengan nilai reaktansi *locked-rotor* yang saat motor *starting* membutuhkan arus sebesar 6-9 kali arus nominal[4].

2.4. Perhitungan Arus Hubung Singkat

Arus hubung singkat yang terjadi pada sistem tenaga listrik dapat menyebabkan kerusakan yang besar terutama pada peralatan sistem tenaga listrik. Biasanya arus hubung singkat memiliki nilai yang lebih besar dibanding dengan arus beban. Akibat yang ditimbulkan dari besarnya nilai *magnitude* menyebabkan kerusakan pada operasi sistem tenaga listrik saat kondisi normal. Diawali dengan mengalirnya arus hubung singkat pada sistem konduktor yang menimbulkan panas tambahan, dimana sistem ini tidak dirancang untuk menahan kondisi ini secara terus-menerus. Arus ini juga mengakibatkan kerusakan mekanis pada konduktor antara lain, kebocoran isolator, distorsi pada kumparan transformator, ataupun kerusakan fisik lainnya. Aliran arus hubung singkat yang tinggi ini melalui sistem impedansi sehingga mengakibatkan tegangan rendah yang tidak normal, dengan demikian hal itu menyebabkan peralatan normal lainnya ikut dinonaktifkan secara paksa. Oleh karena itu, arus hubung singkat dapat diartikan sebagai pelepasan energi dalam bentuk api yang mana bila dibiarkan dapat mengakibatkan kebakaran yang dapat menyebar jauh dari titik inisiasinya[5].

Banyak upaya yang telah dilakukan khususnya teknik sistem tenaga dalam melakukan perencanaan untuk meminimalisasi arus hubung singkat pada komponen sistem maupun dalam proses pelayanan industri. Bagian dari sistem tenaga yang telah bekerja sejauh ini adalah pengaman peralatan yang bekerja untuk mendeteksi dan bereaksi terhadap arus hubung singkat saat terjadi suatu kesalahan. Hal ini menyebabkan adanya penelitian terhadap analisa kejadian yang tidak diinginkan yang mungkin terjadi pada sistem dan pengamanan peralatan sistem tenaga.

Pada saat terjadi arus hubung singkat arus dari sumber akan mengalir menuju ke titik gangguan. Sumber dari arus hubung singkat yaitu peralatan sistem, generator, motor sinkron dan motor induksi. Arus ini dapat disebut sebagai arus kontribusi.



Gambar 2.1 Arah aliran arus saat hubung singkat

Arus hubung singkat ini sangat dipengaruhi oleh nilai reaktansi sumber dan salurannya yang dialiri oleh arus tersebut. Untuk reaktansi pertama kali *cycle* sangat kecil dan arus hubung singkatnya sangat tinggi

disebut reaktansi *subtransient* (X''_d), sedangkan *cycle* selanjutnya arus hubung singkat menurun disebut juga reaktansi transient (X'_d) dan pada akhirnya akan mencapai *steadystate* atau disebut juga reaktansi sinkron (X_d). Arus hubung singkat dapat dihitung berdasarkan jenisnya, yaitu dengan perhitungan praktis sebagai berikut :

2.4.1 Hubung Singkat 3 Fasa

Hubung singkat 3 fasa ini melibatkan ketiga fasa. Adapun persamaan arus hubung singkat tiga fasa (I_{sc}) sebagai berikut :

$$I_{sc_3} = \frac{V_{ln}}{X_1} \dots \dots \dots (2.1)$$

Dimana V_{ln} adalah tegangan nominal *line to netral* dan X_1 adalah reaktansi urutan positif.

2.4.2 Hubung Singkat 2 Fasa

Hubung singkat ini terjadi antara dua fasa tanpa terhubung ke tana. Adapun persamaan arus hubung singkat antar fasa (I_{sc}) sebagai berikut :

$$I_{sc_2} = \frac{V_{ll}}{X_1 + X_2} = \frac{\sqrt{3}}{2} I_{sc_3} \approx 0,866 I_{sc_3} \dots \dots \dots (2.2)$$

2.4.3 Hubung Singkat Satu Fasa ke Tanah

Hubung singkat ini melibatkan impedansi urutan nol (Z_0), dan besarnya arus hubung singkat ini tergantung sistem pentanahan yang digunakan. Besaran arus hubung singkat 1 fasa (I_{sc0}) dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$I_{sc_0} = \frac{3V_{ln}}{X_1 + X_2 + X_0} \dots \dots \dots (2.3)$$

2.5 Trafo Arus (Current Transformer)

Current Transformer (CT) merupakan peralatan yang berfungsi mentransformasikan besaran arus listrik agar dapat diaplikasikan untuk keperluan pengukuran ataupun proteksi. CT digunakan jika arus yang mengalir melalui jaringan terlalu besar sehingga tidak sesuai dengan *rating* peralatan pengukuran maupun proteksi. Selain itu, CT juga berfungsi untuk mengisolasi rangkaian sekunder terhadap rangkaian primernya. Prinsip kerja tranformator arus sama dengan transformator 1

fasa. Ketika arus mengalir pada kumparan primer maka akan timbul gaya gerak magnet yang kemudian menghasilkan *fluks* pada inti. *Fluks* tersebut kemudian akan mengalir menuju kumparan sekunder dan menghasilkan tegangan terinduksi pada kumparan sekunder. Jika terminal pada sisi sekunder tertutup dan transformator tersebut merupakan transformator ideal maka berlaku persamaan :

$$I_p \times N_p = I_s \times N_s \text{ atau } \frac{I_p}{I_s} = \frac{N_s}{N_p} \dots\dots\dots(2.4)$$

Dengan :

- : Jumlah belitan kumparan primer
- : Jumlah belitan kumparan sekunder
- : Arus kumparan primer
- : Arus kumparan sekunder

2.6 Rele Pengaman

Sistem tenaga listrik sendiri adalah proses memproduksi dan menyuplai energi listrik ke konsumen. Energi listrik yang telah dihasilkan ini memerlukan sistem yang handal dan ekonomis guna dapat menjamin berlangsungnya pelayanan daya ke konsumen. Adapun sistem yang handal itu merupakan sistem yang mampu mengatasi gangguan saat beroperasi. Untuk mengatasi gangguan-gangguan tersebut, maka diperlukan peralatan proteksi berupa rele. Penggunaan rele sesuai dengan kebutuhan dari sistem tenaga listrik yang dirancang sehingga kehandalan sistem tetap terjamin.

2.6.1 Pengertian dan Fungsi Rele Pengaman

Rele adalah bagian dari peralatan sistem tenaga listrik yang berguna untuk mengirim sinyal kepada *circuit breaker* (CB) agar dapat memutuskan atau menghubungkan penyaluran energy listrik pada bagian sistem tenaga listrik. Rele ini akan mengirimkan sinyal terhadap *circuit breaker* untuk memutuskan bagian tertentu saat terjadi gangguan. Sehingga tidak mempengaruhi kinerja semua sistem tenaga listrik. Pada dasarnya rele pengaman terdiri dari sebuah elemen operasi dan seperangkat kontak. Elemen ini berfungsi untuk menerima masukan dari transformator arus atau transformator tegangan[5].

Dalam berbagai kasus, rele bekerja untuk pengukuran atau pembandingan operasi dasar input dan mengubahnya dalam bentuk gerakan kontak. *Output* dari rele ini adalah menutup dan menahan. Jika keadaan CB tertutup maka rele akan memberikan sinyal untuk melakukan proses pembukaan dari *circuit breaker* dimana pada waktunya akan mengisolasi gangguan dari daerah sistem tenaga listrik lain yang normal.

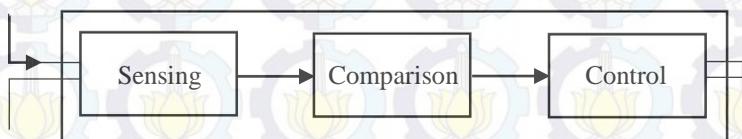
Setting dari rele harus dilakukan dengan benar dan tepat agar tidak mengalami kesalahan operasi saat terjadi gangguan pada sistem tenaga. Maka dari itu, hal-hal yang mempengaruhi harus sangat diperhatikan.



Gambar 2.2 Alur kerja rele pengaman[2]

2.6.2 Elemen Dasar Rele Pengaman

Rele pengaman terdiri dari tiga komponen dasar seperti pada gambar 2.3



Gambar 2.3 Pembagian kerja rele pengaman[2]

- Elemen Pengindera

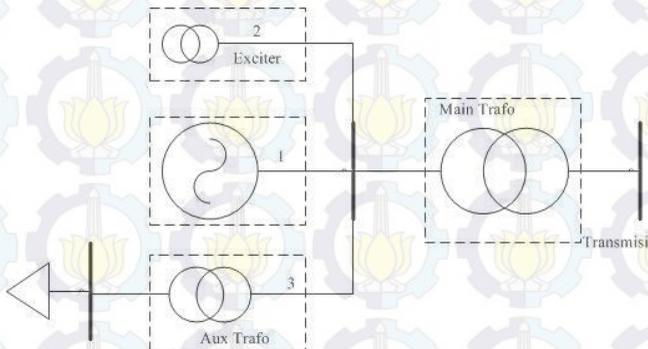
Elemen ini memiliki fungsi untuk merasakan besaran-besaran listrik seperti arus, tegangan, frekuensi dan sebagainya bergantung rele yang digunakan. Pada elemen ini besaran yang masuk akan dirasakan kondisinya apakah kondisi yang diproteksi dalam keadaan gangguan atau dalam keadaan normal. Selanjutnya besaran tersebut dikirim ke elemen

pembanding. Komponen yang berfungsi sebagai elemen pengindra adalah *current transformer* (CT).

- Elemen Pembanding
Elemen ini memiliki fungsi untuk menerima besaran yang dikirim dari elemen pengindra untuk dibandingkan pada saat keadaan normal dengan besaran yang telah di-*setting* pada rele. Komponen yang dipakai sebagai elemen pembanding adalah rele.
- Elemen Kontrol
Elemen ini berfungsi untuk mengatur perubahan secara cepat pada besaran ukurnya dan akan segera memberikan isyarat untuk membuka *circuit breaker* atau hanya memberikan sinyal. Komponen yang dipakai sebagai elemen control adalah kumparan penjatuh (*trip-coil*).

2.6.3 Daerah Pengaman

Konsep daerah pengaman akan memberi suatu penjelasan tentang batas-batas daerah pengaman dari sistem yang ada. Sehingga suatu sistem pengaman akan memberikan respon kepada gangguan yang terjadi di daerah tertentu dengan memberi tindakan pengamanan terhadap gangguan tersebut.



Gambar 2.4 Konsep daerah pengaman[5]

Konsep daerah pengamanan seperti gambar 2.4 adalah gambar yang menunjukkan sistem tenaga listrik yang terdiri dari sebuah generator, dua buah transformator (*main transformer* dan *auxillary transformer*), satu saluran transmisi, dan dua buah bus bar yang digambar menggunakan *single line diagram*.

Garis putus-putus pada gambar diatas merupakan daerah pengaman, adapun daerah pengaman yang ada pada sistem tenaga listrik tersebut antara lain :

1. Daerah 1 : Daerah pengaman generator.
2. Daerah 2 : Daerah pengaman generator dan *exciter*.
3. Daerah 3 : Daerah pengaman transformator *auxillary* hingga beban
4. Daerah 4 : Daerah pengaman saluran.

Batas daerah pengamanan menentukan bagian daerah kerja dari sistem tenaga. Sehingga saat gangguan terjadi dimanapun dalam daerah pengamanan tersebut maka sistem pengamanan yang bertanggung jawab akan bekerja dan berusaha untuk memisahkan gangguan dari seluruh bagian sistem tenaga melalui pemutus rangkaian dari sistem pengamanan.

Pengaman dari rele dibedakan dua, yaitu rele utama dan rele cadangan (*back up*). Rele pengaman cadangan akan bekerja saat rele pengaman utama tidak dapat bekerja atau gagal mengamankan gangguan hubung singkat terjadi.

2.6.4 Syarat-Syarat Rele Pengaman

Rele pengaman merupakan salah satu bagian terpenting dalam kelangsungan operasi sistem tenaga listrik. Hal itu terbukti karena rele pengaman berfungsi untuk menjamin kehandalan sistem tenaga dari adanya gangguan yang terjadi. Adapun syarat-syarat yang perlu diperhatikan pada rele pengaman antara lain :

- **Kecepatan Bereaksi (*Speed*)**

Untuk meminimalisasi peralatan yang rusak akibat gangguan maka daerah yang mengalami gangguan harus dapat dipisahkan secepat mungkin dari bagian sistem yang lainnya. Adapun kenaikan arus yang sangat tinggi tidak selamanya itu gangguan hubung singkat bisa jadi itu hanya merupakan arus *starting* motor besar yang hanya terjadi dalam waktu singkat maka dari itu diperlukan waktu tunda. Namun, waktu

tunda ini juga harus secepat mungkin karena keterlambatan kerja rele pengaman akan dapat mengganggu kestabilan sistem atau merusak peralatan karena *thermal stress*.

Kecepatan waktu bereaksi ini merupakan hal yang diusahakan secepat mungkin sehingga kerusakan pada alat yang diakibatkan oleh gangguan dapat dicegah serta membatasi meluasnya dampak akibat adanya gangguan tersebut.

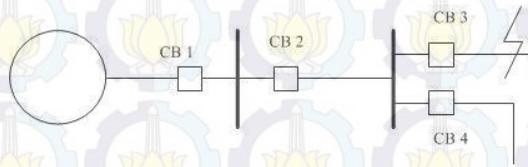
- **Kepekaan (*Sensitivity*)**

Pada dasarnya rele harus cukup peka sehingga mampu mendeteksi gangguan di daerah pengamanan walaupun hanya merasakan rangsangan minimum. Kepekaan pada rele berarti sebagai kemampuan untuk merespon bila kondisi kerja cenderung menyimpang dari kondisi kerja normal. Bila kondisi kerja yang awalnya normal kemudian tiba-tiba mengalami penyimpangan kondisi maka sistem pengamanan harus cepat bereaksi dan peka.

- **Selektivitas (*Selectivity*)**

Rele pengamanan harus mampu dalam memisahkan bagian dari sistem yang terganggu sekecil mungkin dengan artian area yang terganggu saja yang menjadi area pengamanan utamanya. Pengamanan seperti itu merupakan pengamanan yang bersifat selektif. Jadi, rele harus mampu untuk membedakan apakah gangguan terjadi pada area yang menjadi tanggung jawabnya sehingga musti bekerja dengan cepat atau terjadi di area selanjutnya dimana rele harus bekerja dengan waktu tunda.

Adapun gangguan bila terjadi di luar daerah pengamanannya maka rele tidak boleh bekerja. Untuk memperjelas keterangan di atas maka hal tersebut dapat diilustrasikan dengan gambar 2.5.



Gambar 2.5 Sensitivitas rele terhadap gangguan

Pada gambar di atas dapat diketahui bahwa bila ada gangguan pada titik F maka koordinasi proteksinya dibuat sedemikian hingga hanya CB3 yang lepas sedangkan CB1, CB2, dan CB4 tidak boleh bekerja atau lepas.

- Keadalan (*Reliability*)

Terdapat tiga aspek penting dalam hal keandalan suatu pengaman yakni:

a. Dependability

Adalah tingkat kemampuan rele dalam bekerja (keandalan kemampuan bekerjanya). Pada dasarnya sebuah rele pengaman harus dapat diandalkan kerjanya (dapat mendeteksi dan melepaskan bagian yang terganggu) dan tidak boleh gagal bekerja sehingga *dependability*-nya harus tinggi.

b. Security

Adalah tingkat kepastian kemampuan rele untuk tidak salah bekerja (keandalan untuk tidak salah kerja). Kondisi salah kerja adalah kondisi dimana sebuah rele bekerja saat seharusnya tidak bekerja, misal karena letak gangguan di luar area pengamanannya atau sama sekali tidak ada gangguan yang terjadi di areanya. Kesalahan kerja pada sebuah rele pengaman mengakibatkan pemadaman yang tidak diperlukan dan bahkan dapat mengganggu kerja sistem.

c. Availability

Adalah perbandingan antara waktu dimana rele dalam kondisi siap kerja dengan waktu total kerja rele. Keandalan rele dihitung berdasarkan jumlah rele bekerja dan jumlah gangguan yang terjadi.

- Ekonomis

Pemasangan pengaman pada sistem tenaga juga harus mempertimbangkan sisi ekonomis. Hal itu disebabkan karena tidak semua peralatan yang ada pada sistem tenaga harus dilengkapi dengan pengamanan yang lengkap. Dengan memperhatikan aspek ekonomis dalam memasang rele pengaman maka hal itu akan mempercepat waktu pengembalian modal.

2.7 Rele Arus Lebih (*Over Current Relay*)

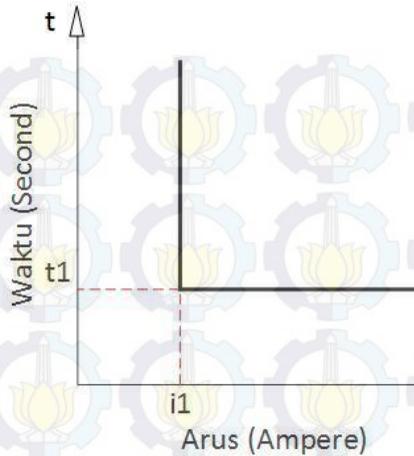
Rele arus lebih adalah rele yang beroperasi ketika arus yang mengalir melebihi batas yang diizinkan. Rele ini dipilih karena gangguan yang paling sering terjadi pada sistem diakibatkan oleh adanya hubung singkat dan beban lebih yang nantinya akan menghasilkan arus yang sangat besar[6]. Koordinasi waktu pada rele arus lebih yaitu proses penentuan *setting* untuk rele agar dapat bekerja saat sistem mengalami gangguan[7]. Rele ini sering di gunakan di setiap zona proteksi. Rele akan bekerja apabila memenuhi keadaan sebagai berikut :

$I_f > I_p$ rele bekerja (*trip*)
 $I_f < I_p$ tidak bekerja (*block*)

Dimana I_p merupakan arus kerja yang dinyatakan menurut gulungan sekunder dari transformator arus (CT). Dan I_f merupakan arus gangguan yang juga dinyatakan terhadap gulungan sekunder CT. Rele arus lebih ini hampir melindungi semua bagian pada sistem tenaga listrik misalnya jaringan transmisi, transformator, generator, dan motor. Rele arus lebih dapat berupa rele arus lebih waktu tertentu, rele arus lebih waktu *invers*, dan rele arus lebih waktu instan.

2.7.1 Rele Arus Lebih Waktu Tertentu

Rele arus lebih ini mampu diatur waktu operasi yang bervariasi berdasarkan *level* arus yang berbeda. Sehingga dengan menggunakan rele arus lebih ini gangguan yang paling dekat dapat diputus dengan cepat sesuai dengan *time delay* yang di-*setting*. Semua level arus yang melebihi *setpoint pickup*-nya akan diputuskan dalam waktu yang sama (*definite*)[8]. Gambar 2.6 menunjukkan karakteristik dari rele arus lebih waktu tertentu.

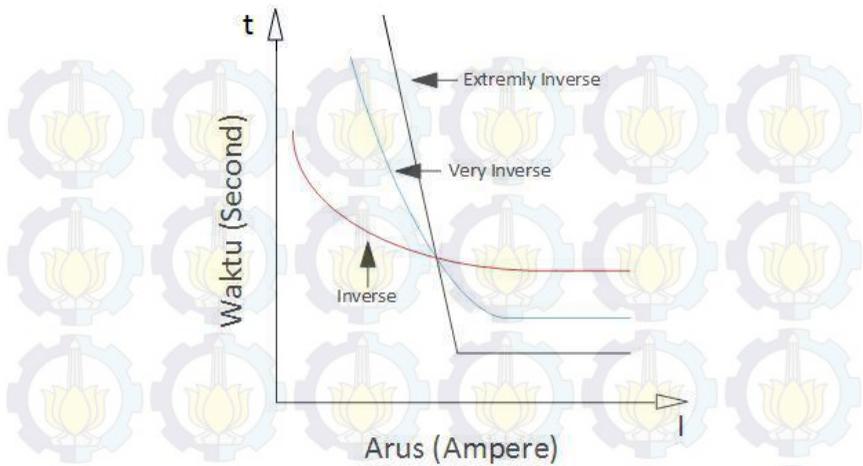


Gambar 2.6 Karakteristik rele arus lebih waktu tertentu

2.7.2 Rele Arus Lebih Waktu *Invers*

Rele arus lebih ini mempunyai waktu operasi yang berbanding terbalik dengan besarnya arus gangguan[9]. Jadi, semakin besar arus gangguan maka rele akan beroperasi dalam waktu yang semakin cepat, dan juga sebaliknya jika arus gangguan kecil maka waktu operasi rele akan lebih lama. *Time-Current Characteristic (TCC)* adalah kurva dengan skala dalam *time dial*. Semakin besar *time dial*, maka semakin lama waktu operasi dari rele tersebut.

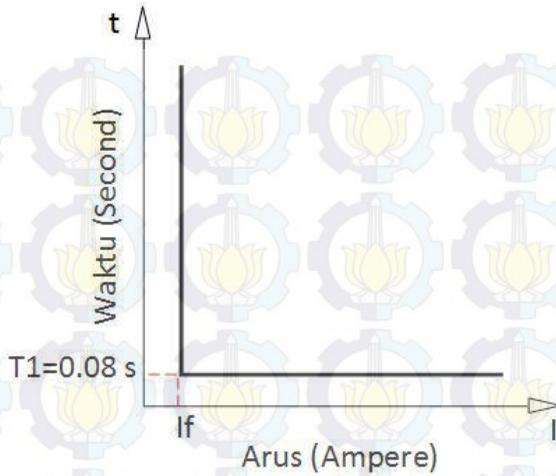
Karakteristik *invers* ini dijelaskan dalam standar IEC 60255-3 dan BS 142. Standar-standar ini mendefinisikan beberapa jenis perlindungan waktu invers yang dibedakan oleh gradien kurvanya, yaitu *standard inverse*, *very inverse* dan *extremely inverse*. Standar lain, misalnya standar IEEE juga memberikan karakteristik kurva yang lain, seperti *moderately inverse*, *long time inverse*, dan *short time inverse*. Kurva invers ini sering dijumpai dengan *inverse definite minimum time (IDMT)*. Karena seiring dengan arus yang bertambah besar, waktu operasi turun semakin cepat seolah mendekati waktu *definite minimumnya*.



Gambar 2.7 Karakteristik *standard inverse*, *very inverse*, dan *extremely inverse*[5]

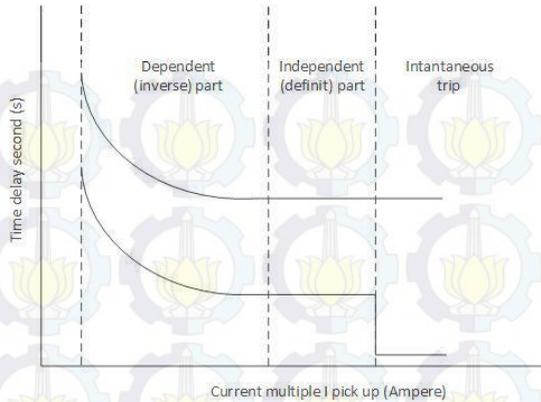
2.7.3 Rele Arus Lebih Waktu Instan

Prinsip kerja rele jenis ini adalah tanpa penundaan waktu, tapi masih mampu bekerja dengan waktu cepat sebesar 0,1 detik, pada umumnya kurang dari 0,08 detik, seperti terlihat pada gambar 2.8.



Gambar 2.8 Karakteristik rele arus lebih instan

Bekerjanya rele ini didasarkan besarnya arus gangguan hubung singkat yang dipilih dan membukanya CB dalam waktu cepat sekali (80 ms). Gambar 2.9 menunjukkan penggunaan IDMT yang dikombinasikan dengan rele arus lebih waktu instan.



Gambar 2.9 Kombinasi IDMT dengan OCR

2.8 Penyetelan Rele Arus Lebih

2.8.1 Setting Rele Arus Lebih Waktu *Invers*

Batas penyetelan rele arus lebih adalah rele tidak bekerja pada saat beban maksimum. Oleh karena itu, *setting* arusnya harus lebih besar dari arus beban maksimum. Bila dilihat dari kurva yaitu rele sebaiknya rele berada disebelah kanan kurva beban maksimum. Rele arus lebih memiliki setelan *pickup* dan setelan *time dial*. Pada rele arus lebih, besarnya arus *pickup* ini ditentukan dengan pemilihan *tap*. Adapun untuk menentukan besarnya *tap* yang digunakan dapat menggunakan persamaan berikut :

$$Tap = \frac{I_{set}}{CT \text{ Primary}} \dots \dots \dots (2.5)$$

I_{set} adalah arus *pickup* dalam Ampere. Menurut standart *British BS 142* batas penyetelannya adalah 1.05-1.3 I_{set} .

Setelan *time dial* menentukan waktu operasi rele. Untuk menentukan *time dial* dari masing-masing kurva karakteristik *invers* rele arus lebih dapat digunakan persamaan sebagai berikut :

$$td = \frac{k \times T}{\beta \times \left[\left(\frac{I}{I_{set}} \right)^\alpha - 1 \right]} \dots \dots \dots (2.6)$$

Dimana :

td = waktu operasi (detik)

T = *time dial*

I = nilai arus (Ampere)

I_{set} = arus *pickup* (Ampere)

k = koefisien invers 1 (lihat table 2.1)

α = koefisien invers 1 (lihat table 2.1)

β = koefisien invers 1 (lihat table 2.1)

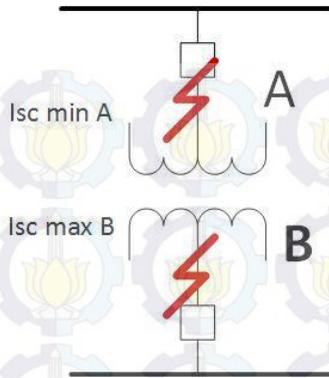
Tabel 2.1 Koefisien *invers time dial*

Tipe Kurva	Koefisien		
	k	α	β
<i>Standard Invers</i>	0,14	0,02	2,97
<i>Very Inverse</i>	13,5	1	1,5
<i>Extremly Inverse</i>	80	2	0,808

2.8.2 *Setting Rele Arus Lebih Instan*

Rele arus lebih instan akan bekerja seketika jika ada arus lebih yang mengalir melebihi batas yang diijinkan. Dalam menentukan setelan *pickup* instan ini digunakan $I_{sc\ min}$ yaitu arus hubung singkat 2 fasa pada pembangkitan minimum. Sehingga *setting* ditetapkan:

$$I_{set} \leq 0,8 I_{sc\ min} \dots\dots\dots (2.7)$$



Gambar 2.10 Rele arus lebih pengamanan transformator

Untuk Pertimbangan khusus untuk pengamanan *feeder* yang dipisahkan oleh transformator, koordinasi pengamanan dibedakan menjadi dua daerah, yakni daerah *low voltage* (LV) dan daerah *high voltage* (HV) .

Di mana $I_{sc\ max\ B}$ merupakan arus hubung singkat tiga fasa maksimum pada titik B, sedangkan $I_{sc\ min\ A}$ adalah arus hubung singkat minimum pada titik A.

2.8.3 Koordinasi Berdasarkan Arus dan Waktu

Antara rele pengamanan utama dan rele pengamanan cadangan (*backup*) tidak boleh bekerja secara bersamaan. Untuk itu, diperlukan adanya *time delay* antara rele utama dan rele cadangan (*backup*). *Time delay* ini sering dikenal sebagai setelan *setting* kelambatan waktu (Δt) atau *grading time*. Perbedaan waktu kerja minimal antara rele utama dan rele *backup* adalah 0,2 – 0,35 detik.

Dengan berdasarkan spesifikasi sebagai berikut menurut standard IEEE 242 :

Waktu buka CB : 0,04 – 0,1s (2-5 cycle)

Overtravel dari rele : 0,1s

Faktor keamanan : 0,12-0,22s

Untuk rele berbasis *microprocessor overtravel time* dari rele diabaikan. Sehingga total waktu yang diperlukan adalah 0,2-0,4 s. erbedaan waktu ini untuk memastikan bahwa gangguan di sisi hilir telah berhasil padam, sehingga kemungkinan trip serentak dapat dihindarkan.

2.9 Rele Gangguan Ke Tanah

Rele gangguan tanah merupakan rele pengaman arus lebih yang dilengkapi dengan *zero sequence current filter*. Rele gangguan tanah bekerja untuk mengamankan gangguan satu fasa dan dua fasa ke tanah. Rele gangguan tanah digunakan pada pada sistem yang membatasi arus gangguan tanah. Misalnya sistem pentanahan netral dengan pentanahan resistansi dimana impedansi yang rendah mampu mengurangi arus gangguan ke tanah.

Setting rele gangguan ke tanah adalah :

$$5-10\% \times I_{sc\ L-G} \leq I_{set} \leq 50\% I_{sc\ L-G} \dots \dots \dots (2.8)$$

Dengan $I_{sc\ L-G}$ merupakan arus hubung singkat satu fasa ke tanah.

3.2 Jumlah Total Pembangkitan dan Demand

Berdasarkan data yang didapat dari lapangan dan peralatan yang terpasang. Maka dapat diketahui *summary* dari jumlah total pembangkitan dan *demand* PT. PJB Unit Pembangkitan Cirata dapat dilihat pada tabel 3.1 berikut :

Tabel 3.1 Pembangkit Utama tipe *swing*

Jenis Pembangkit	MW	PF	Keterangan
<i>Source (swing)</i>	126,04	90 Lag	Eff = 90%; 16,5 kV

Pada tabel 3.2 terdapat data pembangkit utama tipe *voltage control* sebagai pemasok daya pada beban yang ditanggung.

Tabel 3.2 Pembangkit Utama Tipe *non swing*

Jenis Pembangkit	MW	PF	Keterangan
<i>Source (voltage control)</i>	882,3	90 Lag	Eff = 95%; 16,5 kV

Untuk permintaan daya total pada PT. PJB UP Cirata dapat dilihat pada tabel 3.3

Tabel 3.3 Total *demand* pada PT. PJB

Jenis Pembangkit	MW	PF	Keterangan
<i>Total demand</i>	1008,2	90 Lag	Eff = 95%;

Berdasarkan data yang didapat, PT. PJB Unit Pembangkitan Cirata memiliki *emergency generator* sebagai pembangkit cadangan bila terjadi *blackout*. Adapun spesifikasi data *emergency generator* tersebut dapat dilihat pada tabel 3.4.

Tabel 3.4 Data *emergency generator*

Jenis Pembangkit	MW	PF	Keterangan
<i>Emergency Generator</i> (<i>voltage control</i>)	0,538	85 Lag	Eff = 95%; 6 kV

3.3 Kapasitas PLTA Cirata

PT. PJB Unit Pembangkitan Cirata memiliki 2 blok, yaitu Cirata I dan Cirata II. Tiap blok terdiri dari 4 *gas turbine generator* demi menjaga pelayanan listrik ke konsumen.

Adapun konfigurasi tiap-tiap blok PLTA antara lain : Blok 1 (GEN1, GEN2, GEN3, GEN4) dan Blok 3 (GEN5, GEN6, GEN7, GEN8). Pembangkit pada PT. PJB UP Cirata disalurkan menuju ke beban, baik untuk ke beban transmisi yang menuju konsumen maupun beban yang digunakan untuk kebutuhan listrik PLTA Cirata sendiri. Adapun tabel 3.2 menunjukkan data kapasitas pembangkit di PT. PJB Unit Pembangkitan Cirata sebagai Cirata :

Tabel 3.5 Data kapasitas pembangkit PLTA

No.	Pembangkit	MW	MVA	KV	%PF
1.	GEN 1	126	140	16,5	90
2.	GEN 2	126	140	16,5	90
3.	GEN 3	126	140	16,5	90
4.	GEN 4	126	140	16,5	90
5.	GEN 5	126	140	16,5	90
6.	GEN 6	126	140	16,5	90
7.	GEN 7	126	140	16,5	90
8.	GEN 8	126	140	16,5	90

Adapun spesifikasi dari generator secara detail adalah sebagai berikut :

<i>Manufacture</i>	: ELIN-UNION
<i>Type</i>	: <i>Umbrella, vertical shaft, synchronous generator</i>
Jumlah pole	: 32 (16 pasang kutub)
Putaran	: 187,5 rpm
Tegangan	: 16,5 kV
Arus	: 4899 A (<i>rated current</i>)
Frekuensi	: 50 Hz
<i>Power Factor</i>	: 0,9 Lag
Jumlah	: 8 unit
Kapasitas	: 140 MVA

Sementara untuk *emergency generator* yang digunakan untuk spesifikasinya adalah sebagai berikut :

<i>Manufacture</i>	: ELIN – UNION
<i>Number</i>	: 1
<i>Type</i>	: NTJ – 045CO4F
<i>Voltage</i>	: 6000 V
<i>No Of Phase</i>	: 3
<i>Frequency</i>	: 50 Hz
<i>Speed</i>	: 1500 rpm

3.4 Sistem Distribusi di PT. PJB UP Cirata

Sistem distribusi yang dipakai oleh PT. PJB UP Cirata merupakan jaringan distribusi tipe radial. Sistem ini memiliki keuntungan dan kekurangan pula. Adapun kelebihan dari sistem ini adalah sederhana dan murah serta lebih mudah dari segi sistem koordinasi pengamannya. Untuk kekurangannya adalah saat terjadi gangguan pada salah satu bus maka suplai daya ke beban akan terputus karena daya yang disalurkan melalui satu *line* saja.

Tipe radial digunakan dalam system kelistrikan PT. PJB Unit Pembangkitan Cirata. Dengan menggunakan tipe radial maka pasokan daya dapat menuju beban dengan baik dan biaya operasional yang tidak mahal. Selain itu system kelistrikan di PT. PJB UP Cirata

juga terkoneksi satu sama lain dengan tujuan menjaga kontinuitas pasokan daya ke beban.

PLTA Cirata memiliki system *emergency generator* yang berfun gis untuk memberi pasokan daya awal ke beban bila terjadi *blackout*. Hal ini akan menjadikan PLTA Cirata memiliki kemampuan untuk tetap beroperasi meskipun dalam kondisi padam.

Pada PLTA yang ada di PT. PJB UP Cirata ini dalam operasinya dilengkapi dengan beberapa transformator seperti *main transformer*, *station transformer*, dan *house transformer* untuk masing-masing blok PLTA. *Main transformer* merupakan trafo *step up* dari 16,5 kV menjadi 500 kV untuk disalurkan ke transmisi, sementara untuk *station transformer* menaikan 16,5 kV menjadi 20 kV untuk kebutuhan listrik PLTA Cirata. *House transformer* merupakan tranfo *step down* 20 kV menjadi 380 V untuk kebutuhan penunjang PLTA Cirata. Lebih jelas mengenai transformator yang digunakan pada blok PLTA di PT. PJB UP Cirata dapat dilihat pada tabel 3.3.

Tabel 3.6 Data kapasitas transformator pada PLTA Cirata

No.	Transformator	MVA	KV	%Z	Hubungan
1.	MT1	280	16,5/500	14,5	Δ/Y
2.	MT2	280	16,5/500	14,5	Δ/Y
3.	MT3	280	16,5/500	14,5	Δ/Y
4.	MT4	280	16,5/500	14,5	Δ/Y
5.	STR1	1,75	16,5/20	6,25	Δ/Y
6.	STR2	1,75	16,5/20	6,25	Δ/Y
7.	STR3	1,75	16,5/20	6,25	Δ/Y
8.	STR4	1,75	16,5/20	6,25	Δ/Y
9.	HTR1	0,63	20/0,38	4	Δ/Y
10.	HTR2	0,63	20/0,38	4	Δ/Y
11.	HTR3	0,63	20/0,38	4	Δ/Y
12.	HTR4	0,63	20/0,38	4	Δ/Y
13.	HTR5	0,63	20/0,38	4	Δ/Y
14.	HTR6	0,63	20/0,38	4	Δ/Y
15.	HTR7	0,63	20/0,38	4	Δ/Y
16.	HTR8	0,63	20/0,38	4	Δ/Y
17.	HTR9	0,63	20/0,38	4	Δ/Y
18.	HTR10	0,63	20/0,38	4	Δ/Y
19.	HTR11	0,63	20/0,38	4	Δ/Y

Tabel 3.7 Data busbar pada PLTA Cirata

No	ID Bus	Tegangan (kV)
1	Bus 9	0,38
2	Bus 2	0,38
3	Bus 3	0,38
4	Bus 12	0,38
5	Bus 8	0,38
6	Bus 17	0,38
7	Bus 18	0,38
8	Bus 22	0,38
9	Bus 23	0,38
10	Bus 27	0,38
11	Bus 28	0,38
12	Bus 5	20
13	Bus 4	20
14	Bus 13	20
15	Bus 16	20
16	Bus 21	20
17	Bus 26	20
18	Bus 10	16,5
19	Bus 19	16,5
20	Bus 24	16,5
21	Bus 29	16,5
22	Bus 31	500
23	Bus 28	500
24	Bus 25	500
25	Bus 30	500
26	Bus 32	6

3.5 Beban Tenaga Listrik di PT. PJB UP Cirata

Beban-beban tenaga listrik di PT. PJB UP Cirata terdiri dari beban dinamis dan statis. Beban dinamis dapat berupa motor-motor pendukung sistem operasi dari PLTA. Sedangkan beban statis yaitu berupa lampu-lampu penerangan. Pada tabel 3.4 adalah data beban yang ada pada PLTA :

Tabel 3.8 Data beban pada bus 0,38 kV

Load 13	Bus 2	326 kW
Load 14	Bus 2	326 kW
Load 15	Bus 3	326 kW
Load 16	Bus 12	326 kW

Tabel 3.9 Data beban pada bus 20 kV

ID	Bus	Rating
Load 5	Bus 9	352 kW
Load 6	Bus 8	352 kW
Load 7	Bus 17	352 kW
Load 8	Bus 18	352 kW
Load 9	Bus 22	352 kW
Load 10	Bus 23	352 kW
Load 11	Bus 27	352 kW
Load 12	Bus 28	352 kW

Tabel 3.8 Data beban pada bus 16,5 kV

Load 1	Bus 31	141,95 MW
Load 2	Bus 28	141,95 MW
Load 3	Bus 25	141,95 MW
Load 4	Bus 30	141,95 MW

BAB IV

HASIL SIMULASI DAN ANALISA KOORDINASI PROTEKSI PLTA PADA PT. PJB UP CIRATA

4.1 Pemodelan Sistem Kelistrikan pada PT. PJB UP Cirata

Tugas akhir ini membahas mengenai analisis sistem pengaman disertai koordinasi proteksi arus lebih pada sistem kelistrikan PT. PJB UP Cirata yaitu pada sistem tegangan tinggi 20 kV yang terdapat di bus 5, bus 4 d, bus 13 dan bus lainnya yang berkapasitas sama. Analisis meliputi *range* arus yang digunakan pada rele, *setting* waktu yang digunakan serta menampilkan kurva kerja rele dengan *ploting* pada software simulasi.

Pemodelan sistem kelistrikan pada PT. PJB UP Cirata dilakukan dengan cara membuat *single line diagram* pada software simulasi ETAP 11. Langkah pertama pembuatan *single line diagram* tersebut adalah mengumpulkan data yang meliputi data transformator, generator, bus, beban yang ditanggung ,setelan rele *existing*, dan sistem pentanahan.

