

**EVALUASI KOORDINASI RELE ARUS LEBIH TERHADAP  
GANGGUAN HUBUNG SINGKAT DI CUBICLE 23A11 UNTUK  
MENGURANGI KERUGIAN PRODUKSI DI PT FREEPORT  
INDONESIA**

**SKRIPSI**



**Disusun Oleh :  
Nama : DENI SUSILO  
Nim : 1312902**

**KONSENTRASI TEKNIK ENERGI LISTRIK  
PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO S-1  
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI  
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG  
2015**

---

**LEMBAR PERSETUJUAN**

**EVALUASI KOORDINASI RELE ARUS LEBIH TERHADAP  
GANGGUAN HUBUNG SINGKAT DI CUBICLE 23A11  
UNTUK MENGURANGI KERUGIAN PRODUKSI DI PT  
FREEPORT INDONESIA**

**SKRIPSI**

Disusun dan diajukan untuk melengkapi dan memenuhi persyaratan  
guna mencapai gelar Sarjana Teknik


Disusun oleh :  
**DENI SUSILO**  
NIM. 1312902

Diperiksa dan Disetujui,


Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

  
**Prof. Dr. Eng. Ir. Abraham Lomi, MSEE**  
NIP. Y. 101500108

  
**Bambang Prio H., ST, MT**  
NIP. Y. 1028400082

Mengetahui,  
Ketua Program Studi Teknik Elektro S-1

  
**M. Ibrahim Ashari, ST, MT**  
NIP.P. 1030100358

**JURUSAN TEKNIK ELEKTRO S-1  
KONSENTRASI TEKNIK ENERGI LISTRIK  
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI  
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG  
2015**



PERKUMPULAN PENGELOLA PENDIDIKAN UMUM DAN TEKNOLOGI NASIONAL MALANG  
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG

FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN  
PROGRAM PASCASARJANA MAGISTER TEKNIK

PT. BNI (PERSERO) MALANG  
BANK N LAGA MALANG

Kampus I : Jl. Bendungan Sigura-gura No. 2 Telp. (0341) 551431 (Hunting), Fax. (0341) 553015 Malang 65145  
Kampus II : Jl. Raya Karanglo, Km 2 Telp. (0341) 417636 Fax. (0341) 417634 Malang

**BERITA ACARA UJIAN SKRIPSI  
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI**

NAMA : DENI SUSILO  
NIM : 1312902  
JURUSAN : TEKNIK ELEKTRO  
JUDUL : **EVALUASI KOORDINASI RELE ARUS LEBIH  
TERHADAP GANGGUAN HUBUNG SINGKAT DI  
CUBICLE 23A11 UNTUK MENGURANGI KERUGIAN  
PRODUKSI DI PT FREEPORT INDONESIA**

Dipertahankan di hadapan Tip Penguji Ujian Skripsi jenjang program Strata Satu (S-1)

Pada hari : Selasa  
Tanggal : 18 Agustus 2015  
Dengan nilai : 83,4 (A)

**PANITIA UJIAN SKRIPSI**

**KETUA MAJELIS PENGUJI**

M. Ibrahim Ashari, ST, MT  
NIP. P. 1030100358

**SEKRETARIS MAJELIS PENGUJI**

Dr. Eng. I Komang Somawirata, ST, MT  
NIP. P. 1030100361

**PENGUJI I**

Ir. Yusuf Ismail Nahkoda, MT  
NIP. Y. 1018800189

**PENGUJI II**

Ir. M. Abdul Hamid, MT  
NIP. Y. 1018800188



## LEMBAR PERNYATAAN ORISINALITAS

Yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Deni Susilo  
NIM : 1312902  
Program Studi : Teknik Elektro S-1  
Konsentrasi : Teknik Energi Listrik

Dengan ini menyatakan bahwa skripsi yang saya buat adalah hasil karya sendiri, tidak merupakan plagiat dari karya orang lain. Dalam skrip ini tidak memuat karya orang lain kecuali dengan mencantumkan sumbernya sesuai dengan ketentuan yang berlaku.

Demikian surat pernyataan ini saya buat, dan apabila di kemudian hari ada pelanggaran atas surat pernyataan ini, saya bersedia menerima sanksinya.

Malang, 22 September 2015

Yang membuat pernyataan,



Deni Susilo  
1312902

## ABSTRAK

### EVALUASI KOORDINASI RELE ARUS LEBIH TERHADAP GANGGUAN HUBUNG SINGKAT DI CUBICLE 23A11 UNTUK MENGURANGI KERUGIAN PRODUKSI DI PT FREEPORT INDONESIA

Deni Susilo

Pembimbing : Prof. Dr. Eng. Ir. Abraham Lomi, MSEE dan Bambang Prio H, ST, MT  
Jurusan Teknik Elektro S-1, Konsentrasi Teknik Energi Listrik  
Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Nasional Malang  
Jl. Raya Karanglo Km 2 Malang  
Email : [den\\_sus78@yahoo.co.id](mailto:den_sus78@yahoo.co.id)

*Berdasarkan laporan kerja harian, salah satu proses pengiriman batu tambang PT Freeport Indonesia terhenti kurang lebih selama satu jam, disebabkan terjadi gangguan hubung singkat ke tanah pada salah satu kabel penyulang ke beban. Rele arus lebih pengamanan utama tidak bekerja, dan rele pada sisi upstream bekerja lebih dulu. Hal ini menyebabkan terjadi kegagalan lokalisir gangguan, akibatnya sistem yang harusnya beroperasi normal menjadi terganggu (trip). Untuk mensimulasikan gangguan, grafik dan selektifitas rele menggunakan software ETAP Powerstasion 7.0 dengan metode Newton-Raphson. Dengan melakukan penyetelan ulang rele arus lebih yang langsung berkaitan dengan gangguan maka selektifitas kerja rele untuk semua jenis gangguan menjadi terkoordinasi, mulai dari rele 6B, 3B, 7B hingga 8B menjadi berurutan, rata - rata 0,2 detik pada rele arus lebih pengamanan utama dengan delta waktu 0,3 detik hingga 0,5 detik untuk rele di bagian upstream.*

*Kata kunci : rele, selektifitas, penyetelan ulang*

*Based on the daily work report, ore flow processes PT Freeport Indonesia halted an hour, an interruption occurs due to a short circuit phase to ground in the feeder cable to the load. The main overcurrent relay is not working, and the relay on the upstream side worked first. This causes disruption localize failure occurs, the system should consequently be disturbed normal operation. To simulate interference, charts and selectivity relay using ETAP software Powerstasion 7.0 with Newton - Raphson method. By performing the new setting relay, selectivity relay for all kinds of interference be coordinated, ranging from relay 6B, 3B, 7B to be sequentially 8B, an average of 0.2 seconds on the main overcurrent relay with a time of 0.3 seconds to delta 0.5 seconds for the relay on the upstream.*

*Keywords : relay, selectivity, new setting*

## KATAPENGANTAR

Puji Syukur ke hadirat Tuhan Yang Maha Kuasa atas segala limpahan berkat dan rahmat-Nya sehingga penelitian berjudul Evaluasi Koordinasi Rele Arus Lebih Terhadap Gangguan Hubung Singkat di Cubicle 23A11 untuk Mengurangi Kerugian Produksi di PT Freeport Indonesia (studi kasus) dapat terselesaikan.

Penelitian ini dibuat untuk memenuhi salah satu syarat dalam memperoleh gelar sarjana teknik. Ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kami sampaikan pada:

1. Bapak Rektor Institut Teknologi Nasional Malang
2. Bapak Dekan Fakultas Teknologi Industri ITN Malang
3. Bapak Ketua Jurusan Elektro
4. Rekan - rekan Asisten Laboratorium Simulasi Sistem Tenaga Teknik Elektro ITN Malang
5. PT Freeport Indonesia dan komunitas pekerjaanya.
6. Semua Pihak yang telah membantu dalam penulisan dan penyusunan penelitian ini.

Penulis menyadari bahwa penelitian ini masih jauh dari sempurna, untuk itu kritik dan saran dari pembaca sangat penulis harapkan untuk perbaikan penelitian ini.

Malang, Agustus 2015

Penulis

## DAFTAR ISI

Lembar Persetujuan .....	i
Lembar Pernyataan Orisinalitas .....	ii
Abstrak .....	iii
Kata Pengantar .....	iv
Daftar Isi .....	v
Daftar Tabel .....	viii
Daftar Gambar .....	ix
Daftar Grafik .....	xii
<b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	1
1.3 Tujuan Penelitian .....	2
1.4 Batasan Masalah .....	2
1.5 Sistematika Penulisan .....	2
1.6 Kontribusi .....	3
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	<b>4</b>
2.1 Proses Penyaluran Tenaga Listrik .....	4
2.2 Struktur Jaringan Tegangan Menengah .....	6
2.2.1 Jaringan Radial .....	6
2.2.2 Jaringan Hantaran Penghubung ( <i>Tie Line</i> ) .....	7
2.2.3 Jaringan Lingkaran ( <i>Loop</i> ) .....	7
2.2.4 Jaringan Spindel .....	8
2.2.5 Sistem Gugus atau Sistem Kluster .....	9
2.3 Keandalan Sistem Distribusi .....	10
2.4 Teori Hubung Singkat .....	11
2.5 Komponen Simetris .....	11
2.6 Jenis-jenis gangguan pada sistem distribusi .....	13
2.6.1 Gangguan fasa tiga ( $3\Phi$ ) .....	13
2.6.2 Gangguan fasa ke fasa ( $2\Phi$ ) .....	14
2.6.3 Gangguan satu fasa ke tanah ( $1\Phi$ ) .....	14

2.6.4	Gangguan dua fasa ke tanah ( $2\Phi$ ) .....	15
2.7	Impedansi Sumber .....	16
2.8	Sistem Pengamanan .....	17
2.8.1	Proteksi Jaringan Distribusi .....	17
2.8.2	Definisi Rele Proteksi .....	18
2.8.3	Kawasan Pengamanan ( <i>Zona of Protection</i> ) .....	19
2.9	Syarat Utama Rele Proteksi .....	21
2.9.1	Kepekaan ( <i>Sensitivity</i> ) .....	21
2.9.2	Keandalan ( <i>Reliability</i> ) .....	21
2.9.3	Selektivitas ( <i>Selectivity</i> ) .....	21
2.9.4	Kecepatan ( <i>Speed</i> ) .....	22
2.10	Rele Arus Lebih .....	23
2.10.1	Rele waktu tunda ( <i>definite time relay</i> ) .....	24
2.10.2	Rele waktu terbalik ( <i>inverse time relay</i> ) .....	25
2.10.3	Rele waktu seketika ( <i>instantaneous</i> ) .....	26
BAB III METODE PENELITIAN.....		27
3.1	Sistem Jaringan Distribusi <i>Lower Ore Flow Concentrating</i> .....	27
3.2	Peralatan Pada <i>Switchgear</i> .....	28
3.3	Impedansi Kabel Penghantar .....	32
3.4	Penentuan Arus Hubung Singkat .....	32
3.5	Penyetelan Rele Arus Hubung Singkat .....	33
3.6	Penentuan Lokasi Gangguan .....	34
3.7	Menjalankan Program Dengan Mensimulasikan Gangguan .....	36
3.8	Metode Newton Raphson .....	37
3.9	Flowchart .....	38
BAB IV PEMBAHASAN DAN ANALISA		
4.1	Pendahuluan .....	39
4.2	Perhitungan Impedansi Dan Arus Hubung singkat.....	40
4.2.1	Impedansi Sumber .....	40
4.2.2	Impedansi Trafo .....	40
4.2.3	Impedansi Kabel .....	40
4.2.4	Impedansi Jaringan Ekvivalen .....	41



4.2.5	Perhitungan Arus Hubung Singkat .....	42
4.3	Grafik Kerja Rele Berdasarkan Data Di Lapangan .....	43
4.3.1	Gangguan Simetris .....	47
4.3.2	Gangguan Dua Fasa .....	48
4.3.3	Gangguan Dua Fasa Ke Tanah .....	49
4.3.4	Gangguan Satu Fasa Ke Tanah .....	51
4.4	Waktu Kerja Rele Berdasarkan Program Etap .....	53
4.4.1	Gangguan Tiga Fasa .....	58
4.4.2	Gangguan Dua Fasa .....	59
4.4.3	Gangguan Dua Fasa Ke Tanah .....	60
4.4.4	Gangguan Satu Fasa Ke Tanah .....	62
4.5	Simulasi Gangguan Diatas Lokasi Yang Ditentukan .....	64
4.5.1	Simulasi Gangguan Pada Bus MVS 50 .....	64
4.5.2	Simulasi Gangguan Pada Kabel 2 .....	65
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....		67
5.1	Kesimpulan .....	67
5.2	Saran .....	68
DAFTAR PUSTAKA .....		69
LAMPIRAN – LAMPIRAN		

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Rumus karakteristik <i>inverse time</i> standar IEC .....	25
Tabel 3.1 <i>Name plate</i> trafo 24X02 .....	28
Tabel 3.2 Kapasitas VCB .....	29
Tabel 3.3 Fasa dan <i>ground CT</i> rasio <i>switchgear</i> 23A11 .....	29
Tabel 3.4 Fasa dan <i>ground CT</i> rasio MVS 50 .....	30
Tabel 3.5 <i>Setting</i> rele <i>switchgear</i> 23A11 .....	31
Tabel 3.6 <i>Setting</i> rele MVS 50 .....	31
Tabel 3.7 Data kabel .....	32
Tabel 4.1 Impedansi kabel .....	41
Tabel 4.2 Impedansi ekivalen jaringan .....	41
Tabel 4.3 Arus hubung singkat .....	42
Tabel 4.4 Data rele di lapangan .....	43
Tabel 4.5 Urutan waktu kerja rele sesuai data lapangan .....	52
Tabel 4.6 Karakteristik rele pada program .....	53
Tabel 4.7 Waktu kerja rele baru berdasarkan program .....	64

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Garis besar proses penyaluran tenaga listrik .....	4
Gambar 2.2	Skema penyaluran energi listrik .....	5
Gambar 2.3	Konfigurasi jaringan radial .....	6
Gambar 2.4	Konfigurasi jaringan hantaran penghubung .....	7
Gambar 2.5	Konfigurasi jaringan loop .....	8
Gambar 2.6	Konfigurasi jaringan spindel .....	9
Gambar 2.7	Konfigurasi jaringan kluster .....	10
Gambar 2.8	Diagram segaris tiga fasa, jala-jala urutannya dan ekivalen Thavenin dari jala-jala untuk gangguan di P .....	12
Gambar 2.9	Gangguan tiga fasa .....	13
Gambar 2.10	Gangguan fasa ke fasa .....	14
Gambar 2.11	Gangguan fasa ke tanah .....	15
Gambar 2.12	Gangguan fasa ke fasa ke tanah .....	16
Gambar 2.13	Sistem pengaman sederhana tegangan menengah .....	19
Gambar 2.14	Rele dan kawasan pengamanannya .....	20
Gambar 2.15	Wiring diagram rele arus lebih dan hubungan ke tanah .....	24
Gambar 2.16	Karakteristik rele waktu tunda .....	24
Gambar 2.17	Karakteristik rele waktu terbalik .....	25
Gambar 2.18	Karakteristik rele tanpa tunda waktu .....	26
Gambar 2.19	Karakteristik kombinasi <i>definite time</i> dan <i>instant time</i> .....	26
Gambar 2.20	Karakteristik kombinasi <i>instant time</i> dan <i>inverse time</i> .....	26
Gambar 3.1	<i>Single line</i> diagram MLA sistem .....	27
Gambar 3.2	DWS 30 Januari 2013 .....	35
Gambar 3.3	DWS 28 Juli 2014 .....	35
Gambar 3.4	DWS 30 Januari 2015 .....	35
Gambar 3.5	Jalur gangguan .....	36
Gambar 4.1	Lokasi gangguan pada simulasi ETAP .....	41
Gambar 4.2	<i>Setting</i> rele 8B <i>ground</i> .....	44
Gambar 4.3	<i>Setting</i> rele 8B fasa .....	44
Gambar 4.4	<i>Setting</i> rele 7B fasa .....	45

Gambar 4.5 <i>Setting</i> rele 7B <i>ground</i> .....	45
Gambar 4.6 <i>Setting</i> rele 3B fasa .....	46
Gambar 4.7 <i>Setting</i> rele 6B fasa .....	46
Gambar 4.8 <i>Setting</i> rele 6B <i>ground</i> .....	47
Gambar 4.9 Urutan kerja rele gangguan simetris .....	47
Gambar 4.10 Urutan waktu kerja rele dan CB .....	48
Gambar 4.11 Urutan kerja rele gangguan dua fasa .....	48
Gambar 4.12 Urutan waktu kerja rele dan CB .....	49
Gambar 4.13 Urutan kerja rele gangguan dua fasa ke tanah .....	49
Gambar 4.14 Urutan waktu kerja rele dan CB .....	51
Gambar 4.15 Urutan kerja rele gangguan satu fasa ke tanah .....	51
Gambar 4.16 Urutan waktu kerja rele dan CB .....	52
Gambar 4.17 <i>Setting</i> rele 6B fasa .....	54
Gambar 4.18 <i>Setting</i> rele 6B <i>ground</i> .....	54
Gambar 4.19 <i>Setting</i> rele 3B fasa .....	55
Gambar 4.20 <i>Setting</i> rele 3B <i>ground</i> .....	55
Gambar 4.21 <i>Setting</i> rele 7B fasa .....	56
Gambar 4.22 <i>Setting</i> rele 7B <i>ground</i> .....	56
Gambar 4.23 <i>Setting</i> rele 8B fasa .....	57
Gambar 4.24 <i>Setting</i> rele 8B <i>ground</i> .....	57
Gambar 4.25 Urutan kerja rele gangguan simetris .....	58
Gambar 4.26 Urutan waktu kerja rele dan CB .....	58
Gambar 4.27 Urutan kerja rele gangguan dua fasa .....	59
Gambar 4.28 Urutan waktu kerja rele dan CB .....	60
Gambar 4.29 Urutan kerja rele gangguan dua fasa ke tanah .....	60
Gambar 4.30 Urutan waktu kerja rele dan CB .....	62
Gambar 4.31 Urutan kerja rele gangguan satu fasa ke tanah .....	62
Gambar 4.32 Urutan waktu kerja rele dan CB .....	63
Gambar 4.33 Urutan kerja rele .....	64
Gambar 4.34 Urutan waktu kerja rele dan CB .....	65
Gambar 4.35 Urutan kerja rele .....	65
Gambar 4.36 Urutan waktu kerja rele dan CB .....	67

## DAFTAR GRAFIK

Grafik 4.1 Gangguan simetris berdasarkan data lapangan .....	47
Grafik 4.2 Gangguan antar fasa berdasarkan data lapangan .....	48
Grafik 4.3 Gangguan dua fasa ke tanah berdasarkan data lapangan .....	49
Grafik 4.4 Fasa gangguan dua fasa ke tanah .....	50
Grafik 4.5 Gangguan satu fasa ke tanah .....	51
Grafik 4.6 Gangguan simetris penyetelan rele yang baru .....	58
Grafik 4.7 Gangguan antar fasa penyetelan rele yang baru .....	59
Grafik 4.8 Gangguan dua fasa ke tanah penyetelan rele yang baru .....	60
Grafik 4.9 <i>Ground relay</i> , gangguan dua fasa ke tanah penyetelan baru .....	61
Grafik 4.10. Gangguan satu fasa ke tanah penyetelan rele yang baru .....	62
Grafik 4.11 Gangguan satu fasa ke tanah pada bus MVS 50 .....	64
Grafik 4.12 Gangguan satu fasa ke tanah pada kabel 2 .....	65

# BAB I PENDAHULUAN

## 1.1 Latar Belakang

Dalam sistem tenaga elektrik, salah satu aspek yang paling penting adalah perlindungan terhadap aliran daya (*power protection*). Perlindungan terhadap aliran daya meliputi penggunaan peralatan proteksi terhadap gangguan, salah satunya adalah hubung singkat (*short circuit*). PT Freeport Indonesia adalah salah satu perusahaan tambang mineral terbesar di dunia juga sangat memperhatikan perlindungan daya, hal ini menjadi penting karena sangat berkaitan erat dengan masalah produksi. Namun demikian hal yang berbeda terjadi di lapangan, pada salah satu sistem produksi yang merupakan alat transportasi batu tambang 72 konveyor sistem terjadi *black out*. Hal ini mengakibatkan terhentinya proses produksi selama kurang lebih 1 jam, dengan hilangnya produksi sekitar 3500 ton. Penyebabnya adalah rele proteksi arus lebih gangguan hubung singkat mengalami malfungsi, rele tersebut menjangkau seksi di luar bagian yang harus diamankan, sehingga pemadaman yang lebih luas tidak terhindarkan.

Mengingat kondisi tersebut diatas maka didalam penelitian ini akan dilakukan perhitungan arus hubung singkat untuk semua jenis gangguan, baik gangguan simetris ( tiga fasa ) maupun gangguan tak simetris meliputi gangguan satu fasa ke tanah, gangguan antar fasa dan gangguan dua fasa ke tanah. Pada sistem yang ada pada PT Freeport Indonesia rele tipe multilin 745 sebagai pengaman utama gangguan mengalami kegagalan kerja sehingga rele pengaman cadangan yang bekerja, oleh sebab itu dengan menggunakan program perangkat lunak *ETAP Powersation* dengan metode *Newton-Raphson* semua rele yang berkaitan dengan lokasi gangguan akan disimulasikan.

## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan diskripsi latar belakang diatas maka pada skripsi ini muncul beberapa permasalahan, antara lain .

- Bagaimana cara menentukan penyetelan rele arus lebih gangguan hubung singkat dan gangguan tanah yang terpasang pada masing-masing *cubicle* yang langsung berhubungan dengan lokasi gangguan ?
- Bagaimana pola koordinasi rele arus lebih yang sesuai antara *Switchgear 23A11* dengan *MVS 50* ?

---

### 1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan yang ingin dicapai dalam skripsi ini adalah melakukan penyetelan ulang waktu kerja rele arus lebih pada *Switchgear 23A11 cubicle 7B* dan *8B* dan *MVS 50 cubicle 3B* dan *6B* berdasarkan keumuman. Mulai dari rele bagian hilir paling dekat lokasi gangguan (rele pengaman utama) dengan waktu kerja sekitar 0,2 sampai dengan 0,3 detik, sampai pada rele bagian hulu paling dekat lokasi sumber (pengaman cadangan) dengan gradient waktu sekitar 0,3 detik untuk mengurangi kerugian produksi di PT Freeport Indonesia.

### 1.4 Batasan Masalah

Untuk menyederhanakan masalah yang akan dibahas dalam skripsi ini, maka akan diberikan batasan-batasan sebagai berikut :

- a. Hanya membahas perhitungan hubung singkat dan penyetelan rele arus lebih pada *cubicle* yang berhubungan langsung dengan gangguan, yaitu *cubicle 7B* dan *8B* pada *switchgear 23A11* dan *cubicle 3B* dan *6B* pada *switchgear MVS 50*.
- b. Tidak membahas secara mendalam peralatan pada *Switchgear 23A11* dan *MVS 50*.
- c. Analisa penentuan waktu seting menggunakan simulasi perangkat lunak *ETAP Powerstation 7.0*, dengan menggunakan metode *Newton-raphson*.

### 1.5 Sistematika Penulisan

Sistematika dari pembahasan di dalam skripsi ini adalah sebagai berikut :

BAB I : PENDAHULUAN

---

Berisikan latar belakang yang melandasi pembahasan skripsi, rumusan masalah, tujuan penulisan yang ingin dicapai, batasan masalah, sistematika penulisan dan kontribusi dari penulisan skripsi tersebut.

#### BAB II : KAJIAN PUSTAKA

Akan dibahas tentang jenis gangguan sistem distribusi, impedansi saluran, arus hubung singkat, karakteristik rele arus lebih pada jaringan distribusi dan penyetelan rele arus lebih.

#### BAB-III : METODOLOGI PENELITIAN

Berisikan tentang bagaimana prosedur penelitian yang dilakukan dalam pengambilan data dilapangan hingga simulasi yang dilakukan dalam software *ETAP Powerstation*.

#### BAB IV : PEMBAHASAN DAN ANALISIS

Pada bab ini dibahas arus hubung singkat, koordinasi *setting time* rele arus lebih menggunakan *software ETAP Powerstation* dengan membandingkan antara data dipalangan dengan data hasil penelitian.

#### BAB V : PENUTUP

Berisikan kesimpulan dan saran yang dapat digunakan sebagai pertimbangan untuk penyetelan waktu koordinasi rele arus lebih di lapangan.

### 1.6 Kontribusi

Manfaat daripada penelitian ini untuk membantu para teknisi dilapangan agar lebih mudah dalam menentukan penyetelan waktu kerja rele arus lebih, sehingga kerugian produksi akibat kegagalan koordinasi rele pada sistem proteksi tidak terjadi lagi di PT Freeport Indonesia.

---



## BAB II KAJIAN PUSTAKA

### 2.1 Proses Penyaluran Tenaga Listrik

Energi Listrik umumnya dibangkitkan oleh Pusat Pembangkit Tenaga Listrik yang jauh dari perkotaan dimana pelanggan umumnya berada. Masalahnya sekarang ialah bagaimana menyalurkan tenaga listrik tersebut secara ekonomis pada jarak yang cukup jauh.

Secara umum dapat dikatakan bahwa sistem suplai tenaga listrik empat unsur yaitu : Pembangkitan, Penyaluran ( transmisi ), distribusi dan beban<sup>[7]</sup>.



Gambar 2.1 Garis Besar Proses Penyaluran Tenaga Listrik

- **Pusat Pembangkit**

Pusat Pembangkit adalah bagian yang memproduksi energi listrik yang dilakukan di pusat-pusat pembangkitan tenaga listrik dengan menggunakan generator. Tegangan yang dibangkitkan pada generator ini biasanya berkisar antara 4,16 kV sampai 13,8 kV. Untuk mencegah kerugian daya yang besar waktu pengiriman tenaga listrik sampai kepada konsumen dari pembangkit melalui jaringan transmisi menuju ke pusat-pusat beban yang letaknya sangat jauh dari pembangkit, maka sebelum ditransmisikan tegangan dinaikkan terlebih dahulu. Untuk jarak menengah digunakan tegangan transmisi 70 kV, untuk jarak jauh digunakan tegangan transmisi 150 kV, dan untuk jarak yang sangat jauh digunakan tegangan transmisi sangat tinggi sampai 500 kV, untuk PT Freeport Indonesia menggunakan tegangan 230 kV.

