

**ANALISIS KOORDINASI SISTEM PENGAMAN
JARINGAN DISTRIBUSI PRIMER 20 KV
DARI GARDU INDUK BANARAN-KEDIRI**

SKRIPSI

**Diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik**



Disusun Oleh :

**HANDRI DWI CAHYO PAMBUDI
NIM. 0110630058**

**DEPARTEMEN PENDIDIKAN NASIONAL
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
MALANG
2007**

**ANALISIS KOORDINASI SISTEM PENGAMAN
JARINGAN DISTRIBUSI PRIMER 20 KV
DARI GARDU INDUK BANARAN-KEDIRI**

SKRIPSI

Diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



Disusun Oleh :

**HANDRI DWI CAHYO PAMBUDI
NIM. 0110630058**

DOSEN PEMBIMBING :

Dr. Ir. HARRY SOEKOTJO DACHLAN, M.Sc
NIP. 131 586 562

Ir. SOEMARWANTO
NIP. 130 873 485

**ANALISIS KOORDINASI SISTEM PENGAMAN
JARINGAN DISTRIBUSI PRIMER 20 KV
DARI GARDU INDUK BANARAN-KEDIRI**

Disusun Oleh :

**HANDRI DWI CAHYO PAMBUDI
NIM. 0110630015**

Skripsi ini telah diuji dan dinyatakan lulus pada
Tanggal 30 Juli 2007

DOSEN PENGUJI

Ir. H. Choiri.
NIP. 130 703 042

Ir. Hery Purnomo
NIP. 131 131 027

Ir. Chairuzzaini
NIP. 130 682 589

Ir. Drs. Moch. Dhofir, MT
NIP. 131 879 031

Mengetahui

Ketua Jurusan Teknik Elektro

Ir. Heru Nurwarsito, M. Kom.
NIP. 131 879 033

KATA PENGANTAR

Puji Syukur kehadirat Allah SWT karena dengan berkat rahmat dan karunia serta ridlo-Nya penyusunan skripsi ini dengan judul “ANALISIS KOORDINASI SISTEM PENGAMAN JARINGAN DISTRIBUSI PRIMER 20 kV DARI GARDU INDUK BANARAN-KEDIRI” dapat diselesaikan. Penulis menyadari bahwa kajian ini tak akan mencapai titik akhir penyelesaian tanpa bantuan berbagai pihak, karenanya penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Ir. Heru Nurwarsito, M.kom selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya.
2. Bapak Ir. H. Choiri selaku Ketua Kelompok Dosen Keahlian Sistem Tenaga Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya.
3. Bapak Dr.Ir. Harry Soekotjo Dachlan, M.Sc selaku dosen pembimbing pada penyusunan skripsi ini.
4. Bapak Ir. Soemarwanto selaku dosen pembimbing pada penyusunan skripsi ini.
5. Bapak dan Ibu dosen serta karyawan Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya.
6. Serta semua pihak yang tak dapat disebutkan satu persatu yang telah turut membantu baik secara langsung maupun tidak langsung dalam penyelesaian skripsi ini.

Sebuah penantian yang panjang telah berakhir, yang kemudian menjadi sebuah titik perjalanan yang baru. Tiada yang sempurna di dunia ini, tersadar bahwa skripsi ini sangat jauh dari kesempurnaan. Karenanya, segala kritik dan saran yang sifatnya membangun dari pembaca tentang isi skripsi ini akan diterima dengan senang hati. Akhir kata, penulis berharap, semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi semua pihak yang membutuhkan.

Malang, Juli 2007,

Penyusun

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR.....	i
DAFTAR ISI.....	ii
DAFTAR TABEL.....	v
DAFTAR GAMBAR.....	vi
DAFTAR LAMPIRAN.....	vii
ABSTRAK.....	viii
I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Batasan Masalah.....	2
1.4 Tujuan.....	3
1.5 Hipotesis.....	3
1.6 Sistematika Penulisan.....	3
II DASAR TEORI.....	4
2.1 Sistem Distribusi.....	4
2.2 Jaringan Distribusi Primer.....	5
2.2.1 Jaringan Distribusi Primer Radial.....	5
2.3 Sistem Pengaman Jaringan Distribusi.....	6
2.3.1 Fungsi Pengaman.....	6
2.4 Macam-macam Pengaman Jaringan Distribusi.....	6
2.4.1 FCO (<i>Fuse Cut Out</i>).....	6
2.4.2 <i>Circuit Breker</i> (Pemutus Tenaga).....	9
2.4.3 LBS (<i>Load Break Switch</i>).....	11
2.5 <i>Over Current Relay</i> (Rele Arus Lebih).....	12
2.5.1 Jenis Rele Arus Lebih.....	13
2.6 Trafo Arus.....	16
2.7 Syarat-syarat Pengaman.....	17
2.8 Kegagalan Pada Sistem Pengaman.....	17
2.9 Koordinasi Pengaman Jaringan.....	18

2.9.1	Koordinasi Rele Pada Sistem Pengaman Jaringan Tipe Radial	18
2.9.2	Koordinasi Antara Pemutus Tenaga dengan <i>Fuse Cut Out</i>	19
2.10	Macam-macam Gangguan	19
2.11	Perhitungan Arus Hubung Singkat	20
2.11.1	Sistem Per Unit	20
2.11.2	Impedansi Jaringan	20
2.11.3	Arus Hubung Singkat	22
2.11.4	Gangguan Hubung Singkat Tiga Fasa	25
2.11.5	Gangguan Hubung Singkat Dua Fasa	26
III	METODE PENELITIAN	27
3.1	Pengumpulan Data	27
3.2	Prosedur Perhitungan dan Analisis	27
3.3	Membuat Kesimpulan dan Saran	32
IV	ANALISIS PERHITUNGAN, <i>SETTING</i> DAN KOORDINASI PENGAMAN	33
4.1	Gardu Induk Banaran Kediri	33
4.2	Data Gardu Induk Banaran Kediri	33
4.3	Perhitungan Impedansi	35
4.3.1	Impedansi Sumber Pengganti	35
4.3.2	Impedansi Transformator	35
4.3.3	Impedansi Saluran	36
4.3.4	Impedansi Total	39
4.3.5	Impedansi Gangguan (Z_f)	40
4.4	Perhitungan Arus	40
4.4.1	Perhitungan Arus Dasar	40
4.4.2	Perhitungan Arus Hubung Singkat	41
4.4.2.1	Arus Hubung Singkat Tiga Fasa	41
4.4.2.2	Arus Hubung Singkat Dua Fasa	43
4.5	Analisis Trafo Arus	46
4.6	Analisis <i>Setting</i> Rele Arus Lebih (OCR)	48
4.6.1	<i>Setting</i> OCR Pada Sisi Sekunder Trafo Daya Nomor 5	48

4.6.2	Setting OCR pada Penyulang	49
4.7	Analisis Koordinasi Pengaman Pada Penyulang Ngadiluwih Dari Gardu Induk Banaran Kediri	50
4.7.1	Setelan Rele Arus Lebih Untuk Gangguan Fasa	50
4.7.1.1	Setelan Rele Arus Lebih Penyulang Ngadiluwih ...	50
4.7.1.2	Setelan Rele Arus Lebih Di Sisi Sekunder Trafo Daya Nomor 5	51
4.7.2	Selektifitas Kerja Rele Arus Lebih	52
4.8	Analisis Rating Pengaman Jaringan Distribusi Primer 20 kV	54
4.9	Koordinasi Pengaman Dalam Jaringan Distribusi Primer	56
4.9.1	Koordinasi Pengaman Tiap Seksi	57
4.9.1.1	Gangguan Pada Seksi 1	57
4.9.1.2	Gangguan Pada Seksi 2	59
4.9.1.3	Gangguan Pada Seksi 3	60
4.9.1.4	Gangguan Pada Seksi 4	61
4.9.1.5	Gangguan Pada Seksi 5	62
4.9.1.6	Gangguan Pada Seksi 6	64
4.9.2	Koordinasi Antara <i>Fuse Cut Out</i> Dengan CB	65
V	KESIMPULAN DAN SARAN	71
5.1	Kesimpulan	71
5.2	Saran	71
	DAFTAR PUSTAKA	72
	LAMPIRAN	73

DAFTAR TABEL

No.	Judul Tabel	Hal
Tabel 2.1	Konstanta α dan β rele SPAJ 140C.....	16
Tabel 2.2	Nilai standar tipe CT.....	16
Tabel 4.1	Impedansi saluran untuk penghantar AAAC.....	36
Tabel 4.2	Impedansi saluran pada titik-titik gangguan.....	38
Tabel 4.3	Impedansi total pada titik-titik gangguan.....	40
Tabel 4.4	Hasil perhitungan arus hubung singkat simetris pada penyulang Ngadiluwih-Kediri.....	46
Tabel 4.5	Arus beban hasil perhitungan.....	55
Tabel 4.6	Koordinasi pelebur dan rele.....	70



DAFTAR GAMBAR

No. Gambar	Judul Gambar	Hal
Gambar 2.1	Skema saluran transmisi dan distribusi	4
Gambar 2.2	Skema saluran sistem radial	5
Gambar 2.3	Pelebur jenis letupan	8
Gambar 2.4	Bagan pemutus ruang hampa	10
Gambar 2.5	Urutan pelepasan LBS	11
Gambar 2.6	Urutan pemasukan kontak LBS	12
Gambar 2.7	Diagram rangkaian rele arus lebih tipe static	13
Gambar 2.8	Macam-macam rele arus lebih <i>invers time</i>	14
Gambar 2.9	Saluran transmisi radial mensuplai tiga beban	19
Gambar 2.10	Tiga himpunan fasor seimbang yang merupakan simetris dari tiga fasor tak-seimbang	23
Gambar 2.11	Diagram fasor berbagai pangkat dari operator a	24
Gambar 2.12	Hubung singkat tiga fasa	25
Gambar 2.13	Hubung singkat dua fasa	26
Gambar 3.1	Diagram alir metodologi pembahasan skripsi	31
Gambar 4.1	Susunan sistem pengaman pada penyulang Ngadiluwih	56
Gambar 4.2	Rangkaian pengganti susunan sistem pengaman pada penyulang Ngadiluwih	57
Gambar 4.3	Gangguan pada seksi 1	58
Gambar 4.4	Gangguan pada seksi 2	59
Gambar 4.5	Gangguan pada seksi 3	60
Gambar 4.6	Gangguan pada seksi 4	61
Gambar 4.7	Gangguan pada seksi 5	63
Gambar 4.8	Gangguan pada seksi 6	64
Gambar 4.9	Rangkaian pengganti susunan FCO pada penyulang Ngadiluwih.....	65

DAFTAR LAMPIRAN

No. Lampiran	Judul Lampiran	Hal
Lampiran 1.	Titik-titik Gangguan Penyulang Ngadiluwih.....	73
Lampiran 2.	Data pengukuran Beban	74
Lampiran 3.	Kurva <i>Invers Time Characteristics</i>	75
Lampiran 4.	Kurva Karakteristik Pelebur Jenis Letupan Tipe “T”	76
Lampiran 5.	Diagram Satu Garis Gardu Induk Banran Kediri	77

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



ABSTRAK

Handri Dwi Cahyo Pambudi, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya, Juli 2007, "Analisis Koordinasi Sistem Pengaman Jaringan Distribusi Primer 20 kV Dari Gardu Induk Banaran-Kediri."

Dosen Pembimbing, Dr.Ir. Harry Soekotjo Dachlan, M.Sc. dan Ir. Soemarwanto

Sistem pengaman jaringan distribusi primer 20 kV pada umumnya terdiri dari pengaman utama dan pengaman cadangan. Antara pengaman utama dan pengaman cadangan terdapat selang waktu untuk mengamankan daerah yang mengalami gangguan. Pada saat penyulang Ngadiluwih mengalami gangguan yang berjarak 200 meter dari Gardu Induk, pemutus tenaga pada penyulang Ngadiluwih sebagai pengaman utama trip bersamaan dengan pemutus tenaga pada sisi sekunder trafo daya nomor 5 sebagai pengaman cadangan. Hal ini mengakibatkan terputusnya aliran listrik ke semua penyulang yang disuplai dari trafo daya nomor 5. Terdapat dua kemungkinan faktor penyebab terjadinya trip bersama antara pemutus tenaga di penyulang Ngadiluwih dengan pemutus tenaga di sisi sekunder trafo daya nomor 5, yaitu kesalahan koordinasi sistem pengaman dan ketidakakurasian trafo arus. Dari hasil analisis saat terjadi gangguan pada 200 m dari Gardu Induk didapatkan arus gangguan sebesar 11.081,25 A. Rele arus lebih pada penyulang Ngadiluwih bekerja dalam waktu 0,36 detik dan rele arus lebih pada sisi sekunder trafo daya nomor 5 bekerja dalam waktu 0,82 detik. Trafo arus yang terpasang di penyulang Ngadiluwih dengan tipe 15VA 5P 10 mempunyai batas akurasi sebesar 4.000 A, sehingga dapat diketahui bahwa besarnya arus gangguan yang terjadi melebihi batas akurasi trafo arus. Dengan demikian koordinasi sistem pengaman yang ada sudah tepat sehingga satu-satunya penyebab yang memungkinkan terjadinya trip bersama adalah ketidakakurasian trafo arus.

Kata kunci: Trip bersama, Koordinasi pengaman, Ketidakakurasian trafo arus



BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Tenaga listrik banyak memberikan kontribusi bagi masyarakat luas sejak pertama kali ditemukan. Hampir tidak ada negara yang tidak mempunyai sumber listrik untuk memenuhi kebutuhan listrik baik dari kalangan perumahan maupun dari kalangan industri. Oleh karena itu diperlukan pasokan listrik yang terjamin kontinuitasnya.

Pada penyaluran tenaga listrik banyak mengalami gangguan dimana gangguan tersebut dapat bersifat gangguan temporer maupun gangguan permanen. Agar suatu sistem distribusi dapat berfungsi secara baik, gangguan-gangguan yang terjadi pada tiap bagian harus dapat dideteksi dan dipisahkan dari sistem lainnya dalam waktu secepatnya. Komponen utama dari sistem proteksi adalah rele, yaitu peralatan yang berfungsi untuk merasakan jika terjadi gangguan pada suatu titik. Saat terjadi gangguan rele akan memberikan perintah pada pemutus tenaga untuk memutus pelayanan penyaluran tenaga listrik pada elemen sistem tenaga listrik yang mengalami gangguan sehingga peralatan pada pada sistem tersebut dapat terlindungi dari kerusakan. Dengan adanya rele maka gangguan dapat dilokalisir sehingga gangguan pada suatu titik tidak akan mengganggu titik yang lain. Keberhasilan berfungsinya proteksi memerlukan adanya suatu koordinasi antara berbagai alat proteksi yang dipakai.

Dalam penerapan sistem proteksi sistem tenaga listrik digunakan daerah-daerah pengaman. Pada umumnya terdiri dari satu atau lebih pengaman peralatan dari sistem tenaga listrik. Di dalam daerah pengaman tersebut digunakan proteksi berlapis, oleh karena itu ada proteksi utama dan proteksi cadangan. Antara proteksi utama dengan proteksi cadangan terdapat selang waktu untuk mengamankan daerah yang mengalami gangguan. Setting waktu pada proteksi utama lebih kecil dari proteksi cadangan, hal ini digunakan untuk mempercepat pengamanan daerah gangguan oleh proteksi utama. Apabila pada proteksi utama mengalami kegagalan maka yang bekerja selanjutnya adalah proteksi cadangan.

Pada saat penyulang 20 kV Ngadiluwih mengalami gangguan yang berjarak 200 meter dari Gardu Induk, pemutus tenaga pada penyulang 20 kV Ngadiluwih sebagai proteksi utama trip, tetapi gangguan ini juga dirasakan oleh rele di sisi sekunder trafo 5 sebagai proteksi cadangan sehingga pemutus tenaga di sisi sekunder trafo 5 juga ikut

trip, jadi pemutus tenaga pada penyulang 20 kV Ngadiluwih dan pemutus tenaga di sisi sekunder trafo 5 trip bersamaan. Hal ini mengakibatkan terputusnya aliran listrik ke semua penyulang yang disuplai dari trafo 5.

Trip bersama ini tidak hanya berlaku antara pemutus tenaga pada penyulang 20 kV Ngadiluwih dengan pemutus tenaga di sisi sekunder trafo 5 saja, akan tetapi berlaku untuk semua penyulang apabila terjadi gangguan yang berjarak di sekitar 600 m dari Gardu Induk Banaran Kediri. Trip bersama antara pemutus tenaga pada penyulang 20 kV dengan pemutus tenaga di sisi sekunder trafo menunjukkan koordinasi proteksi utama dengan proteksi cadangan tidak bekerja dengan semestinya.

1.2 Rumusan Masalah

Dari latar belakang masalah yang ada, terdapat beberapa rumusan masalah yang akan dibahas dalam skripsi ini, yaitu :

1. Berapakah besarnya *setting* rele pada penyulang 20 kV dan rele di sisi sekunder trafo
2. Apakah koordinasi rele di sisi sekunder trafo dan rele penyulang bila terjadi gangguan hubung singkat tiga fasa dan gangguan hubung singkat dua fasa sudah bekerja dengan baik
3. Apakah koordinasi rele di sisi sekunder trafo dan rele penyulang bila terjadi gangguan hubung singkat tiga fasa dan gangguan hubung singkat dua fasa sudah bekerja dengan baik
4. Apakah penyebab terjadinya trip bersama

1.3 Batasan Masalah

Agar pembahasan dalam skripsi ini tidak meluas dan dapat mencapai tujuan maka perlu adanya pembatasan masalah, yaitu :

1. Sistem pengaman yang dibahas, adalah OCR (*Over Current Relay*) dan FCO (*Fuse Cutt Out*) yang terdapat di jaringan distribusi primer 20 kV Ngadiluwih dari Gardu Induk Banaran-Kediri
2. Koordinasi pengaman yang dianalisis adalah antara sisi sekunder trafo 5 dan penyulang 20 kV Ngadiluwih, serta koordinasi pengaman jaringan distribusi primer pada penyulang 20 kV Ngadiluwih
3. Analisis berdasarkan pada gangguan hubung singkat tiga fasa dan gangguan hubung singkat dua fasa yang terjadi pada penyulang 20 kV Ngadiluwih

1.4 Tujuan

Tujuan dari pembahasan dalam skripsi ini adalah untuk menganalisis koordinasi sistem pengaman jaringan distribusi primer 20 kV dari Gardu Induk Banaran.

1.5 Hipotesis

Dari latar belakang yang ada dapat dibuat hipotesis yaitu rele penyulang tidak berfungsi dengan benar yang diakibatkan oleh ketidakakurasian trafo arus sehingga terjadi trip bersama antara pemutus tenaga pada penyulang 20 kV Ngadiluwih dengan pemutus tenaga di sisi sekunder trafo daya nomor 5.

1.6 Sistematika Pembahasan

Sistematika pembahasan dalam skripsi ini akan diberikan uraian singkat dengan susunan sebagai berikut :

- BAB I.** : Memuat latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan, hipotesis dan sistematika pembahasan.
- BAB II.** : Berisikan teori dasar tentang Sistem distribusi, Sistem pengaman jaringan distribusi, macam-macam pengaman dan rele pada jaringan distribusi, trafo arus, syarat pengaman, koordinasi sistem pengaman jaringan, dan perhitungan hubung singkat.
- BAB III.** : Berisi tentang metode yang digunakan dalam pembahasan skripsi.
- BAB IV.** : Berisi tentang analisis mengenai perhitungan, *setting* dan rating pengaman serta koordinasi pengaman.
- BAB V.** : Memuat kesimpulan dan saran dari hasil analisis

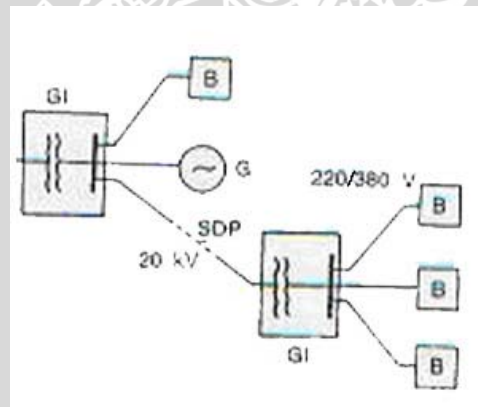
BAB II

SISTEM DISTRIBUSI

2.1. Sistem Distribusi

Sistem distribusi tenaga listrik merupakan suatu sistem jaringan yang menghubungkan gardu induk sampai saluran distribusi sekunder pada konsumen. Apabila saluran transmisi menyalurkan tenaga listrik bertegangan tinggi ke pusat-pusat beban dalam jumlah besar, maka saluran distribusi berfungsi membagikan tenaga listrik tersebut kepada pihak pemakai melalui saluran tegangan rendah.

Pada Gardu Induk (GI), tenaga listrik yang diterima kemudian dilepaskan menuju Trafo Distribusi (TD) dalam bentuk tegangan menengah 20 kV, melalui trafo distribusi yang tersebar diberbagai pusat-pusat beban. Tegangan distribusi primer ini diturunkan menjadi tegangan rendah 220/380 V yang akhirnya diterima pihak pemakai. Contoh saluran transmisi dan distribusi terlihat pada gambar 2.1 berikut ini :



Gambar 2.1 Skema saluran transmisi dan distribusi

Sumber : Zuhail, 1988 : 6

keterangan :

SDP : Saluran Distribusi Primer

GI : Gardu Induk

G : Generator

B : Beban

2.2. Jaringan Distribusi Primer

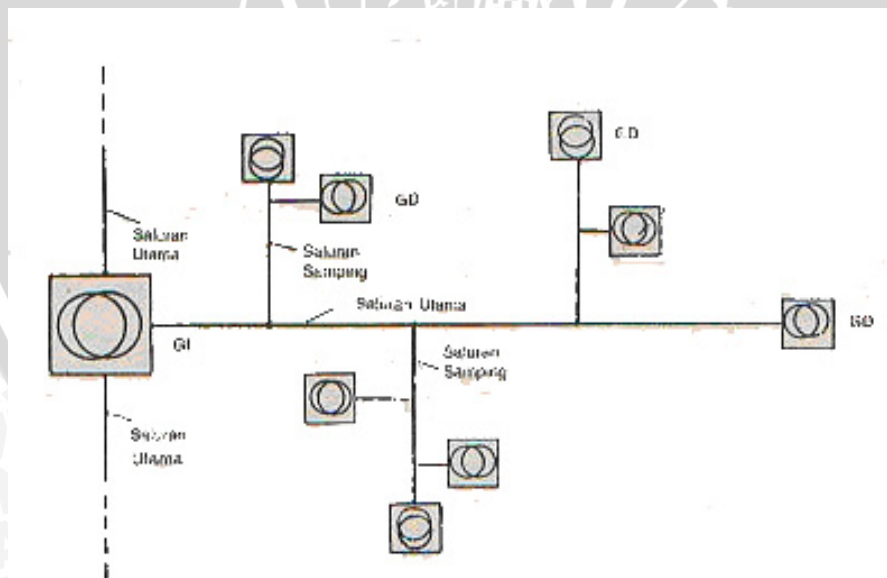
Jaringan distribusi primer adalah jaringan yang terletak antara gardu induk dengan transformator distribusi. Pada dasarnya ada 3 macam bentuk jaringan distribusi primer, yaitu : (PT.PLN distribusi Jakarta,1982:13)

1. Jaringan distribusi primer radial
2. Jaringan distribusi primer tertutup (*loop*)
3. Jaringan distribusi primer jaring-jaring (*Grid/Network*)
4. Jaringan distribusi primer spindel

Oleh karena jaringan distribusi primer dari penyulang-penyulang yang disuplai dari gardu induk Banaran–Kediri merupakan jaringan distribusi primer radial, maka berikut akan dijelaskan jaringan distribusi radial.

2.2.1. Jaringan Distribusi Primer Radial

Jaringan distribusi primer tipe radial adalah jaringan distribusi yang paling sederhana dan banyak dipakai. Jaringan ini terdiri atas fider (*feeder*) atau rangkaian tersendiri, yang seolah-olah keluar dari suatu sumber atau wilayah tertentu secara radial. Fider itu dianggap mempunyai suatu bagian utama dari saluran samping atau lateral lain bersumber dan dihubungkan transformator distribusi sebagaimana terlihat pada gambar 2.2 berikut ini



Gambar 2.2 Skema saluran sistem radial

Sumber : Abdul Kadir, 2000 : 22

Keterangan :

GI : Gardu Induk

GD : Gardu Distribusi

2.3 Sistem Pengaman Jaringan Distribusi

Macam dan karakteristik beban mempengaruhi perencanaan pengaman dan menentukan perencanaan sistem distribusi.