Dari pembuatan *single line diagram* tersebut dapat diketahui sistem kelistrikan *existing*. Sistem kelistrikan yang ada pada masih memiliki kekurangan dalam koordinasi proteksi yang akan mengganggu kontinuitas penyaluran daya sehingga pada tugas akhir ini dilakukan *reseting* untuk pencegahan akan hal tersebut.

Setelah pemodelan selesai dilakukan langkah selanjutnya adalah dengan melakukan analisa terhadap sistem kelistrikan yang terpasang. Dari analisis ini dapat diketahui tegangan bus, pembebanan transformator, pembebanan bus dan sistem kelistrikan berdasarkan PT. PJB UP Cirata *existing* pada *single line diagram* yang dibuat. Sebagaimana telah diterangkan pada bab sebelumnya, perencanaan proteksi ini akan membahas rele pengaman arus lebih.

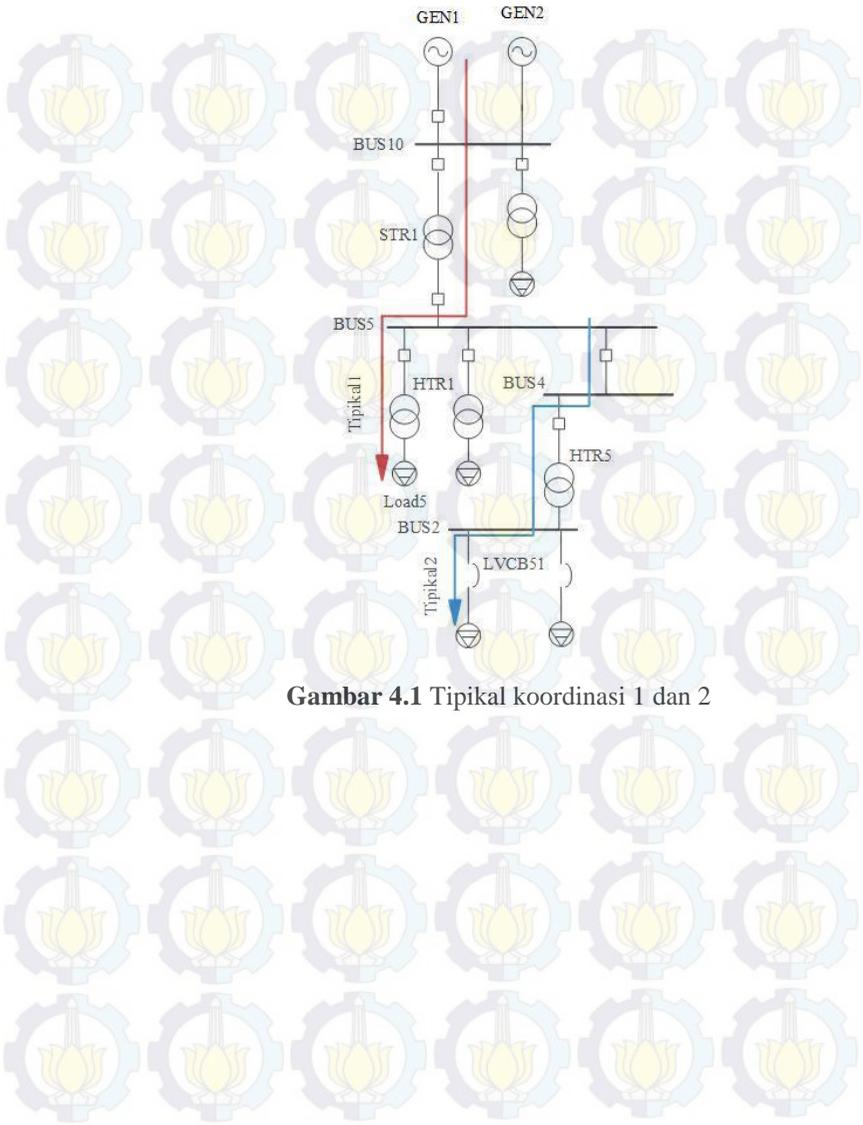
4.2 Pemilihan Tipikal Koordinasi pada PT. PJB UP Cirata

Dalam melakukan analisa sistem proteksi pada kelistrikan PT. PJB UP Cirata perlu dilakukan pemilihan tipikal yang berfungsi untuk mewakili sistem kelistrikan yang ada. Tipikal digunakan sebagai acuan dalam *setting* koordinasi proteksi yang lain.

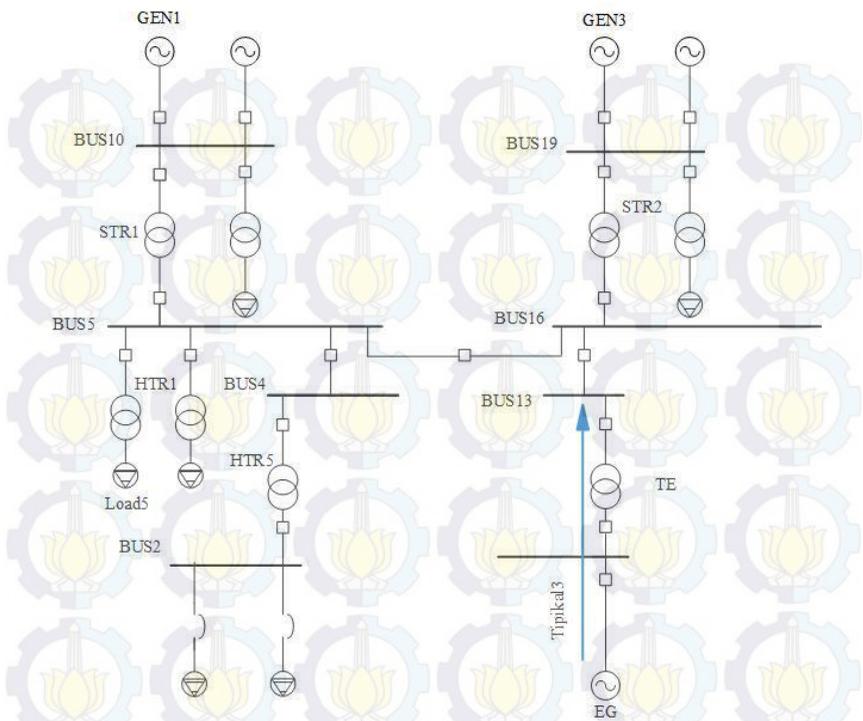
Pada koordinasi pengaman arus lebih PT. PJB UP Cirata dipilih beberapa tipikal yang mewakili keseluruhan sistem. Tipikal-tipikal tersebut dipilih atas dasar saluran terpanjang, saluran yang terkoordinasi dengan beban terbesar untuk pelayanan konsumen, saluran untuk *emergency generator* serta, saluran yang memiliki beban internal terbesar untuk pelayanan kelistrikan PT. PJB UP Cirata. Beberapa tipikal tersebut antara lain :

1. Koordinasi pengaman dari generator GEN1 sampai Load5. Tipikal ini merupakan jalur dari generator GEN1 ke beban internal PT.PJB UP Cirata terdekat. Pemilihan tipikal ini dimaksudkan untuk mewakili pengamanan peralatan transformator *stepdown* 0,38 kV dan transformator *stepup* 20 kV secara umum yang digunakan di PT. PJB UP Cirata. Dengan *rating* tegangan bus bervariasi dari 16,5 kV, 20 kV hingga 0,38 kV.
2. Koordinasi pengaman dari generator GEN1 sampai LVCB51. Pemilihan tipikal ini atas dasar saluran terpanjang dari generator menuju beban internal PT. PJB UP Cirata. Tetapi pada tipikal ini hanya dimulai koordinasinya dari LVCB51 hingga bus 4. Hal ini disebabkan karena saluran ini merupakan lanjutan dari tipikal 1. Pemilihan tipikal dimaksudkan untuk melindungi saluran yang memiliki peralatan transformator *stepdown* 0,38 kV dari gangguan arus hubung singkat yang terjadi. Dengan *rating* tegangan bus bervariasi dari 16,5 kV, 20 kV hingga 0,38 kV.
3. Koordinasi pengaman dari generator *emergency generator* sampai bus 13. Tipikal ini untuk melihat koordinasi dari *emergency generator* menuju beban yang terhubung dengan transmisi. Tetapi pada tipikal ini hanya dilakukan koordinasi dari bus 13 hingga rele 27.

Untuk mengetahui tipikal yang dipilih, maka dapat dilihat pada gambar. Untuk tipikal koordinasi 1 dan 2 dapat dilihat pada Gambar 4.1 dan tipikal 3 dapat dilihat pada Gambar 4.2.



Gambar 4.1 Tipikal koordinasi 1 dan 2



Gambar 4.2Tipikal koordinasi 3

4.3 Analisis Arus Gangguan Hubung Singkat

Analisa arus gangguan hubung singkat digunakan untuk mengetahui nilai arus gangguan yang terjadi di setiap bus dan tipikal. Arus hubung singkat yang akan digunakan dalam pengkoordinasian yaitu arus gangguan hubung singkat minimum dan maksimum. Nilai arus gangguan hubung singkat maksimum adalah ketika terjadi gangguan hubung singkat 3 fasa. Sedangkan nilai arus hubung singkat minimum adalah saat terjadi gangguan hubung singkat antar fasa atau *line-line*. Nilai arus gangguan tersebut digunakan dalam perhitungan *setting* rele pengaman arus lebih (*Over Current Relay*).

4.3.1 Hubung Singkat Minimum

Arus hubung singkat minimum adalah arus hubung singkat 2 fasa (*line-line*) pada saat 30 *cycle* atau *steady state*. Arus hubung singkat minimum terjadi ketika pembangkitan minimum. Arus hubung singkat minimum didapat untuk digunakan sebagai acuan dalam menentukan nilai dari *pickup* kurva saat waktu instan. Sehingga ketika terjadi gangguan hubung singkat minimum rele akan bekerja dengan waktu singkat sesuai dengan *setting time delay* yang telah ditentukan sehingga arus gangguan dapat diamankan dengan cepat.

Dari hasil simulasi gangguan hubung singkat minimum 30 *cycle* (*line to line*) maka hasilnya dapat dilihat pada tabel 4.1 berikut ini :

Tabel 4.1 Data arus hubung singkat minimum

No	ID Bus	Tegangan (kV)	Arus Hubung Singkat Minimum (<i>Line to line</i>)
1	Bus 9	0,38	12,34 kA
2	Bus 2	0,38	12,34 kA
3	Bus 3	0,38	12,34 kA
4	Bus 12	0,38	12,34 kA
5	Bus 8	0,38	12,34 kA
6	Bus 17	0,38	12,34 kA
7	Bus 18	0,38	12,34 kA
8	Bus 22	0,38	12,34 kA
9	Bus 23	0,38	12,34 kA
10	Bus 27	0,38	12,34 kA
11	Bus 28	0,38	12,34 kA
12	Bus 5	20	2,74 kA
13	Bus 4	20	2,74 kA
14	Bus 13	20	2,74 kA
15	Bus 16	20	2,74 kA
16	Bus 21	20	2,74 kA
17	Bus 26	20	2,74 kA
18	Bus 10	16,5	37,47 kA
19	Bus 19	16,5	37,47 kA
20	Bus 24	16,5	37,47 kA
21	Bus 29	16,5	37,47 kA

Lanjutan Tabel 4.1 Data arus hubung singkat minimum

22	Bus 31	500	0,619 kA
23	Bus 20	500	0,619 kA
24	Bus 25	500	0,619 kA
25	Bus 30	500	0,619 kA
26	Bus 32	6	0,997 kA

4.3.2 Hubung Singkat Maksimum

Arus hubung singkat maksimum merupakan arus hubung singkat 3 fasa pada saat $0,5\text{cycle}$ atau saat periode *subtransient*. Arus hubung singkat maksimum terjadi ketika pembangkitan maksimum. Arus hubung singkat maksimum dapat dilihat pada saat $0,5\text{cycle}$. Arus hubung singkat maksimum digunakan saat perhitungan *time dial* pada penyetelan rele arus lebih (*Over Current Relay*). *Time dial* dapat mempengaruhi waktu kerja rele saat terjadi gangguan *short circuit*. Data hasil simulasi gangguan hubung singkat 3 fasa dapat ditunjukkan pada Tabel 4.2 dan 4.3 untuk 4 *cycle*.

Tabel 4.2 Data arus hubung singkat maksimum $0,5\text{cycle}$

No	ID Bus	Tegangan (kV)	Arus Hubung Singkat Maksimum (<i>Three phase</i>)
1	Bus 9	0,38	16,67 kA
2	Bus 2	0,38	16,67 kA
3	Bus 3	0,38	16,67 kA
4	Bus 12	0,38	16,67 kA
5	Bus 8	0,38	16,67 kA
6	Bus 17	0,38	16,67 kA
7	Bus 18	0,38	16,67 kA
8	Bus 22	0,38	16,67 kA
9	Bus 23	0,38	16,67 kA
10	Bus 27	0,38	16,67 kA
11	Bus 28	0,38	16,67 kA
12	Bus 5	20	3,71 kA
13	Bus 4	20	3,71 kA
14	Bus 13	20	3,71 kA
15	Bus 16	20	3,71 kA

Lanjutan Tabel 4.2 Data arus hubung singkat maksimum 0,5 cycle

16	Bus 21	20	3,71 kA
17	Bus 26	20	3,71 kA
18	Bus 10	16,5	72,77 kA
19	Bus 19	16,5	72,77 kA
20	Bus 24	16,5	72,77 kA
21	Bus 29	16,5	72,77 kA
22	Bus 31	500	1,79 kA
23	Bus 20	500	1,79 kA
24	Bus 25	500	1,79 kA
25	Bus 30	500	1,79 kA
26	Bus 32	6	1,2 kA

Tabel 4.3 Data arus hubung singkat maksimum 4 cycle

No	ID Bus	Tegangan (kV)	Arus Hubung Singkat Maksimum (Three phase)
1	Bus 9	0,38	16,12 kA
2	Bus 2	0,38	16,12 kA
3	Bus 3	0,38	16,12 kA
4	Bus 12	0,38	16,12 kA
5	Bus 8	0,38	16,12 kA
6	Bus 17	0,38	16,12 kA
7	Bus 18	0,38	16,12 kA
8	Bus 22	0,38	16,12 kA
9	Bus 23	0,38	16,12 kA
10	Bus 27	0,38	16,12 kA
11	Bus 28	0,38	16,12 kA
12	Bus 5	20	3,38 kA
13	Bus 4	20	3,38 kA
14	Bus 13	20	3,38 kA
15	Bus 16	20	3,38 kA
16	Bus 21	20	3,71 kA
17	Bus 26	20	3,71 kA
18	Bus 10	16,5	67,93 kA
19	Bus 19	16,5	67,93 kA

Tabel 4.3 Lanjutan data arus hubung singkat maksimum 4 cycle

20	Bus 24	16,5	67,93 kA
21	Bus 29	16,5	67,93 kA
22	Bus 31	500	1,45 kA
23	Bus 20	500	1,45 kA
24	Bus 25	500	1,45 kA
25	Bus 30	500	1,45 kA
26	Bus 32	6	1,2 kA

4.4 Koordinasi Rele Arus Lebih Gangguan Fasa

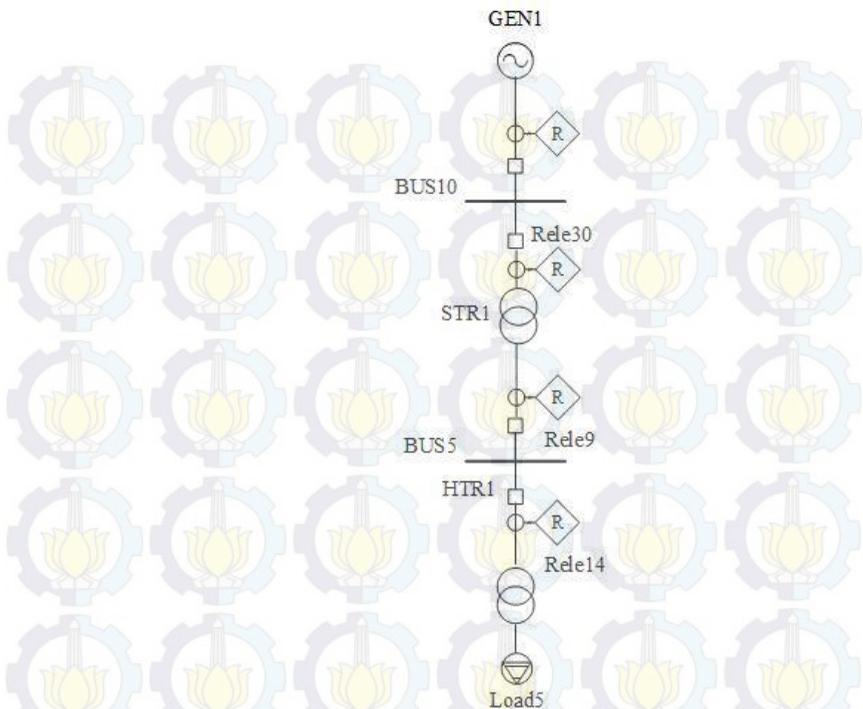
Pada koordinasi rele arus lebih gangguan fasa dilakukan *setting* arus dan waktu pada masing-masing rele agar rele yang satu dengan rele yang lain bekerja sesuai yang diharapkan. Koordinasi ini bertujuan untuk mengisolasi gangguan agar tidak mengganggu peralatan yang lain. Dari hasil koordinasi tidak diharapkan ada beberapa rele yang bekerja bersamaan atau terjadi *overlap* antara rele yang satu dengan rele yang lain.

Pada saat melakukan *setting* rele, parameter yang harus kita hitung antara lain :*pick up lowset, time dial, pick up highset* dan *time delay*. Sesuai standard IEEE 242, *grading time* untuk rele digital adalah 0,2 sampai 0,3 sekon. Pada tugas akhir ini dipilih *grading time* 0,2 s. Setelah menghitung parameter-parameter tersebut, langkah selanjutnya adalah melakukan plot *time-current curve* pada software ETAP 11 yang digunakan sebagai acuan pengkoordinasian kerja rele.

4.4.1 Koordinasi Rele Arus Lebih Gangguan Fasa Tipikal 1

Koordinasi rele tipikal 1 merupakan jalur dari generator GEN1 sampai ke Load 5 yaitu beban internal PT. PJB UP Cirata terdekat. Pada tipikal ini juga memperhatikan koordinasi dengan busbar. Jalur ini melalui 3 rele yaitu rele 14, rele 9, rele 30 serta rele yang terpasang pada saluran generator rele 2. Pada tipikal ini perlu diperhatikan *setting* dari *delay* yang akan mempengaruhi urutan kerja tiap rele yang terpasang saat adanya gangguan.

Gambar rangkaian Tipikal 1 dapat dilihat pada Gambar 4.3. Pada tipikal 1 terdapat peralatan transformator *stepdown* 0.38 kV (HTR1) dan transformator *stepup* 20 kV (STR1) serta generator pembangkit tenaga air 126 MW.



Gambar 4.3Single line tipikal 1

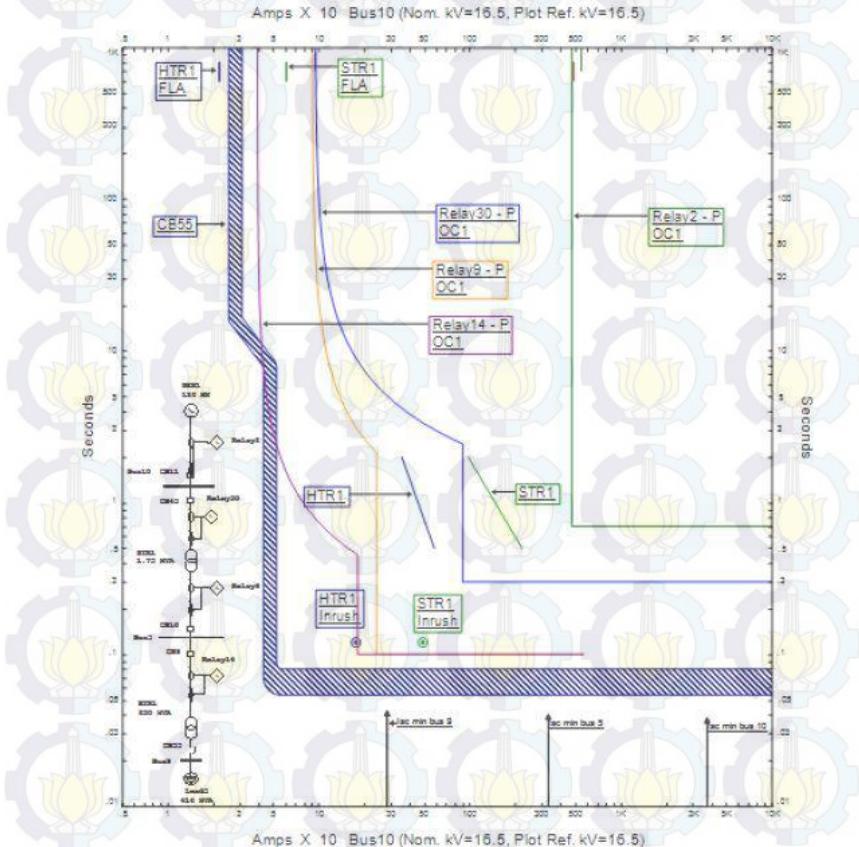
Untuk menggambarkan kurva kerja dari rele arus lebih diperlukan data setelan rele yang terpasang pada sistem kelistrikan tersebut. Data *existing* dari rele-rele pengaman pada koordinasi tipikal 1 diberikan pada tabel 4.4.

Tabel 4.4Data rele *existing* tipikal 1

No.	Relay ID & Model	CT Rasio	Setting	
1.	Rele 14 Argus 1	50/1	<i>Pickup</i>	0,65
			<i>Amp range</i>	0,65-32.5
			<i>Time dial</i>	0,1
			<i>Instantaneous Pickup</i>	3
			<i>Amp range</i>	3-150
			<i>Delay</i>	0,1
2.	Rele 9 Argus 1	100/1	<i>Pickup</i>	0,75
			<i>Amp range</i>	0,75-75
			<i>Time dial</i>	0,3
			<i>Instantaneous Pickup</i>	2
			<i>Amp range</i>	2-200
			<i>Delay</i>	0,1
3	Rele 30 Argus 1	100/1	<i>Pickup</i>	0,95
			<i>Amp range</i>	0,95-95
			<i>Time dial</i>	0,8
			<i>Instantaneous Pickup</i>	9
			<i>Amp range</i>	9-900
			<i>Delay</i>	0,3
4	Rele 2 Argus 1	100/1	<i>Pickup</i>	1,1
			<i>Amp range</i>	1,1-5500
			<i>Time dial</i>	0,1
			<i>Instantaneous Pickup</i>	95
			<i>Amp range</i>	0,95-4750
			<i>Delay</i>	0,7
5.	LVCB55 SIEMENS 3WN1/5, 3WS1	1600	<i>LT Pickup</i>	0,65
			<i>Amp range</i>	1040
			<i>LT Band</i>	2
			<i>ST Pickup</i>	2
			<i>Amp range</i>	2080
			<i>ST Band</i>	0,15

Data diatas selanjutnya dimasukan pada *relay editor* untuk mendapat hasil plot kurva yang dapat dilihat pada gambar 4.4.

Hasil dari plot *existing* koordinasirele-rele pengaman pada tipikal 1 dapat dilihat pada gambar 4.4. Dengan melihat hasil plot kurva dapat dianalisis waktu kerja dari rele yang terkoordinasi.



Gambar 4.4 Hasil plot setelan rele *existing* tipikal 1

Berdasarkan hasil dari plotting kurva tipikal 1 dapat di analisa bila masih ada kekurangan antara lain :

- Rele 14 terletak terlalu ke kanan dari nilai *FLA* transformator HTR1 dan juga kurva masih mengenai *inrush* dari transformator. Kurva invers seharusnya melindungi transformator HTR1 dari gangguan beban penuh yang ditandai dengan terjadinya lonjakan arus yang meningkat secara perlahan dan terjadi terus-menerus. Inrush adalah kondisi pada saat transformator *energizing*. Pada kondisi tersebut pengaman transformator tidak boleh bekerja karena hal itu bukan merupakan gangguan sehingga kurva rele harus di sebelah kanan dari titik *inrush*. Sedangkan, *damage curve* adalah kurva kerusakan transformator akibat panas yang berlebihan. Maka dari itu, sebelum mendekati *damage curve* transformator, rele harus bekerja sehingga kerusakan pada transformator dapat dicegah..
- Rele 9 merupakan *backup* dari rele 14, bila dilihat dari kurva sebaiknya kurva digeser keatas atau mengatur ulang nilai *delay*. Rele 9 terletak terlalu kekiri dari *damage curve* dan *inrush* transformator STR1. Sehingga perlu dilakukan pengaturan ulang agar sistem tetap berjalan lancar. Nilai dari *time dial* perlu diperhatikan agar mampu melindungi peralatan dari gangguan dengan tepat.
- Kurva untuk rele 30 terletak terlalu kekanan dari nilai *FLA* transformator STR1. Sehingga perlu dilakukan pengaturan ulang nilai *lowset pickup*.Sementara itu nilai *time dial* terlalu tinggi yang mempengaruhi waktu kerja rele saat terjadi gangguan hubung singkat.

4.4.1.1 Sistem Reseting Koordinasi Rele Pengaman Tipikal 1

Berikut adalah perhitungan *reseting* untuk parameter-parameter dari masing-masing rele yang terpasang pada tipikal 1.

LVCB55

<i>Manufacture</i>	: SIEMENS
<i>Model</i>	: SIEMENS 3WN1/5, 3WS1
<i>FLA</i> sekunder trafo HTR1	: 957,2 A
Isc max bus bar 9	: 15,23 kA
Isc min bus bar 9	: 12,34 kA
Rating Plug	: 1600

Long – Time

LT Pickup :

$$\begin{aligned} 1,05 \times FLA \text{ HTR1} < I_{set} < 1,4 \times FLA \text{ HTR1} \\ 1,05 \times 957,2 < I_{set} < 1,4 \times 957,2 \\ 1005,06 < I_{set} < 1340,08 \\ \frac{1005,06}{1600} < Tap < \frac{1340,08}{1600} \\ 0,628 < Tap < 0,837 \end{aligned}$$

Dipilih Tap = 0,65
Iset = 1040 A
LT Band= 2

Short – Time

ST Pickup :

$$\begin{aligned} 1,6 \times FLA \text{ HTR1} < I_{set} < 0,8 \times I_{scmin9} \\ 1,6 \times 957,2 < I_{set} < 0,8 \times 12340 \\ 1531,52 < I_{set} < 9872 \\ \frac{1531,52}{1600} < Tap < \frac{9872}{1600} \\ 0,957 < Tap < 6,17 \end{aligned}$$

Dipilih Tap = 2
Iset = 2080 A
LT Band= 0,15

Rele 14

Manufacture

: VA TECH HYDRO GmbH

Model

: Argus 1

FLA primer trafo HTR1

: 18,19 A

Isc max bus bar 5

: 3,38kA

Isc min bus bar 5

: 2,74 kA

CT Ratio

: 50/1

Time Overcurrent Pickup

$$\begin{aligned} 1,05 \times FLA \text{ HTR1} < I_{set} < 1,4 \times FLA \text{ HTR1} \\ 1,05 \times 18,19 < I_{set} < 1,4 \times 18,19 \\ 19,1 < I_{set} < 25,5 \end{aligned}$$

$$\frac{19,1}{50/1} < Tap < \frac{25,5}{50/1}$$

$$0,38 < Tap < 0,51$$

Dipilih $Tap = 0,4$
 $Iset = 20 \text{ A}$

Time Dial

Dipilih waktu operasi (td) = 0,1 s

$$td = \frac{80 \times K}{\left[\left(\frac{I}{I_s}\right)^2 - 1\right]}$$

$$K = \frac{td \times \left[\left(\frac{I}{I_s}\right)^2 - 1\right]}{80}$$

$$K = \frac{0,1 \times \left[\left(\frac{3380}{0,4 \times 50}\right)^2 - 1\right]}{80}$$

$$K = 35,7$$

Instantaneous Pickup

$$1,6 \times FLA \text{ HTR1} < I_{\gg} < 0,8 \times I_{scmin} \text{ bus 5}$$

$$1,6 \times 18,19 < I_{\gg} < 0,8 \times 2740$$

$$29,104 < I_{\gg} < 2192$$

$$\frac{29,104}{50/1} < Tap < \frac{2192}{50/1}$$

$$0,58 < Tap < 43,84$$

Dipilih $Tap = 5$
 $Iset = 250 \text{ A}$
 $Time \text{ delay} = 0,1 \text{ s}$

Rele 9

Manufacture : VA TECH HYDRO GmbH

Model : Argus 1

FLA sekunder trafo HTR1 : 50,52 A

Isc max bus bar 5 : 3,38 kA

Isc min bus bar 5 : 2,74 kA
 CT Ratio : 100/1

Time Overcurrent Pickup

$$1,05 \times FLA STR1sek < Iset < 1,4 \times FLA STR1sek$$

$$1,05 \times 50,52 < Iset < 1,4 \times 50,52$$

$$53 < Iset < 70,7$$

$$\frac{53}{100/1} < Tap < \frac{70,7}{100/1}$$

$$0,53 < Tap < 0,7$$

Dipilih Tap = 0,55
 Iset = 55 A

Time Dial

Dipilih waktu operasi (td) = 0,5 s

$$td = \frac{80 \times K}{\left[\left(\frac{I}{I_s}\right)^2 - 1\right]}$$

$$K = \frac{td \times \left[\left(\frac{I}{I_s}\right)^2 - 1\right]}{80}$$

$$K = \frac{0,5 \times \left[\left(\frac{3380}{0,55 \times 100}\right)^2 - 1\right]}{80}$$

$$K = 23,6$$

Instaneous Pickup

$$1,6 \times FLA < I_{\gg} < 0,8 \times Iscmin bus 5$$

$$1,6 \times 50,52 < I_{\gg} < 0,8 \times 2740$$

$$80,832 < I_{\gg} < 2192$$

$$\frac{80,832}{100/1} < Tap < \frac{2192}{100/1}$$

$$0,81 < Tap < 21,92$$

Dipilih Tap = 6,5
 Iset = 650 A
 Time delay = 0,5 s

Rele 30

<i>Manufacture</i>	: VA TECH HYDRO GmbH
<i>Model</i>	: Argus 1
<i>FLA primer trafo STR1</i>	: 61,23 A
<i>Isc max bus bar 10</i>	: 67,93kA
<i>Isc min bus bar 10</i>	: 37,47 kA
<i>CT Ratio</i>	: 100/1

Time Overcurrent Pickup

$$\begin{aligned}1,05 \times FLA STR1pri < Iset < 1,4 \times FLA STR1pri \\1,05 \times 61,23 < Iset < 1,4 \times 61,23 \\64,29 < Iset < 85,72 \\ \frac{64,29}{100/1} < Tap < \frac{85,72}{100/1} \\0,64 < Tap < 0,85\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Dipilih } Tap &= 0,7 \\ Iset &= 70 \text{ A}\end{aligned}$$

Time Dial

Dipilih waktu operasi (td) = 0,1 s

$$td = \frac{80 \times K}{\left[\left(\frac{I}{I_s}\right)^2 - 1\right]}$$

$$K = \frac{td \times \left[\left(\frac{I}{I_s}\right)^2 - 1\right]}{80}$$

$$K = \frac{0,1 \times \left[\left(\frac{67930}{0,7 \times 100}\right)^2 - 1\right]}{80}$$
$$K = 11,76$$

Instaneous Pickup

$$\begin{aligned}1,6 \times FLA < I_{>>} < 0,8 \times I_{scmin \text{ bus } 10} \\1,6 \times 61,23 < I_{>>} < 0,8 \times 37470 \\97,968 < I_{>>} < 29976 \\ \frac{97,968}{100/1} < Tap < \frac{29976}{100/1}\end{aligned}$$

$$0,97 < Tap < 299,76$$

Dipilih $Tap = 15$
 $I_{set} = 15000 \text{ A}$
 $Time\ delay = 0,1 \text{ s}$

Rele 2

Manufacture : VA TECH HYDRO GmbH
Model : Argus 1
FLA generator GEN1 : 4899 A
Isc max bus bar 10 : 67,93 kA
Isc min bus bar 10 : 37,47 kA
CT Ratio : 5000/1

Time Overcurrent Pickup

$$1,05 \times FLA < I_{set} < 1,4 \times FLA$$

$$1,05 \times 4899 < I_{set} < 1,4 \times 4899$$

$$5143,95 < I_{set} < 6858,6$$

$$\frac{5143,95}{5000/1} < Tap < \frac{6858,6}{5000/1}$$

$$1,028 < Tap < 1,37$$

Dipilih $Tap = 1,03$
 $I_{set} = 5150 \text{ A}$

Time Dial

Dipilih waktu operasi (td) = 0,3 s

$$td = \frac{80 \times K}{\left[\left(\frac{I}{I_s}\right)^2 - 1\right]}$$

$$K = \frac{td \times \left[\left(\frac{I}{I_s}\right)^2 - 1\right]}{80}$$

$$K = \frac{0,3 \times \left[\left(\frac{67930}{1,03 \times 5000}\right)^2 - 1\right]}{80}$$

$$K = 0,64$$

Instantaneous Pickup

$$1,6 \times FLA < I_{>>} < 0,8 \times I_{scmin} \text{ bus 10}$$

$$1,6 \times 4899 < I_{>>} < 0,8 \times 37470$$

$$7838,4 < I_{>>} < 29976$$

$$\frac{7838,4}{5000/1} < Tap < \frac{29976}{5000/1}$$

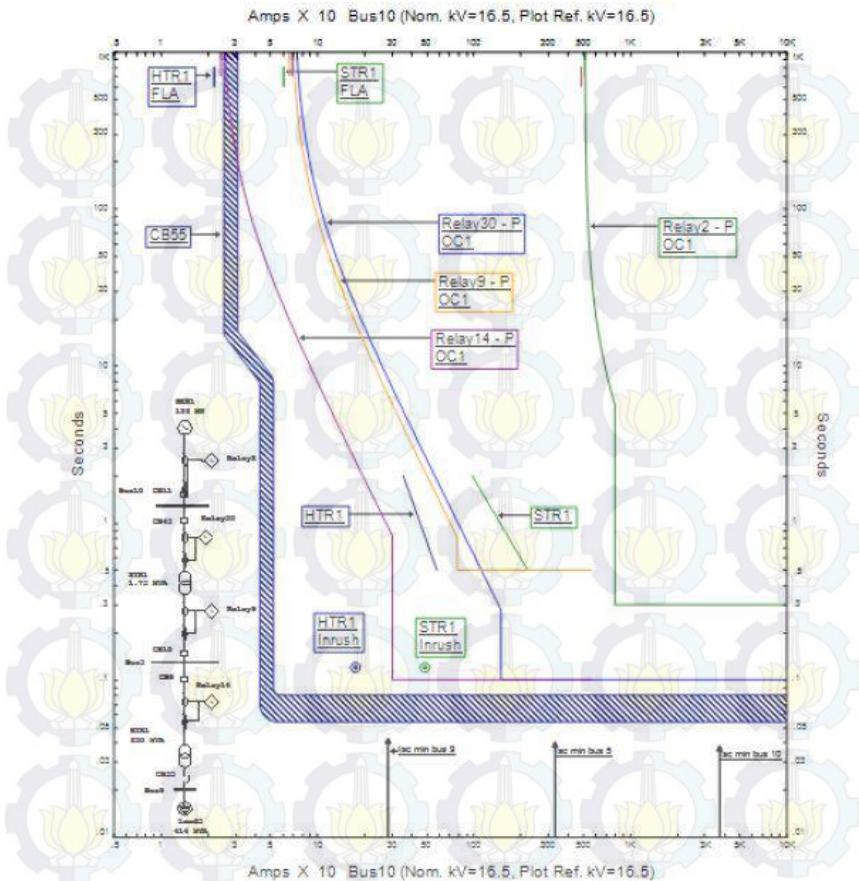
$$1,56 < Tap < 5,99$$

Dipilih $Tap = 1,6$

$I_{set} = 8000 \text{ A}$

$Time \text{ delay} = 0,3 \text{ s}$

Setelah melakukan perhitungan untuk setiap parameter penyetelan rele. Dengan menggunakan simulasi dapat dilihat koordinasi kerja rele pada tipikal 1. Kurva hasil *reseting* pada koordinasi rele pengaman tipikal 1 dapat dilihat pada gambar 4.5



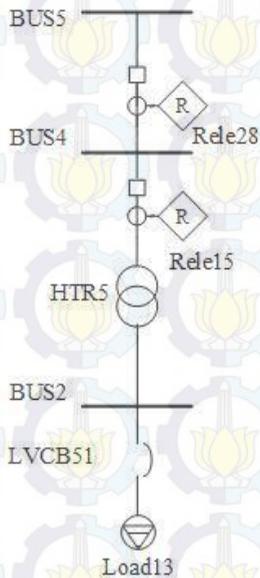
Gambar 4.5 Hasil plot setelan rele *reseting* tipikal 1

Dari hasil *reseting* dapat dilihat bila kurva rele 14 terletak disebelah kanan *inrush* dan tidak terlalu jauh dari nilai *FLA* dari transformator HTR1. Sementara itu rele 9 dan rele 30 terletak disebelah kanan *FLA* dan *inrush* dari transformator STR1. Nilai *delay* dari rele 9 disesuaikan sebagai *backup* dari rele 14, atau terletak lebih keatas dari kurva *instantaneous* rele 9.

4.4.2 Koordinasi Rele Arus Lebih Gangguan Fasa Tipikal 2

Koordinasi rele tipikal 1 merupakan jalur terpanjang dari generator GEN1 sampai ke Load 13 yaitu beban internal PT. PJB UP Cirata terjauh. Tipikal 2 merupakan saluran yang masih satu jalur dengan tipikal 1 maka beberapa *setting* rele adalah sama. Pada tipikal ini juga memperhatikan koordinasi dengan busbar. Jalur ini melalui 3 rele yaitu rele 15, rele 28 dan LVCB 51.

Gambar rangkaian Tipikal 2 dapat dilihat pada Gambar 4.6. Pada tipikal 2 terdapat peralatan trafo *stepdown* 0,38 kV (HTR5). Saluran ini menuju ke beban internal terjauh dari PT. PJB UP Cirata yang berada pada *rating* tegangan 0,38 kV.



