

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1. Latar Belakang**

Perkembangan penyediaan energi listrik saat ini menunjukkan kecenderungan kearah pembangkit tenaga listrik dalam jumlah yang semakin besar. Hal ini memang sesuai dengan kemajuan teknologi sekarang ini dimana telah banyak kegiatan yang tergantung terhadap ketersediaan energi listrik yang mana berarti kebutuhan tenaga listrik semakin meningkat. Keadaan ini menimbulkan bagaimana cara mengatasi keandalan sistim tenaga listrik serta peralatan-peralatan operasional utama yang ada pada pembangkit tenaga listrik harus di jaga keandalannya dari kerusakan yang di akibatkan oleh gangguan-gangguan di sekitar peralatan tersebut.

Transformator daya adalah peralatan listrik yang memiliki fungsi untuk menyalurkan daya dari tegangan tinggi ke tegangan rendah atau dari tegangan rendah ke tegangan tinggi. Transformator daya memiliki bagian utama yaitu: inti besi, kumparan, minyak trafo, bushing dan tangki konservator. Transformator yang di pasang pada gardu induk tidak terlepas dari setiap gangguan yang dapat merusak transformator itu sendiri, baik gangguan arus hubung singkat 3 fasa, gangguan hubung singkat 2 fasa dan gangguan arus hubung singkat 1 fasa ke tanah, sehingga harus selalu di lengkapi dengan peralatan pengaman yang dapat mencegah setiap gangguan yang terjadi pada transformator daya. Untuk itu dibutuhkan sistim proteksi peralatan yang dapat bekerja secara cepat dan otomatis.

Relay proteksi merupakan suatu peralatan yang dapat mendeteksi, merasakan adanya gangguan yang terjadi pada saluran atau peralatan dengan cepat pada keadaan kerja normal dari suatu sistern tenaga listrik dan secara otomatis pemutus tenaga bekerja memutuskan saluran akibat gangguan sistim.

Relay diferensial merupakan pengaman utama transformator terhadap gangguan arus lebih dan gangguan hubung singkat transformator yang bekerja menggunakan prinsip keseimbangan arus masuk dengan arus keluar dan secepat mungkin sistem kerjanya untuk mengatasi gangguan yang terjadi di dalam transformator. Selain itu untuk dapat mengetahui relay differensial tersebut dapat bekerja dengan baik atau tidak, terlebih dahulu kita harus menentukan arus setting

dari relay tersebut. Kesalahan dalam menentukan arus setting dari relay dapat menyebabkan kesalahan kerja dari relay tersebut, misalnya ketika terjadi suatu gangguan relay akan bekerja, tetapi sebaliknya jika tidak terjadi gangguan maka relay tidak akan bekerja. Kesalahan kerja dari relay tersebut yang akan mengakibatkan kerusakan pada peralatan yang diamankan, sehingga dapat menyebabkan banyaknya kerugian.

Relay differensial ini adalah merupakan pengamanan terhadap gangguan hubung singkat pada transformator. Gangguan hubung singkat ini dapat berupa gangguan hubung singkat antara tiga fasa ke fasa, gangguan hubung singkat antara satu fasa ke tanah dan gangguan hubung singkat dua fasa, dimana gangguan hubung singkat ini dapat merusak peralatan listrik seperti transformator secara permanen sehingga tidak menjamin kontinuitas pelayanan daya yang baik.

## **1.2. Rumusan Masalah**

Berdasarkan dari latar belakang dapat diambil rumusan masalah yaitu:

1. Bagaimana prinsip kerja relay diferensial dan pengamanan yang dilakukan relay differensial pada trafo daya saat terjadi gangguan.
2. Bagaimana menentukan besarnya arus gangguan hubung singkat tiga fasa pada trafo daya.
3. Bagaimana penggunaan dan besar arus setting relay differensial pada trafo daya.

## **1.4. Batasan Masalah**

Untuk lebih terarahnya penulisan ini kepada inti permasalahan dan tidak meluas kepada hal yang lain, maka perlu adanya pembatasan masalah. Sesuai dengan hal itu maka pembahasan pada penulisan tugas akhir ini lebih menitik beratkan kepada masalah yang dibahas :

1. Jenis gangguan yang dibahas adalah arus gangguan hubung singkat akibat adanya gangguan hubung singkat 3 fasa ke fasa.
2. Pembahasan dilakukan berdasarkan data-data yang diperoleh dari PT. PLN (Persero ) Tragi Kisaran Gardu Induk Tebing Tinggi.

3. Tidak membahas hubungan relay differensial dengan rele lainnya seperti relay arus lebih, rele suhu, dan rele yang lainnya.

### **1.3. Tujuan Penulisan**

Adapun tujuan penulisan pada tugas akhir ini adalah

1. Untuk mengetahui penggunaan relay differensial sebagai relay proteksi pada transformator dan dapat menjelaskan prinsip kerja relay differensial sebagai relay proteksi pada transformator.
2. Untuk menguraikan proses menghitung besar arus gangguan hubung singkat.
3. Untuk mengetahui cara menghitung arus gangguan hubung singkat tiga fasa pada transformator daya dan dapat menjelaskan cara menghitung arus gangguan hubung singkat tiga fasa pada transformator daya.
4. Untuk menentukan besar arus setting relay differensial pada trafo daya 60 MVA di Gardu Induk Tebing Tinggi dalam memproteksi gangguan.

### **1.5. Metodologi Penulisan**

Untuk memperoleh hasil yang maksimal dalam pembuatan tugas akhir ini penulis menggunakan metode penulisan sebagai berikut:

a. Studi literatur

Studi literature di gunakan untuk membangun dasar-dasar teori yang diperlukan dalam penulisan tugas akhir, yang berhubungan dengan transformator dan relay differensial.

b. Studi lapangan

Studi lapangan dilakukan untuk memperoleh data dan mengetahui secara jelas tentang hal-hal yang akan dibahas dalam penulisan tugas akhir, khususnya penyettingan untukr relay differensial.

c. Analisa Data

Penulis melakukan analisa data dari data yang didapat dari studi lapangan yaitu berupa data komponen peralatan yang digunakan untuk pegawatan dan

setting rele differensial. Data-data yang diperoleh dapat dicantumkan pada laporan Tugas Akhir.

## **1.6. Sistematika Penulisan**

Untuk mempermudah penulisan, maka Tugas akhir ini akan di bagi menjadi lima bab dengan sistematika penulisan sebagai berikut:

### **BAB I            PENDAHULUAN**

Berisikan tentang latar belakang, perumusan masalah, batasan masalah, tujuan penulisan, Metodologi Penulisan dan juga sistematika penulisan.

### **BAB II            TEORI DASAR TRANSFORMATOR DAYA**

Merupakan bab yang memuat tentang landasan teori dimana terdiri dari transformator tenaga, pengertian dari rele proteksi, jenis gangguan serta langkah-langkah dalam mengurangi pengaruh gangguan dan tujuan sistem proteksi pada transformator tenaga.

### **BAB III           RELAY DIFERENSIAL**

Merupakan bab yang memuat tentang prinsip kerja rele differensial dan membahas komponen-komponen sistem proteksi pada transformator daya serta membahas penggunaan rele differensial.

### **BAB IV           ANALISA PERHITUNGAN PADA RELAY DIFERENSIAL SAAT TERJADI GANGGUAN**

Pada bagian ini membahas tentang penggunaan rele diferensial untuk proteksi transformator serta menghitung Arus gangguan yang terjadi pada Transformator.

### **BAB V            PENUTUP**

Berisikan tentang kesimpulan dan saran yang merupakan rangkuman dari semua pembahasan.

## **BAB II**

### **TEORI DASAR TRANSFORMATOR DAYA**

#### **2.1. Transformator Daya**

Transformator daya merupakan suatu peralatan listrik statis yang berfungsi untuk menyalurkan daya listrik arus bolak-balik dari tegangan rendah ke tegangan tinggi atau sebaliknya pada frekuensi yang konstan. Penggunaan transformator dalam sistim tenaga dapat di sesuaikan tegangannya sesuai dengan keperluannya.

Kumparan primer adalah kumparan yang menerima daya dan dinyatakan sebagai terminal masukan dan kumparan sekunder adalah kumparan yang melepas daya dan dinyatakan sebagai terminal keluaran. Kedua kumparan dibelit pada suatu inti yang terdiri atas material magnetik berlaminasi. Secara sederhana transformator dapat dibagi menjadi tiga bagian, yaitu lilitan primer, lilitan sekunder dan inti besi.

Dalam bidang tenaga listrik pemakaian transformator dikelompokkan menjadi:

1. Transformator daya (Tenaga)
2. Transformator distribusi
3. Transformator pengukuran

Lilitan primer merupakan bagian transformator yang terhubung dengan sumber energi (catu daya). Lilitan sekunder merupakan bagian transformator yang terhubung dengan rangkaian beban. Sedangkan inti besi merupakan bagian transformator yang bertujuan untuk mengarahkan keseluruhan fluks magnet yang dihasilkan oleh lilitan primer agar masuk ke lilitan sekunder.

#### **2.2 Bagian Utama Transformator dan Fungsinya**

##### **2.2.1 Inti Besi**

Inti besi (electromagnetic circuit) digunakan sebagai media jalannya flux yang timbul akibat induksi arus bolak balik pada kumparan yang mengelilingi inti besi sehingga dapat menginduksi kembali ke kumparan yang lain. Dibentuk dari lempengan–lempengan besi tipis berisolasi yang disusun sedemikian rupa.

### **2.2.2 Kumparan Transformator**

Kumparan transformator adalah beberapa lilitan kawat berisolasi yang membentuk suatu kumparan atau gulungan. Kumparan tersebut terdiri dari kumparan primer dan kumparan sekunder yang diisolasi baik terhadap inti besi maupun terhadap antar kumparan dengan isolasi padat seperti karton, pertinak dan lain-lain. Kumparan tersebut sebagai alat transformasi tegangan dan arus.

### **2.2.3 Minyak Transformator**

Pada transformator terdapat dua komponen yang secara aktif membangkitkan energi panas, yaitu besi (inti) dan tembaga (kumparan).

Bila energi panas tidak disalurkan melalui suatu sistem pendinginan akan mengakibatkan besi maupun tembaga akan mencapai suhu yang tinggi, yang akan merusak nilai isolasinya. Untuk maksud pendinginan itu, kumparan dan inti dimasukkan ke dalam suatu jenis minyak, yang dinamakan minyak transformator.

Minyak itu mempunyai fungsi ganda, yaitu pendinginan dan isolasi. Fungsi isolasi ini mengakibatkan berbagai ukuran dapat diperkecil. Perlu dikemukakan bahwa minyak transformator harus memiliki mutu yang tinggi dan senantiasa berada dalam keadaan bersih. Disebabkan energi panas yang dibangkitkan dari inti maupun kumparan, suhu minyak akan naik. Hal ini akan mengakibatkan terjadinya perubahan-perubahan pada minyak transformator.

### **2.2.4 Bushing**

Bushing merupakan komponen penting dari transformator yang berada di bagian luar transformator. Fungsinya sebagai penghubung antara kumparan transformator dengan jaringan di luar transformator. Bushing terdiri dari sebuah konduktor yang terhubung dengan kumparan yang berada di dalam transformator dan konduktor tersebut diselubungi oleh bahan isolator. Bahan isolator berfungsi sebagai media isolasi antara konduktor bushing dengan badan tangki utama transformator. Secara garis besar, bushing terdiri dari empat bagian utama, yaitu konduktor, isolator, klem koneksi, dan aksesoris.

### **2.2.5 Tangki Konservator**

Saat terjadi kenaikan suhu operasi pada transformator, minyak isolasi akan memuai sehingga volumenya bertambah. Sebaliknya saat terjadi penurunan suhu operasi, maka minyak akan menyusut dan volume minyak akan turun. Konservator digunakan untuk menampung minyak pada saat transformator mengalami kenaikan suhu. Seiring dengan naik turunnya volume minyak dikonservator akibat pemuaian dan penyusutan minyak, volume udara didalam konservator pun akan bertambah dan berkurang.

Penambahan atau pembuangan udara di dalam konservator akan berhubungan dengan udara luar. Agar minyak isolasi transformator tidak terkontaminasi oleh kelembaban dan oksigen dari luar, maka udara yang akan masuk ke dalam konservator akan difilter melalui silica gel. Untuk menghindari agar minyak trafo tidak berhubungan langsung dengan udara luar, maka saat ini konservator dirancang dengan menggunakan brether bag/rubber bag, yaitu sejenis balon karet yang dipasang di dalam tangki konservator.