2.3.1. Fungsi Pengaman

Keberhasilan suatu sistem dapat diperhatikan dari kontinuitas pelayanannya. Kontinuitas pelayanannya baik jika adanya gangguan dapat diatasi sebaik mungkin dan tidak merusak peralatan pada sistem distribusi. Daerah gangguan dapat dilokalisir sekecil mungkin, sehingga pemutusan dapat ditekan sedikit mungkin. Oleh karena itu diperlukan sistem pengaman untuk sistem distribusi.

Fungsi sistem pengaman pada suatu sistem distribusi energi listrik adalah (TS.Hutauruk, 1987 : 102)

1. Untuk menghindari atau mengurangi kerusakan peralatan listrik akibat gangguan, semakin cepat reaksi perangkat sistem proteksi yang digunakan, maka semakin sedikit pengaruh gangguan terhadap kerusakan peralatan listrik yang ada pada jaringan tersebut
2. Untuk melokalisir luas daerah yang terganggu, sehingga daerah yang terganggu sesempit mungkin
3. Untuk memberi pelayanan listrik dengan keandalan tinggi pada konsumen
4. Untuk mengamankan manusia terhadap bahaya listrik

2.4 Macam-macam Pengaman Jaringan Distribusi

2.4.1 FCO (*Fuse Cut Out*)

FCO (*Fuse Cut Out*) atau pelebur adalah peralatan proteksi arus lebih yang akan membuka jaringan tenaga listrik dengan cara meleburkan bagian elemen proteksinya, karena terjadinya panas ditimbulkan dari arus lebih akibat adanya gangguan pada jaringan tersebut. Untuk memperbaikinya kembali setelah gangguan hilang, dilakukan dengan mengganti elemen yang sudah melebur dengan elemen baru yang mempunyai rating sama. Pelebur dipasang pada titik percabangan antara saluran utama dan saluran cabang. Pelebur digunakan untuk mengamankan jaringan dan peralatan yang berada di sebelah hilirnya (beban) terhadap gangguan permanen antar fasa dan tidak mengamankan gangguan fasa ke tanah

Pelebur yang digunakan pada saluran udara sistem distribusi tegangan menengah adalah tipe letupan (*expulsion type*). Pelebur tipe letupan ini dibedakan lagi berdasarkan penampilan fisiknya, yaitu : (Charles A. Gross, 1986 : 432)

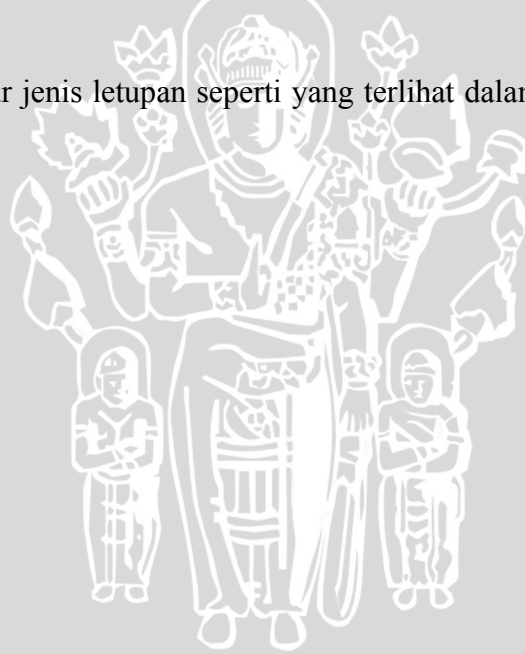
1. Pelebur jenis terbuka
2. Pelebur jenis tertutup
3. Pelebur jenis pegas

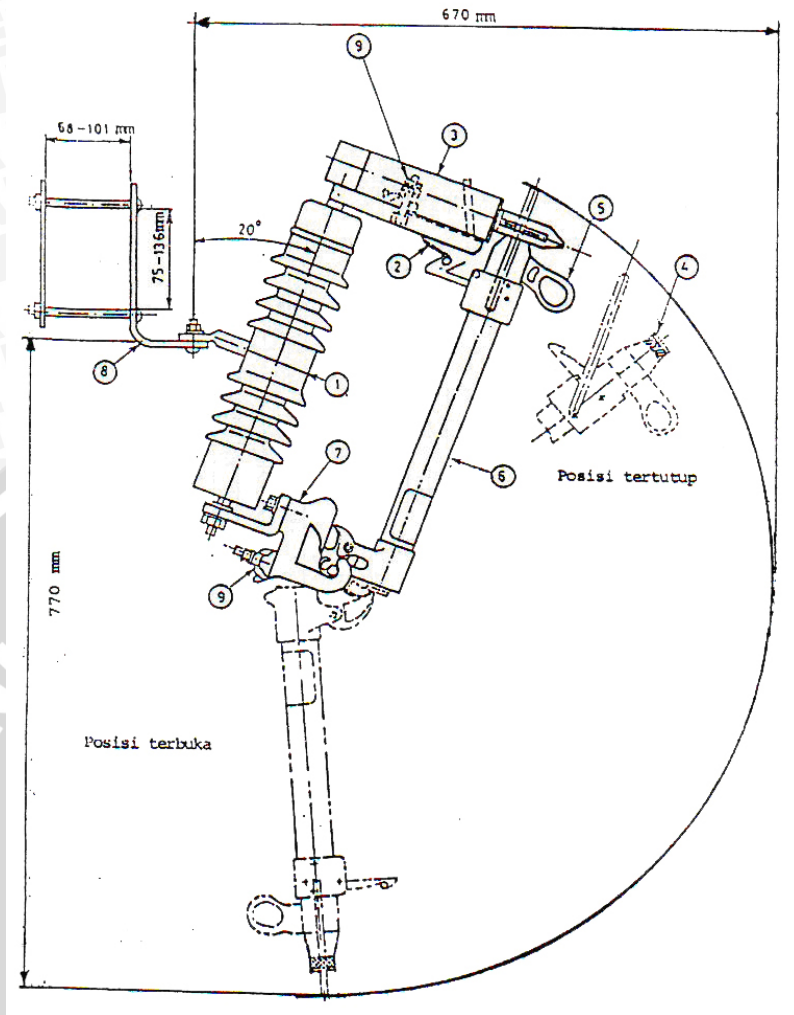
Disamping itu pelebur tipe letupan juga dibedakan berdasarkan rasio kecepatan pemutusannya, yaitu tipe K (cepat) dan tipe T (lambat)

Pada penyulang Ngadiluwih, pelebur yang digunakan untuk pengaman saluran cabang adalah pelebur tipe letupan jenis terbuka tipe T (lambat)

Cara kerja jenis pelebur ini yaitu apabila terjadi gangguan maka elemen pelebur yang terletak pada tabung fiber akan meleleh kemudian akan timbul busur api, busur api yang terjadi akan mengenai tabung sehingga menghasilkan gas yang segera mematikan busur api.

Konstruksi pelebur jenis letupan seperti yang terlihat dalam gambar 2.3 sebagai berikut :





Gambar 2.3 Pelebur jenis letupan

Sumber : SPLN, 1985 : 22

Keterangan :

1. Isolator porselen
2. Kontak tembaga (disepuh perak)
3. Alat pemadam/pemutus busur
4. Tutup yang dapat dilepas (dari kuningan)
5. Mata kait (dari brons)
6. Tabung pelebur (dari resin)
7. Penggantung (dari kuningan)
8. Klem pemegang (dari baja)
9. Klem terminal (dari kuningan)

Pemilihan pelebur sebagai pengaman saluran cabang distribusi tegangan menengah didasarkan pada kemampuan pelebur terhadap arus beban maksimum yang

terus menerus, yang mencakup arus beban normal, beban lebih, dan perkiraan cadangan untuk pertumbuhan beban yang akan datang, koordinasi sebaik-baiknya dengan alat pengaman yang lain (PMT dan pelebur), baik yang berada disisi hulu (sumber) maupun disisi hilirnya (beban) dan kemampuan pemutusan dari pelebur, khususnya bagi pelebur jenis letupan yang dipasang dekat Gardu Induk atau sumber daya serta batas ketahanan penghantar terhadap arus hubung singkat

Kemampuan hantar terus menerus dari pelebur jenis letupan tipe T (lambat) dan K (cepat) adalah sebagai berikut : (SPLN,1985 :35)

1. 1,5 kali arus pengenalnya, bagi pelebur dengan arus pengenal 6,3 A sampai dengan 100 A,
2. 1,3 kali arus pengenalnya, bagi pelebur dengan arus pengenal 125 A dan 160 A
3. Sama dengan nilai arus pengenalnya, bagi pelebur dengan arus pengenal 200A

2.4.2 *Circuit Breaker* (Pemutus Tenaga)

Pemutus Tenaga (CB) adalah peralatan listrik yang berfungsi untuk menyalurkan dan memutuskan daya listrik. Dalam operasi CB dilengkapi oleh rele-rele pengaman yang bertugas sebagai pendeteksi gangguan.

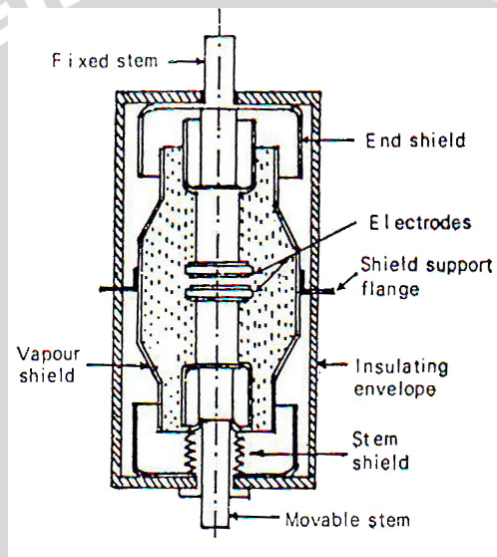
Pada waktu memutuskan dan menghubungkan daya listrik akan terjadi busur api, pemadaman busur api dapat dilakukan dengan beberapa bahan media yaitu : minyak, udara dan gas.

Berdasarkan media pemadaman busur api listrik pemutus tenaga dibagi menjadi : (PT.PLN distribusi Jakarta, 1982 :12)

1. Pemutus Tenaga Hampa Udara (*Vacuum Circuit Breaker*)
2. Pemutus Tenaga Minyak (*Oil Circuit Breaker*)
3. Pemutus Tenaga Gas SF₆ (*Gas Circuit Breaker*)
4. Pemutus Tenaga Udara Tekanan Tinggi (*Air Blast Circuit Breaker*)

Pada penyualang 20 kV di Kediri jenis pemutus yang digunakan adalah jenis *Vacuum Circuit Breaker* (VCB). Pada pemutus jenis ini terdapat suatu wadah dengan kehampaan yang tinggi, dimana elemen-elemen kotak dibuka dan ditutup dari luar. Pemutus jenis ini sudah dilengkapi dengan rele proteksi, alat proteksi ini berfungsi sebagai pendeteksi kesalahan pengoperasian sistem maupun gangguan yang terjadi pada suatu sistem. Pemutus Tenaga Hampa Udara merupakan pemutus tenaga yang menggunakan teknologi mutakhir. Dalam pemutus ini tidak ada media pemutus busur listrik. Oleh sebab itu, teknik memutus busur listrik dalam Pemutus Tenaga Hampa

Udara hanya tergantung pada teknik memperpanjang busur listrik. Pelaksanaan memperpanjang busur listrik ini dilakukan dengan cara membuat berbagai bentuk kontak dimana setiap pabrik mempunyai bentuk kontakannya masing-masing. Kostruksi Pemutus Tenaga Hampa Udara menghindari adanya celah udara sehingga pergeseran bagian yang bergerak dengan bagian yang tetap (statis) yang dapat menimbulkan celah udara dapat dihindari dan sebagai penggantinya digunakan logam fleksibel berbentuk gelombang yang dapat diperpanjang dan diperpendek. Fleksibilitas logam merupakan salah satu kendala bagi perkembangan pemutus jenis ini. Hal ini disebabkan karena jarak antara kontak-kontak pemutus menjadi terbatas sehingga tegangan operasinya juga menjadi terbatas. Konstruksi ruang pemadaman Pemutus Tenaga Hampa Udara ditunjukkan pada gambar 2.4



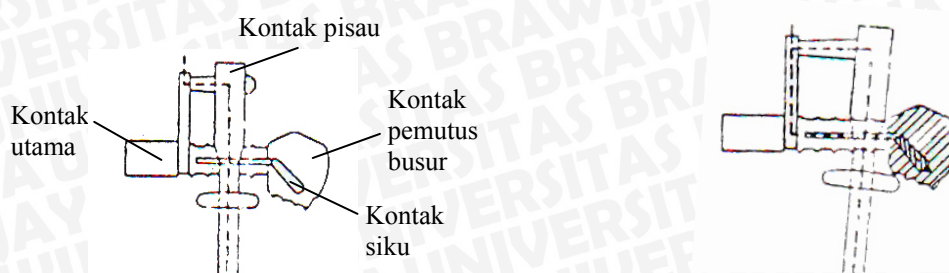
Gambar 2.4 Bagan pemutus ruang hampa

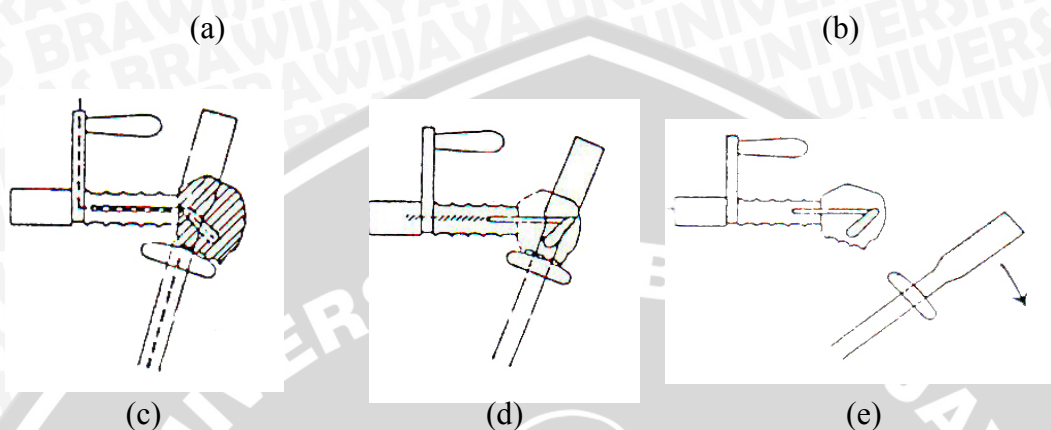
Sumber : B. Ravindranath, 1976 : 383

2.4.3 LBS (*Load Break Switch*)

LBS (*Load Break Switch*) merupakan saklar pemutus beban yang digunakan pada jaringan yang memerlukan pemadaman atau untuk menghubungkan jaringan satu dengan yang lain secara manual. Penggunaan LBS memungkinkan untuk mempersempit daerah yang mengalami pemadaman karena adanya gangguan atau perbaikan jaringan.

Untuk urutan pelepasan LBS dapat dilihat pada gambar 2.5 sebagai berikut:

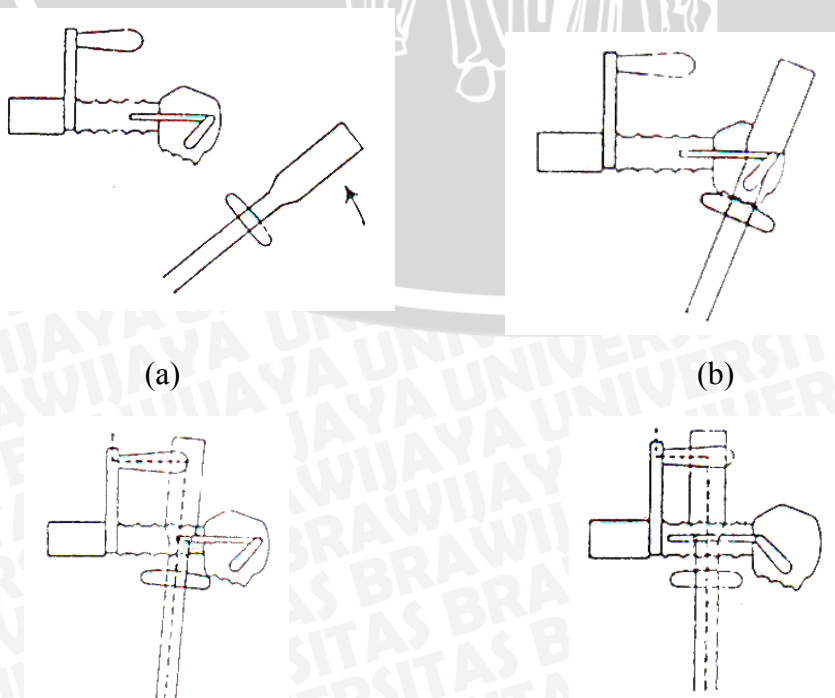




Gambar 2.5 Urutan pelepasan LBS : (a) Posisi tertutup (*Normally closed*) pengaman pemutus, memotong rangkaian utama terlepas dari rangkaian (*out of circuit*); (b) Arus terbagi dua : melalui kontak utama dan melalui kontak pemutus busur rangkaian; (c) Arus hanya melalui kepala pemutus; (d) Kontak utama rangkaian terputus; (e) Posisi rangkaian sudah terputus (kontak siku menyempurnakan pembukaan kontak)

Sumber : PT. PLN Puduklat Jakarta, 1987 : 36

Untuk urutan pemasangan kontak LBS dapat dilihat pada gambar 2.6 sebagai berikut :



(c)

(d)

Gambar 2.6 Urutan pemasukan kontak LBS : (a) Kontakor pisau terhubung dengan kontak utama; (b) Belum ada arus yang mengalir sebab kontakor pisau masih terhalang; (c) Kontakor pisau tertutup, kontak utama kontak siku dirancang sedemikian rupa untuk menghindari kesalahan, apabila kontak pisau masuk kurang tepat; (d) Selama kontakor pisau terhubung dengan kontak utama, pengaman pemutus disetel kembali untuk operasi selanjutnya.

Sumber : PT. PLN Puduklat Jakarta, 1987 : 37

2.5 **Over Current Relay (Rele Arus Lebih)**

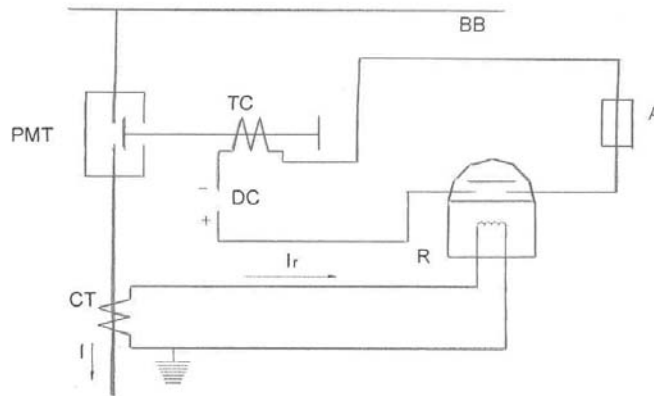
Rele arus lebih adalah suatu rele yang bekerja berdasarkan adanya kenaikan arus yang melebihi suatu nilai pengaman. Agar peralatan yang ada tidak rusak apabila dilewati arus yang melebihi kemampuannya maka selain peralatan tersebut harus diamankan terhadap kenaikan arusnya juga pengamannya harus dapat bekerja pada jangka waktu yang telah ditentukan. Rele arus lebih akan menutup kontak-kontaknya untuk menggerakkan rangkaian yang menyebabkan pemutus tenaga membuka atau menutup saat arus mencapai suatu nilai yang telah ditentukan sebelumnya. Dengan demikian maka rele arus lebih terdapat kepekaan terhadap besar arus yang mengalir.

2.5.1. Jenis Rele Arus Lebih

Berdasarkan waktu kerjanya, rele rele arus lebih dibagi menjadi tiga jenis :

a. Rele Arus Lebih Seketika (*instantaneous time*)

Rele arus lebih seketika adalah jenis rele arus lebih yang paling sederhana dimana jangka waktu kerja rele yaitu mulai saat merasakan arus gangguan sampai selesainya kerja rele sangat singkat yaitu sekitar 20 sampai 100 milidetik tanpa adanya penundaan waktu. Gambar 2.7 berikut ini memperlihatkan diagram rele arus lebih.



Gambar 2.7. Diagram rangkaian rele arus lebih tipe static
 Sumber : B. Ravindranath,1976:76

b. Rele Arus Lebih dengan karakteristik waktu tertentu (*Definite Time*)

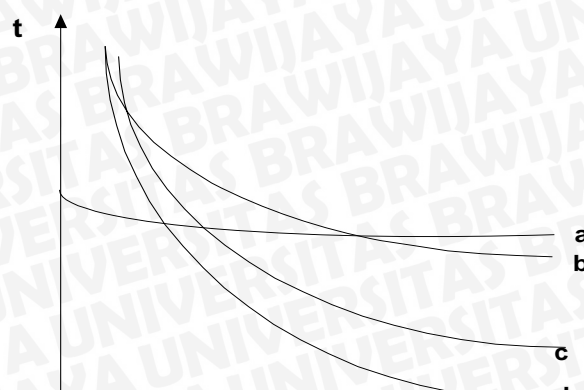
Untuk rele dengan karakteristik *definite time* jangka waktu rele mulai merasakan arus gangguan sampai selesainya kerja rele diperpanjang dengan nilai tertentu dan tidak tergantung dari besarnya arus yang menggerakkan. Tetapi tergantung dari besarnya arus *setting*, apabila melebihi arus *setting* maka waktu kerja rele ditentukan oleh waktu setelahnya

c. Rele Arus Lebih dengan karakterisitik waktu terbalik (*Inverse Time*)

Disini jangka waktu rele mulai merasakan arus gangguan sampai selesainya kerja rele, diperpanjang dengan nilai yang berbanding terbalik besarnya arus yang menggerakkan. Rele ini mempunyai sifat terbalik untuk nilai arus dan waktu kerjanya

Bentuk sifat keterbalikan antara arus dan waktu kerja ini dapat dibedakan menjadi 3, yaitu : (B. Ravindranath,1976:52)

- a. Berbanding terbalik (*Inverse*)
- b. Sangat berbanding terbalik (*Very Inverse*)
- c. Sangat berbanding terbalik sekali (*Extremely Inverse*)



Gambar 2.8. Macam-macam rele arus lebih *inverse time*: (a) *definit time*; (b) IDMT; (c) *very inverse*; (d) *extremely inverse*.

Sumber : B. Ravindranath,1976:52

Hasil perhitungan arus gangguan hubung singkat dipergunakan untuk menentukan nilai setelan rele arus lebih terutama nilai setelan TMS (*Time Multiple Setting*) dari rele arus lebih jenis *inverse*. Disamping itu, setelah nilai setelan didapatkan, nilai-nilai arus gangguan hubung singkat pada setiap jenis lokasi gangguan yang diasumsikan dipakai untuk memeriksa kerja rele arus lebih itu, apakah masih dapat dinilai selektif atau nilai setelan harus diubah ke nilai lain yang memberikan kerja rele yang lebih selektif atau didapatkan kerja selektifitas yang optimum (Rele bekerja tidak terlalu lama tetapi menghasilkan selektifitas yang baik).

