



## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Umum**

Pada saat ini dan masa-masa yang akan datang kebutuhan listrik untuk industry maupun perusahaan jasa semakin meningkat. disamping itu penggunaan peralatan yang canggih diperlukan listrik yang mempunyai tingkat keandalan yang tinggi. Kita ketahui semua dalam system tenaga listrik tidak mungkin dapat menyediakan tenaga listrik yang mutlak tanpa gangguan. Misalnya pada desain suatu saluran transmisi ditentukan berdasarkan kriteria jumlah gangguan yang akan terjadi.

Dengan demikian sekarang bagaimana caranya supaya gangguan yang akan terjadi menjadi seminim mungkin berakibat terhadap konsumen ataupun kalau berakibat sedikit mungkin dan sesingkat mungkin. Salah satu cara untuk mengurangi gangguan itu adalah dengan memasang system pengaman yang handal.

#### **2.2 Rele**

Sistem rele proteksi harus peka terhadap segala bentuk gangguan baik berat maupun ringan, sehingga dapat bekerja dengan tepat atau memberikan reaksi bila terjadi gangguan. Rele proteksi harus mampu memutuskan bagian yang terganggu secepat mungkin, sebab sistem yang berada dalam keadaan tidak normal akan segera terisolir, sehingga tidak mengganggu atau mempengaruhi kestabilan sistem lain yang normal. Rele proteksi harus dapat diandalkan terhadap setiap jenis gangguan yang dapat membahayakan sistem secara keseluruhan. Jadi dalam perencanaan suatu sistem rele proteksi, selain memperhatikan kontinuitas sistem itu sendiri juga harus memperhatikan kondisi sistem kerja yang lain.

##### **2.2.1 Definisi rele**

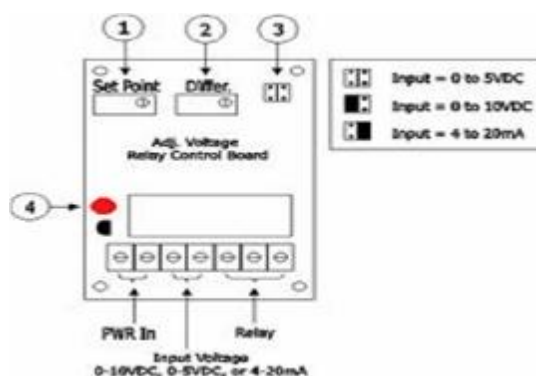
Rele menurut definisi dari IEEE (Institute of Electrical and Electronic Engineers) adalah merupakan suatu peralatan elektrik yang didesain untuk menginterpretasikan kondisi masukan dalam kondisi tertentu dan memberikan



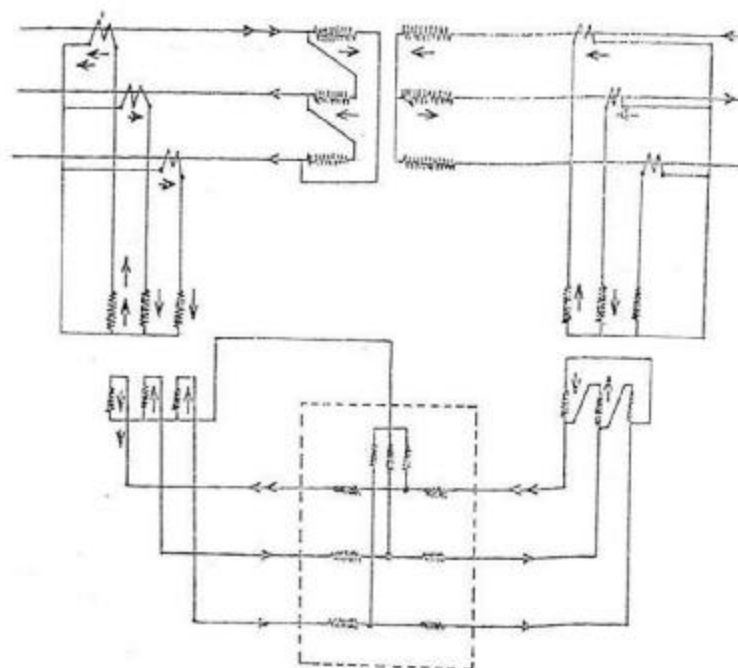
respon dengan mengoperasikan kontak-kontak bila masukan yang diterima memenuhi kondisi tertentu.

### 2.2.2 Rele Differensial

System proteksi rele differensial secara universal dipergunakan untuk proteksi pada generator, transformator daya, busbar, dan saluran transmisi. Kesemua system proteksi differensial tersebut berdasarkan pada prinsip “keseimbangan (balance)” atau membandingkan arus-arus sekunder transformator arus yang terpasang pada terminal-terminal peralatan/instalasi listrik yang diproteksi. Khusus system proteksi rele differensial pada saluran transmisi (kabel tanah ataupun saluran udara tegangan tinggi), dikarenakan problem jarak antara kedua ujung/terminal saluran transmisi tersebut maka, teknik/cara memperbandingkan arus sekunder transformator arus yang terpasang dikedua ujung/terminal saluran transmisi tidak dapat dilakukan secara langsung. Oleh arena itu system proteksi rele differensial pada saluran transmisi ini merupakan tipe system proteksi rele differensial yang berbeda pada system proteksi rele differensial pada transformator daya. Cirri lain rele differensial ini adalah tidak dapat merubah setting, atau dengan kata lain besar arus yan dapat mengerjakan rele tidak dapat diubah. Ini merupakan kerugian, karena pengaruh arus magnetisasi dari trafo arus pada sisi pertama dan sisi kedua kenyataan nya ada dan bila diamankan trafo tenaga, pada saat pemasukan tenaga untuk beban nol timbul arus inrush pada sisi sumber tegangan.



