



## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Transformator

Transformator adalah suatu peralatan listrik elektromagnetik statis yang berfungsi untuk memindahkan dan mengubah daya listrik dari suatu rangkaian listrik ke rangkaian listrik lainnya, dengan frekuensi yang sama dan perbandingan transformasi tertentu melalui suatu gandengan magnet dan bekerja berdasarkan prinsip induksi elektromagnetis, 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, yang terpisah secara elektris namun berhubungan 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 (*core*) yang dilaminasi, karena kumparan tersebut membentuk jaringan tertutup, maka mengalirlah arus primer. Akibat adanya fluks di kumparan primer, maka di kumparan primer terjadi induksi (*self induction*) dan terjadi pula induksi di kumparan sekunder karena pengaruh induksi dari kumparan primer (*mutual induction*) yang menyebabkan timbulnya fluks magnet di kumparan sekunder, serta arus sekunder jika rangkaian sekunder dibebani, sehingga energi listrik dapat ditransfer keseluruhan (secara magnetis).

Perlu diingat hanya 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



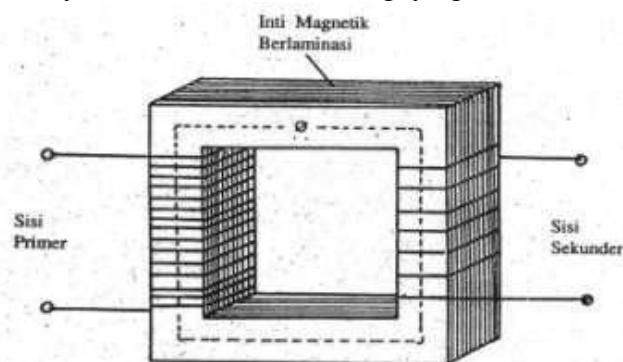
rangkaian. Tujuan utama menggunakan inti (*core*) pada transformator adalah untuk mengurangi reluktansi (tahanan magnetis) dari rangkaian magnetis. Keadaan prinsipnya yang sederhana namun mempunyai arti penting sebagai dasar pembahasan mesin listrik, pembahasan transformator patut didahulukan.<sup>1</sup>

### 2.1.1 Transformator Daya

Transformator ini merupakan suatu alat listrik statis, yang dipergunakan untuk memindahkan daya dari satu rangkaian ke rangkaian 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 (timbal 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, Hal 43



Transformator dibuat dengan sebuah kumparan primer kumparan primer dan satu atau lebih kumparan sekunder. Kumparan sekunder yang kedua dapat dinamakan lilitan tertier (berarti"ketiga"), dan sekunder ketiga dapat dinamakan lilitan kuartener ( berarti"keempat") . Tetapi lebih biasa menamakan lilitan tersebut sesuai fungsi atau tegangannya jadi, sebuah transformator dapat dikatakan mempunyai sebuah primer, sebuah sekunder tegangan tinggi.

Untuk menghasilkan sebuah Transformator yang mempunyai efisiensi tinggi dan jumlah lilitan minimum, maka kumparan primer dan sekundernya di lilitkan pada suatu inti besi atau bahan lainnya yang mempunyai permeabilitas yang tinggi. Hasilnya, jika transformator bekerja, maka pada inti besi tersebut akan dihasilkan medan magnetic yang bergerak secara rapat

### **2.1.2 Pengaturan Tegangan**

Pengaturan tegangan suatu transformator adalah perubahan tegangan sekunder pada transformator antara beban nol dan beban penuh (akibat jatuh tegangan pada tahanan dalam dan reaktansi bocornya) pada suatu factor daya tertentu, dengan tegangan primer tetap.

## **2.2 Sistem Proteksi**

Sistem proteksi adalah susunan peralatan yang direncanakan untuk dapat mendeteksi adanya kondisi abnormal pada peralatan atau bagian sistem tenaga listrik dan segera secara otomatis membuka pemutus tenaga ( PMT ), untuk memisahkan peralatan atau bagian dari sistem tenaga listrik yang terganggu dan memberi isyarat berupa lampu dan alarm.