#### **2.2.5.1 Pendingin Transformator**

Pendingin pada transformator berfungsi untuk menjaga agar transformator bekerja pada suhu rendah. Pada inti besi dan kumparan-kumparan akan timbul panas akibat rugi-rugi tembaga. Panas tersebut mengakibatkan kenaikan suhu yang berlebihan dan hal ini akan merusak isolasi. Maka untuk mengurangi kenaikan suhu yang berlebihan tersebut transformator perlu dilengkapi dengan sistem pendingin untuk menyalurkan panas keluar transformator. Secara alamiah media pendingin (minyak isolasi) mengalir karena perbedaan suhu tangki minyak dan sirip-sirip transformator. Untuk mempercepat pendinginan transformator dilengkapi dengan kipas yang dipasang di radiator transformator dan pompa minyak agar sirkulasi minyak lebih cepat dan pendinginan lebih optimal.

#### **2.2.5.2 Tap Charger**

Tap changer merupakan alat penstabil tegangan keluaran pada sisi sekunder transformator daya. Prinsip kerja alat ini adalah dengan mengubah jumlah kumparan primer yang memiliki input tegangan yang berubah-ubah untuk mendapatkan nilai tegangan output yang konstan.

### **2.2.5.3 Alat Pernapasan (Dehydrating Breather)**

Perubahan temperatur di dalam maupun di luar transformator mengakibatkan perubahan pada temperatur minyak isolasi transformator. Kualitas isolasi minyak transformator akan menurun bila di dalam kandungan minyak tersebut terdapat banyak kandungan gas dan air. Gas-gas dan air tersebut berasal dari kelembaban dan kontaminasi oksigen dari udara luar. Saat level temperatur minyak meningkat, maka transformator akan mendesak udara untuk keluar dari transformator.

Dan sebaliknya, saat level temperatur minyak menurun, maka udara luar akan masuk kembali ke dalam transformator. Untuk mencegah terjadinya kontaminasi minyak transformator terhadap udara luar yang masuk kembali ke transformator, maka sebuah transformator daya dilengkapi dengan alat pernapasan berupa tabung yang berisi zat kristal (silica gel) yang terpasang di bagian luar transformator.

### **2.2.5.4 NGR (Neutral Grounding Resistance)**

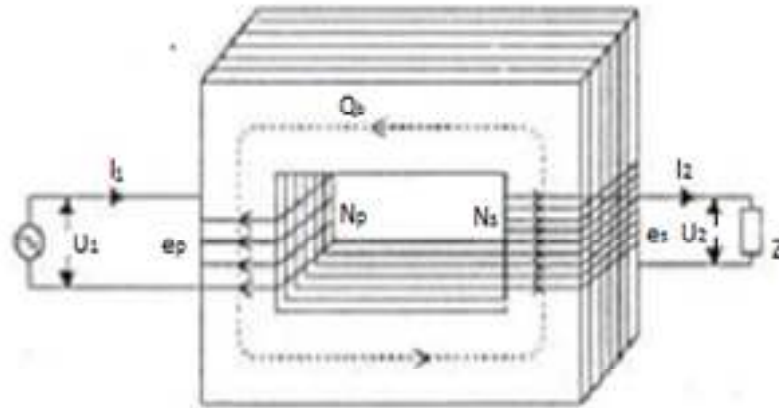
Neutral grounding resistance (NGR) adalah sebuah tahanan yang dipasang serial dengan netral sekunder pada transformator sebelum terhubung ke ground/tanah. Tujuan dipasangnya NGR adalah untuk mengontrol besarnya arus gangguan yang mengalir dari sisi netral ke tanah. Ada dua jenis NGR, yaitu liquid dan solid. Resistor pada liquid menggunakan larutan air murni yang ditampung di dalam bejana dan ditambahkan garam (NaCl) untuk mendapatkan nilai resistansi yang diinginkan. Sedangkan solid terbuat dari stainless steel, FeCrAl, Cast Iron, Copper Nickel atau Nichrome yang diatur sesuai nilai tahanannya.

## **2.3 Prinsip Dasar Transformator**

Transformator terdiri dari dua gulungan kawat yang terpisah satu sama lain, yang dibelitkan pada inti yang sama. Daya listrik dipisahkan dari kumparan primer ke kumparan sekunder dengan perantaraan garis gaya magnet (fluks magnet) yang dibangkitkan oleh aliran listrik yang mengalir melalui kumparan primer. Untuk dapat membangkitkan tegangan listrik pada kumparan sekunder, fluks magnet yang dibangkitkan oleh kumparan primer harus berubah-ubah.



Untuk mengetahui hal ini, aliran listrik yang mengalir melalui kumparan primer haruslah aliran listrik bolak-balik. Saat kumparan primer dihubungkan ke sumber listrik AC, pada kumparan primer timbul gaya gerak magnet (ggm) bersama yang bolak-balik juga.



Gambar 2.1 Bagian–Bagian Transformator

**Keterangan gambar :**

$U_1$  : tegangan primer

$U_2$ : tegangan sekunder

$I_1$ : arus primer

$I_2$ : arus sekunder

$e_p/e_s$ : GGL induksi pada kumparan primer/sekunder

$N_p$ : lilitan primer

$N_s$ : lilitan sekunder

$\Phi_b$ : fluks magnet bersama

$Z$  : beban

Dengan adanya ggm ini, di sekitar kumparan primer timbul fluks magnet bersama dan pada ujung-ujung kumparan sekunder timbul gaya gerak listrik (ggl) induksi sekunder yang mungkin sama, lebih tinggi, atau lebih rendah dari gaya gerak listrik primer. Hal ini tergantung pada transformasi kumparan transformator.

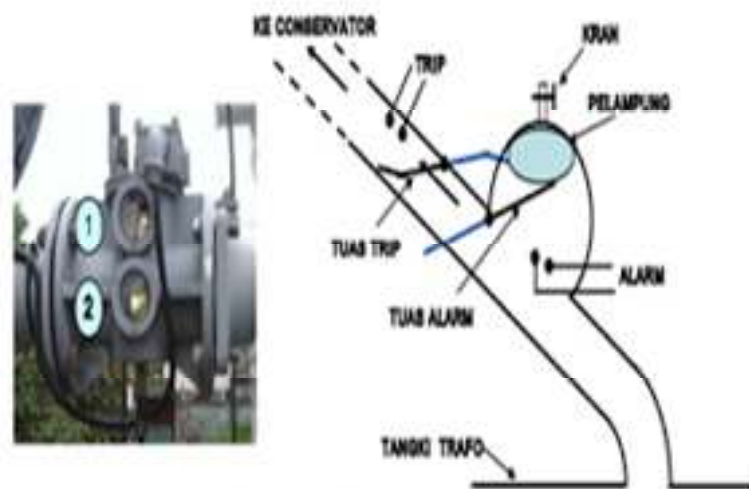
Jika kumparan sekunder dihubungkan ke beban, maka pada kumparan sekunder timbul arus bolak-balik sekunder akibat adanya gaya gerak listrik

induksi sekunder. Hal ini mengakibatkan timbul gaya gerak magnet pada kumparansekunder dan akibatnya pada beban timbul tegangan sekunder.

## 2.4 Jenis-Jenis Proteksi Transformator Daya

Relay yang biasa digunakan pada sebuah transformator daya sebagai pengaman pada saat terjadi gangguan adalah:

### 2.4.1 Relay Buchollz



Gambar 2.2. Relay Bucholz

Relai bucholz dipasang pada pipa dari maintank ke konservator ataupun dari OLTC ke konservator tergantung design trafonya apakah dikedua pipa tersebut dipasang relai bucholz. Relai bucholz berfungsi untuk mendeteksi dan mengamankan gangguan di dalam transformator yang menimbulkan gas. Selama transformator beroperasi normal, relai akan terisi penuh dengan minyak. Pelampung akan berada pada posisi awal.

Bila terjadi gangguan yang kecil didalam tangki transformator, misalnya hubung singkat dalam kumparan, maka akan menimbulkan gas. Gas yang terbentuk akan berkumpul dalam relai pada saat perjalanan menuju tangki konservator, sehingga level minyak dalam relai turun dan akan mengerjakan kontak alarm (kontak pelampung atas). Bila level minyak transformator turun

secara perlahan-lahan akibat dari suatu kebocoran, maka pelampung atas akan memberikan sinyal alarm dan bila penurunan minyak tersebut terus berlanjut, maka pelampung bawah akan memberikan sinyal trip. Bila terjadi busur api yang besar, kerusakan minyak akan terjadi dengan cepat dan timbul surja tekanan pada minyak yang bergerak melalui pipa menuju ke relai Buchholz.

#### 2.4.2 Relay Jansen

Tap changer adalah alat yang terpasang pada transformator yang berfungsi untuk mengatur tegangan keluaran (sekunder) akibat beban maupun variasi tegangan pada sistem masukannya (input). Tap changer umumnya dipasang pada ruang terpisah dengan ruang untuk tempat kumparan, dimaksudkan agar minyak tap changer tidak bercampur dengan minyak tangki utama. Untuk mengamankan ruang diverter switch apabila terjadi gangguan pada sistem tap changer, digunakan pengaman yang biasa disebut rele jansen (buchholtnya tap changer). Releay jansen dipasang antara tangki tap changer dengan konservator minyak tap changer.



Gambar 2.3. Relay Jansen

Prinsip kerja relay jansen, yaitu :

1. Relay buchholz tap changer (jansen) untuk mengamankan ruangan beserta isinya dari diverter switch.
2. Relay jansen akan bekerja apabila ada desakan tekanan yang terjadi akibat flash over antar bagian bertegangan atau bagian bertegangan dengan body atau ada desakan aliran minyak karena gangguan eksternal.

3. Prinsipnya ada aliran minyak yang deras, ada tekanan minyak sehingga ada minyak mengalir ke konservator, guncangan minyak yang cukup besar, dan semua itu menyebabkan katup akan berayun dan megerakkan kontak tripping, akhirnya melepas gangguan.

### 2.4.3. Relai Tekanan Lebih (Sudden Pressure Relay)

Relai tekanan lebih berfungsi hampir sama seperti relai buchholz yaitu mengamankan transformator dari gangguan internal.



Gambar 2.4. Relai Tekanan Lebih (Sudden Pressure Relay)

Bedanya relai ini hanya bekerja apabila terjadi kenaikan tekanan gas tiba-tiba yang disebabkan oleh hubung singkat.

#### 1. Tipe Membran

Plat tipis yang didesain sedemikian rupa yang akan pecah bila menerima tekanan melebihi disainnya. Membran ini hanya sekali pakai sehingga bila pecah harus diganti baru.

#### 2. Pressure Relief Valve

Suatu katup yang ditekan oleh sebuah pegas yang didesain sedemikian rupa sehingga apabila terjadi tekanan didalam transformator melebihi tekanan pegas maka akan membuka dan membuang tekanan keluar bersama-sama sebagian minyak. Katup akan menutup kembali apabila tekanan didalam transformator turun atau lebih kecil dari tekanan pegas.

#### 2.4.4. Relay HV/ LV Winding Temperature

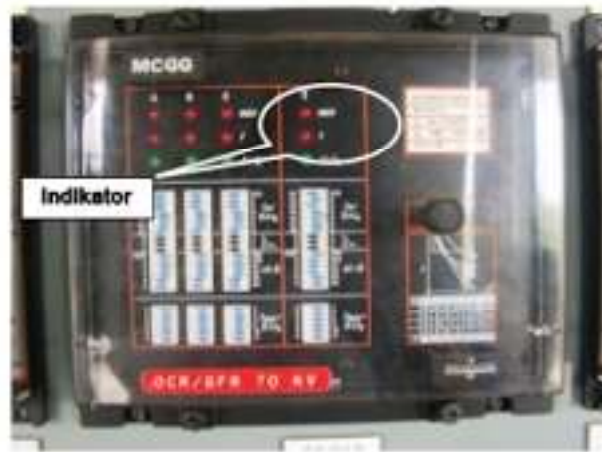


Gambar 2.5. Relay HV/ LV Winding Temperature

1. Relay HV/LV Winding Temperature bekerja apabila suhu kumparan trafo melebihi setting dari pada relay HV/LV Winding, besarnya kenaikan suhu adalah sebanding dengan faktor pembebanan dan suhu udara luar trafo. Urutan kerja relay suhu kumparan/ winding ini dibagi 2 tahap:
  1. Mengerjakan alarm (winding temperature alarm)
  2. Mengerjakan perintah trip ke PMT (winding temperature trip)
2. Relay HV/LV Oil temperature bekerja apabila suhu minyak trafo melebihi setting dari pada relay HV/LV oil. Besarnya kenaikan suhu adalah sebanding dengan faktor pembebanan dan suhu udara luar trafo. Urutan kerja relay suhu minyak/ oil ini dibagi dua tahap yaitu: Mengerjakan alarm (oil temperatur alarm) dan mengerjakan perintah trip ke PMT (oil temperature trip).