Besarnya arus beban adalah :

$$I_{\text{beban}} = \frac{\text{kVA}}{\sqrt{3}\text{kV}_{\text{L-L}}} \text{ (A)} \quad (2.1)$$

Harus diperhatikan pula bahwa rele arus lebih tidak boleh bekerja pada saat terjadi beban maksimum, sehingga : (PLN, dinas proteksi : 14)

$$I_{\text{set primer}} = k \times I_{\text{nominal}} \quad (2.2)$$

Keterangan :

$I_{\text{set primer}}$: Penyetelan arus

k : Faktor keamanan, nilainya 1,05 – 1,2

I_{nominal} : Arus nominal yang mengalir pada beban

Untuk mendapatkan nilai setelan sekunder yang disetkan pada rele arus lebih, maka harus dihitung dengan menggunakan data ratio transformator arus yang terpasang, yaitu :

$$I_{\text{set sekunder}} = I_{\text{set primer}} \times (1/\text{ratio CT}) \quad (2.3)$$

Hubungan arus dan waktu dari rele arus lebih ditunjukkan oleh persamaan berikut : (SPAJ 140C : 46)

$$t_{(s)} = \frac{k \times \beta}{\left(\frac{I_{hs}}{I_{set primer}}\right)^\alpha - 1} \tag{2.4}$$

keterangan :

- $t_{(s)}$: Waktu kerja rele (detik)
- k : Pengali waktu
- I_{hs} : Arus hubung singkat (A)
- $I_{set primer}$: Arus setting (A)

Nilai α dan β tergantung dari jenis kurva arusnya besarnya nilai α dan β dapat dilihat dari table 2.1 berikut ini:

Tabel 2.1. Konstanta α dan β rele SPAJ 140C

Kurva waktu/arus	α	β
Normal inverse	0,02	0,14
Very inverse	1,0	13,5
Extremely inverse	2,0	80,0
Long-time inverse	1,0	120,0

Sumber : SPAJ 140C, 1993 : 18

2.6 Trafo Arus

Transformator arus dalam sistem tenaga listrik digunakan untuk keperluan pengukuran dan proteksi. Untuk pengukuran akurasi yang diperlukan sampai dengan 120 % arus rating

Spesifikasi akurasi dari trafo arus menurut IEC (*International Electrotechnical Commission*) seperti contoh dibawah ini :

15 VA 10 P 20

Keterangan :

15 VA : Rating beban CT sebesar 15 VA

10 P : Klas proteksi, kesalahan 10 % pada rating batas akurasi

20 : Faktor batas akurasi CT sampai dengan 20 kali arus rating

Nilai standar tipe CT menurut IEC (*International Electrotechnical Commission*) dapat dilihat pada tabel 2.2 sebagai berikut:

Tabel 2.2 Nilai standar tipe CT

Parameter	Nilai
Kontinyu VA	2,5, 5, 10, 15 dan 30 VA
Klas akurasi	5% dan 10%
Faktor batas akurasi	5, 10, 15, 20, dan 30
Rating arus sekunder	1, 2 dan 5 A

Sumber : J. Lewis Blackburn,1998:141

Suatu trafo arus dinyatakan bekerja dengan baik apabila perbandingan antara tegangan knee (V_k) dengan tegangan sekunder trafo lebih dari 1

Perhitungan arus dan tegangan hubung singkat 3 fasa sekunder sebagai berikut :
(Nissin electric co, Ltd : 54)

$$I_{hs \text{ sekunder}} = I_{hs \text{ primer}} \times (1/\text{ratio CT}) \quad (2.5)$$

$$V_f = I_{hs \text{ sekunder}} \times \text{beban total sisi sekunder CT} \quad (2.6)$$

Keterangan :

V_f = tegangan hubung singkat sekunder trafo arus

2.7 Syarat-syarat Pengaman

Syarat suatu pengaman yaitu : (Charles A Gross, 1986 : 417)

1. Cepat bereaksi

Rele harus bekerja bila sistem mengalami gangguan. Kecepatan kerja rele adalah saat rele merasakan adanya gangguan sampai pemutusan CB karena perintah dari rele. Waktu kerja harus secepat mungkin sehingga menghindari kerusakan alat, sistem dan mempersempit pemadaman.

2. Sensitif

Rele harus dapat bekerja dengan kepekaan yang tinggi artinya harus cepat sensitif terhadap gangguan didaerahnya meski gangguan tersebut minim, selanjutnya memberikan jawaban

3. Andal

Keandalan rele dihitung dengan jumlah rele bekerja untuk mengamankan daerah terhadap jumlah gangguan yang terjadi

4. Murah atau Ekonomis

Rele sebaiknya murah tanpa meninggalkan persyaratan-persyaratan rele

5. Sederhana

Semakin sederhana sistem rele semakin baik mengingat peralatan atau komponen rele memungkinkan kerusakan, jadi semakin sederhana kemungkinan terjadi kerusakan kecil

2.8 Kegagalan pada Sistem Pengaman

Kegagalan pengaman dapat dikelompokkan sebagai berikut :

(S. Soekarta, 1995 : 17)

1. Kegagalan pada relenya sendiri

2. Kegagalan suplai arus atau tegangan ke rele

Hal ini dapat disebabkan kerusakan pada trafo tegangannya, rangkaian suplai ke rele dari trafo tersebut terbuka atau terhubung singkat

3. Kegagalan sistem suplai arus searah untuk tripping pemutus tenaga

Hal ini dapat disebabkan baterai lemah karena kurang perawatan, terbukanya atau terhubung singkat rangkaian arus searah

4. Kegagalan pada pemutus tenaga

Kegagalan ini dapat disebabkan karena kumparan trip tidak menerima suplai, kerusakan mekanis ataupun kegagalan pemutusan arus karena besarnya arus hubung singkat melampaui kemampuan dari pemutus tenaganya

2.9 Koordinasi Pengaman Jaringan

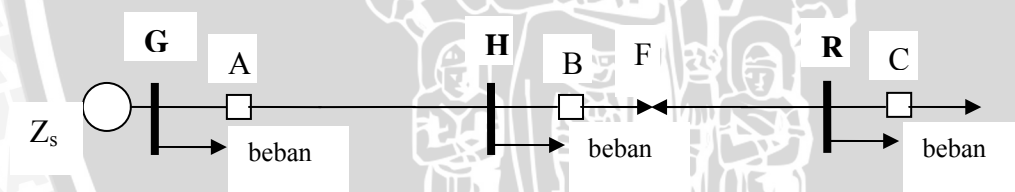
Proses pemilihan peralatan pengaman arus lebih dengan beberapa *setting* waktu arus dan susunan yang tepat secara seri sepanjang jaringan distribusi agar jaringan dan peralatan bebas dari gangguan menurut urutan operasi yang telah ditentukan sebelumnya yang disebut koordinasi. Saat dua atau lebih peralatan pengaman yang dipasang seri mempunyai karakteristik yang sesuai dengan urutan operasi disebut terkoordinasi atau selektif. Peralatan yang diset untuk beroperasi pertama untuk mengisolir gangguan (memutus arus gangguan) disebut peralatan pemroteksi. Alat ini biasanya pengaman alat dari gangguan. Alat yang memback-up pengaman, tetapi hanya beroperasi jika peralatan pemroteksi gagal operasi untuk membersihkan gangguan disebut peralatan yang diproteksi.

(Gonen, 1986: 531)

2.9.1. Koordinasi Rele Pada Sistem Pengaman Jaringan Tipe Radial

Untuk rangkaian kapasitas besar, pemutus tenaga harus ditetapkan untuk mengatasi gangguan yang besar. Ketika rele yang ada dalam bentuk yang bermacam-macam yang sangat fleksibel dan dapat disesuaikan dengan berbagai macam susunan sistem.

Susunan sistem dalam hal ini yaitu saluran radial yang mana dalam rangkaiannya rele harus dikoordinasikan seperti pada gambar 2.9. disini saluran transmisi dihubungkan radial dari subtransmisi pada bus G dan mensuplai beban pada bus G,H dan R. Jalur disekat-sekat pada masing-masing titik beban diberi pemutus daya. Pada jaringan tipe radial, rele yang mengendalikan pemutus harus dikoordinasikan agar selektifitas sistem proteksi dapat dicapai. Apabila terjadi gangguan pada F maka gangguan ini akan dibersihkan oleh pemutus B yang merupakan pengaman primer pada bus H dan pengaman sekunder pada bus G dan apabila pengaman pada bus H tidak bisa membersihkan gangguan F maka yang akan mengamankan berikutnya adalah pemutus A yang merupakan pengaman pada bus G. Hal ini merupakan koordinasi pengaman jaringan



Gambar 2.9 Saluran transmisi radial mensuplai tiga beban

Sumber : P.M Anderson, 1998 : 226

Keterangan :

Z_s : Impedansi sumber

G, H dan R : Bus

A, B, dan C : Pemutus

F : Gangguan

2.9.2. Koordinasi Antara Pemutus Tenaga dengan *Fuse Cut Out*

Koordinasi antara pemutus tenaga yang terpasang di gardu induk dengan *fuse cut out* yang terpasang pada saluran percabangan adalah untuk mengamankan terhadap

gangguan hubung singkat antar fasa, jadi rele pada pemutus tenaga yang terlibat adalah rele arus lebih

2.10 Macam-macam Gangguan

Beberapa jenis gangguan dapat digolongkan sebagai : (Stevenson, 1996 : 373)

1. Gangguan tunggal dari saluran ke tanah
2. Gangguan antar saluran
3. Gangguan ganda dari saluran ke tanah
4. Gangguan tiga fasa

2.11 Perhitungan Arus Hubung Singkat

2.11.1. Sistem Per Unit

Dalam suatu sistem tenaga listrik didapatkan suatu besaran dalam kondisi berlainan untuk harga tegangan atau impedansi dalam persen.

Untuk mempermudah perhitungan arus hubung singkat, diciptakan suatu sistem yang dinamakan sistem per-unit. Dalam sistem ini semua kualitas harga besaran didasarkan pada suatu besaran komponen dari sistem tenaga listrik.

Dibawah ini adalah simbol untuk menyatakan harga perbandingan sebenarnya dengan besaran dasar : (Stevenson, 1996 : 29)

$$\text{Per-Unit} = \frac{\text{harga sebenarnya}}{\text{harga dasar}} \quad (2.7)$$

Dalam sistem tenaga listrik dikenal adanya daya, tegangan, arus dan impedansi dasar. Harga dasar cukup dicari dari kedua dasar tersebut. Untuk sistem 3 fasa, nilai arus dasar dan impedansi dasar dapat dihitung setelah ditentukan tegangan dasar dan daya dasarnya : (Stevenson, 1996 : 30)

$$\text{Arus dasar (kA)} = \frac{\text{Daya dasar, kVA 3 fasa}}{\text{Tegangan dasar, kV}_{LL} \sqrt{3}} \quad (2.8)$$

$$\text{Impedansi dasar (ohm)} = \frac{(\text{Tegangan dasar, kV}_{LL})^2}{\text{Daya dasar, MVA 3 fasa}} \quad (2.9)$$

$$\text{Harga Per-Unit Impedansi} = \frac{\text{Harga impedansi sebenarnya}}{\text{Harga impedansi dasar}} \quad (2.10)$$

2.11.2. Impedansi Jaringan

Urutan impedansi jaringan terdiri dari : (Stevenson, 1996 : 274)

1. Impedansi urutan positif (Z_1)

Impedansi urutan positif adalah rangkaian impedansi 3 fasa yang simetris didapat dengan memberikan tegangan urutan positif dan hanya mengalir arus urutan positif saja.

$$Z_1 = R_1 + j X_1 \text{ (ohm/ km)}$$

2. Impedansi urutan negatif (Z_2)

Impedansi urutan negatif adalah impedansi yang didapat dengan memberikan tegangan urutan positif, tetapi arus yang mengalir adalah arus urutan negatif.

$$Z_2 = R_2 + j X_2 \text{ (ohm/km)}$$

3. Impedansi urutan nol (Z_0)

Impedansi urutan nol adalah impedansi yang didapat dengan memberikan tegangan urutan positif tetapi arus yang mengalir adalah arus urutan nol.

Perhitungan yang akan dilakukan adalah perhitungan impedansi total sistem urutan positif (Z_1), urutan negatif (Z_2) dan urutan nol (Z_0). Karena transformator daya yang terpasang mempunyai hubungan Y-Y maka impedansi urutan nol trafo (Z_{0tr}) adalah $10 \times Z_{1sal}$ (PLN, Dinas Proteksi : 6), sedangkan impedansi pengetanahan titik netral $Z_n = 3 \times R_n$ (Stevenson, 1996 : 280). Sehingga Impedansi urutan positif, urutan negatif dan urutan nol dari sistem adalah : (PLN, Dinas Proteksi : 8)

$$Z_{1 \text{ tot}} = Z_{2 \text{ tot}} = Z_{1s} + Z_{1 \text{ tr}} + Z_{1 \text{ sal}} \tag{2.11}$$

$$Z_{0 \text{ tot}} = Z_{0 \text{ tr}} + 3.Z_n + Z_{0 \text{ sal}} \tag{2.12}$$

Keterangan :

Z_{1s} : Impedansi sumber pengganti

$Z_{1 \text{ tr}}$: Impedansi transformator pengganti urutan positif

$Z_{1 \text{ sal}}$: Impedansi saluran urutan positif

$Z_{0 \text{ tr}}$: Impedansi tranformator pengganti urutan negatif

Z_n : Impedansi pengetanahan

$Z_{0 \text{ sal}}$: Impedansi saluran urutan nol

Jaringan distribusi yang dipasang dari jaringan tegangan tinggi yang menggunakan transformator daya untuk menentukan impedansi sumber bila diketahui $MVA_{\text{hubung singkat}}$ sisi tegangan tinggi maka dapat dihitung impedansi sumber pengganti (Z_s) : (SPLN ,1983 : 68)

$$Z_s \text{ (pu)} = \frac{MVA_{\text{dasar}}}{MVA_{\text{hubung singkat}}} \tag{2.13}$$

2.11.3. Arus Hubung Singkat

Hubung singkat adalah hubungan yang terjadi antara bagian-bagian yang bertegangan kerja, sebagai akibat tidak adanya suatu isolasi pada lingkaran arus dimana kesalahan terjadi.

Adapun metode untuk menghitung besarnya gangguan-gangguan yang terjadi pada suatu sistem tenaga listrik yang tidak seimbang adalah dengan menggunakan metode komponen simetri. Tiga phasor tidak seimbang dari sistem tiga fasa dapat diuraikan menjadi tiga phasor yang seimbang. Himpunan komponen seimbang tersebut adalah : (Stevenson, 1996 : 260)

1. Komponen urutan positif (*positif sequence components*)

Terdiri dari tiga phasor yang sama besarnya terpisah satu dengan yang lain dalam fasa sebesar 120° dan mempunyai urutan fasa yang berlawanan dengan phasor aslinya.

2. Komponen urutan negatif (*negatif sequence components*)

Terdiri dari tiga phasor yang sama besarnya terpisah satu dengan yang lainnya dalam fasa sebesar 120° dan mempunyai urutan fasa yang berlawanan dengan phasor aslinya.

3. Komponen urutan nol (*zero sequence components*)

Suatu hubungan tiga phasor yang sama besarnya satu sama lain dengan pergeseran sudut nol.

Urutan fasa komponen positif dari phasor tak seimbang itu adalah a, b, c dan urutan komponen negatifnya adalah a, c, b.

Jika phasor aslinya tegangan, maka tegangan tersebut dapat dinyatakan dengan V_a, V_b, V_c . ketiga himpunan komponen-komponen simetris dinyatakan dengan subskrip tambahan 1 untuk komponen urutan positif, 2 untuk komponen urutan negatif dan 0 untuk komponen urutan nol. Komponen-komponen urutan positif dari V_a, V_b, V_c adalah V_{a1}, V_{b1}, V_{c1} . Demikian pula komponen-komponen urutan negatif adalah V_{a2}, V_{b2}, V_{c2} . Sedangkan komponen-komponen urutan nol adalah V_{a0}, V_{b0}, V_{c0} . Jika komponen-komponen phasor tersebut adalah arus maka dinyatakan dengan I dengan suskrip pada tegangan.

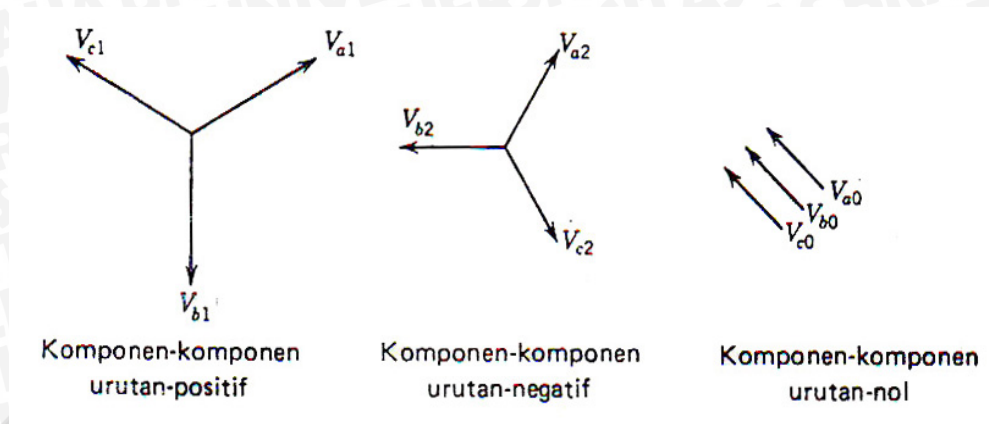
Karena setiap phasor tak seimbang yang asli adalah penjumlahan dari komponen-komponennya, phasa-phasa yang dinyatakan dalam suku-suku komponennya adalah :

$$V_a = V_{a1} + V_{a2} + V_{a0} \quad (2.14)$$

$$V_b = V_{b1} + V_{b2} + V_{b0} \quad (2.15)$$

$$V_c = V_{c1} + V_{c2} + V_{c0} \quad (2.16)$$

Ketiga phasor tersebut dapat digambarkan seperti pada gambar 2.10 berikut ini :



Gambar 2.10 Tiga himpunan fasor seimbang yang merupakan simetris dari tiga fasor tak-seimbang

Sumber : Stevenson, 1996 : 261

Dalam bilangan kompleks dikenal dengan operator-operator yang digunakan dalam perhitungan simetri adalah operator j dan a sebagai berikut:

1. Operator j

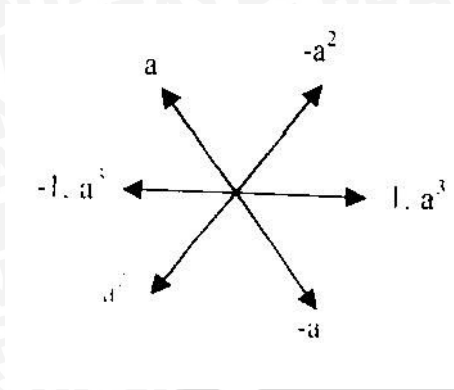
Dalam bilangan kompleks operator j mempunyai besaran = 1 dan sudut 90° ($1 \angle 90^\circ$) dan bila perputaran 180° dinyatakan dengan j^2 atau biasa dinyatakan -1 dan seterusnya.

2. Operator a

Operator ini biasa dikenal dalam pernyataan suatu bilangan kompleks untuk menyatakan suatu perputaran 120° , dengan arah perputaran berlawanan dengan arah jarum jam, berikut ini diperlihatkan diagram fasa sebagai perangkat operator a

Diagram fasor dari berbagai pangkat dari operator a dapat dilihat pada gambar

2.11 berikut ini :



Gambar 2.11 Diagram fasor berbagai pangkat dari operator a

Sumber : Stevenson, 1996 : 262

$$a = 1 \angle 120^\circ = 0,5 + j 0,86$$

$$a^2 = 1 \angle 240^\circ = -0,5 + j 0,86$$

$$a^3 = 1 \angle 360^\circ = 1 \angle 0^\circ = 1$$

Dengan berpedoman pada gambar 2.11, didapat hubungan: (Stevenson, 1994: 262)

$$\begin{aligned} V_{b1} &= a^2 V_{a1} & V_{c1} &= a V_{a1} \\ V_{b2} &= a V_{a2} & V_{c2} &= a^2 V_{a2} \\ V_{b0} &= V_{a0} & V_{c0} &= V_{a0} \end{aligned} \quad (2.17)$$

Dengan mengulang persamaan (2.14) dan memasukkan persamaan (2.17) ke dalam persamaan (2.15) dan (2.16) didapatkan hasil: (Stevenson, 1994: 262)

$$\begin{aligned} V_a &= V_{a1} + V_{a2} + V_{a0} \\ V_b &= a^2 V_{a1} + a V_{a2} + V_{a0} \\ V_c &= a V_{a1} + a^2 V_{a2} + V_{a0} \end{aligned}$$

Atau dalam bentuk matrik dapat ditulis :

$$\begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_{a0} \\ V_{a1} \\ V_{a2} \end{bmatrix} \quad (2.18)$$

Untuk memudahkan dimisalkan :

$$A = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \text{ dan invers dari matrik A adalah :}$$

$$A^{-1} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix}$$

Dengan mengalikan kedua sisi persamaan (2.18) dengan A^{-1} diperoleh :

$$\begin{bmatrix} V_{a0} \\ V_{a1} \\ V_{a2} \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{bmatrix}$$

Sehingga dapat ditulis dalam bentuk persamaan sebagai berikut (Stevenson, 1994: 263):

$$V_{a0} = 1/3 (V_a + V_b + V_c)$$

$$V_{a1} = 1/3 (V_a + aV_b + a^2V_c)$$

$$V_{a2} = 1/3 (V_a + a^2V_b + aV_c)$$

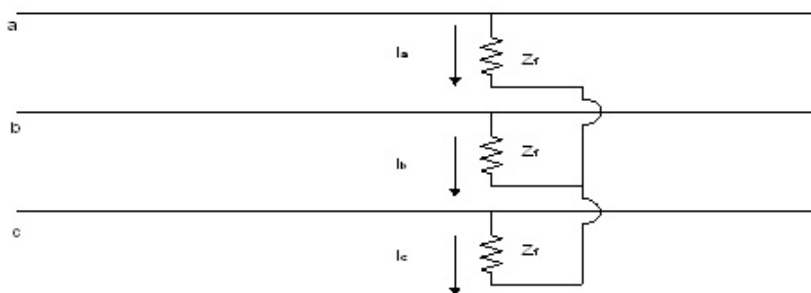
Karena beberapa persamaan di atas sangat mendasar, di bawah ini dituliskan ringkasan untuk arus-arus (Stevenson, 1994: 264) :

$$\begin{bmatrix} I_a \\ I_b \\ I_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_{a0} \\ I_{a1} \\ I_{a2} \end{bmatrix} \tag{2.19}$$

$$\begin{bmatrix} I_{a0} \\ I_{a1} \\ I_{a2} \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_a \\ I_b \\ I_c \end{bmatrix}$$

2.11.4. Gangguan Hubung Singkat Tiga Fasa

Gangguan terjadi seperti terlihat pada gambar 2.12 sebagai berikut :



Gambar 2.12 Hubung singkat tiga fasa

Sumber : Stevenson, 1996 : 310

Arus gangguan hubung singkat :

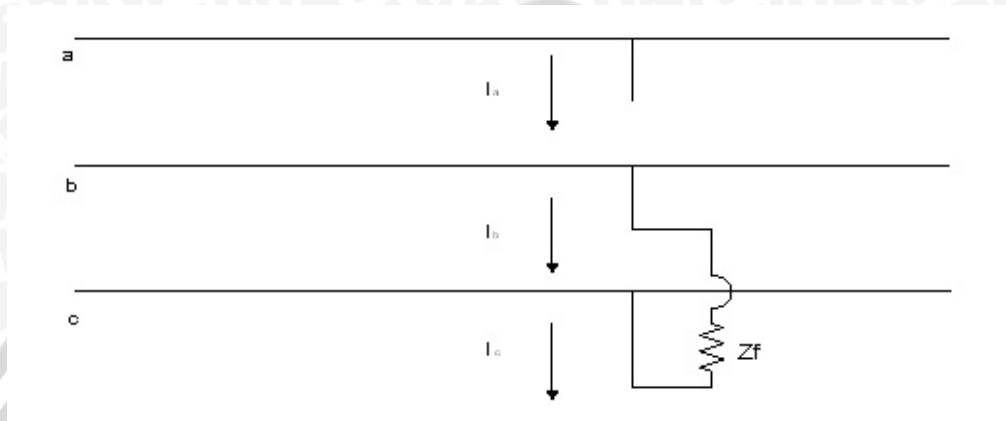
$$I_{a0} = I_{a2} = 0$$

$$I_{a1} = \frac{E_a}{Z_1 + Z_f}, \text{ untuk } Z_f = 0 \tag{2.20}$$

$$I_a = I_{a1} ; I_b = a^2 I_{a1} ; I_c = a I_{a1}$$

2.11.5. Gangguan Hubung Singkat Antar Fasa

Gangguan terjadi pada fasa b dan c seperti terlihat pada gambar 2.13 sebagai berikut:



Gambar 2.13 Hubung singkat dua fasa

Sumber : Stevenson,1996 : 310

Arus gangguan hubung singkat :

$$I_{a0} = 0$$

$$I_{a1} = -I_{a2} = \frac{E_a}{Z_1 + Z_2 + Z_f}, \text{ untuk } Z_f = 0 \quad (2.21)$$

$$I_b = -I_c = a^2 I_{a1} + a I_{a2} + I_{a0}$$

BAB III METODOLOGI

Untuk menyelesaikan rumusan masalah dan merealisasikan tujuan dari pembahasan dalam skripsi ini, maka diperlukan metodologi untuk menyelesaikan permasalahannya.