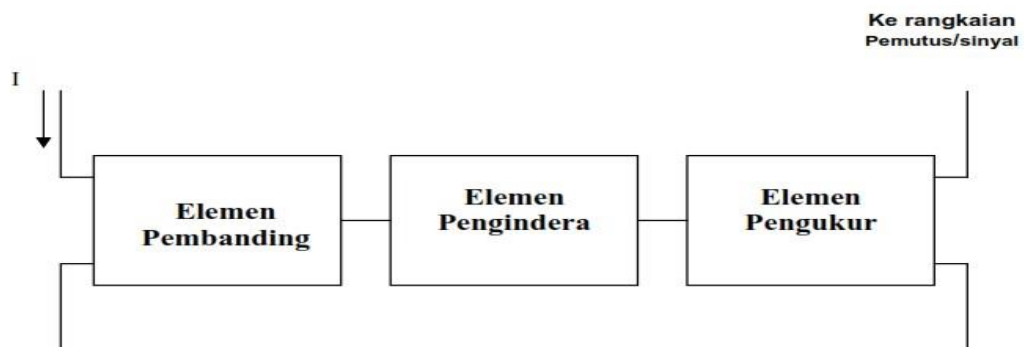
Proteksi terdiri dari seperangkat peralatan yang merupakan sistem yang terdiri dari komponen-komponen berikut :

- a. Relay, sebagai alat perasa untuk mendeteksi adanya gangguan yang selanjutnya member perintah trip kepada Pemutus Tenaga (PMT).
- b. Trafo arus dan/atau trafo tegangan 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.

Secara garis besar bagian dari Relay proteksi terdiri dari tiga bagian utama, seperti pada gambar blok diagram dibawah ini :



**Gambar 2.2** Blok Diagram Relay proteksi

Masing-masing elemen/bagian mempunyai fungsi sebagai berikut :

- **Elemen pengindera.** Elemen ini berfungsi untuk merasakan besaran-besaran listrik, seperti arus, tegangan, frekuensi, dan sebagainya tergantung relay yang dipergunakan. Pada bagian ini besaran yang masuk akan dirasakan keadaannya, apakah keadaan yang diproteksi itu mendapatkan gangguan atau dalam keadaan normal, untuk selanjutnya besaran tersebut dikirimkan ke elemen perbandingan.
- **Elemen perbandingan.** Elemen ini berfungsi menerima besaran setelah terlebih dahulu besaran itu diterima oleh elemen pengindera untuk membandingkan besaran listrik pada saat keadaan normal dengan besaran arus kerja relay.
- **Elemen pengukur/penentu.** Elemen ini berfungsi untuk mengadakan perubahan secara cepat pada besaran ukurnya dan akan segera memberikan isyarat untuk membuka PMT atau memberikan sinyal.



### 2.2.1 Syarat Relay Pengaman

Relay pengaman harus memenuhi persyaratan sebagai berikut :

a. Selektivitas dan Diskriminasi

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

b. Stabilitas

Mempunyai sifat yang tidak berubah apabila gangguan terjadi pada luar zona yang dilindungi (gangguan luar).

c. Kecepatan Operasi

Sifat ini lebih jelas, semakin lama arus gangguan terus mengalir, semakin besar kemungkinan kerusakan pada peralatan. Hal yang paling penting adalah perlu membuka bagian- bagian yang terganggu sebelum generator- generator yang dihubungkan sinkron kehilangan sinkronisasi dengan sistem selebihnya. Waktu pembebasan gangguan yang tipikal dalam sistem-sistem tegangan tinggi adalah 140 ms. Dimana mendatang waktu ini hendak dipersingkat menjadi 80 ms sehingga memerlukan relay dengan kecepatan yang sangat tinggi (*very high speed relaying*).

d. Sensitifitas (Kepekaan)

Yaitu secepatnya respon dari proteksi dalam membaca besarnya arus gangguan agar alat bekerja.

e. Pertimbangan Ekonomis

Pertimbangan ekonomi dapat mengatasi aspek teknis, oleh karena jumlah feeder, trafo dan sebagainya yang begitu banyak , asal saja persyaratan keamanan yang pokok dipenuhi. Dalam suatu sistem transmisi justru aspek teknis yang penting. Proteksi relative mahal, namun demikian pula system atau peralatan yang dilindungi dan jaminan terhadap kelangsungan peralatan system adalah vital. Biasanya digunakan dua system proteksi yang terpisah, yaitu proteksi primer dan produksi pendukung (*back up*).

f. Reabilitas ( Keandalan )

Sifat ini jelas. Penyebab utama dari "Outage" rangkaian adalah tidak bekerjanya proteksi sebagaimana mestinya (mal-operation).



