

**BUKU PEGANGAN**

**SISTEM PROTEKSI**  
**TEKNIK TENAGA LISTRIK**



**EDISI KE DUA**

**DR\_Ing.Agus Sofwan**

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO**

**JAKARTA**  
**2022**

## **KU PERSEMBAHKAN UNTUK:**

### **ROBBI-'IZZATI**

Yang Maha Mengetahui segala yang pasti dan ketidakpastian dalam kehidupan

### **MUHAMMAD SAW**

Yang telah memberikan keteladan dan motivasi diriku dalam pencarian keilmuan..

### **KEDUA ORANG TUAKU**

Yang telah mencurahkan kasih sayangnya dalam mendidik diriku menjadi sukses dan penuh manfaat sejak kecil..

### **WANITA TERCANTIK**

Istriku Latifah yang senantiasa mendampingi hidupku dengan menyertainya penuh rasa kasih sayang dan kesabaran.....

### **BOLA BOLA MATAKU**

Anak – Anakku yang telah meramaikan suasana dan menjadi penyejuk pandangan mataku...

### **PARA PENCINTA ILMU**

Mahasiswaku & pencari ilmu yang telah memberikan inspirasi dan membacanya serta mendapatkan manfaatnya....

# DAFTAR ISI

<b>PRAKATA .....</b>	<b>7</b>
<b>BAB I: PENDAHULUAN .....</b>	<b>8</b>
1.1. Umum .....	8
<b>BAB II: KOMPONEN DASAR PROTEKSI JARINGAN .....</b>	<b>13</b>
2.1. Umum .....	13
2.2. Fuse Cut Out .....	14
2.2.1. Jenis Fuse .....	15
2.2.2. Pemasangan Fuse .....	15
2.2.3. Pemilihan Arus Pengenal Fuse .....	16
2.2.4. Pemilihan Kelas Pelebur .....	17
2.2.5. Pemilihan Tegangan Pengenal Anak pelebur .....	17
2.2.6. Pelebur Jenis Letupan .....	18
2.2.7. Penggantian Lokasi Pemasangan Anak Pelebur .....	18
2.3. Arrester .....	19
2.4. Pemisah (PMS) .....	20
2.5. Pemutus (PMT) .....	21
<b>BAB III PERALATAN PENGAMAN MEKANIK .....</b>	<b>22</b>
3.1 Recloser .....	22
3.2 Klasifikasi Recloser .....	23
3.2.1 Klasifikasi Recloser Menurut Jumlah Fasanya .....	23
3.2.2 Klasifikasi Recloser Menurut Peralatannya .....	24
3.3 Operasi Recloser .....	25
3.4 Selang Waktu Penutupan Balik Recloser .....	27
3.5 Penentuan Arus Minimum Trip Recloser .....	28

3.6 Pemilihan Time Current Curve .....	30
3.7 Penentuan Interval Waktu Recloser .....	31
3.8 Koordinasi Recloser dan Fuse .....	31
3.9 Proses terjadinya busur api pada circuit breaker .....	31
3.10 Pelebur .....	34
3.10.1 Analisa pemilihan pelebur .....	34
3.10.2 PENENTUAN PENGGUNAAN PELEBUR .....	38
<b>BAB IV: PENGAMAN RELE ARUS LEBIH .....</b>	<b>40</b>
4.1 Pengertian Relai Arus Lebih .....	40
4.2 Karakteristik Relay Arus Lebih .....	41
4.3 Syarat Koordinasi Relai Arus Lebih .....	45
4.4 Setelan Relai Arus Lebih .....	46
4.5 Nilai Setelan Incoming 20 kV trafo Tenaga .....	47
4.6 Setelan Waktu (Tms) .....	47
4.7 CT (Current Transformer) .....	49
4.8 PT (Potential Transformer) .....	50
4.9 Transformator .....	51
4.10 Peralatan Bantu .....	57
4.10.1 Pendingin .....	57
4.10.2 Tap Changer (perubah tap) .....	58
4.10.3 Alat pernapasan .....	58
4.10.4 Indikator .....	59
<b>BAB V: PERALATAN PROTEKSI JARINGAN .....</b>	<b>60</b>
5.1 Relay Bucholz .....	60
5.2 Relai Tekanan Lebih .....	61
5.3 Relai Diferensial .....	61
5.4 Relai Tangki Tanah .....	62

5.5 Relai Hubung Tanah .....	62
5.6 Relai Thermis .....	62
5.7 Tap Changer .....	63
5.8 Perbandingan Transformasi (Rasio) Trafo. ....	63



# PRAKATA

Puji dan syukur kami panjatkan kehadirat Allah SWT, yang telah melimpahkan berkat, rahmat dan hidayah-Nya, sehingga penulisan buku ajar ini dapat dikerjakan dengan baik, lancar dan selesai tepat pada waktu yang telah ditentukan. Buku ajar ini merupakan salah satu tugas tenaga pendidik dalam menyempurnakan dan melengkapi pengajaran bagi para mahasiswanya dan sekaligus melaksanakan Tridharma Perguruan Tinggi. Selain itu, juga merupakan suatu kewajiban yang harus dilaksanakan sebagai dosen di lingkungan program studi Teknik Elektro Fakultas Teknologi Industri ISTN.

Penulisan buku ajar ini dilaksanakan dan didasari pengalaman mengajar di bidang sistem Proteksi pada program Tenaga Listrik di lingkungan kampus ISTN dan materi buku ini diajarkan mulai semester ganjil semester ganjil 2021-2022 mulai dari bulan September 2021. Selanjutnya akan digunakan sebagai bahan ajar untuk semester berikutnya dengan adanya perbaikan yang terus menerus. Buku ini diberikan judul “Sistem Proteksi Teknik Tenaga Listrik” yang merupakan mata kuliah yang diajarkan oleh penulis.

Pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada rekan dosen dan para mahasiswa untuk memberikan saran dan kritik yang membangun bagi peningkatan kualitas buku ini. Selain itu penulis juga berterima kasih bagi yang telah membantu dalam proses penulisan buku ini. Pada semester mendatang akan dilengkapi dengan data dan bahan pustaka masih diproses terus guna melengkapi data buku ini. Selanjutnya diharapkan agar buku ini dapat menyajikan pelayanan pengajaran yang semakin baik.

Semoga buku ini berguna untuk kemajuan ilmu dan teknologi terutama dalam sistem proteksi di bidang teknik elektro.

Jakarta, 30 September 2021

# BAB I: PENDAHULUAN

## 1.1. Umum

Kegunaan sistem tenaga elektrik adalah untuk mendistribusikan energi elektrik ke berbagai titik beban. Sistem tenaga elektrik harus didesain dan dikelola sehingga dapat mendistribusikan energi elektrik dengan tingkat ketersediaan yang tinggi dan ekonomis. Dua hal ini merupakan suatu yang sangat kontradiktif, hal ini dapat dilihat dari hubungan keduanya seperti yang disajikan dalam Gambar 1-1. Dalam gambar diperlihatkan relasi antara keandalan dan biaya untuk berbagai jumlah pelanggan. Sangat penting untuk dipahami bahwa sistem hanya viable antara dua titik persinggungan A dan B. Diagram dalam Gambar 1-1 memperlihatkan hubungan penting antara desain dan tingkat keandalan sistem dan besarnya biaya yang dibutuhkan untuk mencapai tingkat keandalan yang diinginkan. Dengan kata lain tingkat keandalan tidak dapat dicapai dengan cara mengurangi biaya, tetapi dibutuhkan kompromi antara keduanya, dengan tetap mempertimbangkan faktor-faktor lainnya.

Gambar 1-1 menunjukkan hubungan antara keandalan suplai, biaya dan harga bagi konsumen. Jaminan ketersediaan suplai daya dapat lebih baik dengan cara memperbaiki desain, meningkatkan margin kapasitas dan mengatur rangkain alternatif untuk mensuplai beban. Membagi sistem kedalam beberapa subsistem dengan kendali dan sistem proteksi yang baik, memiliki fleksibilitas dalam operasi normal dan memberi jaminan pemutusan minimum pada saat sistem mengalami gangguan atau kondisi tidak normal. Sistem Tenaga Elektrik memerlukan investasi yang sangat besar. Guna memperoleh tingkat pengembalian investasi yang memadai, sistem harus dibebani

seoptimal mungkin. Untuk alasan inilah perlu disadari bahwa operasi sistem tenaga elektrik harus berada dalam kisaran titik A dan B.

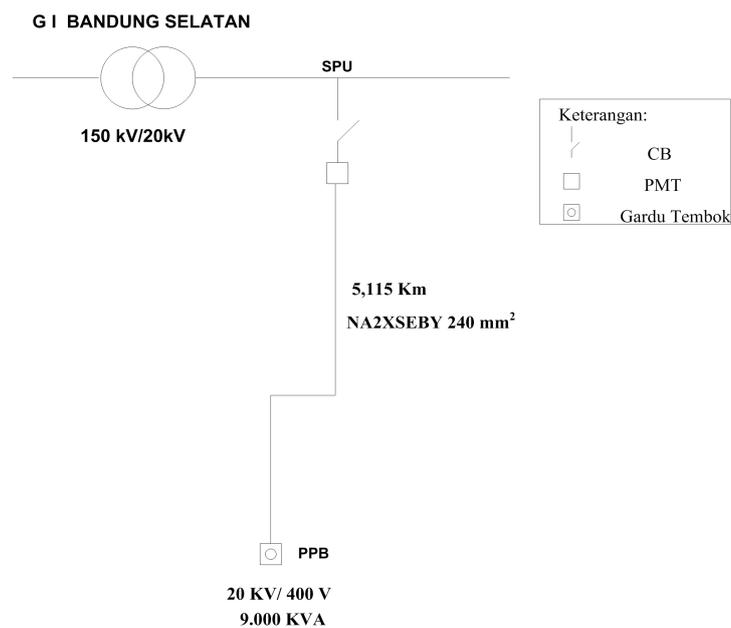
Tenaga listrik yang dihasilkan oleh pembangkit listrik besar dengan tegangan dari 11 kV sampai 24 kV dinaikan tegangannya oleh gardu induk dengan transformator penaik tegangan menjadi 70 kV, 154kV, 220kV atau 500kV kemudian disalurkan melalui saluran transmisi. Tujuan menaikkan tegangan ialah untuk memperkecil kerugian daya listrik pada saluran transmisi, dimana dalam hal ini kerugian daya adalah sebanding dengan kuadrat arus yang mengalir ( $I^2 R$ ). Dengan daya yang sama bila nilai tegangannya diperbesar, maka arus yang mengalir semakin kecil sehingga kerugian daya juga akan kecil pula.

Dari saluran transmisi, tegangan diturunkan lagi menjadi 20 kV dengan transformator penurun tegangan pada gardu induk distribusi, kemudian dengan sistem tegangan tersebut penyaluran tenaga listrik dilakukan oleh saluran distribusi primer. Dari saluran distribusi primer inilah gardu-gardu distribusi mengambil tegangan untuk diturunkan tegangannya dengan trafo distribusi menjadi sistem tegangan rendah, yaitu 220/380 Volt. Selanjutnya disalurkan oleh saluran distribusi sekunder ke konsumen-konsumen. Dengan ini jelas bahwa sistem distribusi merupakan bagian yang penting dalam sistem tenaga listrik secara keseluruhan.

Pada sistem penyaluran daya jarak jauh, selalu digunakan tegangan setinggi mungkin, dengan menggunakan trafo-trafo step-up. Nilai tegangan yang sangat tinggi ini (HV,UHV,EHV) menimbulkan beberapa konsekuensi antara lain: berbahaya bagi lingkungan dan mahalnya harga perlengkapan-perlengkapannya, selain menjadi tidak cocok dengan nilai tegangan yang dibutuhkan pada sisi beban. Maka, pada daerah-daerah pusat beban tegangan saluran yang tinggi ini diturunkan kembali dengan menggunakan

trafo-trafo step-down. Akibatnya, bila ditinjau nilai tegangannya, maka mulai dari titik sumber hingga di titik beban, terdapat bagian-bagian saluran yang memiliki nilai tegangan yang berbeda-beda. Dengan tegangan yang tinggi tersebut dimaksudkan agar tegangan pada sisi beban yang posisinya jauh dari sumber tetap dapat terjangkau dan terpenuhi besar tegangan yang diinginkan. Selain itu kerugian tegangan pada jaringan transmisi tidak akan menjadi masalah di sisi beban.