Gambar 4.6 Single line tipikal 2

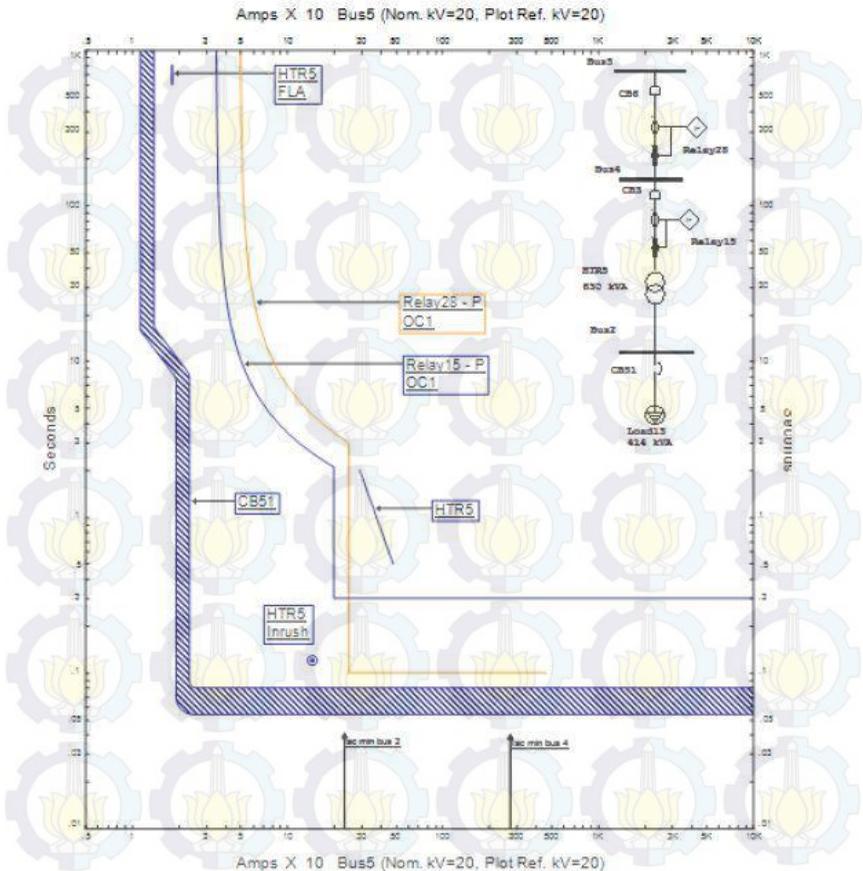
Untuk menggambarkan kurva kerja dari rele arus lebih diperlukan data setelan rele yang terpasang pada sistem kelistrikan tersebut. Data *existing* dari rele-rele pengaman pada koordinasi tipikal 2 diberikan pada tabel 4.5.

Tabel 4.5Data rele *existing* tipikal 2

No.	Relay ID & Model	CT Rasio	Setting	
1.	LVCB51 SIEMENS 3WN1/5, 3WS1	1600	<i>LT Pickup</i>	0,4
			<i>Amp range</i>	640
			<i>LT Band</i>	2
			<i>ST Pickup</i>	2
			<i>Amp range</i>	1280
			<i>ST Band</i>	0,01
2.	Rele 15 Argus 1	50/1	<i>Pickup</i>	0,7
			<i>Amp range</i>	0,7-35
			<i>Time dial</i>	0,53
			<i>Instantaneous Pickup</i>	4
			<i>Amp range</i>	4-200
			<i>Delay</i>	0,3
3	Rele 28 Argus 1	50/1	<i>Pickup</i>	1
			<i>Amp range</i>	1-50
			<i>Time dial</i>	0,7
			<i>Instantaneous Pickup</i>	5
			<i>Amp range</i>	5-250
			<i>Delay</i>	0,1

Data diatas selanjutnya dimasukan pada *relay editor* untuk mendapat hasil plot kurva yang dapat dilihat pada gambar 4.7.

Hasil dari plot *existing* koordinasirele-rele pengaman pada tipikal 2 dapat dilihat pada gambar 4.7. Dengan melihat hasil plot kurva dapat dianalisis waktu kerja dari rele yang terkoordinasi.



Gambar 4.7 Hasil plot setelan rele *existing* tipikal 2

Berdasarkan hasil dari plotting kurva tipikal 2 dapat di analisa bila masih ada kekurangan antara lain :

- Kurva untuk rele LVCB51 terletak disebelah kiri dari kurva yang lain, ini menunjukkan rele LVCB51 mengamankan daerah beban Load 31. Dalam hal ini rele sudah mendekati sesuai dengan koordinasi yang diharapkan.

- Rele 15 memiliki nilai *lowset* yang terlalu besar, hal ini dapat dilihat dari kurva yang terletak terlalu kekanan dari nilai *FLA* transformator HTR5. Sementara itu nilai dari *delay* yang ada tumpang tindih dengan kurva rele 28. Dengan keadaan tersebut rele tidak terkoordinasi dengan baik, karena rele 28 akan bekerja terlebih dahulu bila terjadi gangguan hubung singkat di bus bar 2.
- Kurva hijau merupakan hasil plot dari rele 28 yang berfungsi sebagai *backup* dari rele 15 untuk mengamankan peralatan transformator terhadap gangguan. Kurva rele 28 terletak terlalu kekanan dari nilai *FLA* transformator dan juga tumpang tindih dengan kurva rele 15. Hal ini akan mempengaruhi kontinuitas daya yang tersalurkan.

4.4.2.1 Sistem Reseting Koordinasi Rele Pengaman Tipikal 2

Berikut adalah perhitungan *reseting* untuk parameter-parameter dari masing-masing rele yang terpasang pada tipikal 2.

LVCB51

<i>Manufacture</i>	: VA TECH HYDRO GmbH
<i>Model</i>	: SIEMENS 3WN1/5, 3WS1
<i>FLA lump load 13</i>	: 629 A
<i>Isc max bus bar 2</i>	: 16,12 kA
<i>Isc min bus bar 2</i>	: 12,32 kA
<i>Rating Plug</i>	: 1600

Long – Time

LT Pickup :

$$1,05 \times FLA \text{ lump load13} < Iset < 1,4 \times FLA \text{ lump load13}$$

$$1,05 \times 629 < Iset < 1,4 \times 629$$

$$660,45 < Iset < 880,6$$

$$660,45 < \frac{1600}{Tap} < 880,6$$

$$\frac{1600}{0,41} < Tap < \frac{1600}{0,55}$$

$$0,41 < Tap < 0,55$$

Dipilih *Tap* = 0,45

Iset = 720A

LT Band= 2

Short – Time

ST Pickup :

$$1,6 \times FLA \text{ lump load} < Iset < 0,8 \times Iscmin2$$

$$1,6 \times 629 < Iset < 0,8 \times 12320$$

$$754,8 < Iset < 9856$$

$$\frac{754,8}{1600} < Tap < \frac{9856}{1600}$$

$$0,47 < Tap < 6,16$$

Dipilih Tap = 2

Iset = 2080 A

ST Band = 0,01

Rele 15

Manufacture : VA TECH HYDRO GmbH

Model : Argus 1

FLA primer trafo HTR 5 : 18,19 A

Isc max bus bar 4 : 3,38 kA

Isc min bus bar 4 : 2,74 kA

CT Ratio : 50/1

Time Overcurrent Pickup

$$1,05 \times FLA \text{ HTR5} < Iset < 1,4 \times FLA \text{ HTR5}$$

$$1,05 \times 18,19 < Iset < 1,4 \times 18,19$$

$$19,1 < Iset < 25,5$$

$$\frac{19,1}{50/1} < Tap < \frac{25,5}{50/1}$$

$$0,38 < Tap < 0,51$$

Dipilih Tap = 0,4

Iset = 20 A

Time Dial

Dipilih waktu operasi (td) = 0,1 s

$$td = \frac{80 \times K}{\left[\left(\frac{I}{Is}\right)^2 - 1\right]}$$

$$K = \frac{td \times \left[\left(\frac{I}{I_s} \right)^2 - 1 \right]}{80}$$

$$K = \frac{0,1 \times \left[\left(\frac{3380}{0,4 \times 50} \right)^2 - 1 \right]}{80}$$

$$K = 35,7$$

Instantaneous Pickup

$$1,6 \times FLA \text{ HTR } 5 \text{ prim} < I_{\gg} < 0,8 \times I_{scmin} \text{ bus } 4$$

$$1,6 \times 18,19 < I_{\gg} < 0,8 \times 2740$$

$$29,104 < I_{\gg} < 2192$$

$$\frac{29,104}{50/1} < Tap < \frac{2192}{50/1}$$

$$0,58 < Tap < 43,84$$

Dipilih $Tap = 5,5$
 $I_{set} = 275 \text{ A}$
 $Time \text{ delay} = 0,1 \text{ s}$

Rele 28

Manufacture : SIEMENS
Model : 75J63
FLA : 36,38 A
Isc max bus bar 4 : 3,38 kA
Isc min bus bar 4 : 2,74 kA
CT Ratio : 50/1

Time Overcurrent Pickup

$$1,05 \times FLA < I_{set} < 1,4 \times FLA$$

$$1,05 \times 36,38 < I_{set} < 1,4 \times 36,38$$

$$19,09 < I_{set} < 25,466$$

$$\frac{38,199}{50/1} < Tap < \frac{50,932}{50/1}$$

$$0,76 < Tap < 1,018$$

Dipilih $Tap = 0,77$
 $I_{set} = 38,5 \text{ A}$

Time Dial

Dipilih waktu operasi (td) = 0,3 s

$$td = \frac{80 \times K}{\left[\left(\frac{I}{I_s}\right)^2 - 1\right]}$$
$$K = \frac{td \times \left[\left(\frac{I}{I_s}\right)^2 - 1\right]}{80}$$
$$K = \frac{0,3 \times \left[\left(\frac{3380}{0,5 \times 50}\right)^2 - 1\right]}{80}$$
$$K = 68,5$$

Instaneous Pickup

$$1,6 \times FLA < I_{>>} < 0,8 \times I_{scmin} \text{ bus 4}$$

$$1,6 \times 36,38 < I_{>>} < 0,8 \times 2740$$

$$58,208 < I_{>>} < 2192$$

$$\frac{58,208}{50/1} < Tap < \frac{2192}{50/1}$$

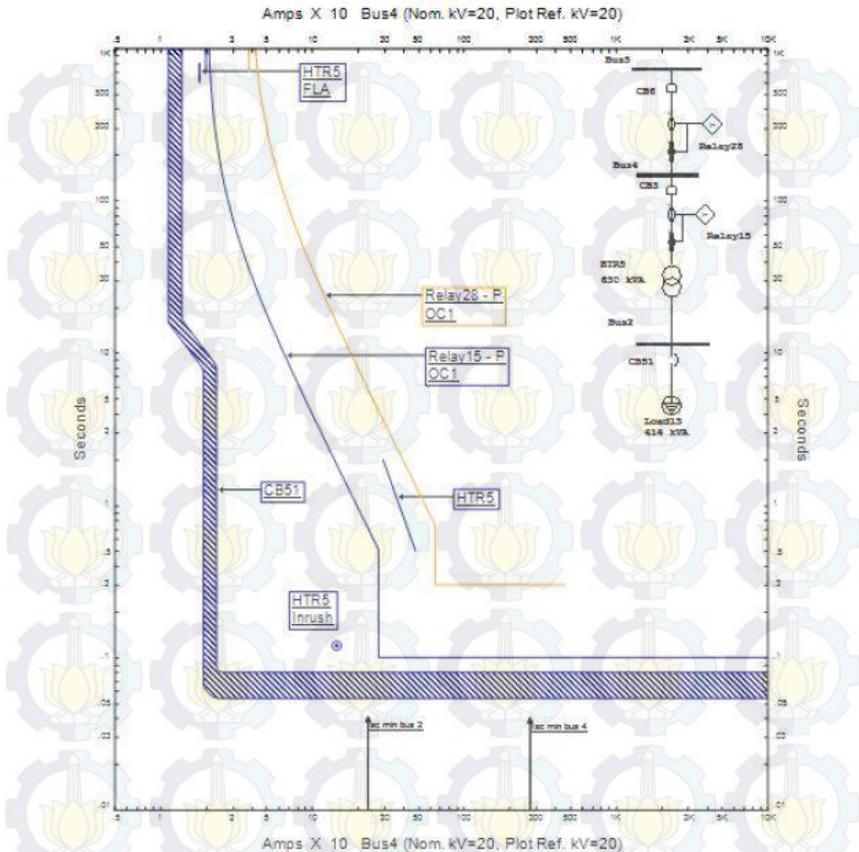
$$1,16 < Tap < 43,84$$

Dipilih $Tap = 13$

$I_{set} = 650 \text{ A}$

$Time\ delay = 0,3 \text{ s}$

Setelah melakukan perhitungan untuk setiap parameter penyetelan rele. Dengan menggunakan simulasi dapat dilihat koordinasi kerja rele pada tipikal 2. Kurva hasil *reseting* pada koordinasi rele pengaman tipikal 2 dapat dilihat pada gambar 4.8



Gambar 4.8 Hasil plot setelan rele *reseting* tipikal 2

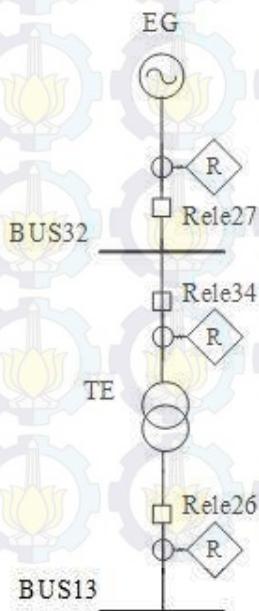
Dari hasil *reseting* dapat dilihat bila kurva rele 15 terletak disebelah kanan *inrush* dan tidak terlalu jauh dari nilai *FLA* dari transformator HTR5. Dengan *setting* seperti kurva pada gambar 4.8 maka rele 15 mampu melindungi transformator dan juga saluran pada tegangan 20 kV saat terjadi gangguan. Selain itu saat terjadi *inrush*, rele 15 tidak akan bekerja karena kurva terletak disebelah kanan dari titik *inrush* atau nilai arus *high set* di *setting* lebih besar. Sementara itu rele 28 terletak disebelah kanan *FLA* dan *inrush* dari transformator HTR5. Hal

ini dikarenakan rele 28 merupakan rele yang menanggung beban dari bus 4 yang memiliki 2 percabangan yang masing-masing terdapat 1 ransformator *stepdown* 0,38 kV. Nilai *delay* dari rele 28 disesuaikan sebagai *backup* dari rele 15, atau terletak lebih keatas dari kurva *instantaneous* rele 15.

4.4.3 Koordinasi Rele Arus Lebih Gangguan Fasa Tipikal 3

Koordinasi rele tipikal 3 merupakan jalur yang di pasok oleh *emergency generator* sampai ke bus 13 dengan *rating* 20 kV. Pada tipikal ini juga memperhatikan koordinasi pada rele-rele yang ada. 3 rele yang terpasang yaitu rele 27, rele 34 dan rele 26.

Gambar rangkaian Tipikal 3 dapat dilihat pada Gambar 4.9. Pada tipikal 3 terdapat peralatan trafo *stepup* 20 kV (TE) dan *emergency generator*. Saluran ini menuju ke bus 20 kV yang terhubung dengan bus 500 kV. Saluran ini berfungsi sebagai pemasok daya awal bila terjadi *blackout* pada pembangkit utama PLTA. Sehingga kebutuhan daya untuk konsumen yang terhubung dengan transmisi 500 kV terpenuhi.



Gambar 4.9 Single line tipikal 3

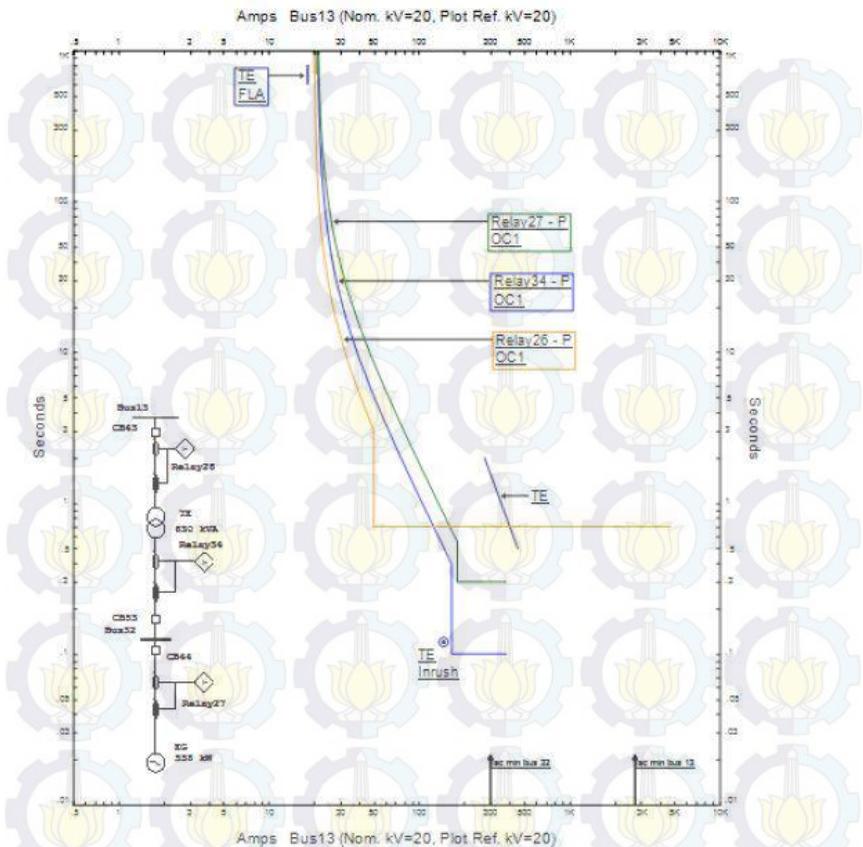
Untuk menggambarkan kurva kerja dari rele arus lebih diperlukan data setelan rele yang terpasang pada sistem kelistrikan tersebut. Data *existing* dari rele-rele pengaman pada koordinasi tipikal 3 diberikan pada tabel 4.6.

Tabel 4.6 Data rele *existing* tipikal 3

No.	Relay ID & Model	CT Rasio	Setting	
1.	Rele 26 Argus 1	50/1	<i>Pickup</i>	0,5
			<i>Amp range</i>	0,5-25
			<i>Time dial</i>	0,4
			<i>Instantaneous Pickup</i>	2
			<i>Amp range</i>	2-100
			<i>Delay</i>	0,5
2.	Rele 34 Argus 1	100/1	<i>Pickup</i>	0,9
			<i>Amp range</i>	0,9-90
			<i>Time dial</i>	0,55
			<i>Instantaneous Pickup</i>	6
			<i>Amp range</i>	6-600
			<i>Delay</i>	0,3
3	Rele 27 Argus 1	100/1	<i>Pickup</i>	0,9
			<i>Amp range</i>	0,9-90
			<i>Time dial</i>	1
			<i>Instantaneous Pickup</i>	9
			<i>Amp range</i>	9-900
			<i>Delay</i>	0,7

Data diatas selanjutnya dimasukan pada *relay editor* untuk mendapat hasil plot kurva yang dapat dilihat pada gambar 4.10.

Hasil dari plot *existing* koordinasirele-rele pengaman pada tipikal 3 dapat dilihat pada gambar 4.10. Dengan melihat hasil plot kurva dapat dianalisis waktu kerja dari rele yang terkoordinasi.



Gambar 4.10 Hasil plot setelan rele *existing* tipikal 3

Berdasarkan hasil dari plotting kurva tipikal 4 dapat di analisa bila masih ada kekurangan antara lain :

- Kurva untuk rele 26 dapat dilihat pada gambar 4.10. Kurva terletak disebelah kiri dari *damage curve* transformator TE dan juga di sebelah kiri titik *inrush*, dapat diketahui bila rele 26 memiliki nilai *setting highset* yang terlalu kecil sehingga kurva berada disebelah kiri dari titik *inrush*. Bila hal ini dibiarkan maka dapat merusak transformator TE. *Inrush* bukanlah sebuah

gangguanmelainkan merupakan kondisi saat transformator *energizing*. Pada kondisi ini pengaman tidak boleh bekerja. Sementara untuk *damage curve* rele harus mampu diamankan rele pengaman transformator sebelum transformator mengalami panas yang berlebih yang berdampak kerusakan fatal. Perlu diperhatikan juga *delay time* dari rele 26, *delay* sebaiknya terletak dibawah kurva 34, agar koordinasi sesuai dan kontinuitas daya tetap terjaga.

- Kurva rele 34 memiliki *time dial* yang terlalu tinggi dan juga *delay* yang tumpang tindih dengan kurva rele 26. Hal ini tidak diperbolehkan dalam koordinasi rele pengaman sehingga perlu dilakukan *setting* ulang. Rele 34 berfungsi sebagai *backup* dari rele 26.
- Rele 27 memiliki nilai *time dial* yang tinggi dan *delay time* kurang diperhatikan sehingga koordinasi kurang tepat. Rele sebaiknya harus bekerja sebelum mendekati *damage curve* untuk mencegah kerusakan transformator akibat panas berlebihan.
- Ketiga kurva juga terletak terlalu kekanan dari nilai *FLA* transformator. Hal ini dapat diatasi dengan mengatur ulang nilai *lowset* dari masing-masing rele agar tidak terlalu jauh dari *FLA* yang ditanggung.

4.4.3.1 Sistem Reseting Koordinasi Rele Pengaman Tipikal 3

Berikut adalah perhitungan *reseting* untuk parameter-parameter dari masing-masing rele yang terpasang pada tipikal 3.

Rele 26

<i>Manufacture</i>	: VA TECH HYDRO GmbH
<i>Model</i>	: Argus 1
<i>FLA</i> primer trafo TE1	: 18,19 A
Isc max bus bar 13	: 3,45 kA
Isc min bus bar 13	: 2,74 kA
<i>CT Ratio</i>	: 50/1

Time Overcurrent Pickup

$$1,05 \times FLA TE_{sek} < I_{set} < 1,4 \times FLA TE_{sek}$$

$$1,05 \times 18,19 < I_{set} < 1,4 \times 18,19$$

$$19,09 < I_{set} < 25,466$$

$$\frac{19,09}{50/1} < Tap < \frac{25,466}{50/1}$$

$$0,38 < Tap < 0,509$$

Dipilih $Tap = 0,4$
 $I_{set} = 20 \text{ A}$

Time Dial

Dipilih waktu operasi (td) = 0,7 s

$$td = \frac{80 \times K}{\left[\left(\frac{I}{I_{set}}\right)^2 - 1\right]}$$

$$K = \frac{td \times \left[\left(\frac{I}{I_{set}}\right)^2 - 1\right]}{80}$$

$$K = \frac{0,7 \times \left[\left(\frac{3450}{0,4 \times 50}\right)^2 - 1\right]}{80}$$

$$K = 26,6$$

Instantaneous Pickup

$$1,6 \times FLA < I_{>>} < 0,8 \times I_{scmin \text{ bus } 13}$$

$$1,6 \times 18,19 < I_{>>} < 0,8 \times 2740$$

$$29,104 < I_{>>} < 2192$$

$$\frac{29,104}{50/1} < Tap < \frac{2192}{50/1}$$

$$0,58 < Tap < 43,84$$

Dipilih $Tap = 1$
 $I_{set} = 50 \text{ A}$
 $Time \text{ delay} = 0,7 \text{ s}$

Rele 34

Manufacture : VA TECH HYDRO GmbH

Model : Argus 1

FLA sekunder trafo TE : 60,62 A

Isc max bus bar 32 : 1,2 kA

Isc min bus bar 32 : 0,997 kA
 CT Ratio : 100/1

Time Overcurrent Pickup

$$1,05 \times FLA T_{Esek} < I_{set} < 1,4 \times FLA T_{Esek}$$

$$1,05 \times 60,62 < I_{set} < 1,4 \times 60,62$$

$$63,651 < I_{set} < 84,868$$

$$\frac{63,651}{100/1} < Tap < \frac{84,868}{100/1}$$

$$0,636 < Tap < 0,848$$

Dipilih $Tap = 0,7$
 $I_{set} = 70 \text{ A}$

Time Dial

Dipilih waktu operasi (td) = 0,1 s

$$td = \frac{80 \times K}{\left[\left(\frac{I}{I_{set}}\right)^2 - 1\right]}$$

$$K = \frac{td \times \left[\left(\frac{I}{I_{set}}\right)^2 - 1\right]}{80}$$

$$K = \frac{0,1 \times \left[\left(\frac{1200}{0,7 \times 100}\right)^2 - 1\right]}{80}$$

$$K = 0,004$$

Instaneous Pickup

$$1,6 \times FLA < I_{>>} < 0,8 \times I_{sc \text{ min bus 32}}$$

$$1,6 \times 60,62 < I_{>>} < 0,8 \times 997$$

$$96,992 < I_{>>} < 797,6$$

$$\frac{96,992}{100/1} < Tap < \frac{797,6}{100/1}$$

$$0,969 < Tap < 7,976$$

Dipilih $Tap = 5,5$
 $I_{set} = 500 \text{ A}$
 Time delay = 0,1 s

Rele 27

<i>Manufacture</i>	: VA TECH HYDRO GmbH
<i>Model</i>	: Argus 1
<i>FLA</i>	: 60,9 A
Isc max bus bar 32	: 1,2 kA
Isc min bus bar 32	: 0,997 kA
<i>CT Ratio</i>	: 100/1

Time Overcurrent Pickup

$$1,05 \times FLA TE_{sek} < I_{set} < 1,4 \times FLA TE_{sek}$$

$$1,05 \times 60,9 < I_{set} < 1,4 \times 60,9$$

$$63,945 < I_{set} < 85,26$$

$$\frac{63,945}{100/1} < Tap < \frac{85,26}{100/1}$$

$$0,639 < Tap < 0,852$$

$$\begin{aligned} \text{Dipilih } Tap &= 0,7 \\ I_{set} &= 70 \text{ A} \end{aligned}$$

Time Dial

Dipilih waktu operasi (td) = 0,3 s

$$td = \frac{80 \times K}{\left[\left(\frac{I}{I_s}\right)^2 - 1\right]}$$

$$K = \frac{td \times \left[\left(\frac{I}{I_s}\right)^2 - 1\right]}{80}$$

$$K = \frac{0,3 \times \left[\left(\frac{1200}{0,7 \times 100}\right)^2 - 1\right]}{80}$$
$$K = 0,012$$

Instaneous Pickup

$$1,6 \times FLA < I_{>>} < 0,8 \times I_{scmin \text{ bus } 32}$$

$$1,6 \times 60,9 < I_{>>} < 0,8 \times 997$$

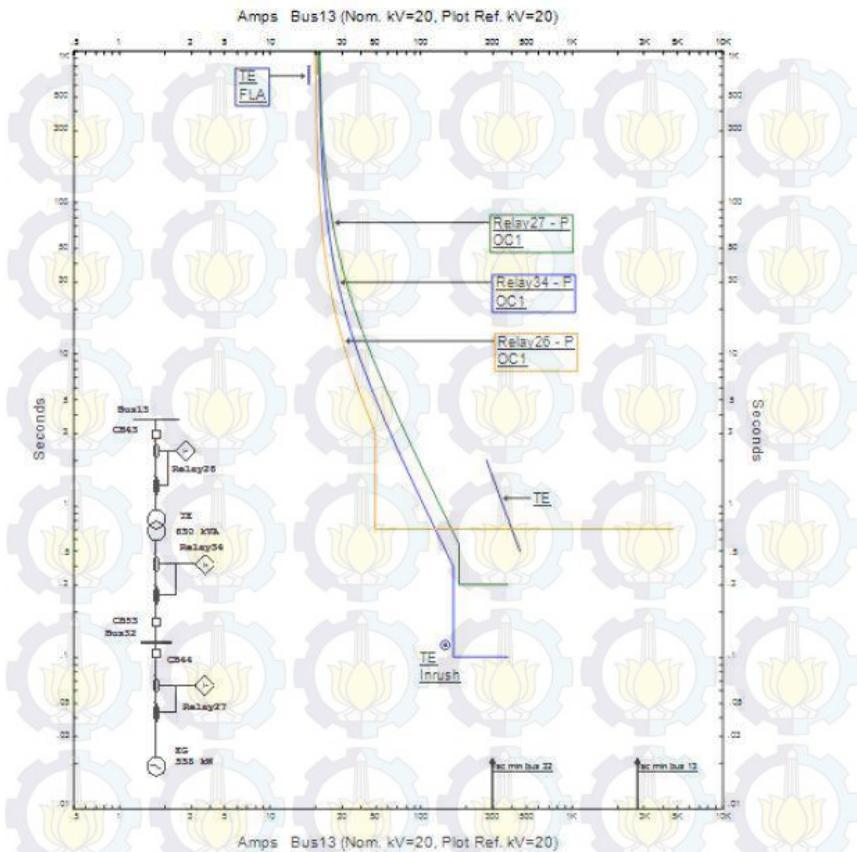
$$97,44 < I_{>>} < 797,6$$

$$\frac{97,44}{100/1} < Tap < \frac{797,6}{100/1}$$

$$0,974 < Tap < 7,976$$

Dipilih $Tap = 8$
 $I_{set} = 800 \text{ A}$
 $Time\ delay = 0,3 \text{ s}$

Setelah melakukan perhitungan untuk setiap parameter penyetelan rele. Dengan menggunakan simulasi dapat dilihat koordinasi kerja rele pada tipikal 3. Kurva hasil *reseting* pada koordinasi rele pengamanan tipikal 3 dapat dilihat pada gambar 4.11.



Gambar 4.11 Hasil plot setelan rele *reseting* tipikal 3

Dari hasil *reseting* dapat dilihat bila kurva rele 26, 34 dan 27 terletak disebelah kanan *inrush* dan tidak terlalu jauh dari nilai *FLA* dari transformator TE. Dengan *setting* seperti kurva pada gambar 4.11 maka rele 26 mampu melindungi transformator dan juga saluran pada tegangan 20 kV saat terjadi gangguan. Selain itu saat terjadi *inrush*, rele 26 tidak akan bekerja karena kurva terletak disebelah kanan dari titik *inrush* atau nilai arus *high set* di *setting* lebih besar. Rele 34 merupakan rele yang mengamankan transformator TE serta rele 27 .

4.5 Koordinasi Rele Arus Lebih Gangguan ke Tanah

Koordinasi rele arus lebih gangguan ke tanah digunakan untuk mengatasi gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah. Pada koordinasi arus lebih gangguan ke tanah, parameter yang digunakan hanya *Innstantaneous pickup* dan *time delay* saja. Besarnya arus lebih gangguan ke tanah sangat dipengaruhi oleh NGR yang dipasang karena arus hubung singkat ke tanah maksimal sama dengan NGR yang dipasang. Sedangkan apabila *grounding* trafonya berupa *solid grounded*, besarnya arus hubung singkat satu fasa ke tanah hampir sama dengan besarnya arus hubung singka 3 fasa sehingga setting rele gangguan ke tanah disamakan dengan setting rele fasa.

Sistem kelistrikan eksisting pada PT PJB Up Cirata adalah radial dengan tiga level tegangan utama, yaitu 16,5 kV, 20 kV dan 0,38 kV. Sedangkan pentanahan yang digunakan adalah seperti pada Tabel 4.7.

Tabel 4.7 Tingkat tegangan dan pentanahan peralatan

No.	Peralatan	Rating Tegangan	Pentanahan
1.	Generator GEN1	16,5 kV	NGR 200 A
2.	STR 1	16,5/20 kV	NGR 500 A
3.	HTR 1	20/0,38 kV	Solid
4.	HTR 5	20/0,38 kV	Solid
5.	TE	6/20 kV	NGR 300 A
6.	Generator EG	6 kV	NGR 200 A

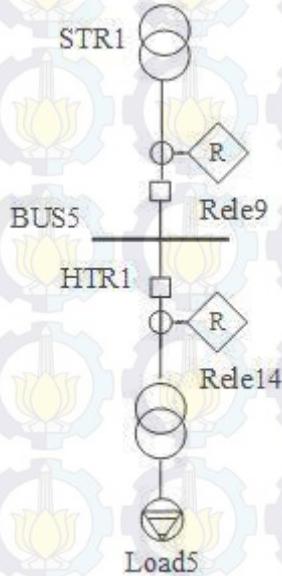
Dengan konfigurasi sistem seperti ini mengakibatkan koordinasi peralatan pengamanan arus gangguan ke tanah dapat dipisahkan pada tiap level tegangan, karena jika terjadi gangguan pada satu level tegangan tertentu, pengamanan yang berada pada satu feeder dengan tegangan berbeda tidak akan merasakan gangguan.

4.5.1 Koordinasi Rele Arus Lebih Gangguan Ke Tanah Tipikal 1

Pada tipikal 1, di tengah jalur terdapat trafo STR1 yang memiliki konfigurasi delta-woye Resistor, sehingga tipikal 1 dapat dibagi menjadi 2 zona dimana kedua zona ini tidak saling berhubungan apabila terjadi gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah.

Zona 1

Zona 1 dimulai dari trafo HTR1 sampai trafo STR1. Pada zona ini terdapat 2 rele, yaitu Relay 14 dan Relay 9. Besarnya arus hubung singkat satu fasa ke tanah sama dengan besarnya NGR yang terpasang di trafo STR1 yaitu 500 Ampere. Gambar rangkaian untuk tipikal 1 zona 1 ditunjukkan oleh Gambar 4.12.



Gambar 4.12 Rangkaian tipikal 1 *ground fault* zona 1

Perhitungan parameter dari rele 14 dan rele 9 adalah sebagai berikut :

Rele 14

Manufacture : VA TECH HYDRO GmbH

Model : Argus 1

Isc L-G : 500 A (20 kV)

CT Ratio : 50/1

Setting Relay

$$10\% \times I_{sc LG} \leq I_{set} \leq 50\% \times I_{sc LG}$$

$$10\% \times 500 \leq I_{set} \leq 50\% \times 500$$

$$50 \leq I_{set} \leq 250$$

$$\frac{50}{50/1} \leq Tap \leq \frac{250}{50/1}$$

$$1 \leq Tap \leq 5$$

Dipilih *Tap* = 2

Iset = 100 A

Dial = 0,1

Rele 9

Manufacture : VA TECH HYDRO GmbH

Model : Argus 1

Isc L-G : 500 A (20 kV)

CT Ratio : 100/1

Setting Relay

$$10\% \times I_{sc LG} \leq I_{set} \leq 50\% \times I_{sc LG}$$

$$10\% \times 500 \leq I_{set} \leq 50\% \times 500$$

$$50 \leq I_{set} \leq 250$$

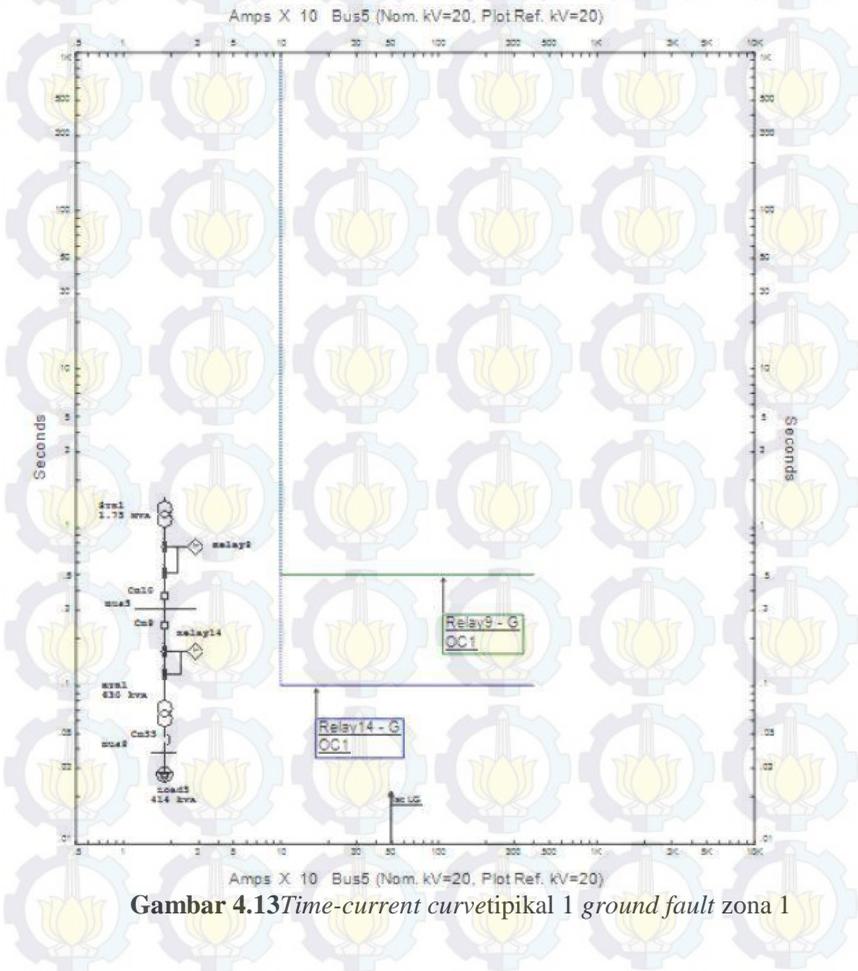
$$\frac{50}{100/1} \leq Tap \leq \frac{250}{100/1}$$

$$0,5 \leq Tap \leq 2,5$$

Dipilih *Tap* = 1

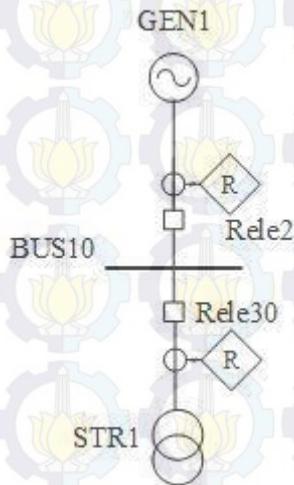
$I_{set} = 100 \text{ A}$
 $Dial = 0,5$

Dari perhitungan parameter-parameter di atas didapatkan *time-current curve* seperti tampak pada gambar 4.13



Zona 2

Zona 2 dimulai dari trafo STR1 sampai trafo Generator GEN1. Pada zona ini terdapat 2 rele, yaitu Relay 30 dan Relay 2. Besarnya arus hubung singkat satu fasa ke tanah sama dengan besarnya NGR yang terpasang di trafo STR1 yaitu 500 Ampere. Gambar rangkaian untuk tipikal 1 zona 2 ditunjukkan oleh Gambar 4.14.



