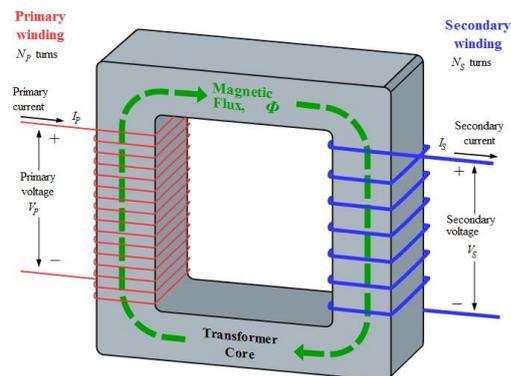


## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Transformator Daya<sup>1</sup>

Trafo merupakan peralatan statis dimana rangkaian magnetik dan belitan yang terdiri dari 2 atau lebih belitan, secara induksi elektromagnetik, mentransformasikan daya (arus dan tegangan) sistem AC ke sistem arus dan tegangan lain pada frekuensi yang sama (IEC 60076 -1 tahun 2011). Trafo menggunakan prinsip elektromagnetik yaitu hukum ampere dan induksi faraday, dimana perubahan arus atau medan listrik dapat membangkitkan medan magnet dan perubahan medan magnet / fluks medan magnet dapat membangkitkan tegangan induksi.



Gambar 2.1 Elektromagnetik pada trafo

Dalam bentuknya yang paling sederhana, transformator terdiri atas dua kumparan dan satu induktansi mutual. Dua kumparan tersebut terdiri dari kumparan primer dan kumparan sekunder. 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.

<sup>1</sup> Tim Review KEPDIR.2014. Buku Pedoman Pemeliharaan Transformator Tenaga. Hal. 1

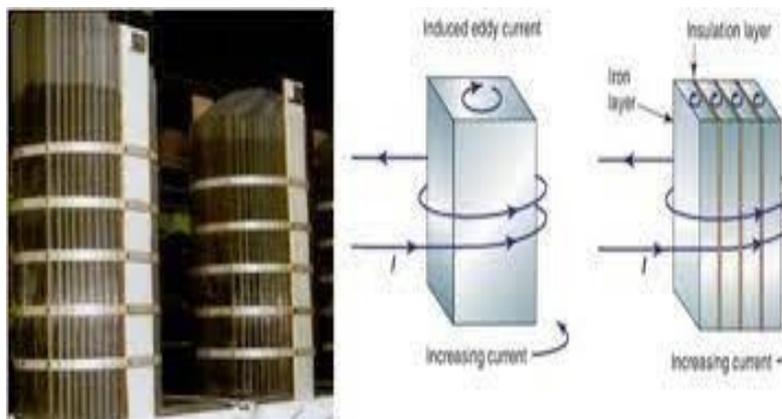


Lilitan primer merupakan bagian transformator yang terhubung dengan sumber energi (catu daya). Lilitan sekunder merupakan bagian transformator yang terhubung dengan rangkaian beban. Sedangkan inti besi merupakan bagian transformator yang bertujuan untuk mengarahkan keseluruhan fluks magnet yang dihasilkan oleh lilitan primer.<sup>2</sup>

## 2.2 Bagian – Bagian Transformator<sup>3</sup>

### 2.2.1 Inti Besi

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



Gambar 2.2 Inti Besi Transformator

### 2.2.2 Kumparan Transformator

Kumparan transformator adalah beberapa lilitan kawat berisolasi yang membentuk suatu kumparan atau gulungan. Kawat email yang berisolasi terbentuk kumparan dan terisolasi baik antar kumparan maupun antara kumparan dan inti besi. Terdapat dua kumparan pada inti besi, yaitu kumparan primer dan

<sup>2</sup> Panjaitan, S. I., Mujahidin, M., & Pramana, R. (2013). *Studi Pengaruh Beban Lebih terhadap Kinerja Relai Arus Lebih pada Transformator Daya*. Jurnal tugas Akhir. Universitas Maritim Raja Ali Haji

<sup>3</sup> Tim Review KEPDIR.2014. *Buku Pedoman Pemeliharaan Transformator Tenaga*. Hal. 2



kumparan sekunder. Bila salah satu di antara keduanya diberi suatu tegangan maka pada kumparan akan menghasilkan fluks pada inti serta menginduksi kumparan lainnya sehingga pada sisi kumparan yang lain akan timbul tegangan. Jadi kumparan berfungsi sebagai alat transformasi tegangan dan arus. Beberapa lilitan kawat berisolasi membentuk suatu kumparan, kumparan tersebut diisolasi baik terhadap inti besi ataupun terhadap kumparan yang lain.



Gambar 2.3 Kumparan Transformator

### 2.2.3 Minyak Transformator

Minyak Transformator adalah salah satu material isolasi cair yang digunakan untuk isolasi dan pendingin pada trafo. Umumnya, trafo tenaga bagian-bagian seperti kumparan-kumparan dan inti terendah dalam minyak, terutama trafo dengan kapasitas yang besar. Sebab minyak trafo memiliki sifat sebagai pemindah panas dan bersifat sebagai isolasi (daya tegangan tembus tinggi) sehingga memiliki fungsi sebagai pendingin dan isolasi.



Gambar 2.4 Minyak Transformator



#### 2.2.4 *Bushing* Transformator

*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 asesoris.



Gambar 2.5 *Bushing* Transformator

#### 2.2.5 Tangki Konservator

Pada umumnya bagian-bagian dari trafo yang terendam minyak trafo yang ditempatkan di dalam tangki baja. Tangki trafo-trafo distribusi umumnya dilengkapi dengan sirip-sirip pendingin (*cooling fin*) yang berfungsi memperluas permukaan dinding tangki, sehingga penyaluran panas minyak pada saat konveksi menjadi semakin baik dan efektif untuk menampung pemuaiannya minyak trafo, tangki dilengkapi dengan konservator (Aprianto, 2010). Tangki trafo terbuat dari suatu plat besi dan berbentuk persegi empat atau oval dan di desain untuk kedap air dan udara.