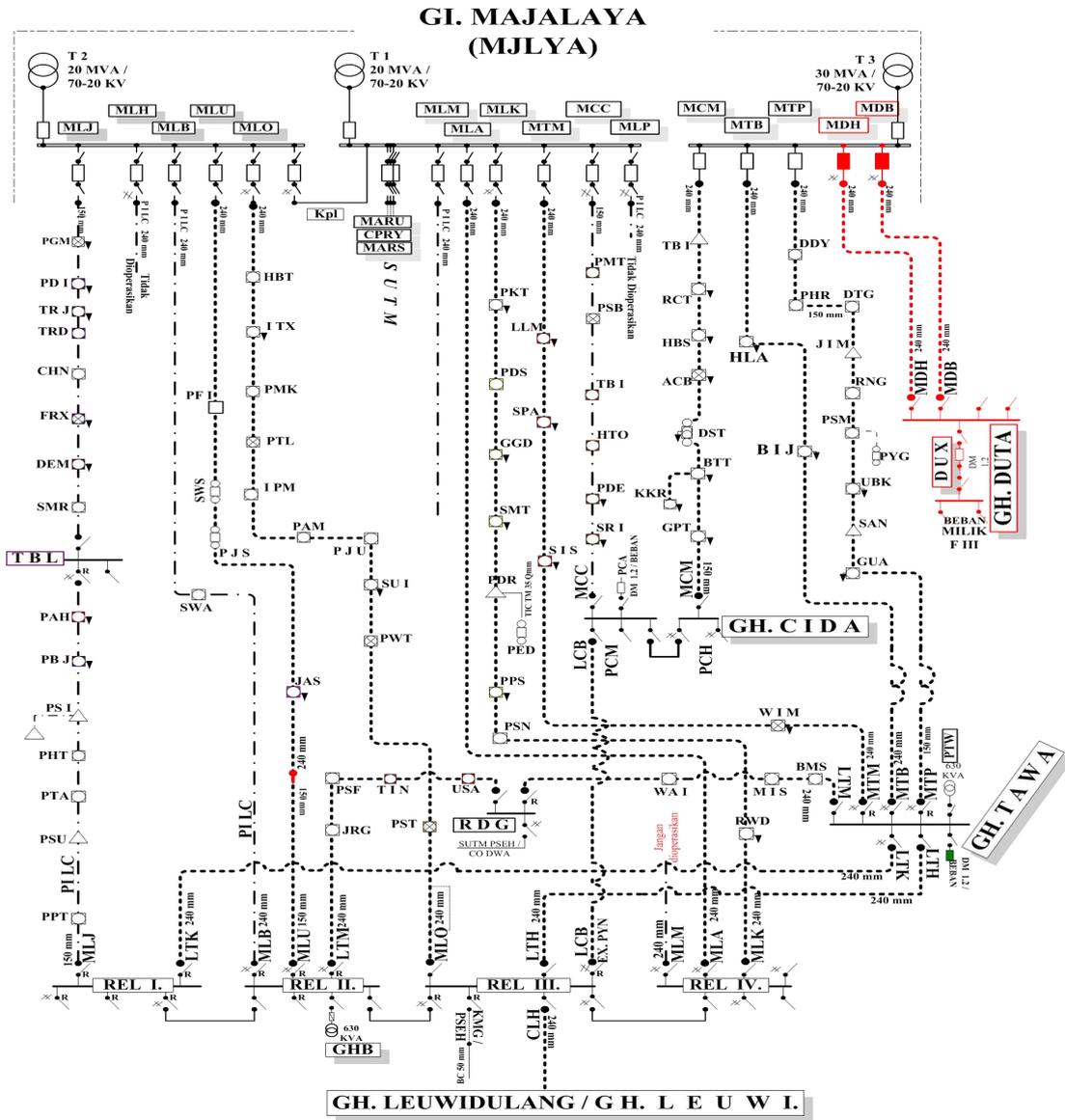
Gambar 1.1 mengilustrasikan suatu bentuk diagram satu garis (one line Diagram) di GI Bandung Selatan, dimana padanya terdapat transformator penaik tegangan, Pemutus (PMT) dan sisi beban 20kV.



Gambar 1.1: Diagram satu garis dari suatu gardu Induk

Demikian pula gambar 1.2 merupakan bentuk rangkaian diagram satu garis secara lengkap dalam system yang terintegrasi pada Gardu Induk Majalaya.

Diagram satu garis dari suatu gardu Induk di GI Majalaya diilustrasikan pada gambar 1.2, sedangkan gambar 1.3 menampilkan rangkaian lengkap dari suatu pentulang (feeder) SPU dalam jaringan.



Gambar 1.2: Rangkaian diagram satu Garis di GI Majalaya



## **BAB II: KOMPONEN DASAR PROTEKSI JARINGAN**

### **2.1. Umum**

Dalam distribusi, pembangkitan, dan transmisi energi listrik, gangguan selalu bisa terjadi tanpa terkendali, karena bisa terjadi kapan saja dan dimana saja. Pada umumnya gangguan tersebut merupakan gangguan hubung singkat, baik hubung singkat antar fasa atau fasa dengan tanah atau keduanya. Gangguan itu menimbulkan arus yang besar yang dapat merusak peralatan sehingga diperlukan pengamanan untuk mengamankan peralatan dan sistem yang ada.

Beberapa peralatan pengamanan yang sering digunakan sebagai penunjang dan dasar dalam memahami kerja sistem proteksi atau sistem Pengaman ada 4 komponen utama dasar yang sering berada pada sistem penyaluran energi listrik, yaitu :

1. Fuse Cut out.
2. Arrester.
3. Pemisah (PMS).
4. Pemutus Tenaga (PMT).

## 2.2. Fuse Cut Out

Fungsi umum pelebur dalam suatu rangkaian listrik adalah setiap saat menjaga atau mengamankan rangkaian berikut peralatan atau perlengkapan yang tersambung padanya dari kerusakan, dalam batas nilai pengenalnya

Kesempurnaan kerja pelebur tidak hanya tergantung ketelitian pembuatnya, tetapi juga pada ketepatan penggunaannya dan perhatian atau perawatan yang diberikan padanya setelah dilakukan pemasangan. Jika pelebur tidak secara tepat digunakan dan dipelihara, dapat menimbulkan kerusakan berarti pada peralatan yang dilindungi.

Pengaman ini banyak digunakan pada sistem jaringan distribusi 20 kV., karena disamping harganya murah juga mudah diinstalasikan maupun dioperasikan. Kelemahan dari fuse ialah penggunaannya terbatas pada daya yang kecil.

Fuse ini tidaklah dilengkapi pemadam busur api, sehingga bila digunakan untuk daya yang besar, fuse tidak mampu meredam busur api yang timbul pada saat terjadi gangguan ataupun percikan api.



Gbr 2.1 Kondisi fisik Fuse cut Out [4]

### **2.2.1. Jenis Fuse**

Pengaman yang digunakan untuk tegangan diatas 600 Volt digolongkan dalam "Distribution Cut Out" atau "Power Fuse"

Berdasarkan cara kerjanya fuse dibedakan menjadi 3 keadaan, dimana :

1. Current Zero Awaiting Type, contohnya Expulsion Fuse, Fuse ini akan memutuskan jaringan penyaluran energi listrik akibat adanya lonjakan arus yang tinggi dan biasanya terjadi secara tiba-tiba atau mendadak.
2. Current Zero Shifting Type, contohnya Current Limiting. Fuse ini bekerja berdasarkan pembatasan arus tertentu. Sehingga bila arus gangguan tersebut melebihi batasan arus yang ditetapkan peralatan, maka fuse akan berfungsi untuk memutuskan jaringan.

Sedang berdasarkan bentuk dan fisiknya fuse dapat dibedakan menjadi :

3. Open Link (elemen terbuka), merupakan fuse yang dilengkapi dengan elemen yang kuat dalam menerima panas arus dan pada keadaan tertentu elemen tersebut dapat meleleh sehingga sistem dapat terputus dan jaringan terselamatkan dari meluasnya gangguan tersebut

### **2.2.2. Pemasangan Fuse**

Fuse harus dipasang pada sistem penyaluran energi harus sesuai dengan petunjuk dari pembuatnya. Berbagai jenis dan bentuk juga dibuat oleh fabrikasi dengan segala keuntunaaBagi fuse yang berkutub ganda (tiga fasa), maka jarak antar kutub tidak boleh dipasang kurang dari ketentuan pembuatnya ATAU produsennya. Bila ada pengaruh lingkungan, maka jarak bebas yang aman perlu juga diatur sesuai ketentuan pembuatnya/ fabrikasi. Setiap fabrikasi dapat membuat design dan keunikan serta keunggulan dari setiap fuse.

### 2.2.3. Pemilihan Arus Pengenal Fuse

Untuk mengantisipasi kesalahan penggunaan fuse, maka hal penting untuk diketahui berupa Arus pengenal anak pelebur tersebut. Arus pengenal ini harus dipilih berdasarkan parameter-parameter sebagai berikut :

- a. Arus Nominal dan kemungkinan beban lebih dari rangkaian (sirkuit), termasuk arus harmonisa
- b. Gejala *transient* di rangkaian karena pengaruh pemutusan atau penghubungan peralatan seperti transformator, motor, atau kapasitor.
- c. Koordinasi dengan alat pengaman lain, bila ada.

Arus pengenal pelebur biasanya lebih besar daripada beban nominal. Rekomendasi pemeliharaannya biasanya diberikan oleh pembuatnya.

Arus pengenal ditentukan berdasarkan kenaikan suhu anak pelebur yang diuji di udara terbuka atau dalam minyak. Bila pelebur digunakan/dipasang dalam selungkup, maka arus pengenalnya harus diturunkan nilainya agar dapat tetap sesuai dengan kebutuhan kenaikan suhunya, oleh karena itu anak pelebur dapat mempunyai arus pengenal yang berlainan tergantung macam selungkupnya.

Anak pelebur yang dibebani arus melebihi kemampuan arus terus menerus, terutama apabila beban lebih yang terjadi berulang kali, dapat menyebabkan kerusakan/penuaan yang dapat merusak karakteristik waktu arusnya.

Untuk pelebur jenis pembatas arus, bila arus lebih ini nilainya kurang dari arus pemutus minimumnya, dan menyebabkan elemen peleburnya meleleh, maka kemungkinan anak pelebur meleleh dan gagal memutus arus tersebut.

#### 2.2.4. Pemilihan Kelas Pelebur

- Pemilihan kelas pelebur jenis pelebur pembatas arus.

Sesuai dengan tujuan penggunaannya apakah sebagai satu-satunya pengaman atau digunakan bersama alat pengaman yang lain. Pelebur jenis pembatas arus dibagi dalam kelas serba guna dan kelas "back Up".

- Pemilihan kelas pelebur jenis Letupan

Di dalam jenis letupan ini, pelebur terbagi menjadi 2 kelas, antara lain :

Kelas 1: Pelebur ini biasanya digunakan untuk mengamankan bangku(*bank*) transformator besar, trafo tegangan dan kapasitor *bank* untuk perbaikan faktor daya pada sistem yang penting.

Kelas 2 : Pelebur ini digunakan untuk mengamankan transformator-transformator kecil dan bank kapasitor untuk perbaikan faktor daya pada daya yang kecil, atau untuk mengamankan saluran cabang dari saluran udara pada sistem distribusi.

#### 2.2.5. Pemilihan Tegangan Pengenal Anak pelebur

- Pelebur Jenis Pembatas Arus

Tegangan anak pelebur harus dipilih berdasarkan hal-hal sebagai berikut :

- a. Bila digunakan dalam sistem 3 fasa dengan pentanahan langsung atau melalui impedansi, maka besarnya tegangan pengenal anak pelebur harus paling sedikit sama dengan tegangan antar fasa yang tertinggi (yaitu 24 kV untuk sistem 20 kV)
- b. Bila digunakan dalam sisitem fasa tunggal, tegangan angka pelebur harus paling sedikit sama dengan 115% dari tegangan saluran fasa tunggal yang tertinggi (yaitu 15 kV untuk sistem 20 kV)

- c. Bila digunakan pada sistem 3 fasa yang tidak ditanahkan, maka kemungkinan terjadinya gangguan fasa tanah ganda, dengan satu gangguan di sisi suplai dan satu gangguan di sisi beban dari pelebur fasa harus diperhitungkan.

#### **2.2.6. Pelebur Jenis Letupan**

Tegangan anak pelebur harus dipilih berdasarkan hal-hal sebagai berikut :

- a. Bila digunakan dalam sistem 3 fasa maka besarnya tegangan pengenal anak pelebur harus paling sedikit sama dengan tegangan antar fasa yang tertinggi (yaitu 24 kV untuk sistem 20 kV)
- b. Bila digunakan dalam sistem fasa tunggal, tegangan angka pelebur harus paling sedikit sama dengan tegangan saluran fasa tunggal yang tertinggi (yaitu 15 kV untuk sistem 20 kV)

#### **2.2.7. Penggantian Lokasi Pemasangan Anak Pelebur**

Sangat dianjurkan bahwa pada proses penggantian anak pelebur dilakukan pada keadaan bebas tegangan. Dianjurkan untuk mengganti semua (tiga buah) anak pelebur, bila salah satu atau dua anak pelebur dari sirkuit tiga fasa telah putus (telah bekerja/beroperasi). Kecuali jika diketahui dengan pasti bahwa tidak terjadi arus lebih pada pelebur yang tidak putus tersebut.