#### g. Proteksi pendukung

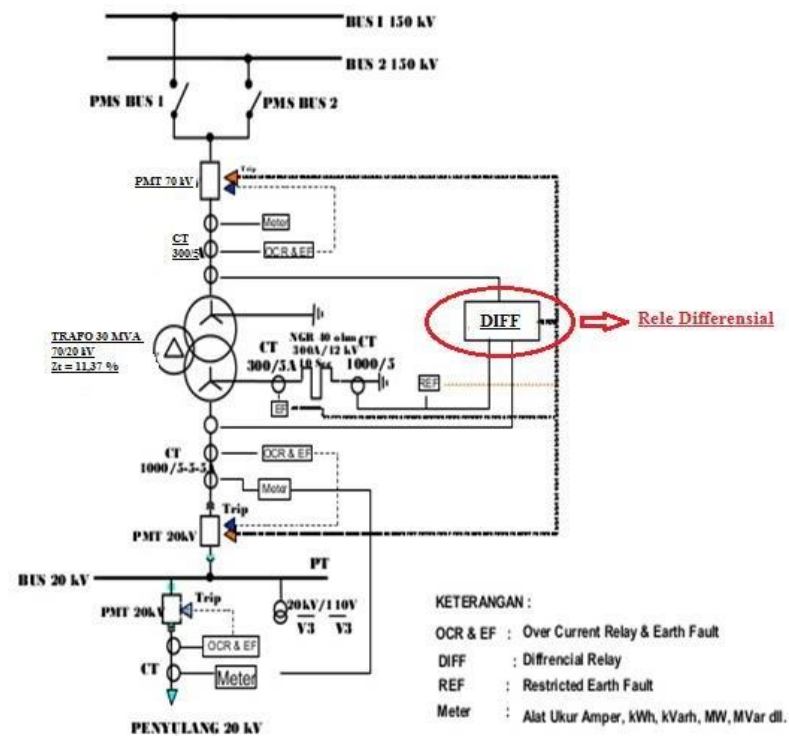
Proteksi pendukung adalah proteksi yang bekerja jika bagian proteksi utama tidak bekerja. Proteksi pendukung merupakan susunan terpisah dan bekerja dalam mengeluarkan bagian terganggu yang bersifat sebagai back-up. Sistem pendukung ini diusahakan untuk independen sebagaimana pada proteksi utama, memilik relay dan trafo sendiri. Sering kali hanya tripping CB dan trafo- trafo tegangan yang dimiliki bersama oleh keduanya. Pada tiap sistem proteksi utama memungkinkan melakukan perlindungan area sistem daya tertentu. Kemungkinan dari suatu daerah dengan lingkup kecil diantara zona yang berdekatan contohnya antara trafo arus dan circuit breaker yang tidak terlindungi. Dengan hal seperti ini, sistem cadangan atau remote back- up memberikan suatu perlindungan berlapis pada zona utama.

#### **2.2.2 Proteksi Transformator**

Proteksi transformator umumnya menggunakan *Relay Diferensial* 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 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>3</sup>



**Gambar 2.3** Bagan Satu Garis Proteksi Transformator

### 2.3 Relay differensial

*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.

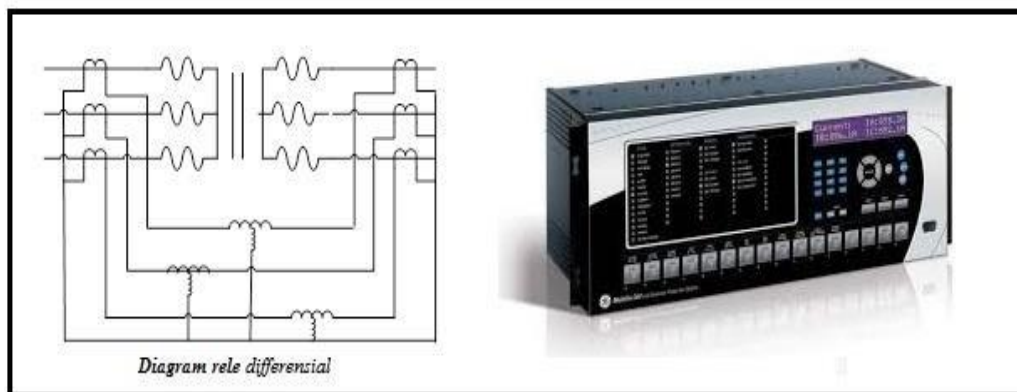
*Relay differensial* mempunyai bentuk yang bermacam-macam, tergantung dari peralatan yang diamankan. sistem proteksi *relay differensial* secara universal dipergunakan untuk proteksi pada generator, transformator daya, busbar dan

<sup>3</sup> PT. PLN (Persero), *Buku Petunjuk Proteksi dan Kontrol Transformator*, Hal 1



saluran transmisi ke semua 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.