Gambar 2.1 Rele differensial



Gambar 2.2 Konstruksi rele differensial

Rele differensial mempunyai bentuk yang bermacam-macam, tergantung dari peralatan yang diamankan. Pengertian dari rele differensial itu sendiri mengandung unsur membedakan satu dengan yang lainnya yaitu semua besaran yang masuk ke rele. Menurut Masson adalah rele differensial itu merupakan suatu rele yang bekerja bila ada perbedaan vector dari dua besaran listrik atau lebih yang melebihi besaran yang ditentukan.

1. Sifat pengaman dengan rele differensial
  1. Sangat efektif dan cepat, tidak perlu dikoordinasi dengan rele lain.
  2. Sebagai pengaman utama.
  3. Tidak dapat digunakan sebagai pengaman cadangan untuk seksi/daerah berikutnya.
  4. Daerah pengamanannya dibatasi oleh sepasang trafo arus dimana rele differensial dipasang.



## 2. Persyaratan pada pengaman rele differensial

1. CT1 dan CT2 harus mempunyai perbandingan transformasi yang sama, ataupun mempunyai perbandingan transformasi yang sedemikian sehingga arus sekundernya sama.
2. Karakteristik CT1 dan CT2 sama
3. Rangkaian CT dengan rele harus benar.

### 2.2.3 Fungsi rele differensial

Pengaman rele differensial merupakan alat pengaman utama untuk mengamankan transformator daya terhadap arus hubung singkat yang terjadi didalam kumparan fasa. Terjadi gangguan hubung singkat biasanya disebabkan oleh adanya kerusakan isolasi kawat tersebut, akibat kerusakan yang mungkin terjadi adalah :

1. Hubung singkat antara kumparan fasa satu dengan fasa yang lainnya.
2. Hubung singkat antara masing-masing lilitan dalam satu kumparan.
3. Hubung singkat antara satu fasa ke tanah
4. Hubung singkat antara kumparan sisi tegangan tinggi dengan sisi tegangan rendah.

Dari masing-masing jenis hubung singkat tersebut diatas, rele differensial mempunyai system rangkaian sendiri-sendiri. Diantaranya adalah pengaman rele differensial longitudinal yang digunakan untuk mengamankan transformator daya terhadap arus hubung singkat antara kumparan yang satu dengan kumparan yang lainnya. Pengaman rele differensial transverse untuk mengamankan generator terhadap gangguan antara masing-masing lilitan dalam kumparan fasa. Dari kedua system tersebut pengaman rele



differensial longitudinal adalah system yang paling banyak dijumpai pemakaiannya dilapangan. Karena sulitnya pengaman rele differensial ini hanya dipasang pada transformator daya dengan kapasitas yang besar saja.

#### **2.2.4 Prinsip kerja rele differensial**

Prinsip kerja rele differensial ini adalah dengan membandingkan dua besaran arus pada sisi primer dan arus pada sisi sekunder pada transformator arus (CT) serta arus yang masuk ke rele.

Kerja rele differensial ini dibantu oleh dua buah transformator arus (CT), dimana dalam keadaan normal, transformator arus yang pertama dan transformator arus yang kedua dibuat suatu ratio yang sedemikian rupa, sehingga arus kedua transformator arus tersebut sama besar.

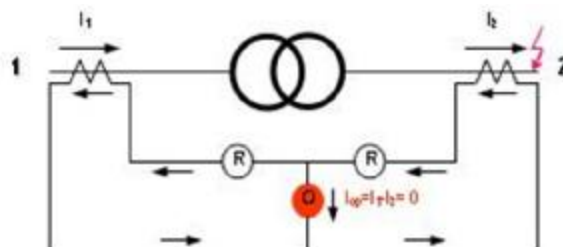
Adapun prinsip kerja rele differensial ini terjadi dalam 3 keadaan, yaitu dalam keadaan normal, keadaan gangguan diluar daerah proteksi dan gangguan didalam daerah proteksi.

##### **1. Dalam keadaan normal**

Dalam keadaan normal, arus mengalir melalui peralatan/instalasi listrik yang diproteksi yaitu transformator daya, dan arus-arus transformator arus yaitu I dan II bersikulasi melalui "path", jika rele differensial dipasang diantara terminal 1 dan terminal 2, maka dalam kondisi normal tidak akan ada arus yang melaluinya.