#### 2.4.5. Relay Arus Lebih (Over Current Relay)

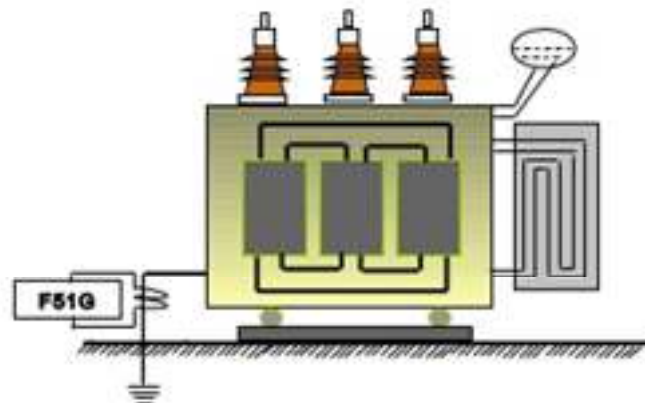
Relay arus lebih bekerja berdasarkan adanya kenaikan arus yang melebihi suatu nilai pengaman yang telah ditentukan dan dalam jangka waktu yang telah ditetapkan. Relay arus lebih akan pick up jika besar arus melebihi nilai setting. Pada proteksi transformator daya, relay arus lebih digunakan sebagai tambahan bagi relay differensial untuk memberikan tanggapan terhadap gangguan luar. Relay ini digunakan untuk mengamankan peralatan terhadap gangguan hubung singkat antar fasa, hubung singkat satu fasa ke tanah dan beberapa hal dapat digunakan sebagai pengaman beban lebih.



Gambar 2.6. Relay Arus Lebih (Over Current Relay)

#### 2.4.6. Relai Tangki Tanah

Berfungsi untuk mengamankan trafo terhadap hubung singkat antara fasa dengan tangki trafo dan titik netral trafo yang ditanahkan.

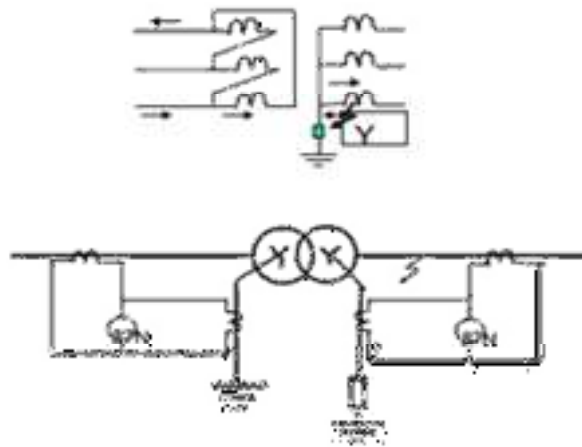


Gambar 2.7. Relai Tangki Tanah

Relai yang terpasang, mendeteksi arus gangguan dari tangki trafo ketanah, kalau terjadi kebocoran isolasi dari belitan trafo ke tangki, arus yang mengalir ketanah akan dideteksi relay arus lebih melalui CT. Relay akan mentripkan PMT di kedua sisi (TT dan TM). Jadi arus gangguan kembali kesistem melalui pembumian trafo.

#### 2.4.7. Restricted Earth Fault (REF)

Relai gangguan tanah terbatas atau Restricted Earth Fault (REF) untuk mengamankan transformator bila ada gangguan satu fasa ketanah didekat titik netral transformator yang tidak dirasakan oleh relay diferensial.



Gambar 2.8. Restricted Earth Fault (REF)

#### 2.4.8. Relai Diferensial (Differential Relay)

Relai diferensial berfungsi untuk mengamankan transformator terhadap gangguan hubung singkat yang terjadi di dalam daerah pengamanan transformator. Relai ini merupakan pengamanan utama yang sangat selektif dan cepat sehingga tidak perlu dikordinir dengan relai lain dan tidak memerlukan time delay. Prinsip dari relai ini yaitu membandingkan arus yang masuk keperalatan dengan arus yang keluar dari peralatan tersebut.

#### 2.5. Pengertian Relay Proteksi

Proteksi merupakan suatu sistem kelistrikan yang memiliki fungsi sebagai pengisolasi, pemisah dan pemutus jika terdapat suatu gangguan dari suatu keadaan abnormal. Sistem proteksi juga biasa disebut sebagai sistem pengamanan, pengamanan dapat dibagi menjadi 2 bagian yaitu:

### **2.5.1. Pengaman Utama**

Merupakan pengaman yang sangat berperan penting dalam menjaga instrumen yang akan dilindungi, dan dia merupakan sistem proteksi utama, maka cara kerja sistem pengaman utama harus cepat sehingga apabila terjadi suatu gangguan dalam sistem, komponen yang mendapat gangguan cepat diputus dan tidak mengalami kerusakan secara luas.

### **2.5.2. Pengaman Cadangan**

Adalah pengaman yang di siapkan setelah pengaman utama, pengaman ini bekerja apabila terjadi kegagalan dalam sistem pengaman utama, pengaman cadangan juga dapat dibagi menjadi 2 lagi yaitu:

1. *Local back up* (pengaman cadangan terletak di satu lokasi yang sama dengan pengaman utama).
2. *Remote back up* (pengaman cadangan terletak di tempat yang berbeda dari pengaman utama)

Sistem Proteksi pada suatu jaringan kelistrikan sangat berperan penting, terkhusus ketika terjadinya keadaan abnormal yang mendadak pada sistem jaringan, gangguan pada jaringan sistem kelistrikan dapat terjadi di pembangkit, baik itu pada jaringan transmisi maupun jaringan distribusi. Saat gangguan itu terjadi, maka peran sistem proteksi harus dapat mengidentifikasi gangguan tersebut dan menjadi pemutus bagian yang mendapat gangguan dengan secepat mungkin.

Relay proteksi yang terdapat pada sistem proteksi merupakan komponen utama yang harus mengidentifikasi gangguan yang terjadi pada suatu sistem, relay proteksi akan bekerja secara otomatis dengan memerintah atau memberikan sinyal kepada CB untuk memisahkan peralatan dari gangguan sebelum terjadi.

## **2.6. Syarat-Syarat Relay Proteksi**

### **2.6.1. Keterandalan (Reliability)**

Pada kondisinormal atau tidak ada gangguan, mungkin selama berbulan-bulan atau lebih relay tidak bekerja. Seandainya suatu saat terjadi gangguan maka relay tidak boleh gagal bekerja dalam mengatasi gangguan tersebut. Kegagalan kerja relay dapat mengakibatkan alat yang diamankan rusak berat atau



gangguannya meluas sehingga daerah yang mengalami pemadaman semakin luas. Relay tidak boleh gagal kerja, artinya rele yang seharusnya tidak bekerja, tetapi bekerja. Hal ini menimbulkan pemadaman yang tidak seharusnya dan menyulitkan analisa gangguan yang terjadi. Keandalan relay pengaman di tentukan dari rancangan, pengerjaan, beban yang digunakan, dan perawatan.

### **2.6.2. Selektivitas (selectivity)**

Selektivitas berarti relay harus mempunyai daya beda (discrimination) terhadap bagian yang terganggu, sehingga mampu dengan tepat memilih bagian dari sistem tenaga listrik yang terkena gangguan. Kemudian relay bertugas mengamankan peralatan atau bagian sistem dalam jangkauan pengamanannya. Tugas rele untuk mendeteksi adanya gangguan yang terjadi pada daerah dan pengamanannya dan memberikan perintah untuk membuka pemutus tenaga dan memisahkan bagian dari sistem yang terganggu.

Letak pemutus tenaga sedemikian rupa sehingga setiap bagian dari sistem dapat dipisahkan. Dengan demikian bagian sistem lainnya yang tidak terganggu jangan sampai dilepas dan masih beroperasi secara normal, sehingga tidak terjadi pemutus pelayanan. Jika terjadi pemutusan atau pemadaman hanya terbatas pada daerah yang terganggu.

### **2.6.3. Sensitivitas (sensitivity)**

Relay harusnya mempunyai kepekaan yang tinggi terhadap besaran minimal (kritis) sebagaimana direncanakan. Relay harus dapat bekerja pada awal terjadinya gangguan. Oleh karena itu, gangguan lebih mudah diatasi pada awal kejadian. Hal ini memberikan keuntungan dimana kerusakan peralatan yang harus diamankan menjadi kecil. Namun demikian relay harus stabil, artinya:

1. Relay harus dapat membedakan antara arus gangguan atau arus beban maksimum.
2. Pada saat pemasukan trafo daya, relay tidak boleh bekerja karena adanya arus inrush, yang besarnya seperti gangguan, yaitu 3 sampai 5 kali arus beban maksimum.
3. Rele harus dapat membedakan adanya gangguan atau ayunan beban.

#### **2.6.4. Kecepatan kerja**

Relay pengaman harus dapat bekerja dengan cepat jika ada gangguan, misalnya isolasi bocor akibat adanya gangguan tegangan lebih terlalu lama sehingga peralatan listrik yang diamankan dapat mengalami kerusakan. Pada sistem yang besar atau luas, kecepatan kerja rele pengaman mutlak diperlukan karena untuk menjaga kestabilan sistem agar tidak terganggu.

#### **2.6.5. Ekonomis**

Satu hal penting yang harus diperhatikan sebagai persyaratan relay pengaman adalah masalah harga atau biaya. Relay tidak akan diaplikasikan dalam sistem tenaga listrik jika harganya mahal. Persyaratan reabilitas, sensitivitas, selektivitas, dan kecepatan kerja relay hendaknya tidak menyebabkan harga relay menjadi mahal. Pada dasarnya sistem perlindungan arus lebih yang digunakan pada saluran distribusi maupun pada saluran transmisi tidak berdiri sendiri artinya dalam pengoperasiannya, dibantu oleh rele lain.

##### **2.6.5.1. Fungsi dan Peranan Relay Proteksi**

Nilai investasi peralatan listrik pada suatu pembangkit listrik sangat besar dananya. Diharapkan kelangsungan operasi dan efisiensi peralatan tersebut selalu dalam keadaan stabil agar kerugian material dan gangguan pelayanan listrik dapat ditekan sekecil mungkin.

Melihat fungsi dan peranan relay proteksi pada pembangkit maka dapat dikelompokkan menjadi :

1. Memberikan sinyal alarm atau melepaskan pemutus tenaga (circuit breaker) dengan tujuan mengisolir gangguan atau kondisi tidak normal seperti adanya : beban lebih, tegangan lebih, kenaikan suhu, hubung singkat dan lain-lain.
2. Melepaskan atau mentriapkan peralatan yang tidak normal untuk mencegah timbulnya kerusakan. Misalnya proteksi beban lebih berfungsi mengamankan peralatan listrik dan mencegah kerusakan isolasi.
3. Melepaskan atau mentriapkan peralatan yang terganggu secara cepat dengan tujuan mengurangi kerusakan yang lebih berat. Misalnya

bila suatu mesin listrik secara cepat dilepas setelah terjadinya gangguan pada belitan, maka hanya sebagian kumparan saja yang mengalami kerusakan. Tetapi apabila gangguan terjadi secara terus menerus maka kemungkinan belitan akan rusak dan memerlukan perbaikan total.

4. Melokalisir kemungkinan dampak atau akibat gangguan dengan peralatan yang terganggu dapat menyebabkan gangguan pada peralatan lain yang berada pada sistem.
5. Melepaskan peralatan atau bagian yang terganggu secara cepat dengan maksud menjaga stabilitas sistem. Sehingga dapat disimpulkan bahwa pembagian fungsi dan peranan rele proteksi dikelompokkan lagi menjadi :
  - a. Mencegah kerusakan.
  - b. Membatasi kerusakan.
  - c. Mencegah meluasnya gangguan sistem.