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>4</sup>



**Gambar 2.4** *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 pengamananya dibatasi oleh sepasang trafo arus dimana *relay differensial* dipasang.

b. Persyaratan pada pengaman *relay differensial*

<sup>4</sup> Djiteng Marsudi, *Pembangkitan Energi Listrik*, 2011, Hal .40





- CT1 dan CT2 harus mempunyai perbandingan transformasi yang sama, atau mempunyai perbandingan transformasi sedemikian, sehingga arus sekundernya sama.
- Karakteristik CT1 dan CT2 sama.
- Rangkaian CT ke relay harus benar.

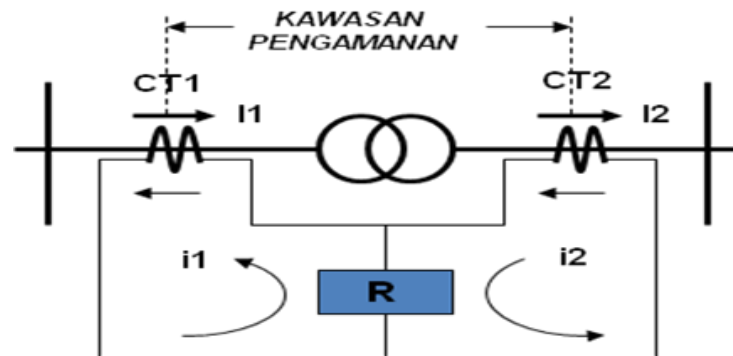
### 2.3.1 Prinsip kerja *relay differensial*

Menurut mason *relay differensial* itu merupakan suatu relay yang bekerja bila ada perbedaan vector dari dua besaran listrik atau lebih, yang melebihi besaran yang ditentukan.

Prinsip kerja *relay differensial* adalah membandingkan vector arus  $I_1$  (arus sisi primer) dan  $I_2$  (arus sisi sekunder). Pada waktu tidak terjadi gangguan/keadaan normal atau gangguan berada diluar daerah pengaman  $I_1$  dan  $I_2$  sama atau mempunyai perbandingan sera sudut fasa tertentu, dalam hal ini relay tidak bekerja. Pada waktu terjadi gangguan di daerah pengaman  $I_1$  dan  $I_2$  tidak sama perbandingan serta sudut fasanya berubah dari keadaan normal disisi relay akan bekerja. *Relay differensial* ini bekerja berdasarkan hukum arus kirchoff 1 (*kirchodd current low 1*) yang berbunyi “arus yang masuk pada suatu titik sama dengan arus yang keluar pada titik tersebut”.

Sifat dari *relay differensial* adalah sangat selektif dan cepat, tidak perlu di koordinasi dengan relay lain sebagai pengaman perlatan (*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>5</sup>

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

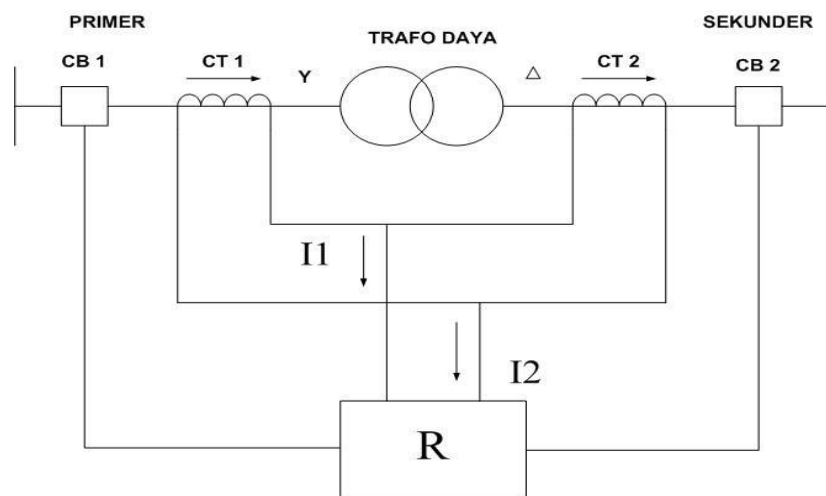


**Gambar 2.5** Prinsip Kerja *Relay differensial* pada Transformator Daya

*Relay differensial* mempunyai bentuk yang bermacam-macam, tergantung dari peralatan yang diamankan. Pengertian dari *relay differensial* itu sendiri mengandung unsur membedakan satu dengan lainnya, semua besaran yang masuk ke relay. Adapun prinsip kerja *relay differensial* ini terjadi dalam tiga keadaan yaitu:

a. Pada keadaan normal

Dalam keadaan normal, arus mengalir melalui peralatan/instalasi listrik yang diproteksi yaitu transformator daya dan arus-arus transformator arus, yaitu  $I_1$  dan  $I_2$  bersirkulasi, jika *relay differensial* di pasang antara terminal 1 dan terminal Maka dalam kondisi normal tidak akan ada arus yang mengalir melaluinya.



