

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Kajian pustaka**

Berikut ini adalah beberapa rujukan penelitian yang pernah dilakukan untuk mendukung penulisan tugas akhir ini, antara lain:

Sandi Nugraha, (2014) melakukan penelitian mengenai Analisis koordinasi *setting over current relay* pada trafo 60 MVA 150/20 kV dan penyulang CBU 20 kV di Gardu Induk Cigereleng. Dari penelitian ini disimpulkan bahwa analisa *setting* koordinasi *relay* pada sistem tenaga listrik cukup rumit jika dikerjakan secara perhitungan manual, maka diperlukan alat bantu berupa software untuk mempermudah kita melakukan perhitungan koordinasi *relay*. Salah satunya *Electrical Transient Analyzer Program (ETAP)*. Software ini salah satunya digunakan untuk menyelesaikan perhitungan arus hubung singkat.

Aji Setiyawan (2017) melakukan penelitian mengenai Analisis Koordinasi Proteksi Pada PT. PLN (PERSERO) Gardu Induk Wonosobo Menggunakan Software Aplikasi ETAP. Dari penelitian ini disimpulkan bahwa untuk arus hubung singkat, panjangnya jarak berpengaruh terhadap nilai arus hubung singkat. Semakin panjang jarak maka semakin kecil pula nilai arus hubung singkat yang terjadi pada titik tersebut begitu pula sebaliknya.

Zulkarnaini, Mohammad Iqbal (2015) melakukan penelitian mengenai Perhitungan Koordinasi *Relay* Proteksi OCR dan GFR dengan menggunakan *Software Mathcad* pada Trafo Daya Unit II 20 MVA GI Salak. Dari penelitian ini disimpulkan bahwa Dilihat dari jarak lokasi gangguan mempengaruhi lama waktu trip *relay (grading time)* serta waktu kerja *relay* untuk gangguan 3 fasa lebih cepat dibandingkan waktu kerja *relay* untuk gangguan 1 fasa ketanah pada titik gangguan tertentu, dengan kata lain besar kecilnya arus gangguan mempengaruhi cepat lambatnya waktu kerja *relay*.

Indra Baskara (2015) melakukan penelitian mengenai Studi Koodinasi Peralatan Proteksi OCR dan GFR pada Penyulang Tibubeneng. Dari penelitian

ini disimpulkan Koordinasi seting Over Current Relay (OCR) dan *Ground Fault Relay* (GFR) pada *relay* penyulang Tibubeneng, *recloser* Dama dan *recloser* Tandeg masih kurang baik dan penentuan nilai setting arus, setting waktu dan pemilihan karakteristik kurva sangat mempengaruhi tingkat koordinasi sistem proteksi.

Fajrian, R. (2015). melakukan penelitian mengenai Analisa Koordinasi Proteksi *Overcurrent Relay* Pada Jaringan Distribusi SUTM 20 kV dengan Menggunakan Software ETAP. Dari penelitian ini disimpulkan bahwa prinsip kerja *relay* arus lebih akan bekerja apabila *relay* tersebut merasakan besar arus yang melebihi setting arus dari *relay* tersebut, maka dari itu *relay* akan bekerja dengan memerintahkan CB untuk trip.

## **2.2 Landasan teori**

### **2.2.1 Pengertian Gardu Induk**

Gardu Induk adalah suatu instalasi kelistrikan yang dibangun sebagai titik awal untuk mensuplai tenaga listrik dengan memiliki beberapa fungsi, diantaranya sebagai berikut:

1. Mentransformasikan tenaga listrik tegangan tinggi yang satu ke tegangan tinggi lainnya atau ketegangan menengah.
2. Sebagai tempat pengawasan operasi serta pengaturan pengamanan dari sistem tenaga listrik yang bekerja.
3. Pengaturan daya ke Gardu Induk lainnya melewati tegangan tinggi, dan gardu distribusi melewati *feeder* tegangan menengah.

### **2.2.2 Gardu Induk Menurut Tegangannya**

Gardu Induk menurut tegangannya dikelompokkan menjadi 2 jenis. Diantaranya sebagai berikut:

### 1. Gardu Induk Transmisi

Yaitu Gardu Induk yang mempunyai sumber dari saluran transmisi dan kemudian menyalurkannya ke daerah beban seperti industri, kota dan lainnya. Gardu induk transmisi yang ada di PLN adalah tegangan tinggi dengan besar tegangan yaitu 150 kV serta tegangan tinggi 30 kV.