#### **2.6.5.2. Keuntungan Relay Proteksi**

Adapun keuntungan menggunakan relay proteksi adalah :

1. Rele digunakan untuk memutuskan suplay pada suatu bagian power sistem yang mengalami gangguan atau operasi tidak normal. Jadi dapat dikatakan bahwa rele memberikan signal pada circuit breaker untuk segera trip atau mengisolasikan bagian yang terganggu.
2. Relay dapat menunjukkan indikasi tipe gangguan yang terjadi, lokasi gangguan sehingga dapat membantu untuk mencari gangguan dan mempermudah perbaikan.

#### **2.7. Jenis Gangguan Pada Transformator Daya**

Gangguan-gangguan pada transformator daya dalam operasi suatu transformator dapat mengalami gangguan-gangguan yang dikelompokkan pada 2 (dua) bagian, yaitu :

### **2.7.1 Gangguan Dalam (Internal Fault)**

Internal Fault adalah gangguan yang bersumber dari dalam transformator itu sendiri.

Gangguan ini dapat diklasifikasikan sebagai berikut :

#### **1. Gangguan Awal**

Gangguan ini sering disebut gangguan awal, karena berawal dari gangguan yang kecil namun kemudian berkembang menjadi gangguan berat. Dimana gangguan ini di sebabkan oleh :

1. Kendornya baut-baut penjepit inti dan pada terminal konduktor.
2. Gangguan pada inti besi akibat kerusakan laminasi isolasi.
3. Gangguan pada terminal bushing akibat adanya kontaminasi keretakan, penuaan, dan lain-lain.
4. Adanya arus sirkulasi yang tidak di kehendaki pada transformator yang di paralel.
5. Gangguan Hubung singkat di dalam transformator misalnya hubung singkat diantara gulungan belitan tegangan tinggi atau rendah.

### **2.7.2. Gangguan Luar (Eksternal Fault)**

Gangguan ini terjadi di luar transformator dan dapat di klasifikasikan sebagai berikut :

#### **1. Gangguan diluar (External Fault)**

Gangguan hubung singkat antara fasa atau gangguan fasa ke tanah di luar transformator, misalnya di busbar atau di sisi penyulang tegangan menengah. Arus gangguan ini cukup besar dan dapat di deteksi.

#### **2. Beban lebih (Over load)**

Transformator tenaga dapat beroperasi secara kontinu pada beban nominal. Bila beban lebih besar dari beban nominal, maka transformator akan berbeban lebih, akan menimbulkan arus lebih yang mengakibatkan pemanasan lebih. Ini akan menurunkan kemampuan isolasi.

## **2.8. Langkah-langkah Dalam Mengurangi Pengaruh Gangguan**

Langkah-langkah dalam mengurangi pengaruh gangguan dapat dilakukan dengan cara sebagai berikut :

1. Mengurangi Akibat Gangguan Membatasi arus hubung singkat dengan memakai peralatan yang mampu menanggulangi terhadap terjadinya arus hubung singkat.
2. Merencanakan agar bagian sistem yang terganggu dipisahkan dari sistem, sehingga tidak mengganggu operasi dari sistem secara keseluruhan atau penyaluran tenaga listrik ke konsumen tidak terganggu. Hal ini dapat dilakukan dengan:
  1. Memakai saluran ganda atau saluran yang membentuk ring.
  2. Memakai penutup balik otomatis.
  3. Memakai generator cadangan putar atau pembangkit siap pakai.
3. Mengontrol Arus Inrush.

Faktor-faktor yang perlu diperhatikan dalam mengontrol arus inrush

1. Ukuran dari bank transformator.
2. Besarnya sumber yang masuk.
3. Resistansi dari sumber yang masuk pada transformator.
4. Jenis besi dari inti transformator dan intensitas kejenuhannya.
5. Tingkat fluksi residual dari bank
6. Bagaimana jika bank di aliri arus

## **2.9. Tujuan Pemasangan Relay Proteksi Transformator Daya**

Maksud dan tujuan pemasangan relai proteksi pada transformator daya adalah untuk mengamankan peralatan/system sehingga kerugian akibat gangguan dapat dihindari atau dikurangi menjadi sekecil mungkin dengan cara :

1. Mencegah kerusakan transformator akibat adanya gangguan/ ketidaknormalan yang terjadi pada transformator atau gangguan pada bus transformator.
2. Mendeteksi adanya gangguan atau keadaan abnormal lainnya yang dapat membahayakan peralatan atau sistem.
3. Melepaskan (memisahkan) bagian sistem yang terganggu atau yang mengalami keadaan abnormal lainnya secepat mungkin sehingga

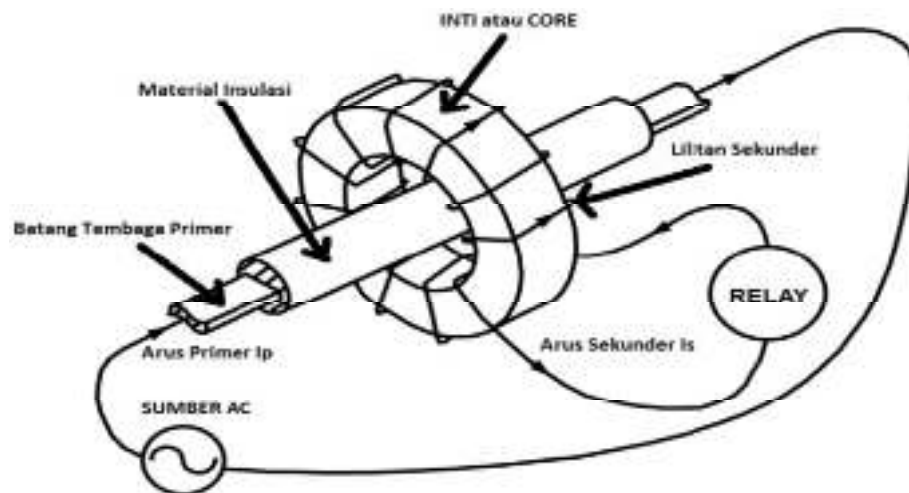
kerusakan instalasi yang terganggu atau yang dilalui arus gangguan dapat dihindari atau dibatasi seminimum mungkin.

4. Memberikan pengamanan cadangan (back up protection) bagi instalasi lainnya.
5. Memberikan pelayanan keandalan dan mutu listrik yang terbaik kepadakonsumen.

## 2.10. Komponen-Komponen Sistem Proteksi Transformator

### 2.10.1. Current Transformer (CT)

Transformator arus adalah suatu perangkat listrik yang berfungsi menurunkan arus yang besar menjadi arus dengan ukuran yang lebih kecil. CT digunakan karena dalam pengukuran arus tidak mungkin dilakukan langsung pada arus beban atau arus gangguan, hal ini disebabkan arus sangat besar dan bertegangan sangat tinggi. Karakteristik CT ditandai oleh Current Transformer Ratio (CTR) yang merupakan perbandingan antara arus yang dilewatkan oleh sisi primer dengan arus yang dilewatkan oleh sisi sekunder.



Gambar 2.9. Trafo arus dengan batang tembaga tunggal

Fungsi current transformer (CT) adalah :

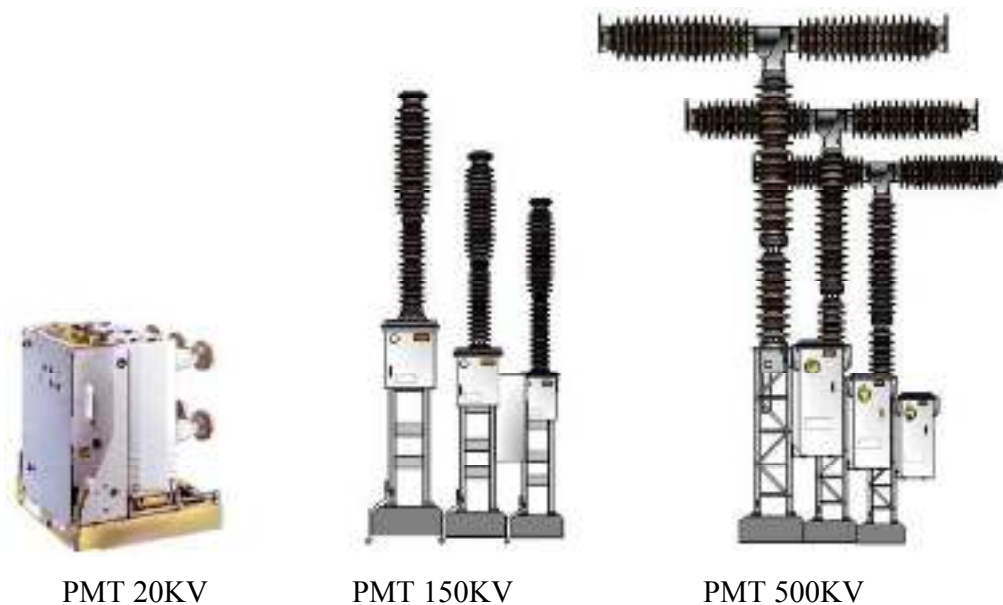
1. Memperkecil besaran arus pada sistem tenaga listrik menjadi besaran arus untuk sistem pengukuran.
2. Mengisolasi rangkaian sekunder terhadap rangkaian primer.
3. Standarisasi rating arus untuk peralatan sisi sekunder.

Prinsip kerja dari trafo arus adalah sebagai berikut:

1. Pada saat arus primer  $I_p$  mengalir pada lilitan primer, maka akan muncul medan magnet disekeliling lilitan primer tersebut.
2. Medan magnet tersebut akan terkumpul lebih banyak pada inti atau core. Medan magnet yang berputar di dalam inti atau core menghasilkan perubahan flux primer dan memotong lilitan sekunder sehingga menginduksikan tegangan pada lilitan sekunder sesuai hukum faraday.
3. Karena lilitan sekunder membentuk loop tertutup, maka akan mengalir arus sekunder  $I_s$  yang akan membangkitkan medan magnet untuk melawan flux magnet yang dihasilkan oleh belitan primer.

### 2.11. Pemutus Daya (PMT)

PMT adalah suatu peralatan saklar/switching mekanis yang mampu menutup dan memutus arus beban dalam kondisi normal, serta mampu menutup, mengalirkan (dalam jangka waktu tertentu) dan memutus arus beban pada saat keadaan abnormal (gangguan) seperti saat keadaan hubung singkat (short circuit).



Gambar 2.10. Macam-macam Pemutus Tenaga (PMT)

Syarat-syarat yang harus dipenuhi oleh suatu Pemutus Tenaga dalam system tenaga listrik adalah sebagai berikut :

1. Mampu menyalurkan arus maksimum sistem secara terus menerus.
2. Mampu memutuskan dan menutupjaringan dalam keadaan berbeban maupun terhubung singkat tanpa menimbulkan kerusakan pada pemutus tenaga itu sendiri.
3. Dapat memutuskan arus hubung singkat dengan sangat cepat agar arus hubung singkat tidak sampai merusak peralatan sistem, tidak membuat sistem kehilangan kestabilan, dan tidak merusak pemutus tenaga itu sendiri.

Setiap Pemutus tenaga di rancang sesuai dengan tugas yang akan di pikulnya, ada beberapa hal yang perlu di pertimbangkan dalam rancangan suatu PMT, yaitu:

1. Tegangan efektif tertinggi dan Frekuensi daya jaringan dimana pemutus daya itu akan dipasang. Nilainya tergantung pada jenis pentanahan titik netral sistem.
2. Arus maksimum continue yang akan dialirkan melalui pemutus daya. Nilai arus ini tergantung pada arus maksimum sumber daya atau arus nominal beban dimana pemutus daya tersebut terpasang.
3. Arus hubung singkat maksimum yang akan diputuskan pemutus daya tersebut.
4. Lamanya maksimum arus hubung singkat yang boleh berlangsung. hal ini berhubungan dengan waktu pembukaan kontak yang dibutuhkan.
5. Jarak bebas antara bagian yang bertegangan tinggi dengan objek lain disekitarnya.
6. Jarak rambat arus bocor pada isolatornya.
7. Kekuatan dielektrik media isolator sela kontak.
8. Iklim dan ketinggian lokasi penempatan pemutus daya.