Gambar 4.14Rangkaian tipikal 1 *ground fault* zona 2

Perhitungan parameter dari rele 30 dan rele 2 adalah sebagai berikut :

Rele 30

Manufacture

: VA TECH HYDRO GmbH

Model

: Argus 1

Isc L-G

: 500 A (16,5 kV)

CT Ratio

: 100/1

Setting Relay

$$10\% \times I_{sc LG} \leq I_{set} \leq 50\% \times I_{sc LG}$$

$$10\% \times 500 \leq I_{set} \leq 50\% \times 500$$

$$50 \leq I_{set} \leq 250$$

$$\frac{50}{100/1} \leq Tap \leq \frac{250}{100/1}$$

$$0,5 \leq Tap \leq 2,5$$

Dipilih $Tap = 1$
 $I_{set} = 100 \text{ A}$
 $Dial = 0,1$

Rele 2

Manufacture : VA TECH HYDRO GmbH
Model : Argus 1
Isc L-G : 200 A (16,5 kV)
CT Ratio : 5000/1

Setting Relay

$$10\% \times I_{sc LG} \leq I_{set} \leq 50\% \times I_{sc LG}$$

$$10\% \times 200 \leq I_{set} \leq 50\% \times 200$$

$$20 \leq I_{set} \leq 100$$

$$\frac{20}{5000/1} \leq Tap \leq \frac{100}{5000/1}$$

$$0,004 \leq Tap \leq 0,02$$

Pada kasus ini, tidak ada tap yang dapat memenuhi *range* dari rele. Oleh karena itu, disarankan untuk menambah *current transformer* untuk *ground* dengan rasio 100/5 yang dipasang secara Z CT. Dengan menambah CT untuk *ground* dengan rasio 100/5 maka perhitungannya akan menjadi seperti di bawah ini :

Setting Relay

$$10\% \times I_{sc LG} \leq I_{set} \leq 50\% \times I_{sc LG}$$

$$10\% \times 200 \leq I_{set} \leq 50\% \times 200$$

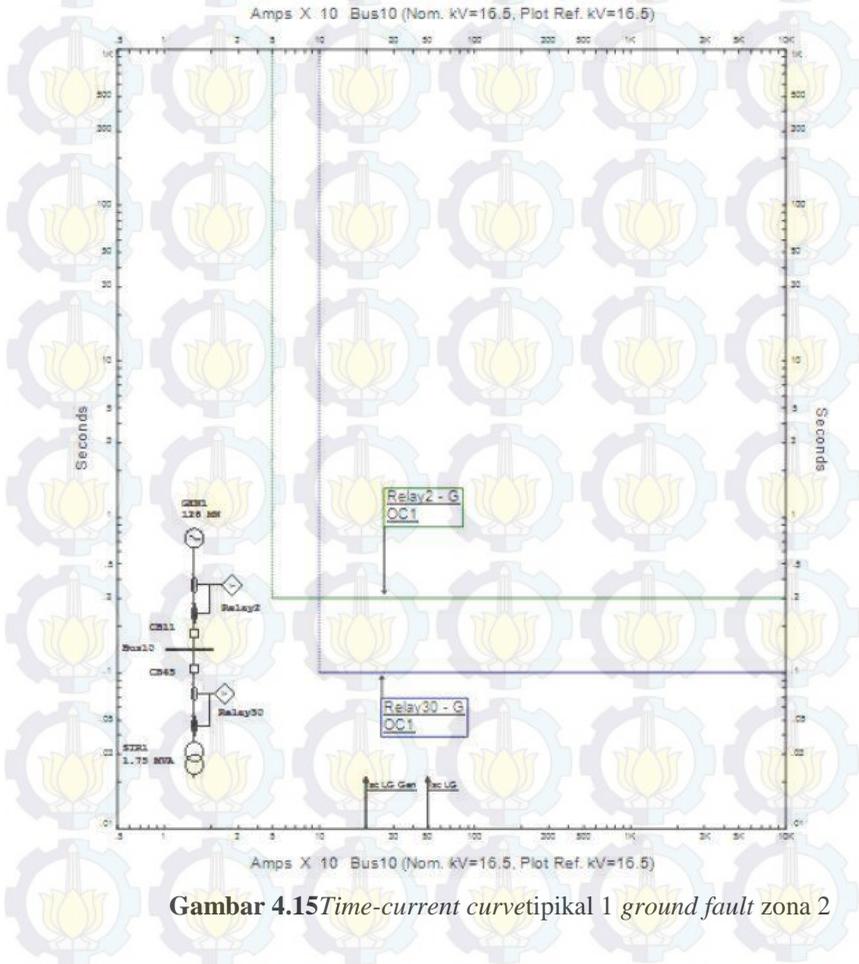
$$20 \leq I_{set} \leq 100$$

$$\frac{20}{100/1} \leq Tap \leq \frac{100}{100/1}$$

$$0,2 \leq Tap \leq 1$$

Dipilih *Tap* = 0,5
Iset = 50 A
Dial = 0,3

Dari perhitungan parameter-parameter di atas didapatkan *time-current curves* seperti tampak pada gambar 4.15



Gambar 4.15 *Time-current curve* tipikal 1 ground fault zona 2

$$10\% \times 500 \leq I_{set} \leq 50\% \times 500$$

$$50 \leq I_{set} \leq 250$$

$$\frac{50}{50/1} \leq Tap \leq \frac{250}{50/1}$$

$$1 \leq Tap \leq 5$$

Dipilih *Tap* = 2

I_{set} = 100 A

Dial = 0,1

Rele 28

Manufacture : SIEMENS

Model : 7SJ63

I_{sc} L-G : 500 A (20 kV)

CT Ratio : 50/1

Setting Relay

$$10\% \times I_{sc LG} \leq I_{set} \leq 50\% \times I_{sc LG}$$

$$10\% \times 500 \leq I_{set} \leq 50\% \times 500$$

$$50 \leq I_{set} \leq 250$$

$$\frac{50}{50/1} \leq Tap \leq \frac{250}{50/1}$$

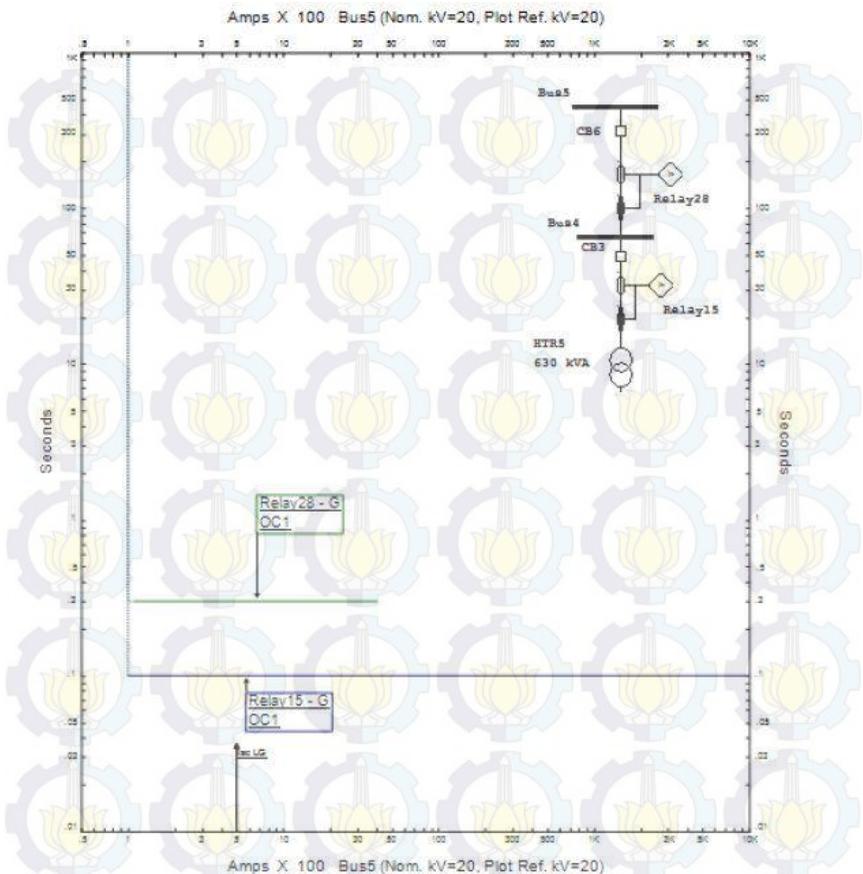
$$1 \leq Tap \leq 5$$

Dipilih *Tap* = 2

I_{set} = 100 A

Dial = 0,3

Dari perhitungan parameter-parameter di atas didapatkan *time-current curve* seperti tampak pada gambar 4.17



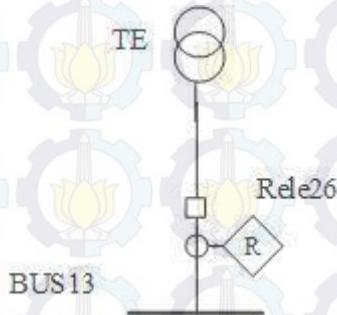
Gambar 4.17 Time-current curvetipikal 2ground fault

4.5.3 Koordinasi Rele Arus Lebih Gangguan Ke Tanah Tipikal 3

Pada tipikal 3, di tengah jalur terdapat trafo TE yang memiliki konfigurasi delta-wye Resistor, sehingga tipikal 3 dapat dibagi menjadi 2 zona dimana kedua zona ini tidak saling berhubungan apabila terjadi gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah.

Zona 1

Zona 1 dimulai dari trafo bus 13 sampai trafo TE. Pada zona ini terdapat rele, yaitu Relay 26. Besarnya arus hubung singkat satu fasa ke tanah sama dengan besarnya NGR yang terpasang di trafo STR1 yaitu 300 Ampere. Gambar rangkaian untuk tipikal 3 zona 1 ditunjukkan oleh Gambar 4.18.



Gambar 4.18 Rangkaian tipikal 3 ground fault zona 1

Perhitungan parameter dari rele 30 dan rele 2 adalah sebagai berikut :

Rele 26

Manufacture

: VA TECH HYDRO GmbH

Model

: Argus 1

Isc L-G

: 300 A (20 kV)

CT Ratio

: 50/1

Setting Relay

$$10\% \times I_{sc LG} \leq I_{set} \leq 50\% \times I_{sc LG}$$

$$10\% \times 300 \leq I_{set} \leq 50\% \times 300$$

$$30 \leq I_{set} \leq 150$$

$$\frac{30}{50/1} \leq Tap \leq \frac{150}{50/1}$$

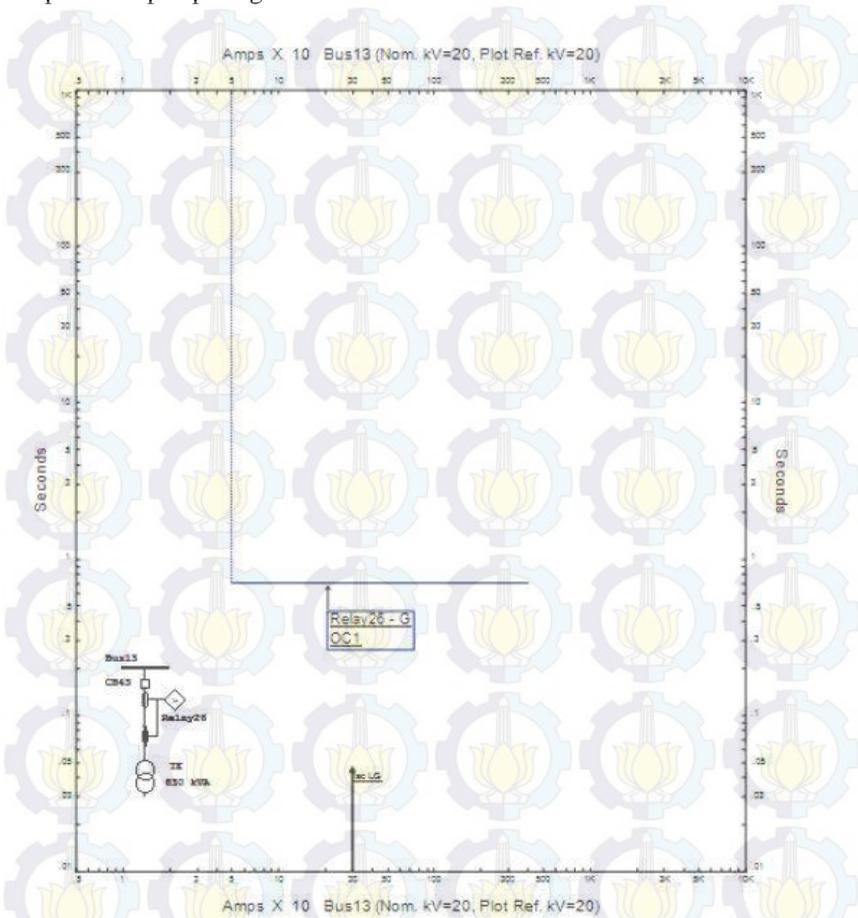
$$0,6 \leq Tap \leq 3$$

Dipilih *Tap* = 1

Iset = 100 A

Dial = 0,7

Dari perhitungan parameter-parameter di atas didapatkan *time curve* seperti tampak pada gambar 4.19

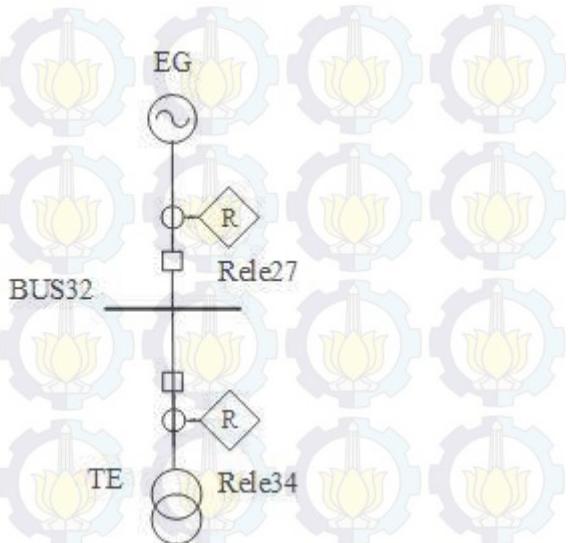


Gambar 4.19 *Time-current curve* tipikal 3ground fault zona 1

Zona 2

Zona 2 dimulai dari trafo bus 13 sampai trafo TE. Pada zona ini terdapat 2 rele, yaitu rele34 dan rele 27. Besarnya arus hubung singkat satu fasa ke tanah sama dengan besarnya NGR yang terpasang di trafo

STR1 yaitu 200 Ampere. Gambar rangkaian untuk tipikal 3 zona 2 ditunjukkan oleh gambar 4.20.



Gambar 4.20Rangkaian tipikal 3ground fault zona 2

Relé 34

Manufacture : VA TECH HYDRO GmbH
Model : Argus I
Isc L-G : 300 A (6 kV)
CT Ratio : 100/1

Setting Relay

$$10\% \times I_{sc LG} \leq I_{set} \leq 50\% \times I_{sc LG}$$

$$10\% \times 300 \leq I_{set} \leq 50\% \times 300$$

$$30 \leq I_{set} \leq 150$$

$$30 \leq \frac{150}{100/1} \leq \frac{150}{100/1}$$

$$0,3 \leq Tap \leq 1,5$$

Dipilih *Tap* = 1
Iset = 100 A
Dial = 0,1

Rele 27

Manufacture

: SIEMENS

Model

: 7SJ63

Isc L-G

: 200 A (6 kV)

CT Ratio

: 100/1

Setting Relay

$$10\% \times I_{sc LG} \leq I_{set} \leq 50\% \times I_{sc LG}$$

$$10\% \times 200 \leq I_{set} \leq 50\% \times 200$$

$$20 \leq I_{set} \leq 100$$

$$\frac{20}{100/1} \leq Tap \leq \frac{100}{100/1}$$

$$0,2 \leq Tap \leq 1$$

Dipilih *Tap*

$$= 0,5$$

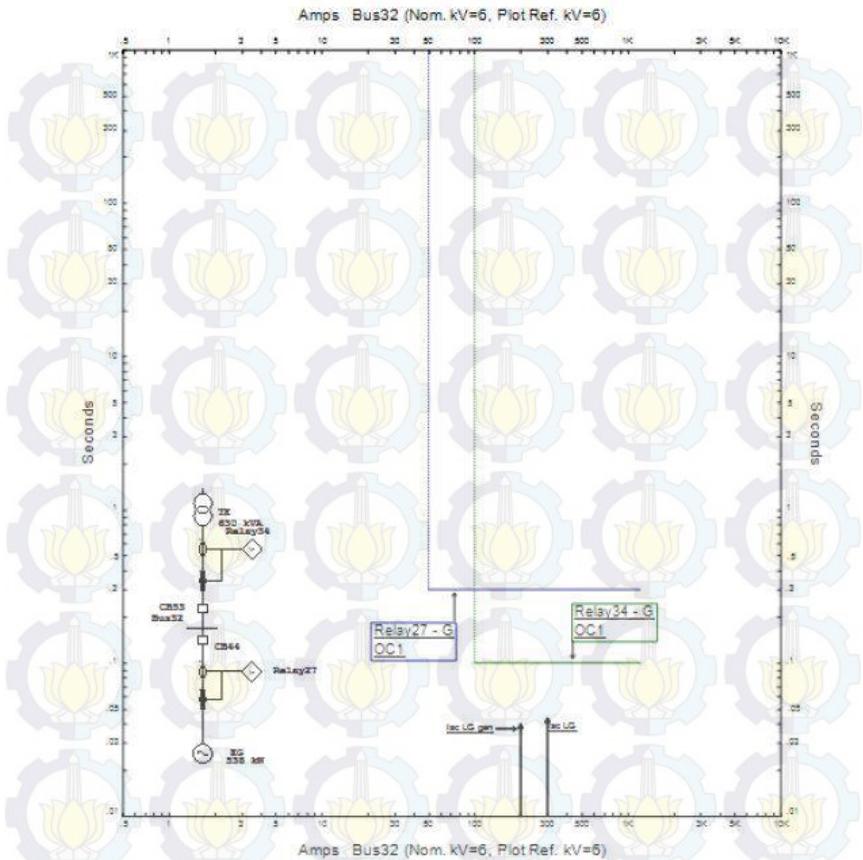
Iset

$$= 50 \text{ A}$$

Dial

$$= 0,3$$

Dari perhitungan parameter-parameter di atas didapatkan *time curve* seperti tampak pada gambar 4.21



Gambar 4.21 Time-current curve tipikal 3 ground fault zona 2

Untuk hasil perbandingan dari *existing* dengan *resetting* rele arus lebih maka dapat dilihat pada tabel 4.8.

Tabel 4.8 Perbandingan *existing* dan *resetting* tipikal 1

No.	Relay ID & Model	CT Rasio	Setting		
1.	Rele 14 Argus 1	50/1	Pickup	0,65	0,4
			Amp range	0,65-32.5	0,4-20
			Time dial	0,1	1,6
			Instantaneous Pickup	3	5
			Amp range	3-150	5-250
			Delay	0,1	0,1
2.	Rele 9 Argus 1	100/1	Pickup	0,75	0,55
			Amp range	0,75-75	0,55-55
			Time dial	0,3	1,4
			Instantaneous Pickup	2	6,5
			Amp range	2-200	6,5-650
			Delay	0,1	0,5
3	Rele 30 Argus 1	100/1	Pickup	0,95	0,7
			Amp range	0,95-95	0,7-70
			Time dial	0,8	1,6
			Instantaneous Pickup	9	15
			Amp range	9-900	15-15000
			Delay	0,3	0,1
4	Rele 2 Argus 1	100/1	Pickup	1,1	1,03
			Amp range	1,1-5500	1,03-5150
			Time dial	0,1	0,1
			Instantaneous Pickup	0,95	1,6
			Amp range	0,95-4750	1,6-8000
			Delay	0,7	0,3
5.	LVCB55 SIEMENS 3WN1/5, 3WS1	1600	LT Pickup	0,65	0,65
			Amp range	1040	1040
			LT Band	2	2
			ST Pickup	2	2
			Amp range	2080	2080
			ST Band	0,01	0,01

Tabel 4.9Perbandingan *existing* dan *resetting* tipikal 2

No.	Relay ID & Model	CT Rasio	Setting		
1.	LVCB51 SIEMENS 3WN1/5, 3WS1	1600	<i>LT Pickup</i>	0,4	0,45
			<i>Amp range</i>	640	720
			<i>LT Band</i>	2	2
			<i>ST Pickup</i>	2	2
			<i>Amp range</i>	1280	2080
			<i>ST Band</i>	0,01	0,01
2.	Rele 15 Argus 1	50/1	<i>Pickup</i>	0,7	0,4
			<i>Amp range</i>	0,7-35	0,4-20
			<i>Time dial</i>	0,53	1,2
			<i>Instantaneous Pickup</i>	4	5,5
			<i>Amp range</i>	4-200	5,5-275
			<i>Delay</i>	0,3	0,1
3	Rele 28 Argus 1	50/1	<i>Pickup</i>	1	0,77
			<i>Amp range</i>	1-50	0,77- 38,5
			<i>Time dial</i>	0,7	2,6
			<i>Instantaneous Pickup</i>	5	13
			<i>Amp range</i>	5-250	13-650
			<i>Delay</i>	0,1	0,3

Tabel 4.10Perbandingan *existing* dan *resetting* tipikal 3

No.	Relay ID & Model	CT Rasio	Setting		
1.	Rele 26 Argus 1	50/1	<i>Pickup</i>	0,5	0,4
			<i>Amp range</i>	0,5-25	0,4-20
			<i>Time dial</i>	0,4	0,2
			<i>Instantaneous Pickup</i>	2	1
			<i>Amp range</i>	2-100	1-50
			<i>Delay</i>	0,5	0,7
2.	Rele 34 Argus 1	100/1	<i>Pickup</i>	0,9	0,7
			<i>Amp range</i>	0,9-90	0,7-70
			<i>Time dial</i>	0,55	0,3
			<i>Instantaneous Pickup</i>	6	5,5
			<i>Amp range</i>	5-600	5,5- 500
			<i>Delay</i>	0,3	0,1
3	Rele 27 Argus 1	100/1	<i>Pickup</i>	0,9	0,7
			<i>Amp range</i>	0,9-90	0,7-70
			<i>Time dial</i>	1	0,5
			<i>Instantaneous Pickup</i>	9	8
			<i>Amp range</i>	9-900	8-800
			<i>Delay</i>	0,7	0,3

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Said Bamatraf, Rifgy, " *Studi Koordinasi Proteksi Sistem Pembangkit UP Gresik (PLTG dan PLTU)* " tugas akhir, ITS, 2012
- [2] Wahyudi, " *Diktat Kuliah Pengaman Sistem Tenaga Listrik* ", Teknik Elektro ITS, Surabaya, Bab 2, 2004
- [3] Lazar, Irwin, " *Electrical System Analysis and Design for Industrial Plant* ", McGraw-Hill Inc., USA, Ch. 1, 1980
- [4] IEEE Std 242-2001TM, " *IEEE Recommended Practice for Protection and Coordination of Industrial and Commercial Power Systems* ", The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc., New York, 2001
- [5] Ahmad Yusuf Kurniawa, " *Studi Koordinasi Proteksi PT. PJB UP Gresik (PLTU Blok 3)* ", tugas akhir, ITS, 2014
- [6] Erik bramadin, " *Studi Koordinasi Proteksi Pada Pabrik Alumina PT Antam (persero) TBK* " tugas akhir, ITS, 2012
- [7] Sutherland, Peter E., " *Protective Device Coordination in an Industrial Power System with Multiple Sources* ", New York : General Electric Co.
- [8] Gers, Juan M., dan Holmes, Edward J., " *Protection of Electrical Distribution Network 2nd Edition* ", The Institution of Electrical Engineers, London, Ch. 5, 2004
- [9] Prévé, Christophe, " *Protection of Electrical Networks* ", ISTE Ltd., London, Ch. 7, 9, 2006



BAB V PENUTUP

5.1 KESIMPULAN

Berdasarkan hasil yang didapatkan dari simulasi dan analisis pada tugas akhir ini, dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

- Pada *setting* rele arus lebih gangguan fasa tipikal 1, rele 14 dan rele 9 bekerja secara bersamaan sehingga perlu di *setting* ulang untuk mendapat koordinasi yang lebih baik dengan menjadikan rele 9 sebagai *backup* dari rele 14. Nilai dari *highset* pada tipikal 1 juga perlu diatur untuk menghindari titik *inrush* dari transformator HTR1, sehingga bila terjadi *trip* lokasi gangguan yang dideteksi tidak terlalu luas.
- Rele 15 dan 28 perlu diperhatikan *time delay* untuk menjaga kontinuitas daya bila terjadi gangguan. Nilai *time delay* dari rele 28 lebih kecil dari nilai *time delay* rele 15, hal ini tidak sesuai dengan koordinasi proteksi yang diharapkan.
- *Setting lowset* pada rele-rele yang terpasang di sistem kelistrikan PT. PJB UP Cirata masih memiliki kekurangan yaitu nilai *pickup* terlalu besar sehingga pada kurva terlihat terlalu kekanan. Nilai *pickup* yang besar akan menyebabkan kerusakan pada peralatan transformator karena transformator akan menanggung beban yang berlebihan dari kemampuan yang sebenarnya. Beban yang terlalu berlebihan akan menyebabkan panas pada peralatan dan bila dibiarkan akan berakibat fatal.
- Nilai *time delay* adalah waktu kerja rele saat mendeteksi gangguan. *Time delay* berpengaruh pada koordinasi antara rele satu dengan rele yang lain. Semakin mendekati beban rele harus bekerja semakin cepat, sementara rele yang dibelakang harus mampu menjadi *backup* dengan selisih kerja 0.2 detik sesuai ketentuan.

5.2 SARAN

Saran yang dapat diberikan untuk perbaikan dan pengembangan simulasi ini adalah sebagai berikut :

- Pada *setting* rele yang didapat dari analisa dan perhitungan pada tugas akhir ini, dapat dijadikan pertimbangan dan referensi untuk melakukan setting yang sebenarnya.



Coordination Study Protection System At PLTA PT. PJB Cirata Generation Unit

Student Name : Sherdian Sukma Rahardani
NRP : 2212105030
Advisor I : Dr. Ir. Margo Pujiantara, MT
NIP : 196603181990101001
Advisor II : Feby Agung Pamuji ST., MT
NIP : 198702062012121002

ABSTRACT

Protection system of electric power are important in maintaining continuity of supply at PT. PJB Cirata. In addition to be distributed to the transmission of 500 kV, Cirata's generation used to power in internal electricity needs. The electricy system internal have some disadvantages, when the electric power system equipment have load often experience excess heat. If allowed continuous would spoil the equipment itself. Age of equipment also affect the reliability of equipment at PT. PJB Cirata which has been 30 years old. To improve the performance of protection systems need to do analysis and coordination protection relay against a setting that is as relay over current. This analysis can be done by describing the over current relay curve characteristic (overcurrent relay). Before to setting the full burden, the hyphen brief, and setting the time from ove rcurrent relay need to do more calculations the manual. The analysis result of obtained coordination resetting the over current relay and also a plot a curve a current-time to electric system PT. PJB Cirata.

Keywords : coordination, setting, resetting



Halaman Ini Sengaja Dikosongkan

KATA PENGANTAR

Puji Syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT atas segala Rahmat, Karunia, dan Petunjuk yang telah dilimpahkan-Nya sehingga penulis mampu menyelesaikan tugas akhir dengan judul **“Studi Koordinasi Sistem Proteksi Pada PLTA PT. PJB Pembangkitan Cirata”**.

Tugas Akhir ini disusun sebagai salah satu persyaratan untuk menyelesaikan jenjang pendidikan S1 pada Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Atas selesainya penyusunan tugas akhir ini, penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada :

1. Allah SWT yang senantiasa memberikan petunjuk-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini.
2. Kedua orang tua dan keluarga yang selalu memberikan dukungan dan doa.
3. Dr. Ir. Margo Pujiantara, MT dan Feby Agung Pamuji ST., MT sebagai dosen pembimbing yang telah memberikan arahan dan perhatiannya selama tugas akhir.
4. Bapak Dr. Tri Arief Sardjono, ST., MT. selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro ITS.
5. Teman-teman sewaktu D3, Dwiky, Gusti dan Kemal yang telah memberikan bantuan dan dukungan kepada penulis dalam menyelesaikan tugas akhir.
6. Seluruh Dosen dan Karyawan di jurusan Teknik Elektro ITS atas fasilitas dan waktu yang diberikan.
7. Semua teman-teman mahasiswa Lintas Jalur Teknik Elektro ITS angkatan 2013 semester ganjil bidang studi Teknik Sistem Tenaga.

Semoga tugas akhir ini bermanfaat bagi mahasiswa maupun peneliti. Penulis menyadari bahwa masih banyak kekurangan, untuk itu kritik dan saran diharapkan untuk penyempurnaan tugas akhir ini.

Surabaya, Juli 2015
Penulis



Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR ISI

	HALAMAN
JUDUL	
LEMBAR PERNYATAAN	
HALAMAN PENGESAHAN	
ABSTRAK	i
ABSTRACT	iii
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xiii
BAB 1 PENDAHULUAN	
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Perumusan Masalah	2
1.3. Batasan Masalah	2
1.4. Tujuan	2
1.5. Metodologi	2
1.6. Sistematika	3
1.7. Relevansi	4
BAB 2 KOORDINASI PROTEKSI SISTEM TENAGA LISTRIK	
2.1. Gangguan Sistem Tenaga Listrik	5
2.2. Gangguan Beban Lebih	6
2.3. Gangguan Hubung Singkat	6
2.3.1. Sumber Arus Hubung Singkat	7
2.4. Perhitungan Arus Hubung Singkat	8
2.4.1. Hubung Singkat 3 Fasa	10
2.4.2. Hubung Singkat 2 Fasa	10
2.4.3. Hubung Singkat Satu Fasa ke Tanah	10
2.5. Trafo Arus (<i>Current Transformer</i>)	10
2.6. Rele Pengaman	11
2.6.1. Pengertian dan Fungsi Rele Pengaman	11
2.6.2. Elemen Dasar Rele Pengaman	12
2.6.3. Daerah Pengaman	13
2.6.4. Syarat-Syarat Rele Pengaman	14
2.7. Rele Arus Lebih (<i>Over Current Relay</i>)	16
2.7.1. Rele Arus Lebih Waktu Tertentu	17

2.7.2. Rele Arus Lebih Waktu Invers	18
2.7.3. Rele Arus Lebih Waktu Instan	19
2.8. Penyetelan Rele Arus Lebih	20
2.8.1. <i>Setting</i> Rele Arus Lebih Waktu Invers	20
2.8.2. <i>Setting</i> Rele Arus Lebih Waktu Instan	21
2.8.3. Koordinasi Berdasarkan Arus dan Waktu	22
2.9. Rele Gangguan Ke Tanah	23

BAB 3 SISTEM KELISTRIKAN PT. PJB UNIT PEMBANGKITAN CIRATA

3.1. Sistem Kelistrikan PLTA Cirata.....	25
3.2. Jumlah Total Pembangkitan dan <i>Demand</i>	26
3.3. Kapasitas PLTA Cirata.....	27
3.4. Sistem Distribusi di PT. PJB Unit Pembangkitan Cirata.....	28
3.5. Beban Tenaga Listrik di PT. PJB Unit Pembangkitan Cirata.....	30

BAB 4 HASIL SIMULASI DAN ANALISA KOORDINASI PROTEKSI PLTA PADA PT. PJB UP CIRATA

4.1. Pemodelan Sistem Kelistrikan Pada PT. PJB UP Cirata	33
4.2. Pemilihan Tipikal Koordinasi Pada PT. PJB UP Cirata	33
4.3. Analisis Arus Gangguan Hubung Singkat	36
4.3.1. Hubung Singkat Minimum.....	37
4.3.2. Hubung Singkat Maksimum	38
4.4. Koordinasi rele Arus Lebih Gangguan Fasa.....	40
4.4.1. Koordinasi Rele Arus Lebih Gangguan Fasa Tipikal 1	40
4.4.1.1. Sistem Reseting Koordinasi Rele Pengaman Tipikal 1	44
4.4.2. Koordinasi Rele Arus Lebih Gangguan Fasa Tipikal 2	52
4.4.2.1. Sistem Reseting Koordinasi Rele Pengaman Tipikal 2	55
4.4.3. Koordinasi Rele Arus Lebih Gangguan Fasa Tipikal 3	60
4.4.3.1. Sistem Reseting Koordinasi Rele Pengaman Tipikal 3	63
4.5. Koordinasi rele Arus Lebih Gangguan ke Tanah.....	69
4.5.1. Koordinasi Rele Arus Lebih Gangguan Fasa ke Tanah 1 .	70
4.5.2. Koordinasi Rele Arus Lebih Gangguan Fasa ke Tanah 2 .	76
4.5.3. Koordinasi Rele Arus Lebih Gangguan Fasa ke Tanah 3 .	78

BAB 5 PENUTUP

5.1. Kesimpulan.....	85
5.2. Saran.....	86

DAFTAR PUSTAKA.....	77
----------------------------	-----------

BIOGRAFI PENULIS

LAMPIRAN





Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Koefisien <i>Invers Time Dial</i>	21
Tabel 3.1	Pembangkit Utama Tipe <i>Swing</i>	26
Tabel 3.2	Pembangkit Utama Tipe <i>Non Swing</i>	26
Tabel 3.3	Data Total <i>Demand</i> pada PT. PJB	26
Tabel 3.4	Data <i>Emergency Generator</i>	27
Tabel 3.5	Data Kapasitas Pembangkit PLTA	27
Tabel 3.6	Data Kapasitas Transformator pada PLTA Cirata	29
Tabel 3.7	Data Busbar pada PLTA Cirata	30
Tabel 3.8	Data Beban pada Bus 0.38 kV	31
Tabel 3.9	Data Beban pada Bus 20 kV	31
Tabel 3.10	Data Beban pada Bus 16.5 kV	32
Tabel 4.1	Data Arus Hubung Singkat Minimum	37
Tabel 4.2	Data Arus Hubung Singkat Maksimum 0.5 <i>Cycle</i>	38
Tabel 4.3	Data Arus Hubung Singkat Maksimum 4 <i>Cycle</i>	39
Tabel 4.4	Data Rele <i>Existing</i> Tipikal 1	42
Tabel 4.5	Data Rele <i>Existing</i> Tipikal 2	53
Tabel 4.6	Data Rele <i>Existing</i> Tipikal 3	61
Tabel 4.7	Tingkat Tegangan dan Peralatan Pentanahan	69
Tabel 4.8	Perbandingan <i>Existing</i> dan <i>Resetting</i> Tipikal 1	84
Tabel 4.9	Perbandingan <i>Existing</i> dan <i>Resetting</i> Tipikal 2	85
Tabel 4.10	Perbandingan <i>Existing</i> dan <i>Resetting</i> Tipikal 3	86



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Arah Aliran Arus Saat Hubung Singkat	9
Gambar 2.2	Alur Kerja Rele	11
Gambar 2.3	Pembagian Kerja Rele Pengaman	11
Gambar 2.4	Konsep Dasar Rele Pengaman	13
Gambar 2.5	Sensitivitas Rele Terhadap Gangguan	15
Gambar 2.6	Karakteristik Rele Arus Lebih Waktu Tertentu	17
Gambar 2.7	Karakteristik <i>standard inverse</i> , <i>very inverse</i> dan <i>extremely inverse</i>	18
Gambar 2.8	Karakteristik Rele Arus Lebih Instan	19
Gambar 2.9	Kombinasi IDMT dengan OCR	20
Gambar 2.10	Rele Arus Lebih Pengaman Transformator	22
Gambar 3.1	<i>Single Line Diagram</i> PLTA Unit Pembangkitan Cirata.....	25
Gambar 4.1	Tipikal Koordinasi 1 dan 2.....	35
Gambar 4.2	Tipikal Koordinasi 3	36
Gambar 4.3	<i>Single Line</i> Tipikal 1	41
Gambar 4.4	Hasil Plot Rele <i>Existing</i> Tipikal 1	43
Gambar 4.5	Hasil Plot Rele <i>Reseting</i> Tipikal 1	51
Gambar 4.6	<i>Single Line</i> Tipikal 2.....	52
Gambar 4.7	Hasil Plot Rele <i>Existing</i> Tipikal 1	54
Gambar 4.8	Hasil Plot Rele <i>Reseting</i> Tipikal 2	59
Gambar 4.9	<i>Single Line</i> Tipikal 3	60
Gambar 4.10	Hasil Plot Rele <i>Existing</i> Tipikal 3.....	62
Gambar 4.11	Hasil Plot Rele <i>Reseting</i> Tipikal 3	68
Gambar 4.12	Rangkaian Tipikal 1 <i>Ground Fault</i> Zona 1	70
Gambar 4.13	<i>Time-Current Curve</i> Tipikal 1 <i>Ground Fault</i> Zona 1 ..	72
Gambar 4.14	Rangkaian Tipikal 1 <i>Ground Fault</i> Zona 2	73
Gambar 4.15	<i>Time-Current Curve</i> Tipikal 1 <i>Ground Fault</i> Zona 2 ..	75
Gambar 4.16	Rangkaian Tipikal 2 <i>Ground Fault</i>	76
Gambar 4.17	<i>Time-Current Curve</i> Tipikal 2 <i>Ground Fault</i>	78
Gambar 4.18	Rangkaian Tipikal 3 <i>Ground Fault</i> Zona 1	79
Gambar 4.19	<i>Time-Current Curve</i> Tipikal 3 <i>Ground Fault</i> Zona 1 ..	80
Gambar 4.20	Rangkaian Tipikal 3 <i>Ground Fault</i> Zona 2	81
Gambar 4.21	<i>Time-Current Curve</i> Tipikal 3 <i>Ground Fault</i> Zona 2 ..	83



BIOGRAFI



Sherdian Sukma Rahardani terlahir sebagai anak ketiga dari tiga bersaudara di Surabaya pada tanggal 22 Desember 1990. Praktikan menyelesaikan pendidikan Sekolah Menengah Atas di SMAN 9 Surabaya pada tahun 2009. Penulis melanjutkan studi dan menyelesaikan diploma (D3) pada bidang Teknik Elektro Industri di Politeknik Elektronika Negeri Surabaya (PENS) tahun 2012. Hingga sekarang penulis masih menempuh pendidikan sarjana (S1) program lintas jalur pada bidang Teknik Sistem Tenaga Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS). Email: rahardani22@gmail.com

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pasokan daya pada suatu sistem tenaga listrik di perusahaan pembangkitan tenaga listrik harus berjalan secara terus menerus. Hal ini diperlukan agar daya pada beban tidak terganggu sehingga konsumen menerima tenaga listrik sesuai kebutuhan. Apabila sistem kelistrikan tersebut mengalami gangguan maka proses penyaluran daya dari pembangkit menuju ke beban tersebut dapat berhenti dan mengalami kerugian yang cukup besar. Gangguan yang terjadi juga dapat menimbulkan terjadinya kerusakan pada peralatan yang mendukung proses produksi. Oleh karena itu diperlukan sistem proteksi yang sesuai untuk mengamankan peralatan yang terpasang dari gangguan yang mungkin terjadi.

Peralatan proteksi yang digunakan juga harus diperhatikan tingkat keandalannya, hal ini dimaksudkan agar setiap terjadi gangguan maka peralatan proteksi tersebut dapat merespon dengan baik dan mengamankan dengan segera. Namun, seiring berjalannya waktu maka tingkat keandalan dari peralatan proteksi akan semakin menurun. Oleh sebab itu, pada suatu titik, peralatan proteksi tersebut harus diperbarui untuk mendapatkan sistem proteksi yang memiliki tingkat keandalan yang tinggi. Dengan adanya sistem proteksi yang handal diharapkan gangguan yang terjadi dapat dilokalisasi sehingga daerah-daerah lain tidak terganggu pasokan dayanya. Lebih lanjut, diperlukan koordinasi dari alat-alat sistem proteksi tersebut agar tidak terjadi kesalahan kerja dari masing-masing sistem proteksi. Diharapkan ketika terjadi gangguan maka pemutus atau *circuit breaker* (CB) yang terdekat dengan titik gangguan bekerja untuk mengamankan gangguan tersebut. Tetapi bila CB gagal maka CB berikutnya, Atau *backup* yang bekerja untuk mengamankan sistem dari gangguan. Hal ini dilakukan dengan memperhatikan prioritas beban dan juga peralatan yang terpasang, sehingga *setting* rele dapat dilakukan dan terbentuk koordinasi yang tepat.

PT. PJB UP Cirata memiliki sistem proteksi eksisting yang sudah berusia lebih dari 30 tahun dan sering terjadi *malfunction*. Oleh karena itu perlu dilakukan penggantian peralatan proteksi untuk menjaga keandalan dan sistem tenaga listrik berjalan optimal. Sehubungan

dengan hal tersebut, maka tugas akhir ini difokuskan pada studi koordinasi proteksi untuk mengetahui *setting* rele yang tepat setelah penggantian peralatan sistem proteksi di PT. PJB UP Cirata.