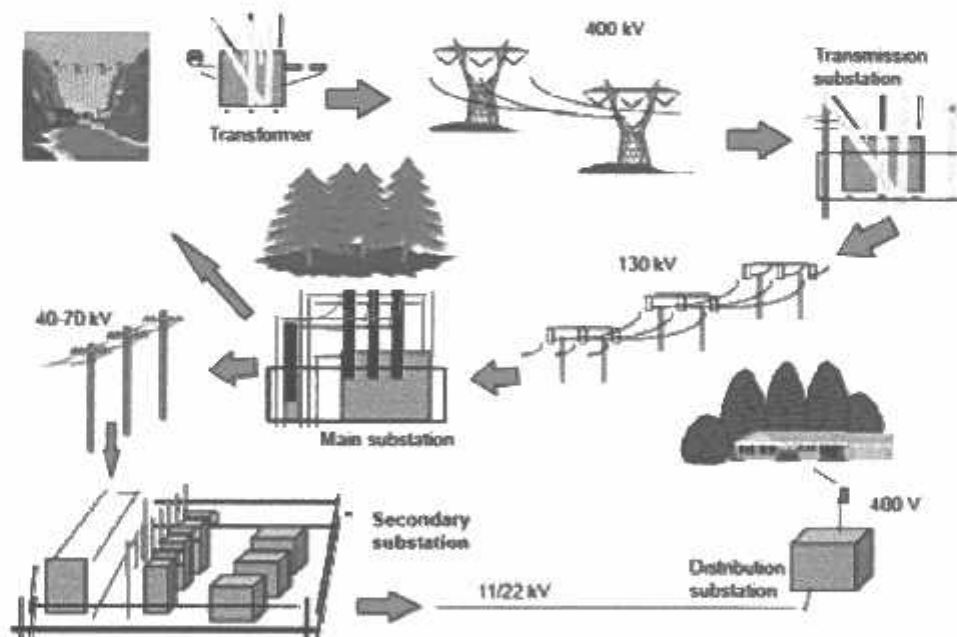
- **Saluran Transmisi**

Transmisi adalah bagian yang memindahkan energi listrik dari pusat-pusat pembangkitan listrik ke pusat-pusat beban. Di kota-kota besar atau tempat-tempat tertentu lainnya yang diterima oleh gardu induk. Pada gambar 2.2 saluran transmisi meliputi trafo daya untuk menaikkan tegangan menjadi 400 kV dari sumber daya (pusat pembangkit), jaringan transmisi, sub-stasiun transmisi dengan

tegangan yang lebih rendah menjadi 130 kV menuju main sub stasiun pada tegangan 40 sampai 70 kV hingga sekunder sub stasiun dengan tegangan 11 kV atau 22 kV.

- **Saluran Distribusi**

Distribusi adalah bagian yang membagi-bagi tegangan listrik dari gardu induk kepada konsumen tenaga listrik. Bagian distribusi ini dibagi menjadi 2 bagian, yaitu distribusi primer dan distribusi sekunder. Distribusi primer disebut juga bagian tegangan menengah, yaitu jaringan yang menghubungkan gardu induk dengan gardu distribusi menggunakan tegangan kerja 11 kV atau 22kV dari dari sekunder sub stasiun pada gambar 2.2 Sedang distribusi sekunder disebut juga bagian tegangan rendah, yaitu jaringan yang menghubungkan gardu distribusi dengan beban, biasanya dengan tegangan kerja 220 V atau 380 V. Untuk di lokasi kerja PT Freeport Indonesia, saluran distribusi primer menggunakan tegangan 4,16 kV dan 13,8 kV sedangkan untuk saluran distribusi sekunder adalah 120V, 240V, dan 480 V.



Gambar 2.2 Skema penyaluran energi listrik<sup>[4]</sup>

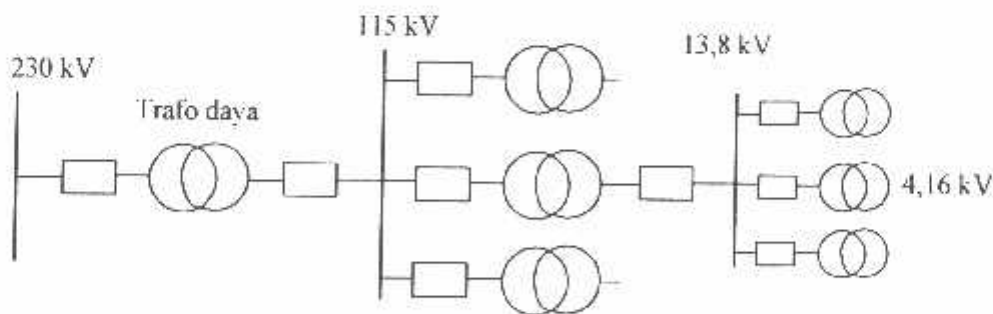
## 2.2 Struktur Jaringan Tegangan Menengah

Struktur jaringan tegangan menengah dapat dikelompokkan menjadi lima model, yaitu :

- a. Jaringan Radial
- b. Jaringan hantaran penghubung ( *Tie Line* )
- c. Jaringan Lingkaran ( *Loop* )
- d. Jaringan Spindel
- e. Sistem Gugus atau Kluster <sup>[7]</sup>

### 2.2.1 Jaringan Radial

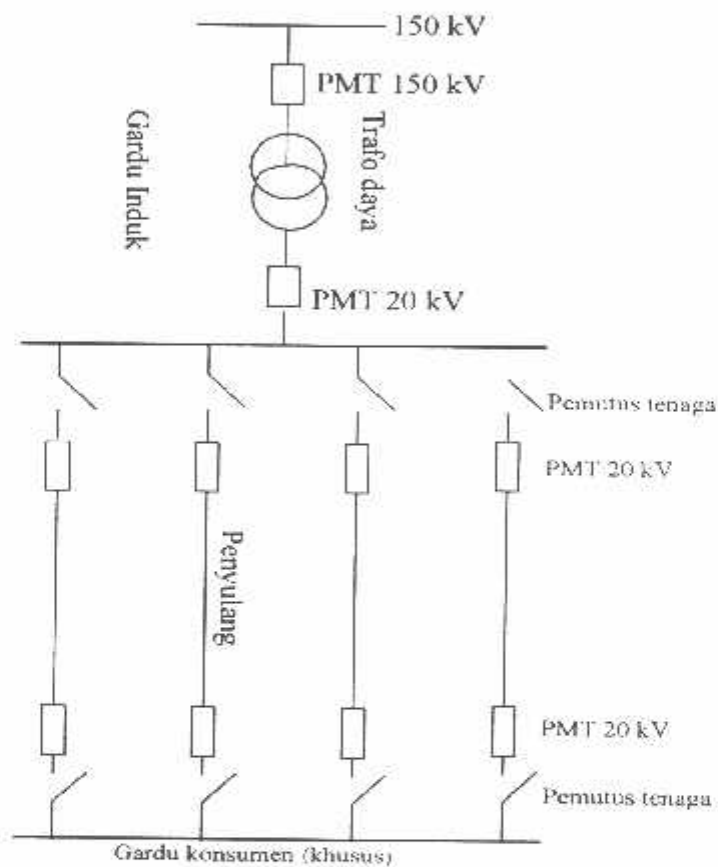
Sistem distribusi dengan pola Radial adalah sistem distribusi yang paling sederhana dan ekonomis. Pada sistem ini terdapat beberapa penyulang yang menyuplai beberapa gardu distribusi tetapi penyulang ini tidak saling berhubungan. Dalam penyulang tersebut terdapat gardu distribusi yang dilengkapi dengan trafo untuk konsumen. Keuntungan dari sistem ini adalah sistem ini tidak rumit dan lebih murah dibanding dengan sistem yang lain dalam hal pengaplikasian. Keandalan yang kurang akan didapatkan bila menggunakan pola radial, kurangnya keandalan disebabkan karena hanya terdapat satu jalur utama yang menyuplai gardu distribusi, sehingga apabila jalur utama pasokan listrik tersebut mengalami gangguan, maka seluruh penyulang akan ikut padam pula. Kerugian lain yaitu mutu tegangan pada gardu distribusi yang paling akhir kurang baik, hal ini dikarenakan besarnya rugi – rugi pada saluran.



Gambar 2.3 Konfigurasi Jaringan Radial <sup>[7]</sup>

### 2.2.2 Jaringan Hantaran Penghubung ( Tie Line )

Sistem distribusi ini biasa digunakan untuk pelanggan VVIP yang tidak boleh padam ( Istana Presiden, Gedung MPR, Bandar Udara, Rumah Sakit ). Sistem ini memiliki minimal dua penyulang sekaligus dengan tambahan *Automatic Change Over / Automatic Transfer Switch*, setiap penyulang terkoneksi ke gardu pelanggan khusus tersebut sehingga bila salah satu penyulang mengalami gangguan maka pasokan listrik akan di pindah ke penyulang lain.

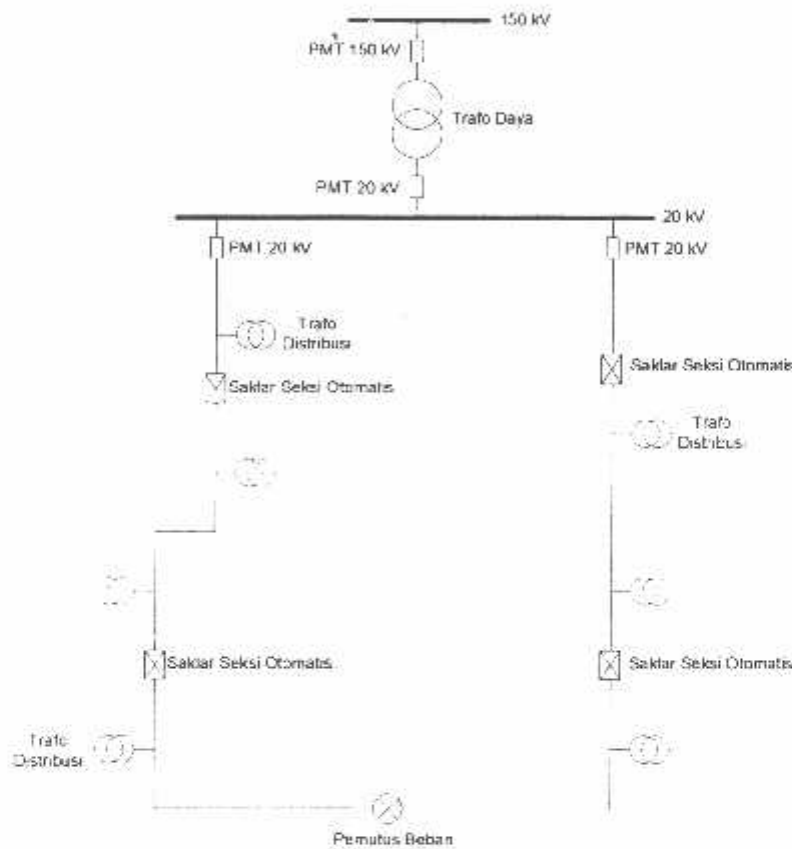


Gambar 2.4 Konfigurasi Jaringan Hantaran Penghubung<sup>17)</sup>

### 2.2.3 Jaringan Lingkaran ( Loop )

Pada sistem ini terdapat penyulang yang terkoneksi membentuk loop atau rangkaian tertutup untuk menyuplai beberapa gardu distribusi. Gabungan dari 2 struktur radial menjadi keuntungan pada pola loop karena pasokan daya lebih terjamin dan memiliki keandalan yang cukup. Dalam sistem ini akan banyak terdapat Peralatan hubung bagi seperti *Load Break Switch ( LBS )* / Saklar

pemutus beban, penutup balik otomatis ( Recloser ), Gardu hubung (Gardu bagi), dan *sectionalizer*/Saklar Seksi Otomatis guna mendukung Pengalihan beban jaringan serta melokalisir gangguan. Selain biaya pembangunan menjadi lebih mahal, kelemahan dari sistem ini yaitu apabila terjadi gangguan di Gardu Induk maka seluruh penyulang yang mendapat pasokan dari Gardu Induk tersebut akan padam.

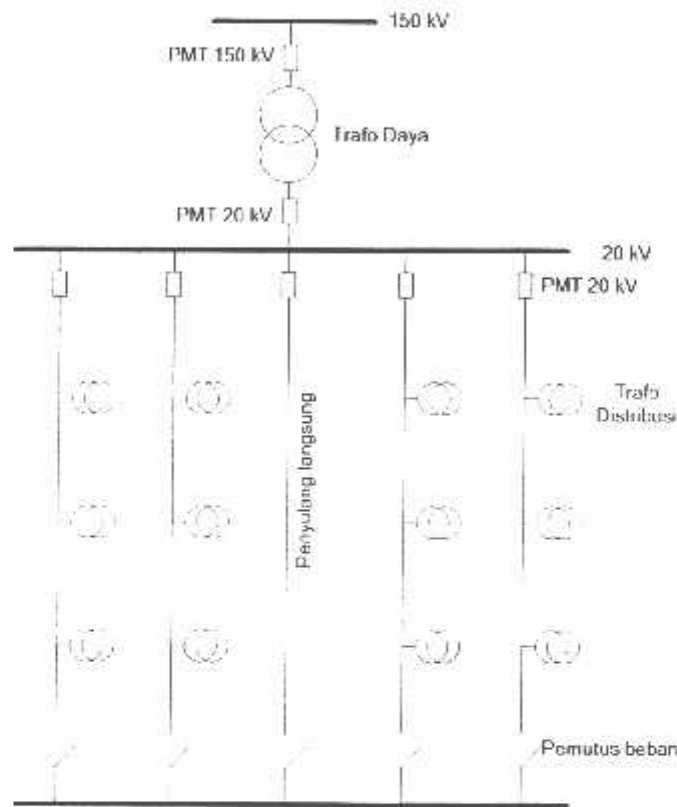


Gambar 2.5 Konfigurasi Jaringan Loop <sup>[7]</sup>

#### 2.2.4 Jaringan Spindel

Sistem Spindel adalah suatu pola konfigurasi jaringan dari pola Radial dan Ring. Spindel terdiri dari beberapa penyulang (*feeder*) yang tegangannya diberikan dari Gardu Induk dan tegangan tersebut berakhir pada sebuah Gardu Hubung (GH). Pada sebuah spindel biasanya terdiri dari beberapa penyulang aktif dan sebuah penyulang cadangan (*express*) yang akan dihubungkan melalui gardu hubung. Pola Spindel biasanya digunakan pada jaringan tegangan menengah (JTM) yang menggunakan kabel tanah/saluran kabel tanah tegangan

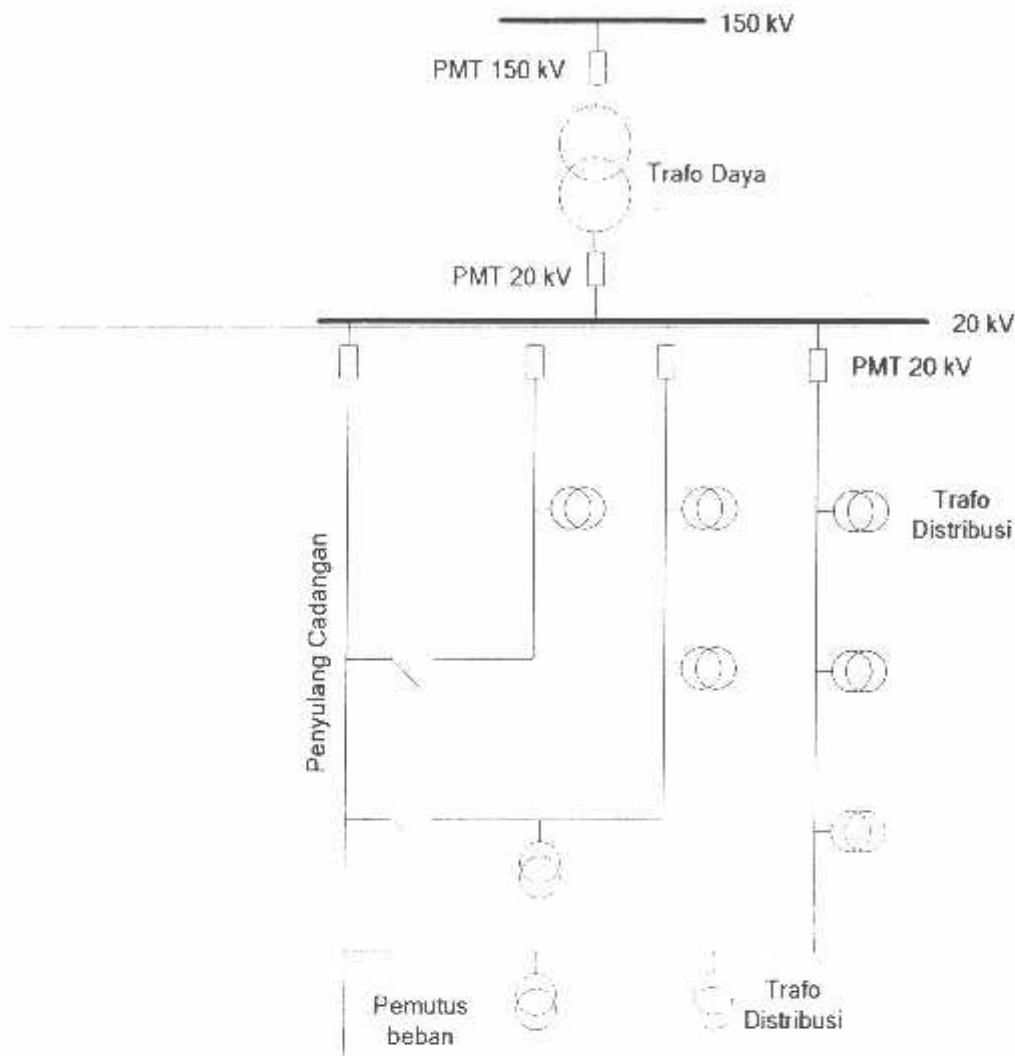
menengah ( SKTM ). Namun pada pengoperasiannya, sistem Spindel berfungsi sebagai sistem Radial. Di dalam sebuah penyulang aktif terdiri dari gardu distribusi yang berfungsi untuk mendistribusikan tegangan kepada konsumen baik konsumen tegangan rendah ( TR ) atau tegangan menengah ( TM ). Pada konsumen TR biasanya dalam gardu distribusi terdapat trafo yang berfungsi untuk menurunkan tegangan dari 20 kV menjadi 380/220 V.



Gambar 2.6 Konfigurasi Jaringan Spindel <sup>171</sup>

### 2.2.5 Sistem Gugus Atau Sistem Kluster

Untuk konfigurasi ini banyak digunakan untuk kota besar yang mempunyai kerapatan beban yang padat. Dalam sistem ini terdapat Saklar Pemutus Beban, dan penyulang cadangan. Dimana penyulang ini berfungsi bila ada gangguan yang terjadi pada salah satu penyulang konsumen maka penyulang cadangan inilah yang menggantikan fungsi suplai kekonsumen.



Gambar 2.7 Konfigurasi Jaringan kluster<sup>[7]</sup>

### 2.3 Keandalan Sistem Distribusi

Sistem tenaga listrik dapat dikatakan andal apabila tegangan dan frekuensi yang digunakan stabil, selain itu keandalan sistem juga dapat dilihat dari banyaknya jumlah pemadaman yang terjadi pada suatu daerah tertentu. Berikut beberapa tingkatan keandalan berdasarkan lamanya pemadaman<sup>[8]</sup>:

- Tingkat keandalan I, dimungkinkan padam berjam-jam (*Radial*)
- Tingkat keandalan II, padam beberapa jam (*Open Loop*)
- Tingkat keandalan III, padam beberapa menit (*Loop Murni / Spindel / Cluster*)
- Tingkat keandalan IV, padam beberapa detik (*Double Incoming*)

- Tingkat keandalan V, tanpa padam (hantaran penghubung)

Sebagian besar gangguan penyebab pemadaman bersumber dari saluran udara tegangan menengah. Bertambah panjang SUTM yang menyuplai pelanggan tertentu bertambah banyak gangguannya. Salah satu tolak ukur yang digunakan adalah lama pemadaman (SAIDI) dan frekuensi pemadaman (SAIFI). SAIFI ( *Sistem Average Interruption Frequency Index* ) adalah frekuensi pemadaman rata-rata, sedangkan SAIDI ( *Sistem Average Interruption Duration Index* ) adalah Lama pemadaman rata-rata.

#### 2.4. Teori Hubung Singkat

Bila hubungan singkat terjadi pada suatu sistem tenaga, arus akan mengalir diberbagai bagian sistem. Besaran arus sesaat setelah terjadi gangguan berbeda dengan besaran beberapa putaran (*cycle*), yaitu pada saat pemutusan terjadi. Kedua arus diatas jauh berbeda dengan arus yang akan mengalir setelah keadaan mantap, yaitu bila gangguan tidak diisolasi dari sistem (dengan bekerjanya pemutus - pemutus tenaga). Pemilihan yang tepat dari pemutus tenaga yang akan dipakai tergantung pada dua hal, besarnya arus sesaat setelah terjadinya hubungan singkat dan besarnya arus yang harus diputuskan.

Berdasarkan hal tersebut diatas, studi arus hubungan singkat ini bertujuan:

1. Menentukan besarnya arus hubung singkat pada suatu titik dalam sistem tenaga, dan berdasarkan besar arus tersebut akan ditentukan kapasitas alat pemutus tenaga yang akan dipergunakan pada titik tersebut.
2. Menentukan besar aliran arus diberbagai bagian sistem dan berdasarkan besaran arus tersebut akan didapatkan penyetelan (*setting*) dari rele-rele yang mengatur pemutus daya<sup>[1][2]</sup>.

#### 2.5. Komponen Simetris

Metode komponen simetris digunakan dalam perhitungan yang berhubungan dengan keadaan yang tak seimbang pada perangkat listrik tiga fasa, dan secara khusus untuk perhitungan hubung singkat yang tidak seimbang pada perangkat listrik.

Komponen-komponen yang seimbang ini dinamakan menjadi tiga komponen urutan :

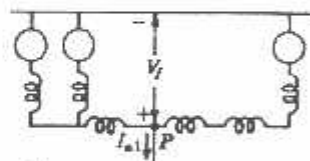


- Komponen urutan positif, yang terdiri dari tiga fasor yang sama besarnya dan berbeda sudut fasanya  $120^\circ$  dan mempunyai urutan yang sama dengan fasa aslinya. Impedansi urutan positif ( $Z_1$ ) dan arus urutan positif ( $I_1$ ).
- Komponen urutan negatif, yang terdiri dari tiga fasor yang sama besarnya dan berbeda sudut fasanya  $120^\circ$  dan mempunyai fasor urutan yang berlawanan dengan fasa aslinya. Impedansi urutan negatif ( $Z_2$ ) dan arus urutan negatif ( $I_2$ ).
- Komponen urutan nol, yang terdiri dari tiga fasor yang sama simetris besarnya dan berbeda fasa nol derajat. Impedansi urutan nol ( $Z_0$ ) dan arus urutan nol ( $I_0$ ).

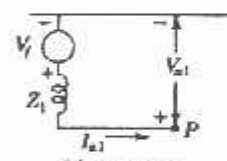
Adapun cara yang biasa dilakukan dalam menghitung besar arus gangguan hubung singkat pada komponen simetris adalah memulai perhitungan pada rel daya tegangan primer di gardu induk untuk berbagai jenis gangguan, kemudian menghitung pada titik-titik lainnya yang terletak semakin jauh dari gardu induk tersebut.



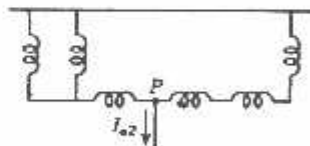
(a) Diagram segaris sistem tiga-fase seimbang.



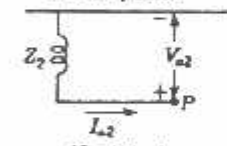
(b) Jala-jala urutan-positif



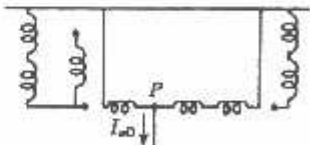
(e) Ekvivalen Thevenin jala-jala urutan-positif



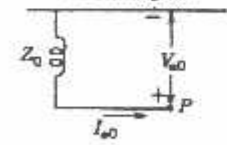
(c) Jala-jala urutan-negatif



(f) Ekvivalen Thevenin jala-jala urutan-negatif



(d) Jala-jala urutan-nol



(g) Ekvivalen Thevenin jala-jala urutan-nol

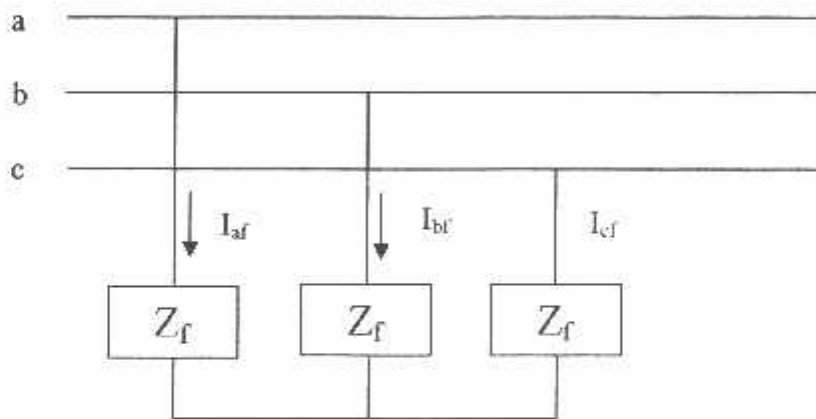
Gambar 2.8 Diagram segaris tiga fasa, jala-jala urutannya dan ekivalen Thevenin dari jala-jala untuk gangguan di  $P^{[2]}$

Karena  $I_a$  adalah arus yang mengalir dari sistem menuju gangguan, komponen  $I_{a1}$ ,  $I_{a2}$ , dan  $I_{a0}$ -nya mengalir dari jaringan menuju titik gangguan, seperti terlihat pada rangkaian ekivalen jaringan tersebut di titik P. Persamaan metrik untuk komponen simetris tegangan pada gangguan di fasa a pada gambar 2.8 adalah sebagai berikut.

$$\begin{bmatrix} V_{a0} \\ V_{a1} \\ V_{a2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ V_f \\ 0 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} Z_0 & 0 & 0 \\ 0 & Z_1 & 0 \\ 0 & 0 & Z_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_{a0} \\ I_{a1} \\ I_{a2} \end{bmatrix} \dots\dots\dots(2.1)$$

**2.6 Jenis jenis Gangguan Pada Sistem Distribusi**

**2.6.1 Gangguan Tiga Fasa (Simetris)**



Gambar 2.9 Gangguan tiga fasa<sup>[2]</sup>

Gangguan tiga fasa merupakan gangguan yang seimbang pada fasa-fasanya, dimana tidak terdapat arus urutan nol dan negatifnya, misalkan gangguan pada fasa a, b dan c. Bila impedansi titik gangguan  $Z_f = 0$  seperti pada gambar 2.9, maka arus gangguan fasa tiga adalah sebagai berikut.