**Gambar 2.6** Prinsip Kerja *Relay differensial* pada Keadaan Normal

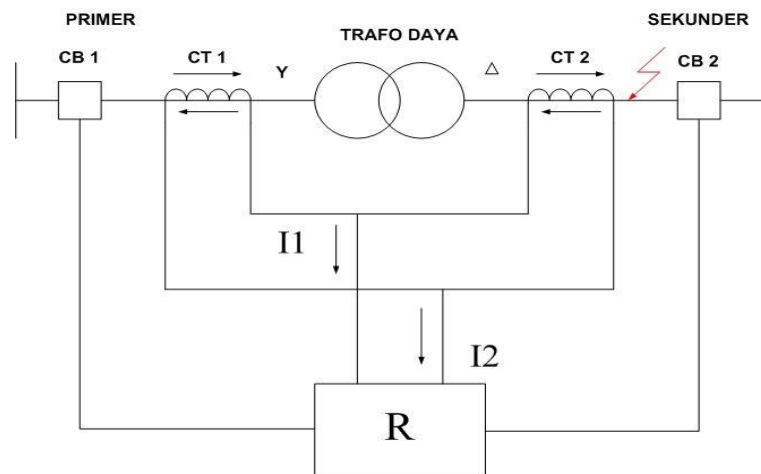


Dimana :

- CB1 : circuit breaker pada sisi primer
- CT1 : current transformator pada sisi primer
- Y : kumparan trafo hubungan Y (bintang)
- Δ : kumparan trafo hubungan (segitiga)
- CB2 : circuit breaker pada sisi primer
- CT2 : current transformator pada sisi primer
- I1 : arus sisi primer
- I2 : arus sisi sekunder
- R : *relay differensial*

b. Pada gangguan diluar daerah proteksi

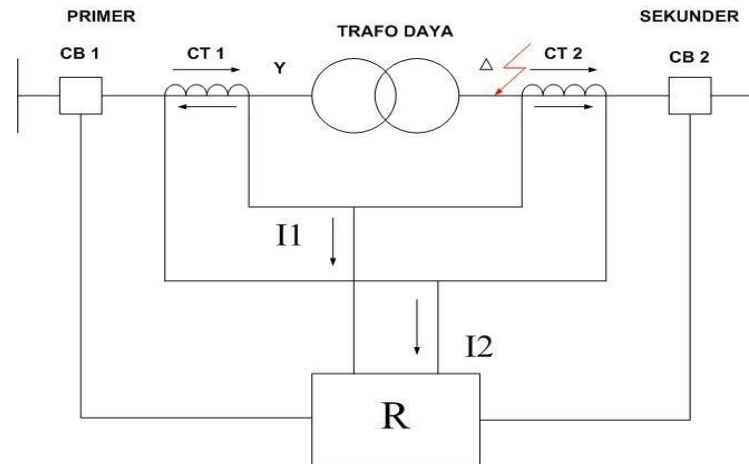
Bila dalam keadaan gangguan diluar dari transformator daya yang di proteksi (*external fault*), maka arus yang mengalir akan bertambah besar, akan tetapi sirkulasi tetap sama dengan pada kondisi normal dengan demikian *relay differensial* tidak akan bekerja.



**Gambar 2.7** Gangguan Diluar Daerah Proteksi



c. Pada gangguan di dalam daerah proteksi



**Gambar 2.8** Pada Gangguan Didalam Daerah Proteksi

Jika gangguan terjadi didalam daerah proteksinya pada transformator daya yang di proteksinya *internal fault* maka arah sirkulasi arus di salah satu sisi akan terbalik, menyebabkan keseimbangan pada kondisi normal terganggu, akibatnya arus  $I_D$  akan mengalir melalui *relay differensial* dari terminal 1 menuju ke terminal 2 maka terjadi selisih arus didalam relay, selanjutnya relay tersebut akan mengoperasikan CB untuk memutus.

Selama arus-arus sekunder transformator arus sama besar, maka tidak akan ada arus yang mengalir melalui *operating coil relay differensial*, tetapi setiap gangguan yang mengakibatkan arus yang mengalir melalui *operating coil relay differensial*, maka *relay differensial* akan bekerja dan memberikan komando *trapping* kepada circuit breaker sehingga transformator daya yang terganggu dapat diisolir dari sistem tenaga listrik.