##### **2. Pada gangguan diluar daerah proteksi**

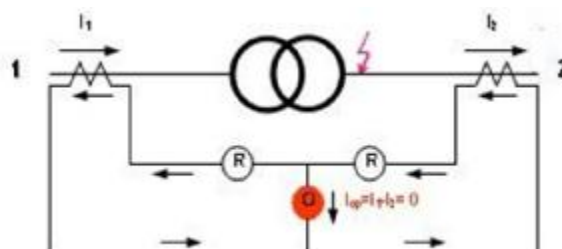
Bila ada keadaan gangguan diluar daerah transformator daya yang diproteksi, maka arus yang mengalir akan bertambah besar. Akan tetapi, sirkulai akan tetap sama seperti kondisi normal, dengan demikian rele differensial tidak akan bekerja.



Gambar 2.3 gangguan diluar daerah proteksi

### 3. Pada gangguan didalam daerah proteksi

Jika gangguan terjadi didalam daerah proteksinya pada transformator daya yang diproteksinya, maka sirkulasi salah satu arus di satu sisi akan terbalik, menyebabkan “keseimbangan” pada kondisi normal akan terganggu. Akibatnya arus  $I_D$  akan mengalir melalui rele differensial dari terminal 1 menuju ke terminal 2. Maka terjadi selisih arus terhadap rele, selanjutnya rele tersebut akan memerintahkan CB untuk memutus.



Gambar 2.4 gangguan didalam daerah proteksi

Selama arus-arus sekunder transformator arus sama besar, maka tidak akan ada arus yang mengalir melalui “operating coil” rele differensial, tetapi setiap gangguan yang mengakibatkan arus yang mengalir melalui operating coil lebih besar dari “pick up setting” rele differensial, maka rele differensial akan bekerja dan



memberikan komando “tripping” kepada circuit breaker (CB) sehingga transformator daya yang terganggu dapat diisolir dari system tenaga listrik.

### 2.2.5 Pemasangan rele differensial

Didalam pemasangan rele differensial pada transformator daya, sering mengalami kesulitan dalam ketepatan kerja rele, sehingga pada akhirnya rele akan mengalami salah kerja.

Salah kerja pada rele differensial disebabkan oleh hubungan transformator daya sisi tegangan tinggi dan sisi tegangan rendah sering berbeda, sehingga terjadi pergeseran fasa dan perbandingan transformasi dari transformator, transformator arusnya menjadi tidak sesuai lagi.

Sehubungan dengan pemasangan rele differensial ke transformator daya, maka perlu sekali untuk mengetahui persyaratan pemasangan rele differensial, yaitu :

1. Besar arus yang masuk ke rele sama besar
2. Fasa-fasa arus tersebut harus berlawanan

Untuk terpenuhinya pemasangan rele pada transformator daya, maka diperlukan transformator arus bantu yang berfungsi untuk mencocokkan arus yang masuk ke rele dari masing-masing pihak dan mencocokkan pergeseran fasa dari arus-arus yang masuk ke rele.

### 2.2.6 Setting kerja rele differensial

Arus dasar pada kedua sisi transformator diturunkan lagi dengan menggunakan trafo arus menjadi arus keluaran sekunder trafo arus adalah:

$$I_{SA} = \frac{I_{TA}}{n} \quad \text{..... (2.1)}$$

$$I_{SB} = \frac{I_{TB}}{n} \quad \text{..... (2.2)}$$

Dimana :



$I_{N1}$  = Arus nominal pada sisi primer transformator daya

$I_{N2}$  = Arus nominal pada sisi sekunder transformator daya

$I_{SA}$  = Arus sekunder trafo arus CT1 pada sisi primer transformator daya

$I_{SB}$  = Arus sekunder trafo arus CT2 pada sisi sekunder transformator daya

$K_{CT1}$  = Rasio transformasi CT1 pada sisi primer transformator daya

$K_{CT2}$  = Rasio transformasi CT2 pada sisi sekunder transformator daya

Bila kedua arus  $I_1$  dan  $I_2$  ini sudah sama maka tidak perlu lagi trafo arus bantu, tetapi bila arus-arus ini belum sama, maka harus disamakan dengan menggunakan trafo arus bantu.

### 2.2.7 Arus nominal primer dan sekunder

Arus nominal pada transformator daya dapat ditentukan dengan persamaan berikut.:

Arus nominal pada sisi primer:

$$I_{N1} = \frac{S}{\sqrt{3} V_P} \dots\dots\dots (2.3)$$

Arus nominal pada sisi sekunder:

$$I_{N2} = \frac{S}{\sqrt{3} V_S} \dots\dots\dots (2.4)$$

Dimana:

$I_{N1}$  = Arus nominal pada sisi primer

$I_{N2}$  = Arus nominal pada sisi sekunder

$S$  = Tegangan pada transformator daya

$V_P$  = Tegangan pada sisi primer

$V_S$  = Tegangan pada sisi sekunder

## 2.3 Transformator

Transformator adalah suatu alat listrik yang dapat mengubah energy listrik dari satu atau lebih rangkaian listrik ke rangkaian yang lain melalui suatu

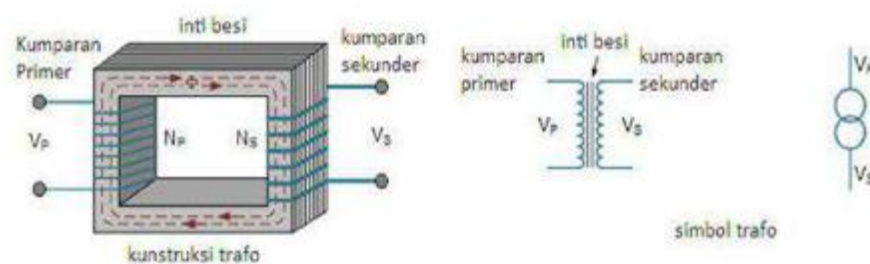




gandengan magnet dan berdasarkan prinsip induksi-elektromagnetik. Transformator dipergunakan secara luas baik dalam bidang tenaga maupun elektronika. Penggunaannya dalam sistem tenaga memungkinkan dipilihnya tenaga yang sesuai dan ekonomis untuk tiap-tiap keperluan; misalnya kebutuhan akan tegangan tinggi jarak jauh, maka diperlukannya transformator daya.