Sesuai dengan sifat dan penampilannya, maka pada umumnya pelebur jenis letupan ini disarankan untuk digunakan pada pasangan luar sebagai pengaman transformator distribusi tiang maupun cabang saluran udara dan jenis pembatas arus untuk pasangan dalam di dalam bangunan gardu atau dalam lemari hubung (*Cubicle*) sebagai pengaman Transformator distribusi maupun kabel pelayanan.

### ➤ Pelebur Sebagai Pengaman Saluran Cabang

Pemilihan pelebur sebagai pengaman saluran distribusi tegangan menengah harus didasarkan atas faktor-faktor sebagai berikut :

1. Kemampuan pelebur terhadap arus beban maksimum yang terus menerus, yang mencakup arus beban nominal, beban lebih, harmonisa, dan perakiraan cadangan untuk pertumbuhan beban yang akan datang.
2. Koordinasi yang sebaik-baiknya dengan alat pengaman yang lain (PMT, Recloser, dan Pelebur), baik yang berada disisi hulu (sumber) maupun disisi hilir (bebannya).
3. Kemampuan pemutusan dari pelebur, khususnya bagi pelebur jenis letupan yang dipasang dekat G.I/ Sumber daya.
4. Batas ketahanan penghantar terhadap arus hubung singkat.

Jadi, pelebur yang dipilih haruslah sekaligus tahan terhadap arus beban, dapat dikoordinasikan secara baik dengan alat pengaman yang lain, mempunyai kemampuan pemutusan terhadap arus hubung singkat yang mungkin terjadi setempat dan dapat melindungi penghantar yang diamankan akibat arus lebih.

### **2.3. Arrester**

Arrester ialah alat proteksi bagi peralatan listrik terhadap tegangan lebih, yang disebabkan oleh surja petir atau surja hubung (switching surge). Alat ini bersifat sebagai by-pass di sekitar isolasi yang membentuk jalan dan mudah dilalui oleh arus kilat ke sistem pentanahan sehingga tidak menimbulkan tegangan lebih yang tinggi dan tidak merusak isolasi peralatan listrik. Jadi, pada keadaan normal arrester berlaku sebagai isolator, bila timbul tegangan surja, alat ini bersifat sebagai konduktor yang tahanannya

relatif rendah. Sehingga dapat melewati arus yang tinggi ke tanah. Setelah surja hilang, arrester harus cepat kembali menjadi isolator.



Gbr 2. 2 Kondisi fisik Arrester [4]

#### 2.4. Pemisah (PMS)

PMS ialah nama lain dari *Insulating (disconnecting) switch atau DS*. PMS ini hanya boleh dioperasikan dalam keadaan system tidak berbeban. Posisi pisau-pisau (ujung kontak) PMS harus dapat dilihat secara visual kedudukannya, baik dalam kondisi menutup atau terbuka. Hal ini dilakukan untuk menjaga keselamatan pengoperasian. Umumnya dilakukan pengoperasiannya secara manual, baik untuk memasukkan ke jaringan ataupun mengeluarkannya.

Pemisah (PMS) atau *Disconnecting Switch (DS)*, adalah peralatan hubung yang berfungsi untuk memisahkan satu rangkaian dengan rangkaian yang lain pada kondisi tidak berbeban. Selain itu, bahwa pada PMS ini tidak ada proses peredaman busur api listrik yang ditimbulkan.

Dalam pelaksanaan penggunaan pada rangkaian sistem bahwa PMT dan PMS saling berpasangan sesuai dengan peranannya. Keduanya harus dilakukan koordinasi manual dalam penoperasiannya terutama pada saat pemeliharaan jaringan.

Apabila menghubungkan dari jaring (rel) ke beban maka PMS dahulu yang dioperasikan, kemudian berikutnya PMT dioperasikan. Demikian sebaliknya apabila akan melepas dari jaringan ke beban, maka PMT di matikan (off) terlebih dahulu, dan kemudian PMS dimatikan. Urutan operasi antara PMT dan PMS “tidak boleh salah”. Hal ini berakibat terbakarnya PMS, karena PMS berfungsi memisahkan rangkaian pada kondisi tanpa beban (tidak ada arus).

## **2.5. Pemutus (PMT)**

PMT digunakan untuk memutus tenaga listrik, semakin tinggi tegangan yang digunakan, maka semakin sulit proses pemutusan rangkaian listriknya. Hal ini disebabkan karena semakin tinggi pula tegangan transient yang terjadi pada waktu rangkaian terputus. Tegangan transient ini dapat menyalakan kembali arus listrik yang telah terputus.

Dalam praktek, sebuah PMT umumnya dikombinasikan dengan 3 PMS yaitu 2 PMS di depan dan dibelakang PMT dan 1 buah PMS tanah yang digunakan untuk mentanahkan bagian instalasi yang akan dibebaskan dari tegangan yang selanjutnya disentuh agar aman untuk dioperasikan. Dalam operasinya PMT harus dapat bekerja dengan optimal, yaitu penutupan dan pembukaan PMT memerlukan gerakan mekanis yang cepat dan tegas, apabila gerakan PMT lambat maka proses pemutusan busur listrik akan gagal. Untuk mendapatkan gerakan yang cepat dan tegas, maka diperlukan suatu mekanisme (*switchgear*) penggerak berdasarkan energi pegas/energi udara tekan (*pneumatic*) atau energi takaran minyak (*hydraulic*).

## BAB III PERALATAN PENGAMAN MEKANIK

### 3.1 Recloser

*Recloser* adalah peralatan proteksi arus lebih secara otomatis membuka menutup kembali dan membuka terus (*lock out*) setelah beberapa kali untuk menghilangkan gangguan sementara atau kegagalan isolasi permanen. Recloser dapat bekerja secara otomatis untuk mengamankan sistem dari arus lebih yang diakibatkan adanya gangguan hubung singkat. Bekerjanya untuk menutup balik dan membuka secara otomatis dapat diatur selang waktunya.

Gangguan yang bersifat temporer tidak menyebabkan recloser sampai *lock out*. Apabila gangguan bersifat permanen. Maka setelah membuka dan menutup balik sebanyak setting yang ditentukan sebelumnya, recloser akan *lock out* sehingga seksi yang dianggap masih ada gangguan akan terisolasi. Posisinya ditunjukkan pada gambar 3.1



Gambar 3. 1. Kondisi Recloser terpasang di jaringan [4]

## **3.2 Klasifikasi Recloser**

### **3.2.1 Klasifikasi Recloser Menurut Jumlah Fasanya**

#### ***a. Fasa Tunggal***

Recloser fasa tunggal digunakan untuk mengamankan saluran fasa tunggal, misalnya saluran cabang fasa tunggal dari saluran utama saluran tiga fasa. Kecuali itu dapat juga dipakai pada saluran tiga fasa, dengan tiga buah recloser fasa tunggal. Begitu terjadi gangguan salah satu fasa ke tanah, fasa yang bersangkutan akan membuka sendiri, sementara dua fasanya yang sehat dan sinkron akan tetap berjalan.

#### ***b. Tiga fasa***

Recloser digunakan untuk mengamankan saluran tiga fasa terutama pada saluran utamanya. Begitu terjadi gangguan salah satu fasa, ketiga fasa akan membuka tanpa memperhatikan fasa mana yang terganggu. Waktu pembukaan dapat dibuat lebih singkat dari penutupan satu fasa.

### **3.2.2 Klasifikasi Recloser Menurut Peralatannya**

#### ***c. Recloser Terkendali Hidrolik***

Pengaturan sistem PROTEKSI berbasiskan pada kerja dan penyetelan waktu telah dilakukan dalam hal proses pemompaan minyak bumi secara terpisah. Recloser ini menggunakan kumparan penjatuh yang dipasang seri terhadap beban. Bila arus mengalir melalui alat proteksi ini maka ia akan menarik plunyer yang secara mekanik. Selanjutnya system dapat membuka kontak utama recloser. Pada umumnya recloser jenis satu fasa dipakai pengaturan secara hidrolik.

#### ***d. Recloser Terkendali Elektronik***

Sistem ini tentu relatif lebih akurat dibandingkan dengan kontrol secara hidrolik. Rangkaiannya terletak pada sebuah kotak yang terpisah dari recloser. Ini memudahkan mengganti-ganti karakteristik waktu arus, level arus trip dan urutan operasi recloser tanpa diinjeksi atau membuka tanki recloser. Asesoris yang beraneka tersedia bagi modifikasi operasi dalam menagani berbagai masalah jaringan. Arus dideteksi oleh suatu trafo pendeteksi dengan bushingnya yang berada dalam recloser. Disini arus sekundernya dipakai untuk kontrol dengan kabel-kabel multi konduktor yang juga mengalirkan sinyal untuk trip serta sinyal untuk menutup kembali recloser. Ketika arus sekunder ini mengalir melalui sirkit pendeteksi jika melewati batas minimal trip yang proporsional, level deteksi sirkit dan sirkit waktu akan bekerja. Setelah berlalunya waktu tunda sebagaimana yang telah diprogram, sirkit trip mengirimkan sinyal ke recloser untuk membuka. Secara

berurutan kemudian relay akan beroperasi untuk siap kembali melakukan operasi berikutnya.

### **3.3 Operasi Recloser**

Operasi recloser terbagi menjadi operasi cepat (*fast*) dan operasi tertunda (*delayed*).

#### *a) Fast Operation*

Recloser segera membuka sebelum terjadi kerusakan pada fuse di jaringan-jaringan yang merupakan percabangan

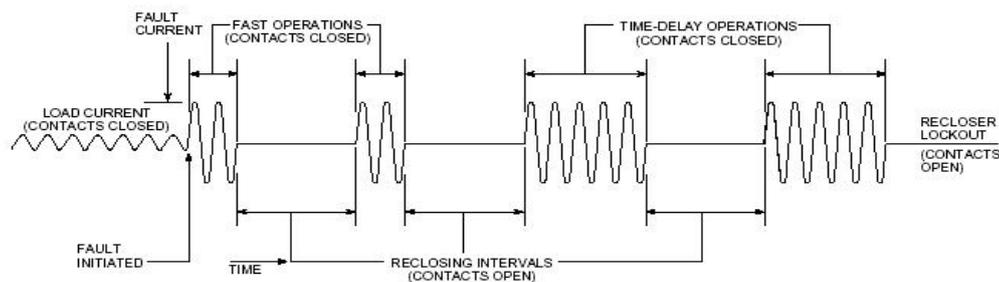
#### *b) Delayed Operation*

Ditujukan untuk memberi kesempatan pada fuse untuk bekerja sehingga gangguan yang bersifat permanen dapat dibatasi pada wilayah yang kecil. Ia merupakan salah satu garda terdepan dalam menghadapi gangguan.

Kerja dari sebuah Recloser mempunyai empat jenis operasi,yaitu:

- Operasi Pertama merupakan operasi yang bergerak secara cepat untuk menghilangkan gangguan sementara yang datan pada sistem yang dilindunginya
- Operasi kedua untuk menyelesaikan sisa gangguan yang masih ada,
- Operasi ketiga lambat untuk menyelesaikan sisa gangguan yang masih ada dan
- Keempat: operasi lambat keempat recloser lock-out sesuai dengan hasil penyettingannya. Itulah urutan operasi dari peralatan recloser yang bekerjanya secara mekanik. Sistem penyetelan waktu membuka dan atau menutup dari suatu recloser dapat diatur dengan kurva karakteristiknya. Secara garis besar, urutan kerja dari recloser adalah sebagai berikut:

- 1) Sebelum terjadi gangguan arus yang mengalir normal.
- 2) Pada saat terjadi gangguan, arus yang mengalir melalui recloser sangat besar dan hal ini akan menyebabkan kontak recloser akan terbuka dengan waktu operasi yang cepat "*fast*".
- 3) Kontak recloser akan menutup kembali setelah melewati waktu beberapa detik sesuai setting yang dilakukan. Tujuan membarikan selang waktu beberapa detik ini adalah memberi penyebab gangguan hilang dari sistem, terutama gangguan yang bersifat temporer.
- 4) Jika gangguan yang terjadi adalah permanen, maka recloser akan membuka dan menutup kembali sesuai dengan setting yang telah ditentukan dan selanjutnya akan *lock-out*.
- 5) Setelah gangguan yang bersitat permanen (tetap) itu dibebaskan secara manual oleh petugas atau teknisi, maka recloser selanjutnya baru dapat dimasukkan lagi ke sistem.



Gambar 3. 2. Urutan kerja Recloser [1]

Gambar 3.2 diatas menjelaskan secara mudah urutan kerja dari recloser dalam menghadapi gangguan yang terjadi pada suatu penyulang.

