



## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Transformator

Transformator adalah suatu alat listrik yang dapat menaikkan dan menurunkan tegangan listrik bolak balik. Transformator juga dapat memindahkan dan mengubah energi listrik dari satu atau lebih rangkaian listrik ke rangkaian yang lain melalui suatu gandengan magnet berdasarkan prinsip induksi elektromagnetik. Penggunaan frekuensi yang sama dan perbandingan transformasi tertentu melalui suatu gandengan magnet dan bekerja berdasarkan prinsip induksi elektromagnetik, di mana perbandingan tegangan antara sisi primer dan sisi sekunder berbanding lurus dengan perbandingan jumlah lilitan dan berbanding terbalik dengan perbandingan arusnya.

Transformator merupakan suatu komponen yang sangat penting peranannya dalam sistem ketenagaan listrik. Keberadaan Transformator merupakan suatu langkah maju dan penemuan besar bagi kemajuan dunia ketenagaan listrik. Transformator terdiri atas dua buah kumparan ( primer dan sekunder ) yang bersifat induktif. Kedua kumparan ini terpisah secara elektris namun berhubungan secara magnetis melalui jalur yang memiliki reluktansi ( *reluctance* ) rendah. Apabila kumparan primer dihubungkan dengan sumber tegangan bolak- balik maka fluks bolak - balik akan muncul di dalam inti yang dilaminasi, karena kumparan tersebut membentuk jaringan tertutup maka mengalirlah arus primer. Akibat adanya fluks di kumparan primer maka di kumparan primer terjadi induksi sendiri ( *self induction* ) dan terjadi pula induksi di kumparan sekunder karena pengaruh induksi dari kumparan primer atau disebut sebagai induksi bersama ( *mutual induction* ) yang menyebabkan timbulnya fluks magnet di kumparan sekunder, maka mengalir arus sekunder jika rangkaian sekunder di bebani, sehingga energi listrik dapat ditransfer keseluruhan (secara magnetis ).

Hanya berupa besaran tegangan listrik bolak-balik yang dapat di transformasikan oleh transformator, sedangkan dalam bidang elektronik,

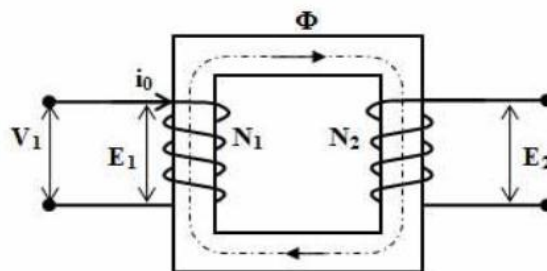


transformator digunakan sebagai gandengan impedansi antara sumber dan beban untuk menghambat arus searah sambil tetap melakukan arus bolak-balik antara rangkaian. Tujuan utama menggunakan inti ( *core* ) pada transformator adalah untuk mengurangi reluktansi ( tahanan magnetis ) dari rangkaian magnetis. Keadaan prinsipnya yang sederhana namun mempunyai arti penting sebagai dasar pembahasan mesin listrik, pembahasan transformator patut didahulukan.<sup>1</sup>

### 2.1.1 Transformator Daya

Transformator ini merupakan suatu alat listrik statis, yang dipergunakan untuk memindahkan daya dari satu rangkaian kerangkaian lain dengan mengubah tegangan tanpa mengubah frekuensi. Dalam bentuknya yang paling sederhana transformator terdiri atas dua kumparan dan satu induktansi mutual. Kumparan primer adalah yang menerima daya dan kumparan sekunder tersambung pada beban. Kedua kumparan dibelit pada suatu inti yang terdiri atas material magnetic berlaminasi.

Landasan fisik transformator adalah induktansi mutual (timbang balik) antara kedua rangkaian yang dihubungkan oleh suatu fluks magnetic bersama yang melewati suatu jalur dengan reluktansi rendah. Kedua kumparan memiliki induktansi mutual yang tinggi. Jika satu kumparan di sambung pada suatu sumber tegangan bolak balik, suatu fluks bolak balik, suatu fluks bolak balik terjadi di dalam inti bereliminasi ,yang sebagian besar akan mengait pada kumparan lainnya, dan di dalamnya akan terinduksi suatu gaya gerak listrik (GGL).<sup>2</sup>



**Gambar 2.1** Inti Magnetik Transformator

<sup>1</sup> Zuhail, *Dasar Tenaga Listrik*, Penerbit ITB Bandung, 1991, Hal 15

<sup>2</sup> Abdul Kadir, *Transmisi Tenaga Listrik*, Penerbit UI, 1998, Hal43



Untuk menerangkan cara kerja transformator dapat kita lihat pada gambar 2.1, kita tinjau transformator dalam keadaan ideal yang berarti tidak ada rugi-rugi, baik rugi ohm maupun rugi magnet dan tidak ada kejenuhan magnet. Gambar 2.1 ini menunjukkan transformator dengan dua kumparan yang mempunyai lilitan sebesar  $N_1$  dan  $N_2$ . Jika diberi supply energi listrik bolak – balik  $V = V_{\max} \sin \omega t$  dimasukkan melalui kumparan primer, maka arus bolak-balik pada sisi kumparan primer transformator ( $I_o$ ) akan mengalir melalui kumparan ini. Arus bolak – balik ( $I_o$ ) menghasilkan flux magnet ( $\phi$ ) pada inti yang berbentuk sinusoidal. Flux magnet yang sinusoidal ini memotong kumparan sekunder dan primer sehingga timbul tegangan (e.m.f) akibat induktansi dari pada kumparan primer ( $E_1$ ). Proses yang sama akan terjadi juga untuk mendapatkan tegangan disisi kumparan sekunder ( $E_2$ ) akibat flux magnet. Formulasi tegangan pada sisi primer transformator dapat dilihat pada rumus 2.1 :

$$E_1 = -N_1 \frac{d\phi}{dt} \dots\dots\dots (2.1)$$

Dimana :

$E_1$  = Tegangan listrik pada sisi primer transformator

$N_1$  = Lilitan pada sisi primer transformator

$\phi$  = Flux magnet

Pada kumparan sisi sekunder transformator diinduksikan tegangan sebesar

$$E_2 = -N_2 \frac{d\phi}{dt} \dots\dots\dots (2.2)$$

Dimana :

$E_2$  = Tegangan listrik pada sisi sekunder transformator

$N_2$  = Jumlah lilitan pada sisi sekunder transformator

$\phi$  = Flux magnet

Maka ratio antara tegangan dan jumlah lilitan disisi primer dan sisi sekunder transformator akan didapat sebagai berikut :



$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{-N_1 \frac{d\phi}{dt}}{-N_2 \frac{d\phi}{dt}} = \frac{N_1}{N_2} \text{ sehingga formula umumnya adalah :}$$

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{N_1}{N_2} = \frac{I_1}{I_2} \dots\dots\dots (2.3)$$

Dimana :

$E_1$  = Tegangan listrik pada sisi primer transformator

$N_1$  = Jumlah lilitan pada sisi primer transformator

$E_2$  = Tegangan listrik pada sisi sekunder transformator

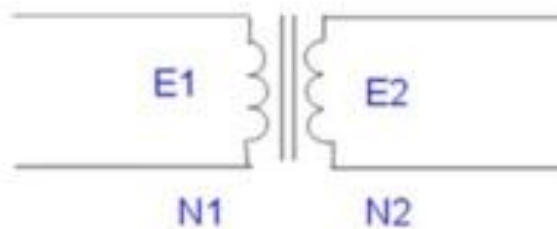
$N_2$  = Jumlah lilitan pada sisi sekunder transformator

$I_1$  = Arus listrik pada sisi primer transformator

$I_2$  = Arus listrik pada sisi sekunder transformator

### 2.1.2 Transformator Tegangan (PT)

Transformator Tegangan adalah peralatan yang mentransformasi tegangan sistem yang lebih tinggi ke suatu tegangan sistem yang lebih rendah untuk kebutuhan peralatan indikator, alat ukur / meter dan relay.