### 2. Gardu Induk Distribusi

Yaitu merupakan Gardu Induk yang menerima tenaga listrik dari Gardu Induk transmisi dengan menurunkan tegangannya melalui transformator tenaga menjadi tegangan menengah (20 kV, 12 kV, 6 kV) dan setelah itu diturunkan kembali menjadi tegangan rendah (127/220 V atau 220/380 V) sesuai kebutuhan para konsumen di daerah tersebut.

## 2.2.3 Gardu Induk Menurut Penempatannya

Berdasarkan penempatannya, Gardu Induk sendiri dapat dikelompokkan menjadi beberapa jenis, yaitu diantaranya adalah:

1. *Indoor Substation* (Gardu Induk pasangan dalam) adalah Gardu Induk yang peralatannya berada di dalam sebuah bangunan atau ruangan tertutup, yang bertujuan untuk keselarasan dengan daerah sekitarnya, serta untuk menghindari dari bahaya kebakaran dan gangguan suara.
2. *Outdoor Substation* (Gardu Induk pasangan luar) adalah Gardu Induk yang peralatannya terletak diluar bangunan atau di tempat terbuka, namun sebagian *instrument* berada di dalam sebuah bangunan seperti alat kontrol dan alat ukur. Gardu Induk ini memerlukan tanah yang luas dan biaya konstruksinya lebih murah serta sistem pendinginannya mudah.
3. *Combine Outdoor Substantion* (Gardu Induk sebagian pasang luar) Adalah Gardu Induk yang beberapa bagian peralatannya dipasang di dalam sebuah ruang tertutup dan peralatan lainnya dipasang diluar dengan mempertimbangkan situasi serta kondisi lingkungan tersebut.

4. *Under Ground Substation* (Gardu Induk pasangan bawah tanah) adalah Gardu Induk yang letak umumnya berada di pusat kota, biasanya Gardu Induk ini dibangun karena tanah yang tidak memadai, maka komponen kelistrikannya dipasang dibawah bangunan tanah kecuali komponen sistem pendingin.
5. *Semi Under Ground Substation* (Gardu Induk sebagian pasang dibawah tanah) adalah Gardu Induk yang menempatkan peralatannya di bagian bawah tanah, dan biasanya transformator tenaga dipasang di bawah tanah sedangkan peralatan lainnya dipasang di atas permukaan tanah.
6. *Mobile Substation* (Gardu Induk mobil) adalah Gardu Induk yang peralatannya ditempatkan diatas sebuah triller yang bertujuan agar mudah dipindahkan, sehingga bisa dioperasikan dan dibawa ke tempat-tempat yang membutuhkan, biasanya gardu induk ini dipakai dalam keadaan darurat dan untuk sementara waktu, untuk pencegahan beban lebih dan digunakan di tempat pembangunan sampai pembangunan selesai.

## 2.2.4 Komponen Utama Gardu Induk Disisi Penyulangan

### 1. Transformator Daya

Transformator Daya adalah suatu peralatan utama tenaga listrik yang berfungsi untuk menyalurkan tenaga atau daya listrik dari tegangan tinggi ke tegangan rendah atau pun sebaliknya seperti itu. Di bawah ini adalah salah satu contoh transformator daya di gardu induk medari.



**Gambar 2. 1** Bentuk fisik trafo daya  
(sumber: Foto Trafo di Gardu Induk Medari)

Dalam operasi penyaluran tenaga listrik transformator ini dapat dikatakan jantung dari transmisi dan distribusi. Dalam kondisi ini suatu transformator diharapkan dapat beroperasi semaksimal mungkin (kalau bisa secara terus menerus tanpa berhenri), Mengingat kerja keras dari suatu transformator seperti itu, maka cara pemeliharaan juga dituntut sebaik mungkin Oleh karena itu tranformator harus dipelihara dan dijaga dengan menggunakan system dan peralatan yang benar sesuai standarnya yang baik dan tepat, untuk itu regu pemeliharaan harus menguasai bagian-bagian dari tranformator dan bagian-bagian mana yang harus terus menerus diawasi melebihi bagian lainnya.