1.2 Perumusan Masalah

Permasalahan yang akan dibahas pada tugas akhir ini adalah:

1. Bagaimana memodelkan dan mensimulasikan perencanaan setting koordinasi rele pengaman di PT. PJB Unit Pembangkitan Cirata.
2. Analisa short circuit pada sistem kelistrikan PT. PJB Unit Pembangkitan Cirata.
3. Bagaimana mengatur sistem koordinasi proteksi yang handal pada PT. PJB Unit Pembangkitan Cirata dengan analisa kurva perencanaan setting koordinasi rele pengaman pada sistem kelistrikannya.

1.3 Batasan Masalah

Mengingat ruang lingkup yang luas, maka batasan masalah pada tugas akhir ini adalah :

1. Peralatan pengaman yang dilakukan penyetelan dan koordinasi adalah rele arus lebih dan rele gangguan ke tanah.
2. Simulasi menggunakan software ETAP 11.0
3. Koordinasi dilakukan berdasarkan tipikal yang mewakili *single line diagram*.

1.4 Tujuan

Tujuan yang ingin dicapai pada tugas akhir ini adalah untuk mendapatkan setelan dan koordinasi rele arus lebih dan rele pengaman gangguan tanah yang tepat pada sistem kelistrikan PT. PJB Unit Pembangkitan Cirata yang belum melakukan studi koordinasi ulang setelah penambahan pembangkit selama kurun waktu 30 tahun.

1.5 Metodologi

Metodologi penelitian yang digunakan pada tugas akhir ini adalah :

1. Studi literatur
Hal yang dilakukan pertama kali yaitu mempelajari buku serta referensi yang berhubungan dengan koordinasi proteksi. Hal ini dilakukan untuk menambah pemahaman mengenai permasalahan

yang dihadapi dan mengetahui langkah-langkah dalam menyelesaikan permasalahan tersebut.

2. Pengumpulan data

Data yang diperlukan adalah *rating* trafo, kabel, motor, kapasitas busbar dan *single line diagram* PT. PJB Unit Pembangkitan Cirata.

3. Pemodelan

Pemodelan sistem kelistrikan PT. PJB Unit Pembangkitan Cirata dalam bentuk *single line diagram* menggunakan software ETAp 11.0. Pemodelan dilakukan untuk mendapatkan studi aliran daya dan besar arus hubung singkatnya.

4. Simulasi

Simulasi yang dilakukan yaitu simulasi gangguan hubung singkat, baik hubung singkat maksimum maupun hubung singkat minimum yang terjadi pada sistem kelistrikannya.

5. Analisa Data

Setelah mendapatkan hasil dari simulasi aliran daya dan hubung singkat, maka digunakan untuk menganalisa setelan dan koordinasi rele-rele pengamanan arus lebih gangguan fasa.

Analisa ini dilakukan dengan menyajikan perhitungan *high set* dan *low set*, sehingga didapatkan nilai *time dial*, *time delay*, *setting time over current pickup*, *instantaneous pickup* dan plot *time current curve*. Dengan hasil analisa ini, akan dapat diketahui setelan dan koordinasi rele pengamanan arus lebih sudah tepat atau masih perlu diperbaiki lagi.

6. Kesimpulan

Setelah melakukan analisa data dapat ditarik kesimpulan yang merupakan jawaban dari permasalahan.

1.6 Sistematika

Sistematika penulisan tugas akhir ini adalah :

1. BAB I

Bab ini membahas tentang latar belakang, perumusan masalah, batasan masalah, tujuan, metodologi, sistematika dan relevansi.

2. BAB II

Bab ini menjelaskan tentang teori yang menunjang dalam pengerjaan tugas akhir.

3. BAB III

Bab ini menerangkan tentang sistem kelistrikan PT. PJB Unit Pembangkitan Cirata, mengenai bagaimana konfigurasinya serta

beberapa hal mengenai operasi sistem tenaga listrik di PT. PJB Unit Pembangkitan Cirata.

4. BAB IV

Bab ini membahas mengenai perhitungan-perhitungan dan hasil simulasi yang telah dilakukan. Dalam bab ini menyajikan analisa terhadap koordinasi proteksi yang baru setelah *resetting* dengan dilengkapi hasil *ploting* kurva yang dilakukan.

5. BAB V

Bab ini berisi kesimpulan dan saran dari hasil pembahasan yang telah dilakukan.

1.7 Relevansi

Dengan adanya penerapan pemodelan matrik admitansi transformator tiga fasa, diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut :

1. Menjadi pertimbangan bagi PT. PJB Unit Pembangkitan Cirata yang berkaitan mengenai koordinasi rele pengaman arus lebih dan gangguan ke tanah..
2. Menjadi referensi bagi mahasiswa lain yang akan melakukan penelitian tentang studi koordinasi proteksi pada suatu plan.

BAB II

KOORDINASI PROTEKSI SISTEM TENAGA LISTRIK

Proteksi untuk sistem tenaga listrik setiap industri berfungsi untuk mengamankan peralatan yang terpasang dari kerusakan akibat adanya arus gangguan. Sistem proteksi juga harus mampu mengisolir arus gangguan sehingga dapat meminimalisasi kerusakan pada peralatan dan menjaga kontinuitas pelayanan dayapada bagian yang tidak mengalami gangguan[1].

Sistem proteksi yang terpasang harus mampu memutus arus gangguan dengan cepat dan selektif saat terjadi gangguan. Rele yang terpasang dekat dengan titik gangguan adalah yang beroperasi, dan bila gagal maka rele berikutnya yang bekerja sebagai *backup*. Hal ini dapat dilakukan dengan mengatur rele-rele yang terpasang agar berkoordinasi sedemikian rupa.

2.1 Gangguan Sistem Tenaga Listrik

Ketika terjadi gangguan pada sistem tenaga listrik akan mengalir arus yang menuju ke titik gangguan. Arus tersebut memiliki nilai yang lebih besar dari rating arus maksimum yang diijinkan, sehingga peralatan yang terpasang akan menjadi panas hingga terjadi kerusakan. Gangguan yang sering terjadi antara lain :

1. Gangguan Elektris

- Gangguan hubung singkat tiga fasa
- Gangguan hubung singkat dua fasa
- Gangguan hubung singkat satu fasa
- Gangguan beban lebih (*over load*)
- Gangguan tegangan lebih (*over voltage*)

2. Gangguan Mekanis

Jenis gangguan ini disebabkan oleh adanya kerusakan secara fisik dari peralatan. Selain itu, jenis gangguan ini juga berhubungan dengan ketahanan fisik dari peralatan sistem tenaga listrik.

3. Gangguan Sistem

Jenis gangguan ini disebabkan keadaan sistem. Gangguan ini erat hubungannya dengan kondisi parameter sistem seperti tegangan, frekuensi, dan daya.

4. Gangguan Akibat Operasi Sistem

Jenis gangguan ini disebabkan beroperasinya sistem. Perbedaan gangguan akibat operasi sistem dengan gangguan sistem terletak pada akibat operasi sistem yang menitikberatkan pada kerja peralatan yang akan menimbulkan gangguan. Jika ditinjau dari segi durasi gangguan yang terjadi pada sistem tenaga listrik dapat dikelompokkan menjadi dua jenis yaitu[2]:

- Gangguan yang bersifat temporer. Gangguan ini dapat hilang dengan sendirinya atau dengan memutuskan sesaat bagian yang mengalami gangguan terhadap sistem. Jika gangguan sementara ini masih belum bisa hilang dengan sendirinya ataupun dengan bekerjanya alat pengaman maka gangguan tersebut akan berubah menjadi gangguan permanen.
- Gangguan yang bersifat permanen. Gangguan ini akan hilang dengan cara tindakan perbaikan atau mencari penyebab gangguan tersebut sehingga gangguan bisa segera dihilangkan.

2.2 Gangguan Beban Lebih

Gangguan yang disebabkan oleh arus yang melebihi arus nominalnya ($>I_n$). Gangguan ini menyebabkan temperature peralatan yang terpasang akan naik dan panas, dan bila dibiarkan terus menerus dapat merusak peralatan listrik tersebut.

2.3 Gangguan Hubung Singkat

Gangguan hubung singkat dapat dibagi dua yaitu hubung singkat seimbang (*balance fault*) dan gangguan hubung singkat tidak seimbang (*unbalance fault*) atau asimetri[3]. Gangguan ini dapat mengakibatkan mengalirnya arus lebih pada fasa dan kenaikan tegangan. Gangguan yang sering terjadi adalah gangguan tak seimbang dengan jenis gangguan sebagai berikut :

1. Gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah
2. Gangguan hubung singkat 2 fasa ke tanah
3. Gangguan hubung singkat antar fasa
4. Gangguan hubung singkat 3 fasa langsung (*simetri*)

Bila terjadi arus hubung singkat, maka arus yang mengalir sangat tinggi dengan tiba-tiba dari sumber ke titik gangguan. Besarnya arus yang mengalir dipengaruhi oleh nilai reaktansi sumber dan reaktansi rangkaian yang dialiri arus hubung singkat. Untuk reaktansi pertama. Adanya gangguan hubung singkat mengakibatkan rusaknya peralatan listrik, berkurangnya stabilitas daya dan terganggunya kontinuitas daya akibat terbukanya *circuit breaker*.

Analisa hubung singkat dapat dipakai di berbagai bidang seperti sistem *utility*, sistem kelistrikan industri, sistem kelistrikan *auxillary* pada pembangkit maupun pada sistem kelistrikan yang dimiliki kapal. Analisa hubung singkat ini berfungsi untuk mengetahui dan menentukan nilai *rating* peralatan dan sebagai acuan terhadap koordinasi proteksi. Adapun peralatan yang dimaksud antara lain *busbar*, *circuit breaker*, *cable*, *transformer* dan peralatan-peralatan lainnya. Adapun cara untuk mengoreksi keamanan dari peralatan ini digunakan analisa dan perhitungan arus hubung singkat maksimum. Sedangkan, perhitungan arus hubung singkat minimum berfungsi untuk perhitungan guna mendapatkan nilai *setting* rele pengaman arus lebih. Analisa hubung singkat ini juga berguna untuk mempertimbangkan kualitas penyaluran daya pada sistem, seperti tegangan kedip, harmonisa, dan untuk menghitung ketidakseimbangan tegangan.

2.3.1 Sumber Arus Hubung Singkat

Sumber arus hubung singkat berasal dari berbagai peralatan antara lain sistem *utility*, generator, motor sinkron, dan motor induksi[4]. Generator merupakan salah satu sumber terjadinya arus hubung singkat. Saat hubung singkat terjadi, *prime mover* akan tetap bekerja dan eksitasi masih tetap bekerja menjaga kecepatan putar dari *prime mover*. Sehingga hal ini mengakibatkan generator memberikan kontribusi yang sangat besar dan hanya dibatasi oleh reaktansi generator dan impedansi total dari generator menuju titik gangguan. X''_d merupakan reaktansi subtransient yang membatasi arus hubung singkat selama 0.1 detik setelah gangguan. Selain itu, X'_d merupakan reaktansi *transient*

generator dan X_d adalah reaktansi sinkron dari generator atau reaktansi generator saat *steady state*[3].

Motor sinkron bekerja sama halnya dengan generator saat terjadi hubung singkat dimana akan memberikan arus kontribusi karena kedua mesin ini sama-sama memiliki sistem eksitasi. Saat hubung singkat, motor sinkron akan berhenti menyerap daya. Tetapi inersia dari motor sinkron berfungsi untuk menjaga putaran motor, sehingga inersia yang bekerja seperti *prime mover* ditambah dengan eksitasi maka akan menghasilkan arus kontribusi seperti generator selama beberapa *cycle* setelah hubung singkat terjadi[3].

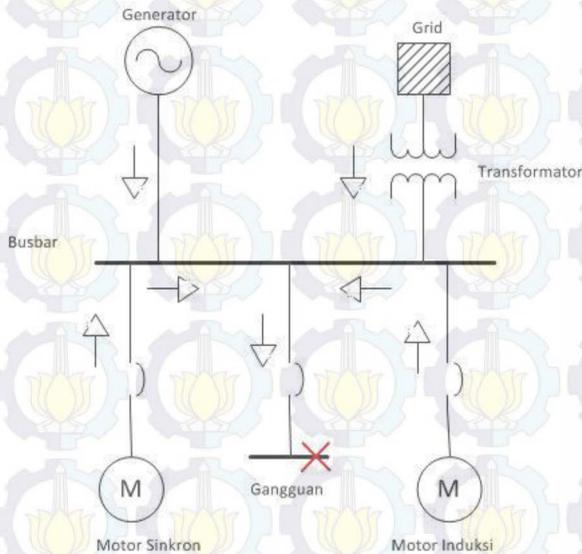
Motor induksi akan memberikan arus kontribusi saat hubung singkat terjadi. Motor induksi tidak mempunyai eksitasi yang dihasilkan oleh DC *winding* melainkan dari statornya mesin induksi itu sendiri sehingga bila hubung singkat terjadi maka arus kontribusi hanya dihasilkan sesaat. Hal ini disebabkan motor induksi hanya memiliki nilai X''_d dan nilai tersebut sebanding dengan nilai reaktansi *locked-rotor* yang saat motor *starting* membutuhkan arus sebesar 6-9 kali arus nominal[4].

2.4. Perhitungan Arus Hubung Singkat

Arus hubung singkat yang terjadi pada sistem tenaga listrik dapat menyebabkan kerusakan yang besar terutama pada peralatan sistem tenaga listrik. Biasanya arus hubung singkat memiliki nilai yang lebih besar dibanding dengan arus beban. Akibat yang ditimbulkan dari besarnya nilai *magnitude* menyebabkan kerusakan pada operasi sistem tenaga listrik saat kondisi normal. Diawali dengan mengalirnya arus hubung singkat pada sistem konduktor yang menimbulkan panas tambahan, dimana sistem ini tidak dirancang untuk menahan kondisi ini secara terus-menerus. Arus ini juga mengakibatkan kerusakan mekanis pada konduktor antara lain, kebocoran isolator, distorsi pada kumparan transformator, ataupun kerusakan fisik lainnya. Aliran arus hubung singkat yang tinggi ini melalui sistem impedansi sehingga mengakibatkan tegangan rendah yang tidak normal, dengan demikian hal itu menyebabkan peralatan normal lainnya ikut dinonaktifkan secara paksa. Oleh karena itu, arus hubung singkat dapat diartikan sebagai pelepasan energi dalam bentuk api yang mana bila dibiarkan dapat mengakibatkan kebakaran yang dapat menyebar jauh dari titik inisiasinya[5].

Banyak upaya yang telah dilakukan khususnya teknik sistem tenaga dalam melakukan perencanaan untuk meminimalisasi arus hubung singkat pada komponen sistem maupun dalam proses pelayanan industri. Bagian dari sistem tenaga yang telah bekerja sejauh ini adalah pengamanan peralatan yang bekerja untuk mendeteksi dan bereaksi terhadap arus hubung singkat saat terjadi suatu kesalahan. Hal ini menyebabkan adanya penelitian terhadap analisa kejadian yang tidak diinginkan yang mungkin terjadi pada sistem dan pengamanan peralatan sistem tenaga.

Pada saat terjadi arus hubung singkat arus dari sumber akan mengalir menuju ke titik gangguan. Sumber dari arus hubung singkat yaitu peralatan sistem, generator, motor sinkron dan motor induksi. Arus ini dapat disebut sebagai arus kontribusi.



Gambar 2.1 Arah aliran arus saat hubung singkat

Arus hubung singkat ini sangat dipengaruhi oleh nilai reaktansi sumber dan salurannya yang dialiri oleh arus tersebut. Untuk reaktansi pertama kali *cycle* sangat kecil dan arus hubung singkatnya sangat tinggi

disebut reaktansi *subtransient* (X''_d), sedangkan *cycle* selanjutnya arus hubung singkat menurun disebut juga reaktansi transient (X'_d) dan pada akhirnya akan mencapai *steadystate* atau disebut juga reaktansi sinkron (X_d). Arus hubung singkat dapat dihitung berdasarkan jenisnya, yaitu dengan perhitungan praktis sebagai berikut :

2.4.1 Hubung Singkat 3 Fasa

Hubung singkat 3 fasa ini melibatkan ketiga fasa. Adapun persamaan arus hubung singkat tiga fasa (I_{sc}) sebagai berikut :

$$I_{sc_3} = \frac{V_{ln}}{X_1} \dots \dots \dots (2.1)$$

Dimana V_{ln} adalah tegangan nominal *line to netral* dan X_1 adalah reaktansi urutan positif.

2.4.2 Hubung Singkat 2 Fasa

Hubung singkat ini terjadi antara dua fasa tanpa terhubung ke tana. Adapun persamaan arus hubung singkat antar fasa (I_{sc}) sebagai berikut :

$$I_{sc_2} = \frac{V_{ll}}{X_1 + X_2} = \frac{\sqrt{3}}{2} I_{sc_3} \approx 0,866 I_{sc_3} \dots \dots \dots (2.2)$$

2.4.3 Hubung Singkat Satu Fasa ke Tanah

Hubung singkat ini melibatkan impedansi urutan nol (Z_0), dan besarnya arus hubung singkat ini tergantung sistem pentanahan yang digunakan. Besaran arus hubung singkat 1 fasa (I_{sc_0}) dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$I_{sc_0} = \frac{3V_{ln}}{X_1 + X_2 + X_0} \dots \dots \dots (2.3)$$

2.5 Trafo Arus (*Current Transformer*)

Current Transformer (CT) merupakan peralatan yang berfungsi mentransformasikan besaran arus listrik agar dapat diaplikasikan untuk keperluan pengukuran ataupun proteksi. CT digunakan jika arus yang mengalir melalui jaringan terlalu besar sehingga tidak sesuai dengan *rating* peralatan pengukuran maupun proteksi. Selain itu, CT juga berfungsi untuk mengisolasi rangkaian sekunder terhadap rangkaian primernya. Prinsip kerja tranformator arus sama dengan transformator 1

fasa. Ketika arus mengalir pada kumparan primer maka akan timbul gaya gerak magnet yang kemudian menghasilkan *fluks* pada inti. *Fluks* tersebut kemudian akan mengalir menuju kumparan sekunder dan menghasilkan tegangan terinduksi pada kumparan sekunder. Jika terminal pada sisi sekunder tertutup dan transformator tersebut merupakan transformator ideal maka berlaku persamaan :

$$I_p \times N_p = I_s \times N_s \text{ atau } \frac{I_p}{I_s} = \frac{N_s}{N_p} \dots\dots\dots(2.4)$$

Dengan :

- : Jumlah belitan kumparan primer
- : Jumlah belitan kumparan sekunder
- : Arus kumparan primer
- : Arus kumparan sekunder

2.6 Rele Pengaman

Sistem tenaga listrik sendiri adalah proses memproduksi dan menyuplai energi listrik ke konsumen. Energi listrik yang telah dihasilkan ini memerlukan sistem yang handal dan ekonomis guna dapat menjamin berlangsungnya pelayanan daya ke konsumen. Adapun sistem yang handal itu merupakan sistem yang mampu mengatasi gangguan saat beroperasi. Untuk mengatasi gangguan-gangguan tersebut, maka diperlukan peralatan proteksi berupa rele. Penggunaan rele sesuai dengan kebutuhan dari sistem tenaga listrik yang dirancang sehingga kehandalan sistem tetap terjamin.

2.6.1 Pengertian dan Fungsi Rele Pengaman

Rele adalah bagian dari peralatan sistem tenaga listrik yang berguna untuk mengirim sinyal kepada *circuit breaker* (CB) agar dapat memutuskan atau menghubungkan penyaluran energy listrik pada bagian sistem tenaga listrik. Rele ini akan mengirimkan sinyal terhadap *circuit breaker* untuk memutuskan bagian tertentu saat terjadi gangguan. Sehingga tidak mempengaruhi kinerja semua sistem tenaga listrik. Pada dasarnya rele pengaman terdiri dari sebuah elemen operasi dan seperangkat kontak. Elemen ini berfungsi untuk menerima masukan dari transformator arus atau transformator tegangan[5].

Dalam berbagai kasus, rele bekerja untuk pengukuran atau pembandingan operasi dasar input dan mengubahnya dalam bentuk gerakan kontak. *Output* dari rele ini adalah menutup dan menahan. Jika keadaan CB tertutup maka rele akan memberikan sinyal untuk melakukan proses pembukaan dari *circuit breaker* dimana pada waktunya akan mengisolasi gangguan dari daerah sistem tenaga listrik lain yang normal.

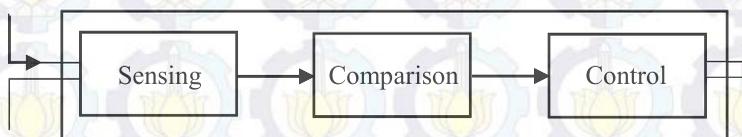
Setting dari rele harus dilakukan dengan benar dan tepat agar tidak mengalami kesalahan operasi saat terjadi gangguan pada sistem tenaga. Maka dari itu, hal-hal yang mempengaruhi harus sangat diperhatikan.



Gambar 2.2 Alur kerja rele pengaman[2]

2.6.2 Elemen Dasar Rele Pengaman

Rele pengaman terdiri dari tiga komponen dasar seperti pada gambar 2.3



Gambar 2.3 Pembagian kerja rele pengaman[2]

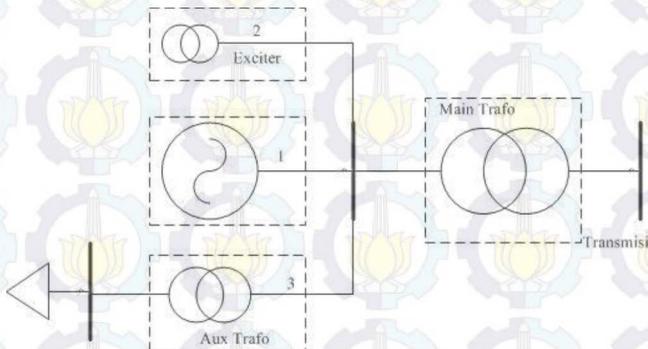
- Elemen Pengindera
Elemen ini memiliki fungsi untuk merasakan besaran-besaran listrik seperti arus, tegangan, frekuensi dan sebagainya bergantung rele yang digunakan. Pada elemen ini besaran yang masuk akan dirasakan kondisinya apakah kondisi yang diproteksi dalam keadaan gangguan atau dalam keadaan normal. Selanjutnya besaran tersebut dikirim ke elemen

pembanding. Komponen yang berfungsi sebagai elemen pengindra adalah *current transformer* (CT).

- Elemen Pembanding
Elemen ini memiliki fungsi untuk menerima besaran yang dikirim dari elemen pengindra untuk dibandingkan pada saat keadaan normal dengan besaran yang telah di-*setting* pada rele. Komponen yang dipakai sebagai elemen pembanding adalah rele.
- Elemen Kontrol
Elemen ini berfungsi untuk mengatur perubahan secara cepat pada besaran ukurnya dan akan segera memberikan isyarat untuk membuka *circuit breaker* atau hanya memberikan sinyal. Komponen yang dipakai sebagai elemen control adalah kumparan penjatuh (*trip-coil*).

2.6.3 Daerah Pengaman

Konsep daerah pengaman akan memberi suatu penjelasan tentang batas-batas daerah pengaman dari sistem yang ada. Sehingga suatu sistem pengaman akan memberikan respon kepada gangguan yang terjadi di daerah tertentu dengan memberi tindakan pengamanan terhadap gangguan tersebut.



Gambar 2.4 Konsep daerah pengaman[5]

Konsep daerah pengamanan seperti gambar 2.4 adalah gambar yang menunjukkan sistem tenaga listrik yang terdiri dari sebuah generator, dua buah transformator (*main transformer* dan *auxillary transformer*), satu saluran transmisi, dan dua buah bus bar yang digambar menggunakan *single line diagram*.

Garis putus-putus pada gambar diatas merupakan daerah pengaman, adapun daerah pengaman yang ada pada sistem tenaga listrik tersebut antara lain :

1. Daerah 1 : Daerah pengaman generator.
2. Daerah 2 : Daerah pengaman generator dan *exciter*.
3. Daerah 3 : Daerah pengaman transformator *auxillary* hingga beban
4. Daerah 4 : Daerah pengaman saluran.

Batas daerah pengaman menentukan bagian daerah kerja dari sistem tenaga. Sehingga saat gangguan terjadi dimanapun dalam daerah pengamanan tersebut maka sistem pengamanan yang bertanggung jawab akan bekerja dan berusaha untuk memisahkan gangguan dari seluruh bagian sistem tenaga melalui pemutus rangkaian dari sistem pengamanan.

Pengaman dari rele dibedakan dua, yaitu rele utama dan rele cadangan (*back up*). Rele pengamanan cadangan akan bekerja saat rele pengamanan utama tidak dapat bekerja atau gagal mengamankan gangguan hubung singkat terjadi.

2.6.4 Syarat-Syarat Rele Pengaman

Rele pengamanan merupakan salah satu bagian terpenting dalam kelangsungan operasi sistem tenaga listrik. Hal itu terbukti karena rele pengamanan berfungsi untuk menjamin kehandalan sistem tenaga dari adanya gangguan yang terjadi. Adapun syarat-syarat yang perlu diperhatikan pada rele pengamanan antara lain :

- **Kecepatan Bereaksi (*Speed*)**

Untuk meminimalisasi peralatan yang rusak akibat gangguan maka daerah yang mengalami gangguan harus dapat dipisahkan secepat mungkin dari bagian sistem yang lainnya. Adapun kenaikan arus yang sangat tinggi tidak selamanya itu gangguan hubung singkat bisa jadi itu hanya merupakan arus *starting* motor besar yang hanya terjadi dalam waktu singkat maka dari itu diperlukan waktu tunda. Namun, waktu

tunda ini juga harus secepat mungkin karena keterlambatan kerja rele pengaman akan dapat mengganggu kestabilan sistem atau merusak peralatan karena *thermal stress*.

Kecepatan waktu bereaksi ini merupakan hal yang diusahakan secepat mungkin sehingga kerusakan pada alat yang diakibatkan oleh gangguan dapat dicegah serta membatasi meluasnya dampak akibat adanya gangguan tersebut.

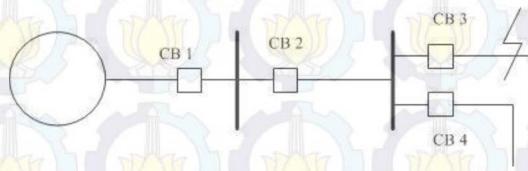
- **Kepekaan (*Sensitivity*)**

Pada dasarnya rele harus cukup peka sehingga mampu mendeteksi gangguan di daerah pengamanan walaupun hanya merasakan rangsangan minimum. Kepekaan pada rele berarti sebagai kemampuan untuk merespon bila kondisi kerja cenderung menyimpang dari kondisi kerja normal. Bila kondisi kerja yang awalnya normal kemudian tiba-tiba mengalami penyimpangan kondisi maka sistem pengamanan harus cepat bereaksi dan peka.

- **Selektivitas (*Selectivity*)**

Rele pengamanan harus mampu dalam memisahkan bagian dari sistem yang terganggu sekecil mungkin dengan artian area yang terganggu saja yang menjadi area pengamanan utamanya. Pengamanan seperti itu merupakan pengamanan yang bersifat selektif. Jadi, rele harus mampu untuk membedakan apakah gangguan terjadi pada area yang menjadi tanggung jawabnya sehingga musti bekerja dengan cepat atau terjadi di area selanjutnya dimana rele harus bekerja dengan waktu tunda.

Adapun gangguan bila terjadi di luar daerah pengamanannya maka rele tidak boleh bekerja. Untuk memperjelas keterangan di atas maka hal tersebut dapat diilustrasikan dengan gambar 2.5.



Gambar 2.5 Sensitivitas rele terhadap gangguan

Pada gambar di atas dapat diketahui bahwa bila ada gangguan pada titik F maka koordinasi proteksinya dibuat sedemikian hingga hanya CB3 yang lepas sedangkan CB1, CB2, dan CB4 tidak boleh bekerja atau lepas.

- Keadalan (*Reliability*)

Terdapat tiga aspek penting dalam hal keandalan suatu pengaman yakni:

a. Dependability

Adalah tingkat kemampuan rele dalam bekerja (keandalan kemampuan bekerjanya). Pada dasarnya sebuah rele pengaman harus dapat diandalkan kerjanya (dapat mendeteksi dan melepaskan bagian yang terganggu) dan tidak boleh gagal bekerja sehingga *dependability*-nya harus tinggi.

b. Security

Adalah tingkat kepastian kemampuan rele untuk tidak salah bekerja (keandalan untuk tidak salah kerja). Kondisi salah kerja adalah kondisi dimana sebuah rele bekerja saat seharusnya tidak bekerja, misal karena letak gangguan di luar area pengamanannya atau sama sekali tidak ada gangguan yang terjadi di areanya. Kesalahan kerja pada sebuah rele pengaman mengakibatkan pemadaman yang tidak diperlukan dan bahkan dapat mengganggu kerja sistem.

c. Availability

Adalah perbandingan antara waktu dimana rele dalam kondisi siap kerja dengan waktu total kerja rele. Keandalan rele dihitung berdasarkan jumlah rele bekerja dan jumlah gangguan yang terjadi.

- Ekonomis

Pemasangan pengaman pada sistem tenaga juga harus mempertimbangkan sisi ekonomis. Hal itu disebabkan karena tidak semua peralatan yang ada pada sistem tenaga harus dilengkapi dengan pengamanan yang lengkap. Dengan memperhatikan aspek ekonomis dalam memasang rele pengaman maka hal itu akan mempercepat waktu pengembalian modal.

2.7 Rele Arus Lebih (*Over Current Relay*)

Rele arus lebih adalah rele yang beroperasi ketika arus yang mengalir melebihi batas yang diizinkan. Rele ini dipilih karena gangguan yang paling sering terjadi pada sistem diakibatkan oleh adanya hubung singkat dan beban lebih yang nantinya akan menghasilkan arus yang sangat besar[6]. Koordinasi waktu pada rele arus lebih yaitu proses penentuan *setting* untuk rele agar dapat bekerja saat sistem mengalami gangguan[7]. Rele ini sering di gunakan di setiap zona proteksi. Rele akan bekerja apabila memenuhi keadaan sebagai berikut :

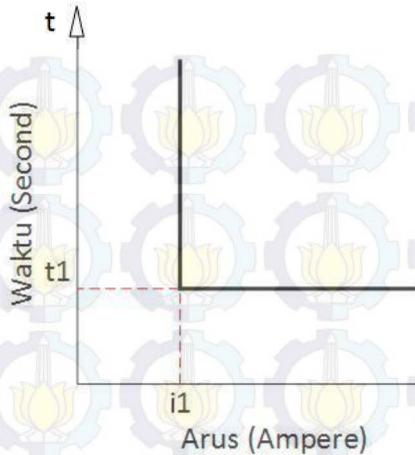
$I_f > I_p$ rele bekerja (*trip*)

$I_f < I_p$ tidak bekerja (*block*)

Dimana I_p merupakan arus kerja yang dinyatakan menurut gulungan sekunder dari transformator arus (CT). Dan I_f merupakan arus gangguan yang juga dinyatakan terhadap gulungan sekunder CT. Rele arus lebih ini hampir melindungi semua bagian pada sistem tenaga listrik misalnya jaringan transmisi, transformator, generator, dan motor. Rele arus lebih dapat berupa rele arus lebih waktu tertentu, rele arus lebih waktu *invers*, dan rele arus lebih waktu instan.

2.7.1 Rele Arus Lebih Waktu Tertentu

Rele arus lebih ini mampu diatur waktu operasi yang bervariasi berdasarkan *level* arus yang berbeda. Sehingga dengan menggunakan rele arus lebih ini gangguan yang paling dekat dapat diputus dengan cepat sesuai dengan *time delay* yang di-*setting*. Semua level arus yang melebihi *setpoint pickup*-nya akan diputuskan dalam waktu yang sama (*definite*)[8]. Gambar 2.6 menunjukkan karakteristik dari rele arus lebih waktu tertentu.

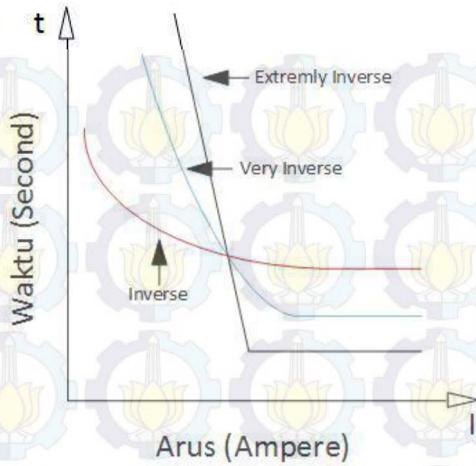


Gambar 2.6 Karakteristik rele arus lebih waktu tertentu

2.7.2 Rele Arus Lebih Waktu *Invers*

Rele arus lebih ini mempunyai waktu operasi yang berbanding terbalik dengan besarnya arus gangguan[9]. Jadi, semakin besar arus gangguan maka rele akan beroperasi dalam waktu yang semakin cepat, dan juga sebaliknya jika arus gangguan kecil maka waktu operasi rele akan lebih lama. *Time-Current Characteristic (TCC)* adalah kurva dengan skala dalam *time dial*. Semakin besar *time dial*, maka semakin lama waktu operasi dari rele tersebut.

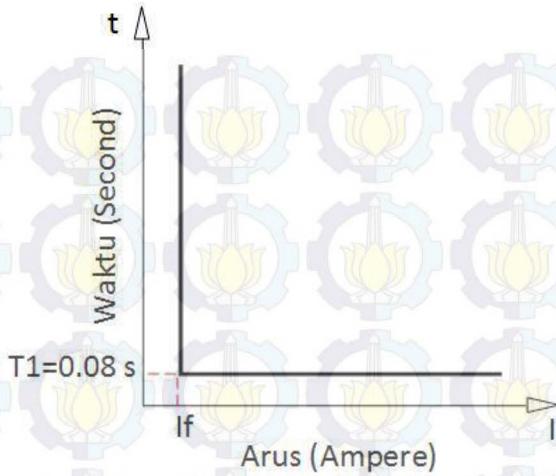
Karakteristik *invers* ini dijelaskan dalam standar IEC 60255-3 dan BS 142. Standar-standar ini mendefinisikan beberapa jenis perlindungan waktu invers yang dibedakan oleh gradien kurvanya, yaitu *standard inverse*, *very inverse* dan *extremely inverse*. Standar lain, misalnya standar IEEE juga memberikan karakteristik kurva yang lain, seperti *moderately inverse*, *long time inverse*, dan *short time inverse*. Kurva invers ini sering dijumpai dengan *inverse definite minimum time (IDMT)*. Karena seiring dengan arus yang bertambah besar, waktu operasi turun semakin cepat seolah mendekati waktu *definite* minimumnya.



Gambar 2.7 Karakteristik *standard inverse*, *very inverse*, dan *extremely inverse*[5]

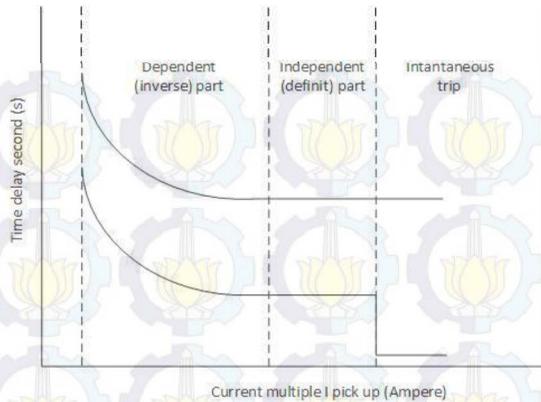
2.7.3 Rele Arus Lebih Waktu Instan

Prinsip kerja rele jenis ini adalah tanpa penundaan waktu, tapi masih mampu bekerja dengan waktu cepat sebesar 0,1 detik, pada umumnya kurang dari 0,08 detik, seperti terlihat pada gambar 2.8.



Gambar 2.8 Karakteristik rele arus lebih instan

Bekerjanya rele ini didasarkan besarnya arus gangguan hubung singkat yang dipilih dan membukanya CB dalam waktu cepat sekali (80 ms). Gambar 2.9 menunjukkan penggunaan IDMT yang dikombinasikan dengan rele arus lebih waktu instan.



Gambar 2.9 Kombinasi IDMT dengan OCR

2.8 Penyetelan Rele Arus Lebih

2.8.1 *Setting* Rele Arus Lebih Waktu *Invers*

Batas penyetelan rele arus lebih adalah rele tidak bekerja pada saat beban maksimum. Oleh karena itu, *setting* arusnya harus lebih besar dari arus beban maksimum. Bila dilihat dari kurva yaitu rele sebaiknya rele berada disebelah kanan kurva beban maksimum. Rele arus lebih memiliki setelan *pickup* dan setelan *time dial*. Pada rele arus lebih, besarnya arus *pickup* ini ditentukan dengan pemilihan *tap*. Adapun untuk menentukan besarnya *tap* yang digunakan dapat menggunakan persamaan berikut :

$$Tap = \frac{I_{set}}{CT \text{ Primary}} \dots \dots \dots (2.5)$$

I_{set} adalah arus *pickup* dalam Ampere. Menurut standart *British BS 142* batas penyetelannya adalah 1.05-1.3 I_{set} .

Setelan *time dial* menentukan waktu operasi rele. Untuk menentukan *time dial* dari masing-masing kurva karakteristik *invers* rele arus lebih dapat digunakan persamaan sebagai berikut :

$$td = \frac{k \times T}{\beta \times \left[\left(\frac{I}{I_{set}} \right)^{\alpha} - 1 \right]} \dots \dots \dots (2.6)$$

Dimana :

td = waktu operasi (detik)

T = *time dial*

I = nilai arus (Ampere)

I_{set} = arus *pickup* (Ampere)

k = koefisien invers 1 (lihat table 2.1)

α = koefisien invers 1 (lihat table 2.1)

β = koefisien invers 1 (lihat table 2.1)

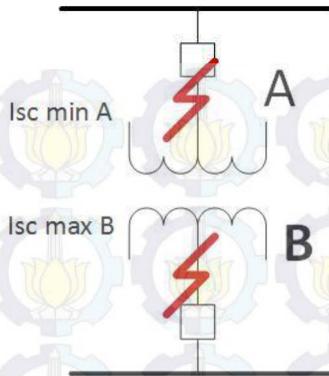
Tabel 2.1 Koefisien *invers time dial*

Tipe Kurva	Koefisien		
	k	α	β
<i>Standard Invers</i>	0,14	0,02	2,97
<i>Very Inverse</i>	13,5	1	1,5
<i>Extremly Inverse</i>	80	2	0,808

2.8.2 *Setting Rele Arus Lebih Instan*

Rele arus lebih instan akan bekerja seketika jika ada arus lebih yang mengalir melebihi batas yang diijinkan. Dalam menentukan setelan *pickup* instan ini digunakan $I_{sc\ min}$ yaitu arus hubung singkat 2 fasa pada pembangkitan minimum. Sehingga *setting* ditetapkan:

$$I_{set} \leq 0,8 I_{sc\ min} \dots\dots\dots (2.7)$$



Gambar 2.10 Rele arus lebih pengamanan transformator

Untuk Pertimbangan khusus untuk pengamanan *feeder* yang dipisahkan oleh transformator, koordinasi pengamanan dibedakan menjadi dua daerah, yakni daerah *low voltage* (LV) dan daerah *high voltage* (HV).