### 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



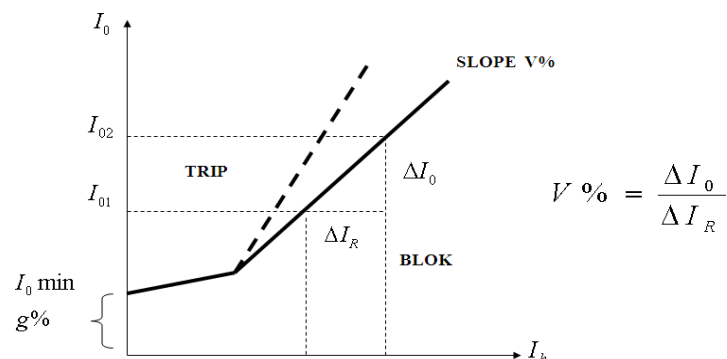
disebabkan oleh adanya kerusakan isolasi kawat. Akibat kemungkinan terjadi adalah :

- 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>6</sup>



**Gambar 2.9** Karakteristik *Relay Differensial*

<sup>6</sup> Penggunaan rele differensial, Hal. 7



### 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.

#### 2.3.4.1 Arus nominal primer dan sekunder

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

- Arus nominal pada sisi primer

$$I_{N1} = \frac{S}{V_p \cdot \sqrt{3}} \dots\dots\dots (2.1)^7$$

- Arus nominal pada sisi sekunder

$$I_{N2} = \frac{S}{V_s \cdot \sqrt{3}} \dots\dots\dots (2.2)^8$$

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

<sup>7</sup> Wiajaya Mochtar, *Dasar-dasar Mesin Listrik*, Djambatan:Jakarta, 2001, Hal. 61

<sup>8</sup> *Ibid*, Hal 61



### 2.3.5 Setting kerja *relay differensial*

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

$$I_{SA} = \frac{IN1}{KCT1} \dots\dots\dots(2.3)^9$$

$$I_{SB} = \frac{IN2}{KCT2} \dots\dots\dots(2.4)^{10}$$

$I_{N1}$  = 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

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

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

$$I_d = I_{SB} - I_{SA} \dots\dots\dots(2.5)^{11}$$

$$I_r = (I_{SB} + I_{SA}) / 2 \dots\dots\dots(2.6)^{12}$$

$$I_{setting} = Slope \times I_r \dots\dots\dots (2.7)^{13}$$

$$I_{penyetelan} = \frac{I_{setting}}{I_n} \dots\dots\dots (2.8)^{14}$$

$$Slope = \frac{I_d}{I_r} \times 100\% \dots\dots\dots(2.9)^{15}$$

<sup>9</sup> Wijaya Mochtar, *Dasar-dasar Mesin Listrik*, Djambatan:Jakarta, 2001, Hal. 14

<sup>10</sup> *Ibid*, Hal 14

<sup>11</sup> Wijaya Mochtar, *Dasar-dasar Mesin Listrik*, Djambatan:Jakarta, 2001, Hal. 17

<sup>12</sup> *Ibid*, Hal 17

<sup>13</sup> Liem EK Bien dan Dita Helna, *Studi Penyetelan Rele Differensial Pada Trasnformator*, 2007

<sup>14</sup> *Ibid*

<sup>15</sup> *Ibid*



Dimana :

$I_d$	= arus differensial
$I_r$	= arus Restrain (penahan)
$I_{setting}$	= arus setting pada <i>relay differensial</i>
$I_{penyetelan}$	= arus penyetelan sebenarnya pada <i>relay differensial</i>
$I_n$	= arus nominal pada <i>relay differensial</i>
Slope	= Batas ambang kemampuan kumparan penahan

### 2.3.6 Menentukan persentase relay

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

$$\Delta = \frac{I_d}{I_{SA}} \times 100\% \dots \dots \dots (2.10)^{16}$$

### 2.4 Transformator Arus (CT)

Trafo arus (CT) adalah peralatan pada sistem tenaga listrik yang berupa trafo yang digunakan untuk pengukuran arus yang besarnya mencapai ratusan ampere dan arus yang mengalir pada jaringan tegangan tinggi.

Di samping untuk pengukuran arus, trafo arus juga digunakan untuk pengukuran daya dan energi. Dibutuhkan juga untuk keperluan telemeter dan relay proteksi. Kumparan primer trafo arus dihubungkan seri dengan jaringan atau peralatan yang akan diukur arusnya, sedangkan kumparan sekunder dihubungkan dengan meter atau relay proteksi. Pada umumnya peralatan ukur dan relay membutuhkan arus 1 atau 5A<sup>17</sup>. 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.