Gambar 2.6 Tangki Konservator

### 2.2.6 Pendingin

Suhu pada trafo yang sedang beroperasi akan dipengaruhi oleh kualitas tegangan jaringan, rugi-rugi pada trafo itu sendiri dan suhu lingkungan. Suhu operasi yang tinggi akan mengakibatkan rusaknya isolasi kertas pada trafo. Oleh karena itu pendinginan yang efektif sangat diperlukan.

Minyak isolasi trafo selain merupakan media isolasi juga berfungsi sebagai pendingin. Pada saat minyak bersirkulasi, panas yang berasal dari belitan akan dibawa oleh minyak sesuai jalur sirkulasinya dan akan didinginkan pada sirip – sirip radiator. Adapun proses pendinginan ini dapat dibantu oleh adanya kipas dan pompa sirkulasi guna meningkatkan efisiensi pendinginan.



Table 2.1 Macam-macam pendingin pada transformator

No	Macam Sistem Pendingin	Media			
		Dalam Trafo		Diluar Trafo	
		Sirkulasi Alamiah	Sirkulasi Paksa	Sirkulasi Alamiah	Sirkulasi Paksa
1	AN			Udara	
2	AF				Udara
3	ONAN	Minyak		Udara	
4	ONAF	Minyak			Udara
5	OFAN		Minyak	Udara	
6	OFAF		Minyak		Udara
7	OFWF		Minyak		Air
8	ONAN/ONAF	Kombinasi 3 dan 4			
9	ONAN/OFAN	Kombinasi 3 dan 5			
10	ONAN/OFAF	Kombinasi 3 dan 6			
11	ONAN/OFWF	Kombinasi 3 dan 7			

Keterangan :

A = *Air* ( udara )

N = *Natural* ( alamiah )

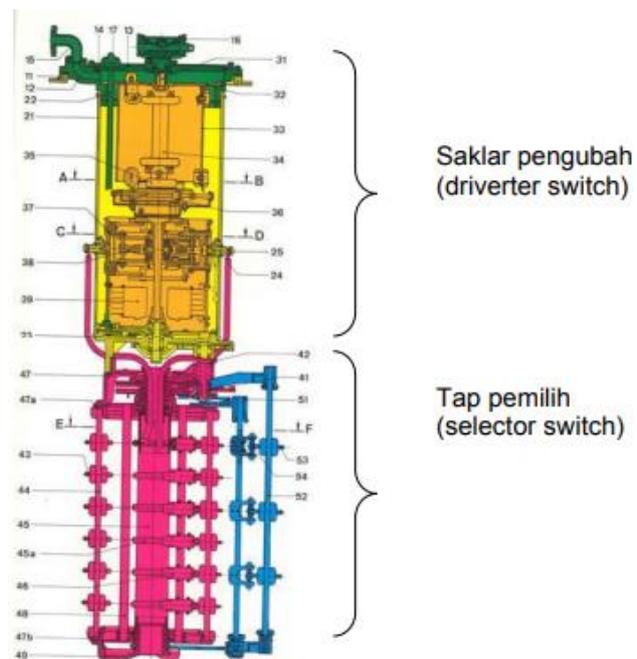
O = *Oil* ( minyak )

F = *Forced* ( paksa/tekanan)



### 2.2.7 Tap Changer (On Load Tap Changer)

Kualitas operasi tenaga listrik jika tegangannya nominal sesuai ketentuan, tapi pada saat operasi terjadi penurunan tegangan sehingga kualitasnya menurun untuk itu perlu alat pengatur tegangan agar tegangan selau pada kondisi terbaik, konstan dan kontinyu. Untuk itu trafo dirancang sedemikian rupa sehingga perubahan tegangan pada salah satu sisi input berubah tetapi sisi outputnya tetap. Alat ini disebut sebagai sadapan pengatur tegangan tanpa terjadi pemutusan beban maka disebut On Load Tap Changer (OLTC). Pada umumnya OLTC tersambung pada sisi primer dan jumlahnya tergantung pada perancang dan perubahan sistem tegangan pada jaringan.



Gambar 2.7 On Load Tap Changer (OLTC)

### 2.2.8 Alat Pernapasan (Dehydrating Breather)

Sebagai tempat penampungan pemuaihan minyak isolasi akibat panas yang timbul maka minyak ditampng pada tangki yang sering disebut sebagai konservator. Pada konservator ini permukaan minyak diusahakan tidak boleh bersinggungan dengan udara karena kelembaban udara yang mengandung uap air



akan mengkontaminasi minyak walaupun prosesnya berlangsung cukup lama. Untuk mengatasi hal tersebut udara yang masuk kedalam tangki konservator pada saat minyak menjadi dingin diperlukan suatu media penghisap kelembaban yang digunakan biasanya adalah silica gel. Kebalikan jika trafo panas maka pada saat menyusut maka akan menghisap udara dari luar masuk kedalam tangki dan untuk menghindari terkontaminasi oleh kelembaban udara maka diperlukan suatu media penghisap kelembaban yang digunakan biasanya adalah silicagel yang secara khusus direncang.<sup>4</sup>



Gambar 2.8 Kontruksi alat pernapasan transformator

### 2.3 Prinsip Kerja Transformator<sup>5</sup>

Apabila kumparan primer dihubungkan dengan tegangan (sumber), maka akan mengalir arus bolak-balik pada kumparan tersebut. Oleh karena kumparan mempunyai inti, arus menimbulkan fluks magnet yang juga berubah-ubah pada intinya. Akibat adanya fluks magnet yang berubah-ubah, pada kumparan primer akan timbul GGL induksi .

Besarnya GGL induksi pada kumparan primer adalah :

$$E_p = -N_p \frac{d\phi}{dt} \dots\dots\dots (2.1)$$

<sup>4</sup> Aslimeri, dkk. 2008. Teknik Transmisi Tenaga Listrik Jilid 1, Jakarta: Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan (Hal 132-136)

<sup>5</sup> Tim Review KEPDIR.2014. Buku Pedoman Trafo Tenaga Final. Hal. 2



Dimana :     E       = gaya gerak listrik (volt)  
               N<sub>p</sub>     = jumlah lilitan primer  
               dt       = perubahan waktu dalam satuan detik  
               d∅      = perubahan garis-garis gaya magnet dalam satuan weber

Fluks magnet yang menginduksikan GGL induksi juga alami oleh kumparan sekunder karena merupakan fluks bersama (mutual fluks). Dengan demikian fluks tersebut menginduksikan GGL induksi pada kumparan sekunder.