Di mana $I_{sc\ max\ B}$ merupakan arus hubung singkat tiga fasa maksimum pada titik B, sedangkan $I_{sc\ min\ A}$ adalah arus hubung singkat minimum pada titik A.

2.8.3 Koordinasi Berdasarkan Arus dan Waktu

Antara rele pengamanan utama dan rele pengamanan cadangan (*backup*) tidak boleh bekerja secara bersamaan. Untuk itu, diperlukan adanya *time delay* antara rele utama dan rele cadangan (*backup*). *Time delay* ini sering dikenal sebagai setelan *setting* kelambatan waktu (Δt) atau *grading time*. Perbedaan waktu kerja minimal antara rele utama dan rele *backup* adalah 0,2 – 0,35 detik.

Dengan berdasarkan spesifikasi sebagai berikut menurut standard IEEE 242 :

Waktu buka CB : 0,04 – 0,1s (2-5 cycle)

Overtravel dari rele : 0,1s

Faktor keamanan : 0,12-0,22s

Untuk rele berbasis *microprocessor overtravel time* dari rele diabaikan. Sehingga total waktu yang diperlukan adalah 0,2-0,4 s. erbedaan waktu ini untuk memastikan bahwa gangguan di sisi hilir telah berhasil padam, sehingga kemungkinan trip serentak dapat dihindarkan.

2.9 Rele Gangguan Ke Tanah

Rele gangguan tanah merupakan rele pengamanan arus lebih yang dilengkapi dengan *zero sequence current filter*. Rele gangguan tanah bekerja untuk mengamankan gangguan satu fasa dan dua fasa ke tanah. Rele gangguan tanah digunakan pada pada sistem yang membatasi arus gangguan tanah. Misalnya sistem pentanahan netral dengan pentanahan resistansi dimana impedansi yang rendah mampu mengurangi arus gangguan ke tanah.

Setting rele gangguan ke tanah adalah :

$$5-10\% \times I_{sc\ L-G} \leq I_{set} \leq 50\% I_{sc\ L-G} \dots \dots \dots (2.8)$$

Dengan $I_{sc\ L-G}$ merupakan arus hubung singkat satu fasa ke tanah.

BAB III

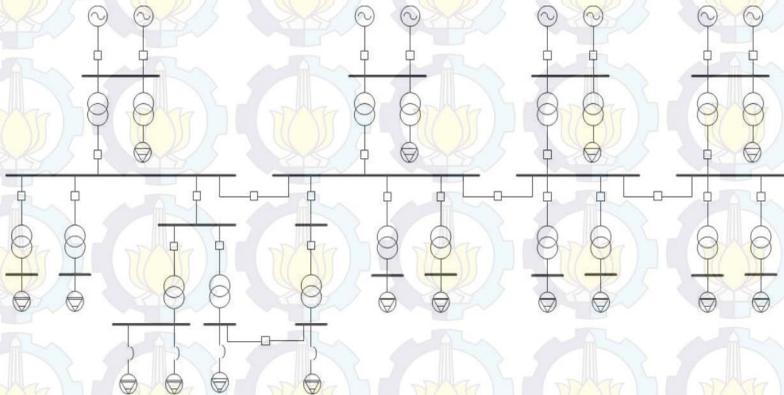
SISTEM KELISTRIKAN PT. PJB UNIT PEMBANGKITAN CIRATA

3.1 Sistem Kelistrikan PLTA Cirata

PLTA Cirata merupakan pembangkit listrik tenaga air yang memiliki kapasitas sebesar 1008 MW, terdiri dari 8 Unit Pembangkit yang berada di *Power House* bawah tanah (*underground*) dengan kapasitas masing-masing 126 MW dan merupakan PLTA terbesar di Asia Tenggara.

Tiap tahunnya PLTA Cirata mampu membangkitkan energi listrik rata-rata sebesar 1428 GWh atau setara dengan 428 ton bahan bakar yang digunakan oleh pembangkit Thermal. Tegangan listrik yang dihasilkan satu buah generator adalah 16,5 kV, dinaikkan menjadi 500 kV melalui trafo utama (*main transformer*), kemudian disalurkan ke Gardu Induk Tegangan Ekstra Tinggi (GITET) 500 kV Cirata, untuk Sistem interkoneksi 500 kV Jawa - Madura - Bali (Jamali).

Jaringan 500 kV tersebut dikendalikan oleh Pusat Pengaturan dan Penyaluran Beban (P3B) di Jakarta. Untuk *single line diagram* dari PLTA unit pembangkitan Cirata dapat dilihat pada Gambar 3.1



Gambar 3.1 *Single line diagram* PLTA Unit Pembangkitan Cirata

3.2 Jumlah Total Pembangkitan dan Demand

Berdasarkan data yang didapat dari lapangan dan peralatan yang terpasang. Maka dapat diketahui *summary* dari jumlah total pembangkitan dan *demand* PT. PJB Unit Pembangkitan Cirata dapat dilihat pada tabel 3.1 berikut :

Tabel 3.1 Pembangkit Utama tipe *swing*

Jenis Pembangkit	MW	PF	Keterangan
<i>Source (swing)</i>	126,04	90 Lag	Eff = 90%; 16,5 kV

Pada tabel 3.2 terdapat data pembangkit utama tipe *voltage control* sebagai pemasok daya pada beban yang ditanggung.

Tabel 3.2 Pembangkit Utama Tipe *non swing*

Jenis Pembangkit	MW	PF	Keterangan
<i>Source (voltage control)</i>	882,3	90 Lag	Eff = 95%; 16,5 kV

Untuk permintaan daya total pada PT. PJB UP Cirata dapat dilihat pada tabel 3.3

Tabel 3.3 Total *demand* pada PT. PJB

Jenis Pembangkit	MW	PF	Keterangan
<i>Total demand</i>	1008,2	90 Lag	Eff = 95%;

Berdasarkan data yang didapat, PT. PJB Unit Pembangkitan Cirata memiliki *emergency generator* sebagai pembangkit cadangan bila terjadi *blackout*. Adapun spesifikasi data *emergency generator* tersebut dapat dilihat pada tabel 3.4.

Tabel 3.4 Data *emergency generator*

Jenis Pembangkit	MW	PF	Keterangan
<i>Emergency Generator (voltage control)</i>	0,538	85 Lag	Eff = 95%; 6 kV

3.3 Kapasitas PLTA Cirata

PT. PJB Unit Pembangkitan Cirata memiliki 2 blok, yaitu Cirata I dan Cirata II. Tiap blok terdiri dari 4 *gas turbine generator* demi menjaga pelayanan listrik ke konsumen.

Adapun konfigurasi tiap-tiap blok PLTA antara lain : Blok 1 (GEN1, GEN2, GEN3, GEN4) dan Blok 3 (GEN5, GEN6, GEN7, GEN8). Pembangkit pada PT. PJB UP Cirata disalurkan menuju ke beban, baik untuk ke beban transmisi yang menuju konsumen maupun beban yang digunakan untuk kebutuhan listrik PLTA Cirata sendiri. Adapun tabel 3.2 menunjukkan data kapasitas pembangkit di PT. PJB Unit Pembangkitan Cirata sebagai Cirata :

Tabel 3.5 Data kapasitas pembangkit PLTA

No.	Pembangkit	MW	MVA	KV	%PF
1.	GEN 1	126	140	16,5	90
2.	GEN 2	126	140	16,5	90
3.	GEN 3	126	140	16,5	90
4.	GEN 4	126	140	16,5	90
5.	GEN 5	126	140	16,5	90
6.	GEN 6	126	140	16,5	90
7.	GEN 7	126	140	16,5	90
8.	GEN 8	126	140	16,5	90

Adapun spesifikasi dari generator secara detail adalah sebagai berikut :

<i>Manufacture</i>	: ELIN-UNION
<i>Type</i>	: <i>Umbrella, vertical shaft, synchronous generator</i>
Jumlah pole	: 32 (16 pasang kutub)
Putaran	: 187,5 rpm
Tegangan	: 16,5 kV
Arus	: 4899 A (<i>rated current</i>)
Frekuensi	: 50 Hz
<i>Power Factor</i>	: 0,9 Lag
Jumlah	: 8 unit
Kapasitas	: 140 MVA

Sementara untuk *emergency generator* yang digunakan untuk spesifikasinya adalah sebagai berikut :

<i>Manufacture</i>	: ELIN – UNION
<i>Number</i>	: 1
<i>Type</i>	: NTJ – 045CO4F
<i>Voltage</i>	: 6000 V
<i>No Of Phase</i>	: 3
<i>Frequency</i>	: 50 Hz
<i>Speed</i>	: 1500 rpm

3.4 Sistem Distribusi di PT. PJB UP Cirata

Sistem distribusi yang dipakai oleh PT. PJB UP Cirata merupakan jaringan distribusi tipe radial. Sistem ini memiliki keuntungan dan kekurangan pula. Adapun kelebihan dari sistem ini adalah sederhana dan murah serta lebih mudah dari segi sistem koordinasi pengamannya. Untuk kekurangannya adalah saat terjadi gangguan pada salah satu bus maka suplai daya ke beban akan terputus karena daya yang disalurkan melalui satu *line* saja.

Tipe radial digunakan dalam system kelistrikan PT. PJB Unit Pembangkitan Cirata. Dengan menggunakan tipe radial maka pasokan daya dapat menuju beban dengan baik dan biaya operasional yang tidak mahal. Selain itu system kelistrikan di PT. PJB UP Cirata

juga terkoneksi satu sama lain dengan tujuan menjaga kontinuitas pasokan daya ke beban.

PLTA Cirata memiliki system *emergency generator* yang berfun gis untuk memberi pasokan daya awal ke beban bila terjadi *blackout*. Hal ini akan menjadikan PLTA Cirata memiliki kemampuan untuk tetap beroperasi meskipun dalam kondisi padam.

Pada PLTA yang ada di PT. PJB UP Cirata ini dalam operasinya dilengkapi dengan beberapa transformator seperti *main transformer*, *station transformer*, dan *house transformer* untuk masing-masing blok PLTA. *Main transformer* merupakan trafo *step up* dari 16,5 kV menjadi 500 kV untuk disalurkan ke transmisi, sementara untuk *station transformer* menaikan 16,5 kV menjadi 20 kV untuk kebutuhan listrik PLTA Cirata. *House transformer* merupakan tranfo *step down* 20 kV menjadi 380 V untuk kebutuhan penunjang PLTA Cirata. Lebih jelas mengenai transformator yang digunakan pada blok PLTA di PT. PJB UP Cirata dapat dilihat pada tabel 3.3.

Tabel 3.6 Data kapasitas transformator pada PLTA Cirata

No.	Transformator	MVA	KV	%Z	Hubungan
1.	MT1	280	16,5/500	14,5	Δ/Y
2.	MT2	280	16,5/500	14,5	Δ/Y
3.	MT3	280	16,5/500	14,5	Δ/Y
4.	MT4	280	16,5/500	14,5	Δ/Y
5.	STR1	1,75	16,5/20	6,25	Δ/Y
6.	STR2	1,75	16,5/20	6,25	Δ/Y
7.	STR3	1,75	16,5/20	6,25	Δ/Y
8.	STR4	1,75	16,5/20	6,25	Δ/Y
9.	HTR1	0,63	20/0,38	4	Δ/Y
10.	HTR2	0,63	20/0,38	4	Δ/Y
11.	HTR3	0,63	20/0,38	4	Δ/Y
12.	HTR4	0,63	20/0,38	4	Δ/Y
13.	HTR5	0,63	20/0,38	4	Δ/Y
14.	HTR6	0,63	20/0,38	4	Δ/Y
15.	HTR7	0,63	20/0,38	4	Δ/Y
16.	HTR8	0,63	20/0,38	4	Δ/Y
17.	HTR9	0,63	20/0,38	4	Δ/Y
18.	HTR10	0,63	20/0,38	4	Δ/Y
19.	HTR11	0,63	20/0,38	4	Δ/Y

Tabel 3.7 Data busbar pada PLTA Cirata

No	ID Bus	Tegangan (kV)
1	Bus 9	0,38
2	Bus 2	0,38
3	Bus 3	0,38
4	Bus 12	0,38
5	Bus 8	0,38
6	Bus 17	0,38
7	Bus 18	0,38
8	Bus 22	0,38
9	Bus 23	0,38
10	Bus 27	0,38
11	Bus 28	0,38
12	Bus 5	20
13	Bus 4	20
14	Bus 13	20
15	Bus 16	20
16	Bus 21	20
17	Bus 26	20
18	Bus 10	16,5
19	Bus 19	16,5
20	Bus 24	16,5
21	Bus 29	16,5
22	Bus 31	500
23	Bus 28	500
24	Bus 25	500
25	Bus 30	500
26	Bus 32	6

3.5 Beban Tenaga Listrik di PT. PJB UP Cirata

Beban-beban tenaga listrik di PT. PJB UP Cirata terdiri dari beban dinamis dan statis. Beban dinamis dapat berupa motor-motor pendukung sistem operasi dari PLTA. Sedangkan beban statis yaitu berupa lampu-lampu penerangan. Pada tabel 3.4 adalah data beban yang ada pada PLTA :

Tabel 3.8 Data beban pada bus 0,38 kV

Load 13	Bus 2	326 kW
Load 14	Bus 2	326 kW
Load 15	Bus 3	326 kW
Load 16	Bus 12	326 kW

Tabel 3.9 Data beban pada bus 20 kV

ID	Bus	Rating
Load 5	Bus 9	352 kW
Load 6	Bus 8	352 kW
Load 7	Bus 17	352 kW
Load 8	Bus 18	352 kW
Load 9	Bus 22	352 kW
Load 10	Bus 23	352 kW
Load 11	Bus 27	352 kW
Load 12	Bus 28	352 kW

Tabel 3.8 Data beban pada bus 16,5 kV

Load 1	Bus 31	141,95 MW
Load 2	Bus 28	141,95 MW
Load 3	Bus 25	141,95 MW
Load 4	Bus 30	141,95 MW

BAB IV

HASIL SIMULASI DAN ANALISA KOORDINASI PROTEKSI PLTA PADA PT. PJB UP CIRATA

4.1 Pemodelan Sistem Kelistrikan pada PT. PJB UP Cirata

Tugas akhir ini membahas mengenai analisis sistem pengaman disertai koordinasi proteksi arus lebih pada sistem kelistrikan PT. PJB UP Cirata yaitu pada sistem tegangan tinggi 20 kV yang terdapat di bus 5, bus 4 d, bus 13 dan bus lainnya yang berkapasitas sama. Analisis meliputi *range* arus yang digunakan pada rele, *setting* waktu yang digunakan serta menampilkan kurva kerja rele dengan *ploting* pada software simulasi.

Pemodelan sistem kelistrikan pada PT. PJB UP Cirata dilakukan dengan cara membuat *single line diagram* pada software simulasi ETAP 11. Langkah pertama pembuatan *single line diagram* tersebut adalah mengumpulkan data yang meliputi data transformator, generator, bus, beban yang ditanggung ,setelan rele *existing*, dan sistem pentanahan.

Dari pembuatan *single line diagram* tersebut dapat diketahui sistem kelistrikan *existing*. Sistem kelistrikan yang ada pada masih memiliki kekurangan dalam koordinasi proteksi yang akan mengganggu kontinuitas penyaluran daya sehingga pada tugas akhir ini dilakukan *reseting* untuk pencegahan akan hal tersebut.

Setelah pemodelan selesai dilakukan langkah selanjutnya adalah dengan melakukan analisa terhadap sistem kelistrikan yang terpasang. Dari analisis ini dapat diketahui tegangan bus, pembebanan transformator, pembebanan bus dan sistem kelistrikan berdasarkan PT. PJB UP Cirata *existing* pada *single line diagram* yang dibuat. Sebagaimana telah diterangkan pada bab sebelumnya, perencanaan proteksi ini akan membahas rele pengaman arus lebih.

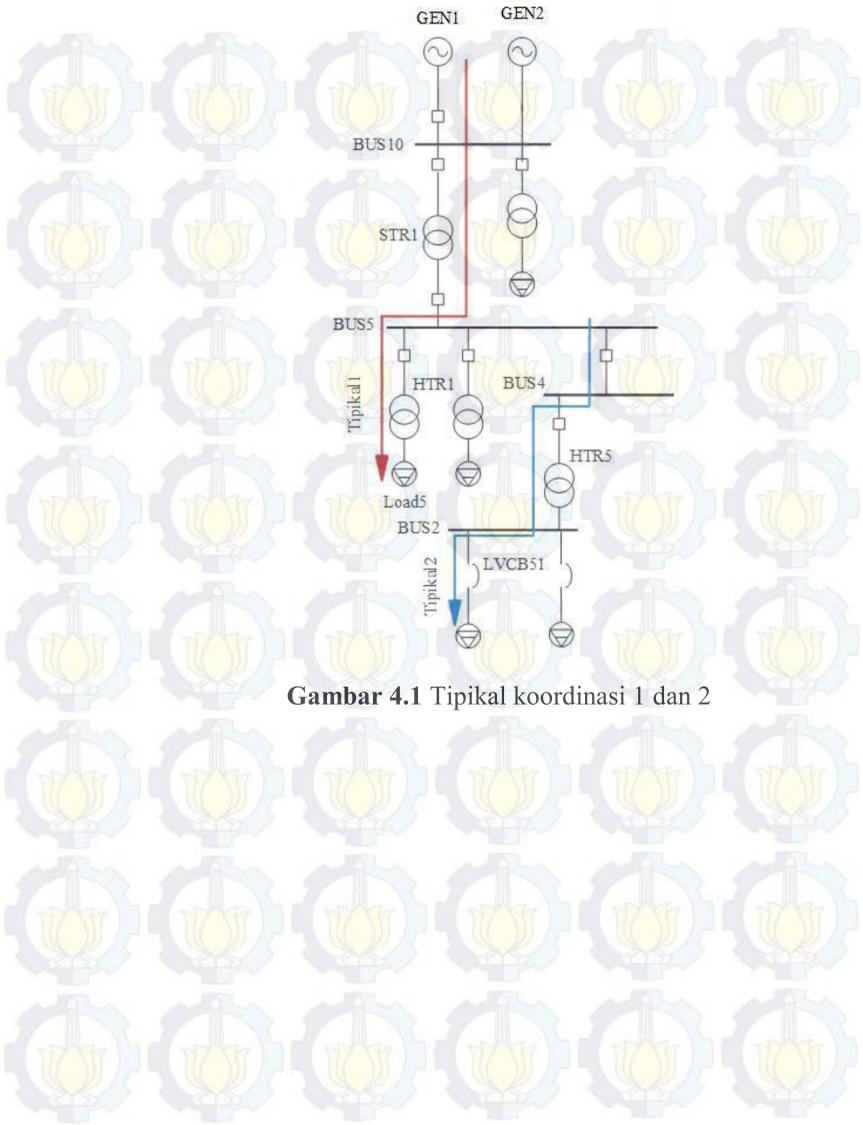
4.2 Pemilihan Tipikal Koordinasi pada PT. PJB UP Cirata

Dalam melakukan analisa sistem proteksi pada kelistrikan PT. PJB UP Cirata perlu dilakukan pemilihan tipikal yang berfungsi untuk mewakili sistem kelistrikan yang ada. Tipikal digunakan sebagai acuan dalam *setting* koordinasi proteksi yang lain.

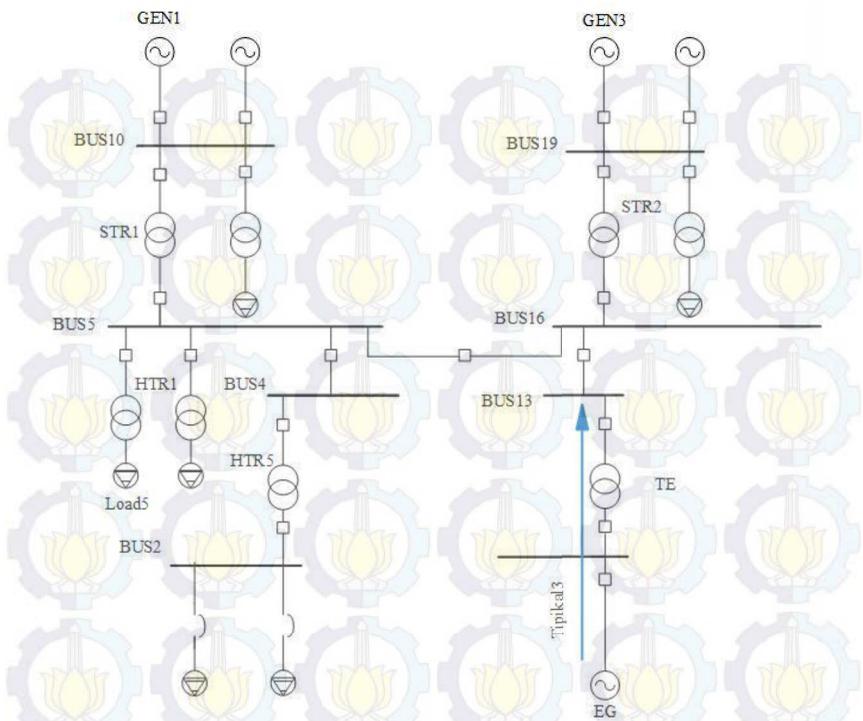
Pada koordinasi pengaman arus lebih PT. PJB UP Cirata dipilih beberapa tipikal yang mewakili keseluruhan sistem. Tipikal-tipikal tersebut dipilih atas dasar saluran terpanjang, saluran yang terkoordinasi dengan beban terbesar untuk pelayanan konsumen, saluran untuk *emergency generator* serta, saluran yang memiliki beban internal terbesar untuk pelayanan kelistrikan PT. PJB UP Cirata. Beberapa tipikal tersebut antara lain :

1. Koordinasi pengaman dari generator GEN1 sampai Load5. Tipikal ini merupakan jalur dari generator GEN1 ke beban internal PT.PJB UP Cirata terdekat. Pemilihan tipikal ini dimaksudkan untuk mewakili pengamanan peralatan transformator *stepdown* 0,38 kV dan transformator *stepup* 20 kV secara umum yang digunakan di PT. PJB UP Cirata. Dengan *rating* tegangan bus bervariasi dari 16,5 kV, 20 kV hingga 0,38 kV.
2. Koordinasi pengaman dari generator GEN1 sampai LVCB51. Pemilihan tipikal ini atas dasar saluran terpanjang dari generator menuju beban internal PT. PJB UP Cirata. Tetapi pada tipikal ini hanya dimulai koordinasinya dari LVCB51 hingga bus 4. Hal ini disebabkan karena saluran ini merupakan lanjutan dari tipikal 1. Pemilihan tipikal dimaksudkan untuk melindungi saluran yang memiliki peralatan transformator *stepdown* 0,38 kV dari gangguan arus hubung singkat yang terjadi. Dengan *rating* tegangan bus bervariasi dari 16,5 kV, 20 kV hingga 0,38 kV.
3. Koordinasi pengaman dari generator *emergency generator* sampai bus 13. Tipikal ini untuk melihat koordinasi dari *emergency generator* menuju beban yang terhubung dengan transmisi. Tetapi pada tipikal ini hanya dilakukan koordinasi dari bus 13 hingga rele 27.

Untuk mengetahui tipikal yang dipilih, maka dapat dilihat pada gambar. Untuk tipikal koordinasi 1 dan 2 dapat dilihat pada Gambar 4.1 dan tipikal 3 dapat dilihat pada Gambar 4.2.



Gambar 4.1 Tipikal koordinasi 1 dan 2



Gambar 4.2Tipikal koordinasi 3

4.3 Analisis Arus Gangguan Hubung Singkat

Analisa arus gangguan hubung singkat digunakan untuk mengetahui nilai arus gangguan yang terjadi di setiap bus dan tipikal. Arus hubung singkat yang akan digunakan dalam pengkoordinasian yaitu arus gangguan hubung singkat minimum dan maksimum. Nilai arus gangguan hubung singkat maksimum adalah ketika terjadi gangguan hubung singkat 3 fasa. Sedangkan nilai arus hubung singkat minimum adalah saat terjadi gangguan hubung singkat antar fasa atau *line-line*. Nilai arus gangguan tersebut digunakan dalam perhitungan *setting* rele pengaman arus lebih (*Over Current Relay*).

4.3.1 Hubung Singkat Minimum

Arus hubung singkat minimum adalah arus hubung singkat 2 fasa (*line-line*) pada saat 30 *cycle* atau *steady state*. Arus hubung singkat minimum terjadi ketika pembangkitan minimum. Arus hubung singkat minimum didapat untuk digunakan sebagai acuan dalam menentukan nilai dari *pickup* kurva saat waktu instan. Sehingga ketika terjadi gangguan hubung singkat minimum rele akan bekerja dengan waktu singkat sesuai dengan *setting time delay* yang telah ditentukan sehingga arus gangguan dapat diamankan dengan cepat.

Dari hasil simulasi gangguan hubung singkat minimum 30 *cycle* (*line to line*) maka hasilnya dapat dilihat pada tabel 4.1 berikut ini :

Tabel 4.1 Data arus hubung singkat minimum

No	ID Bus	Tegangan (kV)	Arus Hubung Singkat Minimum (<i>Line to line</i>)
1	Bus 9	0,38	12,34 kA
2	Bus 2	0,38	12,34 kA
3	Bus 3	0,38	12,34 kA
4	Bus 12	0,38	12,34 kA
5	Bus 8	0,38	12,34 kA
6	Bus 17	0,38	12,34 kA
7	Bus 18	0,38	12,34 kA
8	Bus 22	0,38	12,34 kA
9	Bus 23	0,38	12,34 kA
10	Bus 27	0,38	12,34 kA
11	Bus 28	0,38	12,34 kA
12	Bus 5	20	2,74 kA
13	Bus 4	20	2,74 kA
14	Bus 13	20	2,74 kA
15	Bus 16	20	2,74 kA
16	Bus 21	20	2,74 kA
17	Bus 26	20	2,74 kA
18	Bus 10	16,5	37,47 kA
19	Bus 19	16,5	37,47 kA
20	Bus 24	16,5	37,47 kA
21	Bus 29	16,5	37,47 kA

Lanjutan Tabel 4.1 Data arus hubung singkat minimum

22	Bus 31	500	0,619 kA
23	Bus 20	500	0,619 kA
24	Bus 25	500	0,619 kA
25	Bus 30	500	0,619 kA
26	Bus 32	6	0,997 kA

4.3.2 Hubung Singkat Maksimum

Arus hubung singkat maksimum merupakan arus hubung singkat 3 fasa pada saat $0,5\text{cycle}$ atau saat periode *subtransient*. Arus hubung singkat maksimum terjadi ketika pembangkitan maksimum. Arus hubung singkat maksimum dapat dilihat pada saat $0,5\text{cycle}$. Arus hubung singkat maksimum digunakan saat perhitungan *time dial* pada penyetelan rele arus lebih (*Over Current Relay*). *Time dial* dapat mempengaruhi waktu kerja rele saat terjadi gangguan *short circuit*. Data hasil simulasi gangguan hubung singkat 3 fasa dapat ditunjukkan pada Tabel 4.2 dan 4.3 untuk 4 *cycle*.

Tabel 4.2 Data arus hubung singkat maksimum $0,5\text{cycle}$

No	ID Bus	Tegangan (kV)	Arus Hubung Singkat Maksimum (<i>Three phase</i>)
1	Bus 9	0,38	16,67 kA
2	Bus 2	0,38	16,67 kA
3	Bus 3	0,38	16,67 kA
4	Bus 12	0,38	16,67 kA
5	Bus 8	0,38	16,67 kA
6	Bus 17	0,38	16,67 kA
7	Bus 18	0,38	16,67 kA
8	Bus 22	0,38	16,67 kA
9	Bus 23	0,38	16,67 kA
10	Bus 27	0,38	16,67 kA
11	Bus 28	0,38	16,67 kA
12	Bus 5	20	3,71 kA
13	Bus 4	20	3,71 kA
14	Bus 13	20	3,71 kA
15	Bus 16	20	3,71 kA

Lanjutan Tabel 4.2 Data arus hubung singkat maksimum 0,5 cycle

16	Bus 21	20	3,71 kA
17	Bus 26	20	3,71 kA
18	Bus 10	16,5	72,77 kA
19	Bus 19	16,5	72,77 kA
20	Bus 24	16,5	72,77 kA
21	Bus 29	16,5	72,77 kA
22	Bus 31	500	1,79 kA
23	Bus 20	500	1,79 kA
24	Bus 25	500	1,79 kA
25	Bus 30	500	1,79 kA
26	Bus 32	6	1,2 kA

Tabel 4.3 Data arus hubung singkat maksimum 4 cycle

No	ID Bus	Tegangan (kV)	Arus Hubung Singkat Maksimum (Three phase)
1	Bus 9	0,38	16,12 kA
2	Bus 2	0,38	16,12 kA
3	Bus 3	0,38	16,12 kA
4	Bus 12	0,38	16,12 kA
5	Bus 8	0,38	16,12 kA
6	Bus 17	0,38	16,12 kA
7	Bus 18	0,38	16,12 kA
8	Bus 22	0,38	16,12 kA
9	Bus 23	0,38	16,12 kA
10	Bus 27	0,38	16,12 kA
11	Bus 28	0,38	16,12 kA
12	Bus 5	20	3,38 kA
13	Bus 4	20	3,38 kA
14	Bus 13	20	3,38 kA
15	Bus 16	20	3,38 kA
16	Bus 21	20	3,71 kA
17	Bus 26	20	3,71 kA
18	Bus 10	16,5	67,93 kA
19	Bus 19	16,5	67,93 kA

Tabel 4.3 Lanjutan data arus hubung singkat maksimum 4 *cycle*

20	Bus 24	16,5	67,93 kA
21	Bus 29	16,5	67,93 kA
22	Bus 31	500	1,45 kA
23	Bus 20	500	1,45 kA
24	Bus 25	500	1,45 kA
25	Bus 30	500	1,45 kA
26	Bus 32	6	1,2 kA

4.4 Koordinasi Rele Arus Lebih Gangguan Fasa

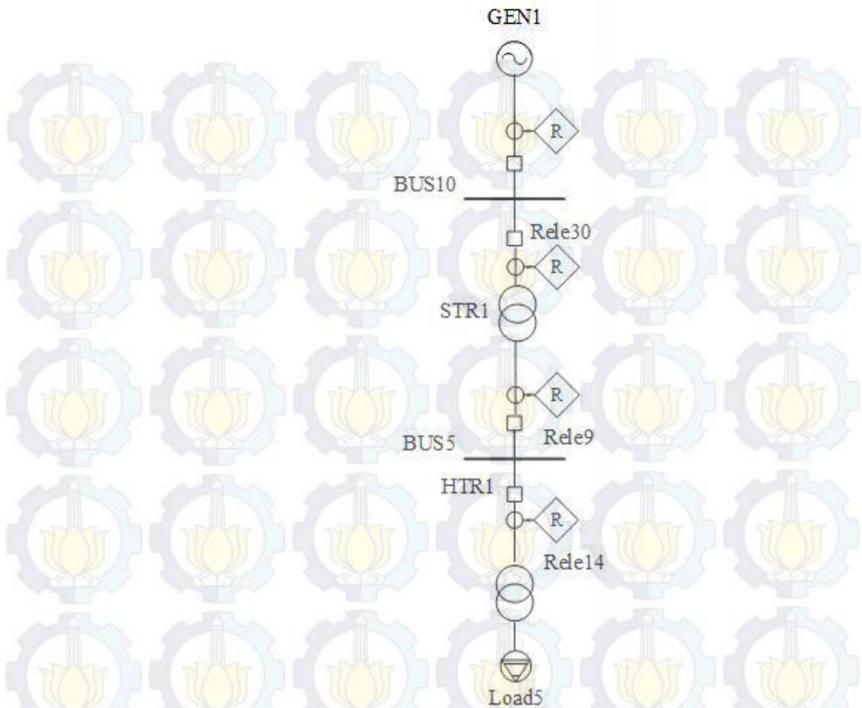
Pada koordinasi rele arus lebih gangguan fasa dilakukan *setting* arus dan waktu pada masing-masing rele agar rele yang satu dengan rele yang lain bekerja sesuai yang diharapkan. Koordinasi ini bertujuan untuk mengisolasi gangguan agar tidak mengganggu peralatan yang lain. Dari hasil koordinasi tidak diharapkan ada beberapa rele yang bekerja bersamaan atau terjadi *overlap* antara rele yang satu dengan rele yang lain.

Pada saat melakukan *setting* rele, parameter yang harus kita hitung antara lain : *pick up lowset*, *time dial*, *pick up highset* dan *time delay*. Sesuai standard IEEE 242, *grading time* untuk rele digital adalah 0,2 sampai 0,3 sekon. Pada tugas akhir ini dipilih *grading time* 0,2 s. Setelah menghitung parameter-parameter tersebut, langkah selanjutnya adalah melakukan plot *time-current curve* pada software ETAP 11 yang digunakan sebagai acuan pengkoordinasian kerja rele.

4.4.1 Koordinasi Rele Arus Lebih Gangguan Fasa Tipikal 1

Koordinasi rele tipikal 1 merupakan jalur dari generator GEN1 sampai ke Load 5 yaitu beban internal PT. PJB UP Cirata terdekat. Pada tipikal ini juga memperhatikan koordinasi dengan busbar. Jalur ini melalui 3 rele yaitu rele 14, rele 9, rele 30 serta rele yang terpasang pada saluran generator rele 2. Pada tipikal ini perlu diperhatikan *setting* dari *delay* yang akan mempengaruhi urutan kerja tiap rele yang terpasang saat adanya gangguan.

Gambar rangkaian Tipikal 1 dapat dilihat pada Gambar 4.3. Pada tipikal 1 terdapat peralatan transformator *stepdown* 0.38 kV (HTR1) dan transformator *stepup* 20 kV (STR1) serta generator pembangkit tenaga air 126 MW.



Gambar 4.3Single line tipikal 1

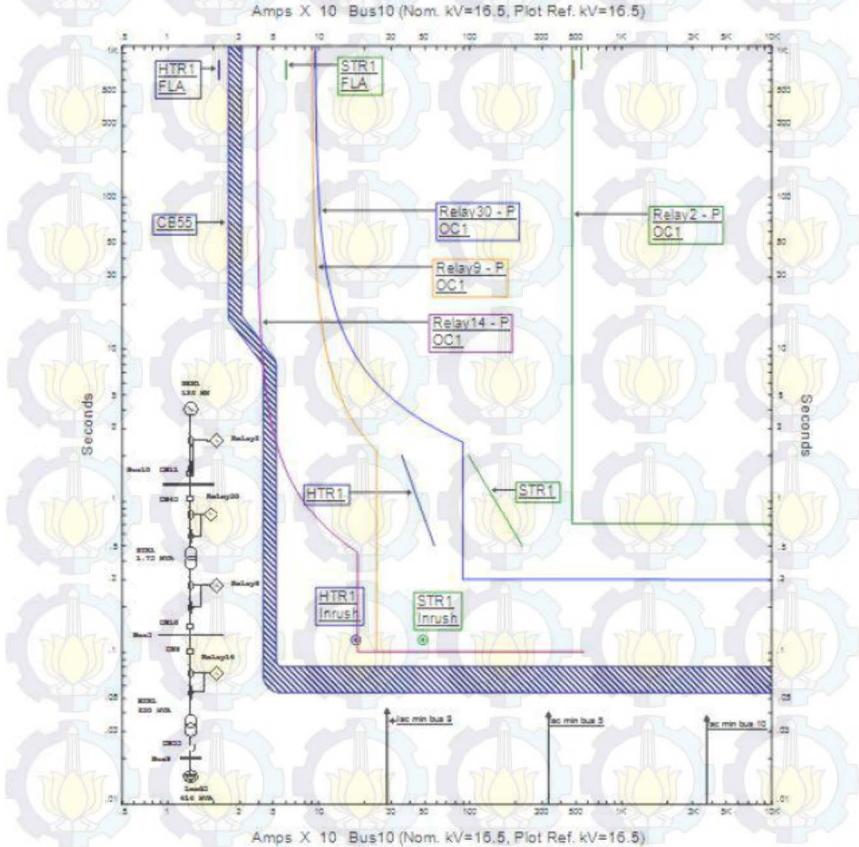
Untuk menggambarkan kurva kerja dari rele arus lebih diperlukan data setelan rele yang terpasang pada sistem kelistrikan tersebut. Data *existing* dari rele-rele pengaman pada koordinasi tipikal 1 diberikan pada tabel 4.4.

Tabel 4.4Data rele *existing* tipikal 1

No.	Relay ID & Model	CT Rasio	Setting	
1.	Rele 14 Argus 1	50/1	<i>Pickup</i>	0,65
			<i>Amp range</i>	0,65-32.5
			<i>Time dial</i>	0,1
			<i>Instantaneous Pickup</i>	3
			<i>Amp range</i>	3-150
			<i>Delay</i>	0,1
2.	Rele 9 Argus 1	100/1	<i>Pickup</i>	0,75
			<i>Amp range</i>	0,75-75
			<i>Time dial</i>	0,3
			<i>Instantaneous Pickup</i>	2
			<i>Amp range</i>	2-200
			<i>Delay</i>	0,1
3	Rele 30 Argus 1	100/1	<i>Pickup</i>	0,95
			<i>Amp range</i>	0,95-95
			<i>Time dial</i>	0,8
			<i>Instantaneous Pickup</i>	9
			<i>Amp range</i>	9-900
			<i>Delay</i>	0,3
4	Rele 2 Argus 1	100/1	<i>Pickup</i>	1,1
			<i>Amp range</i>	1,1-5500
			<i>Time dial</i>	0,1
			<i>Instantaneous Pickup</i>	95
			<i>Amp range</i>	0,95-4750
			<i>Delay</i>	0,7
5.	LVCB55 SIEMENS 3WN1/5, 3WS1	1600	<i>LT Pickup</i>	0,65
			<i>Amp range</i>	1040
			<i>LT Band</i>	2
			<i>ST Pickup</i>	2
			<i>Amp range</i>	2080
			<i>ST Band</i>	0,15

Data diatas selanjutnya dimasukan pada *relay editor* untuk mendapat hasil plot kurva yang dapat dilihat pada gambar 4.4.

Hasil dari plot *existing* koordinasirele-rele pengaman pada tipikal 1 dapat dilihat pada gambar 4.4. Dengan melihat hasil plot kurva dapat dianalisis waktu kerja dari rele yang terkoordinasi.