### 2.11.1. Jenis – Jenis Pemutus Tenaga

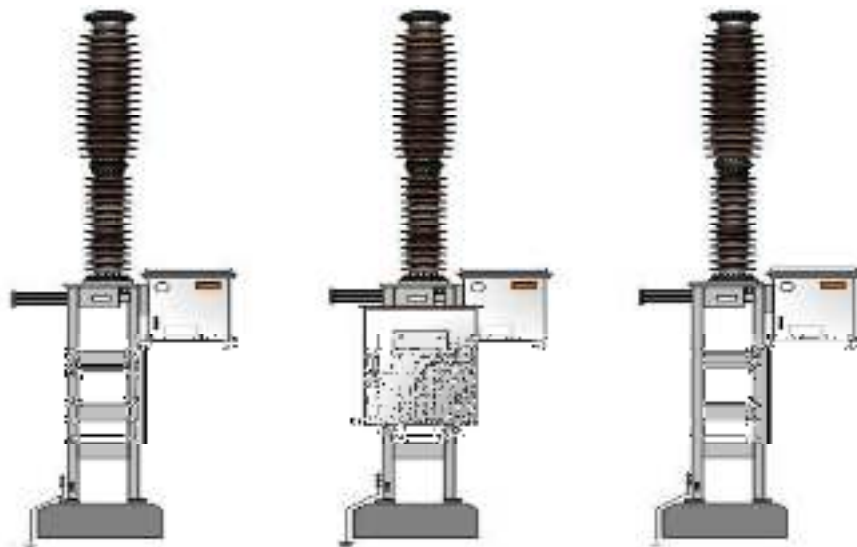
Berdasarkan besar tegangannya PMT dapat dibedakan menjadi :

1. PMT tegangan rendah dengan range tegangan 0.1 s/d 1 KV
2. PMT tegangan menengah dengan range tegangan 1 s/d 35 KV.
3. PMT tegangan tinggi dengan range tegangan 35 s/d 245kV.
4. PMT tegangan extra tinggi dengan range tegangan lebih besar dari 245 KV.

### 2.11.2. Berdasarkan Jumlah Mekanik Penggerak (Tripping Coil)

#### 2.11.2.1. PMT Single Pole

PMT type ini mempunyai mekanik penggerak pada masing-masing pole, umumnya PMT jenis ini dipasang pada bay penghantar agar PMT bisa reclose satu fasa.



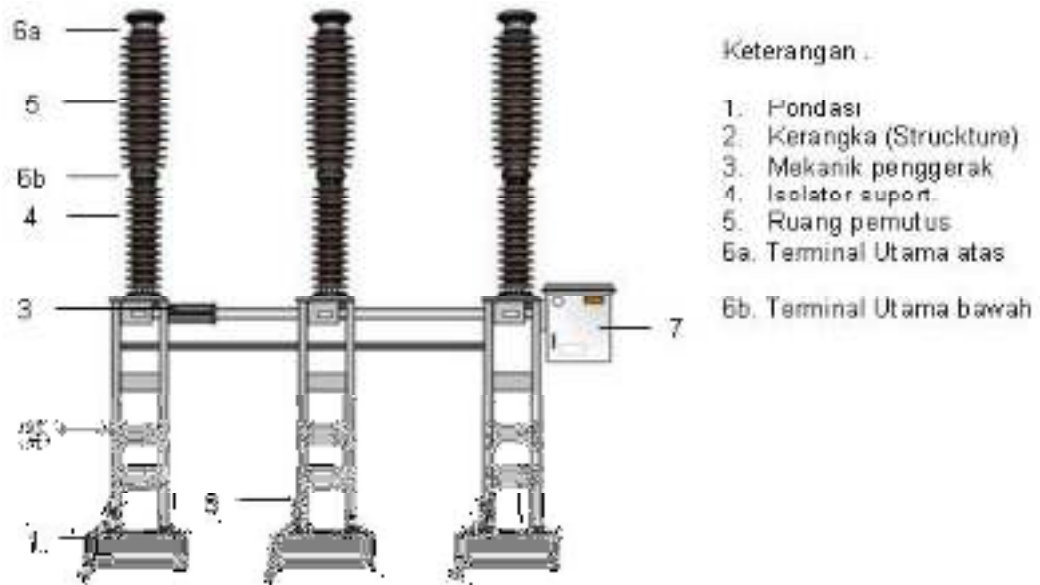
Gambar 2.11. PMT Single Pole

Keterangan:

1. Pondasi
2. Kerangka (Struckture)
3. Mekanik penggerak
4. Isolator suport.
5. Ruang pemutus
- 6a. Terminal Utama atas
- 6b. Terminal Utama bawah
7. Lemari control lokal
8. Pentanahan/Gorunding

### 2.11.2.2. PMT Three Pole

PMT jenis ini mempunyai satu mekanik penggerak untuk tiga fasa, guna menghubungkan fasa satu dengan fasa lainnya di lengkapi dengan kopel mekanik, umumnya PMT jenis ini di pasang pada bay trafo dan bay kopel serta PMT 20 kV untuk distribusi.



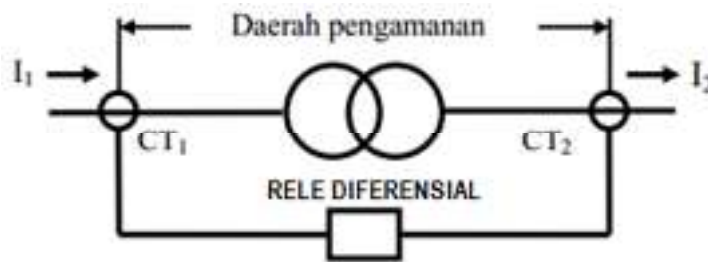
Gambar 2.12. PMT Three Pole

### BAB III

## PROTEKSI TRANSFORMATOR DAYA DENGAN MENGUNAKAN RELAY DIFERRENSIAL

### 3.1. Pengertian Relay Diferensial

Diferensial berarti perbedaan atau selisih. Relay diferensial adalah relay yang bekerja dengan membandingkan arus yang masuk dengan arus yang keluar. Relay differensial di gunakan sebagai pengaman utama pada transformator saat terjadi gangguan, karena rele sangat selektif dan bekerja sangat cepat. Tujuan utama pemasangan relay proteksi di transformator tenaga adalah sebagai alat pengaman sehingga kerusakan akibat gangguan dapat dikurangi sekecil mungkin.



Gambar 3.1. Rangkaian Relay Diferensial

Fungsi relay diferensial pada trafo adalah sebagai pengaman utama transformator dari gangguan hubung singkat pada kumparan trafo. Cara kerja relay ini adalah menggunakan prinsip keseimbangan arus masuk kumparan primer dan arus keluar kumparann sekunder atau jumlah arus yang masuk sama dengan jumlah arus yang keluar pada relay.

Pada operasi normalnya sebuah rele diferensial hanya akan melihat gangguan di daerah kerjanya dan tidak terpengaruh dengan gangguan dari luar.

$$I_{dif} = I_d = I_p + I_s \dots \dots \dots (3.1)$$

Keterangan :

- $I_{dif}$  : Arus Diferensial (A)
- $I_p$  : Arus Primer / Arus masuk
- $I_s$  : Arus Sekunder / Arus Keluar

Ketika terjadi perbedaan, maka rele akan mendeteksi adanya gangguan dan menginstruksikan PMT untuk membuka (*trip*) apabila terjadi perbedaan.

Perbedaan di sini adalah perbedaan nilai arus dan perbedaan besar fasa (stabilitas arus). Relay ini lebih efektif untuk menangani gangguan internal transformator. Pada gangguan di luar daerah pengamanan, relay tidak akan bekerja karena arus masukan dan keluaran sama besar walaupun melebihi arus dari nominal trafo.

### **3.2. Penggunaan Relay Differensial**

Pada penggunaan relay diferensial ada beberapa hal yang harus diperhatikan dalam mengaplikasikan relay differensial yaitu :

1. Pemilihan lokasi CT
2. Faktor koreksi rasio (*ratiocorrection factor*)
3. Faktor koreksi sudut fasa (*vector ratio*)
4. Faktor kompensasi arus urutan nol

Pada kondisi transformator dan sistem proteksi normal relay diferensial harus stabil bila terjadi:

1. Inrush current
2. External Through Fault Current
3. Overfluxing pada transformator
4. Perubahan tap saat berbeban.

#### **3.2.1. Penggunaan Relay Differensial**

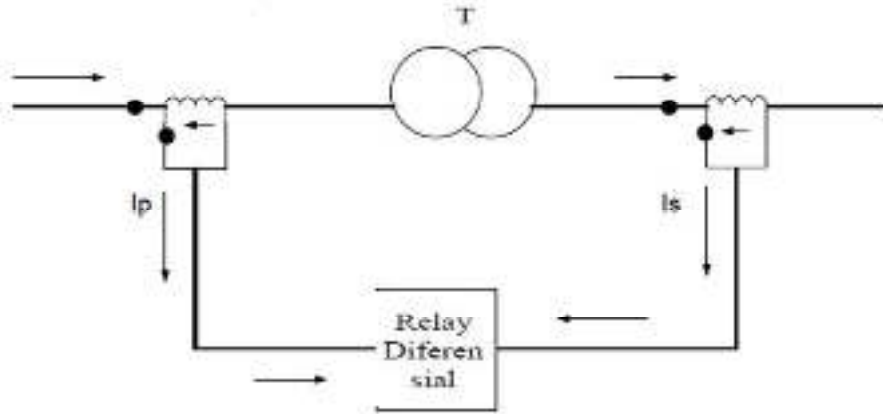
Sifat pengaman relay diferensial sebagai pengaman utama bekerja sangat efektif dan cepat, dan tidak perlu dikoordinir dengan relay lain. Relay ini juga tidak dapat digunakan sebagai pengaman cadangan untuk seksi atau daerah berikutnya, daerah pengamannya di batasi oleh pasangan trafo arus dimana relay diferensial di pasang. Penggunaan relay diferensial untuk pengaman generator, trafo, saluran transmisi yang pendek dan motor-motor yang kapasitasnya besar.

#### **3.2.2. Persyaratan Pengaman Relay Differensial**

Relay diferensial sendiri mempunyai beberapa syarat yang harus di penuhi sebagai pengaman diantaranya :

1. Current Transformator (CT) yang digunakan harus mempunyai ratio perbandingan yang sama sehingga  $I_1 = I_2$  serta sambungan dan polaritas CT1 dan CT2 sama.

2. Pemasangan Auxiliary Current Transformator yang terhubung karena harus membandingkan arus pada dua sisi tanpa perbedaan fasa.
3. Karakteristik kejenuhan CT1 dan CT2 harus sama.



Gambar 3.2. Polaritas Transformator Arus

### 3.3.3. Pemilihan Ratio CT

Pemilihan CT disesuaikan dengan alat ukur dan proteksi. Pemilihan CT dengan kualitas baik akan memberikan perlindungan sistem yang baik pula. Relay diferensial sangat tergantung terhadap karakteristik CT. Jika karakteristik CT bekerja dengan baik, maka sistem akan terlindungi oleh rele diferensial ini secara optimal. CT ditempatkan dikedua sisi peralatan yang akan diamankan, CT ratio untuk relay diferensial yang dipilih sebaiknya memiliki nilai yang mendekati nilai Irating.

$$I_{rat} = 110\% \times I_{nominal} \dots\dots\dots(3.2)$$

Dengan :