Besarnya GGL induksi pada kumparan sekunder adalah :

$$E_s = -N_s \frac{d\phi}{dt} \dots\dots\dots (2.2)$$

Dimana :     N<sub>s</sub>       = jumlah lilitan sekunder

Dari persamaan (1) dan (2) didapatkan perbandingan lilitan berdasarkan perbandingan GGL induksi yaitu :

$$a = \frac{e_p}{e_s} = \frac{N_p}{N_s} \dots\dots\dots (2.3)$$

Dimana :     a = Nilai perbandingan lilitan transformator

Apabila,  $a > 1$ , maka transformator berfungsi untuk menaikkan tegangan (step up transformer)

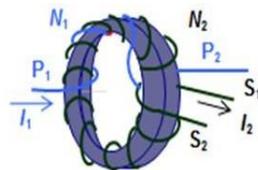
$a < 1$ , maka transformator berfungsi untuk menurunkan tegangan (step down transformer).



## 2.4 Transformator Arus<sup>6</sup>

Transformator Arus (Current Transformator - CT) yaitu peralatan yang digunakan untuk melakukan pengukuran besaran arus pada instalasi tenaga listrik disisi primer (TET, TT dan TM) yang berskala besar dengan melakukan transformasi dari besaran arus yang besar menjadi besaran arus yang kecil secara akurat dan teliti untuk keperluan pengukuran dan proteksi.

Prinsip kerja trafo arus adalah sebagai berikut:



Gambar 2.9 Rangkaian pada CT

Untuk trafo yang dihubung singkat :  $I_1 \cdot N_1 = I_2 \cdot N_2$  ..... (2.4)

Untuk trafo pada kondisi tidak berbeban:

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{N_1}{N_2} \text{ ..... (2.5)}$$

Dimana :

$$a = \frac{N_1}{N_2} \text{ ..... (2.6)}$$

$I_1 > I_2$  sehingga  $N_1 < N_2$

$N_1$  = jumlah lilitan primer

$N_2$  = jumlah lilitan sekunder

### 2.4.1 Fungsi Transformator Arus

Fungsi dari trafo arus adalah:

- Mengkonversi besaran arus pada sistem tenaga listrik dari besaran primer menjadi besaran sekunder untuk keperluan pengukuran sistem metering dan proteksi
- Mengisolasi rangkaian sekunder terhadap rangkaian primer, sebagai pengamanan terhadap manusia atau operator yang melakukan pengukuran.

<sup>6</sup> Tim Review KEPDIR.2014. Buku Pedoman Pemeliharaan Trafo Arus (CT). Hal. 1-3



- c. Standarisasi besaran sekunder, untuk arus nominal 1Amp dan 5 Amp

Secara fungsi trafo arus dibedakan menjadi dua yaitu:

1. Trafo arus pengukuran
  - Trafo arus pengukuran untuk metering memiliki ketelitian tinggi pada daerah kerja (daerah pengenalnya) 5% - 120% arus nominalnya tergantung dari kelasnya dan tingkat kejenuhan yang relatif rendah dibandingkan trafo arus untuk proteksi.
  - Penggunaan trafo arus pengukuran untuk Amperemeter, Watt-meter, VARh-meter, dan  $\cos\phi$  meter.
2. Trafo arus proteksi
  - Trafo arus untuk proteksi, memiliki ketelitian tinggi pada saat terjadi gangguan dimana arus yang mengalir beberapa kali dari arus pengenalnya dan tingkat kejenuhan cukup tinggi.
  - Penggunaan trafo arus proteksi untuk relai arus lebih (OCR dan GFR), relai beban lebih, relai diferensial, relai daya dan relai jarak.

## 2.5 Pemutus Tenaga (PMT)<sup>7</sup>

Berdasarkan IEV (International Electrotechnical Vocabulary) 441-14-20 disebutkan bahwa Circuit Breaker (CB) atau Pemutus Tenaga (PMT) merupakan peralatan saklar/switching mekanis, yang mampu menutup, mengalirkan dan memutus arus beban dalam kondisi normal serta mampu menutup, mengalirkan (dalam periode waktu tertentu) dan memutus arus beban dalam kondisi abnormal/gangguan seperti kondisi hubung singkat (short circuit).

Sedangkan definisi PMT berdasarkan IEEE C37.100:1992 (Standard definitions for power switchgear) adalah merupakan peralatan saklar/ switching mekanis, yang mampu menutup, mengalirkan dan memutus arus beban dalam kondisi normal sesuai dengan ratingnya serta mampu menutup, mengalirkan (dalam periode waktu tertentu) dan memutus arus beban dalam spesifik kondisi abnormal/gangguan sesuai dengan ratingnya.

<sup>7</sup> Tim Review KEPDIR.2014. Buku Pedoman Pemeliharaan Pemutus Tenaga (PMT). Hal. 1



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 peralatann lain.

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

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

### **2.5.1 Fungsi Bagian Utama Pemutus Tenaga (PMT)**

Ruangan pemutus tenaga ini berfungsi sebagai ruangan pemadam busur api, yang terdiri dari :

- a. Unit pemutus utama yang berfungsi sebagai pemutus utama  
Unit pemutus utama ini berupa ruangan yang diselubungi bagian luar oleh isolator dari porselen dan disebelah dalamnya terdapat ruangan udara, kontak- kontak bergerak yang dilengkapi oleh pegas penekan dan kontak tetap sebagai penghubung yang terletak melekat pada isolator porselen.
- b. Unit pemutus pembantu yang berfungsi sebagai pemutus arus yang melalui tahanan.  
Unit pemutus pembantu ini berupa ruangan yang diselubungi bagian luar oleh isolator dari porselen dan disebelah dalamnya terdapat ruangan udara, kontak-kontak bergerak yang dilengkapi oleh pegas penekan dan kontak tetap sebagai penghubung yang terletak melekat pada porselen.



c. Katup kelambatan

Berfungsi sebagai pengatur udara bertekanan dari pemutus utama ke unit pemutus pembantu, sehingga kontak pada unit pemutus pembantu akan terbuka kurang dari 25 ms (micro detik) setelah kontak-kontak pada pemutus utama terbuka. Katup kelambatan ini berupa bejana berbentuk silinder yang berongga sebagai ruang udara dan juga terdapat ruang pengatur, katup penahan, katup pengatur, rumah perapat, dan tempat katup.

d. Tahanan.