### 2.3.1 Transformator Daya

Transformator daya adalah suatu alat listrik statis yang dipergunakan untuk mengubah tegangan bolak-balik menjadi lebih tinggi atau lebih rendah dan digunakan untuk memindahkan energi dari suatu rangkaian listrik ke rangkaian lainnya tanpa merubah frekuensi. Transformator disebut peralatan statis karena tidak ada bagian yang bergerak atau berputar, tidak seperti motor atau generator. Dalam bentuknya yang paling sederhana, transformator terdiri atas dua kumparan dan satu induktansi mutual. Dua kumparan tersebut terdiri dari kumparan primer dan kumparan sekunder.



Gambar 2.5 bentukdasar transformator daya

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.

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.

### **2.3.2 Bagian Transformator dan Fungsinya**

#### **a. Bagian Utama**

##### **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. 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.

##### **3. Minyak Transformator**

Di dalam sebuah 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.

#### **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.

#### **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.

## **b. Peralatan Bantu**

### **1. Pendingin**

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 (radiator). 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. 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.

### **3. Alat Pernapasan (Dehydrating Breather)**

Perubahan temperatur didalam maupun diluar 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.

#### **4. NGR (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.

#### **5. Indikator-indikator**

Indikator transformator terdiri dari:

- Indikator suhu minyak
- Indikator permukaan minyak
- Indikator suhu winding
- Indikator kedudukan tap



Transformator dapat diklasifikasikan menurut :

1. Pasangan dan penempatan
2. Fungsi dan pemakaian
3. Kapasitas dan tegangan
4. Frekuensi

Dilihat dari fungsi atau pemakaiannya, transformator daya dapat dibagi menjadi tiga jenis yaitu :

1. Transformator Mesin

Transformator mesin adalah transformator yang digunakan untuk mesin-mesin listrik

2. Transformator Gardu Induk

Transformator gardu induk adalah transformator yang ditempatkan di gardu induk. Transformator ini merupakan peralatan utama yang memiliki berbagai macam proteksi

3. Transformator Distribusi

Transformator distribusi adalah transformator yang ditempatkan ditiang-tiang distribusi. Transformator ini berfungsi untuk menurunkan tegangan dari 20KV menjadi 380/220 V

Dilihat dari kapasitas dan tegangan yang digunakan, transformator dapat dibagi menjadi tiga jenis. yaitu :

1. Transformator Besar

Transformator besar adalah transformator yang memiliki tegangan > 70 KV dengan daya 10 MVA

2. Transformator Sedang

Transformator sedang adalah transformator yang memiliki tegangan > 30 KV dengan daya 1 MVA sampai 10 MVA

3. Transformator Kecil



Transformator kecil adalah transformator yang memiliki tegangan <30 KV dengan daya 1 MVA

Dilihat dari frekuensinya, transformator dapat dikelompokkan sebagai berikut.

1. Frekuensi daya, 50-60 c/s;
2. Frekuensi pendengaran 50 c/s – 20 kc/s;
3. Frekuensi radio, diatas 30 kc/s

## **2.4 Gangguan Pada Transformator Daya**

Dapat diklasifikasikan menjadi dua, yaitu gangguan tahap awal dan gangguan hubung singkat.

### **2.4.1 Gangguan tahap awal**

Gangguan yang dimulai dari suatu gangguan kecil dan lama kelamaan menjadi suatu gangguan yang besar, diantaranya :

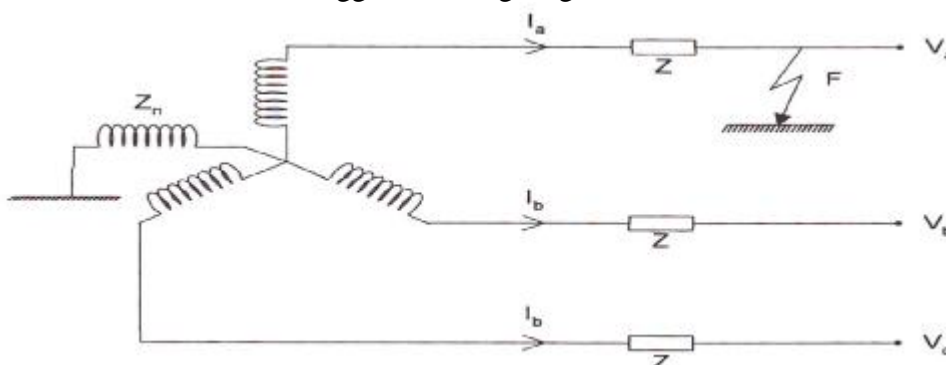
1. Terjadi busur api yang kecil dan pemanasan local karena sambungan listrik yang tidak sempurna, gangguan pada inti transformator karena erusakan pada isolasi
2. Gangguan pada system pendingin
3. Terjadi arus sirkulasi pada transformator-transformator yang bekerja parallel