<sup>16</sup> Wijaya Mochtar, *Dasar-dasar Mesin Listrik*, Djambatan:Jakarta, 2001, Hal. 20

<sup>17</sup> Bonggas L. Tobing, *Peralatan Tegangan Tinggi*, 2012, Hal 117



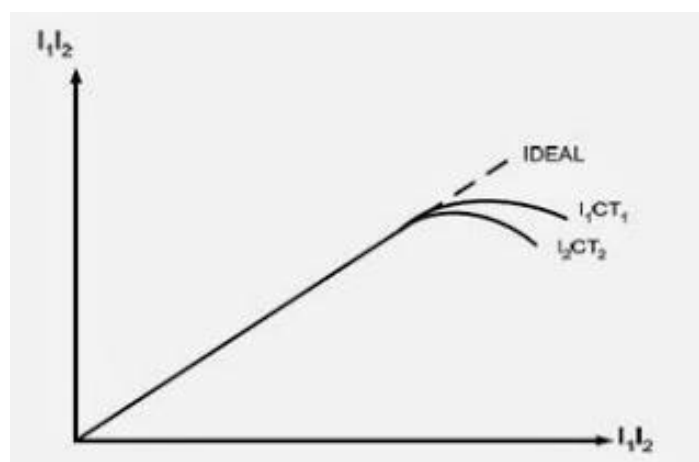


Sisi primer trafo arus hanya terdiri dari beberapa lilitan dan dihubungkan secara seri dengan system tenaga listrik, transformasi arus didapatkan dengan memberikan lilitan yang lebih banyak pada sisi sekunder. Pada trafo arus ideal besar arus sekunder yang mengalir merupakan transformasi langsung dari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

#### 2.4.1 Karakteristik trafo arus (CT)

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



**Gambar 2.10** Karakteristik Trafo 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 ketidakseimbangan. Bila suatu arus yang besar mengalir melalui suatu trafo arus, maka arus pada terminal sekunder tidak lagi linear terhadap arus primer.

#### 2.4.2 Rasio trafo arus

Trafo 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 trafo 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 trafo arus yang sesuai untuk mendapatkan  $I_1 = I_2$ , tetapi kadang-kadang hal ini tidak selalu dapat dilakukan hanya dengan trafo 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 11 dan 12 tidak jauh berbeda jika terlalu besar maka diperlukan trafo arus bantu untuk menyamakan selisih ini.

Untuk menentukan rasio trafo arus dapat ditentukan besar rasio transformasinya :

$$KCT_1 = \frac{Ip_1}{Ip_2} \dots\dots\dots(2.11)^{18}$$

$$KCT_2 = \frac{Is_1}{Is_2} \dots\dots\dots(2.12)^{19}$$

Dimana :

$KCT_1$  = Rasio transformator  $CT_1$  dari sisi primer transformator daya

$KCT_2$  = Rasio transformator  $CT_2$  dari sisi sekunder transformator daya

$Ip_1$  = Trafo arus  $CT_1$  primer pada sisi masukan (arus yang masuk)

$Ip_2$  = Trafo arus  $CT_1$  sekunder pada sisi keluaran (arus yang keluar)

$Is_1$  = Trafo arus  $CT_2$  primer pada sisi masukan (arus yang masuk)

$Is_2$  = Trafo arus  $CT_2$  sekunder pada sisi keluaran (arus yang keluar)

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

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

<sup>19</sup> *Ibid*, Hal. 18



## **2.5 Pemutus Tenaga (PMT)**

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.

### **2.5.1 Gangguan hubung singkat**

Gangguan hubung singkat (yang mungkin terjadi pada setiap titik didalam sistem) yang 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 penyetelan 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 metode komponen-komponen berguna sekali dalam suatu analisis untuk menentukan arusa dan tegangan di semua bagian setelah terjadinya gangguan.

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 :

$$I = \frac{V}{Z} \dots\dots\dots(2.13)^{20}$$

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 fassa 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

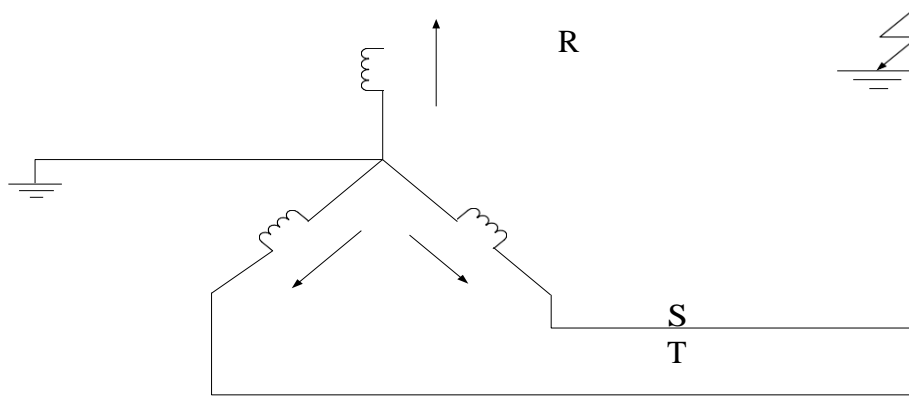
a. Gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah