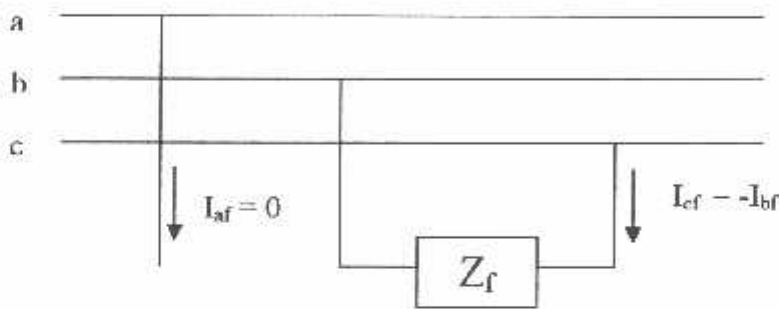
$$\begin{aligned} I_a &= I_b = I_c = 0 \\ E &= E_b = E_c \\ V_a &= V_f - I_{a1} * Z_{a1} = 0, \text{ dimana } V_{a1} = V_a ; I_{a1} = I_a ; Z_{a1} = Z_1 \\ I_a &= I_f = \frac{V_f}{Z_1} \\ I_{f\phi} &= \frac{V_f - n}{Z_1} \dots\dots\dots(2.2) \end{aligned}$$

dan bila impedansi titik gangguan  $Z_f \neq 0$ , maka besar arus gangguannya menjadi:

$$I_{hs3\phi} = \frac{V_{f-n}}{Z_1 + Z_f} \dots\dots\dots (2.3)$$

- dimana ;  $V_{f-n}$  = Tegangan fasa ke netral, dalam (kV)  
 $I_{hs3\phi}$  = Arus hubung singkat fasa tiga, dalam (A)  
 $Z_1$  = Impedansi urutan positif, dalam ohm  
 $Z_f$  = Impedansi pada titik gangguan, dalam ohm

### 2.6.2 Gangguan fasa ke fasa



Gambar 2.10 Gangguan fasa ke fasa<sup>[2]</sup>

Misalkan gangguan fasa ke fasa terjadi antara fasa a dan fasa b, berdasarkan gambar 2.10, maka tidak terdapat arus urutan nolnya. Jika impedansi titik gangguan  $Z_f = 0$ , maka besarnya arus gangguan adalah :

$$I_a = 0; I_b = -I_c \text{ atau } I_{s1} = -I_{s2}; V_b = V_c = V_f = Z_f * I_b$$

$$I_b = I_{hs2\phi} = \frac{V_f}{Z_1 + Z_2} \dots\dots\dots (2.4)$$

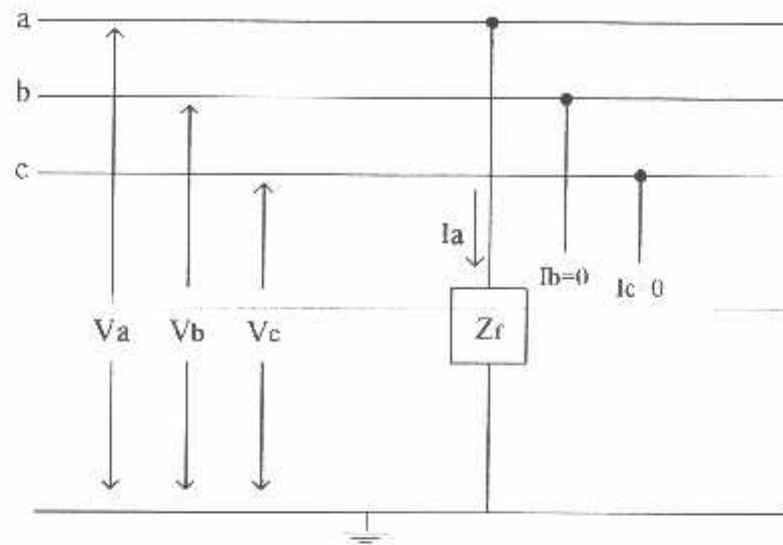
dan bila impedansi titik gangguan  $Z_f \neq 0$ , maka besar arus gangguannya adalah :

$$I_{hs2\phi} = \frac{V_f}{Z_1 + Z_2 + Z_f} \dots\dots\dots (2.5)$$

- dimana :  $V_f$  = Tegangan fasa ke fasa  
 $Z_1$  dan  $Z_2$  = Impedansi urutan positif dan negatif

### 2.6.3 Gangguan satu fasa ke tanah.

Misalkan gangguan satu fasa ke tanah terjadi pada fasa a, berdasarkan gambar 2.11, dan impedansi titik gangguan  $Z_f = 0$ , maka terdapat semua urutan komponen arus gangguannya.

Gambar 2.11 Gangguan fasa ke tanah<sup>[2]</sup>

Sehingga persamaannya menjadi :

$$I_b = 0; I_c = 0; V_a = 0$$

$$I_{k1\Phi} = \frac{V_{f-n}}{(Z_0 + Z_1 + Z_2)}$$

$$I_1 = I_2 = I_0$$

$$I_{k3\Phi} = I_1 + I_2 + I_0 = 3I_1$$

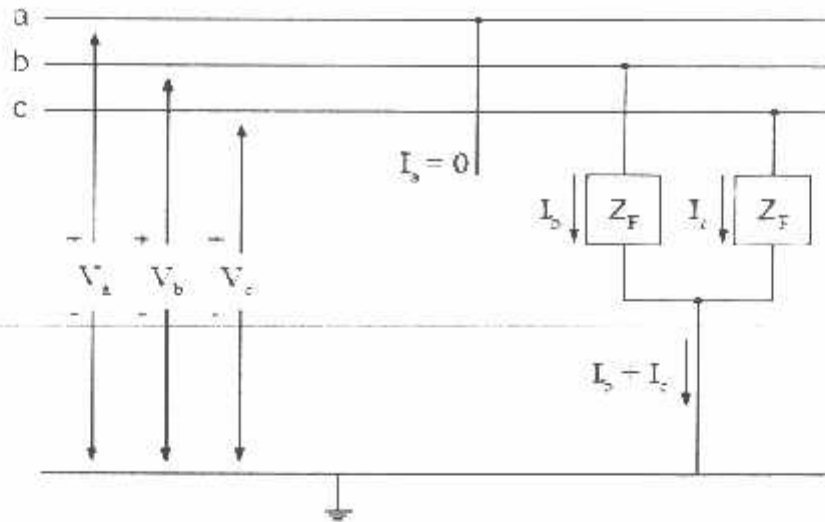
$$I_{k1\Phi} = \frac{3V_{f-n}}{(Z_0 + Z_1 + Z_2)} \dots\dots\dots(2.6)$$

dan bila impedansi titik gangguan  $Z_f \neq 0$ , maka besar arus gangguannya adalah :

$$I_{k1\Phi} = \frac{3V_{f-n}}{Z_1 + Z_2 + Z_0 + Z_f} \dots\dots\dots(2.7)$$

#### 2.6.4 Gangguan Dua Fasa Ke Tanah.

Sebagaimana gangguan satu fasa ke tanah, misalkan gangguan fasa ke fasa terjadi antara fasa b dan fasa c, berdasarkan gambar 2.12. dan impedansi titik gangguan  $Z_f$ .

Gambar 2.12 Gangguan dua fasa ke tanah<sup>[2]</sup>

Maka besarnya arus gangguan sebagai berikut.

$$V_b = V_c = 0; I_a = 0$$

Hingga diperoleh rumus turunannya sebagai berikut.

$$I_{hs2\phi} = \frac{V_f}{Z_1 + Z_2 Z_0 / (Z_2 + Z_0)} \dots\dots\dots (2.8)$$

Jika arus gangguan dua fasa ke tanah melalui impedansi  $Z_f$ , adalah

$$I_{hs2\phi} = \frac{V_f}{Z_1 + Z_2 (Z_0 + 3Z_f) / (Z_2 + Z_0 + 3Z_f)} \dots\dots\dots (2.9)$$

## 2.7 Impedansi Sumber

Sebelum melakukan perhitungan arus hubung singkat terlebih dahulu mengetahui impedansi pada tiap-tiap bagian. Data-data yang diperlukan sebagai berikut : MVA di sisi busbar tegangan tinggi, MVA, impedansi ( $Z\%$ ), kV dari trafo tenaga yang mensuplai jaringan, karena incoming trafo tenaga mensuplai tegangan untuk jaringan<sup>[1][2]</sup>.

### 1. Perhitungan Impedansi Sumber

$$Z_s = \frac{kV^2}{MVA} \dots\dots\dots (2.10)$$

### 2. Perhitungan Impedansi Trafo

$$Z_{tl} = \frac{\%Z_t KV^2}{MVA} \dots\dots\dots (2.11)$$

### 3. Perhitungan Impedansi Fedeer

Impedansi fedeer yang akan dihitung tergantung dari besarnya impedansi /km dari fedeer yang bersangkutan

$$Z_1 = Z_2 = \text{panjang fedeer} \times (R_1 + jX_1)/1000 \text{ feet} \dots\dots\dots (2.12)$$

### 4. Perhitungan Impedansi Jaringan Ekvivalen

Untuk menghitung nilai impedansi ekvivalen untuk jaringan adalah :

$$Z_{1ekq} = Z_{2ekq} = Z_s + Z_{t1} + Z_{1feeder} \dots\dots\dots (2.13)$$

$$Z_{0ekq} = Z_{t0} + 3 \cdot R_n + Z_{0feeder} \dots\dots\dots (2.14)$$

## 2.8 Sistem Pengamanan

Fungsi pengaman adalah memisahkan bagian sistem yang terganggu sehingga bagian sistem lainnya dapat terus beroperasi dengan cara sebagai berikut:

- a. Mendeteksi adanya gangguan atau keadaan abnormal lainnya pada bagian sistem yang diamankannya (*fault detection*).
- b. Melepaskan bagian sistem yang terganggu (*fault clearing*), sehingga bagian sistem lainnya yang tidak mengalami gangguan dapat terus beroperasi.
- c. Memberitahu operator adanya gangguan dan lokasinya (*announcement*)<sup>[1][9]</sup>.

### 2.8.1 Proteksi Jaringan Distribusi.

Secara umum sistem proteksi bertujuan untuk mencegah atau membatasi kerusakan pada jaringan beserta peralatannya, keselamatan umum yang disebabkan karena gangguan dan meningkatkan pelayanan. Perlindungan sistem distribusi meliputi dua hal :

1. Perlindungan terhadap arus hubung singkat dan arus lebih atau gangguan pada saluran ( perlindungan terhadap arus lebih)
2. Perlindungan terhadap gangguan petir ( perlindungan terhadap tegangan lebih).

Cara, macam, dan tingkat perlindungan yang diterapkan tergantung dari banyak faktor, termasuk cara pentanahannya, peralatan, kondisi, peraturan setempat, dan macam beban. Macam dan karakteristik beban sangat

mempengaruhi perencanaan perlindungan dan juga sangat mempengaruhi perencanaan suatu sistem distribusi<sup>[4][9]</sup>.

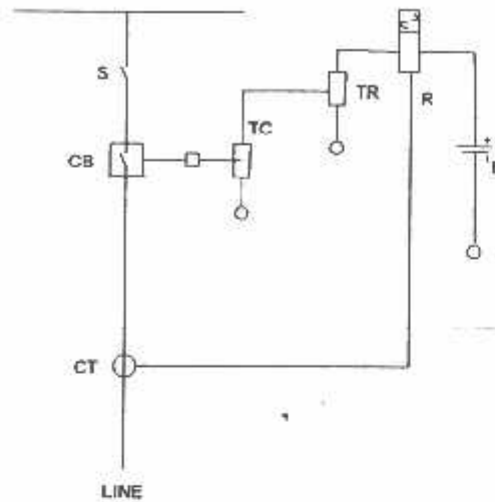
### 2.8.2 Definisi Rele Proteksi.

Tujuan utama dari sistem tenaga listrik adalah penyaluran tenaga listrik yang mempunyai mutu dan keandalan yang tinggi dan ketika terjadi gangguan dapat meminimalkan akibat dari gangguan tersebut, seperti kehilangan daya, tegangan turun dan tegangan lebih. Karena gangguan tidak dapat dihindari maka untuk mencegahnya atau mengurangi gangguan tersebut digunakan relai pengaman.

Rele proteksi adalah suatu peralatan elektrik yang didesain untuk mengartikan kondisi masukan pada keadaan tertentu, setelah kondisi tersebut dispesifikasikan, yang ditujukan untuk memberi respons yang dapat menyebabkan pengoperasian kontak didalam suatu kesatuan rangkaian listrik. Kondisi masukan biasanya berupa sinyal listrik, mekanik, atau besaran lainnya. Selain rele proteksi, digunakan juga peralatan-peralatan pendukung yang dapat membebaskan sistem dari bagian yang terganggu, antara lain :

- a. **Pemutus Tenaga ( PMT )** : sebagai pemutus arus gangguan di dalam sirkuit tenaga untuk melepaskan bagian sistem yang terganggu. Dengan kata lain membebaskan sistem dari gangguan (*fault clearing*). PMT menerima perintah (*trip signal*) dari relai pengaman untuk membuka.
- b. **Trafo Instrumen** : untuk meneruskan arus dan atau tegangan dengan perbandingan tertentu dari kumparan primer ke kumparan sekunder dan memisahkan sirkuit sekunder dari sirkuit primernya.
- c. **Battery (aki)** : sebagai sumber tenaga untuk mengetrip PMT dan catu daya untuk relai utama dan relai bantu.

Hubungan antara komponen pengaman sebagai suatu sistem pengaman yang sederhana untuk sistem Tegangan Menengah (TM) dan sistem Tegangan Tinggi (TT) dapat dilihat pada gambar dibawah ini :



Gambar 2.13 Sistem Pengaman Sederhana Tegangan Menengah<sup>[4]</sup>

Dimana :

CB : PMT (Pemutus Tenaga)	TC : Trip Coil
R : Rele	CT : Trafo Arus
B : Sumber tegangan	TR : Trip Rele
S : Saklar	

Berdasarkan gambar 2.13, dapat dijelaskan cara kerja sistem pengaman sebagai berikut : Arus yang melewati *line* atau jaringan akan dirasakan oleh trafo arus, apabila arus normal, maka rele tidak bekerja, tetapi bila trafo arus merasakan arus gangguan, maka rele akan bekerja lalu memerintahkan Trip Rele untuk bekerja sehingga Trip Coil ikut bekerja tetapi dibantu oleh daya dari baterai untuk mentripkan PMT/CB<sup>[4][9]</sup>.

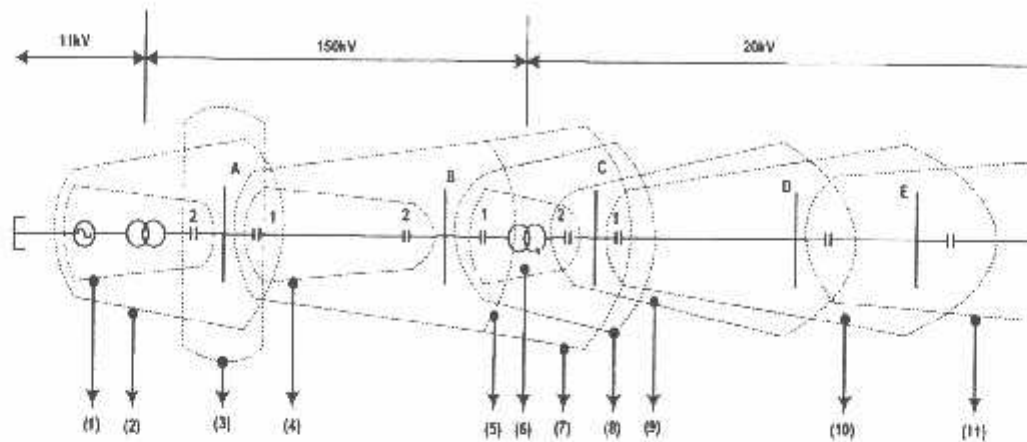
### 2.8.3 Kawasan Pengamanan (*Zone of Protection*)

Sistem Tenaga Listrik terbagi ke dalam beberapa bagian yang satu sama lain jika dihubungkan atau dipisahkan melalui pemutus tenaga (PMT). Setiap bagian diamankan oleh suatu relai pengaman dan setiap relai mempunyai kawasan pengamanan. Kawasan pengamanan suatu relai adalah bagian dari sistem yang menjadi tanggung jawab relai pengaman itu untuk mendeteksi gangguan yang terjadi di dalamnya, dan dengan bantuan PMT memisahkan bagian yang terganggu itu dari bagian sistem lainnya.

Karena dengan terpisahnya bagian sistem yang terganggu, maka bagian sistem lainnya dapat selamat, tidak rusak dan dapat terus beroperasi. Sebagai



contoh rele dan kawasan pengamanannya di dalam suatu sistem tenaga listrik dapat dilihat pada gambar :



Gambar 2.14 Rele dan Kawasan Pengamanannya<sup>[9]</sup>

Keterangan.

- (1) Rele Differential Pengaman Utama Gen-Trafo.
- (2) Rele Arus Lebih Pengaman Cadangan lokal Gen-Trafo Pengaman Cadangan jauh Bus A.
- (3) Pengaman Bus-Pengaman Utama Bus A.
- (4) Area Rele Jarak I & PLC di A1 – Pengaman Utama Saluran AB.
- (5) Area Rele Jarak II di A1, Pengaman Utama Bus B, Pengaman Cadangan - Jauh sebagian Trafo di B.
- (6) Area Rele Jarak III di A1, Pengaman Cadangan - Jauh Trafo di B sampai Bus C.
- (7) Rele Differential, Pengaman Utama Trafo.
- (8) Rele Arus Lebih Trafo sisi 150kV, Pengaman Cadangan lokal Trafo, Pengaman Cadangan - Jauh Bus C.
- (9) Rele Arus Lebih Trafo sisi 20kV, Pengaman Utama Bus C, Pengaman Cadangan - Jauh saluran CD.
- (10) Rele Arus Lebih di C1, Pengaman Utama saluran CD Pengaman Cadangan - Jauh saluran DE.

(11) Rele Arus Lebih di D, Pengaman Utama saluran DE, Pengaman Cadangan - Jauh bagian berikutnya<sup>[9]</sup>.

## 2.9 Syarat Utama Rele Proteksi

Peralatan proteksi yang baik harus memenuhi beberapa persyaratan. Adapun persyaratan tersebut antara lain :

### 2.9.1 Kepekaan (*Sensitivity*)

Relai harus cukup peka sehingga selalu mendeteksi adanya gangguan di daerah pengamanannya, sekaligus dalam kondisi yang memberikan rangsangan minimum.

### 2.9.2 Keandalan (*Reliability*)

- *Dependability*

Pengaman harus dapat diandalkan kemampuan bekerjanya. Tidak boleh gagal bekerja, bila memang harus bekerja ( ada gangguan di daerah pengamannya ).

- *Security*

Pengaman tidak boleh salah kerja yaitu bekerja yang tidak semestinya harus kerja, atau kerja yang terlalu cepat atau terlalu lambat. Pengoperasian kerja yang salah dapat mengakibatkan pemadaman yang sebenarnya tidak perlu terjadi.

- *Availability*

Yaitu ketersediaan peralatan pengaman, yang diartikan siap kerja. Kondisi ini dinyatakan dalam rasio (perbandingan) antara waktu siap kerja relai pengaman dengan waktu total operasinya.

### 2.9.3 Selektivitas (*Selectivity*)

Pengaman harus dapat memisahkan bagian sistem yang terganggu sekecil mungkin, yaitu hanya bagian atau peralatan yang terganggu yang memang berada di daerahnya apakah gangguan itu ada di daerah pengamanannya atau diluarnya. Pengamanan sedemikian disebut pengamanan yang selektif. Jadi rele harus dapat membedakan apakah:

- Gangguan terletak di kawasan pengamanan utamanya dimana ia harus bekerja cepat, atau
- Gangguan terletak di bagian berikutnya dimana ia harus bekerja dengan waktu tunda atau menahan diri untuk tidak trip, atau
- Gangguannya di luar daerah pengamanannya, atau sama sekali tidak ada gangguan, dimana ia harus tidak bekerja sama sekali.

Untuk itu rele yang didalam sistem disusun secara seri, dikoordinasikan dengan mengatur peningkatan waktu (*time grading*) atau peningkatan setting arus (*current grading*), atau gabungan dari keduanya.

Untuk itulah relae dibuat dengan bermacam jenis dan berbagai karakteristiknya. Dengan pemilihan jenis dari karakteristik relai yang tepat, spesifikasi trafo arus yang benar, serta penentuan setting relai yang terkoordinasi dengan baik, maka selektifitas yang baik dapat diperoleh.

#### 2.9.4 Kecepatan (*Speed*)

Untuk memperkecil akibat gangguan, maka bagian yang terganggu harus dipisahkan secepat mungkin dari bagian sistem lainnya. Untuk menciptakan selektifitas, mungkin saja suatu pengaman terpaksa diberi waktu tunda (*time delay*), namun waktu tunda itupun harus secepat mungkin (seperlunya). Selain itu mengurangi kerusakan akibat gangguan hubung singkat, kecepatan rele pengaman juga dapat memperkecil pengaruh ketidakstabilan sistem tripping terjadi.

Waktu total pembebasan sistem dari gangguan (*total fault clearing time*), adalah waktu sejak munculnya gangguan sampai bagian yang terganggu benar – benar terpisah dari bagian sistem lainnya.

$$t_{total} = t_{start} + t_d + t_{PMT} \dots\dots\dots(2.15)$$

Dimana :

- $t_{total}$  : waktu total pembebasan gangguan
- $t_{start}$  : waktu start rele (waktu kerja tanpa waktu tunda)
- $t_d$  : waktu tunda rele untuk koordinasi
- $t_{PMT}$  : waktu pemutusan arus gangguan PMT

Kecepatan itu penting untuk :

- Menghindari kerusakan secara thermis pada peralatan yang dilalui arus gangguan serta membatasi kerusakan pada alat yang terganggu.
- Mempertahankan kestabilan sistem.
- Membatasi ionisasi (busur api) pada gangguan di saluran udara yang berarti memperbesar kemungkinan berhasilnya penutupan balik PMT (reclosing) dan mempersingkat *dead time* (interval waktu antara buka dan tutup).

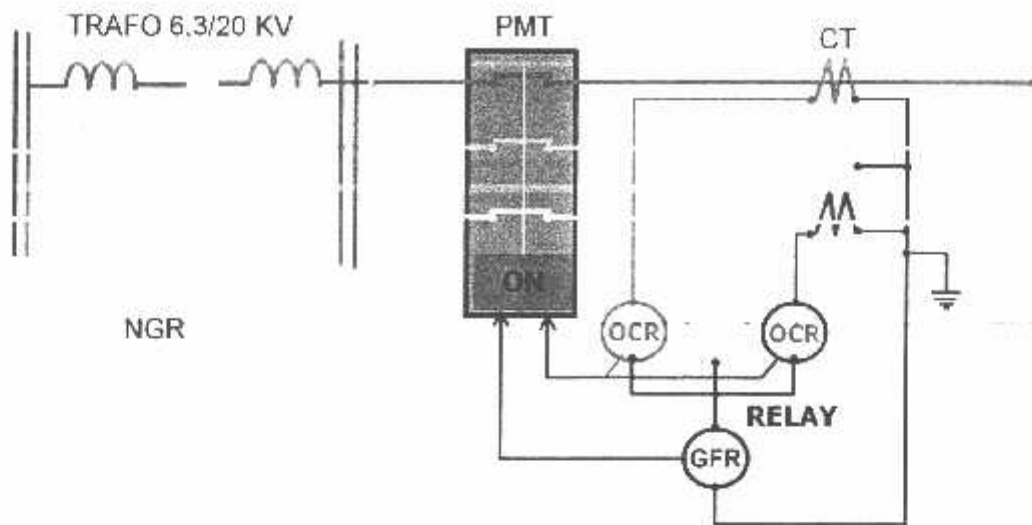
Disamping syarat syarat tersebut diatas, terdapat empat faktor utama yang mempengaruhi kerja dari rele antara lain :

- Faktor ekonomi.
- Karakteristik dari rele dan sistem tenaga listrik.
- Lokasi dari pemisah dan pengaman (PMT) dan peralatan-peralatan lain yang berfungsi sebagai masukan (CT/PT).
- Tingkat gangguan<sup>[4][9]</sup>.

## 2.10 Rele Arus Lebih

*Over Current Relay (OCR)* atau relai arus lebih adalah suatu rele yang beroperasi bila arus yang mengalir melampaui nilai yang ditentukan. Rele arus lebih dapat berupa rele arus sesaat, yaitu tanpa perlambatan (40 ms hingga 80 ms).