### 3.4 Selang Waktu Penutupan Balik Recloser

Beberapa pemilihan waktu penutupan balik recloser dapat dibuat, hal ini sangat dipengaruhi oleh koordinasi dengan peralatan pengaman lainnya.

- a) Menutup balik seketika, setelah kontak recloser membuka karena adanya gangguan, maka dengan waktu yang singkat kontak tersebut akan menutup kembali.
- b) Menutup balik setelah dua detik, artinya kontak recloser membuka karena adanya gangguan, maka selang dua detik kemudian recloser akan menutup balik. Bila digunakan diantara *fast trip operation*, maka waktu dua detik ini sudah cukup untuk mendinginkan fuse disisi beban.
- c) Menutup balik setelah lima detik, ini dimaksudkan agar dapat memberi kesempatan bagi fuse untuk dingin kembali sehingga tidak sampai pada titik leleh minimumnya.
- d) Menutup balik setelah sepuluh detik, lima belas detik dan seterusnya atau dikenal juga sebagai "*longer reclosing interval*", pada umumnya digunakan apabila pengaman cadangannya adalah pemutus tenaga yang dikontrol dengan rele.
- e) Pengaturan Setting Recloser dengan Kontrol Elektronik

Pengaturan program ini dapat dilakukan di kotak pengontrol recloser yang berada di tiang recloser. Pengaturan ini dilakukan dengan mengatur parameter-parameter yang telah tersedia dalam program. Adapun parameter-parameternya, yaitu :

- a) *Time Current Curve* (TCC).
- b) Waktu trip konstan, dapat dipilih dari 0.5~120 detik dengan penambahan 0.1 detik.
- c) Jumlah operasi *lock-out* yaitu 1, 2, 3 dan 4.
- d) Waktu interval penutupan kembali 0.6 sampai 1000 detik.
- e) Waktu reset interval setelah berhasil menutup kembali yaitu 3 sampai 180 detik.

### 3.5 Penentuan Arus Minimum Trip Recloser

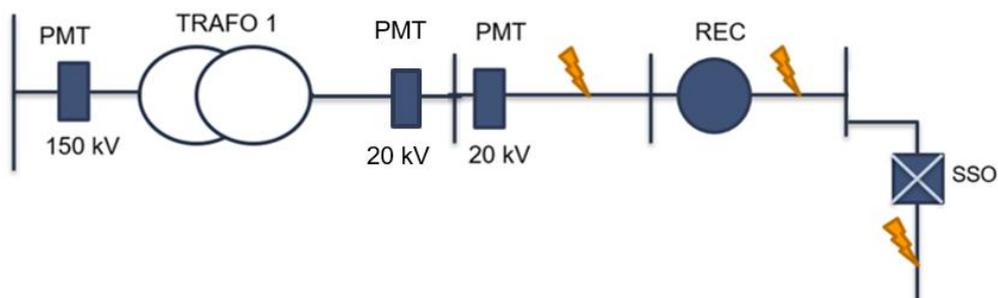
Penentuan arus minimum trip fasa dengan dua kali arus beban, disini dengan pertimbangan adanya permintaan kenaikan beban untuk waktu kedepannya.

$$\begin{aligned} I &= 2 \times I_n \\ &= 2 \times 32,5 \\ &= 65 \text{ A} \end{aligned}$$

Ini merupakan besaran arus minimum untuk memperkerjakan operasinya dari sebuah recloser.

### 3.6 Koordinasi PMT, Recloser, dan SSO

Koordinasi kerja PMT, *Recloser* dan SSO didasarkan pada letak gangguan yang terjadi. Gangguan yang terjadi terletak di sisi setelah PMT, gangguan terletak di jaringan setelah *recloser* dan gangguan terletak di jaringan setelah SSO.



Gambar 3.3 Skema Koordinasi ketika terjadi gangguan [2]

Berdasarkan gambar 3.3 terdapat skema koordinasi kerja secara berurutan dapat dilihat di sebelah kanan masing-masing PMT, *recloser* serta SSO. Hal itu disebut sebagai daerah kerja dari peralatan proteksi. Jika peralatan proteksi merasakan terjadinya gangguan, maka peralatan tersebut dapat *open/trip* (membuka), sehingga Sistem akan mengalami pemutusan jaringan sessat.

Jika gangguan terjadi sesudah *recloser*, maka *recloser* akan membuka dan SSO tidak bekerja. Jika gangguan terjadi sesudah SSO. Maka yang bekerja terlebih dahulu adalah *recloser*. Karena SSO hanya akan bekerja apabila hilangnya tegangan dan merasakan gangguan, maka yang akan terjadi adalah *Recloser* akan *open*. Karena *Recloser open*, maka SSO merasakan adanya tegangan yang hilang, maka SSO akan *open*. Kemudian, *recloser* akan menutup kembali. Karena gangguan telah dilepas oleh SSO. Saat *Recloser* menutup kembali, *Recloser* tidak mendeteksi adanya arus gangguan. Dengan begitu, jaringan PMT masih dapat teraliri listrik dan tidak terjadi padam yang meluas.

Jika gangguan terjadi sebelum *Recloser* maka koordinasi yang akan terjadi PMT akan *open*, saat PMT *open*. Maka *Recloser* tidak akan *open*. Karena hanya mendeteksi hilangnya tegangan namun tidak mendeteksi arus gangguan sama sekali.

Apabila gangguan yang terdapat pada SSO adalah gangguan sesaat, maka *recloser* tidak akan *open* kembali. Tetapi, apabila gangguan yang terjadi adalah gangguan tetap, maka *recloser open* kembali dan seketika akan mengunci atau tidak dapat menutup kembali (*reclose*).

Dengan demikian koordinasi PMT, *recloser* serta SSO tergantung pada letak gangguannya.

Berikut adalah koordinasi kerja antar PMT, *Recloser* serta SSO yang terdapat pada tabel 3.1 :

Tabel 3. 1 Koordinasi kerja antar PMT, Recloser serta SSO

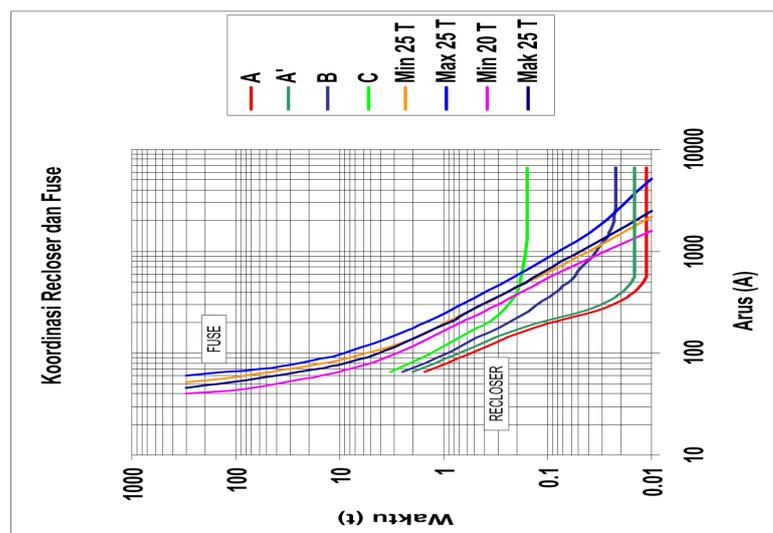
	PMT	Recloser	SSO
Posisi	Utama	Utama	Cabang
Kerja	Gangguan hubung singkat	Gangguan hubung singkat	Hilang tegangan Merasakan arus gangguan
Waktu kerja	<i>Setting time</i>	<i>Setting time</i>	<i>Setting arus</i>
<i>Setting time</i>	0,37	0,17	-

### 3.7 Pemilihan Time Current Curve

Pemilihan *time current curve* (TCC) ini dengan harus mengetahui waktu Tms terlebih dahulu. Tms tersebut berada di OCR (over current relay) pada penyulang tertentu, (misalkan feeder gunung dukuh). Tms ini adalah 0,1 dengan bentuk karakteristik normal invers, karena itu didapat waktu kerja dari kurva karakteristiknya sebesar 1 detik pada 200% I setting.

Pemilihan waktu kerja recloser tersebut harus didasarkan pada waktu kerja dikurangi delta t yaitu sebesar 0,3 detik. Untuk itu pemilihan TCC kurang lebih sama dengan 0,7 detik.

Dari pertimbangan diatas ,penulis memilih untuk menggunakan kurva nomor 107, 112 dan 113, dengan masing-masing waktu kerjanya yaitu sebesar 0,3; 0,58 dan 0,7 detik pada 200% dari arus settingnya. Data kurva tersebut dapat dilihat berdasarkan gambar 3.4 di bawah ini.



**Gambar 3.4: Kordinasi recloser dan fuse.**

### **3.8 Penentuan Interval Waktu Recloser**

Recloser tersebut menggunakan interval 1× operasi cepat dan 2 × operasi lambat dimana interval pertama disetting dengan menggunakan waktu kerja selama 2 detik, dengan pertimbangan kurva cepat untuk menghilangkan gangguan yang bersifat sementara. Sedangkan operasi lambat pertama yaitu sebesar 5 detik untuk menghilangkan sisa gangguan yang bersifat sementara. Adapun operasi ketiga yaitu selama 10 detik untuk memberi kesempatan fuse untuk memutuskan jaringan dan gangguan dianggap bersifat tetap. Hal itu dikarenakan setelah melalui 3 tahapan kerja recloser, gangguannya masih tetap ada, sehingga jaringan harus diputuskan.

### **3.9 Koordinasi Recloser dan Fuse**

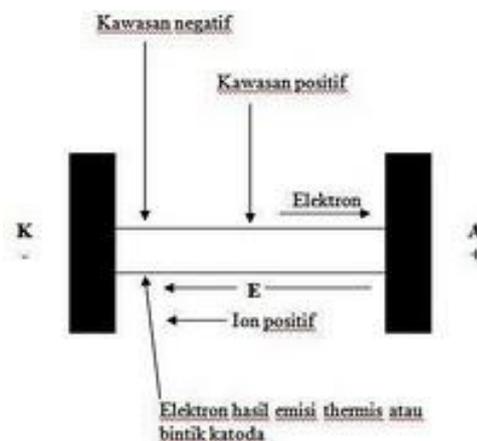
Pada koordinasi recloser dan fuse kurva waktu arus fuse 20 T dan 25 K terletak diantara kurva buka cepat dan buka lambat. Mengingat selama recloser bekerja buka cepat 1 kali, pelebur mengalami pembebanan awal yang mempercepat waktu lelehnya minimumnya, kurva A (buka-cepat) dari recloser harus digambarkan dengan waktu yang dinaikkan yaitu dengan mengalikan dengan faktor pengali (faktor K).

### **3.10 Proses terjadinya busur api pada circuit breaker**

Batas koordinasi untuk fuse 20 T adalah dari perpotongan kurva A' recloser dengan kurva minimum melting (kurva leleh minimum) fuse 20 T sampai batas perpotongan antara kurva B recloser dengan kurva maximum melting (kurva leleh maximum) fuse 20 T. Batas koordinasi untuk fuse 25 T adalah dari perpotongan kurva A' recloser dengan kurva

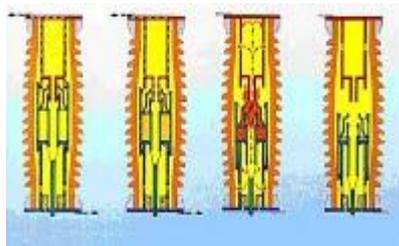
minimum melting (kurva leleh minimum) fuse 25 T sampai batas perpotongan antara kurva B recloser dengan kurva maximum melting (kurva leleh maximum) fuse 25 T. Pada waktu pemutusan atau penghubungan suatu rangkaian sistem tenaga listrik maka pada PMT akan terjadi busur api, hal tersebut terjadi karena pada saat kontak PMT dipisahkan, beda potensial diantara kontak akan menimbulkan medan elektrik diantara kontak tersebut (gbr.3.5).

Arus yang sebelumnya mengalir pada kontak akan memanaskan kontak dan menghasilkan emisi thermis pada permukaan kontak. Sedangkan medan elektrik menimbulkan emisi medan tinggi pada kontak katoda (K). Kedua emisi ini menghasilkan elektron bebas yang sangat banyak dan bergerak menuju kontak anoda (A). Elektron-elektron ini membentur molekul netral media isolasi dikawasan positif, benturan-benturan ini akan menimbulkan proses ionisasi. Dengan demikian, jumlah elektron bebas yang menuju anoda akan semakin bertambah dan muncul ion positif hasil ionisasi yang bergerak menuju katoda, perpindahan elektron bebas ke anoda menimbulkan arus dan memanaskan kontak anoda.