Semua hal diatas menyebabkan pemanasan local tetapi tidak mempengaruhi suhu transformator secara keseluruhan. Gangguan ini dapat dideteksi dari terminal transformator karena besar dari keseimbangan arus serta tegangan tidak berbeda dengan kondisi pada operasi normal. Walaupun gangguan tahap awal merupakan gangguan yang kecil, tetapi jika tidak segera diatasi maka gangguan tersebut akan menjadi gangguan yang besar dan akan menimbulkan kerusakan pada transformator tersebut.



**2.4.2 Gangguan hubung singkat**

1. Gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah

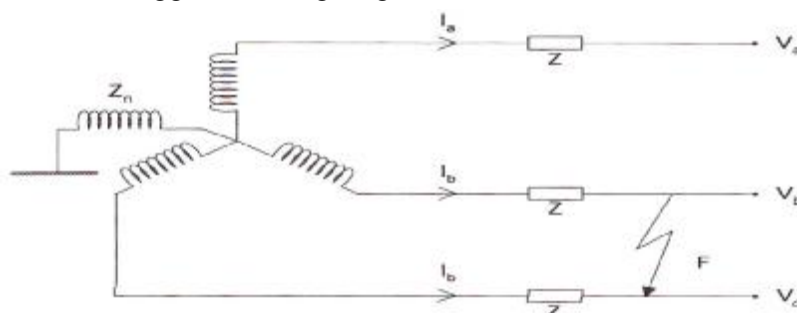


Gambar 2.6 hubung singkat satu fasa ke tanah

Besar gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah

$$I_{1F} = I_{2F} = I_{0F} = \text{-----} \dots\dots\dots (2.5)$$

2. Gangguan hubung singkat dua fasa



Gambar 2.7 hubung singkat dua fasa

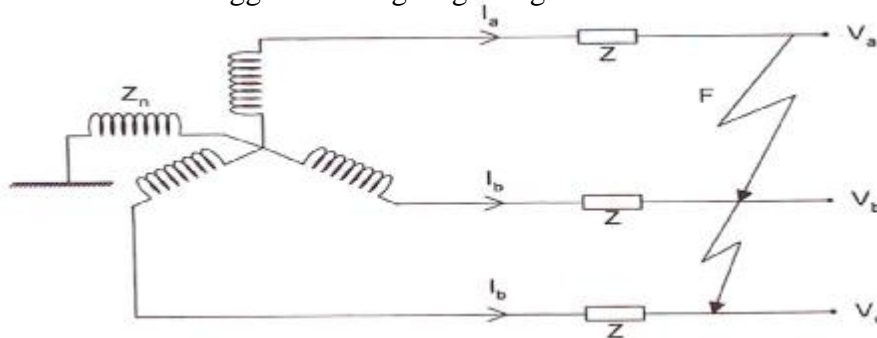
Besar gangguan hubung singkat dua fasa

$$I_{1F} = -I_{2F} = \text{-----} \dots\dots\dots (2.6)$$





3. Gangguan hubung singkat tiga fasa



Gambar 2.8 hubung singkat tiga fasa

Untuk mengetahui arus hubung singkat tiga fasa perlu diketahui tegangan transformator daya per unit (pu) sisi primer maupun sisi sekunder dengan menggunakan rumus :

$$E \text{ (pu)} = \frac{KV_{\text{dasar}}}{KV_{\text{sebenarnya}}} \dots\dots\dots (2.7)$$

Dimana :

$E(\text{pu})$  = tegangan sisi primer dan sisi sekunder pada transformator daya

$KV_{\text{sebenarnya}}$  = Tegangan sebenarnya pada sisi primer dan sisi sekunder

$KV_{\text{dasar}}$  = Tegangan dasar pada sisi primer dan sisi sekunder

Gangguan hubung singkat tiga fasa tersebut dapat dihitung dengan persamaan berikut

$$I_{\text{hs3}} \emptyset = \frac{E}{Z_T} \dots\dots\dots (2.8)$$

Dimana :

$I_{\text{hs3}} \emptyset$  = Arus hubung singkat tiga fasa

$E$  = Tegangan Per Unit

$Z_T$  = Impedansi Total



### 3. Gangguan pada Sistem Pendingin

Semua gangguan tersebut diatas akan menyebabkan terjadinya pemanasan lokal tetapi tidak mempengaruhi suhu transformator secara keseluruhan. Gangguan ini tidak dapat terdeteksi dari terminal transformator karena keseimbangan arus tegangan tidak berbeda dengan kondisi normal.