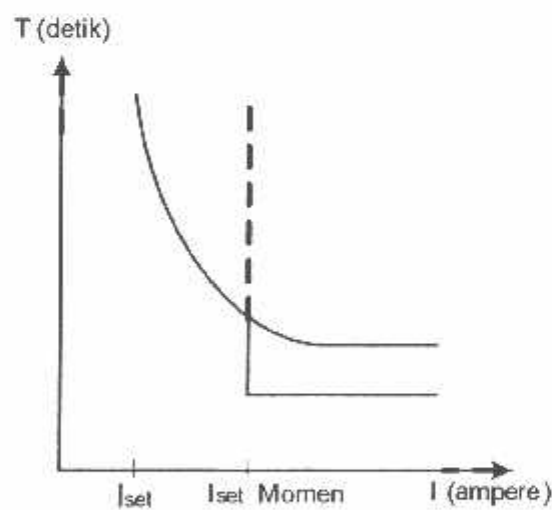
Rele arus lebih adalah rele yang paling sederhana, hanya ada satu variabel yang diperlukan untuk mengoperasikan rele, yaitu arus. Namun demikian terdapat beberapa tipe yang berbeda dari karakteristik rele yang hanya menggunakan variabel arus<sup>[4]</sup>.



Gambar 2. 15 Wiring diagram rele arus lebih dan hubungan ke tanah<sup>[9]</sup>

### 2.10.1 Rele waktu tunda (*definite time relay*)

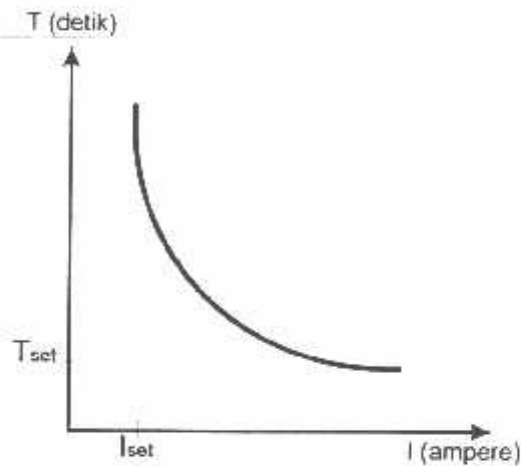
Sifat atau karakteristik dari rele definite adalah rele baru akan bekerja bila yang mengalir pada rele tersebut melebihi besarnya arus setting ( $I_s$ ) yang telah ditentukan. Dan lamanya selang waktu rele bekerja untuk memberikan komando tripping adalah sesuai dengan waktu setting ( $T_s$ ) yang diinginkan. Pada rele ini waktu bekerjanya ( $T_{tripping} = T_s$ ) tetap konstan, tidak dipengaruhi oleh besarnya arus yang mengerjakan rele tersebut.



Gambar 2.16 Karakteristik rele waktu tunda<sup>[4]</sup>

### 2.10.2 Rele waktu terbalik (*inverse time relay*)

Rele ini akan bekerja dengan waktu tunda yang tergantung dari besarnya arus secara terbalik (*inverse time*), makin besar arus makin kecil waktu tundanya. Karakteristik ini bermacam-macam dan setiap pabrik dapat membuat karakteristik yang berbeda-beda



Gambar 2.17 Karakteristik rele waktu terbalik<sup>[4]</sup>

Berdasarkan standar IEC, karakteristik setelan tunda *inverse time* (disamping ada setelan tunda waktu definite dan instantaneous) yaitu :

1. Karakteristik *standard inverse* (SI)
2. karakteristik *very inverse* (VI)
3. karakteristik *extreme inverse* (EI)
4. karakteristik *long time inverse* (LTI)

Tabel 2.1 Rumus karteristik inverse time standar IEC

$T = \frac{\alpha \cdot td}{\left(\frac{I}{I_{set}}\right)^\beta - \delta}$		SI	VI	EI	LTI
	$\alpha$	0.14	13,5	80	120
	$\beta$	0,02	1	2	1
	$\delta$	1	1	1	1

$I_{set}$  = merupakan setelan arus primer CT

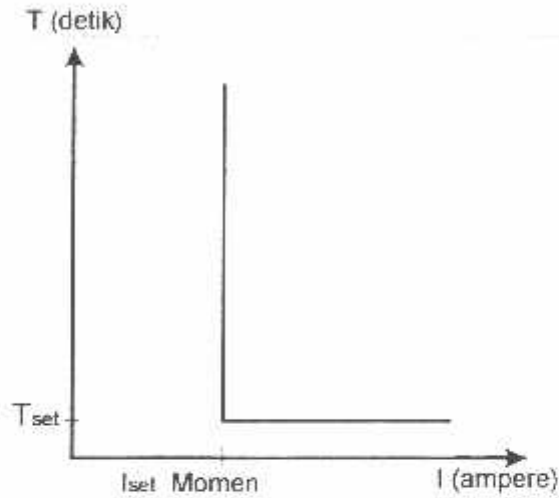
$td$  = merupakan time dial/time multiple setting pada rele (TMS)

$T$  = waktu kerja rele

$I$  = arus gangguan yang dirasakan rele ( $I_{fault}$ )

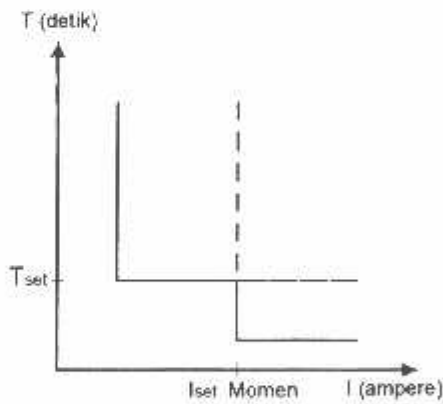
### 2.10.3 Rele waktu seketika (*instantaneous relay*)

Rele ini bekerja seketika (tanpa waktu tunda), ketika arus yang mengalir melebihi nilai settingnya, rele akan bekerja dalam waktu beberapa mili detik (40–80 ms) dan tidak menjangkau arus gangguan maksimum.

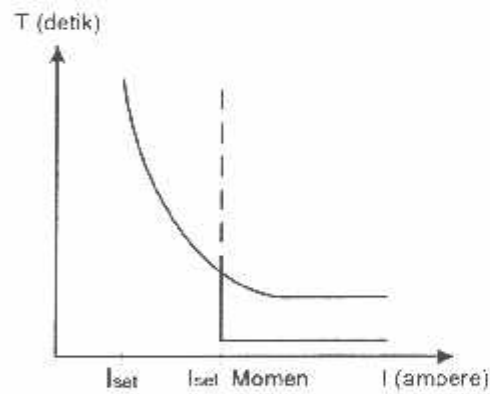


Gambar 2.18 Karakteristik rele tanpa tunda waktu<sup>[1]</sup>

Karena bekerjanya tanpa tunda waktu, rele ini biasa digunakan untuk *back-up* pengaman distribusi sehingga selalu di kombinasikan dengan *definite time* atau *inverse time* [4].



Gambar 2.19 Karakteristik kombinasi *Definite time* dan *Instant time*<sup>[4]</sup>



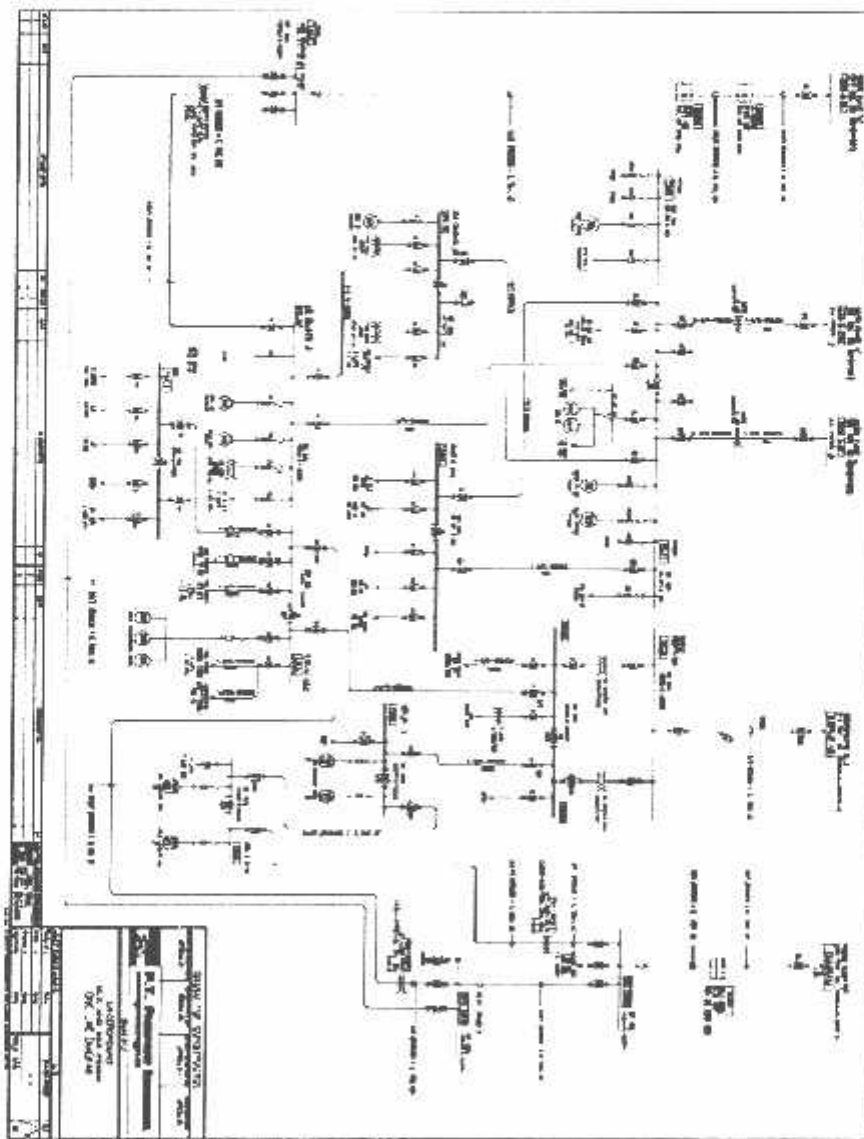
Gambar 2.20 Karakteristik Kombinasi *Instant time* dan *Inverse Time*<sup>[4]</sup>

## BAB III

### METODE PENELITIAN

#### 3.1 Sistem Jaringan Distribusi *Lower Ore Flow Concentrating*

Keberadaan PT Freeport Indonesia yang jauh dari jangkauan jaringan distribusi *utility* (PLN) dan membutuhkan kapasitas daya yang cukup besar pula, sehingga mengharuskan PT Freeport Indonesia mempunyai pembangkit sendiri hingga menyalurkan sampai ke bagian distribusi. Besaran tegangan yang dipakai untuk saluran transmisi diantaranya 230 KV dan 115 KV, untuk saluran distribusi menggunakan tegangan 13,8 KV dan 4160 V, sedangkan tegangan rendahnya adalah 480 V 3 fasa dan 240 V dan 120 V untuk satu fasa.



Gambar 3.1 *Single line diagram* MLA sistem<sup>[10]</sup>



Distribusi di *Lower Ore Flow* terbagi menjadi dua bagian, 84 sistem dan 72 sistem yang disuplai oleh dua *power Plant*, yaitu *power plant A* mensuplai *switchgear* 23A10 dan 23A11, 84 sistem disuplai oleh *power plant C*. Kedua sistem tersebut bekerja pada tegangan 4160 V dan dengan incoming 13,8 kV.

Kapasitas *power plant A* yang menyuplai *Switchgear* 23A11 adalah 15 MVA. Untuk 72 sistem masing-masing *switchgear* menggunakan transformator 5 MVA dengan data sebagai berikut.

Tabel 3.1 *Name plate* trafo 24X02

TRAFO 24X02 FROM 23A3-B TO HYDRO 23A11	
Manufacture:	ABB
HV	13,8 KV
LV	4160 V
CLASS	0A/FA
FL KVA	5000/5600 OA
	6250/7000 FA
	55/65° C
GALLON LIQUIT	852
MANUAL	PC-1002
Serial Number	SEA7490-0102
IMPEDANCY	5,55%
Hz	60
CONNECTION HV	DELTA
LV	STAR

### 3.2 Peralatan Pada *Switchgear*

Peralatan pada *switchgear* 23A11 dan MVS 50 yang berkaitan langsung dengan gangguan diantaranya sebagai berikut :

#### 1. VCB (*Vacum Circuit Breaker*)

Pada *switchgear* 23A11 VCB (*Vacum Circuit Breaker*) yang digunakan pada seluruh *cubicle* pabrikan Seimens dengan tipe sebagai berikut :

Tabel 3.2 Kapasitas VCB

<b>Substation 23A10-23A11 (Hydro)</b>	
Manufacture:	Siemens-Allis
Type	15-3AF-250-1200-58
Amp	1200 Amp
Rated Max Volt	4.76 kV
Volt Range Factor	1.24 K
BIL	60 kV
Rated Short Circuit	29 kA
Close Latch	58 kA
Inter Time	5 Cycle
Hz	60
Wiring Diag.	18-807-583-411
Motor Voltage Range:	100 - 140 VDC
Motor Amp nominal	6 Amp
Close Volt Range	100 - 140 VDC
Close Amp nominal	1 Amp
Trip Volt Range	70 - 140 VDC
Trip Amp Nominal	5.4 A
Manual	SG-3158
LBS	550
Serial Number	R-77293A-3
Date Manuf.	11-58

## 2. CT (*Current Transformator*)

Demi keamanan dan ketelitian, *Current Transformator* (CT) atau trafo arus untuk proteksi harus mempunyai ketelitian / *error* kecil pada daerah arus gangguan hubung singkat besar dan tidak jenuh pada arus gangguan yang besar untuk keandalan alat proteksi tersebut.

Tabel 3.3 Phasa dan *Ground CT* rasio *switchgear* 23A11

BREAKER No.	LOCATION	CUBICLE	DEVICE NO	CT RATIO
HYDRO	Hydro	8B	6/A	1000/5

23A11	station		67B	1000/5
			67C	1000/5
			67G	
		9B	50/51A	400/5
			50/51B	400/5
			50/51C	400/5
			50G	
		7B	51A	600/5
			51B	600/5
			51C	600/5
			51G	
		5A	50/51A	400/5
			50/51B	400/5
			50/51C	400/5
			50G	

Tabel 3.4 Fasa dan *Ground CT* rasio MVS 50

BREAKER No.	LOCATION	CUBICLE	CT RATIO
MVS 50 DOZ	TOP DOZ CR AREA	3B	1000/5
		5A	1200/5
		1A	150/5
		2A	300/5
		5B	300/5
		6B	300/5
		4A	1200

### 3 OCR (*Over Current Relay*)

Berdasarkan dokumen, data OCR yang pada switchgear 23A11 dan MVS 50 adalah sebagai berikut.

Tabel 3.5 Setting rele switchgear 23A11

BREAKER No.	LOCATION	CUBICLE	DEVICE NO	MANUFACTURER	TAP	TD	INSTANTANEOUS
HYDRO 23A11	Hydro station	8B	67A	ABB	5,0	2,0	30A
			67B	ABB	5,0	2,0	30A
			67C	ABB	5,0	2,0	30A
			67G	ABB	1,5	1,0	6A
		9B	50/51A	Westinghouse	5,0	2,0	40A
			50/51B	Westinghouse	5,0	2,0	40A
			50/51C	Westinghouse	5,0	2,0	40A
			50G	ABB	-	-	0.5A
		7B	51A	Westinghouse	3,0	9,0	74A
			51B	Westinghouse	3,0	9,0	74A
			51C	Westinghouse	3,0	9,0	74A
			51G	ABB	1,0	2,0	5A
		5A	50/51A	Westinghouse	5,0	2,0	40A
			50/51B	Westinghouse	5,0	2,0	40A
			50/51C	Westinghouse	5,0	2,0	40A
			50G	ABB	-	-	0.5A

Tabel 3.6 Setting rele MVS 50

BREAKER No.	LOCATION	CUBICLE	MANUFACTURER	TAP	TD	INSTANTANEOUS
MVS 50 DOZ	TOP DOZ CR AREA	3B	Multilin SR 750	0.32	13	Dis
		5A	Multilin SR /50			
		1A	Multilin SR 469	FLA 100	SF 1.15	Dis
		2A	Multilin SR 745	0.46	2.0	19
		5B	Multilin SR 745	0.23	2.0	19
		6B	Multilin SR 745	0.23	2.0	10
		4A	Multilin SR 750	0.25	4.0	Dis

Data tersebut diatas dilengkapi dengan data yang diperoleh secara visual di lapangan. Terutama data Multilin SR 745 VCB 6B dan Multilin SR 750 VCB 3B pada MVS 50.

Pada Multilin SR 745 tidak semua parameter dimasukkan, khusus untuk proteksi arus lebih yang difungsikan adalah *phase time* OC1 dengan *pickup*  $0,7 \times$  CT kurva *extremely inverse*, TD 4 dengan *instantaneous pickup*  $12 \times$  CT. *Ground current* dengan *pickup*  $0,18 \times$  CT, TD 2 dengan *instantaneous pickup*  $0,2 \times$  CT. Perbandingan CT yang digunakan pada kabel Ground adalah 50:5. Pada saat dilakukan pengecekan parameter, beban nominal VCB 6B adalah 65 amper.

Multilin SR 750 pada VCB 3B hanya *phase time* OC 1 yang diaktifkan dengan *pickup*  $0,36 \times$  CT kurva *very inverse*, TD 7,5 besar beban pada saat dilakukan pengecekan parameter adalah 156 Amper. Tidak ada parameter yang diaktifkan selain *phase time*.

### 3.3 Impedansi Kabel Penghantar

Data kabel penghantar yang digunakan di *Lower Ore Flow* mulai dari *power plant switchgear* 23A3-B-8B hingga lokasi gangguan di tunjukkan pada tabel berikut.

Tabel 3.7 Data kabel

NO KABEL	SALURAN	TIPE KABEL	PANJANG SALURAN (M)	IMPEDANSI KABEL/1000 feet			
				POSITIF		NOL	
				R	X	R	X
KABEL 1	24X02 - 23A11 8B	500 mcm x2	2560	0,0284	0,0351	0,04544	0,08951
KABEL 2	23A11 7B-MVS50 3B	500 mcm	1550	0,0284	0,0351	0,04544	0,08951
KABEL 3	MVS50 6B-L/CS	2/O	200	0,102	0,042	0,1632	0,1071

### 3.4 Perhitungan Arus Hubung Singkat

Perhitungan arus hubung singkat bisa dilakukan apabila semua data pendukung sudah didapatkan, diantaranya adalah tegangan pada tiap-tiap bagian, dan reaktansinya. Selanjutnya untuk mendapatkan impedansi ekivalen urutan positif ( $Z_1$ ) dan negatif ( $Z_2$ ) yaitu dengan mensubstitusikan hasil pada rumus 2.10 sampai 2.12 ke dalam rumus 2.13. Begitu juga untuk mendapatkan impedansi

urutan nol ( $Z_0$ ), yaitu dengan memasukkan hasil dari rumus 2.10 sampai 2.12 ke dalam rumus 2.14. Impedansi Urutan nol ( $Z_0$ ) dihitung mulai dari trafo yang ditanahkan, tiga kali pentahanan netral ( $R_n$ ) dan impedansi kabel.

Langkah selanjutnya adalah perhitungan arus hubung singkat pada masing-masing bagian. Perbedaan nilai arus hubung singkat ini dipengaruhi oleh jenis gangguan yang terjadi. Untuk gangguan simetris tiga fasa menggunakan rumus 2.2 dan 2.3, dengan memasukkan nilai impedansi ekivalen urutan positif (rumus 2.13) dan menggunakan tegangan fasa – netral, arus hubung singkat tiga fasa dapat diketahui. Sedangkan untuk perhitungan arus hubung singkat antar fasa menggunakan rumus 2.4 atau 2.5. Dengan memasukkan nilai impedansi urutan positif dan negatif dengan tegangan antar fasa, arus hubung singkat antar fasa dapat diperoleh. Hal yang sama untuk perhitungan arus hubung singkat antar fasa ke tanah dengan menggunakan rumus 2.8 atau 2.9 dan satu fasa ke tanah menggunakan rumus 2.6 atau 2.7.

### 3.5 Penyetelan Rele Arus Hubung Singkat

Berdasarkan data di lapangan baik secara visual pada rele maupun dokumen, dari keempat rele tersebut masing-masing menggunakan kurva sebagai berikut:

Switchgear 23A11:

- 8B : Curva very inverse
- 7B : Curva very inverse

MVS 50 :

- 3B : Phase, curva very inverse  
Ground, curva extreme inverse
- 6B : Phase, curva extreme inverse  
: Ground, very inverse

Berdasarkan tabel 2.1 maka rumus yang digunakan adalah :

$$T = \frac{13,5 \times td}{\left(\frac{I}{I_{set}}\right)^{1-1}} \quad \text{adalah kurva } \textit{very inverse}$$

$$T = \frac{80 \times td}{\left(\frac{I}{I_{set}}\right)^2 - 1} \quad \text{adalah kurva } \textit{extreme inverse}$$

Dari jenis kurva diatas maka hanya dua karakteristik rele yang digunakan yaitu karakteristik *inverse time* dan *instantaneous time*. Untuk kurva *inverse time* mempunyai faktor kerja antara 1,05 sampai dengan 1,1 kali arus beban maksimum.

$$I_{set \text{ primer}} = 1,05 \times I_{beban}$$

$$I_{set \text{ sek}} = I_{set \text{ primer}} \times 1/\text{rasio CT}$$

Agar selektif maka rele tidak boleh menjangkau seksi berikutnya pada gangguan arus maksimum, untuk itu kurva *instantaneous time* mempunyai waktu minimum antara 40 sampai 80 mili detik dan biasa diset pada 0,7 sampai dengan 0,9 arus gangguan maksimum.

$$I_{mak} = K_s \times I_{sc3\phi}$$

$K_s$  : Faktor keamanan (0,7 sampai dengan 0,9)

$I_{sc3\phi}$  : Arus hubung singkat 3 fasa

Untuk karakteristik instantanouis rele 6B dan 7B diset dengan faktor keamanan 0,9 karena merupakan *outgoing* dari *switchgear*, sedangkan untuk rele 3B dan 8B diset 0,7 lebih tinggi karena merupakan *incoming* dari *switchgear*.

### 3.6 Penentuan Lokasi Gangguan

Berdasarkan *daily work sheet* (DWS) yang dihimpun oleh *electric planner lower ore flow*, sejak tahun 2013 sudah terjadi *black out* selama tiga kali yang di sebabkan oleh hubung singkat yang terjadi pada saluran *outgoing* 6B pada MVS 50 hingga menyebabkan *circuit breaker* 7B pada *switchgear* 23A11 trip. Beban yang berada di bawah *circuit breaker* 6B adalah 5 *load center* yang dipasang secara paralel dengan kapasitas total 5 MVA, sedangkan letak *load center* terdekat dengan *breaker* 6B adalah 200 m.

On Wednesday, January 30<sup>th</sup>, 2013. At approximately 8:50 AM, power outage to DOZ 1, due to hit cable damaged overwritten by equipment in the area LP 11 development areas and causing power from Hydro 7B Cub trip, G / F indication. For a while the power to the LP 11 is in the OFF right from MVS 50 and UG electrical crew was repairing a damaged cable.

Gambar 3.2 DWS 30 Januari 2013

Plant #	PRI	Work Description
Hydro S/G	1	TIME 5.20 POWER TRIP FROM HYDRO S/G CUBICLE 7B.
		RESETED POWER CUBICLE 7B FAIL
		TURN OFF CUBICLE 6B TO LP #11
		TURN ONE BY ONE, MVS 50, CUBICLE 7B HYDRO OK
		TIME 06.20 DOZ SYSTEM NORMAL RUNNING

Gambar 3.3 DWS 28 Juli 2014

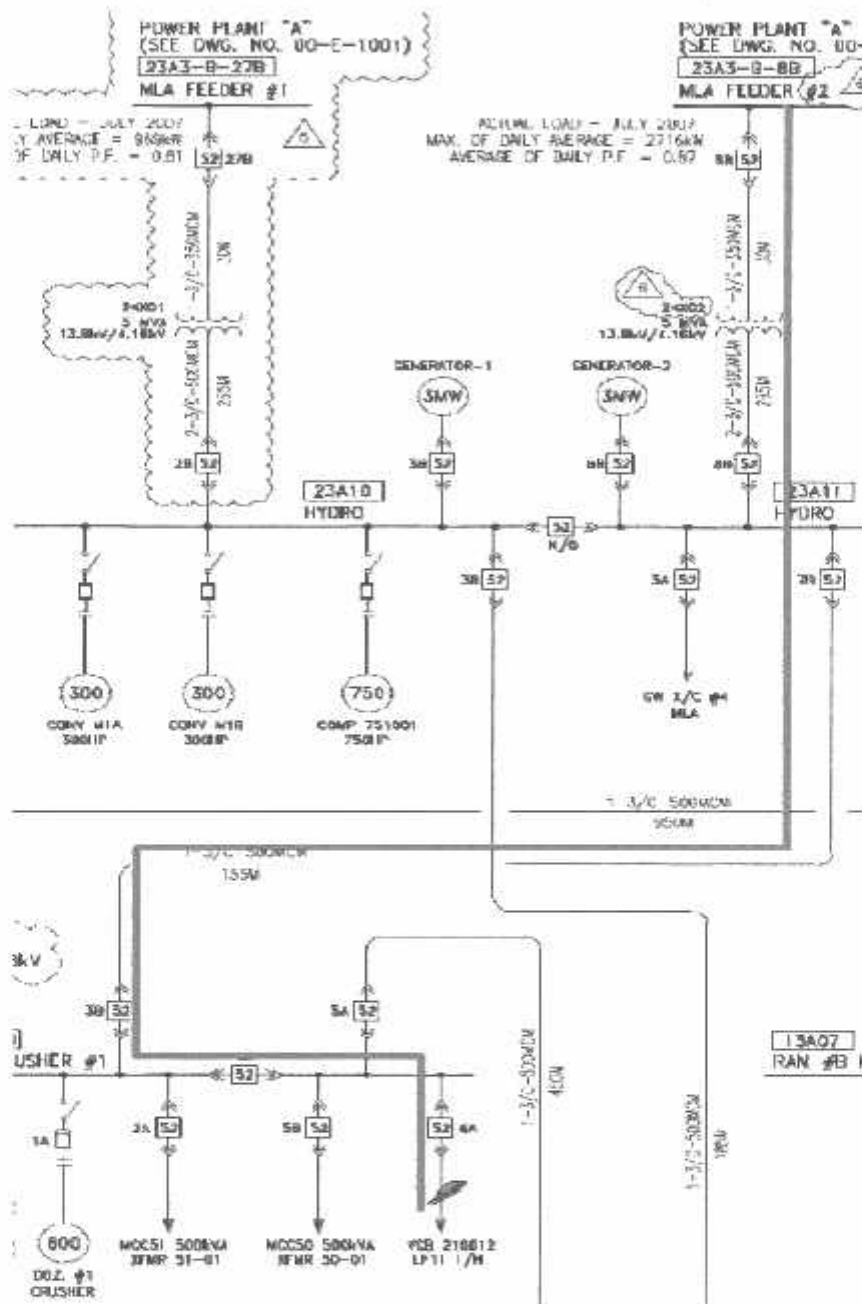
Plant #	PRI	Work Description
DOZ-1	1	RESET MULTILINE AFTER BLINKING POWER FROM PROBLEM POWER LP-11 DEVELOPMENT

Gambar 3.4 DWS 30 Januari 2015

Berdasarkan histori diatas maka penentuan lokasi gangguan pada *outgoing* breaker 6B, secara logika sederhana arus hubung singkat yang lokasinya lebih jauh dari breaker atau makin dekat dengan beban maka besar arus hubung singkat akan semakin rendah karena dipengaruhi oleh impedansi saluran.