Gambar 3.5: Sistem Kerja kontak

Ion positif yang tiba di kontak katoda akan menimbulkan dua efek yang berbeda. Jika kontak terbuat dari bahan yang titik leburnya tinggi, misalnya tungsten atau karbon, maka ion positif akan menimbulkan pemanasan di katoda. Akibatnya, emisi termis semakin meningkat. Jika kontak terbuat dari bahan yang titik leburnya rendah, misalnya tembaga, ion positif akan menimbulkan emisi medan tinggi. Hasil emisi termis ini dan emisi medan tinggi akan melanggengkan proses ionisasi, sehingga perlu memadamkan busur api tersebut (Gambar 3.6).



Gambar 3.6. : Proses Ionisasi

Untuk memadamkan busur api tersebut perlu dilakukan usaha-usaha yang dapat menimbulkan proses deionisasi, antara lain dengan cara sebagai berikut:

1. Meniupkan udara ke sela kontak, sehingga partikel-partikel hasil ionisasi dijauhkan dari sela kontak.
2. Menyemburkan minyak isolasi kebusur api untuk memberi peluang yang lebih besar bagi proses rekombinasi.
3. Memotong busur api dengan tabir isolasi atau tabir logam, sehingga memberi peluang yang lebih besar bagi proses rekombinasi.
4. Membuat medium pemisah kontak dari gas elektronegatif, sehingga elektron-elektron bebas tertangkap oleh molekul netral gas tersebut. Jika pengurangan partikel bermuatan

karena proses deionisasi lebih banyak daripada penambahan muatan karena proses ionisasi, maka busur api akan padam. Ketika busur api padam, di sela kontak akan tetap ada terpaan medan elektrik. Jika suatu saat terjadi terpaan medan elektrik yang lebih besar daripada kekuatan dielektrik media isolasi kontak, maka busur api akan terjadi lagi.

### 3.11 Pelebur

#### 3.11.1 Analisa pemilihan pelebur

Pemilihan jenis pelebur pada cabang jaringan yaitu dengan mengetahui arus nominal pada beban pelebur terlebih dahulu. Untuk mencari arus nominal yaitu dengan rumus sebagai berikut :

a. Untuk F1

$$I = \frac{S}{V_{ph}}$$

$$I = \frac{75000}{20000\sqrt{3}}$$

$$I = 2,16 \text{ A}$$

Arus beban maksimum adalah  $2 \times I_n = 2 \times 2,16 = 4,32 \text{ A}$ . Adapun dengan Pelebur

6,3 K dengan kapasitas arus beban  $150 \% \times 6,3 = 9,45 \text{ A}$ .

b. Untuk F2

$$I = \frac{S}{V_{ph}}$$

$$I = \frac{550000}{20000\sqrt{3}}$$

$$I = 15,88 \text{ A}$$

Arus beban maksimum adalah

$$2 \times I_n = 2 \times 15,88 = 31,76 \text{ A. Pelebur 25 K dengan kapasitas arus beban}$$

$$150 \% \times 6,3 = 9,45 \text{ A.}$$

c. Untuk F3

$$I = \frac{S}{V_{ph}}$$

$$I = \frac{500000}{20000\sqrt{3}}$$

$$I = 14,43 \text{ A}$$

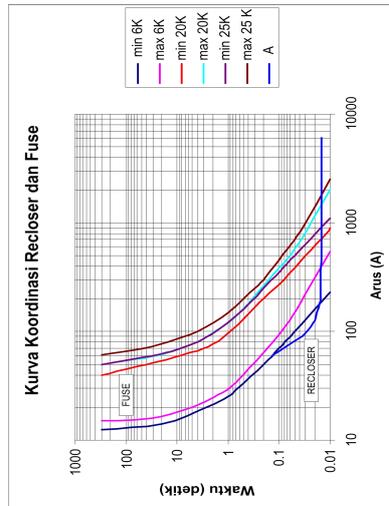
Arus beban maksimum adalah  $2 \times I_n = 2 \times 14,43 = 28,86 \text{ A}$ . Pelebur 20 K dengan kapasitas arus beban  $150 \% \times 20 = 30 \text{ A}$ . Fuse ini mampu menahan arus gangguan yang mungkin terjadi pada fuse ini sebesar 721,24 A dalam 0.04 detik.

Dari data recloser, arus minimum trip disetting dengan menggunakan 60 Amper. Recloser ini terdiri dari 4 kali interval dimana recloser ini bekerja dengan operasi buka-lambat. Untuk interval pertama sampai ketiga disetting dengan menggunakan waktu 20 detik dan untuk keempat kalinya untuk lock-out (terkunci). Mengingat recloser ini menggunakan setting interval yang sama dan masing-masing interval menggunakan kurva arus waktu yang sama yaitu 101, maka digambarkan kurva waktu arusnya dengan satu interval.

Kemungkinan arus hubung singkat yang terjadi pada fuse F1(6K) adalah 1103,18 A, maka jika terjadi gangguan hubung singkat pada titik F1 fuse akan langsung melebur (memutuskan) jaringan pada daerah pengamannya. Hal ini disebabkan fuse 20 K tidak mampu untuk menahan arus hubung singkat sebesar 1103,18 A, sehingga fuse ini tidak memberikan kesempatan recloser untuk bekerja untuk menghilangkan gangguan yang bersifat temporer.

Kemungkinan arus hubung singkat yang terjadi pada fuse F2 (25 K) adalah 796,89 A , dari kurva diatas terlihat bahwa kurva recloser berpotongan dengan kurva minimum trip fuse 25 K sekitar 1600 A. Oleh karena itu jika terjadi arus gangguan hubung singkat pada titik fuse ini, maka recloser akan bekerja terlebih dahulu sebelum fuse melebur. Karena semua interval recloser untuk menutup kembali membutuhkan waktu sebesar 20 detik, maka jika gangguannya bersifat tetap (permanen) recloser akan bekerja untuk membuka terus tanpa memberi kesempatan fuse untuk melebur guna membebaskan jaringan pada daerah yang diamankannya.

Kemungkinan arus hubung singkat yang dapat terjadi pada fuse F2 (20 K) adalah 796,89 A, dari kua diatas dapat terlihat kurva recloser berpotongan dengan kurva fuse yang mendekati arus 796,89 A. Jika terjadi arus gangguan hubung singkat, maka recloser akan membuka terlebih dahulu sebelum fuse melebur, untuk menghilangkan gangguan yang bersifat temporer. Recloser ini akan menutup kembali setelah 20 detik, begitu juga seterusnya jika gangguan bersifat permanen maka recloser akan *lock-out* (terkunci).



Gambar 3.7 Kurva kordinasi antar recloser dan Fuse

Gambar 3.7 menggambarkan kerja Pengaman sesuai dengan kurva yang dipilih.

Gambar tersebut, recloser dan fuse pada kondisi terpasang tidak dapat koordinasikan

**Tabel 3.2. Koordinasi recloser dan fuse pada kondisi terpasang**

Koordinasi Recloser dan Fuse				
Interval	Pengaman	Gangguan di		
		F1	F2	F3
I	recloser	-	✓	✓
	fuse	✓	-	-
II	recloser	-	✓	✓
	fuse	-	-	-
III	recloser	-	✓	✓
	fuse	-	-	-
Lock Out	recloser	-	✓	✓
	fuse	-	-	-

Untuk koordinasi kerja antara Recloser dan Fuse dapat dilihat pada gambar diatas. Pada kurva koordinasi tersebut sesuai gambar di atas akan didapatkan hasil dari koordinasi tersebut berupa waktu setting dan besarnya arus gangguan yang mengalir pada jaringan yang harus dilindungi.

Koordinasi antara pelebur (fuse) dan recloser bertujuan agar gangguan yang bersifat temporer dapat dibebaskan terlebih dahulu oleh recloser dengan kerja buka-cepat, sebelum pelebur sebagai pelindung utamanya bekerja. Sebaliknya bila gangguan bersifat permanen disisi hilir pelebur dapat dibebaskan oleh pelebur yang bersangkutan, sebelum recloser dengan kerja buka-lambat bekerja dan *lock out* (mengunci), sehingga daerah yang padam terbatas karenanya.

### **3.11.2 PENENTUAN PENGGUNAAN PELEBUR**

Recloser umumnya digunakan sebagai pengaman saluran udara, maka pelebur tersebut adalah pelebur yang sesuai pula yaitu jenis letupan. Pemilihan pelebur disisi beban atas dasar pertimbangan keserasian koordinasi dengan recloser disisi sumber. Penentuan koordinasi dilakukan dengan bantuan kurva-kurva waktu arus dari recloser dan pelebur. Untuk memungkinkan terjadinya koordinasi yang baik antara recloser dan pelebur, maka recloser harus disetel untuk kerja buka-cepat dan buka lambat.

Kurva waktu arus dari fuse harus terletak diantara kurva kerja buka-cepat dan kerja buka lambat dari recloser, agar gangguan dapat ditangkal terlebih dahulu oleh recloser dengan kerja buka-cepat. Dan bila gangguan bersifat pemanen maka pelebur akan selanjutnya bekerja atau memutuskan, sementara kerja buka-lambat dari recloser bertindak sebagai pengaman cadangannya. SPLN 64 1985 menyebutkan bahwa “ Guna mendapatkan daerah koordinasi yang lebih luas dapat diusahakan dengan memilih pelebur yang mempunyai

rasio kecepatan rendah (pelebur tipe lambat) dan atau memasang kurva C (kerja buka extra lambat) bagi PBO nya". Berdasarkan SPLN maka penulis mengganti fuse yang telah didapat pada perhitungan pemilihan fuse dengan menggunakan fuse tipe T (lambat) untuk mendapatkan daerah koordinasi yang luas.

Dari grafik (Gbr 4.1) terlihat bahwa fuse 6 K tidak dapat dikoordinasikan dengan baik. Hal ini disebabkan karena fuse 6 K selain cepat waktu meleburnya fuse ini tidak mampu menahan arus gangguan pada fuse terpasang. Untuk itu penulis mengganti fuse tersebut dengan menggunakan fuse 25 T. Pemilihan ini didasarkan pada arus hubung singkat pada fuse tersebut adalah 1257,8 A, dimana fuse ini mampu menahan arus gangguan hubung singkat yang mungkin terjadi.

## BAB IV: PENGAMAN RELE ARUS LEBIH

### 4.1 Pengertian Relai Arus Lebih

Relay arus lebih (OCR) ini merupakan salah satu pengaman yang melindungi transformator daya yang berfungsi untuk memproteksi mengamankan peralatan listrik seperti Transformator terhadap arus lebih. Arus lebih tersebut timbul disebabkan oleh adanya gangguan hubung singkat, atau dapat pula dikatakan bahwa relai ini berfungsi untuk merasakan adanya arus lebih dan kemudian memberi perintah kepada pemutus beban (PMT) untuk membuka. Dengan demikian akan menghentikan penyaluran arus pada jaringan tersebut. Umumnya relai arus lebih digunakan pada sistem tegangan menengah sampai tegangan tinggi, hanya disini yang membedakan adalah fungsi dari relai tersebut dan Relai Arus lebih Berfungsi mengamankan transformator jika arus yang mengalir melebihi dari nilai yang diperkenankan lewat pada transformator tersebut dan arus lebih ini dapat terjadi oleh karena beban lebih atau gangguan hubung singkat. Arus lebih ini dideteksi oleh transformator arus atau current transformator (CT).

**Yang dimaksud dengan fungsi OCT tersebut adalah :**

#### **1. Berfungsi sebagai pengaman utama (*main protection*)**

Rele Arus lebih ini atau OCR sebagai pengaman utama dari jaringan SUTM/SKTM yang bertujuan untuk :

1. Mencegah kerusakan SUTM/SKTM dari gangguan hubung singkat.
2. Membatasi luas daerah terganggu (pemadaman) sekecil mungkin.

#### **2. OCR Berfungsi sebagai pengaman cadangan (*back-up protection*)**

Rele ini juga sebagai pengaman cadangan Trafo atau SUTT bertujuan sama dengan diatas yaitu mencegah kerusakan Trafo atau SUTT ataupun SUTM dari gangguan

hubung singkat dan membatasi luas daerah terganggu (pemadaman) sekecil mungkin, hanya bekerja apabila pengaman utama di peralatan tersebut tidak bekerja. Selain itu OCR dijadikan pengaman cadangan karena untuk mengkoordinasi sulit untuk mendapatkan selektifitas yang baik. Namun demikian tetap diperlukan Rele cadangan dalam jaringan guna mengantisipasi terjadinya kegagalan pengaman utama. Untuk itu, perlu adanya koordinasi operasi antar system pengaman tersebut.

Pengaman dengan menggunakan relai arus lebih mempunyai beberapa keuntungan yaitu:

- Pengamanannya sederhana.
- Dapat sebagai pengaman utama dan berfungsi juga sebagai pengaman cadangan.
- Harganya relative murah.