Tahanan ini dipasang paralel dengan unit pemutus utama, yang berfungsi untuk :

- a. mengurangi kenaikan harga dari tegangan pukul
- b. mengurangi arus pukulan pada waktu pemutusan

e. Kapasitor

Kapasitor ini dipasang paralel dengan tahanan, unit pemutus utama dan unit pemutus pembantu, yang berfungsi untuk mendapatkan pembagian tegangan yang sama pada setiap celah kontak, sehingga kapasitas pemutusan pada setiap celah sama besarnya.

f. Kontak-kontak

1. Unit pemutus utama Kontak bergerak dilapisi dengan perak terdiri dari:

- a. Kepala kontak bergerak
- b. Silinder kontak
- c. Jari-jari kontak
- d. Batang kontak
- e. Pegangan kontak Kontak tetap, terdiri dari :
  1. Kepala kontak
  2. Pegangan kontak



- 
2. Unit pemutus pembantu
    - a. Kontak bergerak
    - b. Kontak tetap, yang terdiri dari:
      1. Jari-jari kontak
      2. Pegangan kontak

## 2.6 Dasar - Dasar Sistem Proteksi<sup>8</sup>

Secara umum rele proteksi harus bekerja sesuai dengan yang diharapkan dengan waktu yang cepat sehingga tidak akan mengakibatkan kerusakan, ataupun kalau suatu peralatan terjadi kerusakan secara dini telah diketahui, atau walaupun terjadi gangguan tidak menimbulkan pemadaman bagi konsumen.

Rele proteksi adalah susunan peralatan yang direncanakan untuk dapat merasakan atau mengukur adanya gangguan atau mulai merasakan adanya ketidaknormalan pada peralatan atau bagian sistem tenaga listrik dan secara otomatis memberi perintah untuk membuka pemutus tenaga untuk memisahkan peralatan atau bagian dari sistem yang terganggu dan memberi isyarat berupa lampu atau bel. Rele proteksi dapat merasakan atau melihat adanya gangguan pada peralatan yang diamankan dengan mengukur atau membandingkan besaran-besaran yang diterimanya, misalnya arus, tegangan, daya, sudut fase, frekuensi, impedansi dan sebagainya, dengan besaran yang telah ditentukan, kemudian mengambil keputusan untuk seketika ataupun dengan perlambatan waktu membuka pemutus tenaga. Pemutus tenaga umumnya dipasang pada generator, transformator daya, saluran transmisi, saluran distribusi dan sebagainya supaya dapat dipisahkan sedemikian rupa sehingga sistem lainnya tetap dapat beroperasi secara normal.

Dari uraian di atas maka rele proteksi pada sistem tenaga listrik berfungsi untuk :

- a. Merasakan, mengukur dan menentukan bagian sistem yang terganggu serta memisahkan secepatnya sehingga sistem lain yang tidak terganggu dapat beroperasi secara normal.
- b. Mengurangi kerusakan yang lebih parah dari peralatan yang terganggu.

---

<sup>8</sup> Hazairin . 2004. *Dasar-dasar sistem proteksi tenaga listrik*. UNSRI. (Hal 2-5)



- c. Mengurangi pengaruh gangguan terhadap bagian sistem yang lain yang tidak terganggu di dalam sistem tersebut serta mencegah meluasnya gangguan.
- d. Memperkecil bahaya bagi manusia.

Hal yang menimbulkan kegagalan pengaman dapat dikelompokkan sebagai berikut :

- a) Kegagalan pada rele sendiri.
- b) Kegagalan suplai arus atau tegangan ke rele tegangannya rangkaian suplai ke rele dari trafo tersebut terbuka atau terhubung singkat.
- c) Kegagalan sistem suplai arus searah untuk tripping pemutus tenaga. Hal ini dapat disebabkan baterai lemah karena kurang perawatan, terbukanya atau terhubung singkat rangkaian arus searah.
- d) Kegagalan pada pemutus tenaga. Kegagalan ini dapat disebabkan karena kumparan trip tidak menerima suplai, kerusakan mekanis ataupun kegagalan pemutusan arus karena besarnya arus hubung singkat melampaui kemampuan dari pemutus tenaganya.

Karena adanya kemungkinan kegagalan pada sistem pengaman maka harus dapat diatasi yaitu dengan penggunaan pengaman cadangan (Back up Protection).

Dengan demikian pengamanan menurut fungsinya dapat dikelompokkan menjadi :

1. Pengaman utama yang pada umumnya selektif dan cepat, dan malah jenis tertentu mempunyai sifat selektif mutlak misalnya rele diferensial.
2. Pengaman cadangan, umumnya mempunyai perlambatan waktu hal ini untuk memberikan kesempatan kepada pengaman utama bekerja lebih dahulu, dan jika pengaman utama gagal, baru pengaman cadangan bekerja dan rele ini tidak seselektif pengaman utama



## 2.7 Persyaratan Sistem Proteksi<sup>9</sup>

Persyaratan sistem proteksi harus memenuhi persyaratan sebagai berikut :

### a. Sensitif

Sistem proteksi harus mampu mendeteksi sekecil apapun ketidaknormalan sistem dan beroperasi dibawah nilai minimum gangguan. Studi koordinasi sistem proteksi harus dilakukan untuk menentukan sensitivitas seting dan memastikan relai bekerja dengan benar.

### b. Selektif

Sistem proteksi harus mampu menentukan daerah kerjanya dan atau fasa yang terganggu secara tepat. Peralatan dan sistem proteksi hanya memisahkan bagian dari jaringan yang sedang terganggu. Zona proteksi harus tepat dan memadai untuk memastikan bahwa hanya bagian yang terganggu yang dipisahkan dari sistem pada saat terjadi gangguan atau kondisi abnormal.