3.1 Pengumpulan Data

Pengambilan data untuk skripsi ini dilakukan di Gardu Induk Banaran Kediri. Pengambilan data berupa data diagram satu garis sistem kelistrikan, data rele arus lebih (arus nominal, rasio CT, *setting* arus dan waktu), data trafo daya nomor 5 (tegangan, daya, impedansi dan MVA hubung singkat) dan data pengaman yang berhubungan dengan koordinasi pengaman jaringan di Penyulang Ngadiluwih.

3.2 Prosedur Perhitungan dan Analisis

Langkah-langkah perhitungan dan analisis untuk memperoleh hasil akhir dari skripsi ini adalah sebagai berikut :

1. Menganalisis impedansi masing-masing komponen dalam satuan per-unit (pu).

$$\text{Impedansi Dasar } (\Omega) = \frac{(\text{Tegangan dasar, } kV_{LL})^2}{\text{Daya dasar, MVA 3 fasa}}$$

Harga per-Unit impedansi =

$$\frac{\text{Harga impedansi sebenarnya } (\Omega) \times \text{Daya dasar, MVA 3 fasa}}{(\text{Tegangan dasar, } kV_{LL})^2}$$

2. Menganalisis impedansi urutan berdasarkan diagram satu garis sistem kelistrikan.

Impedansi urutan yang dianalisis adalah impedansi urutan positif, impedansi urutan negatif, dan impedansi urutan nol. Analisis dilakukan dengan acuan titik gangguan yang sesuai dengan penempatan rele yang dikoordinasikan.

Impedansi urutan positif ($Z_1 = R_1 + jX_1$ (ohm/km), impedansi urutan negatif ($Z_2 = R_2 + jX_2$ (ohm/km), impedansi urutan nol (Z_0). Impedansi ini didapat dengan memberikan tegangan urutan positif tetapi arus yang mengalir adalah arus urutan nol.

Impedansi urutan positif dan urutan negatif dalam per-Unit (p.u)

$$Z_{1 \text{ saluran}} = Z_{2 \text{ saluran}} = \frac{Z_{1 \text{ saluran}}}{Z_{\text{dasar}}} \text{ (p.u)}$$

Impedansi urtan nol dalam satuan per-Unit (p.u)

$$Z_{0 \text{ saluran}} = \frac{Z_{0 \text{ saluran}}}{Z_{\text{dasar}}} \text{ (p.u)}$$

3. Menghitung arus gangguan hubung singkat.

Dengan menggunakan persamaan yang ada di tabel 2.2, maka dapat dihitung arus gangguan hubung singkat tiga fasa, hubung singkat antar fasa, arus hubung singkat dua fasa ke tanah dan arus hubung singkat satu fasa ke tanah.

Arus gangguan hubung singkat tiga fasa dihitung dengan menggunakan rumus

$$I_{hs} = \frac{E_a}{Z_1 + Z_f} \text{ (A)}$$

Arus gangguan hubung singkat antar fasa dihitung dengan menggunakan

$$\text{rumus } I_{hs} = \frac{E_a}{Z_1 + Z_2 + Z_f} \text{ (A)}$$

4. Menghitung tegangan hubung singkat

Dengan menggunakan rumus :

$$V_f = I_{hs3 \text{ fasa sekunder}} \times Z_t$$

Dengan :

V_f : Tegangan hubung singkat sisi sekunder CT (V)

$I_{hs3 \text{ fasa sekunder}}$: Arus hubung singkat (A)

Z_t : Impedansi total CT (Ω)

5. Menganalisis trafo arus yang digunakan di Gardu Induk Banaran Kediri

Agar proteksi bekerja dengan baik perbandingan antara tegangan lutut (*knee point*) dengan tegangan hubung singkat harus lebih dari 1

$$\frac{V_k}{V_f} > 1$$

Dengan :

V_k : tegangan lutut

V_f : tegangan hubung singkat sisi sekunder CT

6. Menganalisis *setting* (setelan) pada rele arus lebih

Setelan rele arus lebih yang dianalisis adalah setelan arus dan setelan waktu.

Setelan arus didapat dengan menghitung besaran arus saat gangguan hubung

singkat dan untuk setelan waktunya disesuaikan dengan konstanta α dan β sesuai dengan table 2.1 dari rele arus lebih yang digunakan.

Setelan arus pada rele arus lebih:

$$I_{\text{set primer}} = k \times I_{\text{nominal}}$$

Keterangan :

$I_{\text{set primer}}$: Penyetelan arus

k : Faktor keamanan, nilainya 1,05 – 1,2

I_{nominal} : Arus nominal yang mengalir pada beban

Setting waktu pada rele arus lebih :

$$t(s) = \frac{k \times \beta}{\left(\frac{I_{\text{hs}}}{I_{\text{set primer}}} \right)^\alpha - 1}$$

keterangan :

$t(s)$: Waktu kerja rele (detik)

k : Pengali waktu

I_{hs} : Arus hubung singkat (A)

$I_{\text{set primer}}$: Arus *setting* (A)

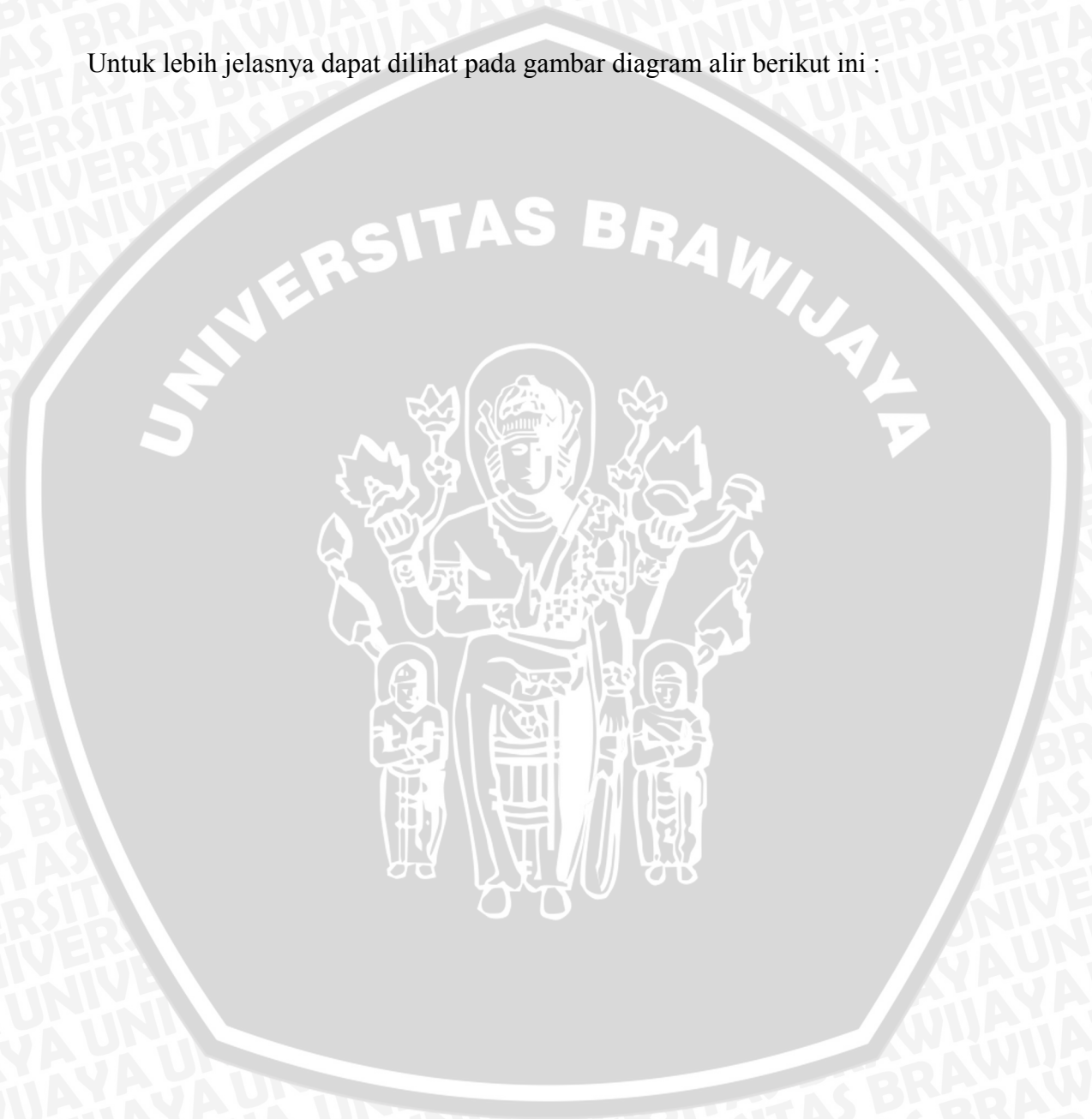
Nilai α dan β tergantung dari jenis kurva arusnya besarnya nilai α dan β dapat dilihat dari table 2.1

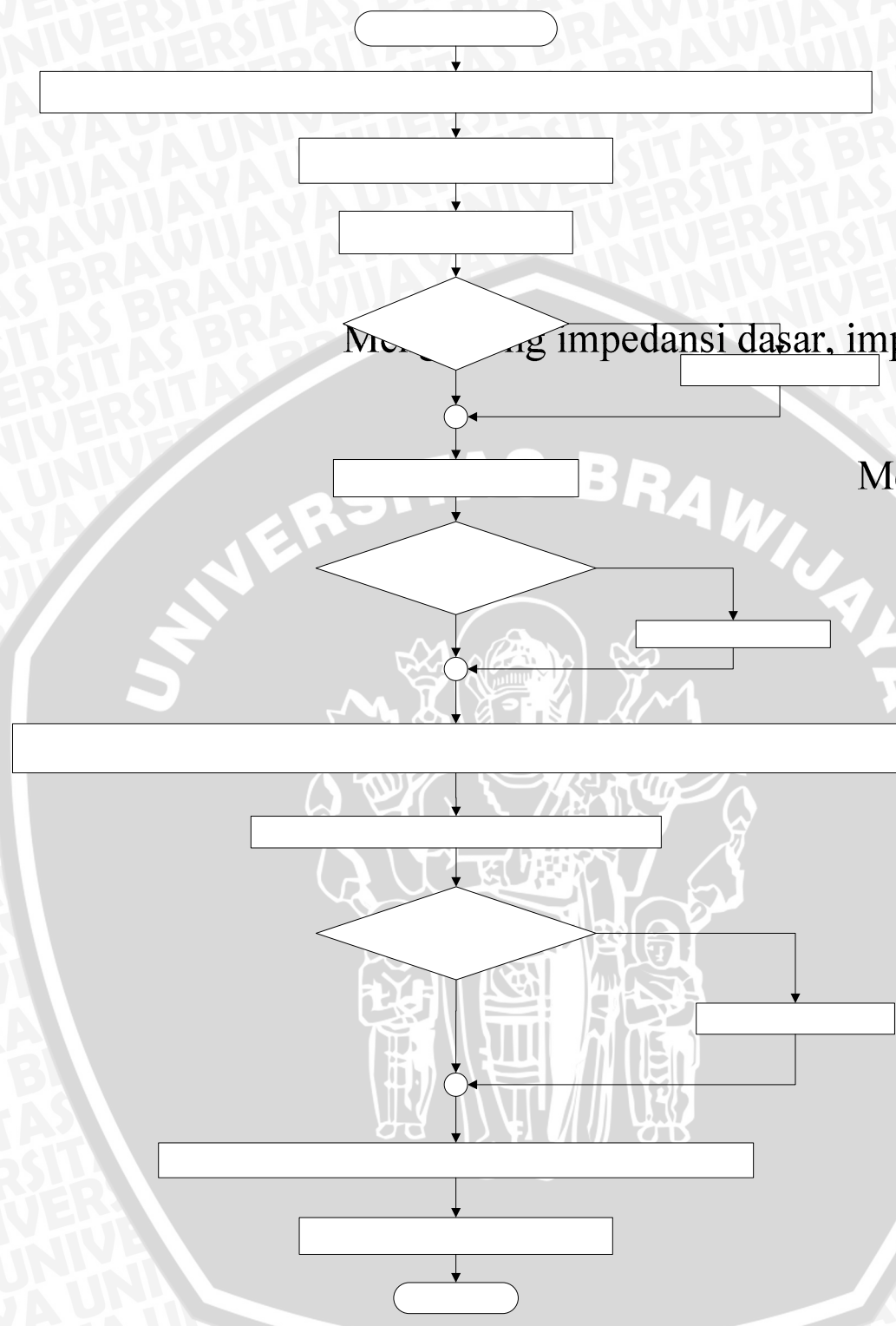
Analisis *setting* rele arus lebih berdasarkan setelan rele arus lebih hasil perhitungan dengan setelan rele arus lebih yang digunakan di Gardu Induk Banaran-kediri.

7. Dari hasil analisis akan diketahui *setting* rele pada Gardu Induk Banaran Kediri apakah sudah sesuai atau belum, jika *setting* rele yang dipakai di Gardu Induk Banaran Kediri memerlukan *setting* ulang maka dilakukan *setting* ulang, dari analisis trafo arus akan diketahui sistem proteksi bekerja dengan baik atau tidak, dengan menghitung perbandingan antara tegangan lutut (*knee point*) dengan tegangan hubung singkat sisi sekunder trafo arus yang nilainya harus lebih dari 1.
8. Menganalisis koordinasi antara rele pada sisi sekunder trafo daya dengan rele di penyulang Ngadiluwih.
9. Menganalisis rating pengaman jaringan distribusi primer 20 kV

- repository.ub.ac.id
10. Menganalisis koordinasi pengaman jaringan distribusi primer 20 kV yaitu koordinasi antara Fuse Cut-Out dengan OCR
 11. Membuat kesimpulan dari hasil analisis data untuk memperoleh besar arus gangguan hubung singkat, *setting* rele arus lebih, koordinasi pengaman jaringan distribusi primer serta memberikan saran-saran yang bermanfaat

Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar diagram alir berikut ini :





Mula

Mengukur impedansi dasar, impedansi saluran

Menghitung arus

Menganalisis

Apakah sudah dengan...

ya

Menganalisis

Apakah sudah dengan ke...

ya

Gambar 3.1 Diagram alir metodologi pembahasan skripsi

Sumber : Perencanaan

Menganalisis koordinasi antara rele di sisi sekunder trafo



3.3 Membuat Kesimpulan dan Saran

Membuat kesimpulan dari hasil analisis data untuk memperoleh besar arus gangguan hubung singkat, *setting* rele arus lebih, koordinasi pengaman jaringan distribusi primer serta memberikan saran-saran yang bermanfaat



BAB IV

ANALISIS PERHITUNGAN, *SETTING* DAN KOORDINASI PENGAMAN

4.1 Gardu Induk Banaran Kediri

Koordinasi antar pengaman didalam suatu sistem tenaga merupakan hal yang penting sebab dengan adanya koordinasi antar pengaman maka daerah pemadaman dapat dipersempit.

Didalam bab ini membahas *setting* dan koordinasi pengaman pada salah satu penyulang dari Gardu Induk Banaran Kediri. Sebagai studi kasus dipergunakan penyulang Ngadiluwih. Pengaman yang terdapat pada penyulang ini yaitu LBS (*Load Break Swicth*), VS (*Vaccum Switch*) dan pelebur yang merupakan pengaman pada saluran cabang.

Untuk mendapatkan *setting* yang tepat dan terkoordinasi dengan baik, maka perlu menghitung dulu besarnya arus gangguan hubung singkat yang mungkin terjadi.

4.2 Data Gardu Induk Banaran Kediri

Penyulang Ngadiluwih dipasok dari tegangan menengah 20 kV dari Gardu Induk Banaran. Data dari Gardu Induk Banaran adalah :

1. Data Transformator

Tipe	: SALOCR
Merk	: TELK
Tegangan	: 150/20 kV
Daya	: 60 MVA
Impedansi	: 12,3 %
Rasio CT	: 2000/5 A
MVA Hubung Singkat	: 2580 MVA

2. Data Pemutus Tenaga

a. Sisi sekunder trafo

Merk	: GOLDSTAR
Jenis	: VCB
Tegangan nominal	: 25,8 kV
Arus nominal	: 2 kA
Arus penutupan	: 25 kA

Waktu hubung singkat : 3 detik
Waktu buka : 0,04 detik
Waktu tutup : 5 detik

b. Sisi penyulang

Merk : GOLDSTAR
Jenis : VCB
Tegangan nominal : 25,8 kV
Arus nominal : 630 A
Arus penutupan : 25 kA
Waktu hubung singkat : 3 detik
Waktu buka : 0,04 detik
Waktu tutup : 5 detik

3. Data Rele Arus Lebih

a. Sisi Primer Trafo (p51)

Tipe : MCGGG2D
Frekuensi : 50 Hz
Rasio CT : 400/5 A
Setting Arus ($I>$) : 280 A
Setting Waktu ($t>$) : TD 0,35
Rating : 5.In A

b. Sisi sekunder Trafo (s51)

Setting Arus ($I>$) : 2000 A
Setting Waktu ($t>$) : TD 0,25
Rasio CT : 2000/5 A
Rating : 5.In A

c. Sisi penyulang (51)

Tipe : SPAJ
Setting Arus ($I>$) : 300 A
Setting Waktu ($t>$) : TD 0,075
Rasio CT : 400/5 A

4.3 Perhitungan Impedansi

Perhitungan impedansi diambil dari sisi trafo tegangan rendah, dengan persamaan 2.9 sebagai berikut :

$$\text{Impedansi Dasar } (\Omega) = \frac{(\text{Tegangan dasar, kV}_{LL})^2}{\text{Daya dasar, MVA 3 fasa}} = \frac{(20)^2}{60} = 6,667 \Omega$$

4.3.1 Impedansi Sumber Pengganti

Jaringan distribusi yang dipasang dari jaringan tegangan tinggi yang menggunakan transformator daya untuk menentukan impedansi sumber bila diketahui MVA hubung singkat sisi tegangan tinggi maka dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 2.13 sebagai berikut :

$$Z_s (\text{pu}) = \frac{\text{MVA}_{\text{dasar}}}{\text{MVA}_{\text{hubung singkat}}}$$

Dengan :

$$\text{MVA}_{\text{dasar}} : 60 \text{ MVA}$$

$$\text{MVA}_{\text{hubung singkat}} : 2580 \text{ MVA}$$

$$Z_s (\text{pu}) = \frac{60}{2580} = j 0,02325 \text{ pu}$$

4.3.2 Impedansi Transformator

Diperoleh dari data pada transformator terpasang dengan impedansi 12,3 %

$$Z_{1tr} = Z_{2tr} = j 0,123 \text{ pu}$$

Dengan :

Z_{1tr} : impedansi urutan positif trafo

Z_{2tr} : impedansi urutan negatif trafo

Sedangkan impedansi urutan nol trafo (Z_{0tr}) berdasarkan (PLN, Dinas Proteksi :6) adalah $Z_{0tr} = 10 \times Z_{1tr}$

$$Z_{0tr} = 10 \times j 0,123 = j 1,23 \text{ pu}$$

Karena trafo tersebut hubungannya Y-Y dengan kumparan sekunder ditanahkan dengan tahanan tinggi $R_n = 500 \Omega$, untuk mendapatkan harga per Unit dilakukan perhitungan sesuai dengan persamaan 2.7 sebagai berikut :

$$Z_n = \frac{R_n}{Z_{\text{dasar}}} = \frac{500}{6,667} = 74,996 \text{ pu}$$

4.3.3 Impedansi Saluran

Impedansi urutan dari saluran untuk penghantar jenis AAAC menurut luas penampangnya seperti tercantum pada tabel 4.1 berikut ini :

Tabel 4.1 Impedasi saluran untuk penghantar AAAC

Luas Penampang (mm ²)	Z ₁ dan Z ₂ (Ω/km)	Z ₀ (Ω/km)
70	0,4068 + j 0,3572	0,6088 + j 1,6447
110	0,2932 + j 0,3400	0,4421 + j 1,6270
150	0,2162 + j 0,3305	0,3631 + j 1,6180

Sumber : SPLN, 1985; 64

Pada perhitungan ini, diambil contoh untuk gangguan pada titik A, seperti pada lampiran 1 sebagai berikut:

AAAC 3 × 150 mm² dengan panjang saluran 0,2 km

$$Z_{1 \text{ saluran}} = Z_{2 \text{ saluran}} = 0,2 \times (0,2162 + j 0,3305) \\ = 0,0790 \angle 56,81 \Omega$$

Untuk mendapatkan satuan per Unit dilakukan perhitungan sesuai dengan persamaan 2.7 sebagai berikut :

$$Z_{1 \text{ saluran}} = Z_{2 \text{ saluran}} = \frac{Z_{1 \text{ saluran}}}{Z_{\text{dasar}}} = \frac{0,0790 \angle 56,81}{6,667} \\ = 0,0065 + j 0,0099 \text{ pu}$$

$$Z_{0 \text{ saluran}} = 0,2 \times (0,3631 + j 1,6180) \\ = 0,3316 \angle 77,35 \Omega$$

Untuk mendapatkan satuan per Unit dilakukan perhitungan sesuai dengan persamaan 2.7 sebagai berikut :

$$Z_{0 \text{ saluran}} = \frac{Z_{0 \text{ saluran}}}{Z_{\text{dasar}}} = \frac{0,3316 \angle 77,35}{6,667} \\ = 0,0109 + j 0,0485 \text{ pu}$$

Dari gambar Penyulang Ngadiluwih pada lampiran 1, dapat diketahui letak titik gangguannya. Dan dengan cara dan perhitungan yang sama untuk titik-titik gangguan didapatkan hasil impedansi seperti tabel 4.2 berikut ini :

Tabel 4.2 Impedansi saluran pada titik-titik gangguan

Titik gangguan	Panjang saluran (km)			$Z_{1saluran}$ dan	$Z_{0saluran}$ (p.u)
	AAAC			$Z_{2saluran}$ (p.u)	
	150 mm ²	110 mm ²	70 mm ²		
A	0,2	0	0	0,0065 + j 0,0099	0,0109 + j 0,0485
B	5,803	0	0	0,1882 + j 0,2877	0,3160 + j 1,4083
C	5,803	1,287	0	0,2448 + j 0,3533	0,4012 + j 1,7224
D	5,803	3,235	0	0,3304 + j 0,4526	0,5301 + j 2,1978
E	5,803	3,083	0	0,3238 + j 0,4449	0,5201 + j 2,1607
F	5,803	5,031	0	0,4094 + j 0,5442	0,6489 + j 2,6361
G	5,803	3,290	0	0,3329 + j 0,4554	0,5338 + j 2,2112
H	5,803	5,223	0	0,4179 + j 0,5540	0,6617 + j 2,6829
I	5,803	6,629	0	0,4797 + j 0,6257	0,7547 + j 3,0260
J	5,803	11,209	0	0,6811 + j 0,8593	1,0578 + j 4,1437
K	5,803	8,325	0	0,5543 + j 0,7122	0,8669 + j 3,4399
L	5,803	10,372	0	0,6443 + j 0,8166	1,0024 + j 3,9395
M	5,803	8,928	0	0,5808 + j 0,7429	0,9068 + j 3,5871
N	5,803	11,172	0	0,6795 + j 0,8574	1,0554 + j 4,1347
O	5,803	9,880	0	0,6227 + j 0,7915	0,9697 + j 3,8194
P	5,803	9,880	0,925	0,6866 + j 0,8411	1,0543 + j 4,0476
Q	5,803	10,59	0	0,6539 + j 0,8277	1,0168 + j 3,9927