#### **4.2 Karakteristik Relay Arus Lebih**

Koordinasi pada relay arus lebih untuk mendapatkan selektifitas terutama dilakukan dengan setting waktu kerja relai, disamping itu juga karena adanya perbedaan arus pada sisi hilir dan sisi hulunya.

Adapun Jenis-jenis Relai dapat dibedakan menjadi 2 Jenis, yaitu:

Jenis Relai berdasarkan fungsinya

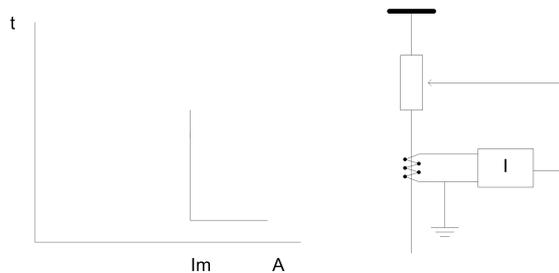
- a. Relai *over load*
- b. Relai *over current*

## 2. Jenis relai berdasarkan karakteristik waktu kerja

### A. Relai Arus Lebih Seketika (*Instantaneous*)

Relai jenis arus lebih ini akan memberikan perintah pada Pemutus (PMT) pada saat terjadi gangguan bila besar arus gangguannya melampaui penyetelannya ( $I_m$ ), dan jangka waktu kerja relai mulai *pick up* sampai kerja relai sangat singkat tanpa penundaan waktu (20 – 60 mdet).

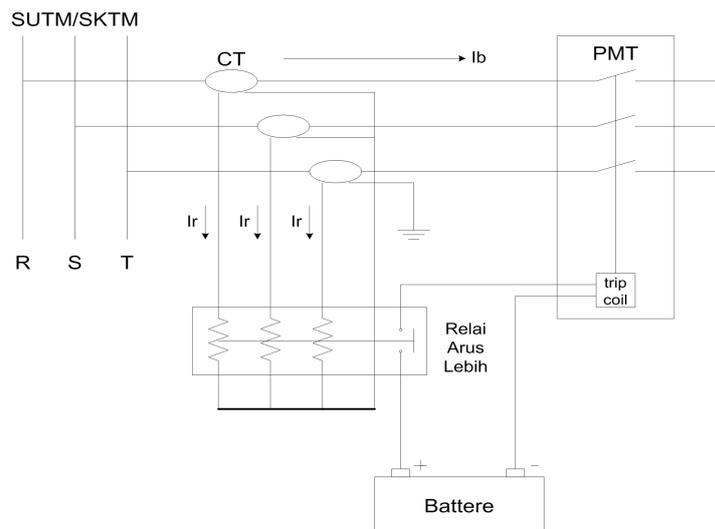
Karena relai ini tanpa perlambatan, maka koordinasi antara seksi satu dan seksi lainnya untuk mendapatkan selektifitas didasarkan tingkat beda arus. Adapun jangkauan relai ini karena bekerjanya seketika atau tanpa perlambatan waktu, supaya selektif terhadap seksi berikutnya maka tidak boleh menjangkau seksi berikutnya pada keadaan arus gangguan maksimum. Gambaran system kordinasi operasi antar pengaman dapat digambarkan pada gambar 4.1 berikut:



**Gambar 4.1: Karakteristik waktu seketika (*Instantaneous*)**

### Prinsip Kerja Relai Arus Lebih

Prinsip kerja relai arus lebih yang bekerja berdasarkan besaran arus lebih akibat adanya gangguan hubung singkat dan memberikan perintah trip ke PMT sesuai dengan karakteristik waktunya.



**Gambar 4.2: Gambar Prinsip kerja Over Current Relay**

Cara kerjanya dapat diuraikan sebagai berikut :

1. Pada kondisi normal arus beban ( $I_b$ ) mengalir pada SUTM/SKTM dan oleh Trafo Arus besaran arus ini ditransformasikan ke besaran sekunder ( $I_r$ ). Arus  $I_r$  mengalir pada kumparan relai, tetapi karena arus ini masih lebih kecil dari pada suatu harga yang ditetapkan (setting), maka relai tidak bekerja (Lihat gbr 4.2).
2. Bila terjadi gangguan hubung singkat, arus  $I_b$  akan naik dan menyebabkan arus  $I_r$  naik pula. Apabila arus  $I_r$  naik melebihi suatu harga yang telah ditetapkan (diatas setting) maka relai akan bekerja dan memeberikan perintah *trip coil* untuk bekerja dan membuka PMT, sehingga SUTM/SKTM yang terganggu dipisahkan dari jaringan.

#### Dasar penyetelan Relai Arus Lebih

Seperti telah diuraikan diatas pada dasarnya relai arus lebih terutama sebagai pengamanan gangguan hubung singkat, tetapi dalam beberapa hal diusahakan dapat berfungsi sebagai pengaman beban lebih. Fungsi relai ini disamping sebagai pengaman utama untuk seksi yang diamankan juga berfungsi sebagai pengaman cadangan seksi

berikutnya. Pertimbangan kedua hal diatas merupakan dasar dalam penentuan penyetelan arus kerjanya. Adapun pertimbangan penyetelan waktu ialah diusahakan relai secara keseluruhan bekerja cepat tetapi selektif. Tinjauan Relai Arus Lebih waktu tertentu (*Definite*) dan waktu terbalik (*Inverse*).

#### A. Relai Arus Lebih Waktu tertentu (*Definite*)

Pada jaringan (sirkuit) yang terdapat beberapa seksi atau cabang, untuk mendapatkan pengamanan yang selektif antara dua seksi yang berurutan diperlukan perbedaan waktu kerja relai. Dalam hal ini semakin dekat dengan sumber waktu kerja relai semakin lama, sedang arus gangguan semakin besar. Hal ini sangat dirasakan bila seksi-nya banyak sehingga adanya gangguan semakin dekat dengan sumber pembangkit maka akan semakin membahayakan peralatan, dikarenakan arus yang semakin besar.

Tetapi jika pembangkitan maksimum dan minimum sangat sangat berbeda relai dengan karakteristik waktu tertentu lebih menguntungkan daripada relai dengan karakteristik waktu terbalik (*Inverse*), karena waktu kerjanya tetap, sedang untuk relai dengan waktu terbalik waktu kerjanya jauh lebih lama dan mungkin sebagai pengaman cadangan tidak dapat mencakup seluruh seksi hilir berikutnya.

#### B. Relai Arus Lebih waktu terbalik (*Inverse*).

Relai dengan waktu terbalik, maka relai akan bekerja dengan waktu lebih cepat untuk gangguan di dekat relai dibandingkan untuk gangguan di ujung saluran yang diamankan, sehingga terlihat keuntungan relai dengan waktu terbalik dibanding relai dengan waktu tertentu.

### 4.3 Syarat Koordinasi Relai Arus Lebih

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

Sedangkan untuk setelan relai arus lebih dihitung berdasarkan arus beban yang mengalir di penyulang atau *incoming* trafo, artinya :

1. Untuk relai arus lebih yang terpasang di penyulang dihitung berdasarkan arus beban maksimum yang mengalir di penyulang tersebut.
2. Untuk relay arus lebih yang terpasang di *incoming* trafo dihitung berdasarkan arus nominal trafo tersebut.

Relai *inverse* biasa diset  $1,05 \text{ s/d } 1,1 * I_{\text{beban}}$ , definite diset  $1,2 \text{ s/d } 1,3 * I_{\text{beban}}$ .

Persyaratan lain yang harus dipenuhi adalah bahwa penyetelan waktu minimum dari relai arus lebih (terutama di penyulang) tidak lebih kecil dari 0,3 detik. Pertimbangan ini diambil agar relai tidak sampai trip lagi akibat arus *inrush* dari trafo-trafo distribusi yang memang sudah tersambung di jaringan distribusi, sewaktu PMT penyulang tersebut dimasukkan.

#### 4.4 Setelan Relai Arus Lebih

Untuk menghitung nilai setelan relai arus lebih dapat dilakukan dengan cara sebagai berikut :

Perhitungan Nilai Setelan Relai Penyulang 20 kV

##### Setelan Arus

$$I_{set (pri)} = 1,05 * I_{beban}$$

Nilai setelan tersebut adalah nilai primer, untuk mendapatkan nilai setelan sekunder yang dapat disetkan pada pelai arus lebih, maka harus dihitung dengan menggunakan data ratio trafo arus yang terpasang di penyulang tersebut, yaitu sebagai berikut :

$$I_{set (sek)} = I_{set (pri)} * \frac{1}{RatioCT}$$

##### Setelan Waktu (Tms)

Setelan waktu ini bisa dihitung dengan cara sebagai berikut :

$$t = \frac{0,14 * Tms}{\left(\frac{Ifault}{Iset}\right)^{0,02} - 1}$$

Untuk menentukan nilai Tms yang akan disetkan pada relai arus lebih diambil pada angka arus gangguan ( $I_{fault}$ ) sebesar arus gangguan 3 fasa pada lokasi gangguan berapa persen dari panjang penyulang, dan waktu kerja relai arus lebih di penyulang itu (sesuai keterangan waktu tercepat diatas) misal diambil selama 0,3 detik, maka nilai Tms yang akan disetkan pada relai arus lebih adalah :

$$Tms = \frac{t * \left(\left(\frac{Ifault}{Iset}\right)^{0,02} - 1\right)}{0,14}$$

#### 4.5 Nilai Setelan Incoming 20 kV trafo Tenaga

Untuk menentukan nilai setelan relai arus lebih di sisi incoming 20 kV trafo, perlu dihitung terlebih dahulu arus nominal trafo tenaga yaitu sebagai berikut :

$$In(\text{sisi } 20 \text{ kV}) = \frac{kVA}{kV * \sqrt{3}}$$

Setelah diketahui besarnya arus nominal trafo 20 kV maka dapat di cari besarnya Iset pada relai arus lebih :

$$I_{\text{set(pri)}} = 1,05 * I_{\text{beban}}$$

Nilai setelan tersebut adalah nilai pada sisi primer, untuk mendapatkan nilai setelan sisi sekunder yang dapat disetkan pada relai arus lebih, maka harus dihitung dengan menggunakan data ratio trafo arus (CT) yang terpasang di *incoming* 20 kV tersebut, yaitu sebagai berikut :

$$I_{\text{set (sek)}} = I_{\text{set (pri)}} * \frac{1}{\text{RatioCT}}$$

#### 4.6 Setelan Waktu (Tms)

Setelan waktu ini bisa dihitung dengan cara sebagai berikut:

$$t = \frac{0,14 * Tms}{\left(\frac{Ifault}{Iset}\right)^{0,02} - 1}$$

Karena Tms pada relai arus lebih di penyulang yang akan disetkan pada relai arus lebihnya diambil pada angka arus gangguan ( $I_{\text{fault}}$ ) sebesar arus gangguan 3 fasa pada lokasi gangguan sebesar berapa persen dari panjang penyulang, maka perhitungan menentukan nilai Tms relai arus lebih di *incoming* juga harus berdasarkan besar arus gangguan hubung singkat 3 fasa di lokasi berapa persen dari panjang penyulang juga.

Sedangkan waktu kerja relai arus lebih di *incoming* trafo 20 kV harus dibuat lebih lambat sekitar 0,4 – 0,5 detik dari waktu kerja relai di penyulang 20 kV (dari relai yang di sisi hilirnya).

Besarnya beda waktu ini dipengaruhi oleh beberapa hal, yaitu :

- Kesalahan relai pada penyulang : 0,2 – 0,3 detik
- Waktu pembukaan PMT sampai hilangnya bunga api : 0,1 detik
- *Overshoot* : 0,05 detik
- Faktor keamanan : 0,05 detik

Selisih waktu kerja dari relai di *incoming* 20 kV (sisi hulu) lebih lama 0,4 detik dari waktu kerja relai di penyulang (sisi hilir) disebut *grading time* yang maksudnya agar relai di *incoming* 20 kV memberi kesempatan relai di penyulang bekerja lebih dahulu, dengan demikian bila memang gangguan hubung singkat terjadi di penyulang tersebut, maka penyulang itu saja yang trip dan busbar 20 kV masih bertegangan untuk memasok penyulang lain yang masih tersambung, sehingga beban di penyulang lain masih menyala.

Untuk itu, nilai  $T_{ms}$  yang akan disetkan pada relai arus lebih di *incoming* 20 kV dihitung dengan menggunakan rumus yang sama, yaitu:

$$T_{ms} = \frac{t * \left( \left( \frac{I_{fault}}{I_{set}} \right)^{0,02} - 1 \right)}{0,14}$$

dimana  $t$  = waktu set relai arus lebih di penyulang + waktu untuk koordinasi.