### c. Andal

Kemungkinan suatu sistem proteksi dapat bekerja benar sesuai fungsi yang diinginkan dalam kondisi dan jangka waktu tertentu (IEV 448-12-05) Proteksi diharapkan bekerja pada saat kondisi yang diharapkan terpenuhi dan tidak boleh bekerja pada kondisi yang tidak diharapkan. (SPLN T5.002- 1: 2010)

### d. Cepat

Elemen sistem proteksi harus mampu memberikan respon sesuai dengan kebutuhan peralatan yang dilindungi untuk meminimalisasi terjadinya gangguan meluas, lama gangguan dan gangguan pada stabilitas sistem.

## 2.8 Poteksi Transformator<sup>10</sup>

Proteksi transformator umumnya menggunakan Rele Differensial dan Rele Restricted Earth Fault (REF) sebagai proteksi utama. Sedangkan proteksi cadangan menggunakan rele arus lebih (OCR) rele gangguan ke tanah Ground Fault Relay (GFR). Sedangkan Standby Earth Fault (SEF) umumnya hanya

<sup>9</sup> Karyono, Wirawan, dkk. 2013. Pedoman dan Petunjuk Sistem Proteksi Transmisi dan Gardu Induk Jawa Bali, Jakarta(Hal 8-10)

<sup>10</sup> Arfianda, Muammad. 2019. *Analisa Penggunaan Rele Differensial Sebagai Proteksi Pada Transformator Daya Gardu Induk Paya Pasir*, Jurnal Mahasiswa UMSU. (Hal 31-33)



dipergunakan pada transformator dengan belitan Y yang ditanahkan dengan resistor, dan fungsinya lebih mengamankan NGR. Umumnya skema proteksi disesuaikan dengan kebutuhan.

Rele pengaman transformator daya harus dapat mendeteksi adanya sumber gangguan yang berada di dalam maupun di luar transformator yang berada di daerah pengamannya. Di samping itu adanya gangguan di luar daerah pengamannya bila rele yang terkait tidak bekerja salah satu rele pada transformator harus bekerja.

## **2.9 Gangguan Pada Transformator Daya**

Gangguan yang berpengaruh terhadap kerusakan transformator tidak hanya karena adanya gangguan di dalam transformator atau di dalam daerah pengamanan transformator tetapi juga adanya gangguan di luar daerah pengaman. Justru kerusakan transformator cenderung terjadi karena terlalu seringnya terjadi gangguan di luar daerah pengaman.

### **2.9.1 Gangguan Di Luar Daerah Pengaman**

Gangguan di luar daerah pengaman transformator daya ini sering terjadi dan dapat merupakan beban lebih, hubungan singkat fasa ke tanah maupun gangguan antar fasa. Gangguan ini mempunyai pengaruh terhadap transformator, sehingga transformator harus dilepaskan/ dipisahkan bila gangguan tersebut terjadi setelah waktu tertentu untuk memberi kesempatan pengaman daerah yang terganggu bekerja. Kondisi beban yang berlanjut dapat di deteksi dengan rele thermal atau termometer yang memberi sinyal sehingga beban berkurang.

Untuk kondisi gangguan di luar daerahnya misalnya gangguan hubung singkat pada rel gangguan, hubung singkat disalurkan keluarannya, maka rele arus lebih dengan perlambatan waktu atau sering digunakan sebagai pengamannya. Koordinasi yang baik, untuk daerah berikutnya yang terkait. Pengaman utama ini di rancang sedemikian rupa sehingga tidak boleh bekerja terhadap gangguan tersebut.



### 2.9.2 Gangguan Di Daerah Pengaman

Pengaman utama transformator daya ditunjukkan sebagai pengaman didalam daerah pengamannya. Gangguan di dalam sangat serius dan selalu ada resiko terjadinya kebakaran.

Gangguan di dalam dapat terjadi karena diakibatkan :

1. Gangguan satu fasa atau antar fasa pada sisi tegangan tinggi atau tegangan rendah di terminal luar.
2. Hubungan singkat antar lilitan di sisi tegangan tinggi atau tegangan rendah.
3. Gangguan tanah pada lilitan tersier, atau hubung singkat antar belitan di lilitan tersier .

### 2.10 Rele Differensial<sup>11</sup>

Rele Diferensial mempunyai bentuk yang bermacam-macam, tergantung dari peralatan yang diamankan. Pengertian differensial itu sendiri mengandung unsur membedakan satu dengan lainnya, semua besaran yang masuk ke rele. Batasan rele differensial menurut Mason adalah sebagai berikut :

Rele differensial adalah suatu rele yang bekerja bila ada perbedaan vector dari dua besaran listrik atau lebih yang melebihi besaran yang telah ditentukan.

Dengan demikian jenis rele, bila dihubungkan dengan cara tertentu dapat dibuat bekerja seperti rele differensial. Dengan perkataan lain tidak begitu banyak susunan rele yang telah dihubungkan dengan satu cara tertentu dalam sirkit yang membuat rele tersebut bekerja sebagai suatu rele differensial.

Adapun sifat pengaman pada rele differensial yaitu sebagai berikut :

- 1) Sangat selektif dan cepat bekerja (instantaneous), tidak perlu dikoordinasikan dengan rele lain.
- 2) Digunakan sebagai rele pengaman utama, tidak dapat digunakan sebagai pengaman cadangan untuk seksi / daerah berikutnya.
- 3) Daerah pengamanannya dibatasi oleh pasangan trafo arus, dimana rele diferensial dipasang.

<sup>11</sup> Hazairin . 2004. *Dasar-dasar sistem proteksi tenaga listrik*. UNSRI.(Hal 36-41)



### 2.10.1 Jenis – Jenis Rele Differensial :

#### 1. Rele Arus Differensial

Rele arus differensial menggunakan besaran-besaran arus yang masuk dan yang keluar dari peralatan yang diamankan untuk dibandingkan di dalam sirkuit differensial. Setiap perbedaan arus digunakan untuk menggerakkan rele tersebut dengan demikian masing-masing fasa dibandingkan.