Sumber : Hasil analisis

4.3.4 Impedansi Total

Dalam perhitungan ini dicari impedansi urutan positif, negatif dan nol yang terdiri dari impedansi sumber pengganti, impedansi trafo dan impedansi saluran. Untuk perhitungan impedansi total urutan positif dan negatif menggunakan persamaan 2.11 sebagai berikut:

$$Z_{1\text{tot}} = Z_{1s} + Z_{1\text{tr}} + Z_{1\text{sal}}$$

$$Z_{1\text{tot}} = j 0,02325 + j 0,123 + 0,0065 + j 0,0099$$

$$Z_{1\text{tot}} = 0,0065 + j 0,1562$$

$$Z_{1\text{tot}} = 0,1563 \angle 87,62^\circ \text{ pu}$$

Untuk perhitungan impedansi total urutan nol menggunakan persamaan 2.12 sebagai berikut:

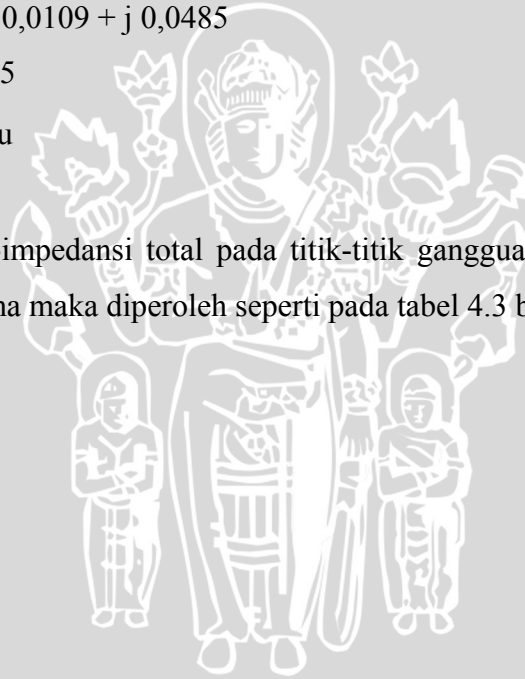
$$Z_{0\text{tot}} = Z_{0\text{tr}} + 3 \cdot Z_n + Z_{0\text{sal}}$$

$$Z_{0\text{tot}} = j 1,23 + 224,988 + 0,0109 + j 0,0485$$

$$Z_{0\text{tot}} = 224,9989 + j 1,2785$$

$$Z_{0\text{tot}} = 225,0025 \angle 0,33^\circ \text{ pu}$$

Untuk impedansi-impedansi total pada titik-titik gangguan, maka dengan cara dan perhitungan yang sama maka diperoleh seperti pada tabel 4.3 berikut ini :



Tabel 4.3 Impedansi total pada titik-titik gangguan

Titik gangguan	$Z_{1tot} = Z_{2tot}$ (pu)	Z_{0tot} (pu)
A	0,1563 $\angle 87,62^\circ$	225,0025 $\angle 0,33^\circ$
B	0,4730 $\angle 66,55^\circ$	225,3195 $\angle 0,67^\circ$
C	0,5563 $\angle 63,90^\circ$	225,4085 $\angle 0,75^\circ$
D	0,6840 $\angle 61,11^\circ$	225,5442 $\angle 0,87^\circ$
E	0,6740 $\angle 61,29^\circ$	225,5336 $\angle 0,86^\circ$
F	0,8028 $\angle 59,33^\circ$	225,6701 $\angle 0,98^\circ$
G	0,6876 $\angle 61,05^\circ$	225,5480 $\angle 0,87^\circ$
H	0,8155 $\angle 59,17^\circ$	225,6836 $\angle 0,99^\circ$
I	0,9089 $\angle 58,14^\circ$	225,7828 $\angle 1,08^\circ$
J	1,2145 $\angle 55,89^\circ$	226,1097 $\angle 1,36^\circ$
K	1,0219 $\angle 57,15^\circ$	225,9032 $\angle 1,18^\circ$
L	1,1586 $\angle 56,21^\circ$	226,0495 $\angle 1,31^\circ$
M	1,0621 $\angle 56,85^\circ$	225,9462 $\angle 1,22^\circ$
N	1,2120 $\angle 55,90^\circ$	226,1070 $\angle 1,36^\circ$
O	1,1257 $\angle 56,42^\circ$	226,0143 $\angle 1,28^\circ$
P	1,2026 $\angle 55,18^\circ$	226,1039 $\angle 1,34^\circ$
Q	1,1731 $\angle 56,12^\circ$	226,0652 $\angle 1,32^\circ$

Sumber : Hasil perhitungan

4.3.5 Impedansi Gangguan (Z_f)

Karena impedansi gangguan tidak dapat ditentukan dengan pasti maka penerapan dilapangan diasumsikan sesuai dengan SPLN untuk arus hubung singkat maksimum digunakan $Z_f = 0 \Omega$ dan untuk arus hubung singkat minimum digunakan $Z_f = 35 \Omega$ (SPLN, 1985 : 61)

4.4 Perhitungan Arus

4.4.1 Perhitungan Arus Dasar

Arus Dasar dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 2.8 sebagai berikut :

$$\text{Arus dasar (A)} = \frac{\text{Daya dasar, kVA 3 fasa}}{\text{Tegangan dasar, kV}_{LL} \sqrt{3}}$$

$$\text{Arus dasar} = \frac{60.000}{\sqrt{3} \times 20} = 1.732 \text{ A}$$

4.4.2 Perhitungan Arus Hubung Singkat

Dalam menganalisis koordinasi pengaman pada suatu penyulang dapat dihitung arus hubung singkat pada titik-titik yang telah ditentukan dan didukung dari data-data peralatan yang lainnya

4.4.2.1 Arus Hubung Singkat Tiga Fasa

Untuk hubung singkat tiga fasa merupakan pembangkit arus hubung singkat maksimum dengan $Z_f = 0 \Omega$. Perhitungan komponen urutan positif dilakukan dengan menggunakan persamaan 2.20 sebagai berikut :

$$I_{a1} = \frac{E_a}{Z_1} = \frac{1 \angle 0^\circ}{0,1563 \angle 87,62^\circ} = 6,398 \angle -87,62^\circ \text{ pu}$$

$$I_{a0} = I_{a2} = 0$$

Untuk perhitungan urutan fasa menggunakan persamaan 2.19 sebagai berikut :

$$\begin{bmatrix} I_a \\ I_b \\ I_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} 0 \\ 6,398 \angle -87,62^\circ \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$\begin{aligned} I_a &= I_{a0} + I_{a1} + I_{a2} \\ &= 0 + 6,398 \angle -87,62^\circ + 0 = 6,398 \angle -87,62^\circ \text{ pu} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_b &= I_{a0} + a^2 \cdot I_{a1} + a \cdot I_{a2} \\ &= 0 + 1 \angle 240^\circ \cdot 6,398 \angle -87,62^\circ + 0 = 6,398 \angle 152,38^\circ \text{ pu} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_c &= I_{a0} + a \cdot I_{a1} + a^2 \cdot I_{a2} \\ &= 0 + 1 \angle 120^\circ \cdot 6,398 \angle -87,62^\circ + 0 = 6,398 \angle 32,38^\circ \text{ pu} \end{aligned}$$

Oleh karena perhitungan diatas masih dalam satuan per Unit maka Arus hubung singkat simetri sebenarnya dapat hitung dengan menggunakan persamaan 2.7 sebagai berikut :

$$\text{Harga sebenarnya} = \text{harga per Unit} \times I_{\text{dasar}}$$

$$I_a = 6,398 \angle -87,62^\circ \times 1.732 \text{ A} = 11.081,25 \angle -87,62^\circ \text{ A}$$

$$I_b = 6,398 \angle 152,38^\circ \times 1.732 \text{ A} = 11.081,25 \angle 152,38^\circ \text{ A}$$

$$I_c = 6,398 \angle 32,38^\circ \times 1.732 A = 11.081,25 \angle 32,38^\circ A$$

Dari perhitungan diatas maka dapat ditentukan bahwa arus gangguan hubung singkat tiga fasa simetri maksimum adalah $I_f = 11.081,25 A$

Untuk arus hubung singkat tiga fasa minimum $Z_f = 35 \Omega$, impedansi gangguan dengan satuan ohm diubah kedalam satuan pu dengan menggunakan persamaan 2.10 sebagai berikut :

$$Z_f = \frac{Z_f}{Z_{dasar}} = \frac{35}{6,667} = 5,25 \text{ pu}$$

Perhitungan komponen urutan positif dilakukan dengan menggunakan persamaan 2.20 sebagai berikut :

$$I_{a1} = \frac{E_a}{Z_1 + Z_f} = \frac{1 \angle 0^\circ}{0,0065 + j0,1562 + 5,25} = \frac{1 \angle 0^\circ}{5,2565 + j0,1562}$$

$$= \frac{1 \angle 0^\circ}{5,2588 \angle 1,70^\circ} = 0,1902 \angle -1,70^\circ \text{ pu}$$

$$I_{a0} = I_{a2} = 0$$

Untuk perhitungan urutan fasa menggunakan persamaan 2.19 sebagai berikut :

$$\begin{bmatrix} I_a \\ I_b \\ I_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} 0 \\ 0,1902 \angle -1,70^\circ \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$I_a = I_{a0} + I_{a1} + I_{a2}$$

$$= 0 + 0,1902 \angle -1,70^\circ + 0 = 0,1902 \angle -1,70^\circ \text{ pu}$$

$$I_b = I_{a0} + a^2 \cdot I_{a1} + a \cdot I_{a2}$$

$$= 0 + 1 \angle 240^\circ \cdot 0,1902 \angle -1,70^\circ + 0 = 0,1902 \angle 238,3^\circ \text{ pu}$$

$$I_c = I_{a0} + a \cdot I_{a1} + a^2 \cdot I_{a2}$$

$$= 0 + 1 \angle 120^\circ \cdot 0,1902 \angle -1,70^\circ + 0 = 0,1902 \angle 118,3^\circ \text{ pu}$$

Oleh karena perhitungan diatas masih dalam satuan per Unit maka Arus hubung singkat simetri sebenarnya dapat hitung dengan menggunakan persamaan 2.7 sebagai berikut :

$$\text{Harga sebenarnya} = \text{harga per Unit} \times I_{dasar}$$

$$I_a = 0,1902 \angle -1,70^\circ \times 1.732 A = 329,43 \angle -1,70^\circ A$$

$$I_b = 0,1902 \angle 238,3^\circ \times 1.732 A = 329,43 \angle 238,3^\circ A$$

$$I_c = 0,1902 \angle 118,3^\circ \times 1.732 A = 329,43 \angle 118,3^\circ A$$

Dari perhitungan diatas maka dapat ditentukan bahwa arus gangguan hubung singkat tiga fasa simetri minimum adalah $I_f = 329,43 A$

4.4.2.2 Arus Hubung Singkat Dua Fasa

Untuk hubung singkat dua fasa merupakan pembangkit arus hubung singkat minimum dengan $Z_f = 0 \Omega$. Perhitungan komponen urutan positif dan negatif dilakukan dengan menggunakan persamaan 2.21 sebagai berikut :

$$I_{a1} = -I_{a2} = \frac{E_a}{Z_1 + Z_2} = \frac{1 \angle 0^\circ}{(0,1563 \angle 87,62^\circ) \times 2} = \frac{1 \angle 0^\circ}{0,3126 \angle 87,62^\circ}$$

$$= 3,1990 \angle -87,62^\circ \text{ pu}$$

$$I_{a2} = -I_{a1} = -(3,1990 \angle -87,62^\circ) = 3,1990 \angle 92,38^\circ \text{ pu}$$

$$I_{a0} = 0$$

Untuk perhitungan urutan fasa menggunakan persamaan 2.19 sebagai berikut :

$$\begin{bmatrix} I_a \\ I_b \\ I_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} 0 \\ 3,1990 \angle -87,62^\circ \\ 3,1990 \angle 92,38^\circ \end{bmatrix}$$

$$I_a = I_{a0} + I_{a1} + I_{a2}$$

$$= 0 + 3,1990 \angle -87,62^\circ + 3,1990 \angle 92,38^\circ = 0$$

$$I_b = I_{a0} + a^2 \cdot I_{a1} + a \cdot I_{a2}$$

$$= 0 + 1 \angle 240^\circ \cdot 3,1990 \angle -87,62^\circ + 1 \angle 120^\circ \cdot 3,1990 \angle 92,38^\circ$$

$$= 3,1990 \angle 152,38^\circ + 3,1990 \angle 212,38^\circ$$

$$= -2,8344 + j 1,4831 - 2,7016 - j 1,7132$$

$$= -5,5360 - j 0,2301 = 5,5408 \angle -177,62^\circ \text{ pu}$$

$$I_c = I_{a0} + a \cdot I_{a1} + a^2 \cdot I_{a2}$$

$$= 0 + 1 \angle 120^\circ \cdot 3,1990 \angle -87,62^\circ + 1 \angle 240^\circ \cdot 3,1990 \angle 92,38^\circ$$

$$= 3,1990 \angle 32,38^\circ + 3,1990 \angle 332,38^\circ$$

$$= 2,7016 + j 1,7132 + 2,8344 - j 1,4831$$

$$= 5,5360 + j 0,2301 = 5,5408 \angle 2,38^\circ \text{ pu}$$

Oleh karena perhitungan diatas masih dalam satuan per Unit maka Arus hubung singkat simetri sebenarnya dapat hitung dengan menggunakan persamaan 2.7 sebagai berikut :

$$\text{Harga sebenarnya} = \text{harga per Unit} \times I_{\text{dasar}}$$

$$I_a = 0$$

$$I_b = 5,5408 \angle -177,62^\circ \times 1.732 \text{ A} = 9.596,65 \angle -177,62^\circ \text{ A}$$

$$I_c = 5,5408 \angle 2,38^\circ \times 1.732 \text{ A} = 9.596,65 \angle 2,38^\circ \text{ A}$$

Dari perhitungan diatas maka dapat ditentukan bahwa arus gangguan hubung singkat dua fasa minimum adalah $I_f = 9.596,65 \text{ A}$

Untuk arus hubung singkat antar fasa minimum $Z_f = 35 \Omega$, impedansi gangguan dengan satuan ohm diubah kedalam satuan pu dengan menggunakan persamaan 2.10 sebagai berikut :

$$Z_f = \frac{Z_f}{Z_{\text{dasar}}} = \frac{35}{6,667} = 5,25 \text{ pu}$$

Perhitungan komponen urutan positif dilakukan dengan menggunakan persamaan 2.21 sebagai berikut :

$$\begin{aligned} I_{a1} = -I_{a2} &= \frac{E_a}{Z_1 + Z_2 + Z_f} = \frac{1 \angle 0^\circ}{0,013 + j0,3124 + 5,25} \\ &= \frac{1 \angle 0^\circ}{5,263 + j0,3124} = \frac{1 \angle 0^\circ}{5,2723 \angle 3,40^\circ} = 0,1897 \angle -3,40^\circ \text{ pu} \end{aligned}$$

$$I_{a2} = -I_{a1} = -(0,1897 \angle -3,40^\circ) = 0,1897 \angle 176,60^\circ \text{ pu}$$

$$I_{a0} = 0$$

Untuk perhitungan urutan fasa menggunakan persamaan 2.19 sebagai berikut :

$$\begin{bmatrix} I_a \\ I_b \\ I_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} 0 \\ 0,1897 \angle -3,40^\circ \\ 0,1897 \angle 176,60^\circ \end{bmatrix}$$

$$\begin{aligned} I_a &= I_{a0} + I_{a1} + I_{a2} \\ &= 0 + 0,1897 \angle -3,40^\circ + 0,1897 \angle 176,60^\circ = 0 \end{aligned}$$

$$I_b = I_{a0} + a^2 \cdot I_{a1} + a \cdot I_{a2}$$

$$= 0 + 1 \angle 240^\circ \cdot 0,1897 \angle -3,40^\circ + 1 \angle 120^\circ \cdot 0,1897 \angle 176,60^\circ$$

$$= 0,1897 \angle 236,60^\circ + 0,1897 \angle 296,60^\circ$$

$$= -0,1044 - j 0,1584 + 0,0849 - j 0,1696$$

$$= -0,0195 - j 0,328 = 0,3286 \angle -93,40^\circ \text{ pu}$$

$$I_c = I_{a0} + a \cdot I_{a1} + a^2 \cdot I_{a2}$$

$$= 0 + 1 \angle 120^\circ \cdot 0,1897 \angle -3,40^\circ + 1 \angle 240^\circ \cdot 0,1897 \angle 176,60^\circ$$

$$= 0,1897 \angle 116,6^\circ + 0,1897 \angle 416,6^\circ$$

$$= -0,0849 + j 0,1696 + 0,1044 + j 0,1584$$

$$= 0,0195 + j 0,328 = 0,3286 \angle 86,60^\circ \text{ pu}$$

Oleh karena perhitungan diatas masih dalam satuan per Unit maka Arus hubung singkat simetri sebenarnya dapat hitung dengan menggunakan persamaan 2.7 sebagai berikut :

$$\text{Harga sebenarnya} = \text{harga per Unit} \times I_{\text{dasar}}$$

$$I_a = 0$$

$$I_b = 0,3286 \angle -93,40^\circ \times 1.732 \text{ A} = 569,14 \angle -93,40^\circ \text{ A}$$

$$I_c = 0,3286 \angle 86,60^\circ \times 1.732 \text{ A} = 569,14 \angle 86,60^\circ \text{ A}$$

Dari perhitungan diatas maka dapat ditentukan bahwa arus gangguan hubung singkat dua fasa minimum adalah $I_f = 569,14 \text{ A}$

Untuk titik-titik gangguan yang sesuai dengan gambar pada lampiran 1, dapat diperoleh dengan cara dan perhitungan yang sama sehingga didapatkan hasil seperti pada tabel 4.4 berikut ini :

Tabel 4.4 Hasil perhitungan arus hubung singkat simetris pada Penyulang Ngadiluwih- Kediri

Titik gangguan	Arus Gangguan (A)			
	3 fasa		2 fasa	
	Mak	min	mak	min
A	11.081,25	329,43	9.596,65	569,14
B	3.661,73	317,48	3.171,15	531,61
C	3.113,43	313,91	2.696,31	520,70
D	2.532,16	308,60	2.192,92	504,95
E	2.569,73	309,01	2.225,45	506,13
F	2.157,45	303,79	1.868,41	491,15
G	2.518,91	308,45	2.181,44	504,49
H	2.123,85	303,27	1.839,31	489,70
I	1.905,60	299,58	1.650,30	479,43
J	1.426,10	287,91	1.235,04	448,54
K	1.694,88	295,19	1.467,81	467,55
L	1.494,91	289,99	1.294,63	453,90
M	1.630,73	293,65	1.412,26	463,45
N	1.429,04	288,00	1.237,59	448,77
O	1.538,60	291,23	1.332,47	457,11
P	1.440,21	287,79	1.247,26	447,98
Q	1.476,43	289,45	1.278,63	452,49

Sumber : Hasil analisis

4.5 Analisis Trafo Arus

Hasil pengukuran di Gardu Induk Banaran Kediri :

$$V_s = 5,24 \text{ V}$$

$$I_s = 5 \text{ A}$$

Beban yang terhubung ke CT = 1,048 Ω

Rd CT = 0,04 Ω

Beban total sisi sekunder CT = 1,088 Ω

$V_k = 135 \text{ V}$ (hasil pengukuran CT di Gardu Induk Banaran)

Dari hasil perhitungan $I_{\text{hs3fasa primer}} = 11.081,25 \text{ A}$ untuk mendapatkan nilai arus hubung singkat tiga fasa sekunder dilakukan perhitungan sesuai dengan persamaan 2.5 sebagai berikut :

$$I_{\text{hs3fasa sekunder}} = \frac{I_{\text{hs3fasa primer}}}{\text{rasio CT}}$$

$$I_{\text{hs3fasa sekunder}} = \frac{11.081,25}{400/5} = \frac{11.081,25}{80} = 138,52 \text{ A}$$

Untuk mendapatkan nilai tegangan hubung singkat sekunder trafo arus dilakukan perhitungan sesuai dengan persamaan 2.6 sebagai berikut :

$$V_f = I_{\text{hs3fasa sekunder}} \times \text{beban total sisi sekunder CT}$$

$$V_f = 110,798 \times 1,088 = 150,71 \text{ V}$$

$$V_k = 135 \text{ V}$$

Agar proteksi bekerja dengan baik $\frac{V_k}{V_f} > 1$

Dari hasil perhitungan diperoleh :

$$\frac{V_k}{V_f} = \frac{135}{150,71} = 0,896$$

$\frac{V_k}{V_f} < 1$, sehingga proteksi bekerjanya belum baik.

Tipe CT yang terpasang di sisi sekunder trafo daya nomor 5, yaitu :

15 VA 5P 10

keterangan :

15 VA : rating beban CT sebesar 15 VA

5P : kelas proteksi P, dengan kesalahan 5% pada rating batas akurasi

10 : *accuracy limit factor*, batas akurasi CT sampai dengan 10 kali rating arus

Rasio CT di sisi sekunder trafo daya nomor 5 adalah $2000/5$ ampere, jadi batas akurasi dari trafo arus sebesar $10 \times 2.000 = 20.000 \text{ A}$, dengan arus gangguan yang terjadi sebesar $11.081,25 \text{ A}$ masih dibawah batas akurasi CT maka CT dapat mengukur dengan akurat sehingga rele pada sisi sekunder trafo daya bekerja dengan baik .

Tipe CT yang terpasang di penyulang Ngadiluwih, yaitu : 15 VA 5P 10, dengan rasio CT penyulang $400/5$ maka batas akurasi dari trafo arus sebesar $10 \times 400 = 4.000 \text{ A}$, dengan arus gangguan yang terjadi sebesar $11.081,25 \text{ A}$ melebihi batas akurasi CT

maka CT tidak dapat mengukur dengan akurat sehingga rele penyulang bekerjanya tidak tepat pada setting waktu yang diberikan, sedangkan CT pada sisi sekunder trafo daya bekerja dengan baik. Hal inilah yang menyebabkan trip bersama antara pengaman di penyulang dengan pengaman di sisi sekunder trafo daya.

Bila batas akurasi dari CT penyulang ditingkatkan sehingga tipe CT penyulang menjadi 15VA 5P 30 (dilihat pada tabel 2.2), maka batas akurasi dari trafo arus sebesar $30 \times 400 = 12.000$ A dengan arus gangguan sebesar 11.081,25 A, masih dibawah batas akurasi CT maka CT dapat mengukur dengan akurat sehingga rele pada penyulang bekerja dengan baik.

4.6 Analisis Setting Rele Arus Lebih (OCR)

Analisis *Setting* OCR dimaksudkan untuk mengetahui bekerjanya rele arus lebih saat terjadi gangguan fasa.