Untuk memperjelas dalam mengetahui lokasi gangguan pada bab III gambar 3.1 *single line diagram*, maka alur gangguan ditunjukkan oleh gambar 3.5 berikut.



Gambar 3.5 Jalur gangguan<sup>[10]</sup>

### 3.7 Menjalankan Program Dengan Mensimulasikan Gangguan

Program *ETAP Powerstation* merupakan perangkat lunak yang berbasis pemodelan dan penganalisa secara grafis pada suatu sistem tenaga listrik.

Pemodelan sistem tenaga listrik menggunakan tampilan single line diagram, penyetelan rele, impedansi sumber, trafo, kabel dan beban terletak pada *edit mode*. Adapun untuk menganalisa penyetelan rele, mengetahui urutan waktu kerja rele pada sistem digunakan *relay coordination mode* pada *tab program power station*<sup>[6]</sup>.

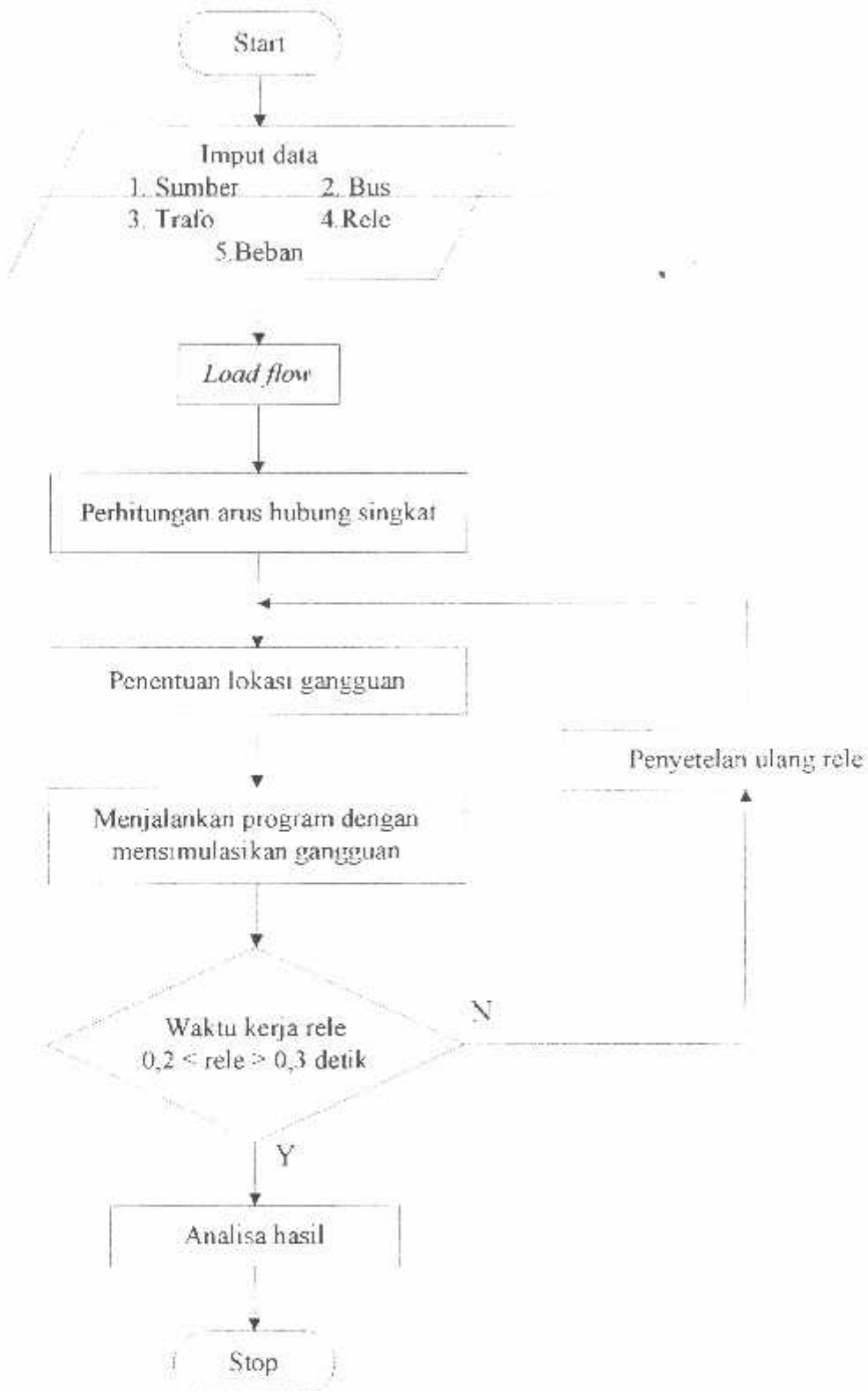
---

### **3.8 Metode Newton – Raphson**

Berdasarkan literatur, dari pengalaman perhitungan aliran daya metode Newton – Raphson dengan iterasi sedikit sudah mendekati hasil yang sesuai, sehingga nilai errornya juga sedikit jika dibandingkan dengan metode Jacobi atau Gauss – Seidel<sup>[2]</sup>.

---

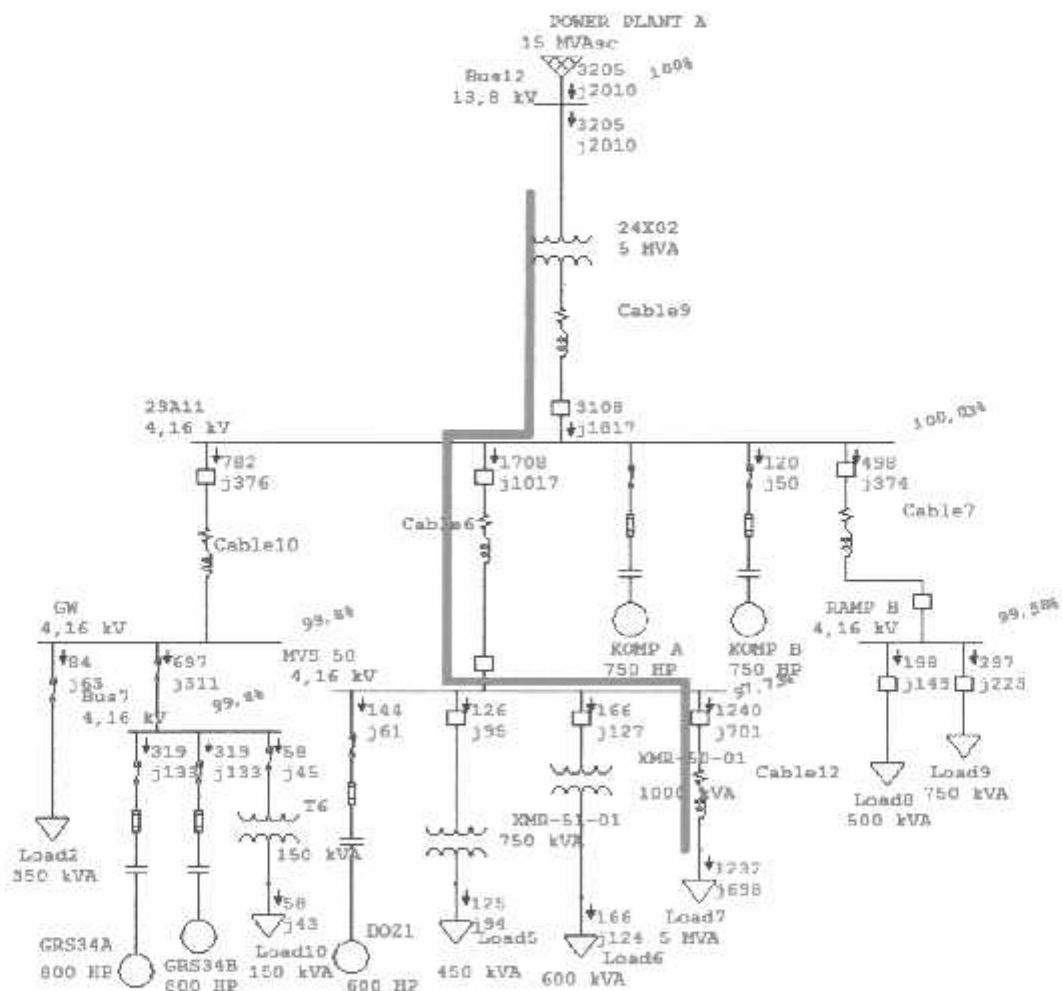
## 3.9 Flowchart



## BAB IV PEMBAHASAN DAN ANALISA

### 4.1 Pendahuluan

Dalam pembahasan dan analisa berikut ini diambil dari *single line diagram* MLA sistem, seperti diperlihatkan pada gambar 4.1 yang merupakan simulasi dari lokasi gangguan. Yang akan di bahas dalam bab ini adalah perhitungan impedansi dan arus hubung singkat sebagaimana data-data yang terdapat pada bab III. Berikutnya dengan membandingkan kondisi rele berdasarkan data di lapangan dengan kondisi setelah dilakukan penyetelan ulang pada lokasi gangguan yang sama dan mensimulasikan gangguan diatas lokasi gangguan pada jalur yang sama.



Gambar 4.1 Lokasi gangguan pada simulasi ETAP

Adapun gambar 4.1 adalah tampilan *load flow* untuk melihat performa jaringan pada switchgear 23A11 dan MVS 50, dan ternyata tegangan pada MVS 50 mengalami under voltage 97,7 % dari tegangan nominal.

## 4.2 Perhitungan Impedansi Dan Arus Hubung Singkat

### 4.2.1 Impedansi Sumber

Adapun untuk mendapatkan nilai impedansi sumber pada tegangan 13,8 kV dengan daya 15 MVA adalah dengan menggunakan rumus 2.8.

$$Z_s = \frac{kV^2}{MVA} = \frac{13,8^2}{15} = 12,696 \Omega$$

Karena tegangan yang digunakan adalah 4160 V pada bagian sekunder trafo, maka impedansi sumber juga dipindahkan ke tegangan 4160 V, dengan menggunakan rumus perbandingan transformator.

$$\frac{KV_1^2}{Z_1} = \frac{KV_2^2}{Z_2} \approx Z_2 = \frac{4,16^2}{13,8^2} \cdot 12,696$$

$$Z_2 = 1,1537 \Omega$$

### 4.2.2 Impedansi Trafo

Sedangkan untuk mendapatkan nilai impedansi trafo pada *name plate* tabel 3.1 adalah dengan menggunakan rumus 2.9 sebagai berikut.

$$Z_{trafo} = \frac{KV^2}{MVA} = \frac{4,16^2}{5} = 3,46112 \Omega$$

$$X_{trafo} = 5,55\% \times 3,46112 = 0,19209 \Omega$$

### 4.2.3 Impedansi Kabel

Berdasarkan rumus 2.10 dan tabel 3.7 maka impedansi kabel sebagai berikut:

- Impedansi urutan Positif dan negatif

$$Z_1 = Z_2 = \frac{\text{Impedansi kabel}}{1000 \text{ feet}} \times \text{panjang kabel}$$

$$= 0,0351/304,8 \text{ m} \times 2560 \text{ m} = 0,2948 \Omega$$

- Impedansi urutan nol

$$Z_0 = \frac{\text{Impedansi kabel}}{1000 \text{ feet}} \times \text{panjang kabel}$$

$$= 0,04544 / 304,8 \text{ m} \times 2560 \text{ m} = 0,38165 \Omega$$

Tabel 4.1 Impedansi kabel

NO KABEL	Impedansi Urutan Positif dan Negatif ( $\Omega$ )			Impedansi Urutan Nol ( $\Omega$ )		
	X	R	Z	X	R	Z
KABEL 1	0,2948	0,23853	0,37922	0,75179	0,38165	0,84312
KABEL 2	0,17849	0,14442	0,2296	0,45518	0,23107	0,51048
KABEL 3	0,02756	0,06693	0,07238	0,07028	0,10709	0,12809

#### 4.2.4 Impedansi Jaringan Ekuivalen

- Impedansi Urutan Positif Dan Negatif

$$\begin{aligned} Z_{1ekv} = Z_{2ekv} &= Z_s + Z_{trafo} + Z_l \\ &= j1,1537 + j0,19209 + (j0,2948 + 0,23853) \\ &= j1,64060 + 0,23853 \Omega \end{aligned}$$

- Impedansi Urutan Nol (0)

$$\begin{aligned} X_{trafo} &= 3 \times X_{trafo} \\ &= 3 \times 0,19209 = 0,57627 \Omega \\ 3 R_n &= 3 \times 3,46112 = 10,38336 \Omega \\ Z_{0ekv} &= Z_{trafo} + 3R_n - Z_{0kabel} \\ &= j0,57627 + 10,38336 + (j0,75179 + 0,38165) \\ &= j1,32806 + 10,76501 \Omega \end{aligned}$$

Tabel 4.2 Impedansi Ekuivalen jaringan

Lokasi	Impedansi Ekuivalen Urutan Positif dan Negatif ( $\Omega$ )			Impedansi Ekuivalen Urutan Nol ( $\Omega$ )		
	X	R	Z	X	R	Z
23A11						

	1,64060	0,23853	1,65785	1,32806	10,76501	10,84661
MVS 50	1,81909	0,38295	1,85896	1,78327	10,99607	11,13973
Terminal L/C's	1,84665	0,44988	1,90066	1,85355	11,10316	11,25681

#### 4.2 Perhitungan Arus Hubung Singkat

##### A. Gangguan Hubung Singkat Simetris

$$I_{hs3\phi} = \frac{V_{f-n}}{Z_{1ekv}} = \frac{4160/\sqrt{3}}{1,65785} = 1448,7 \text{ Amp}$$

##### B. Gangguan Hubung Singkat 2 Fasa

$$I_{hs2\phi} = \frac{V_f}{2Z_{1ekv}} = \frac{4160}{3,3157} = 1254,6 \text{ Amp}$$

##### C. Gangguan Hubung Singkat 2 Fasa Ke Tanah

$$\begin{aligned} I_{hs2\phi G} &= \frac{V_f}{Z_{1ekv} + (Z_{2ekv} \times Z_{0ekv}) / (Z_{2ekv} + Z_{0ekv})} \\ &= \frac{4160}{1,65785 + \frac{(1,65785 \times 10,84661)}{(1,65785 + 10,84661)}} \\ &= 1343,7 \text{ Amp} \end{aligned}$$

##### D. Gangguan Hubung Singkat 1 Fasa Ke Tanah

$$\begin{aligned} I_{hs1\phi G} &= \frac{3 V_{f-n}}{Z_{1ekv} + Z_{2ekv} + Z_{0ekv}} \\ &= \frac{3 \cdot 4160/\sqrt{3}}{2 \times 1,65785 + 10,84661} = 508,8 \text{ Amp.} \end{aligned}$$

Tabel 4.3 Arus hubung singkat

Jenis Gangguan	Lokasi Gangguan (kA)		
	23A11	MVS 50	Terminal L/C's

3 phasa	1,449	1,292	1,264
2 phasa	1,255	1,119	1,094
2 phasa-ground	1,344	1,205	1,180
1 phasa- ground	0,509	0,485	0,478

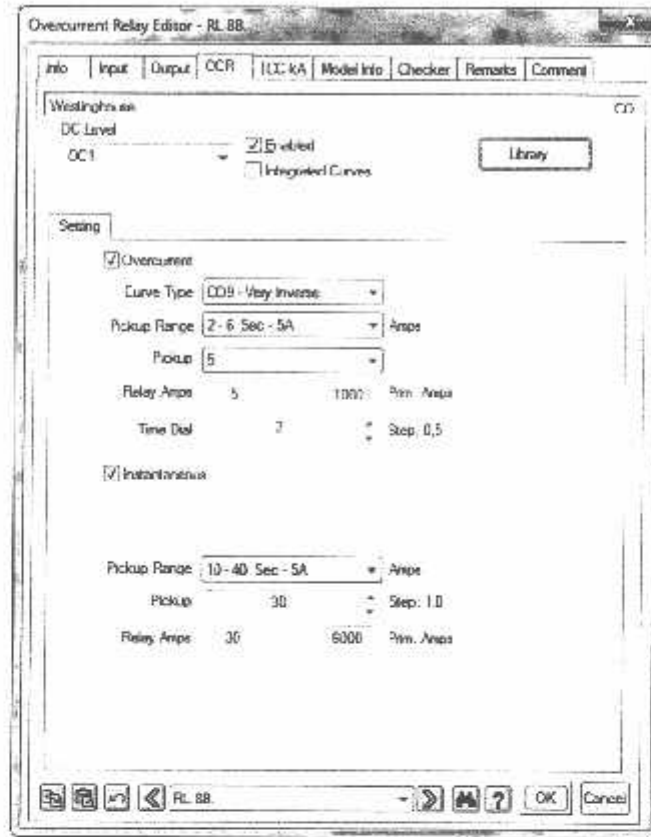
### 4.3 Grafik Kerja Rele Berdasarkan Data Di Lapangan.

Berdasarkan tabel 4.4 yang disesuaikan dengan data di lapangan maka penyetelan semua rele yang berhubungan langsung dengan gangguan ditunjukkan pada gambar 4.2 sampai dengan gambar 4.8.

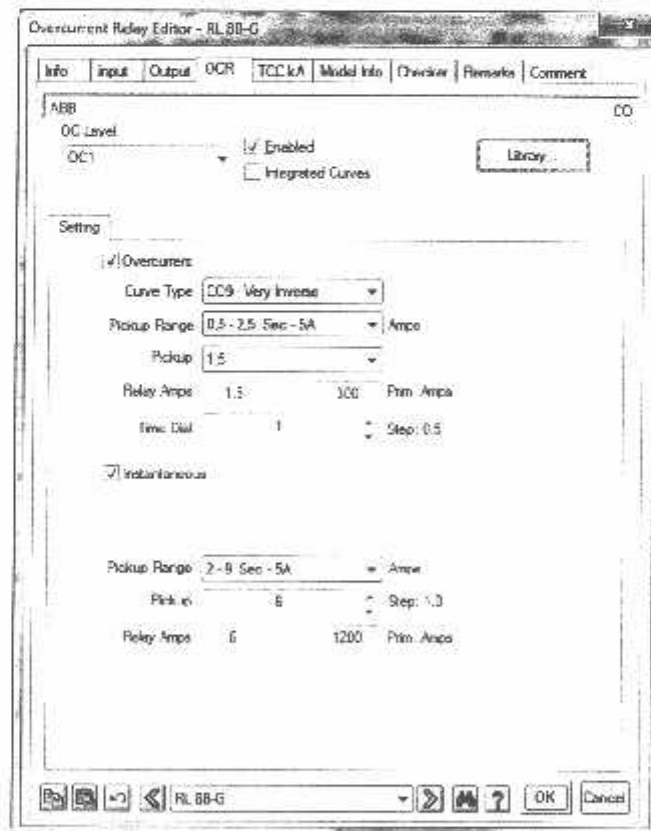
Tabel 4.4 Data rele di lapangan

BREAKER No.	CUBICLE	DEVICE NO	MANUFACTURER	TAP	TD	INS	CT
HYDRO 23A11	8B	67A	ABB	5	2	30A	1000/5
		67B	ABB	5	2	30A	1000/5
		67C	ABB	5	2	30A	1000/5
		67G	ABB	1,5	1	6A	
	7B	51A	Westinghouse	3	9	74A	600/5
		51B	Westinghouse	3	9	74A	600/5
		51C	Westinghouse	3	9	74A	600/5
		51G	ABB	1	2	5A	
MVS 50 DOZ	3B	Multilin SR 750		0.36	7,5	NA	1000/5
				0.36	7,5	NA	1000/5
				0.36	7,5	NA	1000/5
				NA	NA	NA	1000/5
	6B	Multilin SR 745		0.7	4	12	300/5
				0.7	4	12	300/5
				0.7	4	12	300/5
				0.18	2	0,2	50/5

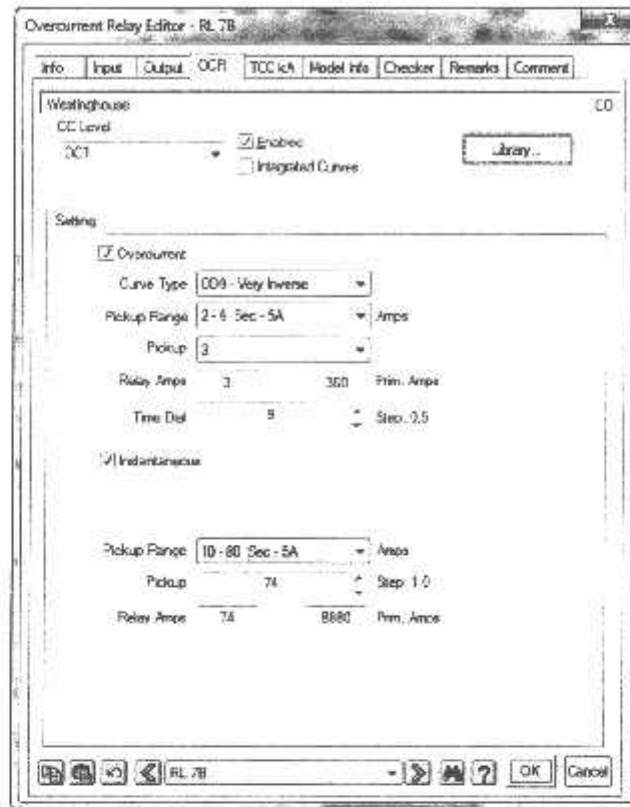




Gambar 4.2 Setting rele 8B ground



Gambar 4.3 Setting rele 8B fasa

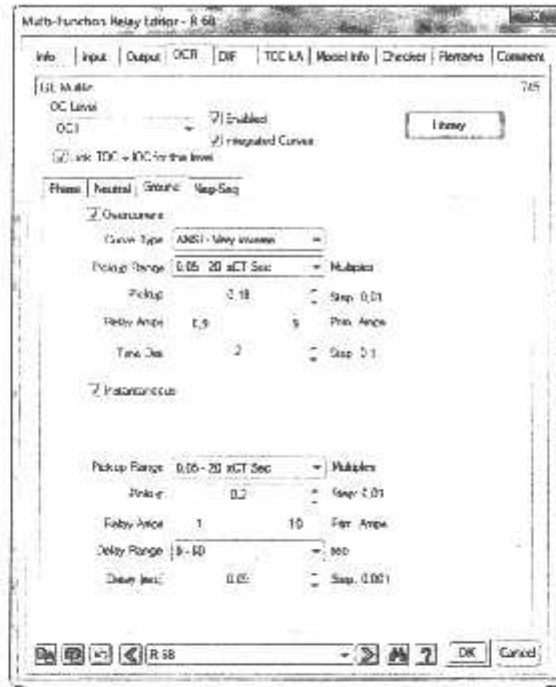


Gambar 4.4 Setting rele 7B fasa



Gambar 4.5 Setting rele 7B ground

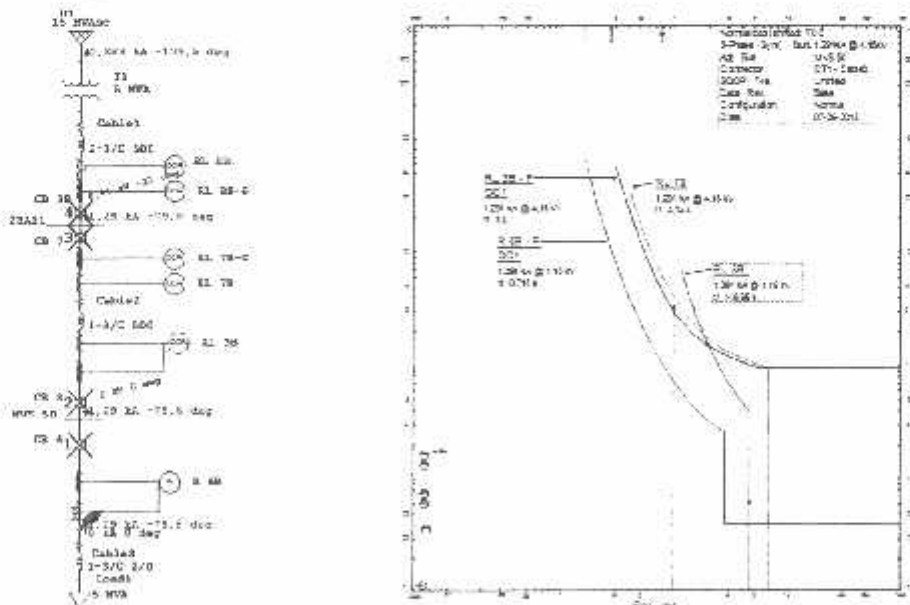




Gambar 4.8 Setting rele 6B ground

Berdasarkan penyetelan rele diatas, diketahui terjadi perbedaan antara laporan kerja harian dengan simulasi, dimana rele 6B tidak pernah bekerja sedangkan pada simulasi rele 6B bekerja. Sehingga dengan analisa tersebut direkomendasikan untuk mengganti rele 6B dengan yang baru. Setelah diganti maka semua jenis gangguan bisa disimulasikan, adapun hasil simulasi sebagai berikut.