**Gambar 2.2** Prinsip Kerja Transformator Tegangan

#### 1. Fungsi Transformator Tegangan

Fungsi dari transformator tegangan (PT) yaitu :

- Mentransformasikan besaran tegangan sistem dari yang tinggi ke besaran tegangan listrik yang lebih rendah sehingga dapat digunakan untuk peralatan proteksi dan pengukuran yang lebih aman, akurat dan teliti.
- Mengisolasi bagian primer yang tegangannya sangat tinggi dengan bagian



- sekunder yang tegangannya rendah untuk digunakan sebagai sistem proteksi dan pengukuran peralatan dibagian primer.
- Sebagai standarisasi besaran tegangan sekunder ( $100$ ,  $100/\sqrt{3}$ ,  $110/\sqrt{3}$  dan  $110$  volt) untuk keperluan peralatan sisi sekunder.

## 2. Jenis Transformator Tegangan

Trafo Tegangan terbagi menjadi dua jenis yaitu :

- Trafo Tegangan Magnetik ( *Magnetik Voltage Transformer / VT* )

Disebut juga Trafo tegangan induktif. Terdiri dari belitan primer dan sekunder pada inti besi yang prinsip kerjanya belitan primer menginduksikan tegangan kebelitan sekundernya.

- Transformator tegangan kapasitif ( *Capasitive Voltage Transformer / CVT* )

Transformator tegangan ini terdiri dari dua bagian yaitu *Capacitive Voltage Divider (CVD)* dan *Inductive Intermediate Voltage Transformer (IVT)*. *CVD* merupakan rangkaian seri 2 (dua) kapasitor atau lebih yang berfungsi sebagai pembagi tegangan dari tegangan tinggi ke tegangan rendah pada primer, selanjutnya tegangan pada satu kapasitor ditransformasikan oleh *IVT* menjadi tegangan sekunder.

### 2.1.3 Transformator Arus (CT)

Transformator arus (CT) adalah peralatan pada sistem tenaga listrik yang berupa transformator yang digunakan untuk pengukuran arus yang besarnya mencapai ratusan ampere dan arus yang mengalir pada jaringan tegangan tinggi. Di samping untuk pengukuran arus, transformator arus juga digunakan untuk pengukuran daya dan energi. Dibutuhkan juga untuk keperluan telemeter dan relay proteksi. Kumputan primer transformator arus dihubungkan seri dengan jaringan atau peralatan yang akan diukur arusnya, sedangkan kumputan sekunder dihubungkan dengan meter atau relay proteksi. Pada umumnya peralatan ukur dan relay membutuhkan arus 1 atau 5A. Penggunaan transformator 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

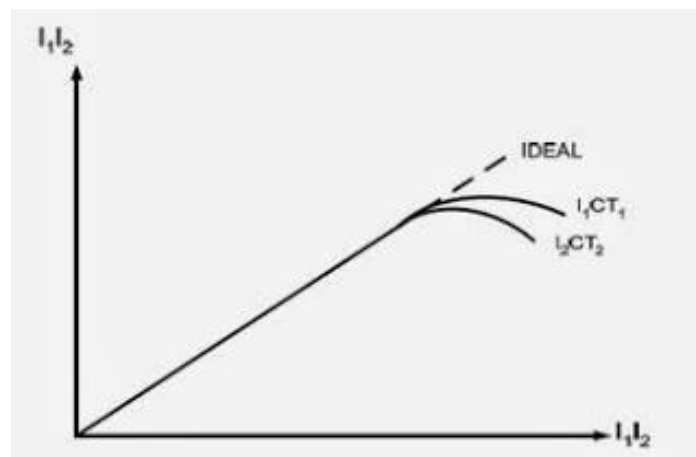


dengan besar arus yang aman. Sisi primer transformator arus hanya terdiri dari beberapa lilitan dan dihubungkan secara seri dengan system tenaga listrik, transformasi arus didapatkan dengan memberikan lilitan yang lebih banyak pada sisi sekunder. Pada transformator arus ideal besar arus sekunder yang mengalir merupakan transformasi langsung dari perbandingan.

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

#### 1. Karakteristik Transformator Arus (CT)

*Relay Differensial* dalam operasinya bahwa dalam keadaan normal atau terjadi gangguan di luar daerah pengamanannya arus pada relay sama dengan nol.



**Gambar 2.3** Karakteristik Transformator Arus (CT) Pada *Relay Differensial*

Karena itu kemungkinan salah kerja dari *relay differensial* dapat terjadi, arus yang dapat menyebabkan relay salah kerja tersebut dinamakan arus ketidak seimbangan. Bila suatu arus yang besar mengalir melalui suatu trafo arus, maka arus pada terminal sekunder tidak lagi linear terhadap arus primer.

#### 2. Rasio Transformator Arus

Transformator arus untuk pengaman *relay differensial* dipasang pada sisi tegangan tinggi dan sisi tegangan rendah transformator, oleh karena itu rasio



transformasi harus dipilih sedemikian rupa sehingga besar arus sekunder pada kedua transformator arus sama atau paling tidak mendekati sama, sebab apabila terdapat perbedaan arus maka selisih arus ini akan semakin besar ketika berlangsung gangguan hubung singkat diluar daerah pengamanan.

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

Untuk menentukan rasio transformator arus dapat ditentukan besar rasio transformasinya :

$$K_{CT1} = \frac{I_{P1}}{I_{P2}} \dots\dots\dots (2.4)^3$$

$$K_{CT2} = \frac{I_{S1}}{I_{S2}} \dots\dots\dots (2.5)^4$$

Dimana :

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

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

$I_{P1}$  = Trafo arus CT1 primer pada sisi masukan (arus yang masuk)

$I_{P2}$  = Trafo arus CT1 sekunder pada sisi keluaran (arus yang keluar)

$I_{S1}$  = Trafo arus CT2 primer pada sisi masukan (arus yang masuk)

$I_{S2}$  = Trafo arus CT2 sekunder pada sisi keluaran (arus yang keluar)

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

<sup>3</sup> Eden Napitupulu, *Relay Proteksi Jilid 5 PLN Pembangkit Jabar Jaya*, Hal 18

<sup>4</sup> *Ibid*, Hal 18



## **2.2 Sistem Proteksi**

Sistem Proteksi bertujuan untuk mengidentifikasi gangguan dan memisahkan bagian yang terganggu dari bagian yang masih sehat sekaligus mengamankan bagian yang masih sehat dari kerusakan atau kerugian yang lebih besar. Proteksi terdiri dari beberapa komponen – komponen sebagai berikut :

- a. Relay, sebagai alat perasa untuk mendeteksi adanya gangguan yang selanjutnya memberi perintah trip kepada Pemutus Tenaga (PMT).
- b. Transformator Arus (CT) dan / atau Transformator Tegangan (PT/CVT) sebagai alat yang mentransfer besaran listrik primer dari sistem yang diamankan ke Relay (besaran listrik sekunder)
- c. Pemutus Tenaga (PMT) untuk memisahkan bagian sistem yang terganggu.
- d. Baterai beserta alat pengisi (*bateray charger*) sebagai sumber tenaga untuk bekerjanya *relay*, peralatan bantu tripping.
- e. Pengawatan (*wiring*) yang terdiri dari sirkit sekunder (arus dan/atau tegangan), sirkit tripping dan sirkit peralatan bantu.

### **2.2.1 Persyaratan Relay Pengaman**

Pada sistem tenaga listrik, relay memegang peran yang sangat vital. Pengaman berkualitas yang baik memerlukan relay proteksi yang baik juga. peralatan relay pengaman dapat dikatakan bekerja dengan baik dan benar adalah : persyaratan yang harus dipenuhi oleh rele pengaman, seperti tersebut berikut ini.

#### **a. Kepekaan / Sensitifitas**

Relay harus dapat bekerja dengan kepekaan yang tinggi, artinya harus cukup sensitif terhadap gangguan didaerahnya meskipun gangguan tersebut minimum, selanjutnya memberikan jawaban / response. Relay harus mempunyai kepekaan yang tinggi terhadap besaran minimal (kritis) sebagaimana direncanakan. Rele harus dapat bekerja pada awal terjadinya gangguan. Oleh karena itu, gangguan lebih mudah diatasi pada awal kejadian. Hal ini memberi keuntungan dimana kerusakan peralatan yang harus diamankan menjadi kecil. Namun demikian,





relay juga harus stabil, artinya Relay harus dapat membedakan antara arus gangguan atau arus beban maksimum. Pada saat transformator daya dihubungkan ke sistem, rele tidak boleh bekerja karena adanya arus inrush, yang besarnya seperti arus gangguan, yaitu 3-5 kali arus beban maksimum; Rele harus dapat membedakan adanya gangguan atau ayunan beban.