#### 4.7 CT (Current Transformer)

Current Transformer digunakan pada saat pengukuran tidak langsung. Pemasangan CT dilakukan baik bagi pelanggan tegangan rendah maupun pelanggan tegangan menengah. Hal ini dilakukan karena arus yang mengalir cukup besar dan alat ukur tidak mampu menahannya. Jadi dengan adanya CT arus yang mengalir ( $I_n$ ) ke pelanggan dengan arus yang mengalir ke alat ukur sangat berbeda, dan perbedaan itu sebesar perbandingan arus yang dirubah oleh CT itu sendiri. Perbandingan arus yang dihasilkan oleh CT dijadikan sebagai faktor pengali dalam pembacaan arus yang mengalir, juga faktor pengali dalam penyetingan relai.

Pemasangan CT pada jaringan dirangkai seri dengan jala-jala dan ampermeter dipasang pada bagian sekundernya.

Karena tujuan dari pemasangan CT adalah menurunkan arus jala-jala yang sangat besar.

Agar arus yang besar itu dapat terukur dengan menggunakan amper meter.

$$\frac{N_p}{N_s} \uparrow \frac{I_s}{I_p} \uparrow \frac{V_p}{V_s} \quad (1.1)$$

Berdasarkan rumus trafo ideal bahwa arus berbanding terbalik dengan tegangan dan jumlah lilitan trafo, maka lilitan pada bagian primer akan sangat sedikit bahkan biasanya merupakan rail jala-jala saja. Dan pada bagian sekunder CT tidak boleh terbuka saat digunakan dan tidak boleh dipasang sekring. Sebab apabila bagian sekunder terbuka saat digunakan, maka arus primer yang sangat besar akan menimbulkan *fluks* magnetik pada inti menjadi sangat besar. Karena arus primer  $I_p$  saja yang mengalir sehingga  $I_p^2 R$  akan sangat besar. Hal ini akan mengakibatkan panas dan merusak bagian isolasi.

- Untuk menentukan nilai setelan relai arus lebih di sisi incoming 20 kV trafo, perlu dihitung terlebih dahulu arus nominal trafo tenaga yaitu sebagai berikut :

$$I_n(\text{sisi } 20 \text{ kV}) = \frac{kVA}{kV * \sqrt{3}}$$

Setelah diketahui besarnya arus nominal trafo 20 kV maka dapat di cari besarnya Iset pada relai arus lebih :

$$I_{\text{set(pri)}} = 1,05 * I_{\text{beban}}$$

Nilai setelan tersebut adalah nilai primer, untuk mendapatkan nilai setelan sekunder yang dapat disetkan pada relai arus lebih, maka harus dihitung dengan menggunakan data ratio trafo arus yang terpasang di *incoming* 20 kV tersebut, yaitu sebagai berikut :

$$I_{\text{set (sek)}} = I_{\text{set (pri)}} * \frac{1}{\text{RatioCT}}$$

#### 4.8 PT (Potential Transformer)

Potential Transformer/trafo tegangan digunakan pada saat pengukuran tidak langsung terutama pada pelanggan tegangan menengah. Karena tidak ada kWh meter atau kvarh meter yang mampu menahan tegangan menengah, maka dari itu dipasang PT (Potential Transformer) untuk merubah tegangan menengah menjadi tegangan yang mampu ditahan oleh alat ukur tersebut. PT (Potential Transformer) dalam rangkaian dipasang paralel dengan beban dan voltmeter dipasang pada bagian sekundernya. Jumlah lilitan primer ( $N_p$ ) akan lebih banyak dari pada jumlah lilitan sekunder ( $N_s$ ). Jadi tahanan pada bagian primer akan sangat besar. Jadi jika pada bagian sekunder terbuka maka tidak akan terjadi lonjakan fluks magnetik yang besar.

#### **4.9 Transformator**

Transformator atau Transformer atau dikenal juga dengan sebutan Trafo adalah merupakan suatu peralatan listrik yang termasuk dalam klasifikasi mesin listrik statis dan berfungsi untuk menyalurkan tenaga/daya listrik dari tegangan tinggi ke tegangan rendah atau sebaliknya, dengan frekuensi sama. Dalam pengoperasiannya, transformator-transformator tenaga pada umumnya ditanahkan pada titik netral, sesuai dengan kebutuhan untuk sistem pengamanan atau proteksi. Sebagai contoh transformator 150/70 kV ditanahkan secara langsung di sisi netral 150 kV, dan transformator 70/20 kV ditanahkan dengan tahanan di sisi netral 20 kV nya. Transformator yang telah diproduksi terlebih dahulu melalui pengujian sesuai standar yang telah ditetapkan.

Dasar dari teori transformator adalah sebagai berikut :

“Apabila ada arus listrik bolak-balik yang mengalir mengelilingi suatu inti besi maka inti besi itu akan berubah menjadi magnit dan apabila magnit tersebut dikelilingi oleh suatu belitan maka pada kedua ujung belitan tersebut akan terjadi beda tegangan mengelilingi magnit, sehingga akan timbul gaya gerak listrik (GGL)”.

#### **Klasifikasi Transformator Tenaga**

Transformator tenaga dapat di klasifikasikan menurut sistem pemasangan dan cara pendinginannya.

##### **1. Menurut Pemasangan**

- Pemasangan dalam
- Pemasangan luar

##### **2. Menurut Pendinginan**, menurut cara pendinginannya dapat dibedakan sebagai berikut:

a) Berdasarkan Fungsi dan pemakaian:

- Transformator mesin (untuk mesin-mesin listrik)
- Transformator Gardu Induk
- Transformator Distribusi

Berdasarkan Kapasitas dan Tegangan Kerja:

Contoh transformator 3 fasa dengan tegangan kerja di atas 1100 kV dan daya di atas 1000 MVA ditunjukkan pada Gambar 1.

Gambar 1. Contoh Transformator 3 Fasa dengan Tegangan Kerja >1100 kV dan Daya >1000 MVA.

Dalam usaha mempermudah pengawasan dalam operasi, transformator dapat dibagi menjadi: transformator besar, transformator sedang, dan transformator kecil.

### **Cara Kerja dan Fungsi Bagian-Bagian Transformator**

Suatu transformator yang merupakan bagian terpenting dalam penyaluran Tenaga Listrik terdiri atas beberapa bagian, yaitu:

- Bagian utama transformator
- Peralatan Bantu
- Peralatan Proteksi

Ketiga bagian tersebut di atas juga didukung oleh berbagai peralatan lainnya guna menunjang operasional teransformator tersebut. Pada Setiap bagian dari transformator tersebut pasti memiliki fungsi dan peran masing-masing, dan untuk detailnya perlu diketahui akan **komponen-komponen transformator**, yang terkait langsung dengan peralatan tersebut.

## 1. **Bagian utama transformator**, terdiri dari:

### a) **Inti besi**

Inti besi berfungsi untuk mempermudah jalan fluks, yang ditimbulkan oleh arus listrik yang melalui kumparan. Dibuat dari lempengan-lempengan besi tipis yang berisolasi, untuk mengurangi panas (sebagai rugi-rugi besi) yang ditimbulkan oleh **arus pusar** atau **arus eddy (eddy current)**.

### b) **Kumparan transformator**

Beberapa lilitan kawat berisolasi membentuk suatu kumparan, dan kumparan tersebut diisolasi, baik terhadap inti besi maupun terhadap kumparan lain dengan menggunakan isolasi padat seperti karton, pertinax dan lain-lain. Pada transformator terdapat kumparan primer dan kumparan sekunder. Jika kumparan primer dihubungkan dengan tegangan/arus bolak-balik maka pada kumparan tersebut timbul fluks yang menimbulkan induksi tegangan, bila pada rangkaian sekunder ditutup (rangkaiannya beban) maka mengalir arus pada kumparan tersebut, sehingga kumparan ini berfungsi sebagai alat transformasi tegangan dan arus.

### c) **Kumparan tertier**

Fungsi kumparan tertier diperlukan adalah untuk memperoleh tegangan tertier atau untuk kebutuhan lain. Untuk kedua keperluan tersebut, kumparan tertier selalu dihubungkan delta atau segitiga. Kumparan tertier sering digunakan juga untuk penyambungan peralatan bantu seperti kondensator synchrone, kapasitor shunt dan reactor shunt, namun demikian tidak semua transformator daya mempunyai kumparan tertier.

### c) **Minyak transformator**

Sebagian besar dari transformator tenaga memiliki kumparan-kumparan yang intinya direndam dalam minyak transformator, terutama pada transformator-transformator tenaga yang berkapasitas besar, karena minyak transformator mempunyai sifat sebagai media pemindah panas (disirkulasi) dan juga berfungsi pula sebagai isolasi (memiliki daya tegangan tembus tinggi) sehingga berfungsi sebagai media pendingin dan isolasi.

Kualitas Minyak transformator harus memenuhi persyaratan, yaitu:

- kekuatan isolasi tinggi
- penyalur panas yang baik, berat jenis yang kecil, sehingga partikel-partikel dalam minyak dapat mengendap dengan cepat.
- viskositas yang rendah, agar lebih mudah bersirkulasi dan memiliki kemampuan pendinginan menjadi lebih baik.
- titik nyala yang tinggi dan tidak mudah menguap yang dapat menimbulkan bahaya.
- tidak merusak bahan isolasi padat.
- sifat kimia yang stabil.

Minyak transformator baru harus memiliki spesifikasi seperti tampak pada Tabel 4.3 di bawah ini.

Tabel 4.3. Spesifikasi Minyak Isolasi Baru.

No	Sifat Minyak Isolasi	Satuan	Klas I/ Klas II	Metode Uji	Tempat Uji
1	Kejernihan	-	Jernih	IEC 296	Di tempat
	Masa Jenis (20°C)	g/cm <sup>3</sup>	<0,895	IEC 296	Lab
3	Viskositas (20°C)	cSt	<40 <25	IEC 296	Lab
	Kinematik - (15°C)	cSt	<800		
	Kinematik - (30°C)	cSt	<1800		
4	Titik Nyala	°C	>140 >100	IEC 296A	Lab
5	Titik Tuang	°C	<30 < 40	IEC 296A	Lab
6	Angka Kenetralan	mgKOH/g	<0,03	IEC 296	Lab
7	Korosi Belerang	-	Tidak Korosif	IEC 296	Ditempat/ Lab
8	Tegangan Tembus	kV/2,5mm	> 30 > 50	IEC1568 IEC 296	Ditempat/ Lab
9	Faktor Kebocoran Dielektrik	-	< 0,05	IEC 250 IEC 474 & IEC 74	Lab
10	Ketahanan Oksidasi a. Angka Kenetralan b. Kotoran	mgKOH/ g %	< 0,40 < 0,10	IEC 74	Lab

Sumber: Crostech Oil Test Report

Untuk kualitas minyak isolasi pakai berlaku untuk transformator berkapasitas > 1 MVA atau bertegangan > 30 kV sifatnya seperti ditunjukkan pada Tabel 4.5.

#### d) Bushing

Hubungan antara kumparan transformator ke jaringan luar melalui sebuah bushing, yaitu sebuah konduktor yang diselubungi oleh isolator, yang sekaligus berfungsi sebagai penyekat antara konduktor tersebut dengan tangki transformator.

#### f) Tangki dan konservator.

Pada umumnya bagian-bagian dari transformator yang terendam minyak transformator berada atau (ditempatkan) di dalam tangki. Untuk menampung pemuain pada minyak transformator, pada tangki dilengkapi dengan sebuah konservator.

Terdapat beberapa jenis tangki, diantaranya adalah:

- **Jenis sirip (tank corrugated)** Badan tangki terbuat dari pelat baja berkanai dingin yang menjalani penekukan, pemotongan dan proses pengelasan otomatis, untuk membentuk badan tangki bersirip dengan siripnya berfungsi sebagai radiator pendingin dan alat bernapas pada saat yang sama. Tutup dan dasar tangki terbuat dari plat baja berkanai panas yang kemudian dilas sambung kepada badan tangki bersirip membentuk tangki corrugated ini. Umumnya transformator di bawah 4000 kVA dibuat dengan bentuk tangki corrugated.

- **Jenis tangki Conventional Beradiator,**

Jenis tangki terdiri dari badan tangki yang kedap dan tutupannya yang terbuat dari mild steel plate (plat baja berkanai panas) ditebuk dan dilas untuk dibangun sesuai dimensi yang diinginkan, sedang radiator jenis panel terbuat dari pelat baja berkanai dingin (cold rolled steel sheets). Hal ini dapat berfungsi sebagai Pendingin transformator pada beroperasi dalam pengaliran daya dari sisi sumber ke sisi konsumen. Selain itu pula, Transformator ini umumnya dilengkapi dengan konservator terutama Transformator berkapasitas besar, seperti digunakan untuk transformator daya berkapasitas 25.000 kVA. Bentuk dan konfigurasi tersebut dapat ditunjukkan pada Gambar 4.3 di bawah ini. Konservator ini juga dapat digunakan untuk tempat mengalirnya gelembung udara akibat yang ditimbulkan oleh panasnya minyak transformator dan sekaligus dilengkapi dengan rele Bucholz.