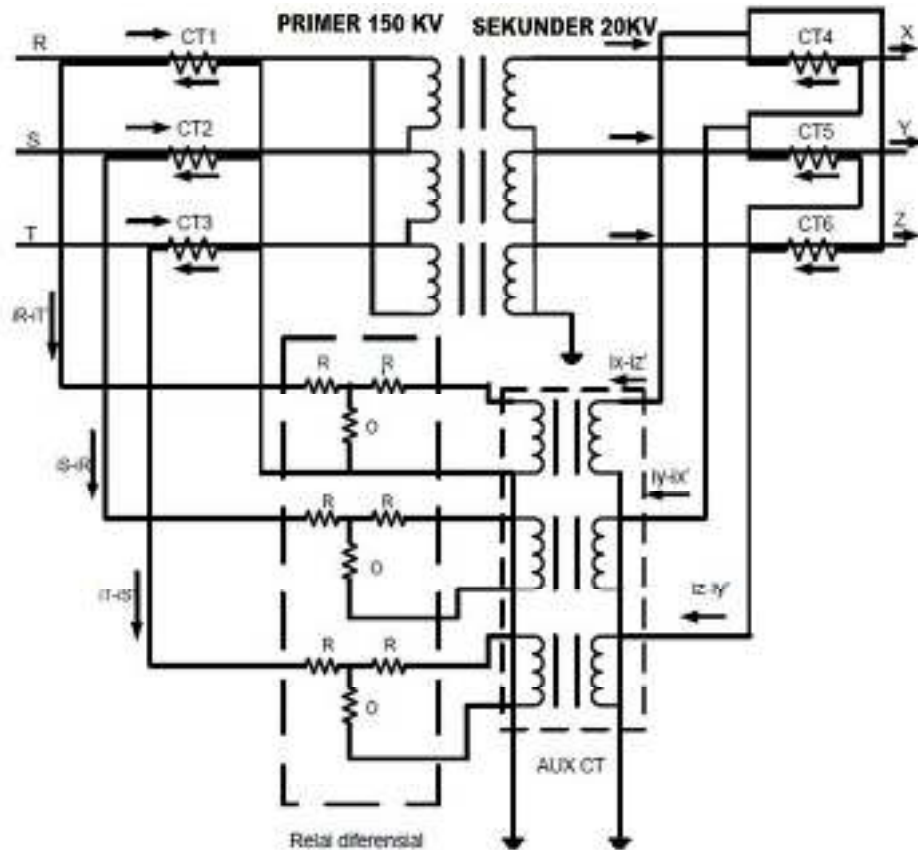
$$I_{nominal} = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot V} \dots\dots\dots(3.3)$$

- Keterangan:
- $I_n$  = Arus nominal (A)
  - S = Daya tersalurkan (MVA)
  - V = Tegangan pada sisi primer dan sekunder (Kv)

### 3.2.4 Skema Relay Diferensial

Untuk pemasangan relay diferensial perlu diperhatikan arus urutan nol, agar relay diferensial tidak salah kerja atau beroperasi pada saat gangguan luar. Selain itu, trafo arus pada sisi primer trafo tenaga yang terhubung dengan belitan

delta dihubungkan ke Y dan trafo arus pada sisi sekunder trafo tenaga yang belitannya terhubung Y dihubungkan  $\Delta$ , sehingga menghilangkan komponen urutan nol yang ada di sisi sekunder transformator dan membuat arus yang keluar dari CT tetap sama fasanya.



Gambar 3.3. Skema Diferensial Transformator Daya Pada Operasi Normal

Keterangan gambar (3.4):

- R : Restraint coil
- O : Operation coil
- $i_R, i_S, i_T$  : Arus yang mengalir di sisi primer
- $i_x, i_y, i_z$  : Arus yang mengalir di sisi sekunder
- R, S, T : Line di sisi primer
- X, Y, Z : Line di sisi sekunder
- CT1-CT2 : current transformer

### **3.3. Data Peralatan**

#### **3.3.1. Rele Diferensial**

Merk	: MICOM
Penempatan	: Trafo daya (3)
Type	: P632
Arus nominal	: 1/5 A
Setting Waktu	: 0,5 sekon
Tegangan nominal	: 50 – 230 VAC
Frekuensi	: 50/60 Hz
Setting Arus	: 0,25 A
Ratio CT primer	: 300/5 A
Ratio CT Sekunder	: 2000/5 A
Tegangan suplay AC	: 100 – 230 VAC
Tegangan suplay DC	: 48 – 250 VDC

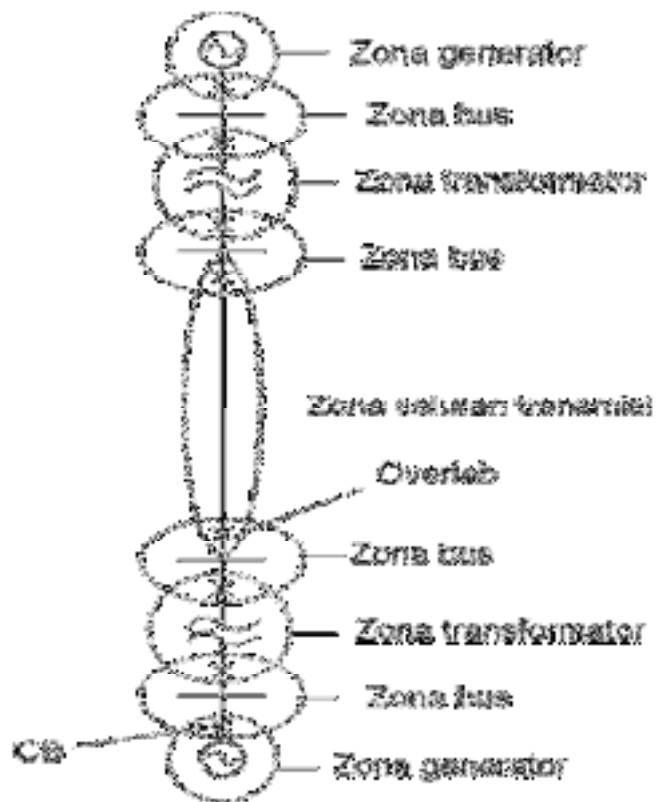
#### **3.3.2. Trafo Daya**

Merk	: PAUWELS TRAFO
No Seri	: 3011160109
Kapasitas	: 60 MVA
Tegangan sisi primer	: 150 KV
Tegangan sisi sekunder	: 20 KV
Ratio CT primer	: 300/5 A
Ratio CT Sekunder	: 2000/5 A
Sambungan	: Ynyno
Type oli	: Nynas Nitra Libra

### 3.4. Zona Proteksi

Pada zona proteksi dalam membatasi luasnya daerah sistem tenaga yang harus diisolasi jika terjadi gangguan maka sistem proteksi tenaga listrik dibuat secara selektif berdasarkan zona atau daerah proteksi. Idealnya zona proteksi harus saling tumpang-tindih (*overlap*) sedemikian sehingga tidak ada bagian jaringan yang tidak teramankan. Kebutuhan ini misalnya dapat diterapkan dengan meletakkan dua trafo arus yang mengapit pemutus (PMT).

Titik hubung proteksi sistem tenaga merupakan letak penempatan rele proteksi yang umumnya menentukan zona proteksi sehingga sangat erat kaitanya dengan penempatan lokasi trafo.



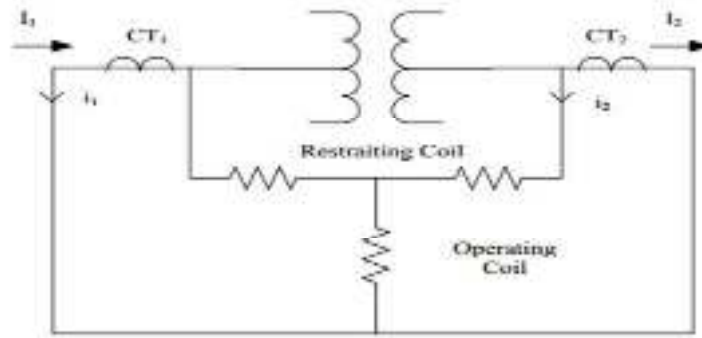
Gambar 3.4. Macam-Macam Zona Proteksi Untuk Sistem Tenaga

Pada waktu yang bersamaan, harus disadari bahwa jika gangguan terjadi pada daerah yang dilindungi maka lebih sedikit CB yang akan trip. Setiap zona akan menggunakan prinsip kerja relay yang berbeda-beda.



### 3.5. Karakteristik Relay diferensial

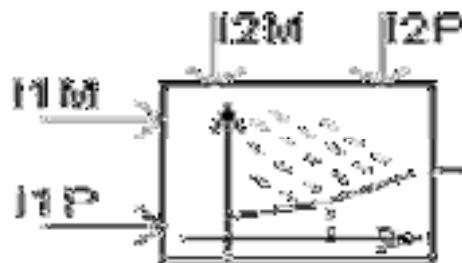
Karakteristik relay diferensial dibuat dengan prinsip keseimbangan arus untuk menghindari kesalahan kerja. Kesalahan kerja yang diakibatkan oleh trafo arus (CT), ratio mismatch yaitu terjadi pergeseran fasa yang diakibatkan oleh belitan trafo daya hubungan Y –  $\Delta$  (*star – delta*).



Gambar 3.5. Prinsip Pengoperasian Relay Diferensial

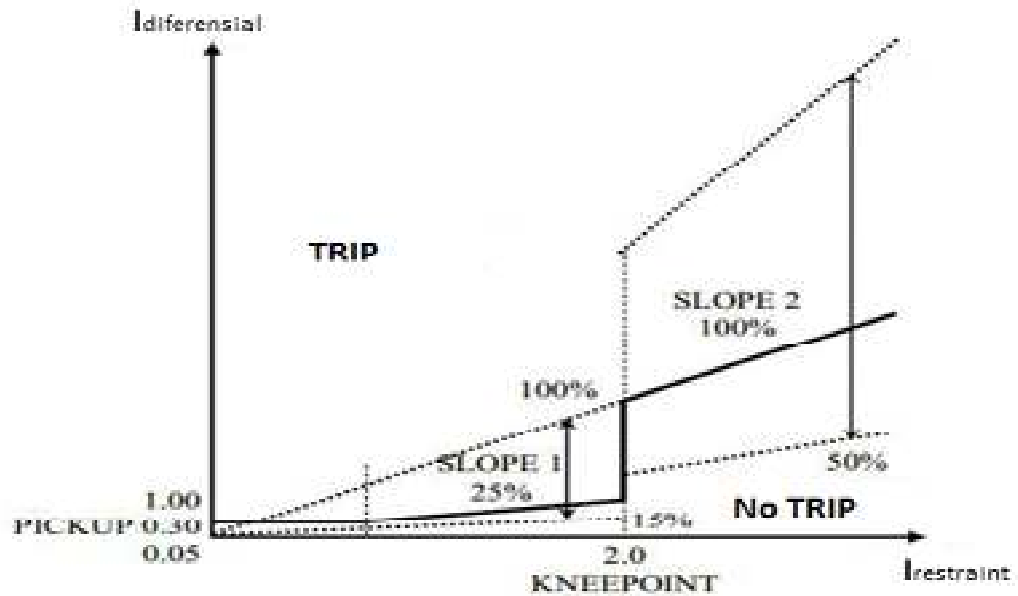
Trafo arus (CT) juga dapat berubah di karenakan posisi *tap changer* pada trafo daya oleh *on load tap changer (OLTC)*. Ketidakseimbangan arus ( $I_{\mu}$ ) yang bersifat transient yang di sebabkan oleh beberapa faktor di antaranya, kesalahan akurasi CT (*Current Transformer*), *Inrush current* pada saat ada perbedaan, kesalahan pada CT di daerah jenuh (saturasi CT).

Untuk mengatasi masalah unbalance current ( $I_{\mu}$ ) pada rele diferensial dengan menambahkan kumparan yang menahan bekerjanya rele di daerah unbalance current ( $I_{\mu}$ ). Kumparan ini disebut *restraining coil*, sedangkan kumparan yang mengerjakan rele tersebut disebut *operating coil*.



Gambar 3.6. Simbol Relay Diferensial

Input relay ini adalah magnitude arus sekunder CT pada sisi primer trafo I1M dan sudut phasanya I1P serta magnitude arus sekunder CT sisi sekunder trafo I2M dan sudut phasanya I2P.