**b. Kecepatan**

Relay harus cepat bereaksi / bekerja bila sistem mengalami gangguan atau kerja abnormal. Kecepatan bereaksi dari relay adalah saat relay mulai merasakan adanya gangguan sampai dengan pelaksanaan pelepasan circuit breaker (CB) karena komando dari relay tersebut. Waktu bereaksi ini harus diusahakan secepat mungkin sehingga dapat menghindari kerusakan pada alat serta membatasi daerah yang mengalami gangguan / kerja abnormal. Relay proteksi harus dapat bekerja dengan cepat. Namun demikian, rele tidak boleh bekerja terlalu cepat (kurang dari 10 ms). Disamping itu, waktu kerja relay tidak boleh melampaui waktu penyelesaian kritis (critical clearing time). Pada sistem yang besar atau luas, kecepatan kerja relay proteksi mutlak diperlukan karena untuk menjaga kestabilan sistem agar tidak terganggu.

**c. Diskriminatif**

Merupakan kemampuan relay untuk membedakan keadaan gangguan dengan keadaan normal, bahkan membedakan gejala gangguan semu terhadap gangguan yang sesungguhnya. Bagian komparator relay bertugas menjalankan fungsi diskriminasi tersebut. Arus inrush magnetisasi trafo adalah sebuah contoh gejala yang menyerupai adanya gangguan-dalam (internal fault) pada trafo.

**d. Selektifitas**

Kesanggupan dari system dalam hal mengisolir bagian yang terganggu saja merupakan tolak ukur akan keefektifitasan dari system proteksi.



Selektivitas berarti rele harus mempunyai daya beda terhadap bagian yang terganggu, sehingga mampu dengan tepat memilih bagian dari sistem tenaga listrik yang terkena gangguan. Kemudian rele bertugas mengamankan peralatan atau bagian sistem dalam jangkauan pengamanannya. Tugas rele untuk mendeteksi adanya gangguan yang terjadi pada daerah pengamanannya dan memberikan perintah untuk membuka pemutus tenaga dan memisahkan bagian yang terganggu. Letak pemutus tenaga sedemikian rupa sehingga setiap bagian dari sistem dapat dipisahkan. Dengan demikian bagian dari sistem lainnya yang tidak terganggu jangan sampai dilepas dan masih beroperasi secara normal, sehingga tidak terjadi pemutusan pelayanan. Jika terjadi pemutusan atau pemadaman hanya terbatas pada daerah yang terganggu.

Selektifitas merupakan sifat relay yang mengisolir hanya bagian sistem yang terkena gangguan langsung, sedangkan bagian lain, walaupun berkaitan harus tetap bekerja. Dalam hal ini selektivitas digolongkan menjadi dua jenis, yakni selektivitas absolut dan selektivitas relatif. Selektivitas absolut dimiliki oleh unit system, artinya relay hanya merespons gangguan yang terjadi pada zone-nya sendiri, sehingga tidak mampu (bahkan tidak boleh) merespons gangguan yang terjadi di luar zonenya. Selektivitas relatif dimiliki oleh proteksi yang dapat memberikan *back-up* bagi relay proteksi lain di dekatnya. Apabila relay yang terdekat dengan lokasi gangguan gagal bekerja, maka *relay back-up* akan membantu mengisolasi gangguan tersebut.

#### **e. Keandalan**

Pada kondisi normal atau tidak ada gangguan, mungkin selama berbulan-bulan atau lebih relay tidak bekerja. Seandainya suatu saat terjadi gangguan maka rele 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 salah kerja, artinya relay yang seharusnya tidak bekerja, tetapi bekerja. Hal ini menimbulkan pemadaman yang tidak seharusnya



dan menyulitkan analisa gangguan yang terjadi. Keandalan relay proteksi ditentukan dari rancangan, pengerjaan, beban yang digunakan dan perawatannya. Keandalan bersifat *defendability* yaitu tingkat kepastian sebuah relay proteksi bekerja jadi tidak boleh gagal kerja. Keandalan bersifat sebagai *security* yaitu tingkat kepastian sebuah relay proteksi untuk tidak salah kerja, dimana salah kerja mengakibatkan pemadaman yang seharusnya tidak perlu terjadi.

Keandalan relay dihitung dengan jumlah relay bekerja / mengamankan daerahnya terhadap jumlah gangguan yang terjadi. Keandalan relay dikatakan cukup baik bila mempunyai harga : 90 % - 99 %. Misal, dalam satu tahun terjadi gangguan sebanyak 25x dan relay dapat bekerja dengan sempurna sebanyak 23x, maka :

$$\text{Keandalan Relay} = 23 / 25 \times 100 \% = 92 \%$$

Keandalan dapat di bagi 2 :

- 1) Dependability : relay harus dapat diandalkan setiap saat.
- 2) Security : tidak boleh salah kerja / tidak boleh bekerja yang bukan seharusnya bekerja.

#### **f. Ekonomis**

Nilai ekonomis menjadi sesuatu yang tidak boleh dikesampingkan saat membuat *planning* sistem proteksi yang baik. Akan tetapi, nilai ekonomis ini juga harus disesuaikan dengan kualitas dan faktor kehandalan yang sudah ditetapkan. Satu hal penting yang harus diperhatikan sebagai persyaratan relay proteksi adalah masalah harga atau biaya. Relay tidak akan diaplikasikan didalam sistem tenaga listrik, jika harganya sangat mahal. Persyaratan reliabilitas, sensitivitas, selektivitas, dan kecepatan kerja relay tidak menyebabkan harga relay tersebut menjadi mahal. Biaya ekuivalen tahunan untuk relay proteksi ibarat semacam premi asuransi, dan perolehannya adalah sebesar nilai kerugian yang diderita akibat gangguan yang tidak terproteksi, yang terselamatkan dengan adanya relay proteksi terpasang. Maka besar biaya



untuk proteksi berkaitan dengan mahal dan pentingnya peralatan yang diberi proteksi. Pada umumnya harga untuk relay proteksi dan perlengkapannya tidak lebih dari 5% harga peralatan yang diproteksi.

### **2.2.2 Faktor Penyebab Gangguan**

Sistem tenaga listrik merupakan sistem yang hanya melibatkan sebuah komponen dan sangat teratur. Oleh karenanya, terbagi menjadi beberapa faktor yang dapat menyebabkan terjadinya stop sirkuit pada sistem tenaga listrik tersebut, diantaranya :

a. Faktor Manusia

Faktor Manusia menyangkut kesalahan atau kelalaian dalam memberikan perlakuan pada sistem. Misalnya saja dalam melakukan penyambungan rangkaian keliru dalam melakukan pengkalibrasian suatu piranti pengaman, dan sebagainya.

b. Faktor Internal

Faktor Internal ini menyangkut gangguan - gangguan yang berasal dari sistem itu sendiri. Misalnya usia pakai, keausan, dan lain sebagainya. Hal ini bisa mengurangi sensitifitas relay pengaman, juga mengurangi daya isolasi peralatan listrik lainnya

c. Faktor Eksternal

Faktor eksternal ini meliputi gangguan gangguan yang berasal dari luar atau lingkungan disekitar sistem. Disamping itu ada kemungkinan gangguan yang disebabkan oleh binatang, misalnya gigitan tikus, burung, tupai, dan sebagainya.

### **2.2.3 Gangguan Pada Transformator**

Gangguan pada transformator adalah suatu kejadian yang menyebabkan trafo tidak dapat berfungsi sesuai fungsi tekniknya. Indikasi dari adanya gangguan tersebut adalah bekerjanya alarm, bekerjanya relay pengaman trafo (PMT trip) yang berakibat terputusnya penyaluran tenaga listrik, munculnya tanda atau peringatan



relay bantu berupa: Lampu signal blok / indikator, meter ukur tidak rata (ampere, kV), lampu tandarele, bendera relay, bunyi - bunyian dan bau - bauan.