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 kakiw tiangnya cukup rendah namun bias juga gangguan fasa ke tanah ini terjadi sewaktu salah satu kawat fasa

<sup>20</sup> Wahyudi Sarimun, *Proteksi Sistem Distribusi Tenaga Listrik*, Garamond, 2012, Hal 90



transmisi / distribusi tersentuh pohon yang cukup tinggi dll.

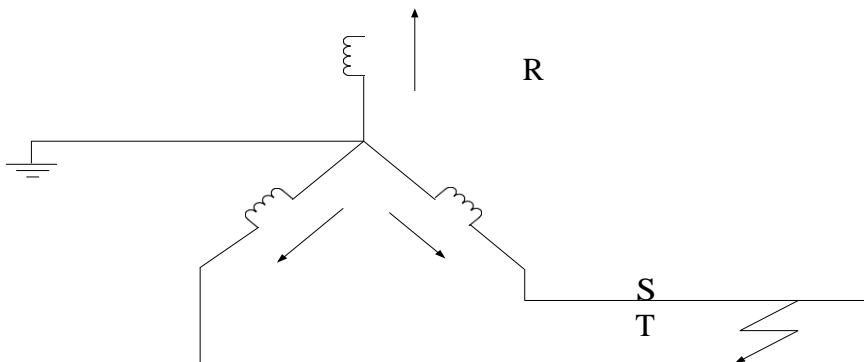


**Gambar 2.11** Gangguan Hubung Singkat Satu Fasa

$$I_{hs1} \phi = \frac{V}{Z1+Z2+Z0} \dots\dots\dots(2.14)^{21}$$

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

<sup>21</sup> A.Arismunandar dan S.Kuwahara, *Teknik Tenaga Listrik Jilid 2* , 1997, Hal 73



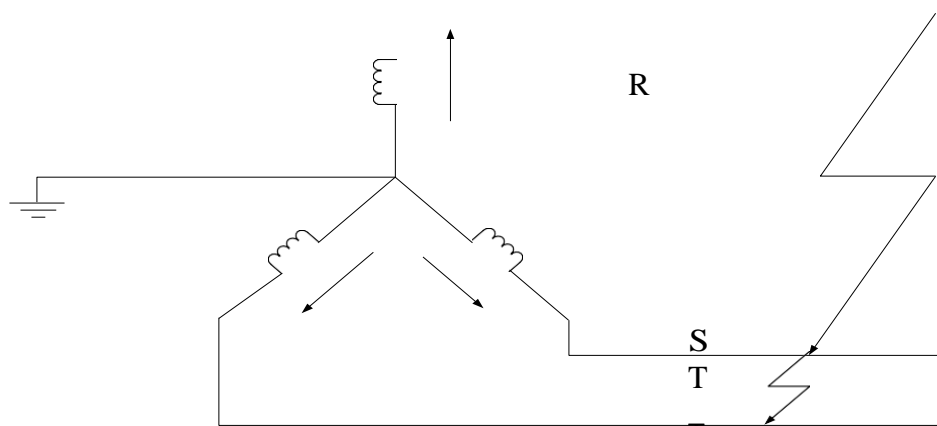
Besarnya gangguan hubung singkat dua fasa :

$$I_{hs2} \phi = \frac{V}{Z_1 + Z_2} \dots \dots \dots (2.15)^{22}$$

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 :

$$V_{(PU)} = \frac{KV \text{ sebenarnya}}{KV \text{ dasar}} \dots \dots \dots (2.16)^{23}$$

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

<sup>22</sup> A.Arismunandar dan S.Kuwahara, *Teknik Tenaga Listrik Jilid 3*,1997, Hal 73

<sup>23</sup> *Ibid*, Hal. 73



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.

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 :

$$I_{hs3\phi} \text{ (pu)} = \frac{V \text{ (PU)}}{Z \text{ (PU)}} \dots\dots\dots(2.17)^{24}$$

- Arus hubung singkat tiga fasa sebenarnya yaitu :

$$I_{hs3\phi} = I_{hs3\phi} \text{ (pu)} \times I_N \dots\dots\dots(2.18)^{25}$$

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

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 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.

<sup>24</sup> Wiliam Stevenson, *Analisa system tenaga listrik*, 1983, Hal. 29

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