### 4.3.1 Gangguan Simetris



Gambar 4.9 Urutan kerja rele  
Grafik 4.1 Gangguan simetris berdasarkan data lapangan

Gambar di atas menunjukkan bahwa pada gangguan simetris koordinasi antar rele utama (R 6B-P) dengan rele cadangan berjalan dengan baik yaitu bekerja dengan berurutan, namun interval waktu kerja rele tidak berjalan sesuai dengan keumumannya. Rele utama (R 6B) bekerja pada 0,716 detik, sedang rele berikutnya (RL 3B) bekerja setelah 3 detik.

Sequence-of-Operation Events - Output Report: Untitled

3-Phase (Symmetrical) fault on connector between CT1 & Cable3. Adjacent bus: MVS 50

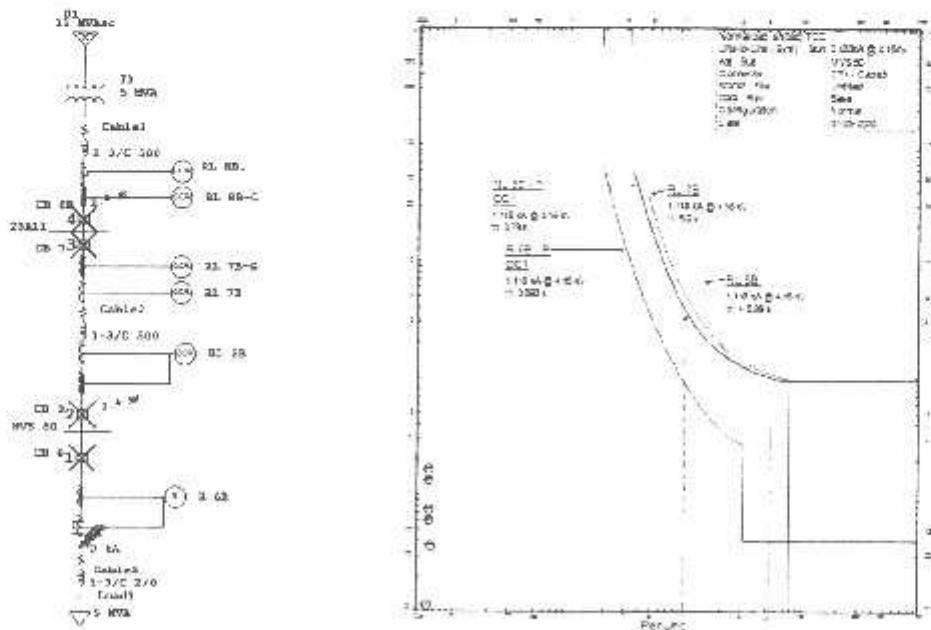
Data Rev.: Base      Config: Normal      Date: 06-29-2015

Time (ms)	ID	If (kA)	T1 (ms)	T2 (ms)	Condition
716	R 6B	1,291	716		Phase - OC1 - 51
799	CB 6B		83,3		Tripped by R 6B Phase - OC1 - 51
3000	RL 3B	1,291	3000		Phase - OC1 - 51
3034	CB 3B		83,3		Tripped by RL 3B Phase - OC1 - 51
4038	RL 7B	1,291	4038		OC1 - 51
4121	CB 7B		83,3		Tripped by RL 7B OC1 - 51
6986	RL 8B	1,291	> 6986		OC1 - 51
7069	CB 8B		83,3		Tripped by RL 8B. OC1 - 51

Gambar 4.10 Urutan waktu kerja rele dan CB

Gambar 4.10 menampilkan urutan waktu kerja rele mulai dari rele pengaman utama 6B 0,716 detik hingga rele cadangan termasuk didalamnya adalah waktu kerja trip CB 83,3 mili detik.

### 4.3.2 Gangguan Dua Fasa



Gambar 4.11 Urutan kerja rele  
Grafik 4.2 Gangguan dua fasa berdasarkan data

Sequence-of-Operation Events - Output Report: Untitled

Line-to-Line-to-Ground (Symmetrical) fault on connector between CT1 & Cable3. Adjacent bus: MVS 50

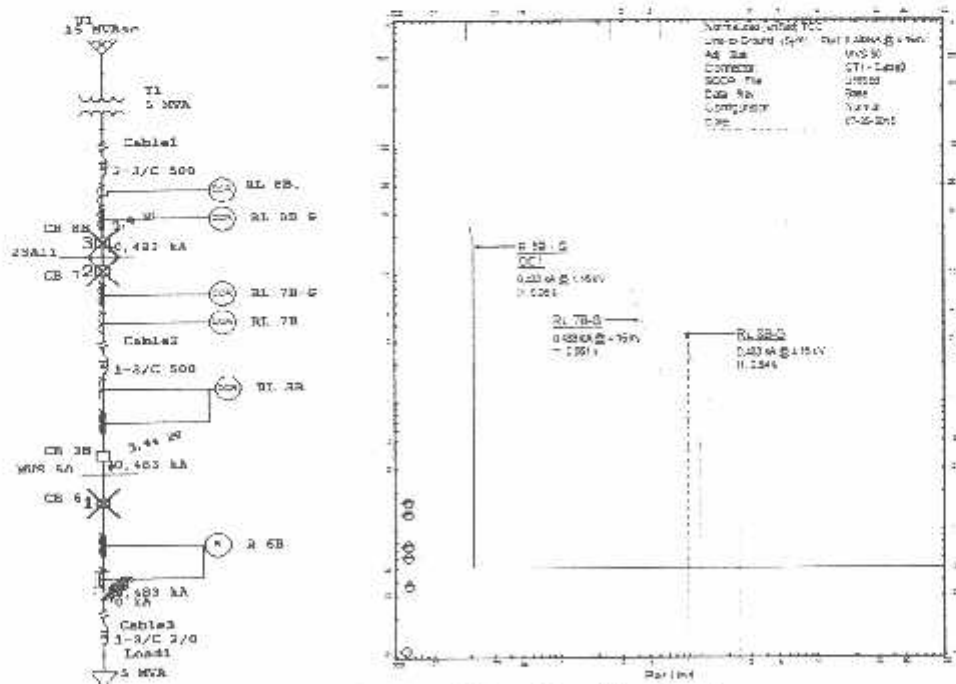
Data Rev.: Base      Config: Normal      Date: 07-26-2015

Time (ms)	ID	If (kA)	T1 (ms)	T2 (ms)	Condition
50,0	R 6B	0,297	50,0		Ground - OC1 - 50
133	CB 6B		83,3		Tripped by R 6B Ground - OC1 - 50
870	R 6B	1,136	870		Phase - OC1 - 51
953	CB 6B		83,3		Tripped by R 6B Phase - OC1 - 51
1669	RL 7B-G	0,297	1669		OC1 - 51
1752	CB 7B		83,3		Tripped by RL 7B-G OC1 - 51
3682	RL 3B	1,136	3682		Phase - OC1 - 51
3765	CB 3B		83,3		Tripped by RL 3B Phase - OC1 - 51
5055	RL 7B	1,136	5055		OC1 - 51
5139	CB 7B		83,3		Tripped by RL 7B OC1 - 51
6986	RL 8B.	1,136	> 6986		OC1 - 51
7069	CB 8B		83,3		Tripped by RL 8B. OC1 - 51

Gambar 4.15 Urutan kerja rele dan CB

Gambar 4.15 merupakan tampilan *travel time* dari semua rele baik fasa maupun *ground*, untuk rele 6B fasa dan *Ground* secara berurutan mengalami trip paling cepat kemudian diikuti rele berikutnya.

#### 4.3.4 Gangguan Satu Fasa Ke Tanah



Gambar 4.16 Koordinasi kerja rele  
Grafik 4.5 Gangguan satu fasa ke tanah

Gambar 4.15 dan grafik 4.5 masing-masing menunjukkan koordinasi selektifitas kerja rele dan grafik koordinasi kerja rele gangguan satu fasa ke tanah. Rele 3B tidak bekerja karena berdasarkan data dilapangan tidak diaktifkan, sedangkan grafik untuk rele 6B *seting instantanoius* terlalu rendah di bawah nilai arus gangguan.

Time (ms)	ID	If (kA)	T1 (ms)	T2 (ms)	Condition
50,0	R 6B	0,483	50,0		Ground - OC1 - 50
133	CB 6B		83,3		Tripped by R 6B Ground - OC1 - 50
661	RL 7B-G	0,483	661		OC1 - 51
744	CB 7B		83,3		Tripped by RL 7B-G OC1 - 51
2540	RL 8B-G	0,483	2540		OC1 - 51
2624	CB 8B		83,3		Tripped by RL 8B-G OC1 - 51
4887	R 6B	0,483	4887		Phase - OC1 - 51
4971	CB 6B		83,3		Tripped by R 6B Phase - OC1 - 51
30448	RL 3B	0,483	30448		Phase - OC1 - 51
30531	CB 3B		83,3		Tripped by RL 3B Phase - OC1 - 51
35139	RL 7B	0,483	> 35139		OC1 - 51
35222	CB 7B		83,3		Tripped by RL 7B OC1 - 51

Gambar 4.16 Urutan waktu kerja rele dan CB

Pada gambar 4.16 ditampilkan urutan waktu kerja rele, rele 6B mempunyai waktu kerja yang sangat cepat. Berdasarkan simulasi menunjukkan bahwa koordinasi rele berjalan dengan berurutan, namun demikian tidak berjalan secara ideal, karena rele 6B bekerja terlalu cepat (*instantaneous*) sedang karakteristik inversenya tidak berfungsi dan rele 3B tidak bekerja.

Tabel 4.5 Urutan Waktu kerja rele sesuai data lapangan

Jenis Gangguan	Waktu kerja rele (detik)							
	6B	6B-G	3B	3B-G	7B	7B-G	8B	8B-G
3 phasa	0,716		3,000		4,038		6,986	
2 phasa	0,893		3,789		5,204		6,986	
2 phasa - ground	0,870	0,040	3,682		5,055	1,669	6,986	
1 phasa - ground	4,887	0,040	30,447		35,139	0,661		2,540

Tabel 4.5 merupakan rangkuman waktu kerja rele untuk semua jenis gangguan setelah disimulasikan melalui program, dengan waktu trip CB 83,3 mili detik dari waktu kerja rele.

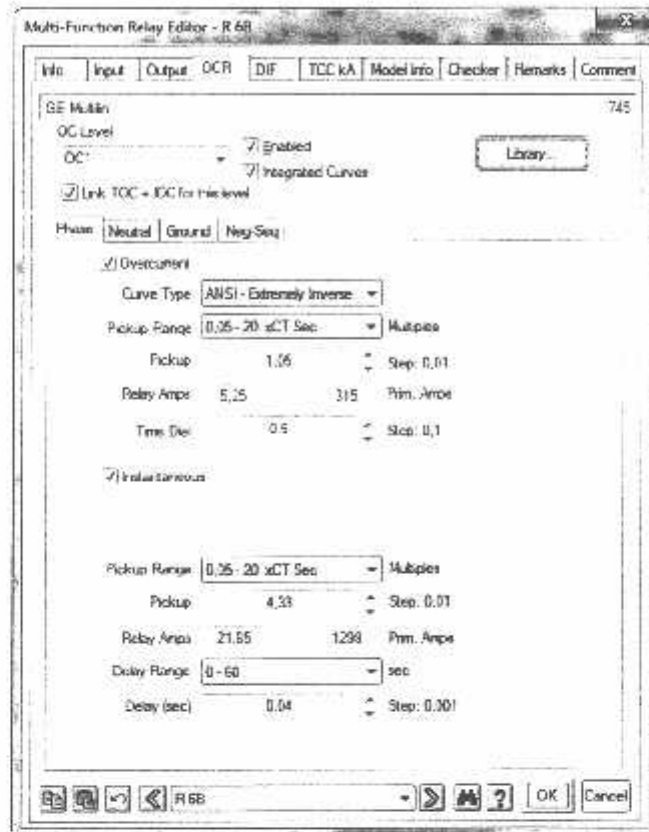
#### 4.4 Waktu Kerja Rele Berdasarkan Program Etap

Setelah dilakukannya simulasi pada program ETAP yang berasal dari data di lapangan dan sudah mendapatkan hasil, maka selanjutnya mensimulasikan hasil penyetelan yang baru, tabel 4.6 adalah parameter yang diperoleh dari hasil simulasi yang baru dari program, adapun *setting* rele yang langsung berkaitan dengan lokasi gangguan ditunjukkan pada gambar 4.17 sampai dengan gambar 4.25, sedangkan untuk hasil simulasi untuk semua jenis gangguan ditunjukkan pada gambar selanjutnya.

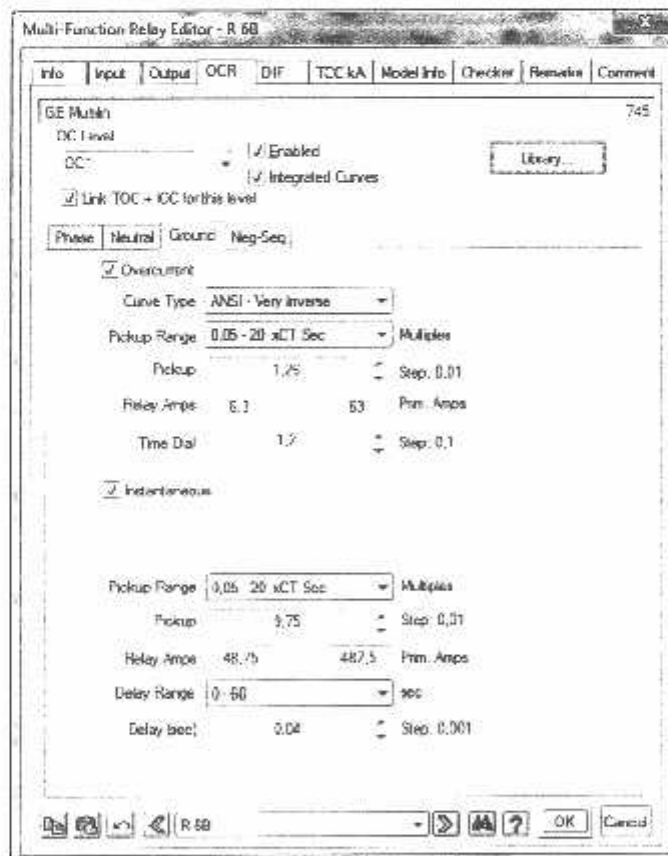
Tabel 4.6 Karakteristik rele pada program

Rele	Karakteristik Inverse				Instantaneous	
	Tipe	TD	Pickup	I set primer	Pickup	Iset Primer
6B	Extremely	0,6	1,05	315 A	4,33	1299 A
6B Ground	Very	1,2	1,26	63 A	9,75	487,5 A
3B	Very	1,3	0,36	360 A	1,31	1310 A
3B Ground	Extremely	1,4	0,12	120 A	0,5	500 A
7B	Very	1,5	3,5	420 A	13	1560 A
7B Ground	Very	2,5	1	120 A	5	600
8B	Very	1	3	600 A	8	1600 A
8B Ground	Very	1,5	1	200 A	3	600 A

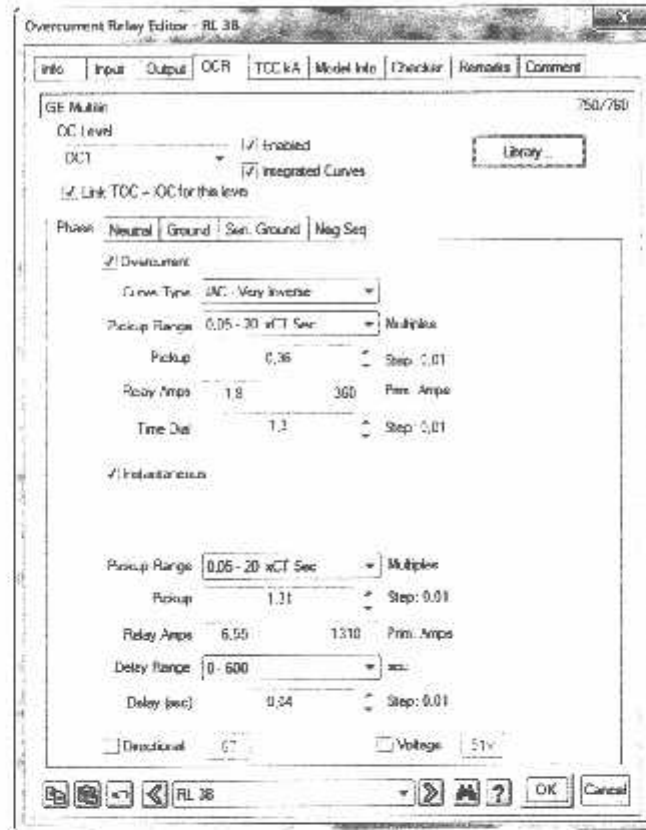




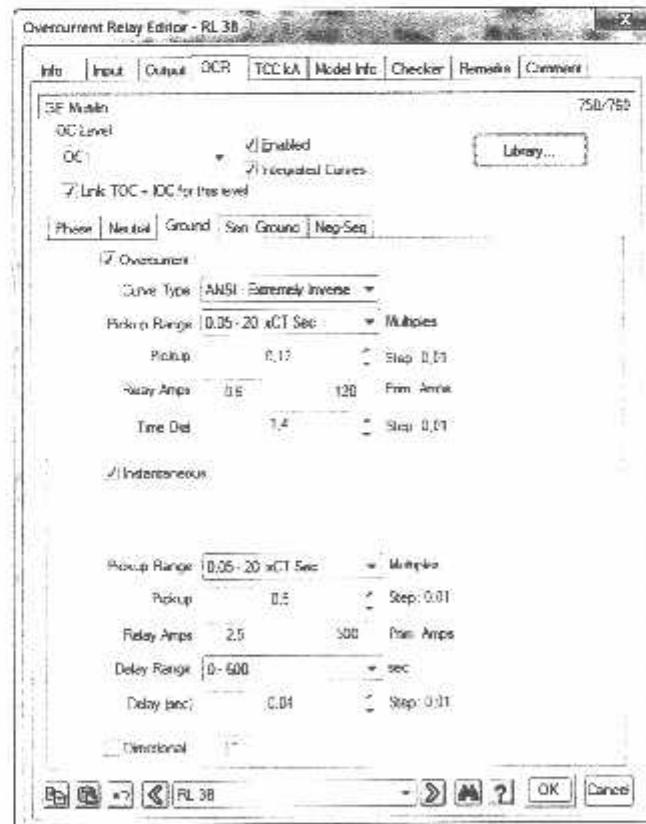
Gambar 4.17 Setting rele 6B fasa



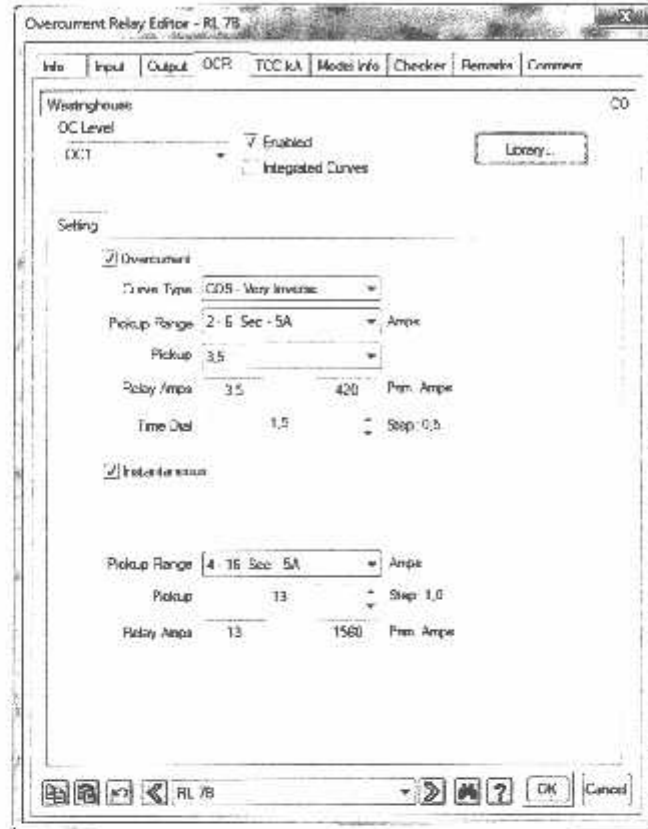
Gambar 4.18 Setting rele 6B ground



Gambar 4.19 Setting rele 3B fasa



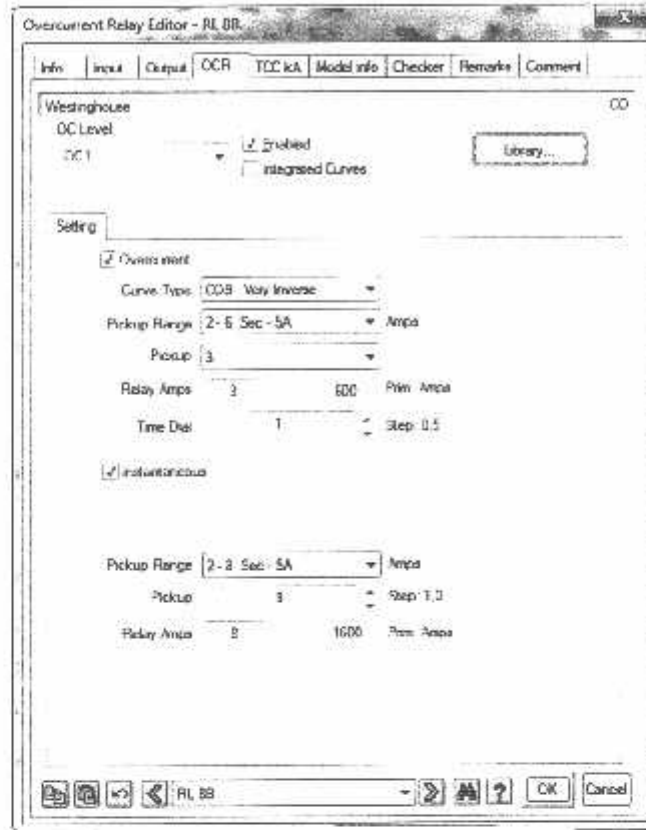
Gambar 4.20 Setting rele 3B ground



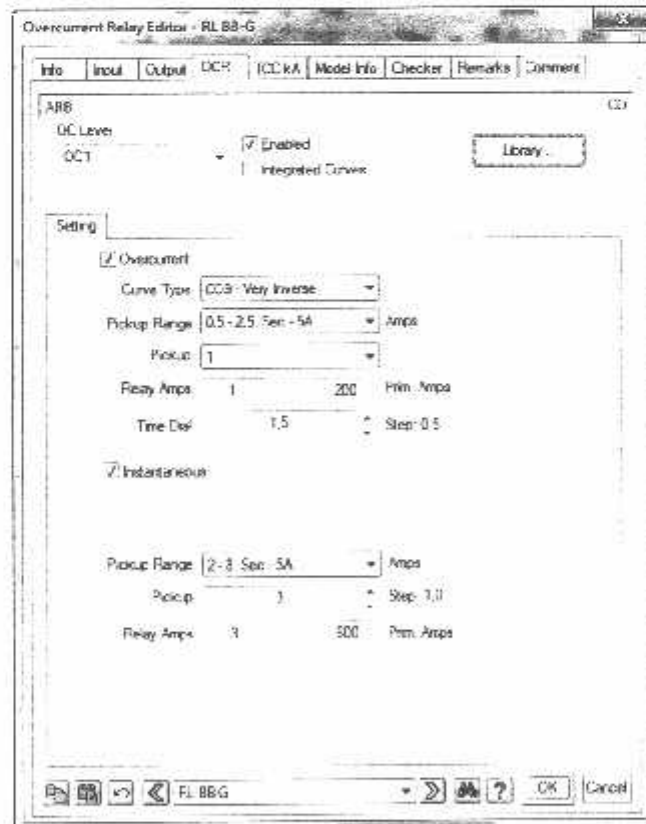
Gambar 4.21 Setting rele 7B fasa



Gambar 4.22 Setting rele 7B ground

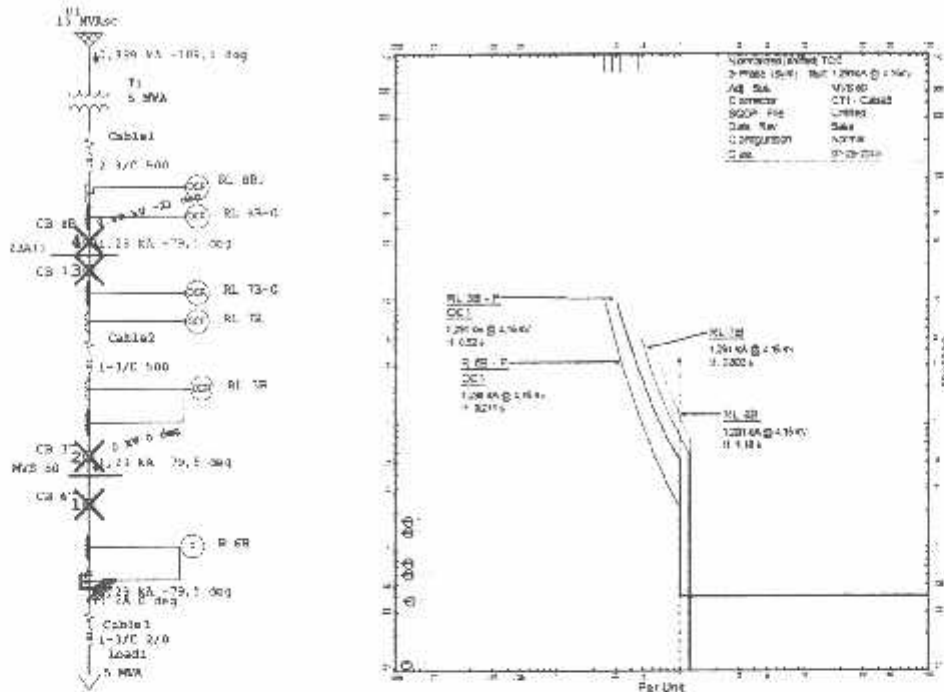


Gambar 4.23 Setting rele 8B fasa



Gambar 4.24 Setting rele 8B ground

#### 4.4.1 Gangguan Tiga Fasa



Gambar 4.25 Urutan waktu kerja rele  
Grafik 4.6 gangguan simetris hasil penyetelan yang baru

Gambar 4.25 adalah selektifitas koordinasi rele, urutan kerjanya sama dengan data di lapangan begitu juga untuk koordinasi rele pada grafik 4.6 mempunyai kesamaan dengan data di lapangan. Yang membedakan adalah waktu kerja rele 6B dan 3B, karakteristik instantanoius diaktifkan, dan semua waktu kerja rele di sesuaikan dengan keumumannya.