Jenis gangguan trafo dibedakan menjadi dua yaitu gangguan *internal* dan *eksternal*. Gangguan *internal* adalah gangguan yang bersumber dari dalam trafo itu sendiri, gangguan tersebut dapat berupa *Incipient Faults* yang merupakan gangguan kecil yang apabila tidak segera diatasi akan membesar. Gangguan tersebut dapat berupa terjadinya busur api maupun gangguan pada sistem pendingin dan *Electrical Faults*. Gangguan ini merupakan gangguan berat yang dapat menimbulkan kerusakan pada trafo. Gangguan ini biasanya langsung terdeteksi oleh rele arus dan tegangan. Gangguan tersebut berupa hubung singkat antara kumparan dengan *body* trafo, gangguan pada terminal trafo.

Gangguan *internal* pada transformator dapat disebabkan oleh adanya gangguan *eksternal* yang sangat besar di luar daerah pengamanan transformator yang menyebabkan relay di daerah pengamanan transformator ikut bekerja.

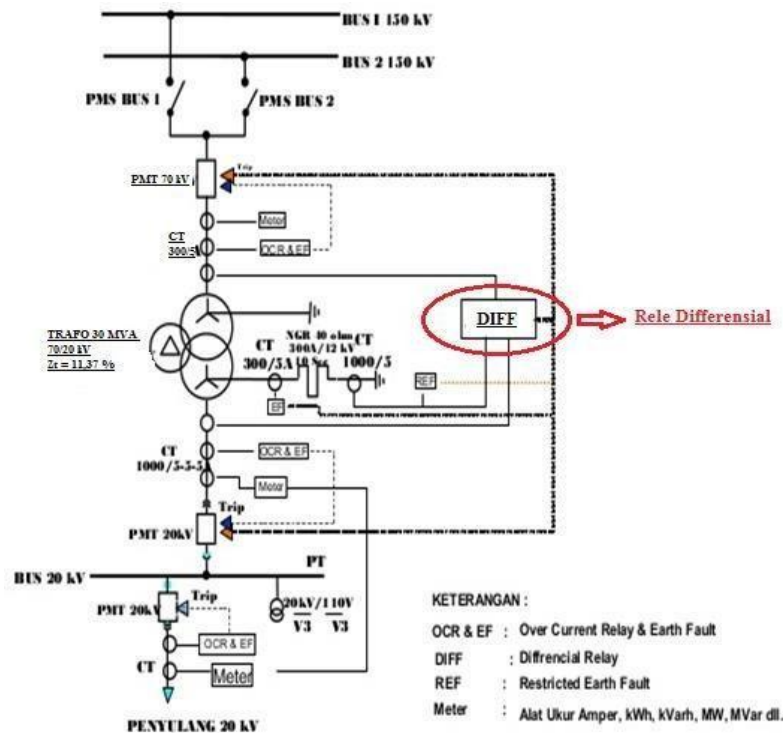
#### **2.2.4 Sistem Proteksi Pada Transformator**

Sistem Proteksi pada transformator umumnya menggunakan *Relay Differensial* dan *Relay Restricted Earth Fault (REF)* sebagai proteksi utama. Sedangkan proteksi cadangan menggunakan relay arus lebih (OCR), relay gangguan ke tanah (GFR). Sedangkan *Standby Earth Fault (SBEF)* umumnya hanya dipergunakan pada transformator dengan belitan Y yang ditanahkan dengan resistor, dan fungsinya lebih mengamankan *Neutral Ground Relay (NGR)*. Umumnya skema proteksi disesuaikan dengan kebutuhan.

Pola proteksi transformator harus dapat mengamankan transformator dari gangguan internal maupun gangguan eksternal. Untuk gangguan internal, transformator memiliki proteksi mekanik dan proteksi elektrik, sedangkan untuk gangguan eksternal transformator hanya memiliki proteksi elektrik. Peralatan proteksi yang dipergunakan berdasarkan kapasitas transformator.<sup>5</sup>

---

<sup>5</sup> PT. PLN (Persero), *Buku Petunjuk Proteksi dan Kontrol Transformator*, Hall



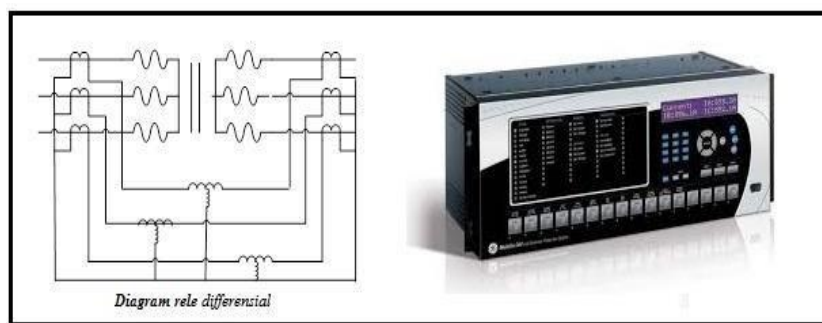
**Gambar 2.4** Bagan Satu Garis Proteksi Transformator

### 2.3 Relay Differensial

*Relay Differensial* digunakan sebagai salah satu pengaman utama (*main protection*) pada transformator daya yang berguna untuk mengamankan belitan transformator bila terjadi suatu gangguan. Relay ini sangat selektif dan sistem kerjanya sangat cepat, sehingga rele ini tidak perlu dikoordinir oleh relay lain. Cara kerja *relay differensial* adalah dengan cara membandingkan arus pada sisi primer dan sisi sekunder. Jika terjadi gangguan di dalam daerah kerja *Relay Differensial*, maka arus dari kedua sisi akan saling menjumlah dan rele akan memberi perintah kepada *circuit breaker* untuk memutuskan arus. *Relay Differensial* digunakan sebagai pengaman hubung singkat untuk transformator daya tiga fasa ialah dimulai pada 5000 KVA ke atas, sedangkan berdasarkan standar PLN No. 51 bagian C, relay ini digunakan mulai kapasitas 30 MVA ke atas.



*Relay Differensial* mempunyai bentuk yang bermacam-macam, tergantung dari peralatan yang diamankan. Sistem proteksi relay differensial secara universal digunakan untuk proteksi pada generator, transformator daya, busbar dan saluran transmisi ke semua system proteksi differensial. Sebagai proteksi transformator relay ini berfungsi melindungi transformator terhadap gangguan dari dalam (internal) transformator tersebut. Apabila terjadi gangguan dalam transformator, maka timbul selisih antara arus yang masuk dan keluar dari transformator bersangkutan dan selisih arus inilah yang mengoperasikan *relay differensial* ini.<sup>6</sup>



**Gambar 2.5** *Relay Differensial*

*Relay differensial* memberi perintah untuk membuka kedua pemutus beban dan member sinyal serta alarm, saat tidak normal/gangguan terjadi.

- a. Sifat pengaman dengan *relay differensial*
  - Sangat efektif dan cepat, tidak perlu di koordinasi dengan relay lain.
  - Sebagai pengaman utama
  - Tidak dapat digunakan sebagai pengaman cadangan untuk daerah berikutnya.
  - Daerah pengamanannya dibatasi oleh sepasang trafo arus dimana *relay differensial* dipasang.
- b. Persyaratan pada pengaman *relay differensial*
  - CT 1 dan CT 2 harus mempunyai perbandingan transformasi yang sama, atau mempunyai perbandingan transformasi sedemikian, sehingga arus sekundernya sama.

<sup>6</sup> Djiteng Marsudi, *Pembangkitan Energi Listrik*, 2011, Hal .40

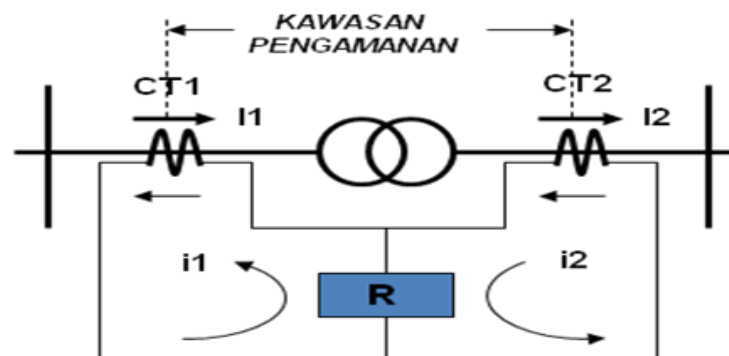


- Karakteristik CT 1 dan CT 2 sama.
- Rangkaian CT ke relay harus benar.