Transformator daya berfungsi sangat penting dalam penyaluran daya listrik, oleh karena itu trafo harus dijaga dan diamankan untuk mencegahnya kerusakan yang terjadi akibat gangguan, baik gangguan yang terjadi di dalam trafo itu sendiri maupun gangguan yang terjadi di luar trafo tersebut yang dapat mengakibatkan kerusakan pada trafo tersebut

## **2. Instrumen Transformator**

Merupakan transformator yang memiliki fungsi sebagai alat pengukuran, biasa disebut juga sebagai transformator ukur, didesain secara khusus untuk pengukuran dalam sistem tenaga listrik. Keandalan lain dari instrumen

transformator ini adalah:

- a. Memberikan isolasi elektrik bagi sistem tenaga listrik
- b. Tahan terhadap beban untuk berbagai tingkatan
- c. Tingkat keandalannya tinggi
- d. Secara fisik bentuk lebih sederhana

Transformator ini terdapat 2 jenis, yaitu transformator arus dan transformator tegangan, dengan fungsi utama yaitu merubah arus atau tegangan ke tingkat yang lebih rendah untuk pengoperasian *relay* atau metering.

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

Transformator arus berfungsi untuk menurunkan arus besar/tinggi pada tegangan ekstra tinggi/tegangan tinggi/menengah/rendah menjadi arus kecil pada tegangan rendah yang biasanya disebut sebagai arus sekunder.

Berdasarkan penggunaan, trafo arus dikelompokkan menjadi 2 kelompok dasar, yaitu; trafo arus metering dan trafo arus proteksi.

#### **a. Trafo Arus Metering**

Trafo arus pengukuran untuk metering memiliki ketelitian tinggi pada daerah kerja (daerah pengenalnya) antara 5% - 120% arus nominalnya, tergantung dari kelas dan tingkat kejenuhan.

b. *Trafo Arus Proteksi*

Trafo arus proteksi memiliki ketelitian tinggi sampai arus yang besar yaitu pada saat terjadi gangguan, dimana arus yang mengalir mencapai beberapa kali dari arus pengenalnya dan trafo arus proteksi mempunyai tingkat kejenuhan cukup tinggi.

2. Trafomator tegangan (PT)

biasa disebut juga dengan potensial transformator yang memiliki fungsi:

- a. Mentransformasikan nilai tegangan yang tinggi pada sisi primer ke nilai tegangan yang lebih rendah di sisi sekunder yang digunakan untuk pengukuran dan proteksi.
- b. Mengisolasi rangkaian sekunder terhadap rangkaian primer, yaitu memisahkan instalasi pengukuran dan proteksi dari tegangan tinggi.

**3. *Disconnecting Switch***

Biasa disebut juga sebagai pemisah, pada dasarnya pemisah memiliki fungsi yang hampir sama dengan *Circuit Breaker* (CB), namun perbedaannya adalah, pemisah tidak dapat memutus jaringan jika terjadi arus gangguan. Pemisah pada gardu induk memiliki fungsi untuk memastikan jika sistem pada jaringan tidak dalam keadaan bertegangan. Untuk kapasitas pada pemisah sama dengan kapasitas yang terdapat pada CB

**4. *Circuit Breaker* (CB)**

Circuit Breaker atau Sakelar Pemutus Tenaga (PMT) 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. Dalam menentukan pemutus biasanya menggunakan rumus sebagai berikut:

$$I_{nominal} = \frac{\text{daya}}{\sqrt{3}xv} \dots\dots\dots(2.1)$$

## 5. Arrester

*Arrester* merupakan sebuah komponen yang juga penting dalam sistem tenaga listrikan. Bila surja datang ke Gardu Induk, *arrester* akan melepaskan muatan listrik yang mengenainya serta mengurangi tegangan *abnormal* pada Gardu Induk tersebut. Berikut adalah syarat dalam pemilihan *arrester*:

1. Tegangan percikan dan tegangan pelepasan yaitu tegangan pada terminalnya saat waktu pelepasan, harus cukup rendah sehingga dapat mengamankan isolasi peralatan. Terkadang tegangan percikan disebut juga tegangan gagal sela atau jatuh tegangan.
2. *Arrester* harus mampu memutus arus dinamik dan bisa bekerja terus seperti semula. Batas dari tegangan sistem dimana pemutusan arus susulan ini masih mungkin disebut dengan tegangan dasar dari *arrester*.

Jangkauan perlindungan *arrester*: untuk mengamankan terhadap surja hubung, maka *arrester* dipasang di antara sebuah transformator, yang memang menjadi tujuan utama perlindungan ini dan pemutus bebannya. Sedangkan pertimbangan lainnya, *arrester* dapat menyerap surja dari pemutus arus pembangkit. Dalam menentukan jarak yang aman antara transformator dan *lightning arrester* maka menggunakan rumus sebagai berikut:

$$E_p = E_a + \frac{2AS}{v} \dots\dots\dots(2.2)$$

Dimana:

$E_p$  : puncak surja yang datang

$E_a$  : tegangan pelepasan *arrester* (kA)

A : kecuraman gelombang datang

S : jarak (meter)

V : Kecepatan rambat cahaya (m/s)

Jika pemasangan *arrester* dengan peralatan yang dilindungi terlalu jauh maka tegangan lebih yang sampai pada terminal peralatan akan lebih tinggi dari tegangan pelepasan pada *arrester* tersebut.