Gambar 4.3. Transformator Tipe Conventional Beradiator (Trafindo, 2005)

Hermetically Sealed Tank With N<sub>2</sub> Cushined, Tipe tangki ini sama dengan jenis conventional tetapi di atas permukaan minyak terdapat gas nitrogen untuk mencegah kontak antara minyak dengan udara luar.

#### 4.10 Peralatan Bantu

##### 4.10.1 Pendingin

Pada inti besi dan kumparan-kumparan akan timbul panas akibat rugi-rugi besi dan rugi-rugi tembaga. Bila panas tersebut mengakibatkan kenaikan suhu yang berlebihan, akan merusak isolasi transformator, maka untuk mengurangi adanya kenaikan suhu yang berlebihan tersebut pada transformator perlu juga dilengkapi dengan sistem pendingin yang berfungsi untuk menyalurkan panas keluar transformator. Media yang digunakan pada sistem pendingin dapat berupa udara, gas, minyak dan air.

Sistem pengalirannya (sirkulasi) dapat dengan cara:

- Alamiah (natural)
- Tekanan/paksaan (forced).

Tabel 3. Tipe Pendinginan Transformator

keterangan: A = air (udara), O = Oil (minyak), N = Natural (alamiah), F = Forced (Paksaan / tekanan)

#### **4.10.2 Tap Changer (perubah tap)**

Tap Changer adalah perubah perbandingan transformator untuk mendapatkan tegangan operasi sekunder sesuai yang diinginkan dari tegangan jaringan/primer yang berubah-ubah. Dengan demikian Tap ini dapat menstabilkan tegangan output yang dihasilkan. Tap changer dapat dilakukan baik dalam keadaan berbeban (on-load) atau dalam keadaan tak berbeban (off load), dan tergantung jenisnya.

#### **4.10.3 Alat pernapasan**

Karena adanya pengaruh naik turunnya beban transformator maupun suhu udara luar, maka suhu minyak akan berubah-ubah mengikuti keadaan tersebut. Bila suhu minyak tinggi, minyak akan memuai dan mendesak udara di atas permukaan minyak keluar dari dalam tangki, sebaliknya bila suhu minyak turun, minyak menyusut maka udara luar akan masuk ke dalam tangki. Kedua proses di atas disebut pernapasan transformator. Permukaan minyak transformator akan selalu bersinggungan dengan udara luar yang menurunkan nilai tegangan tembus pada minyak transformator, maka untuk mencegah hal tersebut, pada ujung pipa penghubung udara luar dilengkapi tabung berisi kristal zat hygroscopic.

#### **4.10.4 Indikator**

Untuk mengawasi selama transformator beroperasi, maka perlu adanya indikator yang dipasang pada transformator. Indikator tersebut adalah sebagai berikut:

- indikator suhu minyak
- indikator permukaan minyak
- indikator sistem pendingin
- indikator kedudukan tap.

## **BAB V: PERALATAN PROTEKSI JARINGAN**

### **5.1 Relay Bucholz**

Relay Bucholz adalah relai yang berfungsi mendeteksi dan mengamankan terhadap gangguan transformator yang mengakibatkan timbulnya gas yang semakin banyak. Gas tersebut dapat mengakibatkan meningkatnya tekanan pada rumah transformator. Untuk mengantisipasi bertambahnya jumlah gas tersebut maka diperlukan penyaluran dengan melalui pernafasan.

Timbulnya gas dapat diakibatkan oleh beberapa hal, diantaranya adalah:

- Hubung singkat antar lilitan pada atau dalam phasa
  - Hubung singkat antar phasa
  - Hubung singkat antar phasa ke tanah
  - Busur api listrik antar laminasi
  - Busur api listrik karena kontak yang kurang baik.

## 5.2 Relai Tekanan Lebih

Relai ini berfungsi hampir sama seperti Relay Bucholz. Fungsinya adalah mengamankan terhadap gangguan di dalam transformator. Bedanya relai ini hanya bekerja oleh kenaikan tekanan gas yang tiba-tiba dan langsung mentriapkan pemutus tenaga (PMT). Alat pengaman tekanan lebih ini berupa membran yang terbuat dari kaca, plastik, tembaga atau katup berpegas, sebagai pengaman tangki transformator terhadap kenaikan tekan gas yang timbul di dalam tangki yang akan pecah pada tekanan tertentu dan kekuatannya lebih rendah dari kekuatan tangki transformator.

## 5.3 Relai Diferensial

Berfungsi mengamankan transformator terhadap gangguan di dalam transformator, antara lain adalah kejadian flash over antara kumparan dengan kumparan atau kumparan dengan tangki atau belitan dengan belitan di dalam kumparan ataupun beda kumparan. Gangguan bisa berasal dari dalam ataupun luar Transformator. Rele ini biasanya dibatasi dengan adanya 2 CT yang ditempatkan pada sisi Primer dan Sekunder. Untuk merasakan adanya aliran arus yang terjadi dapat diukur dan dirasakan oleh Sistem CT yang dirangkai pada batas sisi primer dan sisi sekunder. Arus gangguan dirasakan akibat adanya perbedaan arus yang dirasakan oleh Rele ini, yakni arus yang dirasakan di sisi primer dengan arus di sisi sekunder. Selama tidak ada perbedaan arus tersebut atau Arus diferensial = NOL, maka kondisi jaringan dalam keadaan stabil dan tidak ada gangguan. Pemilihan ratio CT sangat dibutuhkan dalam perhitungannya..

#### **5.4 Relai Tangki Tanah**

Rele OCR Berfungsi mengamankan transformator jika arus yang mengalir melebihi dari nilai yang diperkenankan lewat pada transformator tersebut dan arus lebih ini dapat terjadi oleh karena beban lebih atau gangguan hubung singkat. Arus lebih ini dideteksi oleh transformator arus atau current transformator (CT). Alat ini berfungsi untuk mengamankan transformator bila ada hubung singkat antara bagian yang bertegangan dengan bagian yang tidak bertegangan pada transformator.

#### **5.5 Relai Hubung Tanah**

Fungsi alat ini adalah untuk mengamankan transformator jika terjadi gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah. Rele ini dikenal dengan Rele Ground Fault dan biasanya dikordinasikan dengan OCR untuk menghadapi adanya kemungkinan gangguan yang akan terjadi. Sistem Kordinasi OCR dan GFR merupakan suatu hal harus dilakukan dalam melindungi system ataupun peralatan listrik.

#### **5.6 Relai Thermis**

Alat ini berfungsi untuk mencegah/mengamankan transformator dari kerusakan isolasi pada kumparan, akibat adanya panas lebih yang ditimbulkan oleh arus lebih. Besaran yang diukur di dalam relai ini adalah kenaikan suhu. Transformator merupakan peralatan yang harus bekerja terus selama 24 jam, sehingga timbulnya sifat thermis sangat mungkin terjadi.

## 5.7 Tap Changer

Tap changer adalah alat perubah perbandingan transformasi untuk mendapatkan tegangan operasi sekunder yang lebih baik (diinginkan) dari tegangan jaringan / primer yang berubah-ubah.

Untuk memenuhi kualitas tegangan pelayanan sesuai kebutuhan konsumen (PLN Distribusi), tegangan keluaran (sekunder) transformator harus dapat dirubah sesuai keinginan. Untuk memenuhi hal tersebut, maka pada salah satu atau pada kedua sisi belitan transformator dibuat tap (penyadap) untuk merubah

## 5.8 Perbandingan Transformasi (Rasio) Trafo.

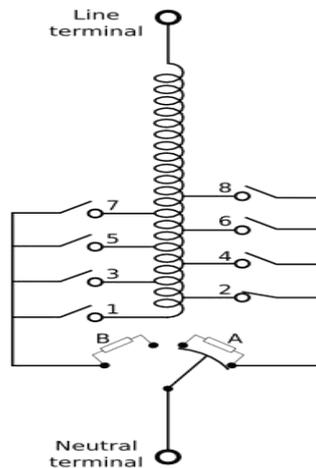
Ada dua cara kerja tap changer:

1. Mengubah tap dalam keadaan trafo tanpa beban. Tap changer yang hanya bisa beroperasi untuk memindahkan tap transformator dalam keadaan transformator tidak berbeban, disebut "Off Load Tap Changer" dan hanya dapat dioperasikan manual (Gambar 5.1).



Gambar 5.1: Transformator Daya

3. Mengubah tap dalam keadaan trafo berbeban. Tap changer yang dapat beroperasi untuk memindahkan tap transformator, dalam keadaan transformator berbeban, disebut "On Load Tap Changer (OLTC)" dan dapat dioperasikan secara manual atau otomatis (Gambar 5.2 )



Gambar 5.2: Tap Changer

Transformator yang terpasang di gardu induk pada umumnya menggunakan tap changer yang dapat dioperasikan dalam keadaan trafo berbeban dan dipasang di sisi primer. Sedangkan transformator penaik tegangan di pembangkit atau pada trafo kapasitas kecil, umumnya menggunakan tap changer yang dioperasikan hanya pada saat trafo tenaga tanpa beban.

Selain itu, juga dikenal komponen pengamanan lainnya yaitu yang dikenal dengan OLTC, yang terdiri dari 3 parameter utama, yaitu:

1. Selector Switch
2. diverter switch
3. transisi resistor

Untuk mengisolasi dari bodi trafo (tanah) dan meredam panas pada saat proses perpindahan tap, maka OLTC direndam di dalam minyak isolasi yang biasanya terpisah dengan minyak isolasi utama trafo (ada beberapa trafo yang compartemennya menjadi satu dengan main tank).

Karena pada proses perpindahan hubungan tap di dalam minyak terjadi fenomena elektris, mekanis, kimia dan panas, maka minyak isolasi OLTC kualitasnya akan cepat menurun. tergantung dari jumlah kerjanya dan adanya kelainan di dalam OLTC.

Contoh soal: Suatu Jaringan Distribusi mempunyai sebuah Trafo dengan data sebagai berikut: 60 MVA, 150/20 KV. Tentukanlah:

- a. Arus Nominal yang melalui sisi Primer dan sekunder trafo

$$I_{n \text{ primer}} = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot V_{L \text{ primer}}} = \frac{60000000}{\sqrt{3} \cdot 150000}$$
$$= 230,94 \text{ A}$$

$$I_{n \text{ sekunder}} = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot V_{L \text{ sekunder}}} = \frac{60000000}{\sqrt{3} \cdot 20000} = 1732,05 \text{ A}$$

b. Arus Hubung Singkat ( $I_{sc}$ )

$$\begin{aligned} Z_{primer} &= \frac{(V_{L,primer})^2}{S} \\ &= \frac{(150000)^2}{60000000} \\ &= 375 \Omega \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_{sc} &= \frac{V_{L,primer}}{Z_{primer}} \\ &= \frac{150000}{375} \\ &= 400 \text{ A} \end{aligned}$$

b. CT yang digunakan

- jika sisi sekunder  $\Delta$  connection, maka:

$$I_L = I_{ph} \sqrt{3}$$

$$I_{ph} = I_L / \sqrt{3} = 1732,05 / \sqrt{3} = 999,99 \text{ A}$$

Menggunakan CT 1000/5 A

- jika sisi sekunder Y connection, maka:

$$I_L = I_{ph} = I_{ph} = 1732,05$$

Menggunakan CT 2000/5 A

**SEMOGA DAPAT BERMANFAAT, DAN TERUS BUKU INI AKAN DISEMPURNAKAN**

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Sarimun, Wahyudi. 2014. Buku Saku Pelayanan Teknik (Yantek). Edisi 3. Depok : Garamond.
- [2] Fauziah, Diah. 2017. Analisis Koordinasi Recloser dan Relay Pada Penyulang Lalolang Pada SUTM 20 kV. Makassar : Politeknik Negeri Ujung Pandang.
- [3] Silaban, Abraham. 2009. Studi Tentang Penggunaan Recloser Pada Sistim Jaringan Distribusi 20 kV. Medan : Universitas Sumatera Utara.
- [4] Sudarni, S. (2021). *STUDI UNJUK KERJA RECLOSER PADA JARINGAN DISTRIBUSI SUTM 20 KV PENYULANG GUNUNG MAS GI PANGKEP* (Doctoral dissertation, UNIVERSITAS HASANUDDIN).
- [5] Fauziah, Diah. 2017. Analisis Koordinasi Recloser dan Relay Pada Penyulang Lalolang Pada SUTM 20 kV. Makassar : Politeknik Negeri Ujung Pandang.
- [6] Basri, Hasan. 1997. Sistem Distribusi Tenaga Listrik. Jakarta: Penerbit ISTN.
- [7] Wisnu. 2012. “Analisis Koordinasi antara Recloser dan FCO”. Laporan Tugas Akhir. jogja: Jurusan Teknik Elektro Universitas Gadjah Mada.
- [8] Iqbal . 2016. “Analisa Setting Ground Fault Relay (GFR) Te