### 2.3.1 Prinsip Kerja Relay Differensial

Prinsip kerja *relay differensial* ini adalah dengan cara membandingkan dua besaran arus pada sisi primer dan arus pada sisi sekunder pada transformator arus (CT) serta arus yang masuk ke relay. Kerja *relay differensial* ini dibantu oleh dua buah transformator arus (CT) dimana dalam keadaan normal, transformator arus yang pertama dan transformator yang kedua dibuat suatu ratio sedemikian rupa, sehingga arus pada kedua transformator arus tersebut sama besar.

Sifat dari *relay differensial* adalah sangat selektif dan cepat, tidak perlu di koordinasi dengan relay lain sebagai pengaman peralatan (*equipment*), tidak dapat digunakan sebagai pengaman cadangan untuk daerah berikutnya, daerah pengamanannya dibatasi oleh pasangan trafo arus atau dimana *relay differensial* di pasang. Adapun penggunaan *relay differensial* adalah sebagai pengaman generator, pengaman trafo daya, pengaman motor-motor lain dan pengaman saluran transmisi.<sup>7</sup>



**Gambar 2.6** Prinsip Kerja Relay differensial pada Transformator Daya

Adapun prinsip kerja *relay differensial* ini terjadi dalam tiga keadaan, yaitu dalam keadaan normal, keadaan gangguan diluar daerah proteksi dan gangguan didalam daerah proteksi.

<sup>7</sup> Eden Napitupulu, *Relay Proteksi Jilid 5 PLN Pembangkit Jabar Jaya*, Hal 13

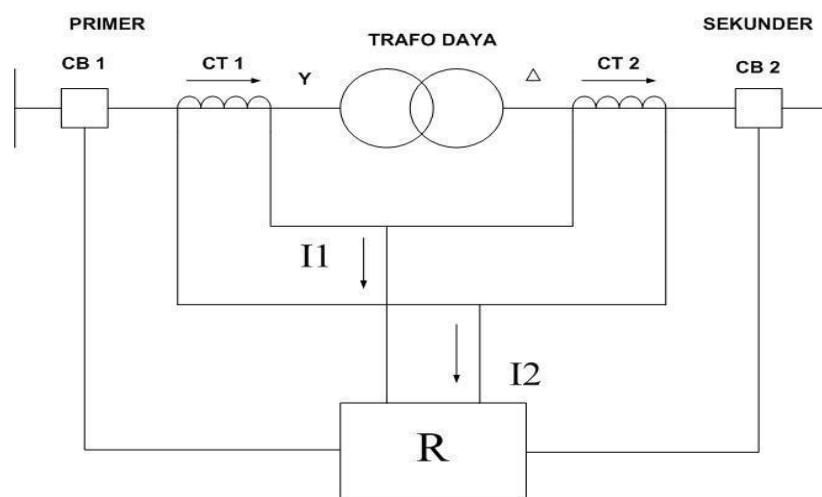




### 1. *Relay Differensial* pada keadaan normal

Dalam keadaan normal (tidak ada gangguan), arus yang mengalir ke relay pengaman yaitu  $I_1$  dan  $I_2$  sama dengan nol, arus hanya bersikulasi dalam sirkit sekunder kedua trafo arus (CT).

Untuk daerah pengamanan dari relai diferensial dibatasi antara dua buah CT (lihat gambar 2.7)



**Gambar 2.7** *Relay Differensial* dalam keadaan normal

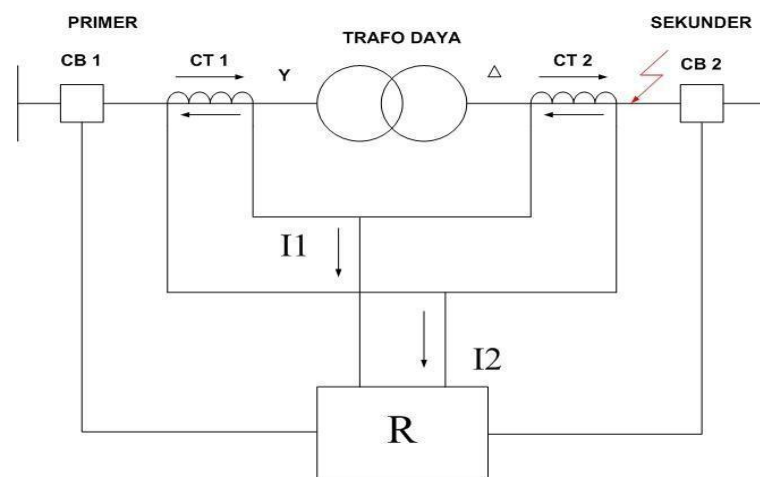
Dimana :

- CB 1 : circuit breaker pada sisi primer
- CT 1 : current transformator pada sisi primer
- Y : kumparan trafo hubungan Y (bintang)
- Δ : kumparan trafo hubungan (segitiga)
- CB 2 : circuit breaker pada sisi primer
- CT 2 : current transformator pada sisi primer
- $I_1$  : arus sisi primer
- $I_2$  : arus sisi sekunder
- R : *relay differensial*



## 2. *Relay Differensial* pada gangguan diluar daerah proteksi

Apabila terjadinya gangguan diluar daerah pengamanannya maka relay differensial tidak bekerja (lihat gambar 2.8). Pada saat sisi primer kedua CT dialiri arus  $I_1$  dan  $I_2$ , dengan adanya rasio CT 1 dan CT 2 yang sedemikian, maka besar arus yang mengalir pada sekunder CT 1 dan CT 2 yang menuju relay besarnya sama ( $I_1 = I_2$ ) atau dengan kata lain tidak ada selisih arus yang mengalir pada relay sehingga relay tidak bekerja, karena sirkulasi arus gangguan diluar daerah pengamanan kerja relay differensial tidak mempengaruhi arus yang mengalir pada kedua CT yang terpasang pada peralatan yang diproteksi, karena apabila pada arus primer CT 1 dan CT 2 mengalir, arus gangguan dengan adanya perbandingan rasio trafo arus pada sisi sekunder juga akan mengalir arus gangguan yang besarnya  $I_1 = I_2$  sehingga relay differensial tidak bekerja karena tidak ada perbandingan arus ( $\Delta I = 0$ ).



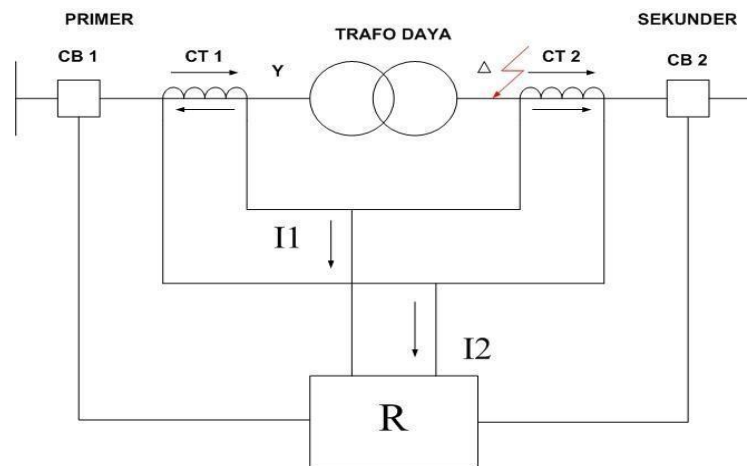
**Gambar 2.8** *Relay Differensial* pada gangguan diluar daerah proteksi

## 3. *Relay Differensial* pada gangguan di dalam daerah proteksi

Jika *relay differensial* dipasang sebagai proteksi suatu peralatan dan terjadi gangguan didaerah pengamanannya maka *relay differensial* harus bekerja, seperti terlihat pada gambar 2.7. Pada saat CT 1 mengalir arus  $I_1$  maka pada



CT 2 tidak ada arus yang mengalir ( $I_2 = 0$ ), disebabkan karena arus gangguan mengalir pada titik gangguan sehingga pada CT 2 tidak ada arus yang mengalir, maka disisi sekunder CT 2 tidak ada arus yang mengalir ( $I_2 = 0$ ) yang mengakibatkan  $I_1 \neq I_2$  ( $\Delta I \neq 0$ ) sehingga relay differensial bekerja .