#### 2. Rele Persentase Differensial

Telah diuraikan cara kerja rele arus differensial, maka untuk rele persentase differensial mempunyai ciri kerja yang hampir sama dengan rele arus differensial, hanya saja rangkaian differensialnya melalui kumparan penahan (restraining coil). Arus differensial yang diperlukan untuk mengerjakan rele mempunyai besaran yang bervariasi, dengan perkataan lain dimungkinkan adanya setting rele. Arus differensial yang mengalir masuk ke rele sebanding dengan  $(I_1 - I_2)$  dan arus yang mengalir dalam restrain coil sebanding dengan  $(I_1 + I_2) / 2$  karena kumparan kerja dihubungkan ditengah kumparan penahan (restraining coil).

### 2.10.2 Fungsi Rele Differensial<sup>12</sup>

Pengaman rele differensial merupakan alat pengaman utama untuk mengamankan transformator daya, fungsinya antara lain adalah :

- a. Mengamankan transformator dari gangguan hubung singkat yang terjadi di dalam transformator, antara lain hubung singkat antara kumparan dengan kumparan atau antara kumparan dengan tangki.
- b. Rele differensial arus membandingkan arus yang melalui daerah pengamanan.
- c. Rele ini harus bekerja kalau terjadi gangguan di daerah pengamanan, dan tidak boleh bekerja dalam keadaan normal atau gangguan di luar daerah pengamanan.
- d. Rele ini merupakan unit pengamanan dan mempunyai selektifitas mutlak.

<sup>12</sup> Arfianda, Muammad. 2019. *Analaisa Penggunaan Rele Differensial Sebagai Proteksi Pada Transformator Daya Gardu Induk Paya Pasir*, Jurnal Mahasiswa UMSU. (Hal 35-38)



### 2.10.3 Prinsip Kerja Rele Differensial

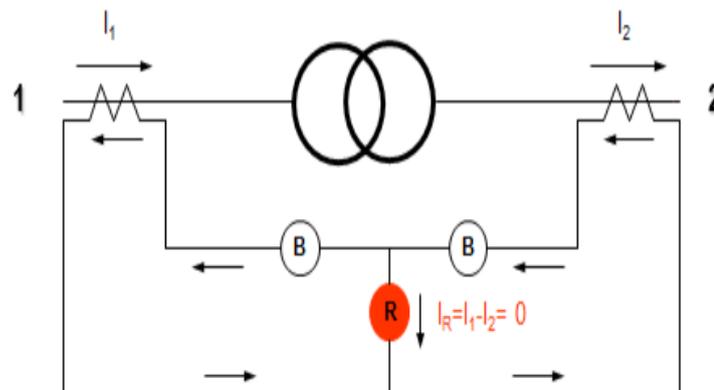
Prinsip kerja relay proteksi differensial adalah membandingkan dua vektor arus atau lebih yang masuk ke relay, apabila pada sisi primer transformator arus ( $CT_1$ ) dialiri arus  $I_1$ , maka pada sisi sekunder transformator arus ( $CT_2$ ) akan dialiri arus  $I_2$ , pada saat yang sama sisi sekunder kedua transformator arus, akan mengalir arus  $i_1$  dan  $i_2$  yang besarnya tergantung dari rasio yang terpasang, jika besarnya  $i_1 = i_2$  maka relai tidak bekerja, karena tidak ada selisih arus, tetapi jika besarnya arus  $i_1 \neq i_2$  maka relai akan bekerja, karena adanya selisih arus.

Prinsip dasar rele differensial berdasarkan Hukum Kirchoff dimana arus masuk dari suatu titik sama dengan arus keluar pada titik tersebut ( $I_1=I_2$ ), yang dimaksud titik pada rele differensial adalah daerah pengaman yang dibatasi oleh dua CT.

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

#### 1. Rele differensial pada keadan normal

Dalam keadaan normal, arus mengalir melalui peralatan / inslatasi listrik yang diproteksi yaitu transformator daya, dan arus-arus tranformator arus, yaitu  $I_1$  dan  $I_2$  bersirkulasi melalui "path" IA. Jika rele diferensial dipasang antara terminal 1 dan terminal 2, maka dalam kondisi normal tidak akan ada arus yang mengalir melaluinya.

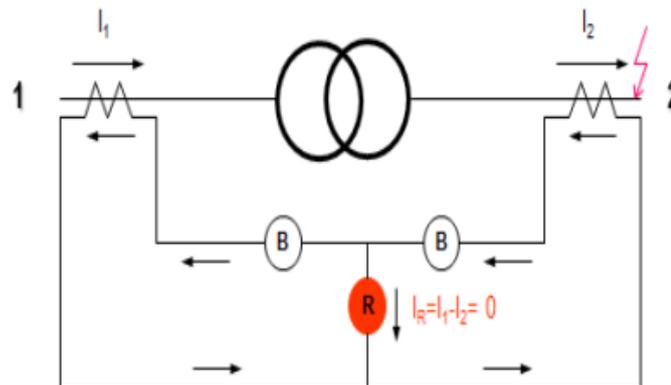


Gambar 2.10 Rele Diferensial Dalam Keadaan Normal



## 2. Rele differensial pada gangguan di luar daerah proteksi

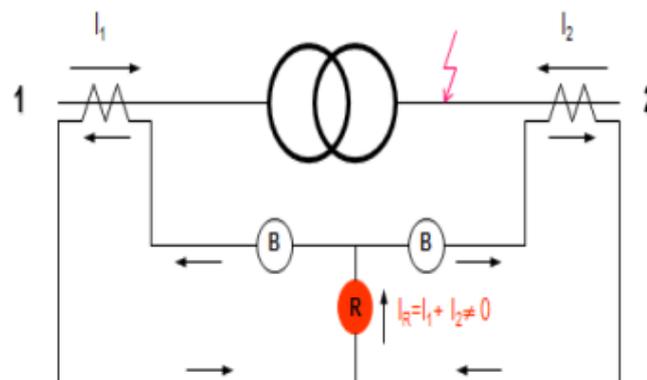
Bila dalam keadaan gangguan diluar dari transformator daya yang diproteksi (external fault), maka arus yang mengalir akan bertambah besar, akan tetapi sirkulasi akan tetap sama dengan pada kondisi normal dengan demikian rele differensial tidak akan bekerja.