4.6.1. *Setting* OCR Pada Sisi Sekunder Trafo Daya Nomor 5

Untuk mendapatkan nilai setelan sekunder yang disetkan pada rele arus lebih, maka harus dihitung dengan menggunakan data ratio trafo arus yang terpasang sesuai dengan persamaan 2.3 sebagai berikut:

$$I_{\text{set sekunder}} = I_{\text{set primer}} \times (1/\text{ratio CT})$$

$$I_{\text{set primer}} = 2000 \text{ A (Gardu Induk Banaran)}$$

$$I_{\text{set sekunder}} = 2000 \times \frac{1}{\text{rasio CT}} = 2000 \times \frac{5}{2000} = 5 \text{ A}$$

Untuk gangguan tiga fasa 200 m dari Gardu Induk, titik A = 11.081,25 A (tabel 4.4)

$$\begin{aligned} \text{Arus gangguan yang masuk OCR} &= \frac{1}{\text{rasio CT}} \times 11.081,25 \\ &= \frac{5}{2000} \times 11.081,25 \\ &= 27,7 \text{ A } (> 5 \text{ A Rele kerja}) \end{aligned}$$

Untuk gangguan tiga fasa titik yang terjauh J = 1.426,10 A (tabel 4.4)

$$\begin{aligned} \text{Arus gangguan yang masuk OCR} &= \frac{1}{\text{rasio CT}} \times 1.426,10 \\ &= \frac{5}{2000} \times 1.426,10 \\ &= 3,56 \text{ A } (< 5 \text{ A Rele tidak bekerja}) \end{aligned}$$

4.6.2. Setting OCR Pada Penyulang 20 kV

Untuk mendapatkan nilai setelan sekunder yang disetkan pada rele arus lebih, maka harus dihitung dengan menggunakan data ratio trafo arus yang terpasang sesuai dengan persamaan 2.3 sebagai berikut:

$$I_{\text{set sekunder}} = I_{\text{set primer}} \times (1/\text{ratio CT})$$

$$I_{\text{set primer}} = 300 \text{ A (Gardu Induk Banaran)}$$

$$I_{\text{set sekunder}} = 300 \times \frac{1}{\text{rasio CT}} = 300 \times \frac{5}{400} = 3,75 \text{ A}$$

Untuk gangguan tiga fasa 200 m dari Gardu Induk, titik A = 11.081,25 A (tabel 4.4)

$$\text{Arus gangguan yang masuk OCR} = \frac{1}{\text{rasio CT}} \times 11.081,25$$

$$= \frac{5}{400} \times 11.081,25$$

$$= 138,51 \text{ A } (> 3,75 \text{ A Rele kerja})$$

Untuk gangguan tiga fasa titik yang terjauh J = 1.426,10 A (tabel 4.4)

$$\text{Arus gangguan yang masuk OCR} = \frac{1}{\text{rasio CT}} \times 1.426,10$$

$$= \frac{5}{400} \times 1.426,10$$

$$= 17,83 \text{ A } (> 3,75 \text{ A Rele kerja})$$

Jadi untuk gangguan tiga fasa yang terjadi pada 200 m dari Gardu Induk rele pada penyulang dan rele pada sisi sekunder trafo daya nomor 5 bekerja

4.7 Analisis Koordinasi Pengaman Pada Penyulang Ngadiluwih Dari Gardu Induk Banaran Kediri

Koordinasi antara rele arus lebih penyulang Ngadiluwih dengan sisi sekunder trafo daya nomor 5

4.7.1 Setelan Rele Arus Lebih Untuk Gangguan Fasa

4.7.1.1 Setelan Rele Arus Lebih Penyulang Ngadiluwih

Untuk menentukan nilai setelan rele arus lebih di sisi penyulang Ngadiluwih, terlebih dahulu dihitung arus nominal beban penyulang dengan persamaan 2.1 sebagai berikut :

Arus nominal penyulang :

$$I_{\text{beban}} = I_n = \frac{\text{kVA}}{\sqrt{3}kV_{L-L}}$$

Daya beban (kVA) : 7.685 kVA

Tegangan line to line (V_{L-L}) : 20 kV

$$I_{\text{beban}} = I_n = \frac{7.685}{\sqrt{3} \times 20} \text{ A} = 221,85 \text{ A}$$

Setelan arus menggunakan persamaan 2.2 sebagai berikut :

$$I_{\text{set primer}} = k \times I_{\text{nominal}}$$

Dimana :

k = faktor keamanan, nilainya 1,05 – 1,2 (PLN, dinas proteksi : 14)

$$\begin{aligned} I_{\text{set primer}} &= 1,2 \times 221,85 \text{ A} \\ &= 266,22 \text{ A} \end{aligned}$$

Setelan waktu:

Setelah waktu rele *standard inverse* dihitung dengan menggunakan persamaan 2.4 sebagai berikut :

$$t_{(s)} = \frac{k \times \beta}{\left(\frac{I_{\text{hs}}}{I_{\text{set primer}}} \right)^{\alpha} - 1}$$

Untuk menentukan nilai k (pengali waktu)/ TMS (*time multiple setting*) yang akan disetkan pada rele arus lebih diambil nilai arus gangguan (I) maksimum yang terjadi pada Penyulang Ngadiluwih dan waktu kerja rele arus lebih di penyulang yang diambil selama 0,3 detik, maka nilai k yang akan disetkan pada rele arus lebih tipe SPAJ 140 adalah

$$k = \frac{t_{(s)} \times \left[\left(\frac{I_{\text{hs}}}{I_{\text{set primer}}} \right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$k = \frac{0,3 \left[\left(\frac{11.081,25}{266,22} \right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14} = 0,17$$

dipilih nilai $k = 0,2$ sesuai dengan *inverse time characteristics* pada lampiran 3

4.7.1.2 Setelan Rele Arus Lebih Pada Sisi Sekunder Trafo Daya Nomor 5

Untuk menentukan nilai setelan rele arus lebih disisi sekunder transformator, terlebih dahulu dihitung arus nominal transformator :

Kapasitas : 60 MVA

Tegangan : 150/20 kV

Impedansi : 12,3 %

Rasio CT : 2000/5

Arus nominal transformator pada sisi 20 kV dihitung dengan menggunakan persamaan 2.1 sebagai berikut :

$$I_{\text{beban}} = I_n = \frac{\text{kVA}}{\sqrt{3}\text{kV}_{\text{L-L}}} = \frac{60.000}{\sqrt{3} \times 20} = 1.732 \text{ A}$$

Setelan arus menggunakan persamaan 2.2 sebagai berikut :

$$I_{\text{set primer}} = k \times I_{\text{nominal}}$$

$$I_{\text{set}} = 1,2 \times 1.732 \text{ A}$$

$$I_{\text{set}} = 2.078,4 \text{ A}$$

Untuk mendapatkan nilai setelan sekunder, maka dihitung dengan menggunakan rasio transformator arus yang terpasang sesuai dengan persamaan 2.3 sebagai berikut :

$$I_{\text{set sekunder}} = I_{\text{set primer}} \times \left(\frac{1}{\text{rasio CT}} \right)$$

$$I_{\text{set}} = 2.078,4 \times \frac{5}{2000} = 5,196 \text{ A}$$

Setelan waktu :

Setelan waktu rele dihitung sesuai dengan persamaan 2.4 sebagai berikut :

$$t_{(s)} = \frac{k \times \beta}{\left(\frac{I_{\text{hs}}}{I_{\text{set primer}}} \right)^\alpha - 1}$$

Karena nilai k pada rele arus lebih di penyulang yang akan disetkan pada rele diambil pada angka arus gangguan (I) sebesar arus gangguan tiga fasa maka perhitungan menentukan nilai k disisi sekunder trafo 20 kV juga harus berdasarkan besar arus gangguan hubung singkat tiga fasa pada lokasi yang sama, sedangkan waktu kerja rele disisi sekunder trafo 20 kV harus dibuat lambat 0,4 detik dari waktu kerja rele di penyulang 20 kV (dari rele sisi hilirnya)

Untuk itu maka nilai k yang akan disetkan pada rele arus lebih di sisi sekunder trafo 20 kV adalah

$$k = \frac{t_{(s)} \times \left[\left(\frac{I_{hs}}{I_{set\ primer}} \right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$k = \frac{(0,29 + 0,4) \left[\left(\frac{11.081,25}{2.078,4} \right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14} = 0,17$$

dipilih nilai $k = 0,2$ sesuai dengan *inverse time characteristics* pada lampiran 3

4.7.2 Selektifitas Kerja Rele Arus Lebih

Hasil perhitungan setelan rele arus lebih yang diperoleh pada sub bab 4.7.1, digunakan untuk mengetahui kerja rele arus lebih antara yang terpasang untuk penyulang Ngadiluwih dan yang terpasang untuk sisi sekunder trafo daya nomor 5. pemeriksaan ini dilakukan dengan memasukkan nilai arus gangguan yang terjadi pada penyulang Ngadiluwih ke dalam persamaan 2.4.

- Setelan rele arus lebih untuk Penyulang Ngadiluwih
 - $I_{set\ primer} = 266,22$
 - $I_{set\ sekunder} = 3,33$
 - $TMS(k) = 0,2$
- Setelan rele arus lebih untuk sisi sekunder trafo daya nomor 5
 - $I_{set\ primer} = 2.078,4$
 - $I_{set\ sekunder} = 5,196$
 - $TMS(k) = 0,2$

Gangguan hubung singkat tiga fasa yang terjadi pada jarak 200 meter dari Gardu Induk Banaran sebesar 11.081,25 A, maka waktu kerja rele arus lebih di penyulang Ngadiluwih dan di sisi sekunder trafo daya nomor 5 dengan menggunakan persamaan 2.4 adalah sebagai berikut :

- Penyulang Ngadiluwih

$$t_{(s)} = \frac{k \times \beta}{\left(\frac{I_{hs}}{I_{set\ primer}} \right)^{\alpha} - 1}$$

$$t_{(s)} = \frac{0,2 \times 0,14}{\left(\frac{11.081,25}{266,22} \right)^{0,02} - 1} = 0,36 \text{ detik}$$

- Sisi sekunder trafo

$$t_{(s)} = \frac{k \times \beta}{\left(\frac{I_{hs}}{I_{set \text{ primer}}} \right)^\alpha - 1}$$

$$t_{(s)} = \frac{0,2 \times 0,14}{\left(\frac{11.081,25}{2.078,4} \right)^{0,02} - 1} = 0,82 \text{ detik}$$

Dari hasil perhitungan didapatkan bahwa waktu bekerjanya rele untuk penyulang Ngadiluwih lebih kecil dibanding waktu kerja rele untuk sisi sekunder trafo daya nomor 5, jadi koordinasi waktu antara penyulang dengan sisi sekunder trafo daya nomor 5 sudah benar. Jika terjadi gangguan maka yang bekerja lebih dahulu pengaman di penyulang, bila pengaman di penyulang mengalami kegagalan maka pengaman di sisi sekunder trafo daya yang bekerja.

4.8 Analisis Rating Pengaman Jaringan Distribusi Primer 20 kV

Pengaman yang ada pada penyulang Ngadiluwih yaitu LBS (*Load Break Switch*), VS (*Vacuum Switch*) dan FCO (*Fuse Cut Out*), untuk LBS rating arus kontinyu 630 A, rating arus hubung singkat 12,5 kA, rating arus beban puncak 31,5 kA, rating tegangannya 27 kV, sedangkan VS rating arus kontinyu 2.000 A, rating arus hubung singkat 2.000 kA dan rating arus buka 20 kA, untuk rating arus FCO ditentukan berdasarkan nilai arus beban, rating tegangan 24 kV.

Pada cabang C:

Nomor trafo distribusi 300 mempunyai kapasitas 100 kVA dan nomor trafo distribusi 301 mempunyai kapasitas 50 kVA. Dengan melihat gambar pada lampiran 2, maka arus beban dapat dicari dengan menggunakan persamaan 2.1 sebagai berikut :

$$I_{beban} = \frac{kVA}{\sqrt{3}kV_{L-L}} = \frac{100 + 50}{20\sqrt{3}} = 4,330 \text{ A}$$

dengan cara dan perhitungan yang sama untuk titik yang lain didapatkan arus beban seperti tabel 4.6 berikut ini :

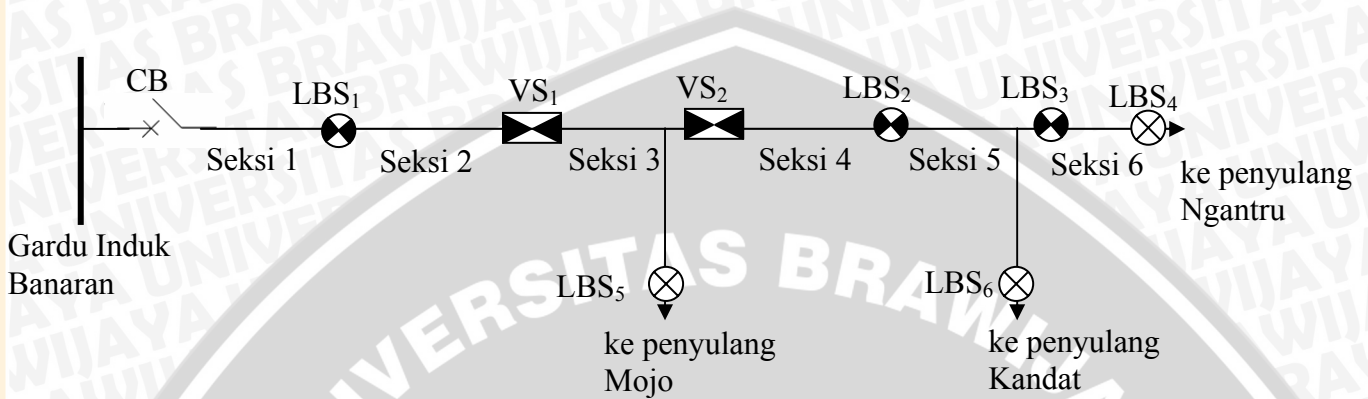
Tabel 4.5 Arus beban hasil perhitungan

titik	Nomor trafo	Kapasitas (kVA)	I _{beban} (A)
C	300	100	4,330
	301	50	
E	267	75	6,78
	268	160	
G	269	150	36,08
	270	150	
	271	150	
	542	200	
	591	200	
	60	200	
	535	200	
I	488	100	36,37
	348	150	
	561	100	
	349	150	
	350	150	
	351	150	
	375	150	
	376	160	
	587	150	
K	277	160	7,5056
	31	100	
M	357	160	9,238
	358	160	
O	247	160	9,238
	248	160	

Sumber : Hasil analisis

4.9 Koordinasi Pengaman Dalam Jaringan Distribusi Primer










Koordinasi pengaman merupakan urutan kerja antara pengaman yang berada di sisi beban untuk kerja sepenuhnya sebelum pengaman di sisi hulu yang bertindak sebagai pelindung. Gambar 4.1 menunjukkan susunan sistem pengaman pada setiap seksi penyulang Ngadiluwih.



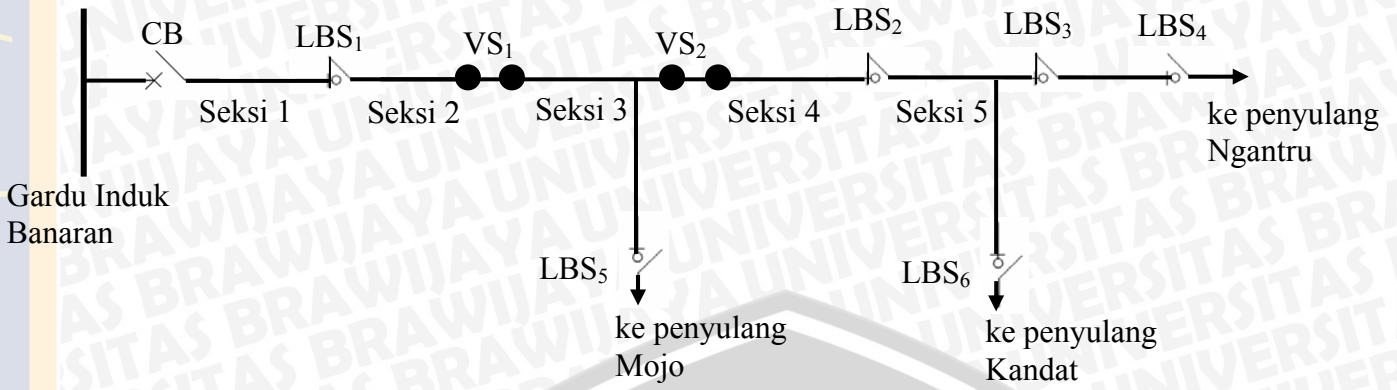
Gambar 4.1 Susunan sistem pengaman pada penyulang Ngadiluwih

Sumber : Hasil analisis

Keterangan :

-  CB : *Circuit Breaker*
-  LBS₁ : *Load Break Switch Permata Hijau (Normaly Close)*
-  LBS₂ : *Load Break Switch Ngadiluwih (Normaly Close)*
-  LBS₃ : *Load Break Switch Branggahan (Normaly Close)*
-  LBS₄ : *Load Break Switch Kras (Normaly Open)*
-  LBS₅ : *Load Break Switch Alun-alun (Normaly Open)*
-  LBS₆ : *Load Break Switch Cendono (Normaly Open)*
-  VS₁ : *Vacuum Switch Naji (Normaly Close)*
-  VS₂ : *Vacuum Switch Samator (Normaly Close)*

Untuk mempermudah dalam menganalisis sistem kerja pengaman maka diperlukan gambar rangkaian pengganti susunan pengaman yang terpasang pada penyulang Ngadiluwih, seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.4 berikut ini:



Gambar 4.2 Rangkaian pengganti susunan sistem pengaman pada penyulang Ngadiluwih

Sumber : Hasil analisis

Keterangan :

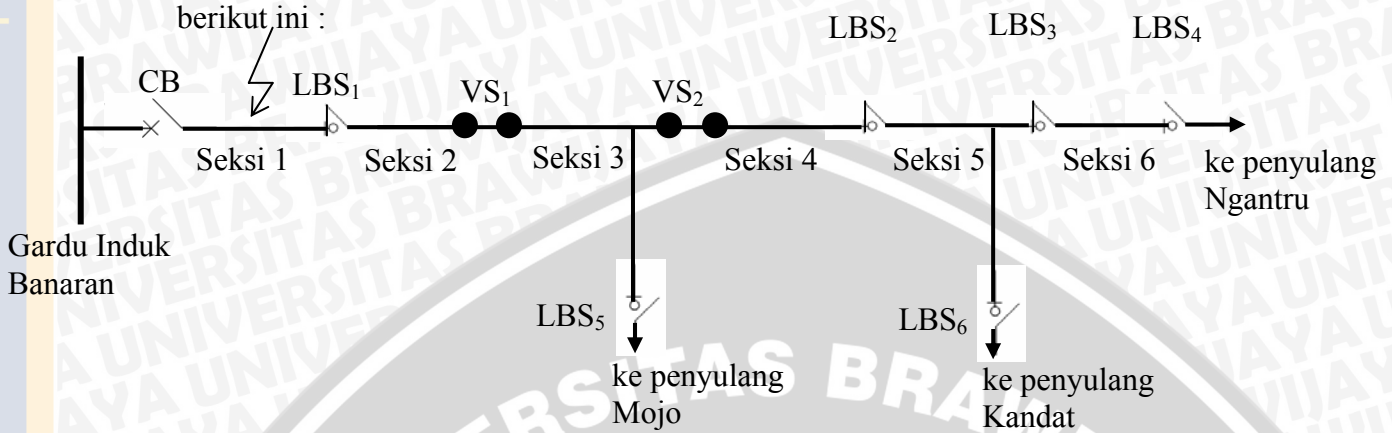
-  CB : *Circuit Breaker*
-  LBS₁ : *Load Break Switch Permata Hijau (Normaly Close)*
-  LBS₂ : *Load Break Switch Ngadiluwih (Normaly Close)*
-  LBS₃ : *Load Break Switch Branggahan (Normaly Close)*
-  LBS₄ : *Load Break Switch Kras (Normaly Open)*
-  LBS₅ : *Load Break Switch Alun-alun (Normaly Open)*
-  LBS₆ : *Load Break Switch Cendono (Normaly Open)*
-  VS₁ : *Vacuum Switch Naji (Normaly Close)*
-  VS₂ : *Vacuum Switch Samator (Normaly Close)*

4.9.1. Koordinasi Pengaman Tiap Seksi

4.9.1.1 Gangguan Pada Seksi 1

Apabila terjadi gangguan di seksi 1, seperti ditunjukkan pada gambar 4.3

berikut ini :



Gambar 4.3 Gangguan pada seksi 1

Sumber : Hasil analisis

Keterangan :

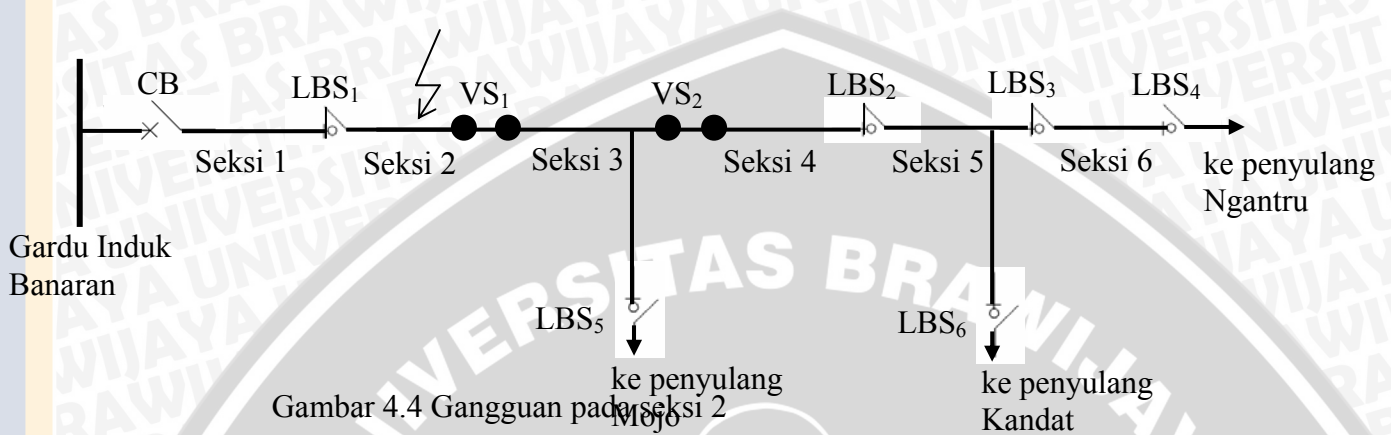
- CB : *Circuit Breaker*
- LBS₁ : *Load Break Switch* Permata Hijau (*Normaly Close*)
- LBS₂ : *Load Break Switch* Ngadiluwih (*Normaly Close*)
- LBS₃ : *Load Break Switch* Branggahan (*Normaly Close*)
- LBS₄ : *Load Break Switch* Kras (*Normaly Open*)
- LBS₅ : *Load Break Switch* Alun-alun (*Normaly Open*)
- LBS₆ : *Load Break Switch* Cendono (*Normaly Open*)
- VS₁ : *Vacuum Switch* Naji (*Normaly Close*)
- VS₂ : *Vacuum Switch* Samator (*Normaly Close*)

maka rele mendeteksi gangguan tersebut dan mentripkan CB, maka penyulang tidak bertegangan. Oleh karena tidak ada tegangan VS₁ dan VS₂ membuka selang waktu 0,7 detik. Rele Auto Recloser kerja (karena CB terbuka) dalam selang waktu 60 detik CB menutup dan seksi 1 bertegangan, apabila seksi I masih ada gangguan maka CB trip kembali, Rele Auto Recloser kerja kembali (karena CB terbuka) dalam selang waktu 180 detik CB menutup kembali dan seksi 1 bertegangan apabila masih ada gangguan maka CB trip dan langsung mengunci (final trip), untuk meminimalkan daerah pemadaman LBS₁ dibuka, seksi 2, seksi 3, seksi 4, seksi 5 dan seksi 6 mendapat

tegangan dari penyulang Mojo, penyulang Kandat dan penyulang Ngantru dengan menutup LBS₄, LBS₅, LBS₆ serta menutup VS₁ dan VS₂. Seksi 1 padam.



4.9.1.2 Gangguan Pada Seksi 2

Apabila terjadi gangguan pada seksi 2, seperti ditunjukkan pada gambar 4.4 berikut ini :



Gambar 4.4 Gangguan pada seksi 2
Sumber : Hasil analisis

Keterangan :

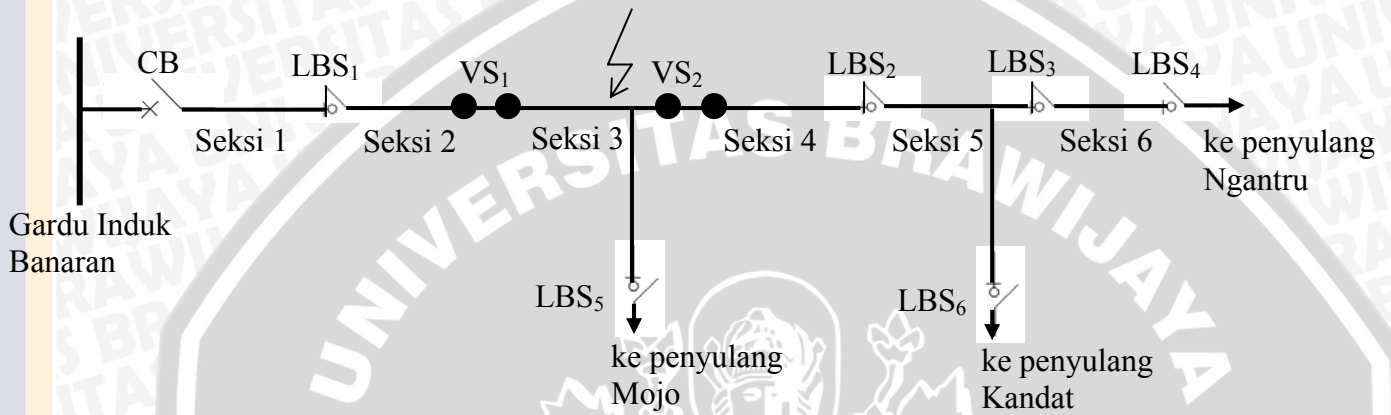
-  CB : *Circuit Breaker*
-  LBS₁ : *Load Break Switch Permata Hijau (Normaly Close)*
-  LBS₂ : *Load Break Switch Ngadiluwih (Normaly Close)*
-  LBS₃ : *Load Break Switch Branggahan (Normaly Close)*
-  LBS₄ : *Load Break Switch Kras (Normaly Open)*
-  LBS₅ : *Load Break Switch Alun-alun (Normaly Open)*
-  LBS₆ : *Load Break Switch Cendono (Normaly Open)*
-  VS₁ : *Vacuum Switch Naji (Normaly Close)*
-  VS₂ : *Vacuum Switch Samator (Normaly Close)*

maka rele mendeteksi gangguan tersebut dan mentripkan CB, maka penyulang tidak bertegangan. Oleh karena tidak ada tegangan VS₁ dan VS₂ membuka selang waktu 0,7 detik. Rele Auto Recloser kerja (karena CB terbuka) dalam selang waktu 60 detik CB menutup. Seksi 1 dan seksi 2 bertegangan, apabila seksi 2 masih ada gangguan maka CB trip kembali, Rele Auto Recloser kerja kembali (karena CB terbuka) dalam selang waktu 180 detik CB menutup kembali. Seksi 1 dan seksi 2 bertegangan apabila masih ada gangguan maka CB trip dan langsung mengunci (final trip), untuk meminimalkan daerah pemadaman LBS₁ dibuka, seksi 1 mendapat tegangan dengan menutup CB, seksi

3, seksi 4, seksi 5 dan seksi 6 mendapat tegangan dari penyulang Mojo, penyulang Kandat dan penyulang Ngantru dengan menutup LBS₄, LBS₅, LBS₆ serta menutup VS₂. Seksi 2 padam.