**Gambar 2.9** Relay Differensial pada gangguan di dalam daerah proteksi

### 2.3.2 Fungsi Relay Differensial

Pengaman *relay differensial* merupakan alat pengaman utama untuk mengamankan transformator daya terhadap hubung singkat salah satunya yang terjadi didalam kumparan fasa. Terjadi gangguan hubung singkat biasanya disebabkan oleh adanya kerusakan isolasi kawat. Akibat kemungkinan terjadi adalah :

- Hubung singkat antara kumparan fasa satu dengan fasa yang lainnya.
- Hubung singkat antara masing-masing lilitan dalam satu kumparan .
- Hubung singkat antara satu fasa dengan tanah
- Hubung singkat antara kumparan sisi tegangan tinggi dengan kumparan sisi tegangan rendah.

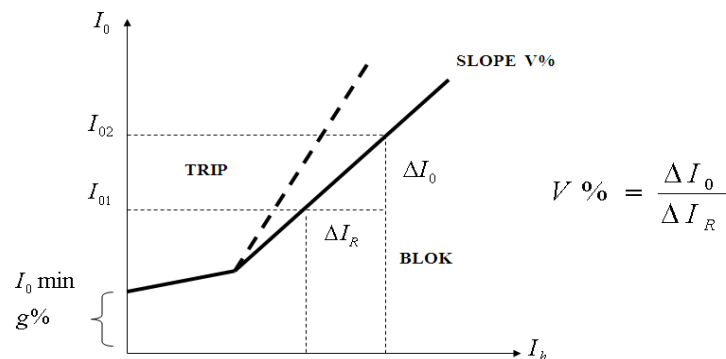
Dari masing-masing jenis hubung singkat tersebut diatas relay pengaman, *relay differensial* mempunyai system rangkaian sendiri-sendiri. Diantaranya adalah pengaman *relay differensial longitudinal* yang digunakan untuk



mengamankan transformator daya terhadap hubung singkat antara kumparan yang satu dengan kumparan lainnya, pengaman *relay differensial* untuk masing-masing lilitan membujur (*longitudinal*) merupakan system yang paling banyak dijumpai pemakaiannya dilapangan. karena sulitnya pengaman *relay differensial* ini hanya dipasang pada transformator daya berkapasitas besar saja.

### 2.3.3 Karakteristik Relay Differensial

*Relay Differensial* merupakan suatu relay yang karakteristik kerjanya berdasarkan keseimbangan (*balance*), yang membandingkan arus-arus sekunder transformator arus (*CT*) terpasang pada terminal-terminal peralatan atau instalasi listrik yang diamankan.<sup>8</sup>



Gambar 2.10 Karakteristik Relay Differensial

### 2.3.4 Pemasangan Relay Differensial

Di dalam pemasangan *relay differensial* pada transformator daya, sering mengalami kesulitan ketepatan kerja relay, sehingga pada akhirnya relay akan mengalami salah kerja. Salah kerja pada *relay differensial* disebabkan oleh hubungan transformator daya disisi tegangan tinggi dan sisi tegangan rendah sering berbeda, sehingga terjadi ketidak seimbangan arus pada transformator.

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

- a. besar arus-arus yang masuk ke relay harus sama.
- b. fasa-fasa tersebut harus berlawanan.

<sup>8</sup> Penggunaan rele differensial, Hal. 7



### 2.3.5 Arus Nominal Primer dan Sekunder

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

- Arus nominal pada sisi primer

$$I_{N1} = \frac{S}{V_p \cdot \sqrt{3}} \dots\dots\dots (2.6)^9$$

- Arus nominal pada sisi sekunder

$$I_{N2} = \frac{S}{V_s \cdot \sqrt{3}} \dots\dots\dots (2.7)^{10}$$

Dimana :

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

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

$S$  : Daya pada transformator daya

$V_p$  : Tegangan pada sisi primer

$V_s$  : Tegangan pada sisi sekunder

### 2.3.6 Setting Kerja Relay Differensial

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

$$I_{SA} = \frac{I_{N1}}{K_{CT1}} \dots\dots\dots (2.8)^{11}$$

$$I_{SB} = \frac{I_{N2}}{K_{CT2}} \dots\dots\dots (2.9)^{12}$$

Dimana :

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

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

$I_{SA}$  = arus primer trafo arus  $CT_1$  dari sisi primer transformator daya

$I_{SB}$  = arus sekunder trafo arus  $CT_2$  dari sisi sekunder transformator daya

$K_{CT1}$  = rasio transformator arus  $CT_1$  dari sisi primer transformator daya

<sup>9</sup> Wijaya Mochtar, Dasar-dasar Mesin Listrik, Djambatan:Jakarta, 2001, Hal. 61

<sup>10</sup> Ibid, Hal 61

<sup>11</sup> Wijaya Mochtar, *Dasar-dasar Mesin Listrik*, Djambatan:Jakarta, 2001, Hal. 14

<sup>12</sup> Ibid, Hal 14



$K_{CT2}$  = rasio transformator arus  $CT_2$  dari sisi sekunder transformator daya

Untuk menentukan besarnya nilai arus differensial, arus restrain (penahan), arus setting, arus penyetelan dan slope pada *relay differensial* menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$I_D = I_{SB} - I_{SA} \dots\dots\dots (2.10)^{13}$$

$$I_r = (I_{SB} + I_{SA}) / 2 \dots\dots\dots (2.11)^{14}$$

$$I_{setting} = Slope \times I_r \dots\dots\dots (2.12)^{15}$$

$$I_{penyetelan} = \frac{I_{setting}}{I_n} \dots\dots\dots (2.13)^{16}$$

$$Slope = \frac{I_d}{I_{SA}} \times 100\% \dots\dots\dots (2.14)^{17}$$

Dimana :

$I_d$  = Arus Differensial

$I_r$  = Arus Restrain (penahan)

$I_{setting}$  = Arus setting pada *relay differensial*

$I_{penyetelan}$  = Arus penyetelan sebenarnya pada *relay differensial*

$I_n$  = Arus nominal pada *relay differensial*

Slope = Batas ambang kemampuan kumparan penahan

### 2.3.7 Menentukan Persentase Relay

Untuk menghitung persentase *relay differensial* yaitu dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$\Delta = \frac{I_d}{I_{SA}} \times 100\% \dots\dots\dots (2.15)^{18}$$

<sup>13</sup> Wijaya Mochtar, Dasar-dasar Mesin Listrik, Djambatan:Jakarta, 2001, Hal. 17

<sup>14</sup> *Ibid*, Hal 17

<sup>15</sup> Liem EK Bien dan Dita Helna, *Studi Penyetelan Rele Differensial Pada Transformator*, 2007

<sup>16</sup> *Ibid*

<sup>17</sup> *Ibid*

<sup>18</sup> Wijaya Mochtar, Dasar-dasar Mesin Listrik, Djambatan:Jakarta, 2001, Hal. 20



## 2.4 Pemutus Tenaga

Pemutus tenaga / PMT (circuit breaker/CB) merupakan suatu saklar yang berfungsi untuk memutuskan atau menghubungkan rangkaian sistem tenaga listrik sesuai dengan kapasitas pemutusannya (*breaking capacity*).

Operasi pensaklaran pada pemutus tenaga dapat dilakukan secara manual dan otomatis. Secara manual pemutus tenaga dapat dilakukan secara manual dan otomatis. Secara manual pemutus tenaga dapat menghubungkan dan memutuskan rangkaian sistem tenaga listrik dengan menggunakan tombol tekan/tuas (*handle*), sedangkan secara otomatis hanya dapat memutuskan rangkaian sistem tenaga listrik sesuai syarat (sinyal) yang diberikan oleh relay. Pemutus Tenaga (PMT) atau Circuit Breaker adalah suatu peralatan pemutus rangkaian listrik pada suatu sistem tenaga listrik, yang mampu untuk membuka dan menutup rangkaian listrik pada semua kondisi, termasuk arus hubung singkat, sesuai dengan ratingnya. Juga pada kondisi tegangan yang normal ataupun tidak normal.