Gambar 2.11 Rele Diferensial pada Gangguan Di Luar Daerah Proteksi

## 3. Rele differensial pada gangguan di dalam daerah proteksi

Jika gangguan terjadi didalam proteksinya pada transformator daya yang diproteksi (internal fault), maka arah sirkulasi arus disalah satu sisi akan terbalik, menyebabkan “keseimbangan” pada kondisi normal terganggu, akibatnya arus  $I_d$  akan mengalir melalui rele diferensial dari terminal 1 menuju ke terminal 2 maka terjadi selisih arus didalam rele, selanjutnya rele tersebut akan mengoperasikan CB untuk memutus.

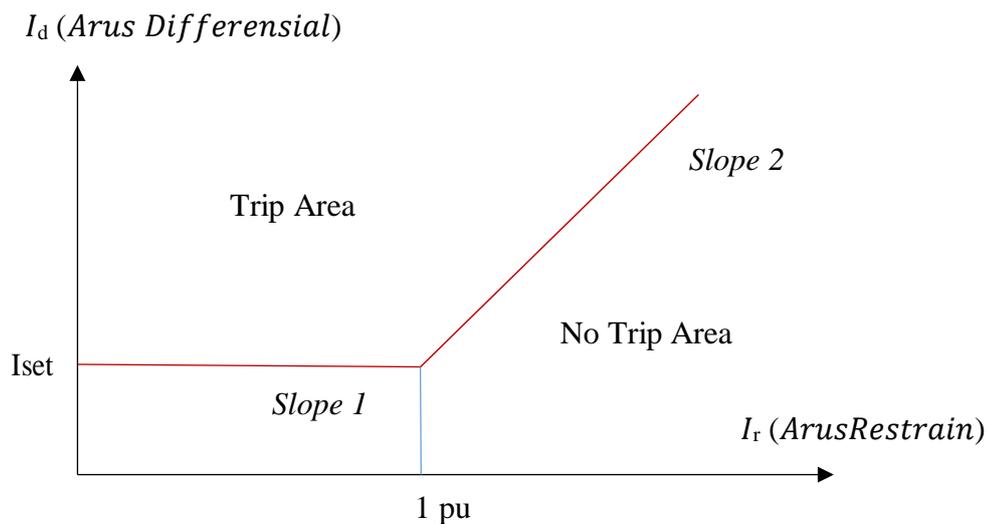


Gambar 2.12 Rele Diferensial pada Gangguan Di Dalam Daerah Proteksi



#### 2.10.4 Karakteristik Rele Differensial<sup>13</sup>

Setiap relay differensial dilengkapi dengan nilai settingannya dan memberikan karakteristik tripping tertentu. Karakteristik inilah yang akan mengenali jenis gangguan. Gambar 2.13 menunjukkan karakteristik tripping relay differensial.



Gambar 2.13 Karakteristik Rel Differensial

$Slope_1$  merupakan setting untuk menentukan titik dimana relay differensial mulai bekerja (pick-up relay). Sehingga bisa dibilang  $Slope_1$  ini merupakan nilai penentu kapan relay differensial ini akan bekerja.  $Slope_1$  bertugas untuk mengenali gangguan internal.

$Slope_2$  bertugas untuk mengenali gangguan eksternal. Nilai  $Slope_2$  digunakan untuk melihat adanya gangguan di luar daerah pengaman. Pada saat gangguan eksternal nilai arus yang melewati transformator sangat besar. Arus yang besar tersebut idealnya ditransformasikan oleh CT bernilai sama besar pada masing-masing sisi transformator. Tetapi setiap CT memiliki karakteristik error yang mengakibatkan arus differensial menjadi besar pada sisi belitan transformator. Untuk membedakan apakah arus differensial itu disebabkan oleh gangguan internal atau gangguan eksternal, maka digunakan perhitungan *arus*

<sup>13</sup> Muhammad Rizki.2018. *Jurnal Analisa Performa Rele Differensial*.Hal 8



*restrain* (persamaan) untuk mengetahui nilai arus rata-rata yang mengalir pada kedua sisi belitan transformator. Perhitungan *arus restrain* ini yang digunakan sebagai dasar perhitungan Slope<sub>2</sub>.

### 2.10.5 Pemasangan Rele Differensial<sup>14</sup>

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

Sehubung dengan pemasangan rele differensial ke transformator daya, maka perlu sekali unuk mengetahui persyaratan rele differensial tersebut, yaitu:

- a. Besar arus-arus yang masuk ke rele harus sama
- b. Fasa-fasa tersebut harus berlawanan.

### 2.10.6 Perhitungan Teori Setting Rele Differensial

#### 2.10.6.1 Perhitungan Rasio CT<sup>15</sup>

Pemilihan CT disesuaikan dengan alat ukur dan proteksi. Pemilihan CT dengan kualitas baik akan memberikan perlindungan sistem yang baik pula. Relay differensial sangat tergantung terhadap karakteristik CT.

Jika karakteristik CT bekerja dengan baik. Maka sistem akan terlindungi oleh rele differensial ini secara optimal. CT ditempatkan di kedua sisi peralatan yang akan diamankan . rasio CT untuk rele differensial yang dipilih sebaiknya memiliki nilai yang mendekati nilai  $I_{rating}$ .

$$I_{rating} = 110\% \times I_{nominal} \dots\dots\dots (2.7)$$

$$I_{N1} = \frac{S}{\sqrt{3} \times V_p} \dots\dots\dots (2.8)$$

$$I_{N2} = \frac{S}{\sqrt{3} \times V_s} \dots\dots\dots (2.9)$$

<sup>14</sup> Arfianda, Muammad. 2019. *Analisa Penggunaan Rele Differensial Sebagai Proteksi Pada Transformator Daya Gardu Induk Paya Pasir*, Jurnal Mahasiswa UMSU. (Hal 39-40)

<sup>15</sup> Maulana, Ilham. 2020. *Analisis Setting Rele Differensial Pada Transformator Daya 60 MVA Di GOS 150 KV Jatiwaringin*, Jurnal Mahasiswa Institut Teknoogi PLN. (Hal 32)



Dimana :

$I$  = Arus Nominal (A)

$I_{N1}$  = Arus Nominal Primer (A)

$I_{N2}$  = Arus Nominal Sekunder (A)

$S$  = Daya (MVA)

$V_p$  = Tegangan Primer (V)

$V_s$  = Tegangan Sekunder (V)

### 2.10.6.2 Perhitungan Error Mismatch<sup>16</sup>

Error mismatch merupakan kesalahan dalam membaca perbedaan arus dan tegangan di sisi primer dan sekunder transformator serta pergeseran fasa di trafo tersebut. Menghitung besarnya arus mismatch yaitu dengan cara membandingkan rasio CT ideal dengan CT yang ada di pasaran, dengan ketentuan error tidak boleh melebihi 5% dari rasio CT yang dipilih.