Gambar 4.4 Hasil plot setelan rele *existing* tipikal 1

Berdasarkan hasil dari plotting kurva tipikal 1 dapat di analisa bila masih ada kekurangan antara lain :

- Rele 14 terletak terlalu ke kanan dari nilai *FLA* transformator HTR1 dan juga kurva masih mengenai *inrush* dari transformator. Kurva invers seharusnya melindungi transformator HTR1 dari gangguan beban penuh yang ditandai dengan terjadinya lonjakan arus yang meningkat secara perlahan dan terjadi terus-menerus. Inrush adalah kondisi pada saat transformator *energizing*. Pada kondisi tersebut pengaman transformator tidak boleh bekerja karena hal itu bukan merupakan gangguan sehingga kurva rele harus di sebelah kanan dari titik *inrush*. Sedangkan, *damage curve* adalah kurva kerusakan transformator akibat panas yang berlebihan. Maka dari itu, sebelum mendekati *damage curve* transformator, rele harus bekerja sehingga kerusakan pada transformator dapat dicegah..
- Rele 9 merupakan *backup* dari rele 14, bila dilihat dari kurva sebaiknya kurva digeser keatas atau mengatur ulang nilai *delay*. Rele 9 terletak terlalu kekiri dari *damage curve* dan *inrush* transformator STR1. Sehingga perlu dilakukan pengaturan ulang agar sistem tetap berjalan lancar. Nilai dari *time dial* perlu diperhatikan agar mampu melindungi peralatan dari gangguan dengan tepat.
- Kurva untuk rele 30 terletak terlalu kekanan dari nilai *FLA* transformator STR1. Sehingga perlu dilakukan pengaturan ulang nilai *lowset pickup*.Sementara itu nilai *time dial* terlalu tinggi yang mempengaruhi waktu kerja rele saat terjadi gangguan hubung singkat.

4.4.1.1 Sistem Reseting Koordinasi Rele Pengaman Tipikal 1

Berikut adalah perhitungan *reseting* untuk parameter-parameter dari masing-masing rele yang terpasang pada tipikal 1.

LVCB55

<i>Manufacture</i>	: SIEMENS
<i>Model</i>	: SIEMENS 3WN1/5, 3WS1
<i>FLA</i> sekunder trafo HTR1	: 957,2 A
Isc max bus bar 9	: 15,23 kA
Isc min bus bar 9	: 12,34 kA
Rating Plug	: 1600

Long – Time

LT Pickup :

$$1,05 \times FLA_{HTR1} < I_{set} < 1,4 \times FLA_{HTR1}$$

$$1,05 \times 957,2 < I_{set} < 1,4 \times 957,2$$

$$1005,06 < I_{set} < 1340,08$$

$$\frac{1005,06}{1600} < Tap < \frac{1340,08}{1600}$$

$$0,628 < Tap < 0,837$$

Dipilih $Tap = 0,65$

$I_{set} = 1040 \text{ A}$

LT Band = 2

Short – Time

ST Pickup :

$$1,6 \times FLA_{HTR1} < I_{set} < 0,8 \times I_{scmin9}$$

$$1,6 \times 957,2 < I_{set} < 0,8 \times 12340$$

$$1531,52 < I_{set} < 9872$$

$$\frac{1531,52}{1600} < Tap < \frac{9872}{1600}$$

$$0,957 < Tap < 6,17$$

Dipilih $Tap = 2$

$I_{set} = 2080 \text{ A}$

LT Band = 0,15

Rele 14

Manufacture

: VA TECH HYDRO GmbH

Model

: Argus 1

FLA primer trafo HTR1

: 18,19 A

Isc max bus bar 5

: 3,38kA

Isc min bus bar 5

: 2,74 kA

CT Ratio

: 50/1

Time Overcurrent Pickup

$$1,05 \times FLA_{HTR1} < I_{set} < 1,4 \times FLA_{HTR1}$$

$$1,05 \times 18,19 < I_{set} < 1,4 \times 18,19$$

$$19,1 < I_{set} < 25,5$$

$$\frac{19,1}{50/1} < Tap < \frac{25,5}{50/1}$$

$$0,38 < Tap < 0,51$$

Dipilih $Tap = 0,4$
 $Iset = 20 \text{ A}$

Time Dial

Dipilih waktu operasi (td) = 0,1 s

$$td = \frac{80 \times K}{\left[\left(\frac{I}{I_{set}}\right)^2 - 1\right]}$$

$$K = \frac{td \times \left[\left(\frac{I}{I_{set}}\right)^2 - 1\right]}{80}$$

$$K = \frac{0,1 \times \left[\left(\frac{3380}{0,4 \times 50}\right)^2 - 1\right]}{80}$$

$$K = 35,7$$

Instantaneous Pickup

$$1,6 \times FLA \text{ HTR1} < I_{set} < 0,8 \times I_{sc \text{ min bus 5}}$$

$$1,6 \times 18,19 < I_{set} < 0,8 \times 2740$$

$$29,104 < I_{set} < 2192$$

$$\frac{29,104}{50/1} < Tap < \frac{2192}{50/1}$$

$$0,58 < Tap < 43,84$$

Dipilih $Tap = 5$
 $Iset = 250 \text{ A}$
 $Time \text{ delay} = 0,1 \text{ s}$

Relé 9

Manufacture : VA TECH HYDRO GmbH

Model : Argus 1

FLA sekunder trafo HTR1 : 50,52 A

Isc max bus bar 5 : 3,38 kA

Isc min bus bar 5 : 2,74 kA
 CT Ratio : 100/1

Time Overcurrent Pickup

$$1,05 \times FLA_{STR1sek} < I_{set} < 1,4 \times FLA_{STR1sek}$$

$$1,05 \times 50,52 < I_{set} < 1,4 \times 50,52$$

$$53 < I_{set} < 70,7$$

$$\frac{53}{100/1} < Tap < \frac{70,7}{100/1}$$

$$0,53 < Tap < 0,7$$

Dipilih $Tap = 0,55$
 $I_{set} = 55 \text{ A}$

Time Dial

Dipilih waktu operasi (td) = 0,5 s

$$td = \frac{80 \times K}{\left[\left(\frac{I}{I_s}\right)^2 - 1\right]}$$

$$K = \frac{td \times \left[\left(\frac{I}{I_s}\right)^2 - 1\right]}{80}$$

$$K = \frac{0,5 \times \left[\left(\frac{3380}{0,55 \times 100}\right)^2 - 1\right]}{80}$$

$$K = 23,6$$

Instantaneous Pickup

$$1,6 \times FLA < I_{\gg} < 0,8 \times I_{scmin \text{ bus } 5}$$

$$1,6 \times 50,52 < I_{\gg} < 0,8 \times 2740$$

$$80,832 < I_{\gg} < 2192$$

$$\frac{80,832}{100/1} < Tap < \frac{2192}{100/1}$$

$$0,81 < Tap < 21,92$$

Dipilih $Tap = 6,5$
 $I_{set} = 650 \text{ A}$
 Time delay = 0,5 s

Rele 30

<i>Manufacture</i>	: VA TECH HYDRO GmbH
<i>Model</i>	: Argus 1
<i>FLA primer trafo STR1</i>	: 61,23 A
Isc max bus bar 10	: 67,93kA
Isc min bus bar 10	: 37,47 kA
<i>CT Ratio</i>	: 100/1

Time Overcurrent Pickup

$$\begin{aligned}1,05 \times FLA STR1pri < Iset < 1,4 \times FLA STR1pri \\1,05 \times 61,23 < Iset < 1,4 \times 61,23 \\64,29 < Iset < 85,72 \\ \frac{64,29}{100/1} < Tap < \frac{85,72}{100/1} \\0,64 < Tap < 0,85\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Dipilih } Tap &= 0,7 \\ Iset &= 70 \text{ A}\end{aligned}$$

Time Dial

Dipilih waktu operasi (td) = 0,1 s

$$\begin{aligned}td &= \frac{80 \times K}{\left[\left(\frac{I}{I_s}\right)^2 - 1\right]} \\ K &= \frac{td \times \left[\left(\frac{I}{I_s}\right)^2 - 1\right]}{80}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}K &= \frac{0,1 \times \left[\left(\frac{67930}{0,7 \times 100}\right)^2 - 1\right]}{80} \\ K &= 11,76\end{aligned}$$

Instaneous Pickup

$$\begin{aligned}1,6 \times FLA < I_{>>} < 0,8 \times I_{scmin \text{ bus } 10} \\1,6 \times 61,23 < I_{>>} < 0,8 \times 37470 \\97,968 < I_{>>} < 29976 \\ \frac{97,968}{100/1} < Tap < \frac{29976}{100/1}\end{aligned}$$

$$0,97 < Tap < 299,76$$

Dipilih $Tap = 15$
 $I_{set} = 15000 \text{ A}$
 $Time\ delay = 0,1 \text{ s}$

Rele 2

Manufacture : VA TECH HYDRO GmbH
Model : Argus 1
FLA generator GEN1 : 4899 A
Isc max bus bar 10 : 67,93 kA
Isc min bus bar 10 : 37,47 kA
CT Ratio : 5000/1

Time Overcurrent Pickup

$$1,05 \times FLA < I_{set} < 1,4 \times FLA$$

$$1,05 \times 4899 < I_{set} < 1,4 \times 4899$$

$$5143,95 < I_{set} < 6858,6$$

$$\frac{5143,95}{5000/1} < Tap < \frac{6858,6}{5000/1}$$

$$1,028 < Tap < 1,37$$

Dipilih $Tap = 1,03$
 $I_{set} = 5150 \text{ A}$

Time Dial

Dipilih waktu operasi (td) = 0,3 s

$$td = \frac{80 \times K}{\left[\left(\frac{I}{I_{set}}\right)^2 - 1\right]}$$

$$K = \frac{td \times \left[\left(\frac{I}{I_{set}}\right)^2 - 1\right]}{80}$$

$$K = \frac{0,3 \times \left[\left(\frac{67930}{1,03 \times 5000}\right)^2 - 1\right]}{80}$$

$$K = 0,64$$

Instaneous Pickup

$$1,6 \times FLA < I_{>>} < 0,8 \times I_{scmin} \text{ bus 10}$$

$$1,6 \times 4899 < I_{>>} < 0,8 \times 37470$$

$$7838,4 < I_{>>} < 29976$$

$$\frac{7838,4}{5000/1} < Tap < \frac{29976}{5000/1}$$

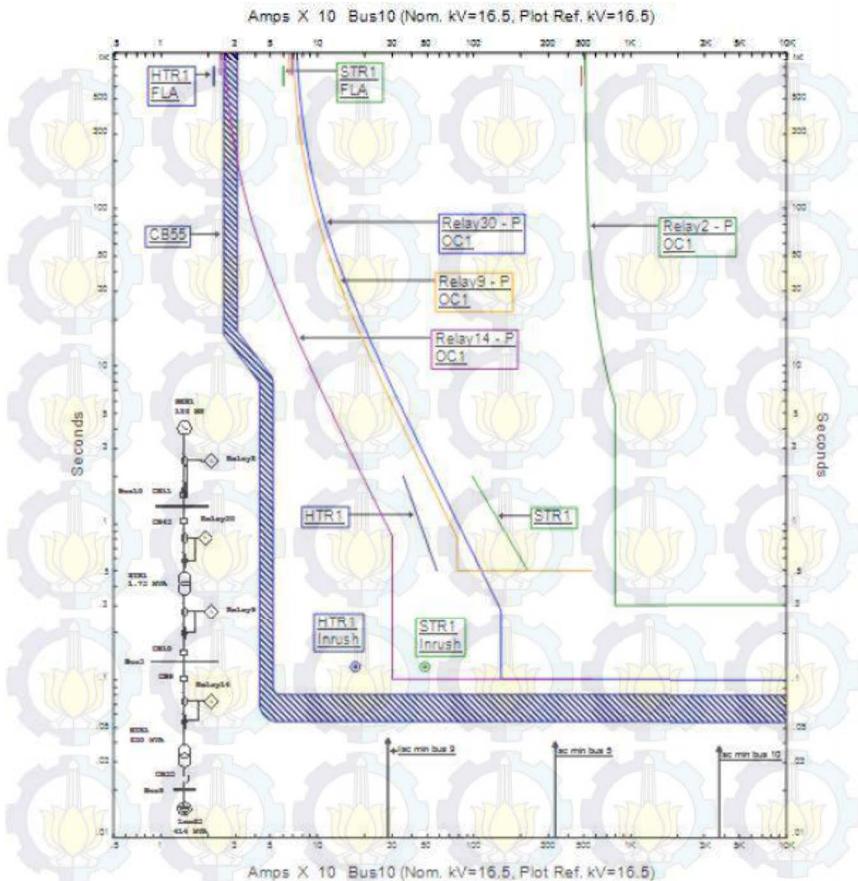
$$1,56 < Tap < 5,99$$

Dipilih $Tap = 1,6$

$I_{set} = 8000 \text{ A}$

$Time \ delay = 0,3 \text{ s}$

Setelah melakukan perhitungan untuk setiap parameter penyetelan rele. Dengan menggunakan simulasi dapat dilihat koordinasi kerja rele pada tipikal 1. Kurva hasil *reseting* pada koordinasi rele pengaman tipikal 1 dapat dilihat pada gambar 4.5



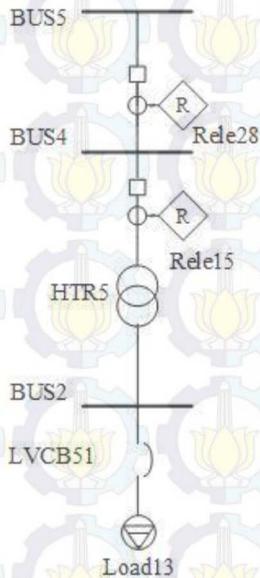
Gambar 4.5 Hasil plot setelan rele *reseting* tipikal 1

Dari hasil *reseting* dapat dilihat bila kurva rele 14 terletak disebelah kanan *inrush* dan tidak terlalu jauh dari nilai *FLA* dari transformator HTR1. Sementara itu rele 9 dan rele 30 terletak disebelah kanan *FLA* dan *inrush* dari transformator STR1. Nilai *delay* dari rele 9 disesuaikan sebagai *backup* dari rele 14, atau terletak lebih keatas dari kurva *instantaneous* rele 9.

4.4.2 Koordinasi Rele Arus Lebih Gangguan Fasa Tipikal 2

Koordinasi rele tipikal 1 merupakan jalur terpanjang dari generator GEN1 sampai ke Load 13 yaitu beban internal PT. PJB UP Cirata terjauh. Tipikal 2 merupakan saluran yang masih satu jalur dengan tipikal 1 maka beberapa *setting* rele adalah sama. Pada tipikal ini juga memperhatikan koordinasi dengan busbar. Jalur ini melalui 3 rele yaitu rele 15, rele 28 dan LVCB 51.

Gambar rangkaian Tipikal 2 dapat dilihat pada Gambar 4.6. Pada tipikal 2 terdapat peralatan trafo *stepdown* 0,38 kV (HTR1). Saluran ini menuju ke beban internal terjauh dari PT. PJB UP Cirata yang berada pada *rating* tegangan 0,38 kV.



Gambar 4.6 Single line tipikal 2

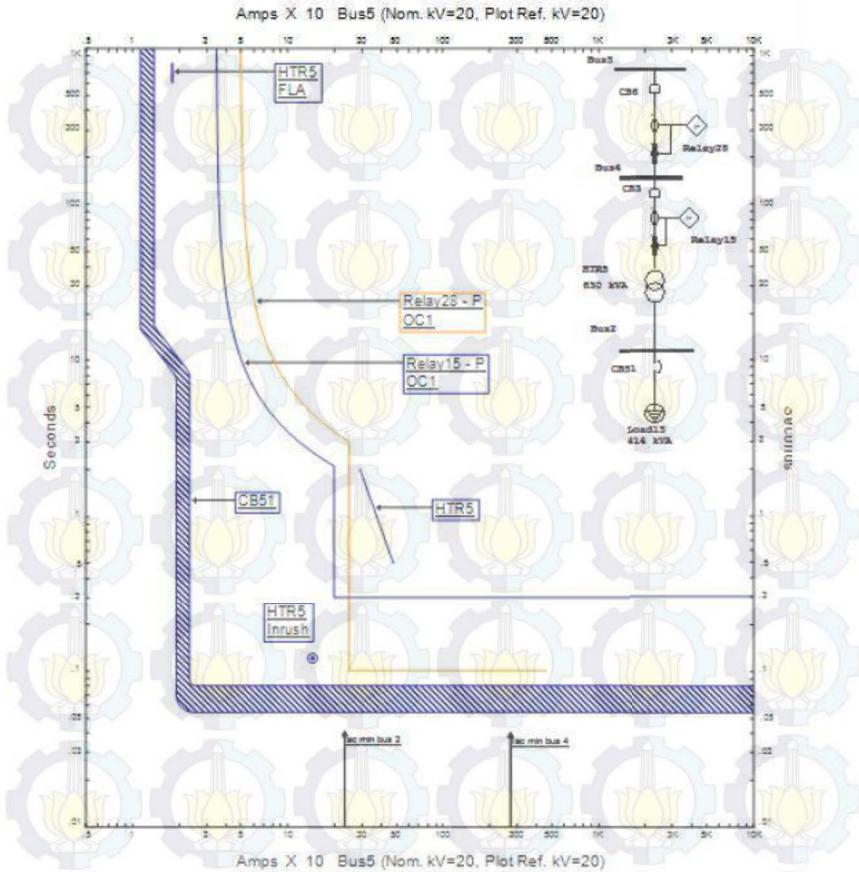
Untuk menggambarkan kurva kerja dari rele arus lebih diperlukan data setelan rele yang terpasang pada sistem kelistrikan tersebut. Data *existing* dari rele-rele pengaman pada koordinasi tipikal 2 diberikan pada tabel 4.5.

Tabel 4.5Data rele *existing* tipikal 2

No.	Relay ID & Model	CT Rasio	Setting	
1.	LVCB51 SIEMENS 3WN1/5, 3WS1	1600	<i>LT Pickup</i>	0,4
			<i>Amp range</i>	640
			<i>LT Band</i>	2
			<i>ST Pickup</i>	2
			<i>Amp range</i>	1280
			<i>ST Band</i>	0,01
2.	Rele 15 Argus 1	50/1	<i>Pickup</i>	0,7
			<i>Amp range</i>	0,7-35
			<i>Time dial</i>	0,53
			<i>Instantaneous Pickup</i>	4
			<i>Amp range</i>	4-200
			<i>Delay</i>	0,3
3	Rele 28 Argus 1	50/1	<i>Pickup</i>	1
			<i>Amp range</i>	1-50
			<i>Time dial</i>	0,7
			<i>Instantaneous Pickup</i>	5
			<i>Amp range</i>	5-250
			<i>Delay</i>	0,1

Data diatas selanjutnya dimasukan pada *relay editor* untuk mendapat hasil plot kurva yang dapat dilihat pada gambar 4.7.

Hasil dari plot *existing* koordinasirele-rele pengaman pada tipikal 2 dapat dilihat pada gambar 4.7. Dengan melihat hasil plot kurva dapat dianalisis waktu kerja dari rele yang terkoordinasi.



Gambar 4.7 Hasil plot setelan rele *existing* tipikal 2

Berdasarkan hasil dari plotting kurva tipikal 2 dapat di analisa bila masih ada kekurangan antara lain :

- Kurva untuk rele LVCB51 terletak disebelah kiri dari kurva yang lain, ini menunjukkan rele LVCB51 mengamankan daerah beban Load 31. Dalam hal ini rele sudah mendekati sesuai dengan koordinasi yang diharapkan.

- Rele 15 memiliki nilai *lowset* yang terlalu besar, hal ini dapat dilihat dari kurva yang terletak terlalu kekanan dari nilai *FLA* transformator HTR5. Sementara itu nilai dari *delay* yang ada tumpang tindih dengan kurva rele 28. Dengan keadaan tersebut rele tidak terkoordinasi dengan baik, karena rele 28 akan bekerja terlebih dahulu bila terjadi gangguan hubung singkat di bus bar 2.
- Kurva hijau merupakan hasil plot dari rele 28 yang berfungsi sebagai *backup* dari rele 15 untuk mengamankan peralatan transformator terhadap gangguan. Kurva rele 28 terletak terlalu kekanan dari nilai *FLA* transformator dan juga tumpang tindih dengan kurva rele 15. Hal ini akan mempengaruhi kontinuitas daya yang tersalurkan.

4.4.2.1 Sistem Reseting Koordinasi Rele Pengaman Tipikal 2

Berikut adalah perhitungan *reseting* untuk parameter-parameter dari masing-masing rele yang terpasang pada tipikal 2.

LVCB51

Manufacture

: VA TECH HYDRO GmbH

Model

: SIEMENS 3WN1/5, 3WS1

FLA lump load 13

: 629 A

Isc max bus bar 2

: 16,12 kA

Isc min bus bar 2

: 12,32 kA

Rating Plug

: 1600

Long – Time

LT Pickup :

$$1,05 \times FLA \text{ lump load13} < Iset < 1,4 \times FLA \text{ lump load13}$$

$$1,05 \times 629 < Iset < 1,4 \times 629$$

$$660,45 < Iset < 880,6$$

$$660,45 < \frac{1600}{Tap} < 880,6$$

$$\frac{1600}{0,41} < Tap < \frac{1600}{0,55}$$

$$0,41 < Tap < 0,55$$

Dipilih *Tap* = 0,45

Iset = 720A

LT Band= 2

Short – Time

ST Pickup :

$$1,6 \times FLA \text{ lump load} < Iset < 0,8 \times I_{scmin2}$$

$$1,6 \times 629 < Iset < 0,8 \times 12320$$

$$754,8 < Iset < 9856$$

$$\frac{754,8}{1600} < Tap < \frac{9856}{1600}$$

$$0,47 < Tap < 6,16$$

Dipilih Tap = 2

Iset = 2080 A

ST Band= 0,01

Rele 15

Manufacture : VA TECH HYDRO GmbH

Model : Argus 1

FLA primer trafo HTR 5 : 18,19 A

Isc max bus bar 4 : 3,38 kA

Isc min bus bar 4 : 2,74 kA

CT Ratio : 50/1

Time Overcurrent Pickup

$$1,05 \times FLA \text{ HTR5} < Iset < 1,4 \times FLA \text{ HTR5}$$

$$1,05 \times 18,19 < Iset < 1,4 \times 18,19$$

$$19,1 < Iset < 25,5$$

$$\frac{19,1}{50/1} < Tap < \frac{25,5}{50/1}$$

$$0,38 < Tap < 0,51$$

Dipilih Tap = 0,4

Iset = 20 A

Time Dial

Dipilih waktu operasi (td) = 0,1 s

$$td = \frac{80 \times K}{\left[\left(\frac{I}{I_s}\right)^2 - 1\right]}$$

$$K = \frac{td \times \left[\left(\frac{I}{I_s} \right)^2 - 1 \right]}{80}$$

$$K = \frac{0,1 \times \left[\left(\frac{3380}{0,4 \times 50} \right)^2 - 1 \right]}{80}$$

$$K = 35,7$$

Instantaneous Pickup

$$1,6 \times FLA \text{ HTR } 5 \text{ prim} < I_{\gg} < 0,8 \times I_{s \text{ min bus } 4}$$

$$1,6 \times 18,19 < I_{\gg} < 0,8 \times 2740$$

$$29,104 < I_{\gg} < 2192$$

$$\frac{29,104}{50/1} < Tap < \frac{2192}{50/1}$$

$$0,58 < Tap < 43,84$$

Dipilih $Tap = 5,5$
 $I_{set} = 275 \text{ A}$
 $Time \text{ delay} = 0,1 \text{ s}$

Rele 28

Manufacture : SIEMENS
Model : 75J63
FLA : 36,38 A
Isc max bus bar 4 : 3,38 kA
Isc min bus bar 4 : 2,74 kA
CT Ratio : 50/1

Time Overcurrent Pickup

$$1,05 \times FLA < I_{set} < 1,4 \times FLA$$

$$1,05 \times 36,38 < I_{set} < 1,4 \times 36,38$$

$$19,09 < I_{set} < 25,466$$

$$\frac{38,199}{50/1} < Tap < \frac{50,932}{50/1}$$

$$0,76 < Tap < 1,018$$

Dipilih $Tap = 0,77$
 $I_{set} = 38,5 \text{ A}$

Time Dial

Dipilih waktu operasi (t_d) = 0,3 s

$$t_d = \frac{80 \times K}{\left[\left(\frac{I}{I_s}\right)^2 - 1\right]}$$
$$K = \frac{t_d \times \left[\left(\frac{I}{I_s}\right)^2 - 1\right]}{80}$$
$$K = \frac{0,3 \times \left[\left(\frac{3380}{0,5 \times 50}\right)^2 - 1\right]}{80}$$
$$K = 68,5$$

Instantaneous Pickup

$$1,6 \times FLA < I_{>>} < 0,8 \times I_{scmin \text{ bus } 4}$$

$$1,6 \times 36,38 < I_{>>} < 0,8 \times 2740$$

$$58,208 < I_{>>} < 2192$$

$$\frac{58,208}{50/1} < Tap < \frac{2192}{50/1}$$

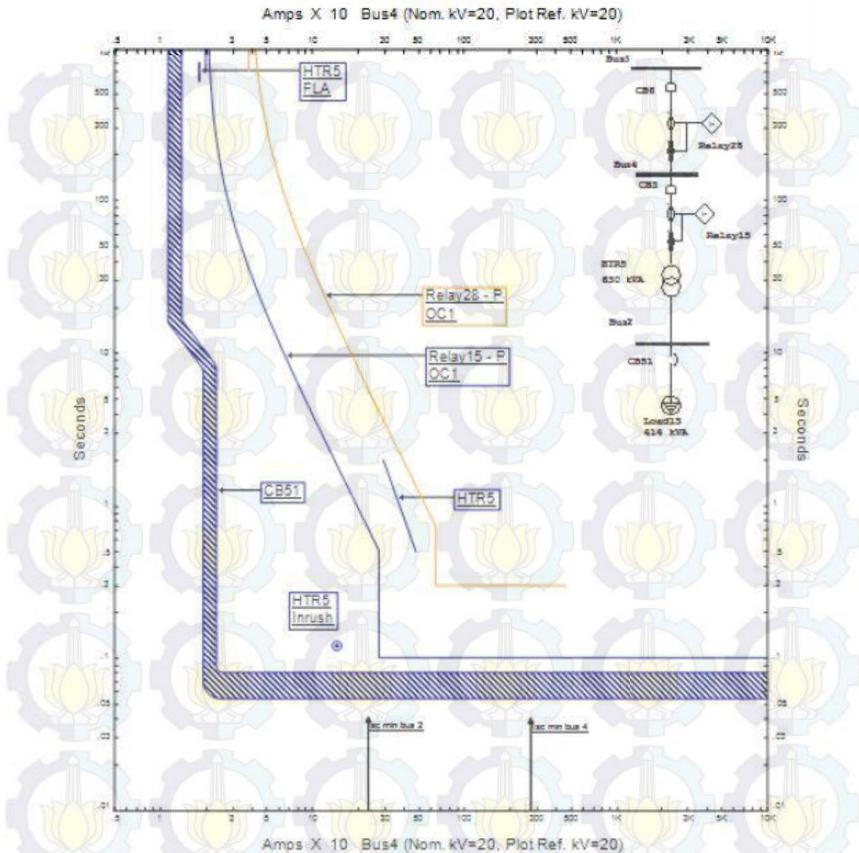
$$1,16 < Tap < 43,84$$

Dipilih $Tap = 13$

$I_{set} = 650 \text{ A}$

$Time \text{ delay} = 0,3 \text{ s}$

Setelah melakukan perhitungan untuk setiap parameter penyetelan rele. Dengan menggunakan simulasi dapat dilihat koordinasi kerja rele pada tipikal 2. Kurva hasil *reseting* pada koordinasi rele pengaman tipikal 2 dapat dilihat pada gambar 4.8



Gambar 4.8 Hasil plot setelah rele *reseting* tipikal 2

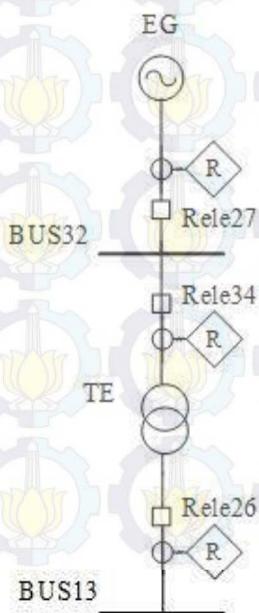
Dari hasil *reseting* dapat dilihat bila kurva rele 15 terletak disebelah kanan *inrush* dan tidak terlalu jauh dari nilai *FLA* dari transformator HTR5. Dengan *setting* seperti kurva pada gambar 4.8 maka rele 15 mampu melindungi transformator dan juga saluran pada tegangan 20 kV saat terjadi gangguan. Selain itu saat terjadi *inrush*, rele 15 tidak akan bekerja karena kurva terletak disebelah kanan dari titik *inrush* atau nilai arus *high set* di *setting* lebih besar. Sementara itu rele 28 terletak disebelah kanan *FLA* dan *inrush* dari transformator HTR5. Hal

ini dikarenakan rele 28 merupakan rele yang menanggung beban dari bus 4 yang memiliki 2 percabangan yang masing-masing terdapat 1 ransformator *stepdown* 0,38 kV. Nilai *delay* dari rele 28 disesuaikan sebagai *backup* dari rele 15, atau terletak lebih keatas dari kurva *instantaneous* rele 15.

4.4.3 Koordinasi Rele Arus Lebih Gangguan Fasa Tipikal 3

Koordinasi rele tipikal 3 merupakan jalur yang di pasok oleh *emergency generator* sampai ke bus 13 dengan *rating* 20 kV. Pada tipikal ini juga memperhatikan koordinasi pada rele-rele yang ada. 3 rele yang terpasang yaitu rele 27, rele 34 dan rele 26.

Gambar rangkaian Tipikal 3 dapat dilihat pada Gambar 4.9. Pada tipikal 3 terdapat peralatan trafo *stepup* 20 kV (TE) dan *emergency generator*. Saluran ini menuju ke bus 20 kV yang terhubung dengan bus 500 kV. Saluran ini berfungsi sebagai pemasok daya awal bila terjadi *blackout* pada pembangkit utama PLTA. Sehingga kebutuhan daya untuk konsumen yang terhubung dengan transmisi 500 kV terpenuhi.



Gambar 4.9 Single line tipikal 3

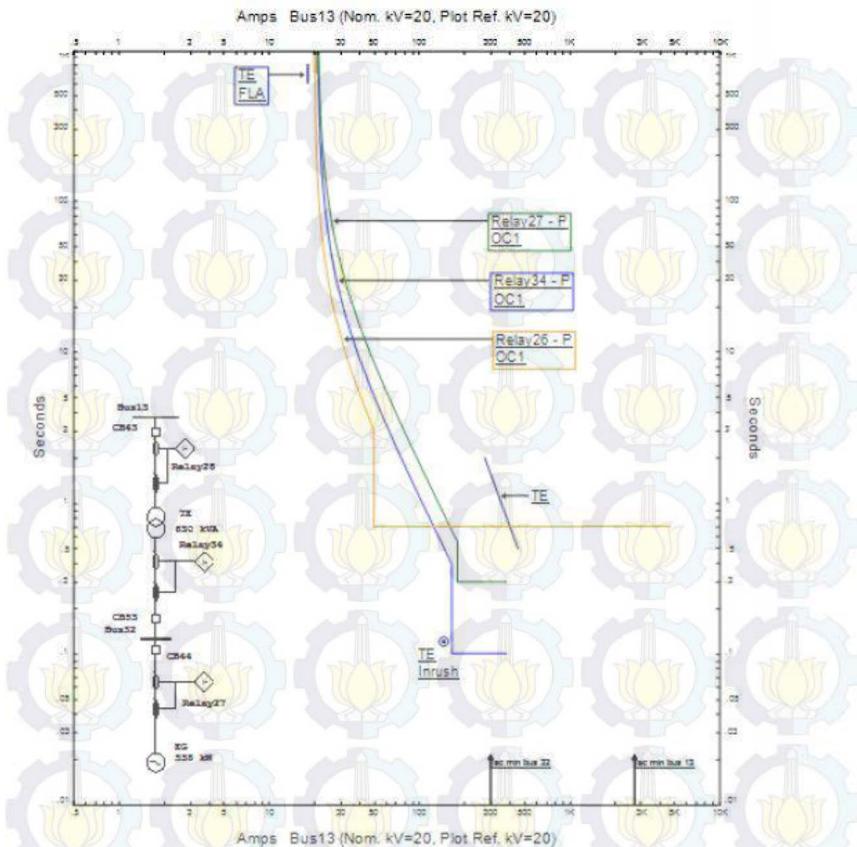
Untuk menggambarkan kurva kerja dari rele arus lebih diperlukan data setelan rele yang terpasang pada sistem kelistrikan tersebut. Data *existing* dari rele-rele pengaman pada koordinasi tipikal 3 diberikan pada tabel 4.6.

Tabel 4.6 Data rele *existing* tipikal 3

No.	Relay ID & Model	CT Rasio	Setting	
1.	Rele 26 Argus 1	50/1	<i>Pickup</i>	0,5
			<i>Amp range</i>	0,5-25
			<i>Time dial</i>	0,4
			<i>Instantaneous Pickup</i>	2
			<i>Amp range</i>	2-100
			<i>Delay</i>	0,5
2.	Rele 34 Argus 1	100/1	<i>Pickup</i>	0,9
			<i>Amp range</i>	0,9-90
			<i>Time dial</i>	0,55
			<i>Instantaneous Pickup</i>	6
			<i>Amp range</i>	6-600
			<i>Delay</i>	0,3
3	Rele 27 Argus 1	100/1	<i>Pickup</i>	0,9
			<i>Amp range</i>	0,9-90
			<i>Time dial</i>	1
			<i>Instantaneous Pickup</i>	9
			<i>Amp range</i>	9-900
			<i>Delay</i>	0,7

Data diatas selanjutnya dimasukan pada *relay editor* untuk mendapat hasil plot kurva yang dapat dilihat pada gambar 4.10.

Hasil dari plot *existing* koordinasirele-rele pengaman pada tipikal 3 dapat dilihat pada gambar 4.10. Dengan melihat hasil plot kurva dapat dianalisis waktu kerja dari rele yang terkoordinasi.



Gambar 4.10 Hasil plot setelan rele *existing* tipikal 3

Berdasarkan hasil dari plotting kurva tipikal 4 dapat di analisa bila masih ada kekurangan antara lain :

- Kurva untuk rele 26 dapat dilihat pada gambar 4.10. Kurva terletak disebelah kiri dari *damage curve* transformator TE dan juga di sebelah kiri titik *inrush*, dapat diketahui bila rele 26 memiliki nilai *setting highset* yang terlalu kecil sehingga kurva berada disebelah kiri dari titik *inrush*. Bila hal ini dibiarkan maka dapat merusak transformator TE. *Inrush* bukanlah sebuah

gangguan melainkan merupakan kondisi saat transformator *energizing*. Pada kondisi ini pengaman tidak boleh bekerja. Sementara untuk *damage curve* rele harus mampu diamankan rele pengaman transformator sebelum transformator mengalami panas yang berlebih yang berdampak kerusakan fatal. Perlu diperhatikan juga *delay time* dari rele 26, *delay* sebaiknya terletak dibawah kurva 34, agar koordinasi sesuai dan kontinuitas daya tetap terjaga.

- Kurva rele 34 memiliki *time dial* yang terlalu tinggi dan juga *delay* yang tumpang tindih dengan kurva rele 26. Hal ini tidak diperbolehkan dalam koordinasi rele pengaman sehingga perlu dilakukan *setting* ulang. Rele 34 berfungsi sebagai *backup* dari rele 26.
- Rele 27 memiliki nilai *time dial* yang tinggi dan *delay time* kurang diperhatikan sehingga koordinasi kurang tepat. Rele sebaiknya harus bekerja sebelum mendekati *damage curve* untuk mencegah kerusakan transformator akibat panas berlebihan.
- Ketiga kurva juga terletak terlalu kekanan dari nilai *FLA* transformator. Hal ini dapat diatasi dengan mengatur ulang nilai *lowset* dari masing-masing rele agar tidak terlalu jauh dari *FLA* yang ditanggung.

4.4.3.1 Sistem Reseting Koordinasi Rele Pengaman Tipikal 3

Berikut adalah perhitungan *reseting* untuk parameter-parameter dari masing-masing rele yang terpasang pada tipikal 3.