Pemutus Tenaga (PMT) atau Circuit Breaker adalah suatu peralatan pemutus rangkaian listrik pada suatu sistem tenaga listrik, yang mampu untuk membuka dan menutup rangkaian listrik pada semua kondisi, termasuk arus hubung singkat, sesuai dengan ratingnya. Juga pada kondisi tegangan yang normal ataupun tidak normal. Pemutus Tenaga (PMT) merupakan suatu alat listrik yang berfungsi untuk melindungi sistem tenaga listrik apabila terjadi kesalahan atau gangguan pada sistem tersebut, terjadinya kesalahan pada sistem akan menimbulkan berbagai efek seperti efek termis, efek magnetis dan dinamis *stability*. Fungsi utamanya adalah sebagai alat pembuka atau penutup suatu rangkaian listrik dalam kondisi berbeban, serta mampu membuka atau menutup saat terjadi arus gangguan hubung singkat pada jaringan atau peralatan lain. Syarat-syarat yang harus dipenuhi oleh suatu Pemutus Tenaga dalam system tenaga listrik adalah sebagai berikut: Mampu menyalurkan arus maksimum sistem secara terus menerus. Mampu memutuskan dan menutup jaringan dalam keadaan berbeban maupun terhubung singkat tanpa menimbulkan kerusakan pada pemutus tenaga itu sendiri. 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.

## **2.5 Pengertian Gangguan**

Gangguan adalah setiap ketidak normalan pada suatu sistem tenaga listrik yang berakhir dengan pembukuan PMT. Dikecualikan pembukuan PMT oleh operator atau kesalahan manusia. Gangguan pada sistem tenaga listrik dapat terjadi di pembangkit, jaringan transmisi, atau jaringan distribusi. Dimanapun gangguan itu terjadi sistem proteksi yang baik harus dapat mengidentifikasi dan memisahkan bagian yang terganggu secepat mungkin dari bagian lainnya serta dapat menghindarkan kerusakan yang dapat menimbulkan kerugian yang lebih besar.

Dalam sistem tenaga listrik sistem pengamanan dibagi dalam bagian-bagian yang dibatasi oleh pemutus tenaga (PMT). Setiap bagian diamankan oleh rele pengaman dan setiap rele pengaman mempunyai daerah pengaman (*zone protection*) masing-masing yaitu daerah dimana bila terjadigangguan di dalamnya rele ini dapat merasakan dan rele ini dengan bantuan sistem yang lainnya. Daerah pengaman (*zone protection*) mempunyai daerah yang saling tumpang tindih (*overlapping*) antara daerah pengaman yang satu dengan sebelahnyanya, sebab kalau tidak akan terjadi daerah kosong (*gap*), yaitu daerah dimana tidak ada rele bekerja jika terjadi gangguan atau biasa disebut zona mati (*dead zone*). Gangguan di daerah *overlapping* akan dirasakan oleh relay bersamaan sehingga koordinasi waktu kerja antara keduanya sangat penting untuk diperhatikan.

### **2.5.1 Gangguan Hubung Singkat**

Gangguan hubung singkat yang mungkin terjadi pada setiap titik didalam sistem diketahui terutama adalah besarnya arus gangguan hubung singkat pada setiap cabang (bisa di transmisi, distribusi, trafo maupun sumber pembangkit) disamping perlu diketahuinya pula besar tegangan pada setiap Node. Besar arus dan atau tegangan hasil analisa inilah yang diperlukan oleh *engineer* proteksi untuk penyetulan proteksi, sehingga bila gangguan hubung singkat itu benar-benar terjadi





didalam sistem, peralatan proteksi dapat bekerja mengamankan bagian sistem yang terganggu sesuai yang diharapkan. Karena setiap gangguan menyebabkan mengalirnya arus yang tidak seimbang dalam sistem komponen.

Hubung singkat adalah terjadinya hubungan penghantar bertegangan atau penghantar tidak bertegangan secara langsung tidak melalui resistor/beban yang semestinya sehingga terjadi aliran arus yang tidak normal (sangat besar). Hubung singkat merupakan jenis gangguan yang sering terjadi pada sistem tenaga listrik, terutama pada saluran udara 3 fasa. Semua komponen peralatan listrik selalu diisolasi dengan isolasi padat, cair (minyak), udara gas, dan sebagainya. Namun karena usia pemakaian, tekanan mekanis, dan sebab lainnya, maka kekuatan isolasi pada peralatan listrik bisa berkurang atau bahkan hilang sama sekali. Hal ini akan mudah menimbulkan hubung singkat. Pada bahan isolasi padat atau cair, gangguan hubung singkat biasanya mengakibatkan busur api sehingga menimbulkan kerusakan yang tetap dan gangguan ini disebut gangguan permanen. Pada isolasi udara yang biasanya terjadi pada saluran udara tegangan menengah atau tinggi, jika terjadi busur api dan setelah padam tidak menimbulkan kerusakan, maka gangguan ini disebut gangguan temporer. Arus hubung singkat yang begitu besar sangat membahayakan peralatan sistim tenaga listrik.

Gangguan hubung singkat yang mungkin terjadi di dalam jaringan (sistem kelistrikan) ada 3, yaitu :

- a. Gangguan hubung singkat 3 fasa
- b. Gangguan hubung singkat 2 fasa, dan
- c. Gangguan hubung singkat 1 fasa ke tanah.

Dari ketiga macam gangguan hubung singkat di atas, arus gangguannya dihitung dengan menggunakan rumus umum (hukum ohm) yaitu :

$$I = \frac{V}{Z} \dots\dots\dots (2.16)^{19}$$

<sup>19</sup> Wahyudi Sarimun, Proteksi Sistem Distribusi Tenaga Listrik, Garamond, 2012, Hal 90



Dimana :

$I$  = Arus yang mengalir pada impedansi

$V$  = Tegangan sumber (V)

$Z$  = Impedansi

Dengan mengetahui besarnya tegangan sumber dan besarnya nilai impedansi tiap komponen jaringan serta bentuk konfigurasi jaringan di dalam sistem, maka besarnya arus gangguan hubung singkat dapat dihitung dengan rumus di atas. Yang membedakan antara gangguan hubung singkat 3 fasa, 2 fasa dan 1 fasa ke tanah adalah impedansi yang terbentuk sesuai dengan macam gangguan itu sendiri dan tegangan yang memasok arus ke titik gangguan, impedansi yang terbentuk dapat ditunjukkan seperti berikut :

Z untuk gangguan 3 fasa  $Z = Z_1$

Z untuk gangguan 2 fasa  $Z = Z_1 + Z_2$

Z untuk gangguan 1 fasa ke tanah  $Z = Z_1 + Z_2 + Z_0$

Dimana,

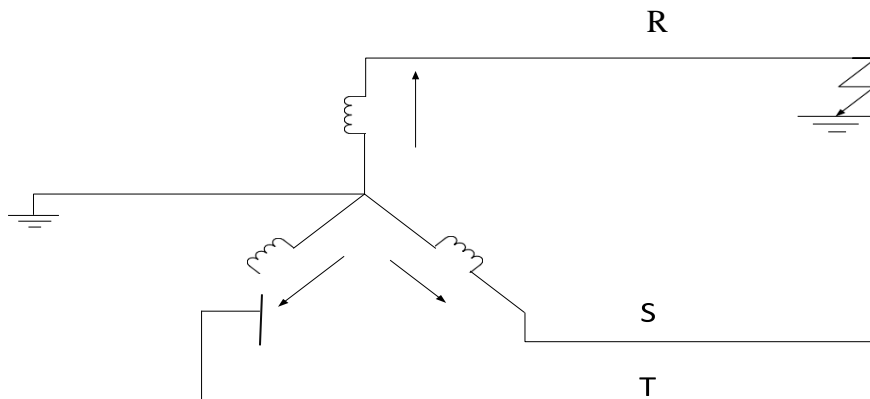
$Z_1$  = Impedansi urutan positif

$Z_2$  = Impedansi urutan negative

$Z_0$  = Impedansi urutan nol

a. Gangguan Hubung Singkat Satu Fasa Ke Tanah

Kemungkinan terjadinya gangguan satu fasa ke tanah adalah *back flashover* antara tiang ke salah satu kawat transmisi dan distribusi. Sesaat setelah tiang tersambar petir yang besar walaupun tahanan kaki tiangnya cukup rendah namun bisa juga gangguan fasa ke tanah ini terjadi sewaktu salah satu kawat fasa transmisi / distribusi tersentuh pohon yang cukup tinggi dan lain-lain.