4.9.1.3 Gangguan Pada Seksi 3

Apabila terjadi gangguan pada seksi 3, seperti ditunjukkan pada gambar 4.5 berikut ini :



Gambar 4.5 Gangguan pada seksi 3

Sumber : Hasil analisis

Keterangan :

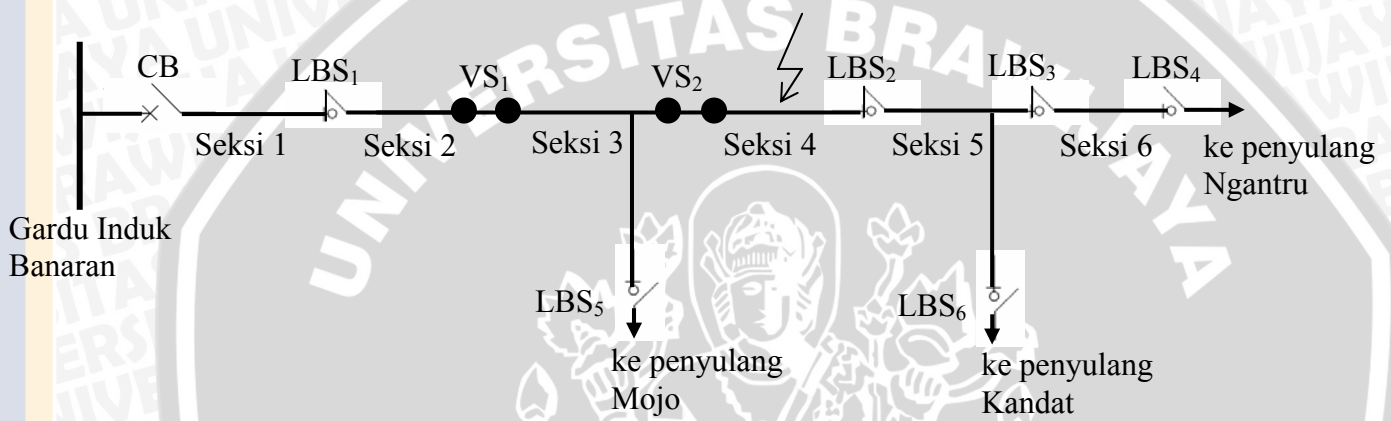
- CB : *Circuit Breaker*
- LBS₁ : *Load Break Switch Permata Hijau (Normaly Close)*
- LBS₂ : *Load Break Switch Ngadiluwih (Normaly Close)*
- LBS₃ : *Load Break Switch Branggahan (Normaly Close)*
- LBS₄ : *Load Break Switch Kras (Normaly Open)*
- LBS₅ : *Load Break Switch Alun-alun (Normaly Open)*
- LBS₆ : *Load Break Switch Cendono (Normaly Open)*
- VS₁ : *Vacuum Switch Naji (Normaly Close)*
- VS₂ : *Vacuum Switch Samator (Normaly Close)*

maka rele mendeteksi gangguan tersebut dan mentripkan CB, maka penyulang tidak bertegangan. Oleh karena tidak ada tegangan VS₁ dan VS₂ membuka selang waktu 0,7 detik. Rele Auto Recloser kerja (karena CB terbuka) dalam selang waktu 60 detik CB

menutup. Seksi 1 dan seksi 2 bertegangan, bila VS_1 ditutup dan gangguan masih ada maka CB trip kembali. VS_1 terbuka kembali karena penyulang tidak bertegangan. Rele Auto Recloser kerja selang waktu 180 detik CB menutup sehingga seksi 1 dan seksi 2 bertegangan, seksi 4, seksi 5 dan seksi 6 mendapat tegangan dari penyulang Kandat dan penyulang Ngantru dengan menutup LBS_4 dan LBS_6 . Seksi 3 padam.

4.9.1.4 Gangguan Pada Seksi 4

Apabila terjadi gangguan pada seksi 4, seperti ditunjukkan pada gambar 4.6 berikut ini :



Gambar 4.6 Gangguan pada seksi 4

Sumber : Hasil analisis

Keterangan :

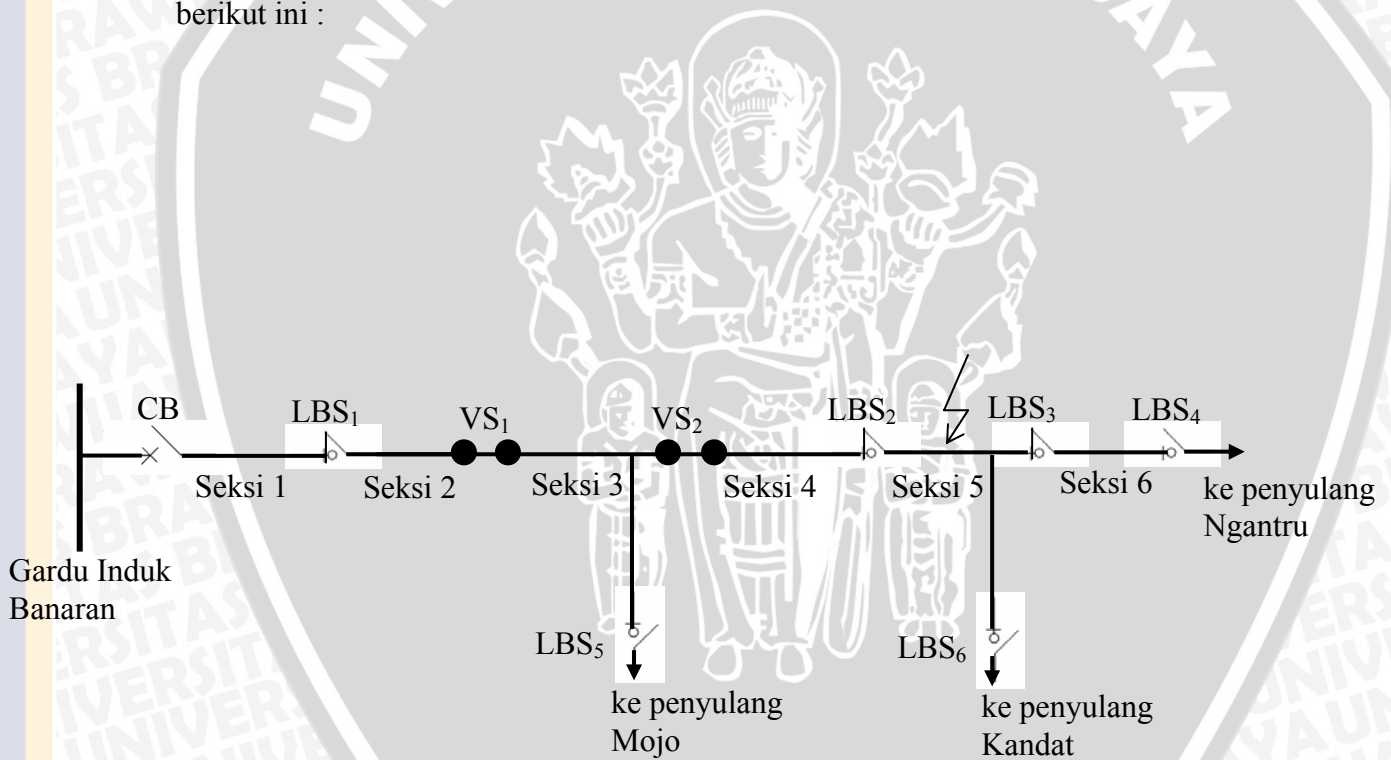
- CB : *Circuit Breaker*
- LBS₁ : *Load Break Switch* Permata Hijau (*Normaly Close*)
- LBS₂ : *Load Break Switch* Ngadiluwih (*Normaly Close*)
- LBS₃ : *Load Break Switch* Branggahan (*Normaly Close*)
- LBS₄ : *Load Break Switch* Kras (*Normaly Open*)
- LBS₅ : *Load Break Switch* Alun-alun (*Normaly Open*)
- LBS₆ : *Load Break Switch* Cendono (*Normaly Open*)
- VS₁ : *Vacuum Switch* Naji (*Normaly Close*)
- VS₂ : *Vacuum Switch* Samator (*Normaly Close*)

maka rele mendeteksi gangguan tersebut dan mentripkan CB, maka penyulang tidak bertegangan. Oleh karena tidak ada tegangan VS_1 dan VS_2 membuka selang waktu 0,7

detik. Rele Auto Recloser kerja (karena CB terbuka) dalam selang waktu 60 detik CB menutup. Seksi 1 dan seksi 2 bertegangan, seksi 3 mendapat tegangan dengan menutup VS_1 , apabila VS_2 ditutup dan pada seksi 4 masih ada gangguan maka CB trip kembali sehingga penyulang tidak bertegangan. Oleh karena tidak ada tegangan maka VS_1 dan VS_2 membuka. Rele Auto Recloser kerja dan selang waktu 180 detik CB menutup kembali. Seksi 1 dan seksi 2 bertegangan. Seksi 3 mendapat tegangan dengan menutup VS_1 . untuk meminimalkan daerah pemadaman maka LBS_2 dibuka, seksi 5 dan seksi 6 mendapat tegangan dari penyulang Ngantru dan penyulang Kandat dengan menutup LBS_4 dan LBS_6 . Seksi 4 padam.

4.9.1.5 Gangguan Pada Seksi 5

Apabila terjadi gangguan pada seksi 5, seperti ditunjukkan pada gambar 4.7 berikut ini :










Gambar 4.7 Gangguan pada seksi 5

Sumber : Hasil analisis

Keterangan :

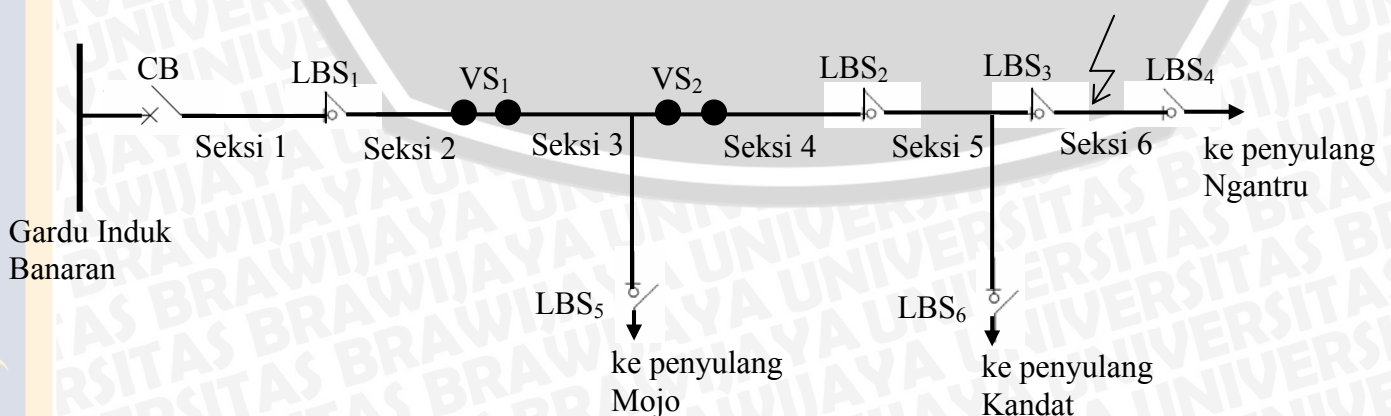
- CB : *Circuit Breaker*
- LBS_1 : *Load Break Switch Permata Hijau (Normaly Close)*
-

-  LBS₂ : Load Break Switch Ngadiluwih (Normaly Close)
-  LBS₃ : Load Break Switch Branggahan (Normaly Close)
-  LBS₄ : Load Break Switch Kras (Normaly Open)
-  LBS₅ : Load Break Switch Alun-alun (Normaly Open)
-  LBS₆ : Load Break Switch Cendono (Normaly Open)
-  VS₁ : Vacuum Switch Naji (Normaly Close)
-  VS₂ : Vacuum Switch Samator (Normaly Close)

maka rele mendeteksi gangguan tersebut dan mentriapkan CB, maka penyulang tidak bertegangan. Oleh karena tidak ada tegangan VS₁ dan VS₂ membuka selang waktu 0,7 detik. Rele Auto Recloser kerja (karena CB terbuka) dalam selang waktu 60 detik CB menutup. Seksi 1 dan seksi 2 bertegangan, seksi 3 mendapat tegangan dengan menutup VS₁, seksi 4 mendapat tegangan dengan menutup VS₂ tetapi bila LBS₂ belum dibuka dan pada seksi 5 masih ada gangguan maka CB trip kembali dan penyulang tidak bertegangan. VS₁ dan VS₂ membuka karena penyulang tidak bertegangan, Rele Auto Recloser kerja selang waktu 180 detik CB menutup. Seksi 1 dan seksi 2 bertegangan, seksi 3 mendapat tegangan dengan menutup VS₁. untuk meminimalkan daerah pemadaman maka LBS₂ dan LBS₃ dibuka sehingga seksi 4 bisa mendapat tegangan dengan menutup VS₂ tanpa terjadi pemadaman lagi, seksi 6 mendapat tegangan dari penyulang Ngantru dengan menutup LBS₄. Seksi 5 padam.

4.9.1.6 Gangguan Pada Seksi 6

Apabila terjadi gangguan pada seksi 6, seperti ditunjukkan pada gambar 4.8 berikut ini :



Gambar 4.8 Gangguan pada seksi 6

Sumber : Hasil analisis

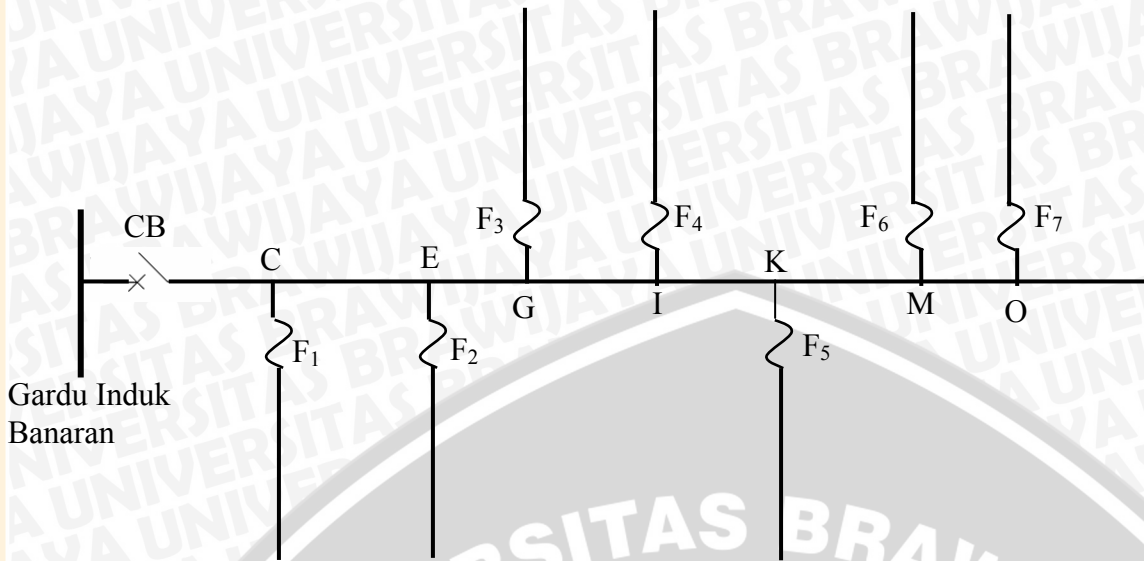
Keterangan :

-  CB : *Circuit Breaker*
-  LBS₁ : *Load Break Switch Permata Hijau (Normaly Close)*
-  LBS₂ : *Load Break Switch Ngadiluwih (Normaly Close)*
-  LBS₃ : *Load Break Switch Branggahan (Normaly Close)*
-  LBS₄ : *Load Break Switch Kras (Normaly Open)*
-  LBS₅ : *Load Break Switch Alun-alun (Normaly Open)*
-  LBS₆ : *Load Break Switch Cendono (Normaly Open)*
-  VS₁ : *Vacuum Switch Naji (Normaly Close)*
-  VS₂ : *Vacuum Switch Samator (Normaly Close)*

maka rele mendeteksi gangguan tersebut dan mentripkan CB, maka penyulang tidak bertegangan. Oleh karena tidak ada tegangan VS₁ dan VS₂ membuka selang waktu 0,7 detik. Rele Auto Recloser kerja (karena CB terbuka) dalam selang waktu 60 detik CB menutup. Seksi 1 dan seksi 2 bertegangan, seksi 3 mendapat tegangan dengan menutup VS₁, seksi 4 mendapat tegangan dengan menutup VS₂ tetapi bila LBS₃ belum dibuka dan pada seksi 6 masih ada gangguan maka CB trip kembali dan penyulang tidak bertegangan. VS₁ dan VS₂ membuka karena penyulang tidak bertegangan, Rele Auto Recloser kerja selang waktu 180 detik CB menutup. Seksi 1 dan seksi 2 bertegangan, seksi 3 mendapat tegangan dengan menutup VS₁. untuk meminimalkan daerah pemadaman maka LBS₃ dibuka sehingga seksi 4 dan seksi 5 bisa mendapat tegangan dengan menutup VS₂ tanpa terjadi pemadaman lagi. Seksi 6 padam.

4.9.2 Koordinasi Antara *Fuse Cut-Out* dengan CB

Untuk mempermudah dalam menganalisis koordinasi antara *Fuse Cut-Out* dengan CB, maka diperlukan gambar rangkaian pengganti susunan *Fuse Cut-Out* yang terpasang pada penyulang Ngadiluwih, seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.9 berikut ini:



Gambar 4.9 Rangkaian pengganti susunan FCO pada penyulang Ngadiluwih

Sumber : Hasil analisis

Keterangan :

CB : *Circuit Breaker*

F₁, F₂, F₃, F₄, F₅, F₆, F₇ : *Fuse Cut Out*

C, E, G, I, K, M, O : Titik-titik gangguan yang dianalisis

Sesuai dengan hasil perhitungan pada tabel 4.5 pada cabang C mengalir arus beban 4,33 A, maka :

Digunakan pelebur tipe 6,3 T dengan kapasitas arus kontiyu 150 % × 6,3 = 9,45 A. pelebur ini dapat bekerja dengan arus gangguan maksimum di cabang C sebesar 3.113,43 A dalam waktu 0,035 detik (waktu pemutusan maksimum), sedangkan perhitungan kerja rele pada cabang C menggunakan persamaan 2.4 sebagai berikut :

$$t_{(s)} = \frac{k \times \beta}{\left(\frac{I_{hs}}{I_{set \text{ primer}}} \right)^{\alpha} - 1}$$

$$t_{(s)} = \frac{0,2 \times 0,14}{\left(\frac{3.116,43}{266,22} \right)^{0,02} - 1} = 0,56 \text{ detik}$$

Rele pengaman arus lebih untuk gangguan sebesar 3.113,43 A akan bekerja menginstruksikan CB untuk mengamankan terhadap arus gangguan dengan waktu 0,56 detik

Sesuai dengan hasil perhitungan pada tabel 4.5 pada cabang E mengalir arus beban 6,784 A, maka :

Digunakan pelebur tipe 6,3 T dengan kapasitas arus kontiyu 150 % \times 6,3 = 9,45 A. pelebur ini dapat bekerja dengan arus gangguan maksimum di cabang E sebesar 2.569,73 A dalam waktu 0,037 detik (waktu pemutusan maksimum), sedangkan perhitungan kerja rele pada cabang E menggunakan persamaan 2.4 sebagai berikut :

$$t_{(s)} = \frac{k \times \beta}{\left(\frac{I_{hs}}{I_{set \text{ primer}}} \right)^{\alpha} - 1}$$

$$t_{(s)} = \frac{0,2 \times 0,14}{\left(\frac{2.569,73}{266,22} \right)^{0,02} - 1} = 0,6 \text{ detik}$$

Rele pengaman arus lebih untuk gangguan sebesar 2.569,73 A akan bekerja menginstruksikan CB untuk mengamankan terhadap arus gangguan dengan waktu 0,6 detik

Sesuai dengan hasil perhitungan pada tabel 4.5 pada cabang G mengalir arus beban 36,08 A, maka :

Digunakan pelebur tipe 25 T dengan kapasitas arus kontiyu 150 % \times 325 = 37,5 A. pelebur ini dapat bekerja dengan arus gangguan maksimum di cabang G sebesar 2.518,91 A dalam waktu 0,06 detik (waktu pemutusan maksimum), sedangkan perhitungan kerja rele pada cabang G menggunakan persamaan 2.4 sebagai berikut :

$$t_{(s)} = \frac{k \times \beta}{\left(\frac{I_{hs}}{I_{set \text{ primer}}} \right)^{\alpha} - 1}$$

$$t_{(s)} = \frac{0,2 \times 0,14}{\left(\frac{2.518,91}{266,22} \right)^{0,02} - 1} = 0,6 \text{ detik}$$

Rele pengaman arus lebih untuk gangguan sebesar 2.518,91 A akan bekerja menginstruksikan CB untuk mengamankan terhadap arus gangguan dengan waktu 0,6 detik

Sesuai dengan hasil perhitungan pada tabel 4.5 pada cabang I mengalir arus beban 36,37 A, maka :

Digunakan pelebur tipe 25 T dengan kapasitas arus kontiyyu $150 \% \times 25 = 37,5$ A. pelebur ini dapat bekerja dengan arus gangguan maksimum di cabang I sebesar 1.905,16 A dalam waktu 0,07 detik (waktu pemutusan maksimum), sedangkan perhitungan kerja rele pada cabang I menggunakan persamaan 2.4 sebagai berikut :

$$t_{(s)} = \frac{k \times \beta}{\left(\frac{I_{hs}}{I_{set \text{ primer}}} \right)^{\alpha} - 1}$$

$$t_{(s)} = \frac{0,2 \times 0,14}{\left(\frac{1.905,16}{266,22} \right)^{0,02} - 1} = 0,64 \text{ detik}$$

Rele pengaman arus lebih untuk gangguan sebesar 1.905,16 A akan bekerja menginstruksikan CB untuk mengamankan terhadap arus gangguan dengan waktu 0,64 detik

Sesuai dengan hasil perhitungan pada tabel 4.5 pada cabang K mengalir arus beban 7,5056 A, maka :

Digunakan pelebur tipe 6,3 T dengan kapasitas arus kontiyyu $150 \% \times 6,3 = 9,45$ A. pelebur ini dapat bekerja dengan arus gangguan maksimum di cabang K sebesar 1.694,88 A dalam waktu 0,04 detik (waktu pemutusan maksimum), sedangkan perhitungan kerja rele pada cabang K menggunakan persamaan 2.4 sebagai berikut :

$$t_{(s)} = \frac{k \times \beta}{\left(\frac{I_{hs}}{I_{set \text{ primer}}} \right)^{\alpha} - 1}$$

$$t_{(s)} = \frac{0,2 \times 0,14}{\left(\frac{1.694,88}{266,22} \right)^{0,02} - 1} = 0,68 \text{ detik}$$

Rele pengaman arus lebih untuk gangguan sebesar 1.694,88 A akan bekerja menginstruksikan CB untuk mengamankan terhadap arus gangguan dengan waktu 0,68 detik

Sesuai dengan hasil perhitungan pada tabel 4.5 pada cabang M mengalir arus beban 9,238 A, maka :

Digunakan pelebur tipe 6,3 T dengan kapasitas arus kontiyyu $150 \% \times 6,3 = 9,45$ A. pelebur ini dapat bekerja dengan arus gangguan maksimum di cabang M sebesar

1.630,73 A dalam waktu 0,04 detik (waktu pemutusan maksimum), sedangkan perhitungan kerja rele pada cabang M menggunakan persamaan 2.4 sebagai berikut :

$$t_{(s)} = \frac{k \times \beta}{\left(\frac{I_{hs}}{I_{set \text{ primer}}} \right)^\alpha - 1}$$
$$t_{(s)} = \frac{0,2 \times 0,14}{\left(\frac{1.630,73}{266,22} \right)^{0,02} - 1} = 0,69 \text{ detik}$$

Rele pengaman arus lebih untuk gangguan sebesar 1.630,73 A akan bekerja menginstruksikan CB untuk mengamankan terhadap arus gangguan dengan waktu 0,69 detik

Sesuai dengan hasil perhitungan pada tabel 4.5 pada cabang O mengalir arus beban 9,238 A, maka :

Digunakan pelebur tipe 6,3 T dengan kapasitas arus kontiyu $150 \% \times 6,3 = 9,45$ A. pelebur ini dapat bekerja dengan arus gangguan maksimum di cabang O sebesar 1.538,60 A dalam waktu 0,04 detik (waktu pemutusan maksimum), sedangkan perhitungan kerja rele pada cabang O menggunakan persamaan 2.4 sebagai berikut :

$$t_{(s)} = \frac{k \times \beta}{\left(\frac{I_{hs}}{I_{set \text{ primer}}} \right)^\alpha - 1}$$
$$t_{(s)} = \frac{0,2 \times 0,14}{\left(\frac{1.538,60}{266,22} \right)^{0,02} - 1} = 0,71 \text{ detik}$$

Rele pengaman arus lebih untuk gangguan sebesar 1.538,60 A akan bekerja menginstruksikan CB untuk mengamankan terhadap arus gangguan dengan waktu 0,71 detik. Jadi waktu bekerjanya Fuse Cut Out lebih cepat dibandingkan dengan waktu kerja rele maka apabila terjadi gangguan di titik percabangan, Fuse Cut Out akan bekerja lebih dulu untuk mengamankan jaringan distribusinya.