Gangguan ini dapat dideteksi karena akan timbul arus maupun tegangan yang tidak normal atau tidak seimbang. Dalam gangguan hubung singkat, banyak ditunjukkan pada gangguan tiga fasa dan satu fasa ketanah. Hal ini dilakukan karena hubung singkat tiga fasa menghasilkan arus gangguan yang besar, sedangkan hubung singkat satu fasa ketanah merupakan gangguan yang sering terjadi. Gangguan hubung singkat tiga fasa dan dua fasa digunakan untuk menentukan setting rele-rele proteksi gangguan fasa, sedangkan gangguan hubung singkat satu fasa ketanah digunakan untuk setting rele-rele proteksi gangguan tanah. Tetapi disini kita membahas tentang gangguan hubung singkat tiga fasa.

#### 1. Cara Mengatasi Gangguan

Usaha untuk mengurangi gangguan dapat dikelompokkan menjadi dua bagian

##### 1. Mencegah terjadinya gangguan

Dapat dilakukan dengan cara antara lain :

1. Menggunakan peralatan yang dapat diandalkan dengan karakteristik yang sesuai dengan kebutuhan system.
2. Pemasangan yang benar yang sesuai dengan desain dan petunjuk pabrik.
3. Operasi pemeliharaan yang baik

##### 2. Mengurangi akibat gangguan

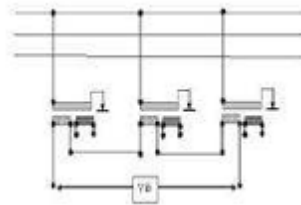
1. Mengurangi besarnya gangguan dengan cara menghindari konsentrasi pembangkit (mengurangi short circuit level)



2. Melepaskan bagian system yang teganggu dengan menggunakan circuit breaker dan rele proteksi
3. Koordinasi rele proteksi yang tepat sehingga tercipta pengaman yang selektif
4. Memanfaatkan saluran circuit ganda (doubl circuit)
5. Menggunakan auto re-closer
6. Menggunakan pola load shadding atau system islanding.

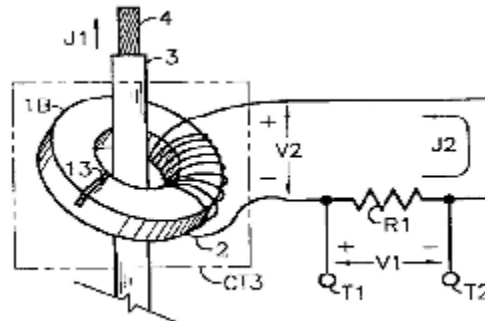
### 2.5 Trafo arus (CT)

Trafo arus (CT) adalah peralatan pada system tenaga listrik yang berupa trafo, yang digunakan untuk pengukuran arus yang besarnya hingga ratusan ampere dan arus yang mengalir pada saluran tegangan tinggi. Disamping untuk pengukuran arus, trafo arus juga digunakan untuk pengukuran daya dan energy, pengukuran jarak jauh, dan rele proteksi. Kumparan primer trafo dihubungkan seri dengan rangkainya atau jaringan yang akan diukur arusnya, sedangkan kumparan sekunder dihubungkan dengan meter atau rele proteksi.



Gambar 2.9 letak transformator arus

Penggunaan trafo arus adalah untuk menurunkan arus yang besar pada sisi primer menjadi arus sekunder yang lebih kecil serta memisahkan sisi primer dengan sisi sekunder trafo arus dapat bekerja dengan besar arus yang aman. Sisi primer trafo arus hanya terdiri dari beberapa lilitan dan dihubungkan secara seri dengan system tenaga listrik, transformasi arus didapatkan dengan memberikan lilitan yang lebih banyak pada sisi sekunder. Pada trafo arus ideal besar arus skunder yang mengalir merupakan transformasi langsung dari perbandingan lilitan.



Gambar 2.10 transformator arus (CT)

Pada kenyataannya arus sekunder lebih kecil dari harga tersebut, hal ini disebabkan adanya pergeseran fasa dan kesalahan perbandingan arus. Kesalahan perbandingan arus dan pergeseran fasa ini harganya tidak pernah akan tetapi berubah sesuai dengan kondisi arus kerja.

### 2.5.1 Rasio trafo arus

Trafo arus untuk pengaman rele differensial dipasang pada sisi tegangan tinggi dan sisi tegangan rendah transformator, oleh sebab itu rasio transformator harus dipilih sedemikian rupa sehingga besar arus sekunder pada kedua trafo arus sama atau paling tidak mendekati sama, sebab jika terdapat perbedaan arus maka perbedaan selisih arus ini akan semakin besar ketika berlangsung gangguan hubung singkat diluar daerah pengaman.

Untuk memenuhi persyaratan tersebut perlu dipilih trafo arus yang sesuai untuk mendapatkan  $I_1=I_2$  tetapi kadang-kadang hal ini tidak dapat dilakukan dengan hanya trafo arus karena rasio perbandingan transformasi telah dibuat standart pada arus-arus tertentu, sehingga apabila terdapat perbedaan dengan hasil perhitungan maka diambil harga standart yang mendekati selisih arus  $I_1$  dan  $I_2$  tidak jauh berbeda, jika terlalu besar maka diperlukan trafo arus bantu untuk menyamakan selisih ini.