Gambar 3.7. Kurva Karakteristik Relay Diferensial

Slope 1 didapat dengan membagi antara komponen arus diferensial dengan arus penahan. Slope 1 akan menentukan arus relay diferensial dan arus penahan pada saat kondisi normal dan memastikan sensitifitas relay pada saat gangguan internal dengan arus gangguan yang kecil.

$$\text{Slope1} = \frac{I_d}{I_{\text{restrain}}} \times 100\% \dots \dots \dots (3.4)$$

Sedangkan slope 2 berguna supaya rele tidak bekerja oleh gangguan eksternal yang berarus sangat besar sehingga salah satu CT mengalami saturasi, dengan persamaan:

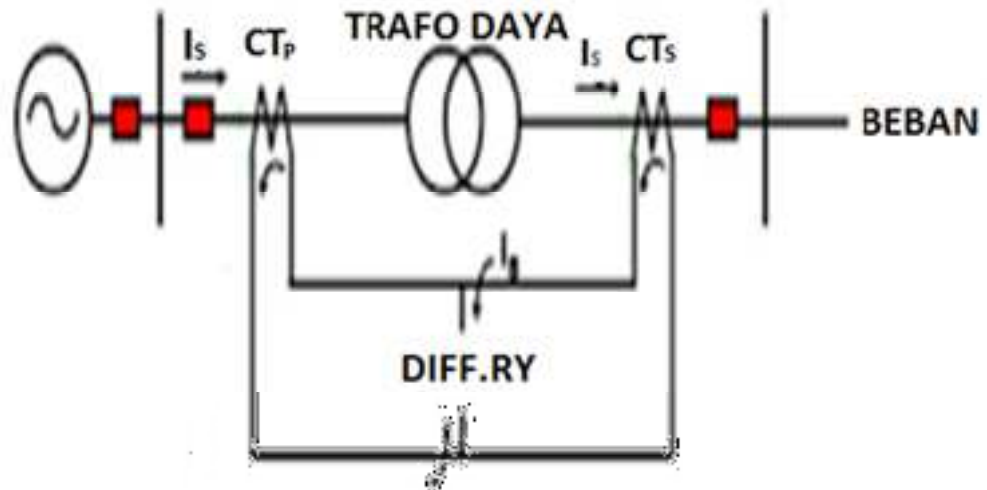
$$\text{Slope2} = \left( \frac{I_d}{I_{\text{restrain}}} \times 2 \right) 100\% \dots \dots \dots (3.5)$$

Keterangan :

- Slope1 : Setting kecuraman 1
- Slope2 : Setting kecuraman 2
- Id : Arus differensial
- Irestrain : Arus penahan (restrain)

### 3.6. Prinsip Kerja Relay Diferensial

Prinsip kerja relay diferensial adalah membandingkan dua vektor arus atau lebih yang masuk ke rele. Jika relay diferensial dipasang sebagai proteksi suatu peralatan dan terjadi gangguan di daerah pengamannya, maka relay diferensial harus bekerja, pada saat CT1 mengalir arus  $I_1$  maka pada CT2 tidak ada arus yang mengalir ( $I_2 = 0$ ).



Gambar 3.8. Relay differensial Pada Keadaan Normal

Karena arus gangguan mengalir pada titik gangguan sehingga p CT2 tidak ada arus yang mengalir, maka di sisi sekunder CT2 tidak ada arus yang mengalir ( $I_2=0$ ) yang mengakibatkan  $I_1 \neq I_2$  ( $\Delta I \neq 0$ ) sehingga rele diferensial akan bekerja.

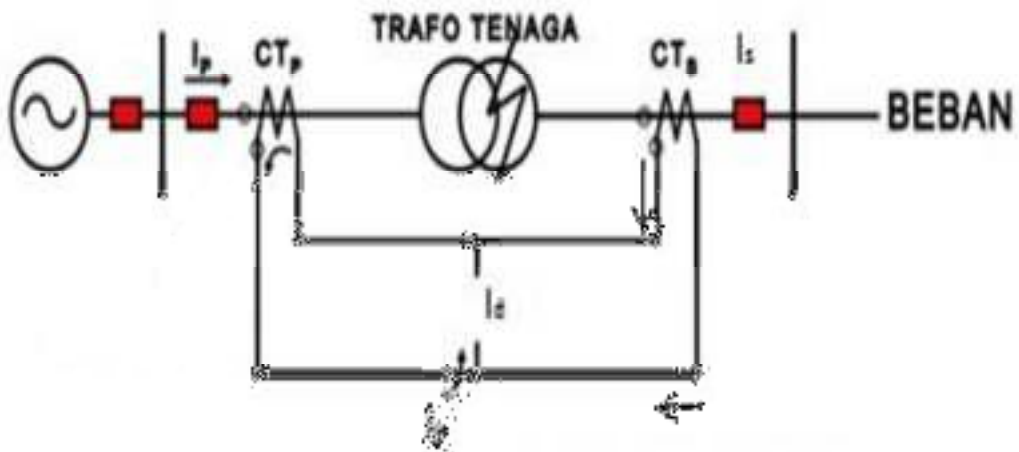
#### 3.6.1. Gangguan Didalam Daerah yang Dilindungi

Gangguan yang terjadi didalam daerah yang dilindungi (*internal*) daerah proteksi relay diferensial yaitu diantara kedua trafo daya. Untuk gangguan yang terjadi didalam, arah arus akan berubah salah satu arahnya terbalik, maka pada keadaan tersebut kondisi trafo terdapat gangguan. Dimana  $I_p$  dan  $I_s$  searah menuju relay diferensial.

$$I_d = I_p + I_s > 0 \text{ ampere} \dots\dots\dots(3.6)$$

$$I_{dif} = I_p + I_s < 0 \text{ ampere} \dots\dots\dots(3.7)$$

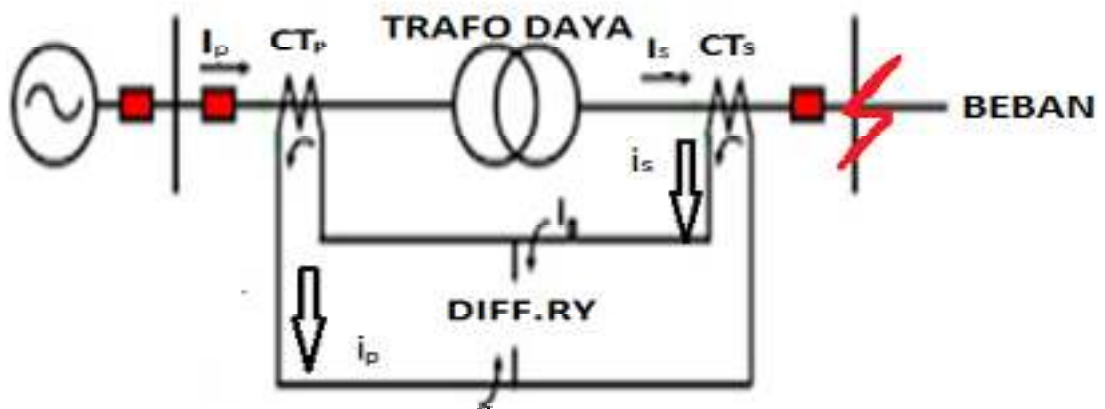
Karena arus searah dan akan mengalir melalui relay diferensial dari CTp menuju CTs, apabila rele mendeteksi terdapat perbedaan arus atau gangguan maka relay mengintruksikan PMT untuk membuka atau memutus (tripping).



Gambar 3.9. Relay Differensial Pada Keadaan Saat Gangguan Internal

### 3.6.2. Gangguan Diluar Daerah yang Dilindungi

Apabila terjadi gangguan luar daerah pengamanannya maka relay diferensial tidak bekerja, pada saat sisi primer kedua CT dialiri arus  $I_p$  dan  $I_s$ , dengan adanya rasio  $CT_p$  dan  $CT_s$  yang sedemikian, maka besar arus yang mengalir pada sekunder  $CT_p$  dan  $CT_s$  yang menuju relay besarnya sama ( $i_p = i_s$ ) atau dengan kata lain tidak ada selisih arus yang mengalir pada rele sehingga relay tidak akan bekerja.



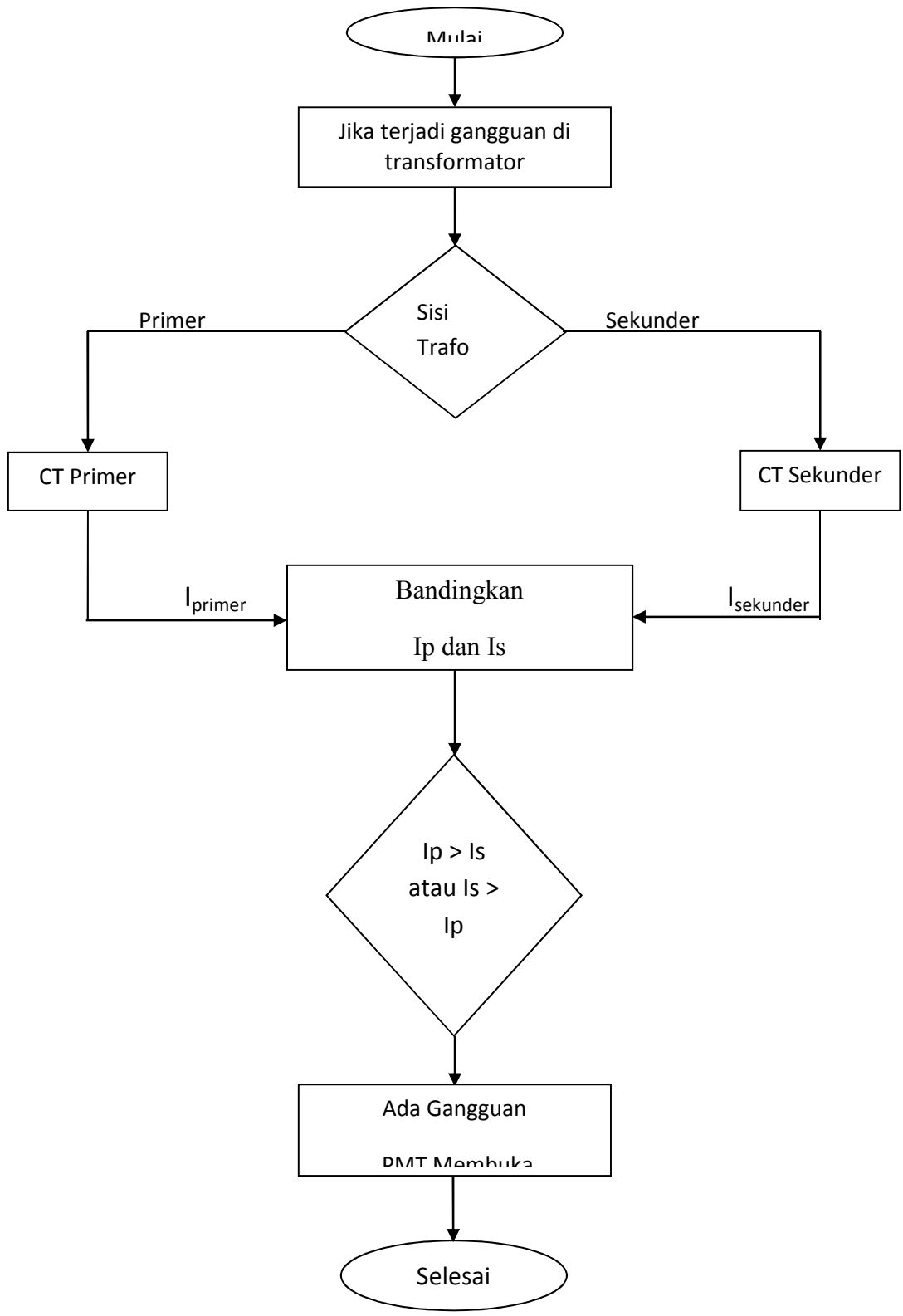
Gambar.3.10. Relay Diferensial Saat Keadaan Gangguan Eksternal.

Dimana  $I_p$  dan  $I_s$  berlawanan menuju rele diferensial sehingga :

$$I_d = I_p + I_s = 0 \text{ ampere} \dots \dots \dots (3.8)$$

$$I_{dif} = I_p + I_s = 0 \text{ ampere (rele tidak bekerja)} \dots \dots \dots (3.9)$$

### 3.7. Flowchart Sistem Proteksi Relay Diferensial

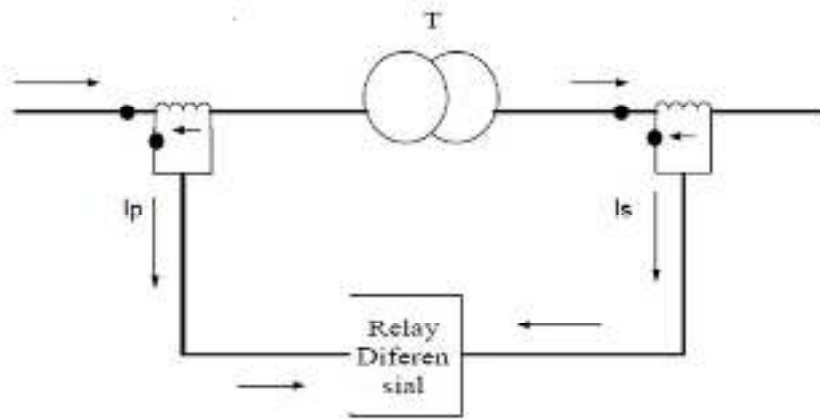


### 3.8. Jenis-Jenis Relay Diferensial

Jenis rele diferensial ada dua macam yaitu, rele diferensial tipe longitudinal dan rele diferensial percentage.