Rele 26

Manufacture : VA TECH HYDRO GmbH

Model : Argus 1

FLA primer trafo TE1 : 18,19 A

Isc max bus bar 13 : 3,45 kA

Isc min bus bar 13 : 2,74 kA

CT Ratio : 50/1

Time Overcurrent Pickup

$$1,05 \times FLA TE_{sek} < I_{set} < 1,4 \times FLA TE_{sek}$$

$$1,05 \times 18,19 < I_{set} < 1,4 \times 18,19$$

$$19,09 < I_{set} < 25,466$$

$$\frac{19,09}{50/1} < Tap < \frac{25,466}{50/1}$$

$$0,38 < Tap < 0,509$$

Dipilih $Tap = 0,4$
 $I_{set} = 20 \text{ A}$

Time Dial

Dipilih waktu operasi (td) = 0,7 s

$$td = \frac{80 \times K}{\left[\left(\frac{I}{I_{set}}\right)^2 - 1\right]}$$

$$K = \frac{td \times \left[\left(\frac{I}{I_{set}}\right)^2 - 1\right]}{80}$$

$$K = \frac{0,7 \times \left[\left(\frac{3450}{0,4 \times 50}\right)^2 - 1\right]}{80}$$

$$K = 26,6$$

Instantaneous Pickup

$$1,6 \times FLA < I_{set} < 0,8 \times I_{scmin \text{ bus } 13}$$

$$1,6 \times 18,19 < I_{set} < 0,8 \times 2740$$

$$29,104 < I_{set} < 2192$$

$$\frac{29,104}{50/1} < Tap < \frac{2192}{50/1}$$

$$0,58 < Tap < 43,84$$

Dipilih $Tap = 1$
 $I_{set} = 50 \text{ A}$
 $Time \text{ delay} = 0,7 \text{ s}$

Rele 34

Manufacture : VA TECH HYDRO GmbH

Model : Argus 1

FLA sekunder trafo TE : 60,62 A

Isc max bus bar 32 : 1,2 kA

Isc min bus bar 32 : 0,997 kA
 CT Ratio : 100/1

Time Overcurrent Pickup

$$1,05 \times FLA T_{Esek} < I_{set} < 1,4 \times FLA T_{Esek}$$

$$1,05 \times 60,62 < I_{set} < 1,4 \times 60,62$$

$$63,651 < I_{set} < 84,868$$

$$\frac{63,651}{100/1} < Tap < \frac{84,868}{100/1}$$

$$0,636 < Tap < 0,848$$

Dipilih Tap = 0,7
 Iset = 70 A

Time Dial

Dipilih waktu operasi (td) = 0,1 s

$$td = \frac{80 \times K}{\left[\left(\frac{I}{I_s}\right)^2 - 1\right]}$$

$$K = \frac{td \times \left[\left(\frac{I}{I_s}\right)^2 - 1\right]}{80}$$

$$K = \frac{0,1 \times \left[\left(\frac{1200}{0,7 \times 100}\right)^2 - 1\right]}{80}$$

$$K = 0,004$$

Instantaneous Pickup

$$1,6 \times FLA < I_{>>} < 0,8 \times I_{scmin \text{ bus } 32}$$

$$1,6 \times 60,62 < I_{>>} < 0,8 \times 997$$

$$96,992 < I_{>>} < 797,6$$

$$\frac{96,992}{100/1} < Tap < \frac{797,6}{100/1}$$

$$0,969 < Tap < 7,976$$

Dipilih Tap = 5,5
 Iset = 500 A
 Time delay = 0,1 s

Rele 27

<i>Manufacture</i>	: VA TECH HYDRO GmbH
<i>Model</i>	: Argus 1
<i>FLA</i>	: 60,9 A
Isc max bus bar 32	: 1,2 kA
Isc min bus bar 32	: 0,997 kA
<i>CT Ratio</i>	: 100/1

Time Overcurrent Pickup

$$1,05 \times FLA TE_{sek} < I_{set} < 1,4 \times FLA TE_{sek}$$

$$1,05 \times 60,9 < I_{set} < 1,4 \times 60,9$$

$$63,945 < I_{set} < 85,26$$

$$\frac{63,945}{100/1} < Tap < \frac{85,26}{100/1}$$

$$0,639 < Tap < 0,852$$

Dipilih $Tap = 0,7$
 $I_{set} = 70 \text{ A}$

Time Dial

Dipilih waktu operasi (td) = 0,3 s

$$td = \frac{80 \times K}{\left[\left(\frac{I}{I_s}\right)^2 - 1\right]}$$

$$K = \frac{td \times \left[\left(\frac{I}{I_s}\right)^2 - 1\right]}{80}$$

$$K = \frac{0,3 \times \left[\left(\frac{1200}{0,7 \times 100}\right)^2 - 1\right]}{80}$$
$$K = 0,012$$

Instaneous Pickup

$$1,6 \times FLA < I_{>>} < 0,8 \times I_{scmin \text{ bus } 32}$$

$$1,6 \times 60,9 < I_{>>} < 0,8 \times 997$$

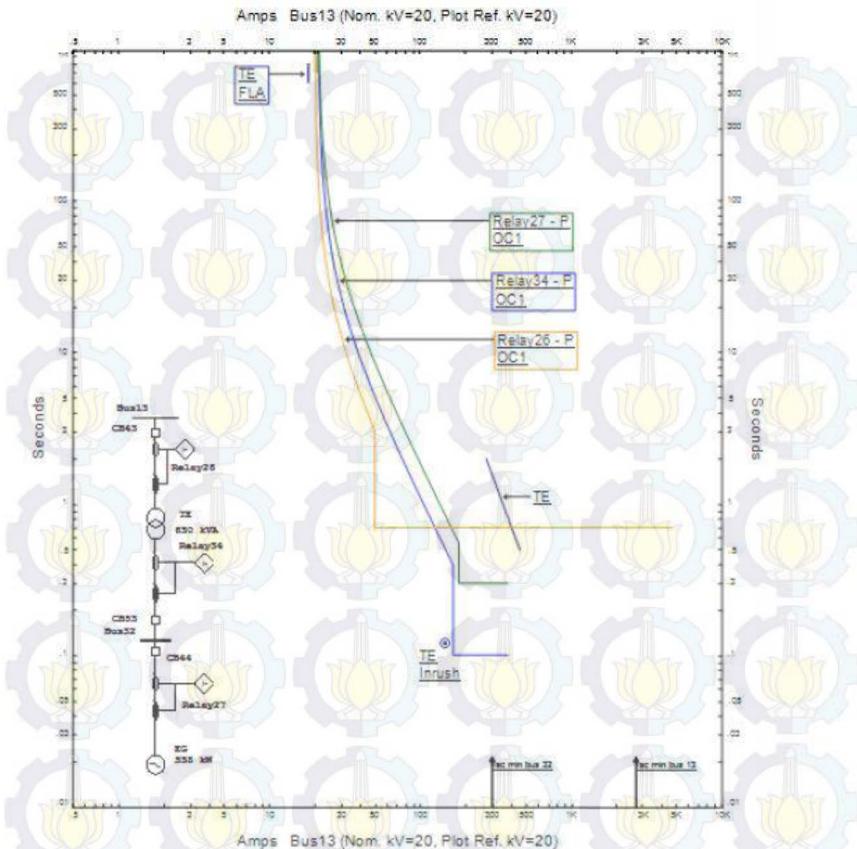
$$97,44 < I_{>>} < 797,6$$

$$\frac{97,44}{100/1} < Tap < \frac{797,6}{100/1}$$

$$0,974 < Tap < 7,976$$

Dipilih $Tap = 8$
 $I_{set} = 800 \text{ A}$
 $Time \ delay = 0,3 \text{ s}$

Setelah melakukan perhitungan untuk setiap parameter penyetelan rele. Dengan menggunakan simulasi dapat dilihat koordinasi kerja rele pada tipikal 3. Kurva hasil *reseting* pada koordinasi rele pengaman tipikal 3 dapat dilihat pada gambar 4.11.



Gambar 4.11 Hasil plot setelah rele *reseting* tipikal 3

Dari hasil *reseting* dapat dilihat bila kurva rele 26, 34 dan 27 terletak disebelah kanan *inrush* dan tidak terlalu jauh dari nilai *FLA* dari transformator TE. Dengan *setting* seperti kurva pada gambar 4.11 maka rele 26 mampu melindungi transformator dan juga saluran pada tegangan 20 kV saat terjadi gangguan. Selain itu saat terjadi *inrush*, rele 26 tidak akan bekerja karena kurva terletak disebelah kanan dari titik *inrush* atau nilai arus *high set* di *setting* lebih besar. Rele 34 merupakan rele yang mengamankan transformator TE serta rele 27 .

4.5 Koordinasi Rele Arus Lebih Gangguan ke Tanah

Koordinasi rele arus lebih gangguan ke tanah digunakan untuk mengatasi gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah. Pada koordinasi arus lebih gangguan ke tanah, parameter yang digunakan hanya *Instantaneous pickup* dan *time delay* saja. Besarnya arus lebih gangguan ke tanah sangat dipengaruhi oleh NGR yang dipasang karena arus hubung singkat ke tanah maksimal sama dengan NGR yang dipasang. Sedangkan apabila *grounding* trafonya berupa *solid grounded*, besarnya arus hubung singkat satu fasa ke tanah hampir sama dengan besarnya arus hubung singka 3 fasa sehingga setting rele gangguan ke tanah disamakan dengan setting rele fasa.

Sistem kelistrikan eksisting pada PT PJB Up Cirata adalah radial dengan tiga level tegangan utama, yaitu 16,5 kV, 20 kV dan 0,38 kV. Sedangkan pentanahan yang digunakan adalah seperti pada Tabel 4.7.

Tabel 4.7 Tingkat tegangan dan pentanahan peralatan

No.	Peralatan	Rating Tegangan	Pentanahan
1.	Generator GEN1	16,5 kV	NGR 200 A
2.	STR 1	16,5/20 kV	NGR 500 A
3.	HTR 1	20/0,38 kV	Solid
4.	HTR 5	20/0,38 kV	Solid
5.	TE	6/20 kV	NGR 300 A
6.	Generator EG	6 kV	NGR 200 A

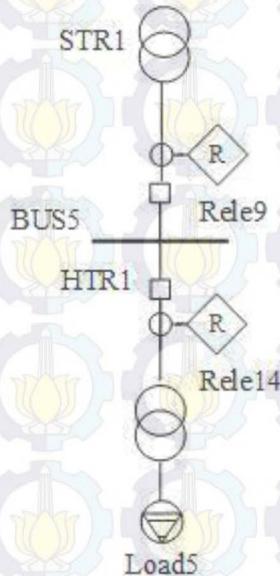
Dengan konfigurasi sistem seperti ini mengakibatkan koordinasi peralatan pengaman arus gangguan ke tanah dapat dipisahkan pada tiap level tegangan, karena jika terjadi gangguan pada satu level tegangan tertentu, pengaman yang berada pada satu feeder dengan tegangan berbeda tidak akan merasakan gangguan.

4.5.1 Koordinasi Rele Arus Lebih Gangguan Ke Tanah Tipikal 1

Pada tipikal 1, di tengah jalur terdapat trafo STR1 yang memiliki konfigurasi delta-woye Resistor, sehingga tipikal 1 dapat dibagi menjadi 2 zona dimana kedua zona ini tidak saling berhubungan apabila terjadi gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah.

Zona 1

Zona 1 dimulai dari trafo HTR1 sampai trafo STR1. Pada zona ini terdapat 2 rele, yaitu Relay 14 dan Relay 9. Besarnya arus hubung singkat satu fasa ke tanah sama dengan besarnya NGR yang terpasang di trafo STR1 yaitu 500 Ampere. Gambar rangkaian untuk tipikal 1 zona 1 ditunjukkan oleh Gambar 4.12.



Gambar 4.12 Rangkaian tipikal 1 *ground fault* zona 1

Perhitungan parameter dari rele 14 dan rele 9 adalah sebagai berikut :

Rele 14

Manufacture : VA TECH HYDRO GmbH

Model : Argus 1

Isc L-G : 500 A (20 kV)

CT Ratio : 50/1

Setting Relay

$$10\% \times I_{sc LG} \leq I_{set} \leq 50\% \times I_{sc LG}$$

$$10\% \times 500 \leq I_{set} \leq 50\% \times 500$$

$$50 \leq I_{set} \leq 250$$

$$\frac{50}{50/1} \leq Tap \leq \frac{250}{50/1}$$

$$1 \leq Tap \leq 5$$

Dipilih *Tap* = 2

Iset = 100 A

Dial = 0,1

Rele 9

Manufacture : VA TECH HYDRO GmbH

Model : Argus 1

Isc L-G : 500 A (20 kV)

CT Ratio : 100/1

Setting Relay

$$10\% \times I_{sc LG} \leq I_{set} \leq 50\% \times I_{sc LG}$$

$$10\% \times 500 \leq I_{set} \leq 50\% \times 500$$

$$50 \leq I_{set} \leq 250$$

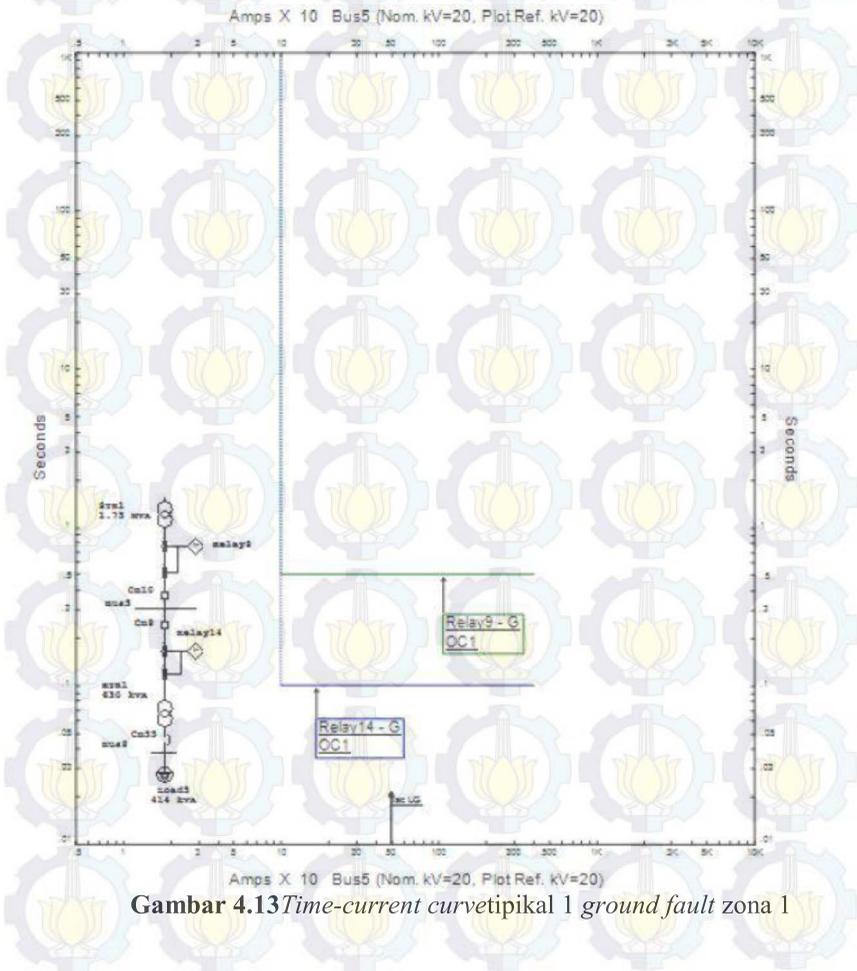
$$\frac{50}{100/1} \leq Tap \leq \frac{250}{100/1}$$

$$0,5 \leq Tap \leq 2,5$$

Dipilih *Tap* = 1

$I_{set} = 100 \text{ A}$
 $Dial = 0,5$

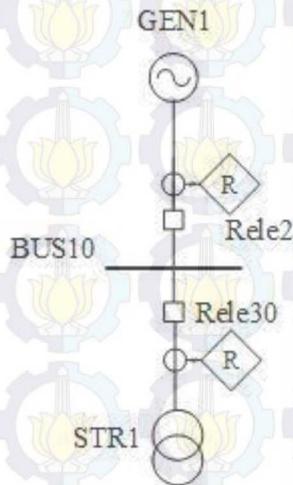
Dari perhitungan parameter-parameter di atas didapatkan *time-current curve* seperti tampak pada gambar 4.13



Gambar 4.13 *Time-current curve* tipikal 1 ground fault zona 1

Zona 2

Zona 2 dimulai dari trafo STR1 sampai trafo Generator GEN1. Pada zona ini terdapat 2 rele, yaitu Relay 30 dan Relay 2. Besarnya arus hubung singkat satu fasa ke tanah sama dengan besarnya NGR yang terpasang di trafo STR1 yaitu 500 Ampere. Gambar rangkaian untuk tipikal 1 zona 2 ditunjukkan oleh Gambar 4.14.



Gambar 4.14 Rangkaian tipikal 1 *ground fault* zona 2

Perhitungan parameter dari rele 30 dan rele 2 adalah sebagai berikut :

Rele 30

Manufacture

: VA TECH HYDRO GmbH

Model

: Argus 1

Isc L-G

: 500 A (16,5 kV)

CT Ratio

: 100/1

Setting Relay

$$10\% \times I_{sc LG} \leq I_{set} \leq 50\% \times I_{sc LG}$$

$$10\% \times 500 \leq I_{set} \leq 50\% \times 500$$

$$50 \leq I_{set} \leq 250$$

$$\frac{50}{100/1} \leq Tap \leq \frac{250}{100/1}$$

$$0,5 \leq Tap \leq 2,5$$

Dipilih $Tap = 1$
 $I_{set} = 100 \text{ A}$
 $Dial = 0,1$

Rele 2

Manufacture : VA TECH HYDRO GmbH
Model : Argus 1
Isc L-G : 200 A (16,5 kV)
CT Ratio : 5000/1

Setting Relay

$$10\% \times I_{sc LG} \leq I_{set} \leq 50\% \times I_{sc LG}$$

$$10\% \times 200 \leq I_{set} \leq 50\% \times 200$$

$$20 \leq I_{set} \leq 100$$

$$\frac{20}{5000/1} \leq Tap \leq \frac{100}{5000/1}$$

$$0,004 \leq Tap \leq 0,02$$

Pada kasus ini, tidak ada tap yang dapat memenuhi *range* dari rele. Oleh karena itu, disarankan untuk menambah *current transformer* untuk *ground* dengan rasio 100/5 yang dipasang secara Z CT. Dengan menambah CT untuk *ground* dengan rasio 100/5 maka perhitungannya akan menjadi seperti di bawah ini :

Setting Relay

$$10\% \times I_{sc LG} \leq I_{set} \leq 50\% \times I_{sc LG}$$

$$10\% \times 200 \leq I_{set} \leq 50\% \times 200$$

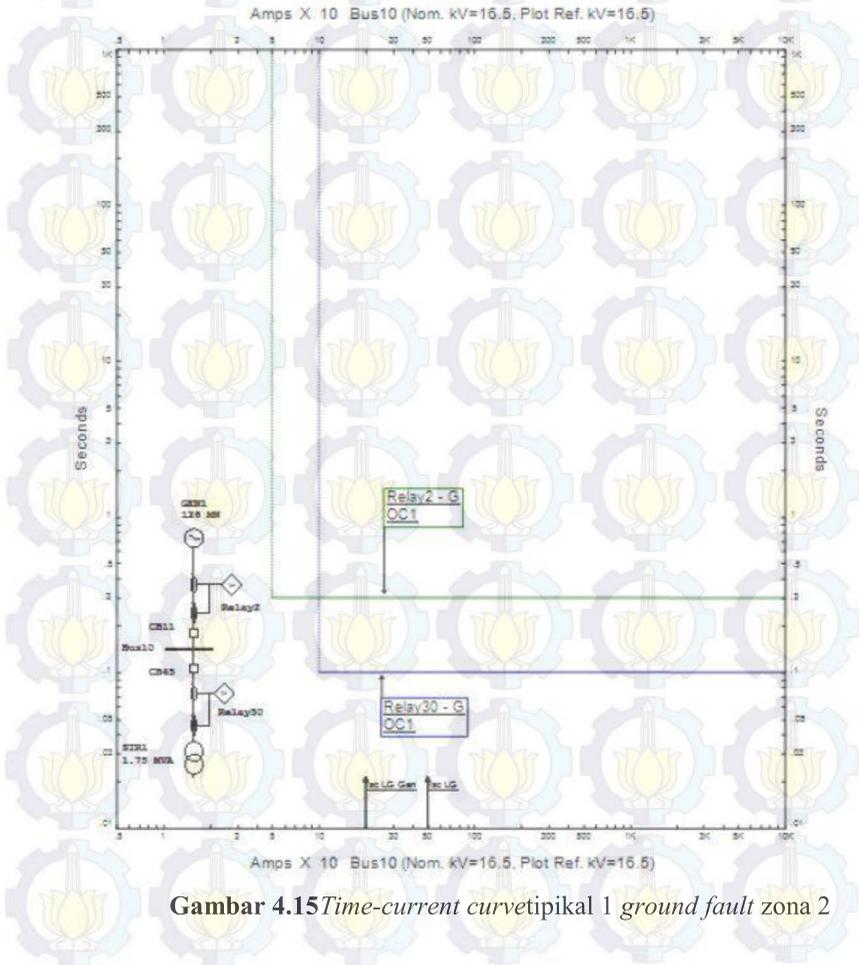
$$20 \leq I_{set} \leq 100$$

$$\frac{20}{100/1} \leq Tap \leq \frac{100}{100/1}$$

$$0,2 \leq Tap \leq 1$$

Dipilih *Tap* = 0,5
Iset = 50 A
Dial = 0,3

Dari perhitungan parameter-parameter di atas didapatkan *time-current curves* seperti tampak pada gambar 4.15



Gambar 4.15 *Time-current curve* tipikal 1 ground fault zona 2

$$10\% \times 500 \leq I_{set} \leq 50\% \times 500$$

$$50 \leq I_{set} \leq 250$$

$$\frac{50}{50/1} \leq Tap \leq \frac{250}{50/1}$$

$$1 \leq Tap \leq 5$$

Dipilih $Tap = 2$

$I_{set} = 100 \text{ A}$

$Dial = 0,1$

Rele 28

Manufacture : SIEMENS

Model : 7SJ63

Isc L-G : 500 A (20 kV)

CT Ratio : 50/1

Setting Relay

$$10\% \times I_{sc LG} \leq I_{set} \leq 50\% \times I_{sc LG}$$

$$10\% \times 500 \leq I_{set} \leq 50\% \times 500$$

$$50 \leq I_{set} \leq 250$$

$$\frac{50}{50/1} \leq Tap \leq \frac{250}{50/1}$$

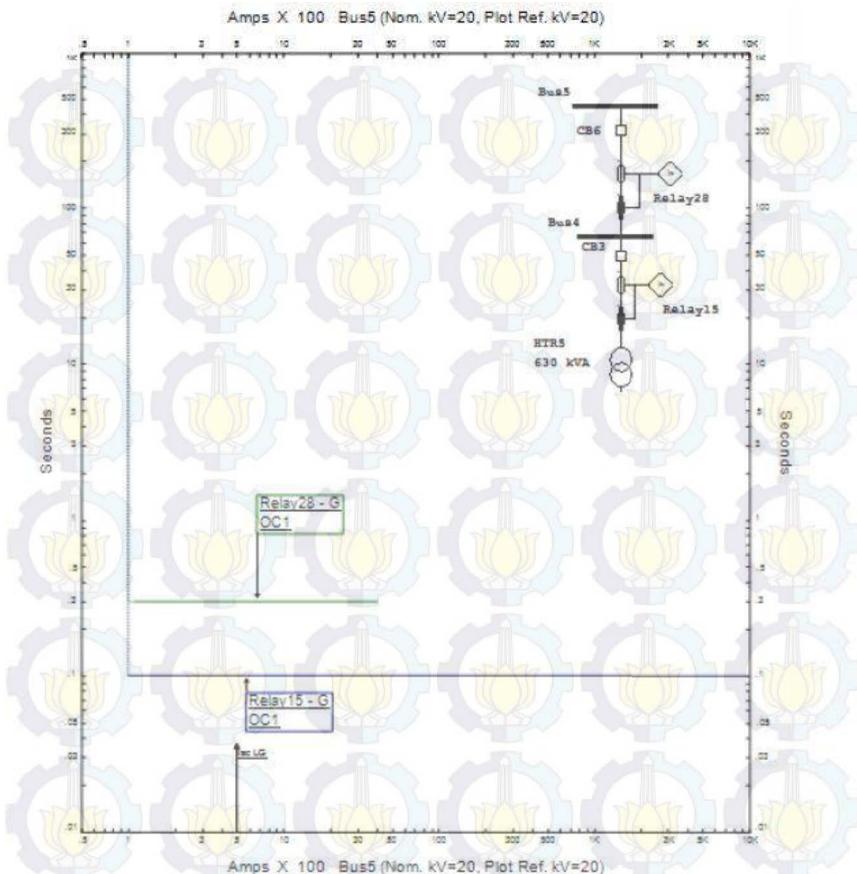
$$1 \leq Tap \leq 5$$

Dipilih $Tap = 2$

$I_{set} = 100 \text{ A}$

$Dial = 0,3$

Dari perhitungan parameter-parameter di atas didapatkan *time-current curve* seperti tampak pada gambar 4.17



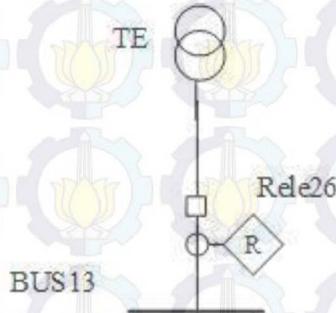
Gambar 4.17 Time-current curvetipikal 2ground fault

4.5.3 Koordinasi Rele Arus Lebih Gangguan Ke Tanah Tipikal 3

Pada tipikal 3, di tengah jalur terdapat trafo TE yang memiliki konfigurasi delta-wye Resistor, sehingga tipikal 3 dapat dibagi menjadi 2 zona dimana kedua zona ini tidak saling berhubungan apabila terjadi gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah.

Zona 1

Zona 1 dimulai dari trafo bus 13 sampai trafo TE. Pada zona ini terdapat rele, yaitu Relay 26. Besarnya arus hubung singkat satu fasa ke tanah sama dengan besarnya NGR yang terpasang di trafo STR1 yaitu 300 Ampere. Gambar rangkaian untuk tipikal 3 zona 1 ditunjukkan oleh Gambar 4.18.



Gambar 4.18 Rangkaian tipikal 3 ground fault zona 1

Perhitungan parameter dari rele 30 dan rele 2 adalah sebagai berikut :

Rele 26

Manufacture

: VA TECH HYDRO GmbH

Model

: Argus 1

Isc L-G

: 300 A (20 kV)

CT Ratio

: 50/1

Setting Relay

$$10\% \times I_{sc LG} \leq I_{set} \leq 50\% \times I_{sc LG}$$

$$10\% \times 300 \leq I_{set} \leq 50\% \times 300$$

$$30 \leq I_{set} \leq 150$$

$$\frac{30}{50/1} \leq Tap \leq \frac{150}{50/1}$$

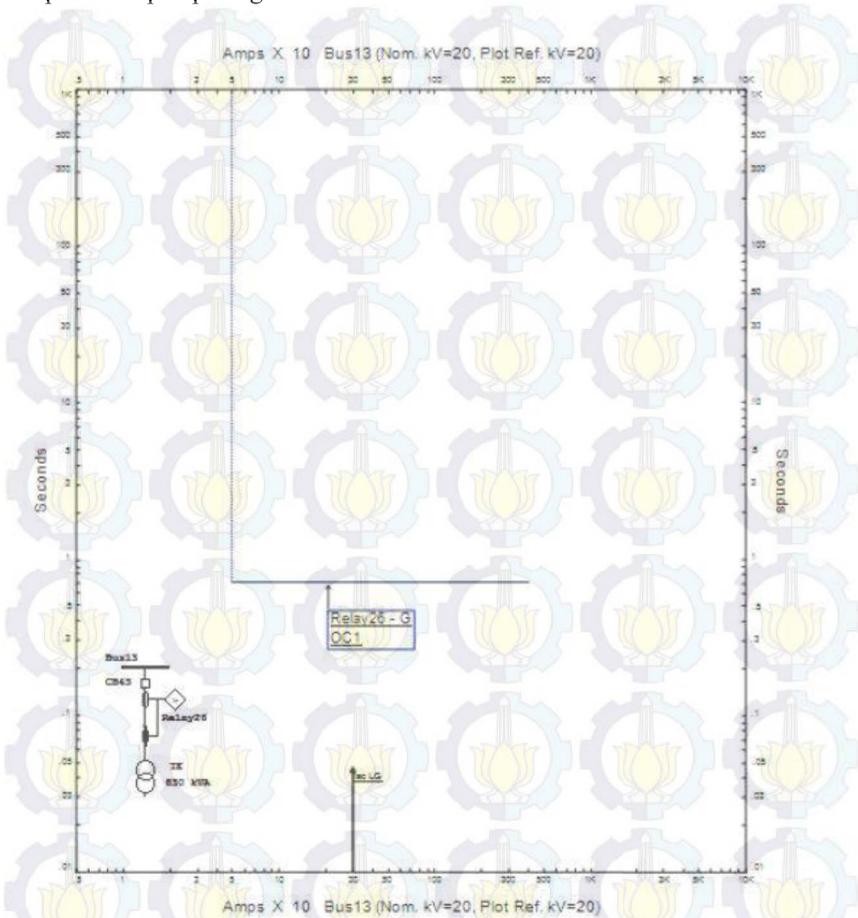
$$0,6 \leq Tap \leq 3$$

Dipilih *Tap* = 1

Iset = 100 A

Dial = 0,7

Dari perhitungan parameter-parameter di atas didapatkan *time curve* seperti tampak pada gambar 4.19

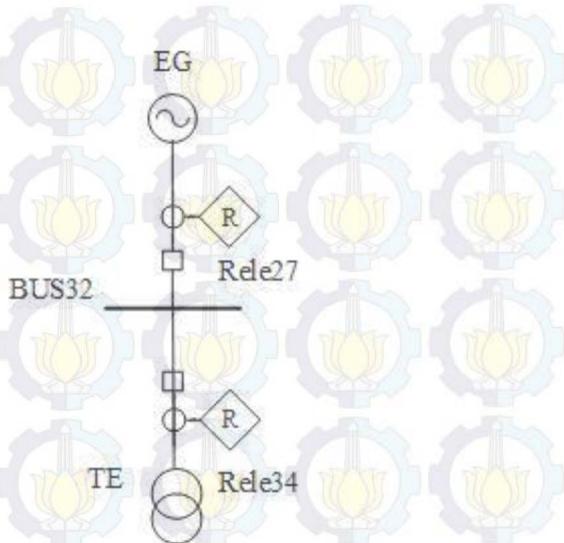


Gambar 4.19 *Time-current curvetipikal 3ground fault zona 1*

Zona 2

Zona 2 dimulai dari trafo bus 13 sampai trafo TE. Pada zona ini terdapat 2 rele, yaitu rele34 dan rele 27. Besarnya arus hubung singkat satu fasa ke tanah sama dengan besarnya NGR yang terpasang di trafo

STR1 yaitu 200 Ampere. Gambar rangkaian untuk tipikal 3 zona 2 ditunjukkan oleh gambar 4.20.



Gambar 4.20Rangkaian tipikal 3ground fault zona 2

Relé 34

Manufacture : VA TECH HYDRO GmbH
Model : Argus I
Isc L-G : 300 A (6 kV)
CT Ratio : 100/1

Setting Relay

$$10\% \times I_{sc LG} \leq I_{set} \leq 50\% \times I_{sc LG}$$

$$10\% \times 300 \leq I_{set} \leq 50\% \times 300$$

$$30 \leq I_{set} \leq 150$$

$$\frac{30}{100/1} \leq Tap \leq \frac{150}{100/1}$$

$$0,3 \leq Tap \leq 1,5$$

Dipilih *Tap* = 1
Iset = 100 A
Dial = 0,1

Rele 27

Manufacture : SIEMENS
Model : 7SJ63
Isc L-G : 200 A (6 kV)
CT Ratio : 100/1

Setting Relay

$$10\% \times I_{sc LG} \leq I_{set} \leq 50\% \times I_{sc LG}$$

$$10\% \times 200 \leq I_{set} \leq 50\% \times 200$$

$$20 \leq I_{set} \leq 100$$

$$\frac{20}{100/1} \leq Tap \leq \frac{100}{100/1}$$

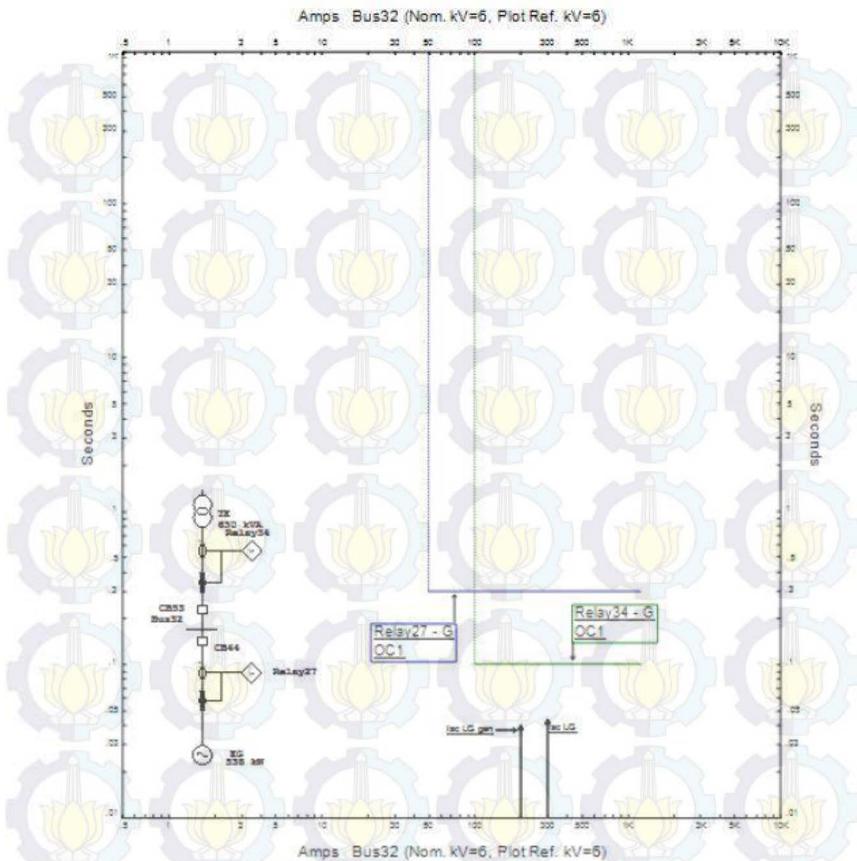
$$0,2 \leq Tap \leq 1$$

Dipilih *Tap* = 0,5

Iset = 50 A

Dial = 0,3

Dari perhitungan parameter-parameter di atas didapatkan *time curve* seperti tampak pada gambar 4.21



Gambar 4.21 Time-current curvetipikal 3ground fault zona 2

Untuk hasil perbandingan dari *existing* dengan *resetting* rele arus lebih maka dapat dilihat pada tabel 4.8.

Tabel 4.8Perbandingan *existing* dan *resetting* tipikal 1

No.	Relay ID & Model	CT Rasio	Setting		
1.	Rele 14 Argus 1	50/1	Pickup	0,65	0,4
			Amp range	0,65-32.5	0,4-20
			Time dial	0,1	1,6
			Instantaneous Pickup	3	5
			Amp range	3-150	5-250
			Delay	0,1	0,1
2.	Rele 9 Argus 1	100/1	Pickup	0,75	0,55
			Amp range	0,75-75	0,55-55
			Time dial	0,3	1,4
			Instantaneous Pickup	2	6,5
			Amp range	2-200	6,5-650
			Delay	0,1	0,5
3	Rele 30 Argus 1	100/1	Pickup	0,95	0,7
			Amp range	0,95-95	0,7-70
			Time dial	0,8	1,6
			Instantaneous Pickup	9	15
			Amp range	9-900	15-15000
			Delay	0,3	0,1
4	Rele 2 Argus 1	100/1	Pickup	1,1	1,03
			Amp range	1,1-5500	1,03-5150
			Time dial	0,1	0,1
			Instantaneous Pickup	0,95	1,6
			Amp range	0,95-4750	1,6-8000
			Delay	0,7	0,3
5.	LVCB55 SIEMENS 3WN1/5, 3WS1	1600	LT Pickup	0,65	0,65
			Amp range	1040	1040
			LT Band	2	2
			ST Pickup	2	2
			Amp range	2080	2080
			ST Band	0,01	0,01

Tabel 4.9Perbandingan *existing* dan *resetting* tipikal 2

No.	Relay ID & Model	CT Rasio	Setting		
1.	LVCB51 SIEMENS 3WN1/5, 3WS1	1600	<i>LT Pickup</i>	0,4	0,45
			<i>Amp range</i>	640	720
			<i>LT Band</i>	2	2
			<i>ST Pickup</i>	2	2
			<i>Amp range</i>	1280	2080
			<i>ST Band</i>	0,01	0,01
2.	Rele 15 Argus 1	50/1	<i>Pickup</i>	0,7	0,4
			<i>Amp range</i>	0,7-35	0,4-20
			<i>Time dial</i>	0,53	1,2
			<i>Instantaneous Pickup</i>	4	5,5
			<i>Amp range</i>	4-200	5,5-275
			<i>Delay</i>	0,3	0,1
3	Rele 28 Argus 1	50/1	<i>Pickup</i>	1	0,77
			<i>Amp range</i>	1-50	0,77-38,5
			<i>Time dial</i>	0,7	2,6
			<i>Instantaneous Pickup</i>	5	13
			<i>Amp range</i>	5-250	13-650
			<i>Delay</i>	0,1	0,3

Tabel 4.10 Perbandingan *existing* dan *resetting* tipikal 3

No.	Relay ID & Model	CT Rasio	Setting		
1.	Rele 26 Argus 1	50/1	<i>Pickup</i>	0,5	0,4
			<i>Amp range</i>	0,5-25	0,4-20
			<i>Time dial</i>	0,4	0,2
			<i>Instantaneous Pickup</i>	2	1
			<i>Amp range</i>	2-100	1-50
			<i>Delay</i>	0,5	0,7
2.	Rele 34 Argus 1	100/1	<i>Pickup</i>	0,9	0,7
			<i>Amp range</i>	0,9-90	0,7-70
			<i>Time dial</i>	0,55	0,3
			<i>Instantaneous Pickup</i>	6	5,5
			<i>Amp range</i>	5-600	5,5- 500
			<i>Delay</i>	0,3	0,1
3	Rele 27 Argus 1	100/1	<i>Pickup</i>	0,9	0,7
			<i>Amp range</i>	0,9-90	0,7-70
			<i>Time dial</i>	1	0,5
			<i>Instantaneous Pickup</i>	9	8
			<i>Amp range</i>	9-900	8-800
			<i>Delay</i>	0,7	0,3

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Said Bamatraf, Rifgy, " *Studi Koordinasi Proteksi Sistem Pembangkit UP Gresik (PLTG dan PLTU)* " tugas akhir, ITS, 2012
- [2] Wahyudi, " *Diktat Kuliah Pengaman Sistem Tenaga Listrik* ", Teknik Elektro ITS, Surabaya, Bab 2, 2004
- [3] Lazar, Irwin, " *Electrical System Analysis and Design for Industrial Plant* ", McGraw-Hill Inc., USA, Ch. 1, 1980
- [4] IEEE Std 242-2001TM, " *IEEE Recommended Practice for Protection and Coordination of Industrial and Commercial Power Systems* ", The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc., New York, 2001
- [5] Ahmad Yusuf Kurniawa, " *Studi Koordinasi Proteksi PT. PJB UP Gresik (PLTU Blok 3)* ", tugas akhir, ITS, 2014
- [6] Erik bramadin, " *Studi Koordinasi Proteksi Pada Pabrik Alumina PT Antam (persero) TBK* " tugas akhir, ITS, 2012
- [7] Sutherland, Peter E., " *Protective Device Coordination in an Industrial Power System with Multiple Sources* ", New York : General Electric Co.
- [8] Gers, Juan M., dan Holmes, Edward J., " *Protection of Electrical Distribution Network 2nd Edition* ", The Institution of Electrical Engineers, London, Ch. 5, 2004
- [9] Prévé, Christophe, " *Protection of Electrical Networks* ", ISTE Ltd., London, Ch. 7, 9, 2006



BAB V PENUTUP

5.1 KESIMPULAN

Berdasarkan hasil yang didapatkan dari simulasi dan analisis pada tugas akhir ini, dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

- Pada *setting* rele arus lebih gangguan fasa tipikal 1, rele 14 dan rele 9 bekerja secara bersamaan sehingga perlu di *setting* ulang untuk mendapat koordinasi yang lebih baik dengan menjadikan rele 9 sebagai *backup* dari rele 14. Nilai dari *highset* pada tipikal 1 juga perlu diatur untuk menghindari titik *inrush* dari transformator HTR1, sehingga bila terjadi *trip* lokasi gangguan yang dideteksi tidak terlalu luas.
- Rele 15 dan 28 perlu diperhatikan *time delay* untuk menjaga kontinuitas daya bila terjadi gangguan. Nilai *time delay* dari rele 28 lebih kecil dari nilai *time delay* rele 15, hal ini tidak sesuai dengan koordinasi proteksi yang diharapkan.
- *Setting lowset* pada rele-rele yang terpasang di sistem kelistrikan PT. PJB UP Cirata masih memiliki kekurangan yaitu nilai *pickup* terlalu besar sehingga pada kurva terlihat terlalu kekanan. Nilai *pickup* yang besar akan menyebabkan kerusakan pada peralatan transformator karena transformator akan menanggung beban yang berlebihan dari kemampuan yang sebenarnya. Beban yang terlalu berlebihan akan menyebabkan panas pada peralatan dan bila dibiarkan akan berakibat fatal.
- Nilai *time delay* adalah waktu kerja rele saat mendeteksi gangguan. *Time delay* berpengaruh pada koordinasi antara rele satu dengan rele yang lain. Semakin mendekati beban rele harus bekerja semakin cepat, sementara rele yang dibelakang harus mampu menjadi *backup* dengan selisih kerja 0.2 detik sesuai ketentuan.

5.2 SARAN

Saran yang dapat diberikan untuk perbaikan dan pengembangan simulasi ini adalah sebagai berikut :

- Pada *setting* rele yang didapat dari analisa dan perhitungan pada tugas akhir ini, dapat dijadikan pertimbangan dan referensi untuk melakukan setting yang sebenarnya.