Sequence of Operation Events - Output Report: Untitled

3-Phase (Symmetrical) fault on connector between CT1 & Cable3, Adjacent bus: MVS 50

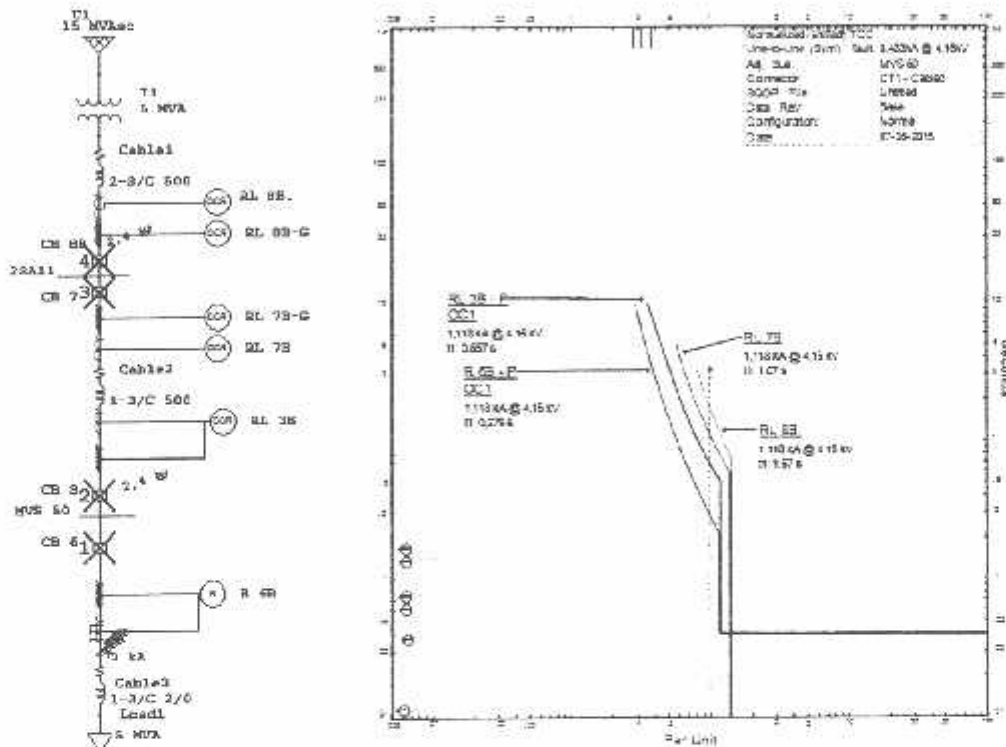
Data Rev.: Base      Config: Normal      Date: 06-29-2015

Time (ms)	By	If (kA)	T1 (ms)	T2 (ms)	Condition
211	R 6B	1,291	211		Phase - OC1 - 51
294	CB 6B		83,3		Tripped by R 6B Phase - OC1 - 51
520	RL 3B	1,291	520		Phase - OC1 - 51
603	CB 3B		83,3		Tripped by RL 3B Phase - OC1 - 51
903	RL 7B	1,291	903		OC1 - 51
987	CB 7B		83,1		Tripped by RL 7B OC1 - 51
1178	RL 8B	1,291	1178		OC1 - 51
1251	CB 8B		83,3		Tripped by RL 8B, OC1 - 51

Gambar 4.26 Urutan kerja rele dan CB

Gambar 4.26 adalah tampilan urutan waktu kerja rele pada gangguan simetris dengan waktu kerja rele utama adalah 0,211 detik diikuti rele berikut dengan interval waktu sekitar 0,3 detik.

#### 4.4.2 Gangguan Dua Fasa



Gambar 4.27 Urutan waktu kerja rele  
Grafik 4.7 Gangguan dua fasa hasil penyetelan yang baru

Gambar 4.27 merupakan tampilan dari urutan dan grafik 4.7 adalah kerja rele pada gangguan antar fasa setelah dilakukan penyetelan ulang, jika dibandingkan dengan data di lapangan waktu kerja rele utama berbeda jauh sekitar 0,6 detik sedangkan interval waktu kerja rele sesuai data sekitar 3 detik, setelah di set ulang interval rele sekitar 0,4 detik.

Sequence-of-Operation Events - Output Report: Untitled

Line-to-Line (Symmetrical) fault on connector between CT1 & Cable3. Adjacent bus: MVS 50

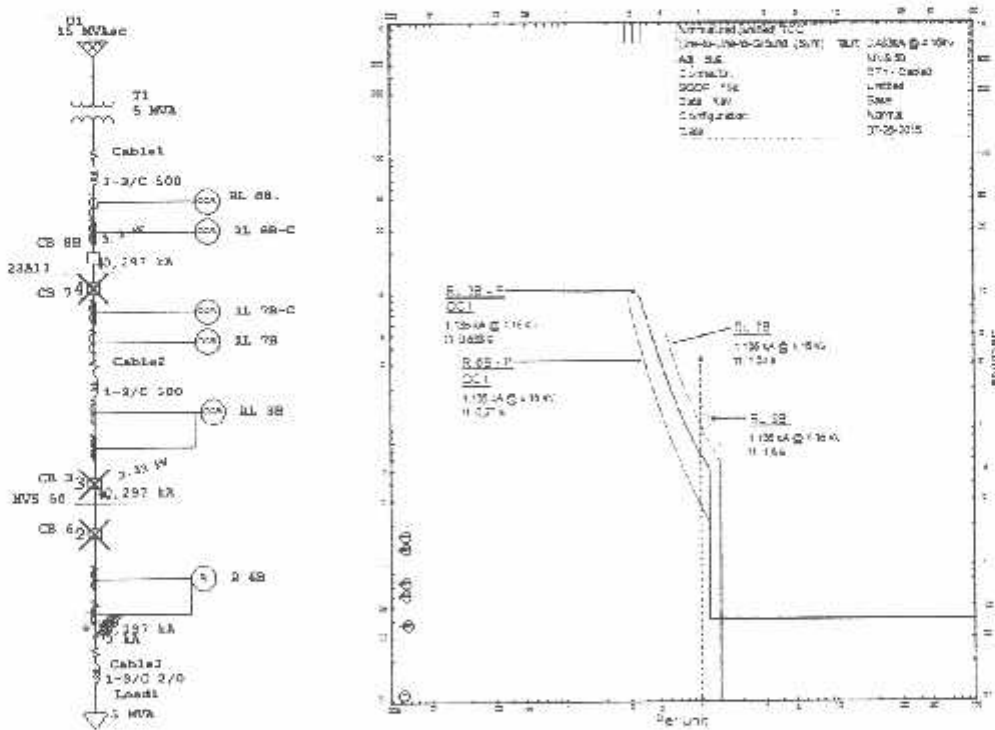
Data Rev.: Base      Config: Normal      Date: 07-26-2015

Time (ms)	ID	If (kA)	T1 (ms)	T2 (ms)	Condition
279	R 6B	1,118	279		Phase - OC1 - 51
362	CB 6B		83,3		Tripped by R 6B Phase - OC1 - 51
657	RL 3B	1,118	657		Phase - OC1 - 51
740	CB 3B		83,3		Tripped by RL 3B Phase - OC1 - 51
1074	RL 7B	1,118	1074		OC1 - 51
1157	CB 7B		83,3		Tripped by RL 7B OC1 - 51
1670	RL 8B	1,118	1670		OC1 - 51
1753	CB 8B		83,3		Tripped by RL 8B. OC1 - 51

Gambar 4.28 Urutan kerja rele dan CB

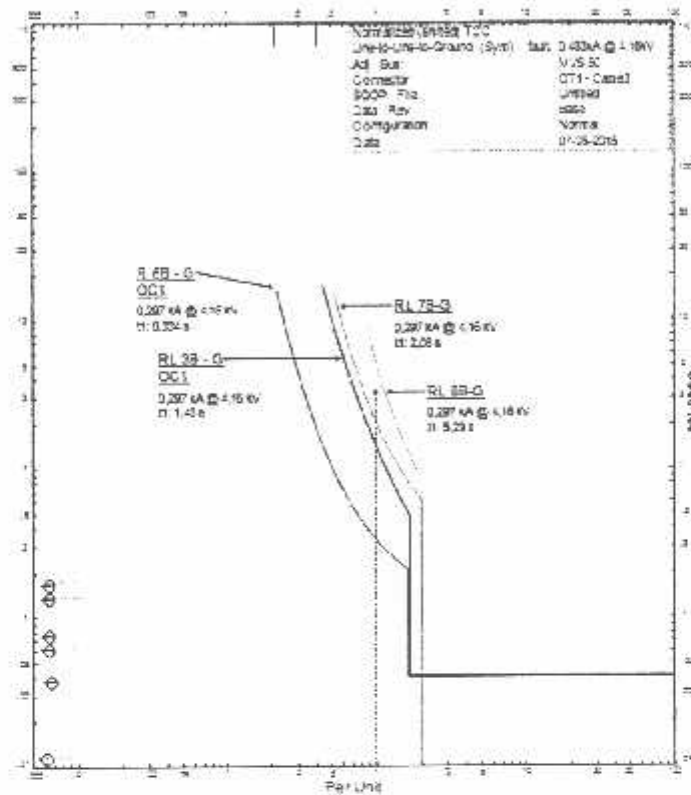
Gambar 4.28 adalah urutan waktu kerja rele pada gangguan antar fasa setelah disetel ulang, sehingga intervalnya menjadi lebih pendek sekitar 0,4 detik.

#### 4.4.3 Gangguan Dua Fasa Ke Tanah



Gambar 4.29 Urutan waktu kerja rele  
Grafik 4.8 Gangguan dua fasa ke tanah penyetelan yang baru

Gambar 4.29 dan garfik 4.8 berturut – turut menampilkan urutan waktu kerja rele pada gangguan antar fasa ke tanah, sebagaimana dua jenis gangguan sebelumnya, waktu kerja rele sudah sesuai dengan keumumannya. Jika dibandingkan dengan urutan waktu kerja rele dilapangan jelas berbeda, karena rele 3B hanya parameter fasa saja yang diaktifkan.



Gambar 4.9 Grafik *ground relay* gangguan dua fasa ke tanah

Untuk grafik 4.9 menunjukkan grafik *ground relay* pada gangguan antar fasa ke tanah, pada grafik tersebut rele 3B *ground* bekerja pada urutan kedua setelah rele 6B *ground*.



Sequence-of-Operation Events - Output Report: Untitled

Line-to-Line-to-Ground (Symmetrical) fault on connector between CT1 & Cable3. Adjacent bus: MVS 50

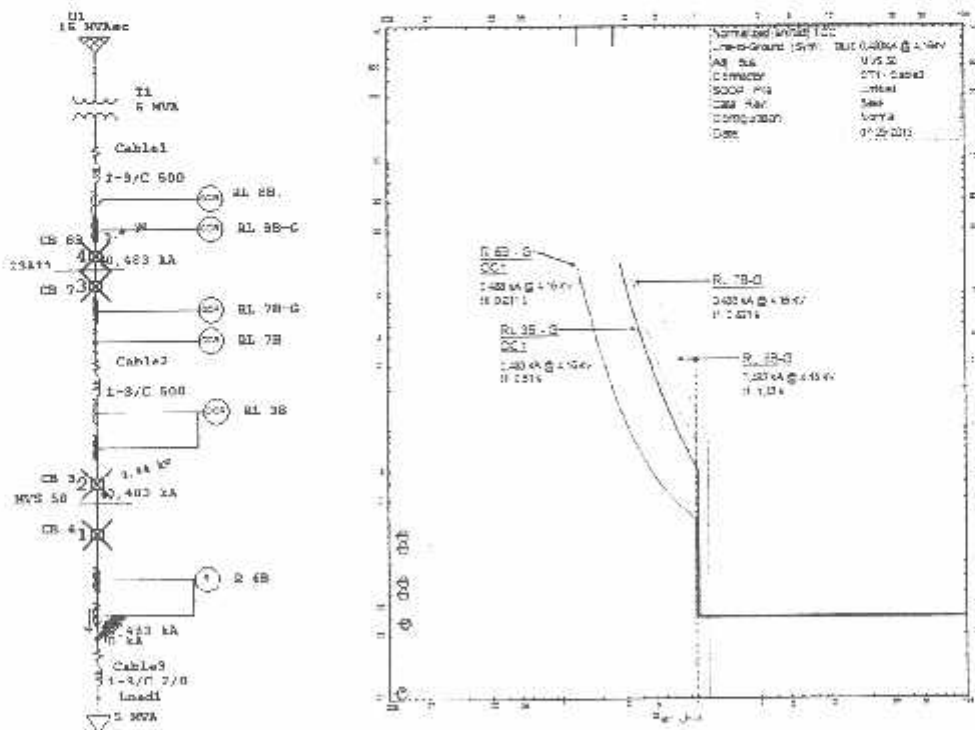
Data Rev.: Base      Config: Normal      Date: 06-29-2015

Time (ms)	ID	If (kA)	T1 (ms)	T2 (ms)	Condition
270	R 6B	1,136	270		Phase - OC1 - 51
334	R 6B	0,297	334		Ground - OC1 - 51
353	CB 6B		83,3		Tripped by R 6B Phase - OC1 - 51
417	CB 6B		83,3		Tripped by R 6B Ground - OC1 - 51
638	RL 3B	1,136	638		Phase - OC1 - 51
722	CB 3B		83,3		Tripped by RL 3B Phase - OC1 - 51
1038	RL 7B	1,136	1038		OC1 - 51
1122	CB 7B		83,3		Tripped by RL 7B OC1 - 51
1433	RL 3B	0,297	1433		Ground - OC1 - 51
1516	CB 3B		83,3		Tripped by RL 3B Ground - OC1 - 51
1605	RL 8B	1,136	1605		OC1 - 51
1688	CB 8B		83,3		Tripped by RL 8B, OC1 - 51
2083	RL 7B-G	0,297	2083		OC1 - 51
2166	CB 7B		83,3		Tripped by RL 7B-G OC1 - 51
5285	RL 8B-G	0,297	5285		OC1 - 51
5369	CB 8B		83,3		Tripped by RL 8B-G OC1 - 51

Gambar 4.30 Urutan kerja rele dan CB

Gambar 4.30 adalah urutan waktu kerja yang baru untuk semua rele pada jenis gangguan hubung singkat antar fasa ke tanah.

#### 4.4.4 Gangguan Satu Fasa Ke Tanah



Gambar 4.31 Urutan waktu kerja rele  
Grafik 4.10 gangguan satu fasa ke tanah penyetelan yang baru

Gambar 4.31 adalah urutan waktu kerja rele yang baru setelah dilakukan penyetelan ulang untuk semua rele termasuk *ground* pada rele 3B, sehingga rele bekerja secara berurutan tidak terjadi lompatan seperti sebelum dilakukan penyetelan. Grafik 4.10 merupakan karakteristik *instantaneous* pada rele 6B diset sedikit diatas arus gangguan sehingga kurva *inverse time* bisa bekerja terbukti pada 0,211 detik *ground* rele 6B bekerja.

Time (ms)	ID	If (kA)	T1 (ms)	T2 (ms)	Condition
211	R 6B	0,483	211		Ground - OC1 - 51
294	CB 6B		83,3		Tripped by R 6B Ground - OC1 - 51
510	RL 3B	0,483	510		Ground - OC1 - 51
593	CB 3B		83,3		Tripped by RL 3B Ground - OC1 - 51
821	RL 7B-G	0,483	821		OC1 - 51
905	CB 7B		83,3		Tripped by RL 7B-G OC1 - 51
1335	RL 8B-G	0,483	1335		OC1 - 51
1418	CB 8B		83,3		Tripped by RL 8B-G OC1 - 51
2245	R 6B	0,483	2245		Phase - OC1 - 51
2328	CB 6B		83,3		Tripped by R 6B Phase - OC1 - 51
5084	RL 7B	0,483	> 5084		OC1 - 51
5168	CB 7B		83,3		Tripped by RL 7B OC1 - 51
5278	RL 3B	0,483	5278		Phase - OC1 - 51
5361	CB 3B		83,3		Tripped by RL 3B Phase - OC1 - 51

Gambar 4.32 Urutan kerja rele dan CB

Adapun urutan waktu kerja rele dengan jenis gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah di tunjukkan oleh gambar 4.32, mulai dari rele 6B hingga 8B secara berurutan dan tidak terjadi lompatan perubahan waktu yang jauh setiap relenya

Tabel 4.7 adalah rangkuman waktu kerja semua rele dari semua jenis gangguan, hal ini bisa dibandingkan dengan waktu kerja rele sebelum disetel ulang, ketika rele bekerja berdasarkan data lapangan terjadi lompatan waktu yang jauh antar rele disamping itu selektifitas rele juga terganggu karena adalah parameter yang tidak diaktifkan dan penyetelan rele yang terlalu rendah.

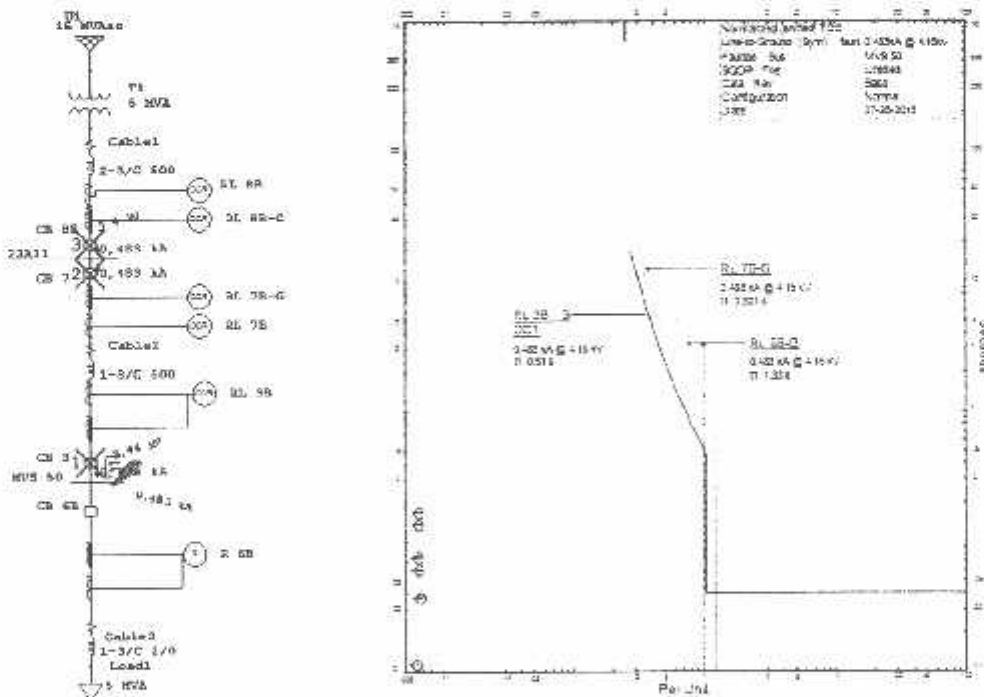
Tabel 4.7 Waktu kerja rele baru berdasarkan program

Jenis Gangguan	Waktu kerja rele (detik)							
	6B	6B-G	3B	3B-G	7B	7B-G	8B	8B-G
3 phasa	0,211		0,520		0,803		1,178	
2 phasa	0,279		0,657		1,074		1,678	
2 phasa - ground	0,270	0,334	0,638	1,433	1,038	2,083	1,605	5,285
1 phasa - ground	1,468	0,211	5,278	0,510	10,380	0,821		1,335

#### 4.5 Simulasi Gangguan Diatas Lokasi Yang Telah Ditentukan

Untuk membuktikan bahwa penyetelan rele sudah sesuai dengan persyaratan proteksi terutama selektifitasnya, maka dalam hal ini di lakukan simulasi gangguan pada jalur yang sama tetapi simulasi gangguan berada diatas lokasi yang terjadi.

##### 4.5.1 Simulasi Gangguan Pada Bus MVS 50



Gambar 4.33 Urutan waktu kerja rele  
Grafik 4.11 gangguan satu fasa ke tanah

Kedua gambar diatas merupakan simulasi gangguan satu fasa ke tanah dengan lokasi gangguan pada bus MVS 50. Dengan penyetelan yang baru untuk

semua rele maka selektifitas koordinasi rele menjadi lebih baik, mulai dari CB 3B, CB 7B dan CB 8B mengalami trip secara berurutan, sehingga rele penganman utama dan cadangan berfungsi sebagaimana mestinya. Sedangkan gambar 4.34 secara lebih detail menunjukkan urutan waktu kerja rele dan CB.

Sequence-of-Operation Events - Output Report: Untitled

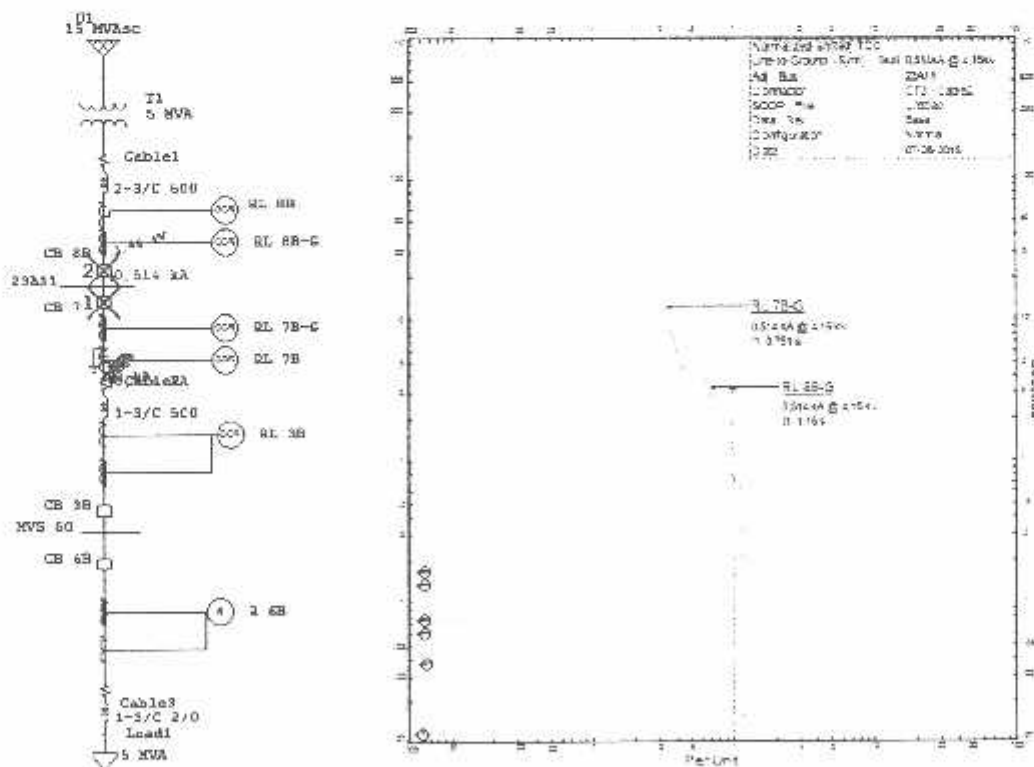
Line-to-Ground (Symmetrical) fault on bus: MVS 50

Data Rev.: Base      Config: Normal      Date: 07-27-2015

Time (ms)	ID	If (kA)	T1 (ms)	T2 (ms)	Condition
510	RL 3B	0,483	510		Ground - OC1 - 51
593	CB 3B		83,3		Tripped by RL 3B Ground - OC1 - 51
821	RL 7B-G	0,483	821		OC1 - 51
905	CB 7B		83,3		Tripped by RL 7B-G OC1 - 51
1335	RL 8B-G	0,483	1335		OC1 - 51
1418	CB 8B		83,3		Tripped by RL 8B-G OC1 - 51
5084	RL 7B	0,483	> 5084		OC1 - 51
5168	CB 7B		83,3		Tripped by RL 7B OC1 - 51
5278	RL 3B	0,483	5278		Phase - OC1 - 51
5361	CB 3B		83,3		Tripped by RL 3B Phase - OC1 - 51

Gambar 4.34 Urutan waktu kerja rele

#### 4.5.2 Simulasi Gangguan Pada Kabel Saluran



Gambar 4.35 Urutan waktu kerja rele  
Grafik 4.12 Gangguan satu fasa ke tanah

Sebagaimana lokasi gangguan pada bus MVS 50, simulasi gangguan satu fasa ke tanah pada kabel penghubung antara *switchgear* 23A11 dengan MVS 50 pun terjadi selektifitas koordinasi rele yang baik, dimana rele pengaman utama dan rele pengaman cadangan bekerja pada jangkauannya. Hal ini di buktikan pada gambar 4.35 dan grafik 4.12, untuk lebih jelasnya baik waktu kerja rele maupun waktu trip BC, ditunjukkan oleh gambar 4.36

Line-to-Ground (Symmetrical) fault on connector between CT3 & Cable2. Adjacent bus: 23A11

Data Rev.: Base      Config: Normal      Date: 07-27-2015

Time (ms)	ID	If (kA)	T1 (ms)	T2 (ms)	Condition
751	RL 7B-G	0,514	751		OC1 - 51
835	CB 7B		83,3		Tripped by RL 7B-G OC1 - 51
1159	RL 8B-G	0,514	1159		OC1 - 51
1242	CB 8B		83,3		Tripped by RL 8B-G OC1 - 51
5084	RL 7B	0,514	> 5084		OC1 - 51
5168	CB 7B		83,3		Tripped by RL 7B OC1 - 51

Gambar 4.36 Urutan waktu kerja rele dan CB

## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1 KESIMPULAN

Setelah dilakukan perhitungan dan analisa dengan bantuan simulasi perangkat lunak *ETAP Powerstation*, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut .