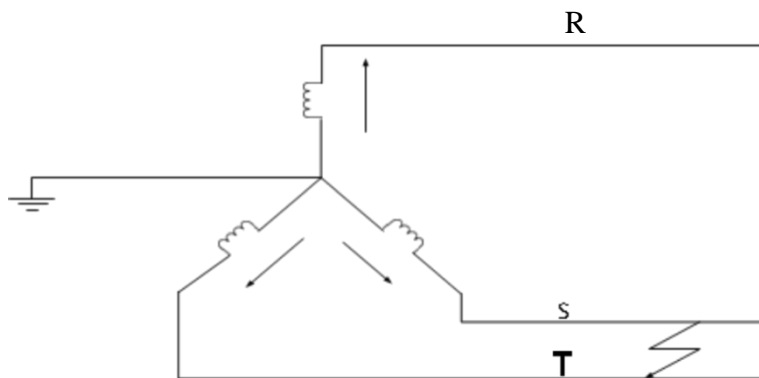
**Gambar 2.11** Gangguan Hubung Singkat Satu Fasa Ke Tanah

Besar gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah :

$$I_{hs1} \Phi = \frac{V}{Z_1 + Z_2 + Z_3} \dots\dots\dots (2.17)^{20}$$

b. Gangguan Hubung Singkat Dua Fasa

Kemungkinan terjadinya gangguan 2 fasa disebabkan oleh putusnya kawat fasa tengah pada transmisi atau distribusi. Kemungkinan lainnya adalah dari rusaknya isolator di transmisi atau distribusi sekaligus 2 fasa. Gangguan seperti ini biasanya mengakibatkan 2 fasa ke tanah.



**Gambar 2.12** Gangguan Hubung Singkat Dua Fasa

Besarnya gangguan hubung singkat dua fasa :

$$I_{hs2} \Phi = \frac{V}{Z_1 + Z_2} \dots\dots\dots (2.18)^{21}$$

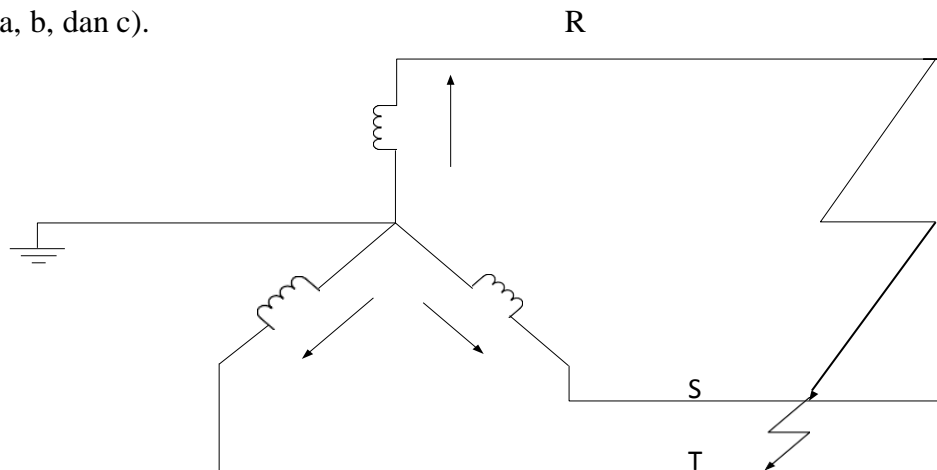
<sup>20</sup> A.Arismunandar dan S.Kuwahara, Teknik Tenaga Listrik Jilid 2 , 1997, Hal 73

<sup>21</sup> A.Arismunandar dan S.Kuwahara, Teknik Tenaga Listrik Jilid 3,1997, Hal 73



c. Gangguan Hubung Singkat Tiga Fasa

Gangguan Tiga Fasa adalah gangguan dalam sistem tenaga listrik yang jarang terjadi, tetapi dalam analisisnya harus tetap diperhitungkan. Diagram rangkaian untuk suatu gangguan tiga fasa dengan asumsi gangguan terjadi pada semua fasa (a, b, dan c).



**Gambar 2.13** Gangguan 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 :

$$V_{(PU)} = \frac{KV \text{ sebenarnya}}{KV \text{ dasar}} \dots\dots\dots (2.19)^{22}$$

Dimana :

$V_{(PU)}$  = 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

Untuk menghitung arus hubung singkat tiga fasa, satuan tegangan diubah dalam satuan per unit (pu). Definisi satuan per unit (pu) untuk suatu kuantitas tersebut dengan nilai dasarnya yang dinyatakan dalam decimal.

<sup>22</sup> *Ibid*, Hal. 73



Perbandingan (ratio) dalam persentase adalah 100 kali nilai dalam per unit (pu). Gangguan hubung singkat tiga fasa tersebut dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

- Arus hubung singkat dalam satuan per unit (pu) yaitu :

$$I_{hs3\phi} (pu) = \frac{V (pu)}{Z (pu)} \dots\dots\dots (2.20)^{23}$$

- Arus hubung singkat tiga fasa sebenarnya yaitu :

$$I_{hs3\phi} = I_{hs3\phi (pu)} \times I_N \dots\dots\dots (2.21)^{24}$$

- Arus yang dirasakan *relay differensial* saat terjadi gangguan hubung singkat 3 fasa pada sisi primer transformator yaitu :

$$I_F = \frac{I_{hs3\phi}}{K_{CT1}} \dots\dots\dots (2.22)^{25}$$

- Arus yang dirasakan *relay differensial* saat terjadi gangguan hubung singkat 3 fasa pada sisi sekunder transformator yaitu :

$$I_F = \frac{I_{hs3\phi}}{K_{CT2}} \dots\dots\dots (2.23)^{26}$$

Dimana :

$V_{(pu)}$	= Tegangan dalam satuan per unit (pu)
$Z_{(pu)}$	= Impedansi Transformator (pu)
$I_{hs3\phi (pu)}$	= Arus hubung singkat dalam satuan per unit (pu)
$I_{hs3\phi}$	= Arus hubung singkat tiga fasa (A)
$I_N$	= Arus normal pada sisi primer dan sisi sekunder
$I_F$	= Arus gangguan yang dirasakan <i>relay differensial</i>

Gangguan ini dapat dideteksi karena akan timbul arus maupun tegangan yang tidak normal atau tidak seimbang. Dalam gangguan hubung singkat, banyak ditujukan pada gangguan tiga fasa dan satu fasa ke tanah. Hal ini dilakukan karena hubung singkat tiga fasa menghasilkan arus gangguan yang besar, sedangkan

<sup>23</sup> William Stevenson, Analisa system tenaga listrik, 1983, Hal. 29

<sup>24</sup> *Ibid*, Hal. 29

<sup>25</sup> *Ibid*, Hal. 29

<sup>26</sup> *Ibid*, Hal. 29



hubung singkat satu fasa ke tanah merupakan gangguan yang sering terjadi.

Gangguan hubung singkat tiga fasa dan gangguan dua fasa digunakan untuk menentukan setting relay-relay proteksi gangguan fasa sedangkan gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah digunakan untuk setting relay-relay proteksi gangguan hubung tanah.

### **2.5.2 Beban lebih (*OverLoad*)**

Beban lebih merupakan gangguan yang terjadi akibat konsumsi energi listrik melebihi energi listrik yang dihasilkan pada pembangkit. Gangguan beban lebih sering terjadi terutama pada generator dan transformator daya. Arus lebih ini dapat menimbulkan pemanasan yang berlebihan sehingga bisa menimbulkan kerusakan pada isolasi. Tegangan Lebih (*Over Voltage*) merupakan suatu gangguan akibat tegangan pada sistem tenaga listrik lebih besar dari yang seharusnya. Gangguan tegangan lebih dapat terjadi karena kondisi eksternal dan internal. Kondisi Internal: Hal ini terutama karena osilasi akibat perubahan yang mendadak dari kondisi rangkaian atau karena resonansi. Misalnya operasi hubung pada saluran tanpa beban, perubahan yang mendadak, operasi pelepasan pemutus tenaga yang mendadak akibat hubung singkat pada jaringan, kegagalan isolasi, dan sebagainya. Kondisi Eksternal: Kondisi eksternal terutama akibat adanya sambaran petir, pohon tumbang, banjir.