Untuk menghitung besarnya nilai error mismatch menggunakan rumus :

$$Error\ Mismatch = \frac{CT\ ideal}{CT\ terpasang} \% \dots\dots\dots (2.10)$$

Persamaan untuk menghitung nilai ratio CT ideal adalah:

$$CT_1\ (Ideal) = CT_2 \times \frac{V_s}{V_p} \dots\dots\dots (2.11)$$

$$CT_2\ (Ideal) = CT_1 \times \frac{V_p}{V_s} \dots\dots\dots (2.12)$$

Dimana :

CT (ideal) : rasio trafo arus ideal

CT (Terpasang) : nilai CT terpasang

$CT_1$  (ideal) : rasio trafo arus ideal sisi primer

$CT_2$  (ideal) : rasio trafo arus ideal sisi sekunder

$V_p$  : Tegangan primer

$V_s$  : Tegangan sekunder

<sup>16</sup> Maulana, Ilham. 2020. *Analisis Setting Rele Differensial Pada Transformator Daya 60 MVA Di GOS 150 KV Jatiwaringin*, Jurnal Mahasiswa Institut Teknoogi PLN. (Hal 34)



### 2.10.6.3 Arus Sekunder Current Transformator (CT)<sup>17</sup>

Arus sekunder pada CT (Current Transformator) adalah arus yang dikeluarkan dari CT itu sendiri.

Arus sekunder CT dapat dihitung dengan menggunakan rumus:

$$I_{\text{sekunder}} = \frac{1}{\text{rasio CT}} \times I_n \dots\dots\dots (2.13)$$

Dimana :

$I_{\text{sekunder}}$  = Arus sekunder CT

$I_n$  = Arus nominal

### 2.10.6.4 Perhitungan Arus differensial<sup>18</sup>

Arus differensial merupakan selisih arus pada sisi tegangan tinggi dengan sisi tegangan rendah. Persamaan yang digunakan untuk mencari arus differensial adalah :

$$I_d = I_2 - I_1 \dots\dots\dots (2.14)$$

Dimana :

$I_d$  = Arus diferensial (A)

$I_1$  = Arus sekunder CT<sub>1</sub> (A)

$I_2$  = Arus sekunder CT<sub>2</sub> (A)

### 2.10.6.5 Perhitungan Arus Restrain<sup>19</sup>

Arus Restrain adalah arus penahan yang digunakan sebagai parameter kerja dari relay differensial. Arus restrain digunakan untuk mengetahui arus rata-rata yang mengalir pada transformator sisi tegangan tinggi dengan sisi tegangan rendah.

$$I_r = \frac{I_1 + I_2}{2} \dots\dots\dots (2.15)$$

<sup>17</sup> Arfianda, Muammad. 2019. *Analisa Penggunaan Rele Differensial Sebagai Proteksi Pada Transformator Daya Gardu Induk Paya Pasir*, Jurnal Mahasiswa UMSU. (Hal 26)

<sup>18</sup> Ria Fitriani, Nor. 2017. *Analisis Penggunaan Rele Differensial Sebagai Proteksi Pada Transformator Daya 16 MVA DI Gardu Induk Jajar*, Jurnal Mahasiswa Universitas Muhammadiyah Surakarta. (Hal 8)

<sup>19</sup> Muhammad Rizki. 2018. *Jurnal Analisa Performa Rele Differensia*. Hal 14



Dimana :

$I_r$  = Arus restrain (A)

$I_l$  = Arus sekunder CT<sub>1</sub> (A)

$I_2$  = Arus sekunder CT<sub>2</sub> (A)

### 2.10.6.6 Perhitungan Percent Slope (Setting Kecuraman)<sup>20</sup>

Percent slope merupakan pembagian nilai arus differensial dengan nilai arus restrain dan menghasilkan percent slope. Slope<sub>1</sub> bertugas untuk menentukan arus differensial agar dapat bekerja terhadap gangguan internal, sedangkan slope<sub>2</sub> bertugas untuk tidak bekerja pada saat gangguan external. Berikut persamaan untuk menghitung percent slope:

$$\text{Slope}_1 = \frac{I_d}{I_r} \times 100\% \dots\dots\dots (2.16)$$

$$\text{Slope}_2 = \left(\frac{I_d}{I_r} \times 2\right) 100\% \dots\dots\dots (2.17)$$

Dimana :

Slop = Batas ambang kemampuan kumparan penahan

$I_d$  = Arus differensial (A)

$I_r$  = Arus restrain (A)

### 2.10.6.7 Perhitungan Arus Setting<sup>21</sup>

Perhitungan arus setting rele defferensial merupakan hasil dari nilai presentase slope 1 di kalikan dengan arus panahan. Jika arus differensial nilainya melebihi arus setting maka relay akan bekerja men-tripkan jaringan. Beriku merupakan persamaan untuk menghitung arus setting :

$$I_{set} = \text{slope} \times I_{restrain} \dots\dots\dots (2.18)$$

Dimana :

$I_{set}$  = Arus Setting (A)

Slop<sub>1</sub> = Setting kecuraman (%)

$I_r$  = Arus restrain (A)

<sup>20</sup> Muhammad Rizki. 2018. *Jurnal Analisa Performa Rele Differensia*. Hal 14

<sup>21</sup> Maulana, Ilham. 2020. *Analisis Setting Rele Differensial Pada Transformator Daya 60 MVA Di GOS 150 KV Jatiwaringin*, Jurnal Mahasiswa Institut Teknoogi PLN. (Hal 36)