Untuk menentukan rasio trafo arus dapat ditentukan besar ratio transformasinya

$$K_{CT1} = \frac{I_{s1}}{I_{p1}} \dots\dots\dots (2.9)$$

$$K_{CT2} = \frac{I_{s2}}{I_{p2}} \dots\dots\dots (2.10)$$

Dimana :

$K_{CT1}$  = Ratio transformator CT1 dari sisi primer transformator daya

$K_{CT2}$  = Ratio transformator CT2 dari sisi sekunder transformator daya

$I_{p1}$  = Trafo arus CT1 primer pada sisi masukan (arus masuk)

$I_{p2}$  = Trafo arus CT1 sekunder pada sisi keluaran (arus keluar)

$I_{s1}$  = Trafo arus CT2 primer pada sisi masukan (arus masuk)

$I_{s2}$  = Trafo arus CT2 sekunder pada sisi keluaran (arus keluar)

### 2.5.2 Trafo arus bantu

Bila kedua arus ini  $I_1$  dan  $I_2$  sudah sama, maka tidak diperlukan trafo arus bantu, tetapi jika arus-arus ini tidak sama maka harus disamakan dengan menggunakan trafo arus bantu.

$$\frac{I_1}{I_2} \times 100\% \dots\dots\dots (2.11)$$

## 2.6 Jenis-jenis Trafo Arus (CT)

Dalam pemakaian sehari-hari, trafo arus dibagi menjadi jenis-jenis tertentu berdasarkan syarat-syarat tertentu pula, adapun pembagian jenis trafo arus adalah sebagai berikut :

Jenis Trafo Arus Menurut Jenis Kumparan Primer



### 1. Jenis Kumparan (Wound)

Biasa digunakan untuk pengukuran pada arus rendah, burden yang besar, atau pengukuran yang membutuhkan ketelitian tinggi, belitan primer tergantung pada arus primer yang akan diuku, biasa nya tidak lebih dari 5 belitan. Penambahan belitan primer akan mengurangi faktor thermal dan dinamis arus hubung singkat.

### 2. Jenis Bar (Bar)

Konstruksi nya mampu menahan arus hubung singkat yang cukup tinggi sehingga memiliki faktor thermos dan dinamis arus hubung singkat yang tinggi. Keburukannya, ukuran inti yang paling ekonomis diperoleh pada arus pengenal yang cukup tinggi yaitu 1000A

#### Jenis Trafo Arus Menurut Jumlah Rasio

### 1. Jenis Rasio Tunggal

Rasio tunggal adalah trafo arus dengan satu kumparan primer dan satu kumparan sekunder.

### 2. Jenis Rasio Ganda

Rasio ganda diperoleh dengan membagi kumparan primer menjadi beberapa kelompok yang dihubungkan seri atau parallel.

#### Jenis Trafo Arus Menurut Jumla Inti

### 1. Inti Tunggal

Digunakan apabila system membutuhkan salah satu fungsi saja, yaitu untuk pengukuran dan proteksi

### 2. Inti Ganda

Digunakan apabila system membutuhkan arus untuk pengukuran dan proteksi sekaligus.



## 2.7 Circuit Breaker (CB)

Circuit breaker (CB) atau Pemutus tenaga (PMT) adalah peralatan pada system tenaga listrik yang berfungsi untuk memutuskan hubungan antara sisi sumber tenaga listrik dan sisi beban yang dapat bekerja secara otomatis ketika terjadi gangguan atau secara manual jika akan melakukan perawatan atau perbaikan.

Ketika kontak PMT dipisahkan, beda potensial diantara kontak tersebut akan menimbulkan medan elektrik diantara kontak tersebut. Medan elektrik ini akan menimbulkan ionisasi yang mengakibatkan terjadinya perpindahan electron bebas ke sisi beban dan arus tetap mengalir. Karena perpindahan ini menimbulkan emisi thermos yang cukup besar, maka akan timbul busur api diantara kontak PMT tersebut. Agar tidak mengganggu kestabilan system, maka busur api tersebut harus segera dipadamkan. Berdasarkan metode dalam pemadaman busur api tersebut, PMT dibagi menjadi beberapa jenis, yaitu :

### A. Air Circuit Breaker ( Pemutus Daya Udara )



Gambar 2.11 Air circuit breaker

PMT jenis ini menggunakan metode yang paling sederhana, yaitu memperpanjang lintasan busur api. Karena efek pemanjangan lintasan ini diharapkan busur api dapat segera dipadamkan. Adapun beberapa bentuk pemanjangan lintasan pada kontak PMT yang umum dikenal sebagai berikut.



### 1. Kontak Sela Tanduk

Pada PMT ini busur api dihilangkan dengan memperpanjang lintasan busur api hingga ujung terjauh kontak. PMT jenis ini biasa digunakan pada instalasi listrik AC dan DC tegangan rendah dengan arus pemutusan hingga ratusan ampere

### 2. Kontak Tabir Konduktor

Pada PMT ini, konduktor metal yang terletak diantara kontak memotong busur api yang muncul sehingga hasil pemotongan busur api pada tiap tabir mengalami pemanjangan lintasan dan pendinginan sehingga busur api dapat segera dipadamkan. PMT jenis ini dapat digunakan hingga tegangan beberapa ribu volt dan arus hingga beberapa ribu ampere.