## **6. Grounding**

Grounding atau biasa disebut juga sebagai pentanahan, merupakan suatu faktor penting dalam suatu sistem tenaga listrik. Untuk membuat sistem pentanahan yang baik, maka *grounding* harus memiliki syarat-syarat sebagai berikut:

1. Membuat jalur impedansi rendah ke tanah untuk pengamanan personil dan peralatan
2. Menggunakan bahan tahan korosi terhadap kondisi kimiawi tanah untuk menjaga sistem selama peralatan masih berfungsi
3. Sistem mekanik yang kuat namun mudah dalam pelayanan
4. Mampu mengatasi gangguan berulang akibat surja hubung

Pada jaringan transmisi *substation* tahanan pentanahan tidak melebihi 5 ohm, pada saluran tegangan tinggi tahanan yang diperbolehkan adalah maksimal 15 ohm, sedangkan pada saluran tegangan menengah tahanan yang digunakan maksimal 25 ohm.

Tahanan pentanahan berkaitan dengan kandungan air dan suhu, maka tahanan pentanahan suatu sistem dapat saja berubah sesuai dengan perubahan iklim disetiap tahunnya.

## **7. Kabel**

Kabel dalam bahasa Inggris disebut *cable* merupakan sebuah alat yang digunakan untuk mentransmisikan sinyal dari satu tempat ke tempat lain. Kabel seiring dengan perkembangannya dari waktu ke waktu terdiri dari berbagai jenis dan ukuran yang membedakan satu dengan lainnya. Berdasarkan jenisnya, kabel terbagi menjadi 3 yakni kabel tembaga (*copper*), kabel koaksial, dan kabel serat optik

## 8. *Aluminium Conduct Steel Reinforced (ACSR)*

ACSR (*Aluminium Conductor, Steel-Reinforced*), yaitu kawat penghantar aluminium berinti kawat baja. Contoh gambar seperti berikut ini



**Gambar 2. 2** Kabel ACSR  
(*sumber: <https://www.kelistrikanku.com>*)

Konduktor tertua ini banyak berjasa untuk transmisi *Overhead*. Proses pembuatannya sangat mudah pada mesin *stranding Rigid* dan masih favorit hingga sekarang karena harganya yang relatif murah. Terbuat dari kawat aluminium AAC yang diproses pada mesin “*Rod Break Down*” biasa (*Hard Drawn – H19*), berpenguat (*Reinforced*) *Galvanized steel strand*. Suhu operasi  $75^{\circ}\text{C}$  dan *max*  $100^{\circ}\text{C}$ .

### 2.2.5 Sistem Proteksi Tenaga Listrik

proteksi sistem tenaga listrik adalah sistem proteksi atau pengaman yang dipasang pada peralatan-peralatan listrik suatu sistem tenaga listrik agar peralatan listrik terjaga, misalnya generator, transformator, jaringan dan lain-lain, terhadap kondisi abnormal operasi sistem itu sendiri kondisi abnormal itu dapat berupa antara lain: hubung singkat, tegangan lebih, beban lebih, frekuensi sistem rendah, asinkron dan lain-lain.

### 2.2.6 Tujuan Sistem Proteksi Tenaga Listrik

Sistem proteksi tenaga listrik mempunyai tujuan sebagai berikut:

1. Untuk menghindari atau mengurangi kerusakan akibat gangguan pada peralatan yang terganggu atau peralatan yang dilewati oleh arus gangguan
2. Untuk melokalisir (mengisolir) daerah gangguan menjadi sekecil mungkin
3. Untuk dapat memberikan pelayanan listrik dengan keandalan yang tinggi kepada konsumen
4. Meminimalisir bahaya bagi manusia

### 2.2.7 Persyaratan Sistem Proteksi Tenaga Listrik

Ada beberapa kriteria yang perlu diketahui pada pemasangan suatu sistem proteksi dalam suatu rangkaian sistem tenaga listrik yaitu:

#### 1. Sensitifitas (kepekaan)

Sensitifitas adalah kepekaan *relay* proteksi terhadap segala macam gangguan dengan tepat yakni gangguan yang terjadi di daerah perlindungannya. Sensitifitas suatu sistem proteksi ditentukan oleh nilai terkecil dari besaran penggerak saat peralatan proteksi mulai beroperasi. Nilai terkecil besaran penggerak berhubungan dengan nilai minimum arus gangguan dalam daerah yang dilindunginya.