1. Pada simulasi *load flow* sistem, hanya bus MVS 50 mengalami drop tegangan, yaitu 97,7 % dari tegangan normal 4,16 kV.
2. Perbedaan yang terjadi pada rele 6B antara laporan kerja harian dengan simulasi berdasarkan data di lapangan, menunjukkan bahwa rele 6B mengalami kerusakan, berdasarkan simulasi tersebut direkomendasikan untuk mengganti rele 6B dengan yang baru.
3. Ketika semua rele dalam kondisi normal, kembali disimulasikan data di lapangan untuk semua jenis gangguan, diketahui semua rele baik rele 6B, 3B, 7B dan 8B bekerja tidak pada kondisi penyetelan yang ideal (tabel 4.5).
4. Setelah dilakukan penyetelan ulang rele maka urutan kerja rele untuk semua jenis gangguan menjadi terkoordinasi secara ideal, mulai dari rele 6B, 3B, 7B hingga 8B menjadi berurutan, rata- rata 0,2 detik pada rele pengaman utama dan terjadi penambahan 0,3 detik hingga 0,5 detik untuk rele pengaman cadangan (tabel 4.7).

#### 5.2 SARAN

Berdasarkan simulasi dan analisa, maka penulis menyarankan :

1. Perlu adanya perbaikan sistem terutama yang berhubungan langsung dengan bus MVS 50, berdasarkan simulasi aliran daya performa sistem tidak normal secara keseluruhan.
2. Rele 6B perlu diganti dengan yang baru karena tidak bekerja pada saat terjadi gangguan.
3. Penyetelan ulang rele proteksi perlu dilakukan untuk menjaga selektifitas, sehingga rele bekerja secara ideal.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] J. Ducan Glover, Mulukulta S. Sarma, Thomas J. Overbye. 1976. "*Power System Analysis and Design*", Fifth Edision : USA
- [2] Stevenson, W.D. 1983. "*Analisa Sistem Tenaga Listrik*".4<sup>th</sup> edition. Jakarta: Erlangga.
- [3] Doug Duran, P. E. 2010. "*Overcurrent Protection & Coordination for Industrial Applications*". Houston : IEEE continuing Education Seminar
- [4] Surya, H. 2013,"*Tipe Relay Dan Setting*". Bogor 27 Mei – 1 Juni. Bandung. PT Mairodi Mandiri Sejahtera Training, Consulting & Engineering Service
- [5] Warmi, Yusreni. 2014. "*Komponen-Komponen Utama Sistem tenaga Listrik*":ITP  
[http://dokumen.itp.ac.id/dokumen/SAP\\_Bahan\\_Ajar\\_TELektro/Buku%20AST\(Yusreni%20Warmi\).pdf](http://dokumen.itp.ac.id/dokumen/SAP_Bahan_Ajar_TELektro/Buku%20AST(Yusreni%20Warmi).pdf)
- [6] Etap. 2009. "*Getting Stared – ETAP Protective Device Coordination (Star)*". Operation Technology, Inc.
- [7] Siregar, D. 2012. "*Jaringan Distribusi Tenaga Listrik*". Medan : USU  
<http://repository.usu.ac.id/bitstream/123456789/31916/3/Chapter%20II.pdf>
- [8] Huda, Miftahul. "*Sistem Transmisi Dan Distribusi*". PT. PLN (Persero) Pusat Pendidikan Dan Pelatihan.  
[http://duniaelektroku.blogspot.com/p/blog-page\\_7.html](http://duniaelektroku.blogspot.com/p/blog-page_7.html)
- [9] Wama201141. 2011. "*Proteksi Sistem Tenaga Lisirik*"  
<https://wama201141.files.wordpress.com/2011/07/proteksi-sistem-tenaga-listrik.ppt>
- [10] Data dari PT Freeport Indonesia (*Single Line, Data saluran, Data Rele*).
- [11] Sirait, Edi Ibrahim. 2009. "*Perhitungan Setting Rele Arus Lebih (RAL) Dan Koordinasi Dengan Pemutup Balik Otomatis (PBO) Sisitem 20 KV Studi Kasus Di Penyulang Romeo Alpha Satu (RAL) Ranting Labuhan Bilik PT PLN (Persero) Cabang Rantau Prapat*". STT-PLN: Jakarta



### PERSETUJUAN PERBAIKAN SKRIPSI

Dari hasil ujian skripsi Jurusan Teknik Elektro jenjang Strata Satu (S-1) yang diselenggarakan pada :

Hari : Selasa  
Tanggal : 18 Agustus 2015

Telah dilakukan perbaikan skripsi oleh :

1. Nama : Deni Susilo
2. NIM : 1312902
3. Jurusan : Teknik Elektro
4. Konsentrasi : Teknik Energi Listrik
5. Judul skripsi : **EVALUASI KOORDINASI RELE ARUS LEBIH TERHADAP GANGGUAN HUBUNG SINGKAT DI CUBICLE 23A11 UNTUK MENGURANGI KERUGIAN PRODUKSI DI PT FREEPORT INDONESIA**

No	Materi Perbaikan	Paraf
1	Daftar pustaka diberi nomor urut, kajian pustaka, kalimat dan gambar yang diambil dari daftar pustakadiberi indeks sesuai dengan nomor urut.	
2	Analisis dengan rekomendasi mengganti rele baru, kemudian disimulasikan, selanjutnya di setting ulang dan didapatkan rekomendasi baru dengan setting yang ideal.	
3	Kesimpulan dan saran disempurnakan, disesuaikan dengan urutan pembahasan.	
4	Data lapangan dan simulasi perlu disesuaikan.	
5	Batasan masalah, pembahasan dan kesimpulan perlu disesuaikan dengan saran penguji.	
6	Pada saran dimasukkan mengenai dasar analisa berdasarkan load flow.	

Dosen Penguji I

Ir. Yusuf Ismail Nahkoda, MT  
NIP. Y. 1018800189

Dosen Penguji II

Ir. M. Abdul Hamid, MT  
NIP. Y. 1018800188

Dosen Pembimbing I

Prof. Dr. Eng. Ir. Abraham Lomi, MSEE  
NIP. Y. 101500108

Dosen Pembimbing II

Bambang Prio H, ST, MT  
NIP. Y. 1028400082





INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL  
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI  
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO 8-1  
Jl. Raya Karanglo, Km. 2 MALANG

### Formulir Perbaikan Ujian Skripsi

alam Pelaksanaan Ujian Skripsi Jenjang Strata 1 Jurusan Teknik Elektro Konsentrasi T.Energi Listrik/  
Elektronika, /T. Komputer, / T.Telekomunikasi, Maka Perlu Adanya Perbaikan Skripsi Untuk Mahasiswa:

Nama : Denni Sufilo  
IM : ~~10301~~ 13 12902  
Perbaikan Meliputi :

Data lapangan dan simulasi perlu disesuaikan  
Batasan Masalah; pembahasan & kesimpulan  
perlu disesuaikan dg. saran penguis  
Pd saran dimasukkan mengenai  
dasar analisis berdasarkan load flow.

Malang,.....18-08-.....2015

(.....)



FORMULIR BIMBINGAN SKRIPSI

NIM : 1312902

NAMA : Deni Susilo

MASA BIMBINGAN : 1 SEMESTER

JUDUL : EVALUASI KOORDINASI RELE ARUS LEBIH TERHADAP  
GANGGUAN HUBUNG SINGKAT DI CUBICLE 23A11  
UNTUK MENGURANGI KERUGIAN PRODUKSI DI PT  
FREEPORT INDONESIA

TANGGAL	URAIAN	PARAF
03-Jun-15	Konsultasi perhitungan arus gangguan dan menyesuaikan dengan program	
04-Jul-15	Semua perhitungan sebelum analisa dimasukkan pada bab IV	
04-Jul-15	Membuat paper maksimal 7 halaman untuk laporan seminar hasil	
28-Jul-15	Konsultasi usulan seminar hasil untuk menambahkan gambar seting rele pada etap di bab IV	
28-Jul-15	Konsultasi usulan seminar hasil untuk menambahkan gambar pada bab IV percobaan gangguan di lain lokasi	
03-Agust-15	Perbaiki latar belakang, tanpa disertai penelitian pendukung cukup penjelasan awal dari permasalahan yang akan diteliti	

Dosen Pembimbing I

Prof. Dr. Eng. Ir. Abraham Lomi, MSEE  
NIP. Y. 101500108



FORMULIR BIMBINGAN SKRIPSI

NIM : 1312902

NAMA : Deni Susilo

MASA BIMBINGAN : 1 SEMESTER

JUDUL : EVALUASI KOORDINASI RELE ARUS LEBIH TERHADAP  
GANGGUAN HUBUNG SINGKAT DI CUBICLE 23A11  
UNTUK MENGURANGI KERUGIAN PRODUKSI DI PT  
FREEPORT INDONESIA




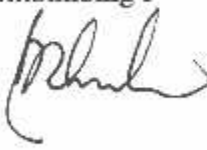

TANGGAL	URAIAN	PARAF
25-Mei-15	Perbaiki latar belakang, tujuan dan kontribusi dari penyusunan skripsi untuk perusahaan dan para pembaca	b
25-Mei-15	Pada bab II perlu disertakan literatur agar tidak terjadi plagiat	b
03-Jun-15	Bab I latar belakang ditambahkan beberapa penelitian dari literatur yang ada sebagai data pendukung	b
03-Jun-15	Masukkan gambar dari hasil simulasi baik dari data lapangan maupun setelah di setting ulang	b
01-Jul-15	Tambahkan penjelasan dari setiap gambar yang ditampilkan pada bab IV untuk memudahkan setiap pembaca	b
28-Jul-15	Konsultasi usulan seminar hasil untuk menambahkan gambar pada bab IV seting rele pada etap	b
28-Jul-15	Konsultasi usulan seminar hasil untuk menambahkan gambar pada bab IV percobaan gangguan di lain lokasi	b

Dosen Pembimbing II

**Bambang priyo H, ST, MT**  
NIP. Y 1028400082




**BERITA ACARA SEMINAR PROPOSAL SKRIPSI  
PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO S-1  
Konsentrasi : Teknik Energi Listrik**

1.	Nim	: 1312902	
2.	Nama	: DENI SUSILO	
3.	Konsentrasi Jurusan	: Teknik Energi Listrik	
4.	Jadwal Pelaksanaan:	Waktu	Tempat
	10 April 2015	09:00	III.1.4
5.	Judul proposal yang diseminarkan Mahasiswa	EVALUASI KOORDINASI RELE ARUS LEBIH TERHADAP GANGGUAN ANTAR FASA DAN GANGGUAN TANAH DI PT FREEPORT INDONESIA	
6.	Perubahan judul yang diusulkan oleh Kelompok Dosen Keahlian	<i>ada sedikit perubahan. Evaluasi utk mendapath agar konsultasi dosen pembimbing.</i>	
7.	Catatan :		
8.	Catatan :		
	Persetujuan judul Skripsi		
	Disetujui, Dosen Keahlian I	Disetujui, Dosen Keahlian II	Disetujui, Dosen Keahlian III
	 (.....)	(.....)	 (.....)
Mengetahui, Ketua Program Studi Teknik Elektro S-1	Disetujui, Calon Dosen Pembimbing ybs		
	Pembimbing I	Pembimbing II	
 <b>M. Ibrahim Ashari, ST, MT</b> NIP. P 1030100358	 (.....)	 (.....)	

**BERITA ACARA RAPAT PERSETUJUAN JUDUL/PROPOSAL SKRIPSI**  
**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO S-1**  
**Konsentrasi : Teknik Energi Listrik**

Tanggal :

1.	NIM	131290.2
2.	Nama	Deni Susilo
3.	Judul yang diajukan	Pesronk, gak ada judul
4.	Disetujui/Ditolak *	
5.	Catatan:	
6.	Pembimbing yang diusulkan	
	1.	Prof Abraham Loni, MSE. ✓
	2.	Ir Bambang Priow H, MT. ✓
Menyetujui		
1. Koordinator Dosen Kelompok Keahlian		
		
2. Dosen Kelompok Keahlian (Terlampir)		

\* : Coret yang tidak perlu



PERKUMPULAN PENGELOLA PENDIDIKAN UMUM DAN TEKNOLOGI NASIONAL MALANG  
**INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG**

FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN  
PROGRAM PASCASARJANA MAGISTER TEKNIK

PT. BNI (PERSERO) MALANG  
BANK NIAGA MALANG

Kampus I : Jl. Bendungan Sigura-gura No. 2 Telp. (0341) 551431 (Hunting), Fax. (0341) 553015 Malang 65145  
Kampus II : Jl. Raya Karanglo, Km 2 Telp. (0341) 417636 Fax. (0341) 417634 Malang

Nomor Surat : ITN-153/EL-FTI/2015 Tanggal, 28 Mei 2015  
Lampiran : -  
Perihal : BIMBINGAN SKRIPSI  
Kepada : Yth. Bapak/Ibu Prof. Dr. Eng. Ir. Abraham Lomi, MSEE  
Dosen Teknik Elektro S-1  
ITN MALANG

Dengan Hormat

Sesuai dengan permohonan dan persetujuan dalam Proposal Skripsi untuk mahasiswa :

Nama : DENI SUSILO  
Nim : 1312902  
Fakultas : Teknologi Industri  
Program Studi : Teknik Elektro S-1  
Konsentrasi : Teknik Energi Listrik

Maka dengan ini pembimbingan tersebut kami serahkan sepenuhnya kepada Saudara/i selama masa waktu :

**“Semester Genap Tahun Akademik Genap 2014 - 2015”**

Demikian agar maklum dan atas perhatian serta bantuannya kami sampaikan terima kasih.



Mengetahui  
Studi Teknik Elektro S-1

*M. Ibrahim Ashari*  
M. Ibrahim Ashari, ST, MT  
NIP.P. 1030100358



## PERMOHONAN PERSETUJUAN SKRIPSI

Yang Bertanda Tangan Dibawah Ini:

Nama : Deri Susilo  
 N I M : 1312902  
 Semester : 4 (empat)  
 Fakultas : Teknologi Industri  
 Jurusan : Teknik Elektro S-I  
 Konsentrasi : TEKNIK ENERGI LISTRIK  
TEKNIK ELEKTRONIKA  
TEKNIK KOMPUTER DAN INFORMATIKA  
TEKNIK KOMPUTER  
TEKNIK TELEKOMUNIKASI

Alamat : Puncak Pertama Sengkaling Blok II/3 Semanding Sumbarsakar, Dau

Dengan ini kami mengajukan permohonan untuk mendapatkan persetujuan untuk membuat SKRIPSI Tingkat Sarjana. Untuk melengkapi permohonan tersenut, bersama ini kami lampirkan persyaratan-persyaratan yang harus dipenuhi.

Adapun persyaratan- persyaratan pengambilan SKRIPSI adalah sebagai berikut:

- |  |         |
|--|---------|
| 1. Telah melaksanakan semua praktikum sesuai dengan konsentrasinya             | (.....) |
| 2. Telah lulus dan menyerahkan laporan Praktek Kerja                           | (.....) |
| 3. Telah lulus seluruh mata kuliah keahlian (MKB)sesuai konsentrasinya         | (.....) |
| 4. Telah menempuh matakuliah > 134 sks dengan IPK > 2 dan tidak ada nilai E    | (.....) |
| 5. Telah mengikuti secara aktif kegiatan seminar Skripsi yang diadakan Jurusan | (.....) |
| 6. Memenuhi persyaratan administrasi   | (.....) |

Demikian permohonan ini untuk mendapatkan penyelesaian lebih lanjut dan atas perhatiannya kami ucapkan terima kasih.

Telah diteliti kebenarannya data tersebut diatas  
 Recording Teknik Elektro S-I

*[Handwritten Signature]*  
 (.....)

Malang, 23 Februari.....2015

Pemohon  
*[Handwritten Signature]*  
 (.....Deri Susilo.....)

Disetujui  
 Ketua Prodi Teknik Elektro S-I

*[Handwritten Signature]*  
M. Ibrahim Ashari, ST, MT  
 NIP. P. 1030100358

Mengetahui  
 Dosen Wali

*[Handwritten Signature]*  
 (M. Ibrahim Ashari, ST)

Catatan:  
 Bagi mahasiswa yang telah memenuhi persyaratan mengambil SKRIPSI agar membuat proposal dan mendapat persetujuan dari Ketua Prodi T. elektro S-I

- 1 IPK 5.3/14.6 = 3.52
- 2 G.R.P. dan S.H. Prodi T. Elektro S-I
- 3 .....

ket: Berdasarkan data di lapangan

ETAP

Page: 1

versi:

7.0.0

Date: 07-29-2015

case:

SN: 12345678

user:

Revision: Base

name: OCRD021

Study Case: SM

Config: Normal

### Electrical Transient Analyzer Program

#### Short Circuit Analysis

IEC 60909 Standard

3-Phase, L-G, L-L, & LLG Fault Currents

Minimum Short-Circuit Current

	<u>Swing</u>	<u>V-Control</u>	<u>Load</u>	<u>Total</u>
Number of Buses:	1	0	4	5

	<u>NEMBL</u>	<u>NEMBA</u>	<u>Reaction</u>	<u>Line Cable</u>	<u>Impedance</u>	<u>Tie PD</u>	<u>Total</u>
Number of Branches:	1	0	0	3	0	0	4

	<u>Synchronous Generator</u>	<u>Powr Grid</u>	<u>Synchronous Motor</u>	<u>Induction Machines</u>	<u>Lumped Load</u>	<u>Total</u>
Number of Machines:	0	1	0	0	0	1

System Frequency: 60 Hz

Unit System: English

Project Filename: OCRD021

Output Filename: C:\ETAP 700\CRD021\Untitled.SQ2



ETAP

7.0.0

Page: 8  
 Date: 07-29-2015  
 SN: 12345678  
 Revision: Base  
 Config: Normal

Study Case: SM

OCRDOZI

**SHORT-CIRCUIT REPORT**

bus: MVS 80  
 I<sub>FA</sub>: 4.160  
 X Factor: 1.00 (Maximum LF)

Contribution		3-Phase Fault		Line-To-Ground Fault					Positive & Zero Sequence Impedances: Looking into "From Bus"			
From Bus (1)	To Bus (2)	% V From Bus	kA Symm rms	% Voltage at From Bus			kA Symm rms		% Impedance on 100 MVA base			
				Va	Vb	Vc	Ia	I0	R1	X1	R0	X0
0	Total	0.00	1.291	0.00	143.20	141.00	0.483	0.483	1.96E+002	1.06E+003	7.67E+002	6.43E+003
	MVS 80	11.82	1.291	6.35	141.76	139.30	0.483	0.483	1.96E+002	1.06E+003	7.67E+002	6.43E+003
	MVS 50	0.00	0.000	0.00	143.20	141.00	0.000	0.000				
	TRAIT	21.92	1.291	11.78	140.34	137.85	0.483	0.483	1.19E+002	9.18E+002	6.61E+002	4.16E+003

	3-Phase	L-G	L-L	L-L-G
Minimum Current (kA rms)	1.291	0.483	1.115	1.115
Max (kA rms) Method 1	0.889	1.080	2.902	2.543
Current (kA rms) Symm	0.483	0.483	1.118	1.118
Max Current (kA rms)	1.291	0.483	1.118	1.118

is a fault current contribution from a three-winding transformer  
 is a zero sequence fault current contribution (I0) from a grounded Delta-Y transformer

ETAP

7.0.0

Page: 11  
 Date: 07-29-2015  
 SN: 12345678  
 Section: Base  
 Config: Normal

Study Case: SM

QCR10021

Sequence of Operation Event Summary Report

Asymmetrical 3-Phase Fault between CT1 and Cable1, AC circuit to MVS 50

Time (ms)	ID	I (kA)	T1 (ms)	T2 (ms)	Condition
716	R 6B	1.291	716		Phase - OC1 - 51
799	CB 6B		83.3		Tripped by R 6B Phase - OC1 - 51
3000	RL 3B	1.291	3000		Phase - OC1 - 51
3084	CB 3B		83.3		Tripped by RL 3B Phase - OC1 - 51
4038	RL 7B	1.291	4038		OC1 - 51
4121	CB 7B		83.3		Tripped by RL 7B OC1 - 51
6986	RL 8B	1.291	6986		OC1 - 51
7069	CB 8B		83.3		Tripped by RL 8B OC1 - 51

## ETAP

7.0.0

Page: 11  
 Date: 07-28-2015  
 SN: 12345678  
 Revision: Base  
 Config: Normal

Stick Case: SM

D:\PROJECT\

Sequence-of-Operation Event Summary Report

Asymmetrical Line-to-Ground Fault between C11 and Cables Adjacent to SCVS 5B.

Time (ms)	ID	I (kA)	T1 (ms)	T2 (ms)	Condition
853	R 6B	1.118	893		Phase - OC1 - 51
976	CB 6B		83,3		Tripped by R 6B Phase - OC1 - 51
3789	RL 5B	1.118	3789		Phase - OC1 - 51
3872	CB 5B		83,3		Tripped by RL 5B Phase - OC1 - 51
5204	RL 7B	1.118	5204		OC1 - 51
5267	CB 7B		83,3		Tripped by RL 7B OC1 - 51
6986	RL 8D	1.118	>6986		OC1 - 51
7069	CB 8D		83,3		Tripped by RL 8B OC1 - 51

ETAP

7.1.1

Page 11  
 Date 07-25-2015  
 SN 12345678  
 Revision Base  
 Config Normal

Study Case SM

OCRI021

Sequence-of-Operation Event Summary Report

Electrical Line to-Ground Fault between OC1 and Cable3 Adjacent to MVE 50.

Time (ms)	ID	I <sub>f</sub> (kA)	T1 (ms)	T2 (ms)	Condition
40.0	R 6D	0.297	40.0		Ground - OC1 - 50
123	CB 6B		83.3		Tripped by R 6D Ground - OC1 - 50
870	R 6D	1.136	870		Phase - OC1 - 51
953	CB 6E		83.3		Tripped by R 6B Phase - OC1 - 51
1669	RL 7B-G	0.297	1669		OC1 - 51
1752	CB 7B		83.3		Tripped by RL 7B-G OC1 - 51
3682	RL 7B	1.136	3682		Phase - OC1 - 51
3765	CB 7E		83.3		Tripped by RL 7B Phase - OC1 - 51
5055	RL 7B	1.136	5055		OC1 - 51
5138	CB 7E		83.3		Tripped by RL 7B OC1 - 51
5905	RL 8B	1.136	5905		OC1 - 51
7869	CB 8E		83.3		Tripped by RL 8B OC1 - 51

ETAP

1.0.0

Page 11  
 Date 07/29/2015  
 SS 113448678  
 Revision Base  
 Drawing Normal

Study Case: SKI

OCRD021

Sequence-of-Operation Event Summary Report

Line-to-Ground Fault between C11 and Cable2 Adjacent to MVS 20

Time (ms)	ID	I (kA)	T1 (ms)	T2 (ms)	Condition
10.0	R 6B	0.483	40.0		Ground - OC1 - 50
173	CB 6B		83.3		Tapped by R 6B Ground - OC1 - 50
661	RL 7B-G	0.483	661		OC1 - 51
744	CB 7B		83.3		Tapped by RL 7B-G OC1 - 51
2540	RL 8B-G	0.483	2540		OC1 - 51
3674	CB 8B		83.3		Tapped by RL 8B-G OC1 - 51
4887	R 6B	0.483	4887		Phase - OC1 - 51
4971	CB 6B		83.3		Tapped by R 6B Phase - OC1 - 51
30148	RL 7B	0.483	30148		Phase - OC1 - 51
30531	CB 7B		83.3		Tapped by RL 7B Phase - OC1 - 51
35135	RL 7B	0.483	35135		OC1 - 51
35227	CB 7B		83.3		Tapped by RL 7B OC1 - 51

Proyektin adı: **Proyektin adı**  
İsim: **Proyektin adı**  
Adı: **Proyektin adı**  
Seri: **Proyektin adı**  
İsim: **OCRDOZ1**

**ETAP**  
3.0.0

Study Case: **SM**

Page: **1**  
Date: **07-29-2015**  
SN: **12345678**  
Revision: **Base**  
Config: **Normal**

**Electrical Transient Analyzer Program**

**Short-Circuit Analysis**

**IEC 60909 Standard**  
**3-Phase, LG, LL, & LLG Fault Currents**  
**Minimum Short-Circuit Current**

	<u>Swing</u>	<u>V-Control</u>	<u>Load</u>	<u>Total</u>
Number of Buses:	1	0	4	5

	<u>SY/R2</u>	<u>XFMR3</u>	<u>Reactor</u>	<u>Line Caps</u>	<u>Impedance</u>	<u>Tie PD</u>	<u>Total</u>
Number of Branches:	1	0	0	3	0	0	4

	<u>Synchronous Generator</u>	<u>Power Grid</u>	<u>Synchronous Motor</u>	<u>Induction Machines</u>	<u>Lumped Load</u>	<u>Total</u>
Number of Machines:	0	1	0	0	0	1

System Frequency: **60 Hz**  
Unit System: **English**  
Project Filename: **OCRDOZ1**  
Output Filename: **C:\ETAP\300\OCRDOZ1\Untitled.SQ2**