### 3. Kontak Tabir Isolator

Pada PMT ini, tabir isolator yang terdapat diantara kontak membuat busur api terpaksa menelusuri permukaan tabir untuk bisa mencapai kontak. Pada PMT jenis ini pemadaman busur api terjadi karena efek pemanjangan lintasan, pendinginan, dan peluang partikel bermuatan untuk mengadakan rekombinasi. PMT jenis ini dapat digunakan hingga tegangan 10 KV dan arus hingga 50 KA.

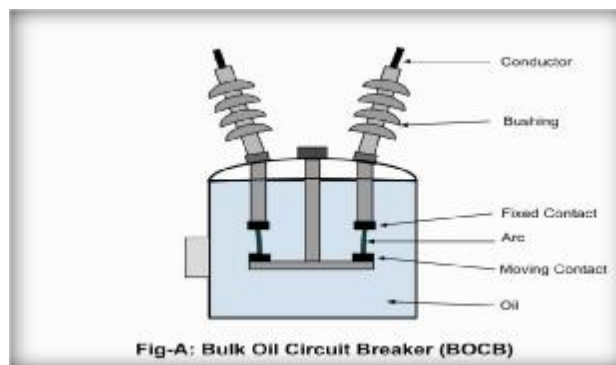
## B. Oil Circuit Breaker ( Pemutus Daya Minyak )

PMT jenis ini, ketika kontak terbuka busur api akan terjadi dengan media sekitar berupa minyak sehingga minyak menguap dan menimbulkan gelembung gas yang menyelubungi busur api diantara kontak. Gelembung ini membuat minyak terdekomposisi sehingga menimbulkan gas hydrogen yang menghambat busur api. Dengan adanya media minyak ini, diharapkan busur api dapat segera dipadamkan. Kelemahan dari penggunaan PMT minyak ini





adalah karena minyak mudah terbakar, kekentalan minyak menghambat pemisahan kontak, dan dimensi PMT yang terlalu besar, karena alasan inilah PMT jenis ini jarang dipergunakan untuk wilayah yang hanya menyediakan tempat yang tidak ukup besar. Lihat gambar dibawah ini :



Gambar 2.12 Oil Circuit Breaker

### C. Air Blast Circuit Breaker ( Pemutus Daya Tekanan Udara )



Gambar 2.13 Air blast circuit breaker

PMT jenis ini dirancang untuk mengatasi kelemahan dari PMT minyak yaitu dengan menggunakan isolator kontak yang tidak mudah terbakar dan tidak menghambat pergerakan kontak sehingga pemadaman busur api



dapat dilakukan dengan cepat. Saat kontak terbuka dan busur api muncul, udara bertekanan tinggi ditiupkan diantara kontak untuk menyingkirkan partikel-partikel bermuatan dari sela kedua kontak sehingga membuat busur api semakin cepat padam. PMT jenis ini mampu bekerja hingga tegangan 765 KV dan arus 40 KA. Karena memiliki ukuran yang cukup kecil, maka PMT ini lebih banyak dipilih dari pada PMT minyak untuk dipergunakan di wilayah yang menyediakan tempat yang tidak terlalu besar.

#### D. SF6 Circuit Breaker ( Pemutus Daya SF6 )



Gambar 2.14 SF6 circuit breaker

PMT jenis ini memiliki prinsip kerja yang hamper sama dengan PMT bertekanan udara. Perbedaannya terletak pada penggantian penggunaan udara dengan gas SF6 dan system yang tertutup dari udara luar. Saat kontak terbuka dan busur api muncul, gas SF6 bertekanan tinggi ditiupkan diantara kontak untuk menyingkirkan partikel bermuatan dari sela antara kedua kontak sehingga membuat busur api semakin cepat padam.

Gas SF6 dipilih karena sifat gas ini merupakan bahan isolasi dan pendingin yang baik. Gas ini tidak boleh bocor dan bercampur pada udara luar, sehingga system dibuat tertutup dan gas SF6 yang ditiupkan ditampung pada penampung tersendiri. Seperti halnya PMT tekana udara, ukuran PMT



SF6 ini juga mendukung PMT ini untuk ditempatkan di wilayah yang menyediakan tempat yang tidak terlalu besar.

E. Vacuum Circuit Breaker ( Pemutus Daya Vakum )



Gambar 2.15 Vacuum circuit breaker

Pada PMT jenis ini kontak ditempatkan pada suatu bilik vakum. Tidak boleh terjadi kebocoran sedikitpun pada bilik ini. PMT jenis ini umumnya tidak menggunakan kontak yang bergerak secara mekanik seperti kontak yang lain. Kontak mekanik akan menyebabkan pergeseran kontak yang memungkinkan terjadinya kebocoran.

Untuk mencegah kebocoran tersebut maka digunakan logam fleksibel berbentuk gelombang yang dapat diperpanjang dan diperpendek. Pada PMT vakum, pemadaman busur api dilakukan dengan memperpanjang lintasan serta menghilangkan molekul udara yang dapat mengalami ionisasi. Untuk saat ini, PMT jenis ini mempunyai batas kerja hingga 38 KV saja, karena kendala dalam pemakaian logam fleksibel menyebabkan jarak antara kontak ketika lepas tidak terlalu jauh, sehingga tegangan kerjanya pun tidak dapat terlalu tinggi. Umumnya ukuran PMT jenis ini sedikit lebih kecil dari PMT tekanan udara dan PMT SF6.