#### 3.8.1. Longitudinal Diferensial Relay (LDR)

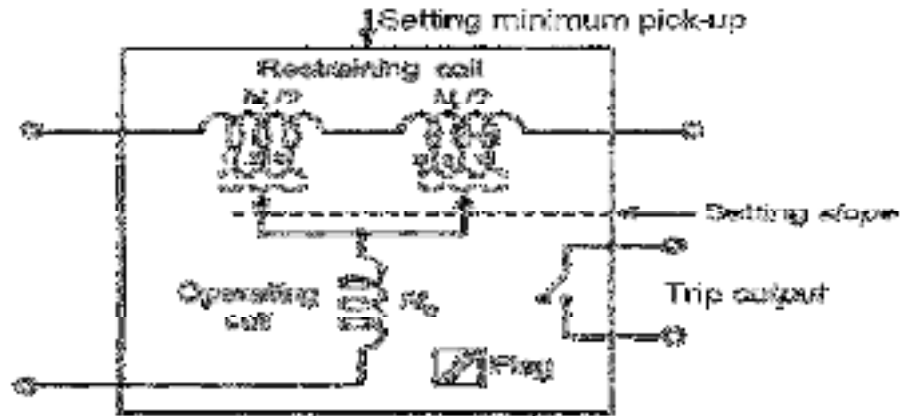
Rele ini biasa dikenal sebagai circulating current type, dalam keadaan normal, maka gangguan yang terjadi diluar daerah pengaman mengakibatkan tidak ada arus atau sangat kecil yang mengalir di operating coil.



Gambar 3.12. Longitudinal Diferensial Relay (LDR)

#### 3.8.2 Percentage Diferensial Relay

Relay ini muncul karena kelemahan LDR yakni arus *setting* harus dibuat lebih besar dari arus operasi dalam keadaan normal untuk mengatasi arus inrush dan gangguan yang cukup besar berada diluar daerah proteksi. Relay ini mempunyai *restraining coil* yang ditap pada bagian tengahnya, sehingga membentuk dua bagian dengan jumlah lilitan yang sama,  $N_r/2$ . *Restraining coil* dihubungkan pada bagian arus yang bersirkulasi, sehingga menerima arus gangguan yang lewat. *Operating coil* mempunyai jumlah lilitan yang dihubungkan pada bagian *spill*.



Gambar 3.13. Blok Diagram Percentage Diferensial Relay

### 3.9. Jenis Jenis Gangguan Pada Gardu Induk

Sistem tenaga listrik merupakan suatu sistem yang melibatkan banyak komponen yang saling berhubungan dan sangat kompleks. Oleh karena itu, ada beberapa faktor yang menyebabkan terjadinya gangguan pada sistem tenaga listrik, antara lain sebagai berikut:

#### 1. Faktor Manusia

Faktor ini adalah faktor menyangkut kesalahan atau kelalaian dalam memberikan perlakuan pada komponen atau pada sistem. Misalnya salah menyambung rangkaian atau penyetelan, keliru dalam mengkalibrasi suatu komponen pengaman dan sebagainya.

#### 2. Faktor Internal

Faktor ini menyangkut gangguan-gangguan yang berasal dari sistem itu sendiri. Misalnya usia pakai peralatan (komponen) yang sudah mencapai batas sehingga, akan menyebabkan kerja peralatan kurang optimal, mengurangi sensitive rele pengaman serta mengurangi daya isolasi peralatan listrik lainnya.

#### 3. Faktor Alam

Faktor ini meliputi gangguan-gangguan yang berasal dari lingkungan sekitar pada gardu induk. Misalnya cuaca, gempa bumi, banjir, sambaran petir, pepohonan yang tumbang yang mengenai sistem.

### 3.10. Gangguan Hubung Singkat

Hubung singkat/short circuit adalah salah satu gangguan yang bisa terjadi di sistem tenaga listrik. Hubung singkat adalah hubungan konduksi sengaja atau tidak sengaja melalui hambatan atau impedansi yang cukup rendah antara dua atau lebih titik yang dalam keadaan normalnya mempunyai beda potensial. Hubung singkat dapat di bedakan menjadi tiga jenis yaitu hubung singkat satu fasa ke tanah, hubung singkat dua fasa dan hubung singkat tiga fasa. Dari ketiga jenis gangguan hubung singkat dapat dihitung dengan menggunakan hukum ohm :

$$I = \frac{V}{Z} \dots\dots\dots(3.10)$$

Dimana :

I = Arus hubung singkat(Amper)

V= Tegangan sumber (Volt)

Z= eqivalen seluruh impedansi sumber sampai titik gangguan (Ohm)

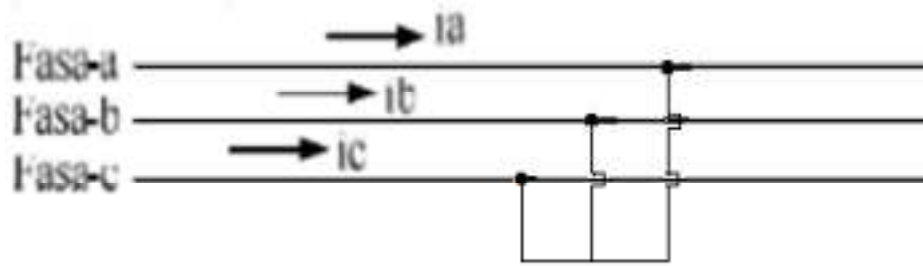
Penyebab dari hubung singkat diantaranya adalah:

1. Hubungan kontak langsung dengan konduktor bertegangan.
2. Temperatur berlebih karena adanya arus lebih/overload.
3. Pelepasan/discharge elektron yang merusak karena tegangan berlebih.
4. Busur/arcing karena pengembunan dengan udara terutama pada isolator.

#### 3.10.1. Hubung Singkat 3 Fasa ke Fasa

Hubung singkat 3 fasa adalah hubung singkat atau short circuit yang terjadi pada ke tiga fasa atau dengan kata lain tehubungnya ketiga kawat fasa. Gangguan hubung singkat tiga fasa termasuk dalam klasifikasi gangguan simetris, dimana arus maupun tegangan setiap fasanya tetap seimbang setelah gangguan terjadi. Sehingga pada sistem ini dapat dianalisa hanya dengan menggunakan urutan positif saja. Gangguan hubung singkat tiga fasa dapat dilihat seperti pada gambar dibawah ini :





Gambar.3.14. Hubung singkat tiga fasa

Untuk mencari nilai arus hubung singkat pada gangguan hubung singkat tiga fasa ini dapat dicari dengan menggunakan rumus:

$$I_{sc\ 3fasa} = \frac{V_f}{Z_{1eq}} \dots\dots\dots(3.11)$$

Dimana:

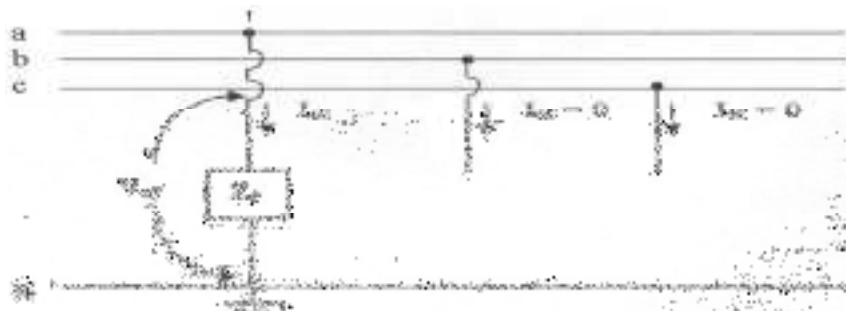
$I_{sc\ 3fasa}$  = Arus hubung singkat 3 fasa(Amper)

$V_f$  = Tegangan fasa-netral ( $20\text{ KV}/\sqrt{3}$ ) (Volt)

$Z_{1eq}$  = Impedansi ekivalen jaringan urutan positif (ohm)

### 3.10.2. Hubung Singkat 1 Fasa-Tanah

Untuk gangguan hubung singkat 1 fasa ke tanah yaitu impedansi yang digunakan adalah jumlah impedansi urutan positif ditambah urutan negatif dan ditambah urutan nol, nilai ekivalennya  $Z_1 + Z_2 + Z_0$  dimana  $Z_1 = Z_2$  dan tegangannya adalah teganganfasa-fasa. Gangguan yang sering terjadi pada sistem tenaga listrik merupakan gangguan asimetris sehingga memerlukan metode komponen simetris untuk menganalisa tegangan dan arus pada saat terjadi gangguan. Gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah dapat ditunjukkan seperti pada gambar dibawah ini :



Gambar.3.15. Ganggua hubung singkat 1 fasa ke tanah

Gangguan yang terjadi dapat dianalisa dengan menghubungkan-singkatkan semua sumber tegangan yang ada pada sistem dan mengganti titik (*node*) gangguan dengan sebuah sumber tegangan yang besarnya sama dengan tegangan sesaat sebelum terjadinya gangguan di titik gangguan tersebut. Dengan menggunakan metode ini sistem tiga fasa tidak seimbang dapat direpresentasikan dengan menggunakan teori komponen simetris yaitu berdasarkan komponen urutan positif, komponen urutan negatif, dan komponen urutan nol.

Sehingga arus hubung singkat satu fasa ke tanah dapat dihitung dengan menggunakan rumus :

$$I_{sc\ 1\ fasa} = \frac{3.V_{ph}}{Z_{1\ eq} + Z_{2\ eq} + Z_{0\ eq}} \dots\dots\dots(3.12)$$

Karena  $Z_{1\ eq} = Z_{2\ eq}$ , maka :

$$I_{sc\ 1\ fasa} = \frac{3.V_{ph}}{2 \times Z_{1\ eq} + Z_{0\ eq}} \dots\dots\dots(3.13)$$

Keterangan:

$I_{sc\ 1\ fasa}$  = Arus hubung singkat 1 fasa-tanah (Amper)

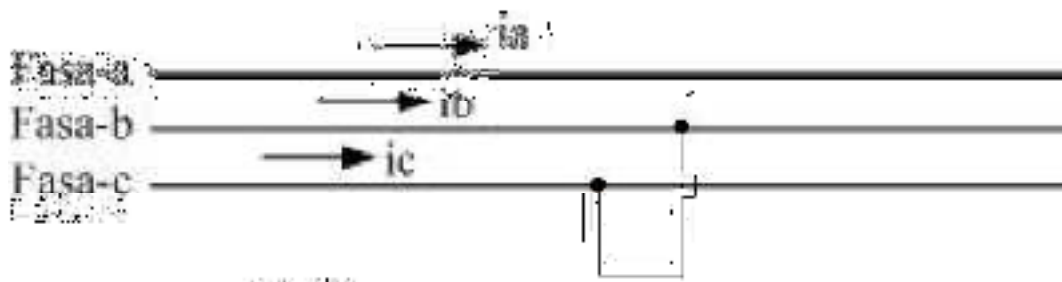
$3V_{ph}$  = Tegangan fasa-fasa ( $3 \times 20KV / \sqrt{3}$ )(Volt)

$Z_{1\ eq}$  = Impedansi ekivalen jaringan urutan positif (ohm)

$Z_{2\ eq}$  = Impedansi ekivalen jaringan urutan nol (ohm)

### 3.10.3. Hubung Singkat 2 fasa

Hubung singkat dua fasa atau yang biasa disebut hubung singkat fasa ke fasa adalah kondisi dimana antara fasa ke fasa saling terhubung singkat. Pada gangguan hubung singkat fasa ke fasa, arus saluran tidak mengandung komponen urutan nol dikarenakan tidak ada gangguan yang terhubung ke tanah. Gangguan hubung singkat dua fasa ini dapat ditunjukkan pada gambar dibawah ini :



Gambar 3.16. Gangguan hubung singkat dua fasa atau fasa ke fasa

Rumus yang dapat digunakan dalam menghitung arus hubung singkat dua fasa yaitu :

$$I_{sc\ 2fasa} = \frac{V_f}{Z_1+Z_2} \dots\dots\dots(3.14)$$

Dimana :

$V_f$  : Tegangan di titik gangguan sesaat sebelum terjadinya gangguan (V)

$Z_1$  : Impedansi urutan positif dilihat dari titik gangguan ( $\Omega$ )

$Z_2$  : Impedansi urutan positif negatif dilihat dari titik gangguan ( $\Omega$ )