Dari perhitungan diatas dapat dibuat tabel koordinasi pelebur dengan rele seperti yang terlihat pada tabel 4.6 sebagai berikut :

Tabel 4.6 Koordinasi pelebur dan rele

TITIK PERCABANGAN	ARUS GANGGUAN (A)	WAKTU KERJA (DETIK)	
		PELEBUR	RELE
C	3.113,43	0,035	0,56
E	2.569,73	0,037	0,6
G	2.518,91	0,06	0,6
I	1.905,60	0,07	0,64
K	1.694,88	0,04	0,68
M	1.630,73	0,04	0,69
O	1.538,60	0,04	0,71

Sumber : Hasil analisis



BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari hasil analisis skripsi tentang koordinasi sistem pengamanan jaringan distribusi primer 20 kV dari Gardu Induk Banaran Kediri, didapatkan kesimpulan sebagai berikut :

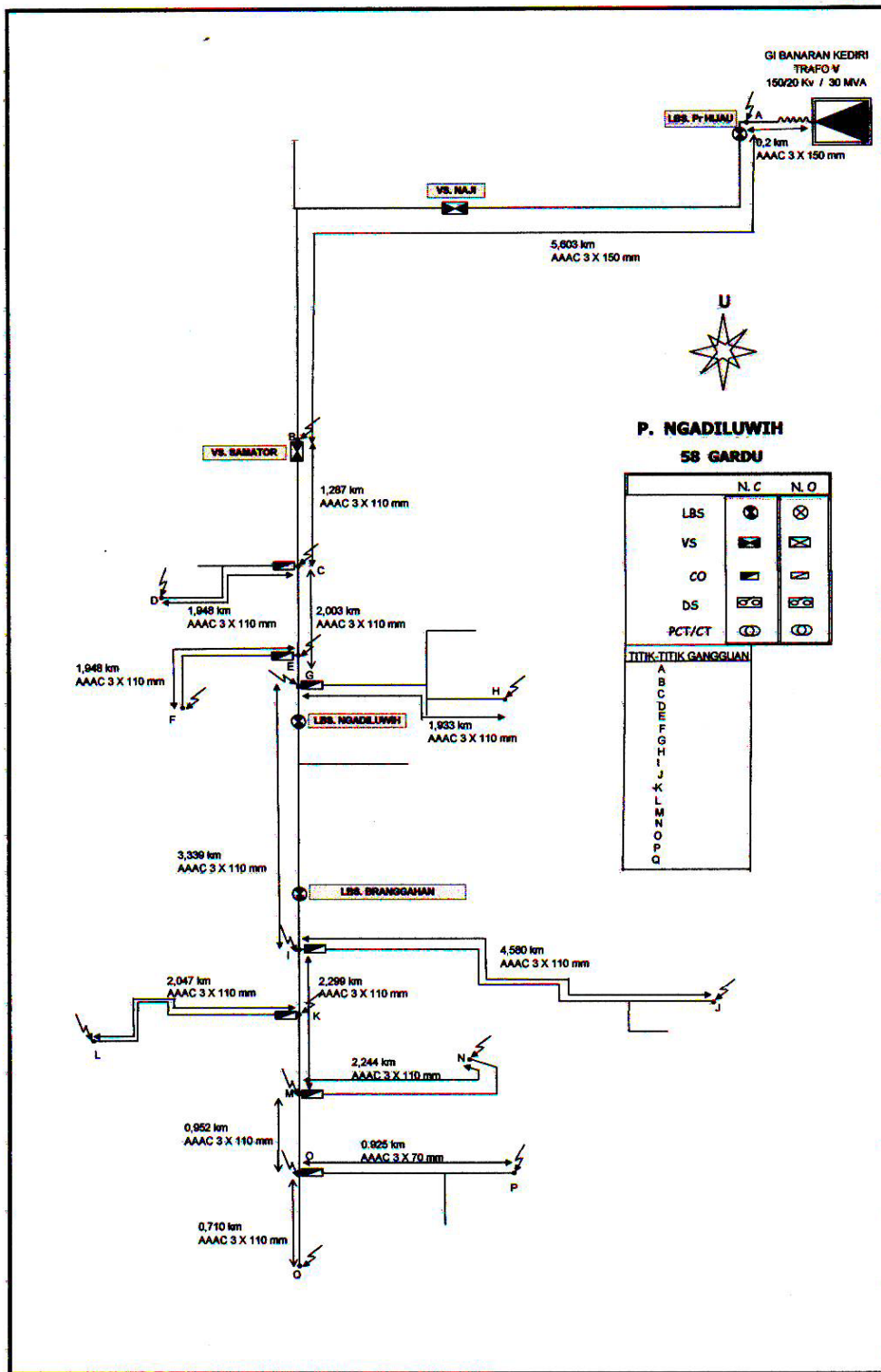
1. Setelan rele arus lebih untuk gangguan fasa adalah :
 - Penyulang Ngadiluwih : $I_{set} = 3,75 \text{ A}$
 $TMS = 0,2$
 - Sisi sekunder Trafo daya : $I_{set} = 5 \text{ A}$
 $TMS = 0,2$
2. Koordinasi rele di sisi sekunder trafo daya nomor 5 dan rele di penyulang Ngadiluwih sudah tepat. Pada saat terjadi gangguan hubung singkat tiga fasa maksimum sebesar 11.081,25 A, waktu bekerjanya rele pada penyulang Ngadiluwih (0,36 detik) lebih cepat dibandingkan dengan waktu kerja rele pada sisi sekunder trafo daya nomor 5 (0,82 detik)
3. Koordinasi sistem proteksi di Gardu Induk dengan pengamanan yang ada di jaringan juga sudah bekerja dengan baik. Pada saat terjadi gangguan hubung singkat dititik percabangan waktu bekerjanya *Fuse Cut Out* lebih cepat dibandingkan dengan waktu kerja rele.
4. Penyebab yang memungkinkan terjadinya trip bersama adalah ketidakakurasian trafo arus yang terpasang pada penyulang Ngadiluwih. Hal ini didasarkan pada besarnya arus gangguan tiga fasa maksimum yang terjadi melebihi batas akurasi trafo arus sebesar 4.000 A

5.2 Saran

Perlu adanya peningkatan batas akurasi CT dengan penggantian tipe CT dari 15VA 5P 10 menjadi 15VA 5P 30 dengan perbandingan transformasi tetap

DAFTAR PUSTAKA

- _____. 1982. *Pengoperasian dan Pemeliharaan Jaringan Distribusi*. Jakarta : PT. PLN Distribusi Jakarta Raya dan Tangerang
- _____. 1987. *Teknologi Listrik*. Jakarta Selatan : Pusat Pendidikan dan Latihan PLN
- _____. 1996. *Relai Arus Lebih*. Jakarta Selatan : PT. PLN Jasa Pendidikan dan Pelatihan
- Anderson, P.M. 1998. *Power System Protection*. New York : Mc Graw-Hill
- Blackburn , J. Lewis. 1998. *Protective Relaying*. New York : Marcel Dekker, Inc
- Gonen, Turen. 1986. *Electric Power Distribution System Engineering*. New York : Mc Graw-Hill
- Gross , Charles A.. 1986. *Power System Analysis*. New York : John Wiley & Sons
- Hutauruk, T.S. 1987. *Pengetanahan Netral Sistem Tenaga dan Pengetanahan Peralatan*. Jakarta : Erlangga
- Kadir, Abdul. 2000. *Distribusi dan Utilisasi Tenaga Listrik*. Jakarta : Universitas Indonesia
- Ravindranath, B. 1987. *Power System Protection and Switchgear*. Singapore : John Wiley & Sons
- Soekarta, S. 1995. *Pola Pengaman Sistem Distribusi dan Masalah Penerapannya*. Jakarta : PT. PLN (persero)
- SPLN. 1985. *Petunjuk Pemilihan dan Penggunaan Pelebur Pada Sistem Distribusi Tegangan Menengah*. Jakarta : Departemen Pertambangan dan Energi PLN
- William D. Stevenson, Jr. 1996. *Analisis Sistem Tenaga Listrik*. Jakarta : Erlangga
- Wirawan. 2003. *Generator, Transformer, and MV Feeder Protection*. Jakarta : PT. Jalamas Berkatama
- Zuhail. 1988. *Dasar Teknik Tenaga Listrik dan Elektronika Daya*. Jakarta : PT. Gramedia

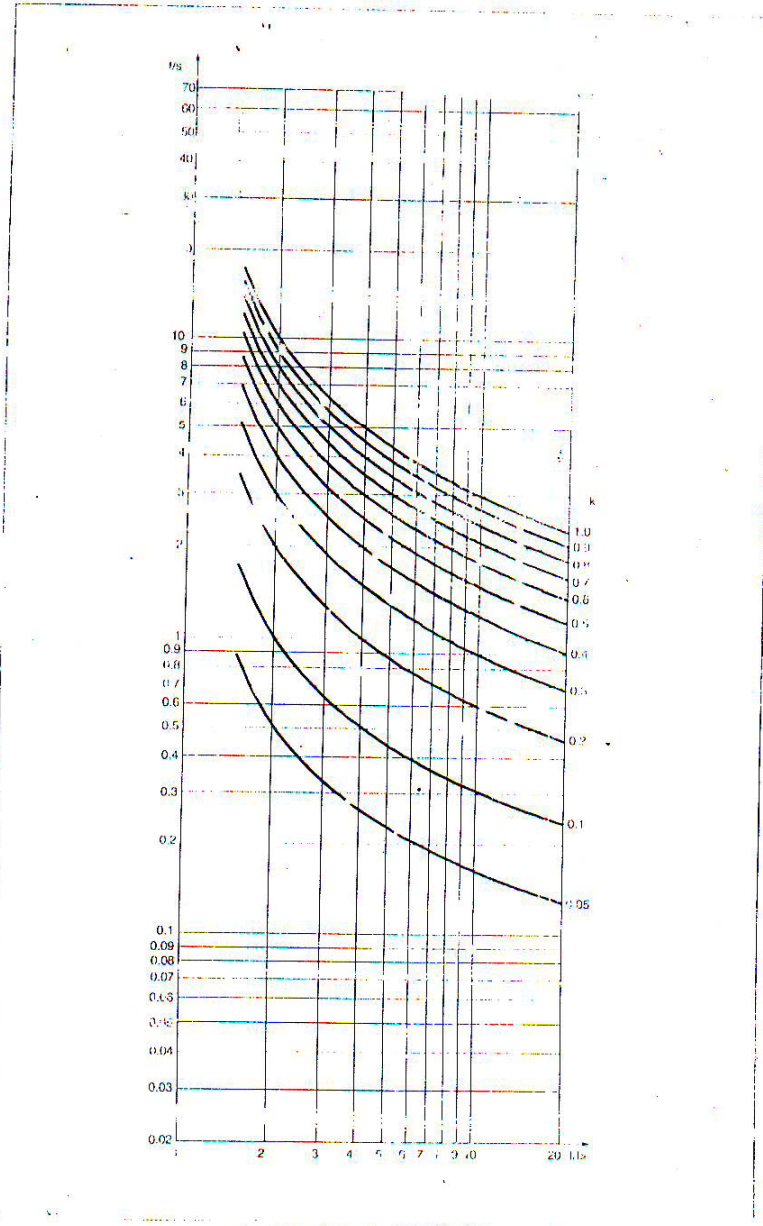


DATA PENGUKURAN BEBAN GARDU DISTRIBUSI DAN TEGANGAN UJUNG
GARDU INDUK / PENYULANG : KEDIRI BARU / P. NGADILUWIH

NO GARDU	LOKASI	KAPASITAS (kVA)	KET
26	PR. PERMATA HIJAU	150	
31	DS. NGROMBEH	100	
42	JL. P. KEMERDEKAAN	200	
43	JL. URIP SUMOHARJO	100	
59	DS. REMBANG	100	
60	DN. TAWANGREJO	200	
70	PB. KERTAS NGADIREJO	75	
71	JL. PER. KEMERDEKAAN	75	
78	JL. SER. SUHARMAJI	100	
91	DS. BENICE	100	
96	JL. SUPERSEMAR	75	
108	DS. KOLAK	100	
160	DS. REMBANG	100	
161	DS. REMBANG	75	
162	DS. NGADILUWIH	100	
163	DS. BRANGGAHAN	100	
164	DS. NGADIREJO	160	
166	DS. NGADIREJO	160	
247	DS. BANJARANYAR	160	
248	DS. BANJARANYAR	160	
249	JL. SER. SUHARMAJI	250	
266	DS. BANJARREJO	160	
267	DS. BADAL	75	
268	DS. BADAL	160	
269	DS. REMBANG KEPUH	150	
270	DS. BEDUG	150	
271	DS. REMBANG KEPUH	150	
273	JL. TAMTAMA	200	
277	DS. JAMBEAN SEKETI	160	
295	JL. P. KEMERDEKAAN	100	
300	DS. BADAL	100	
301	DS. BADAL PANDEAN	50	
317	DS. TALES	100	
348	DS. BRANGGAHAN	150	
349	DS. SLUMBUNG	150	
350	DS. SLUMBUNG	150	
351	DS. SLUMBUNG	150	
357	DS. TALES SELATAN	160	
358	DS. TALES UTARA	160	
375	DS. CENDONO	150	
376	DS. CENDONO	160	
469	DS. WONOREJO	75	
488	DS. BRANGGAHAN	100	
489	DS. BRANGGAHAN	50	
524	DS. REMBANG KEPUH	75	
526	DS. KEMIRI	75	
534	DS. BRENJUK	150	
535	DS. BANGLE	200	
542	DES. BEDUG	200	
544	PR. NGADIREJO	200	
545	PG. NGADIREJO	200	

546	PG. NGADIREJO	200	
552	DS. SELOMANEN	100	
557	DS. NGADILUWIH SELATAN	100	
561	DS. BRANGGAHAN	100	
587	DS. CENDONO SELATAN	150	
590	DS. NGADILUWIH	75	
591	DS. BEDUG TIMUR	200	
272	DS. PAGAK BANGLE	100	IKUT P. PETUNGROTO
328	DS. NGADILOYO	160	IKUT P. PETUNGROTO

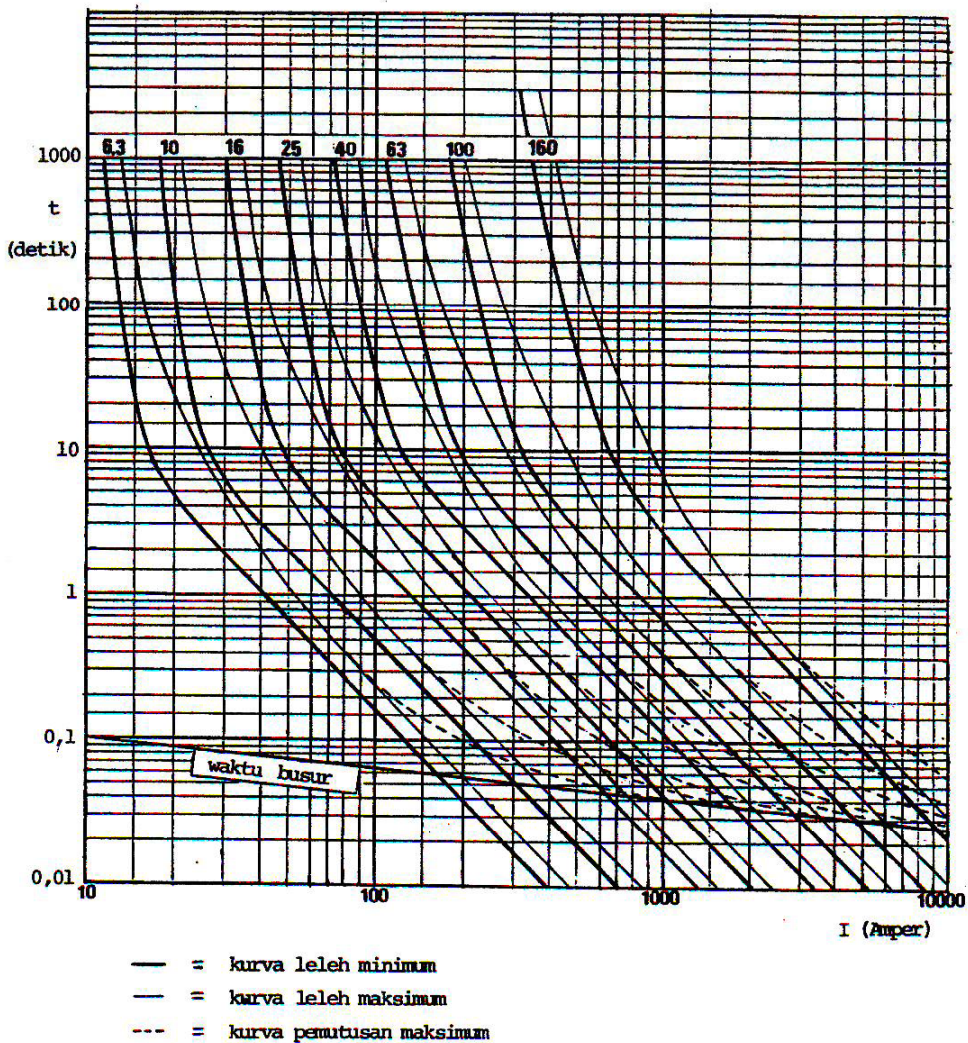




Inverse time characteristics

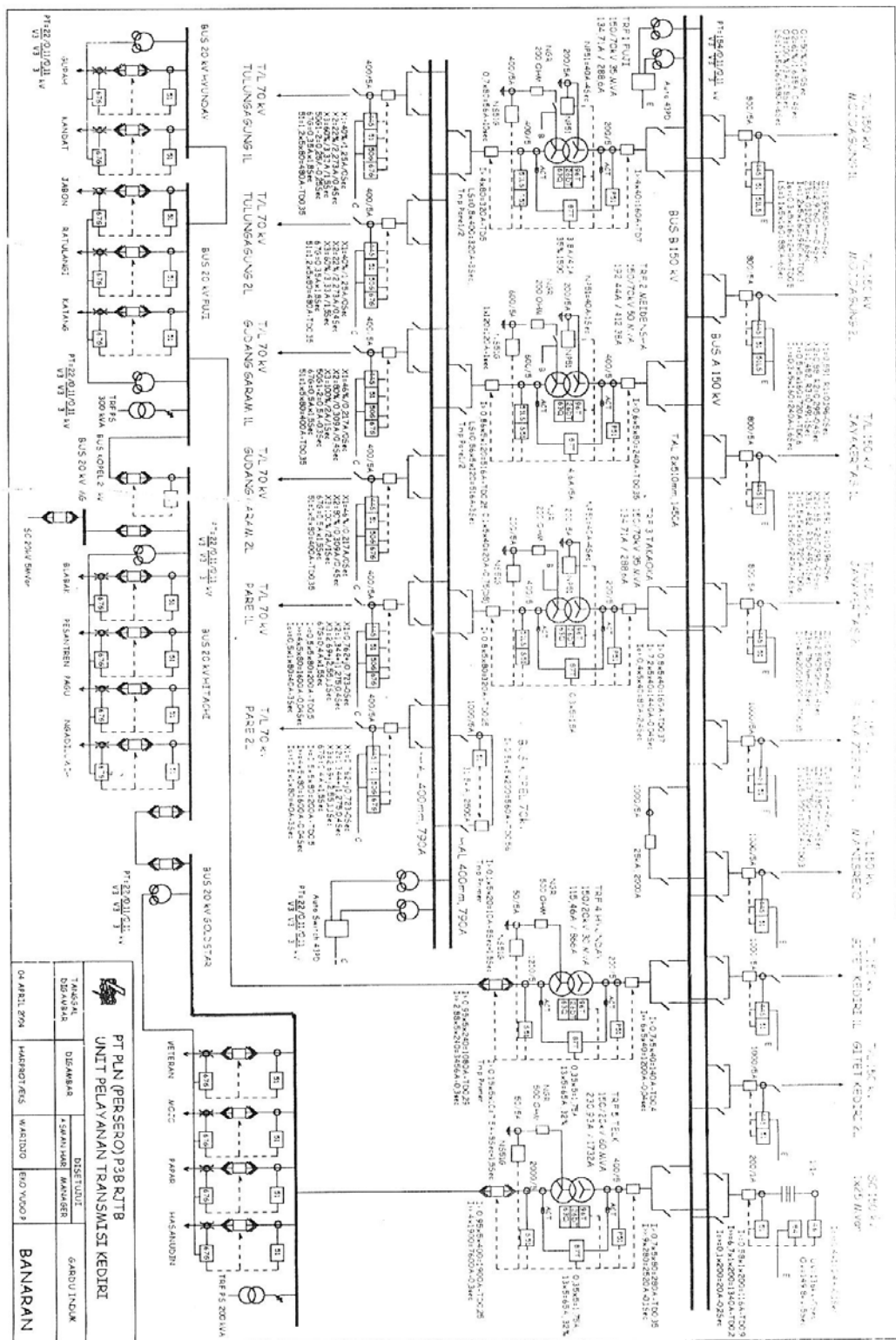



SPLN 64: 1985



Gbr. 22A - Pelebur jenis letupan tipe "TP"





 <p>PT PLN (PERSERO) P38 RITB UNIT PELAYANAN TRANSMISI KEDIRI</p>			
04 APRIL 2014	MASROTIKUS	WASIDJO	BOYOODO
TEKNIK DESAIN	DESKAAR	DISERTUI	GAROUDINUK
		SPANILAH	MANAGER
			BANARAN