#### 2. Selektifitas dan Diskriminatif

Selektif berarti suatu sistem proteksi harus dapat memilih bagian sistem yang harus diisolir apabila *relay* proteksi mendeteksi gangguan. Bagian yang dipisahkan dari sistem yang sehat sebisanya adalah bagian yang terganggu saja. Diskriminatif berarti suatu sistem proteksi harus mampu membedakan antara kondisi normal dan kondisi *abnormal*. Ataupun membedakan apakah kondisi *abnormal* tersebut terjadi di dalam atau di luar daerah proteksinya.

### 3. Kecepatan

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

### 4. Keandalan

Suatu sistem proteksi dapat dikatakan andal jika selalu berfungsi sebagaimana yang diharapkan. Sistem proteksi disebut tidak andal bila gagal bekerja pada saat dibutuhkan dan bekerja pada saat proteksi itu tidak seharusnya bekerja.

### 5. Ekonomis

Aspek ekonomis hampir selalu berhubungan dengan aspek teknis. Sistem proteksi yang baik adalah sistem proteksi yang mempertimbangkan aspek ekonomis tanpa mengesampingkan kinerja peralatan proteksi yang digunakan. Proteksi relatif mahal, namun demikian pula sistem atau peralatan yang dilindungi dan jaminan terhadap kelangsungan peralatan sistem adalah vital.

## 2.2.8 Jenis Gangguan pada Sistem Tenaga Listrik

Pada suatu sistem tenaga listrik pasti memiliki gangguan yang biasa terjadi ketika sistem bekerja. Jenis gangguan yang biasa terjadi dalam sistem tenaga listrik diantaranya sebagai berikut:

### 1. Gangguan Akibat Tegangan Lebih (*Over Voltage*)

Gangguan tegangan lebih adalah jenis gangguan yang disebabkan tegangan pada sistem tenaga listrik bernilai lebih dari tegangan yang seharusnya. Gangguan tegangan lebih dibedakan menjadi dua, yaitu:

a. Gangguan Tegangan Lebih dengan *Power* Frekuensi

Jenis gangguan ini disebabkan oleh pembangkit yang kehilangan beban, over speed pada generator saat bekerja, dan gangguan pada AVR (*Automatic Voltage Regulator*).

b. Gangguan Tegangan Lebih *Transient*

Jenis gangguan ini disebabkan oleh surja petir atau surja hubung yang mengakibatkan nilai tegangan lebih dari tegangan yang seharusnya.

2. Gangguan Akibat Beban Lebih (*Over Load*)

Gangguan beban lebih adalah jenis gangguan yang diakibatkan adanya kenaikan arus yang mengalir pada sistem yang disebabkan oleh beban berlebih. Gangguan ini tidak boleh dibiarkan secara terus-menerus, karena dapat merusak peralatan yang terhubung pada sistem tenaga listrik.

3. Gangguan Hubung Singkat (*Short Circuit*)

Gangguan hubung singkat adalah jenis gangguan yang disebabkan adanya lonjakan arus sangat besar yang terjadi pada sistem tenaga listrik. Ditinjau dari waktu berlangsungnya, gangguan hubung singkat terdiri dari dua macam, yaitu:

a. Gangguan Hubung Singkat Permanen

Gangguan hubung singkat permanen adalah gangguan hubung singkat yang berlangsung dengan waktu yang lama. Gangguan ini disebabkan oleh hubung singkat pada kabel, belitan trafo, dan generator.

b. Gangguan Hubung Singkat Temporer

Gangguan hubung singkat temporer atau sementara adalah gangguan hubung singkat yang disebabkan oleh alam, seperti sambaran petir, pohon disekitar jaringan distribusi listrik, ataupun keadaan tiupan angin yang kencang pada jaringan distribusi listrik.

Dampak gangguan hubung singkat pada jaringan distribusi yakni diantaranya dapat mengakibatkan:

- a. Turun tegangan pada sistem jaringan, atau bahkan pada daerah-daerah tertentu, tegangan hilang sama sekali.
- b. Terjadi pengaruh mekanis yang dinamis pada komponen instalasi listrik seperti kumparan trafo, isolator, dan lain-lain.
- c. Dapat menimbulkan pengaruh termis yang cukup tinggi untuk menaikkan suhu komponen-komponen instalasi listrik, hingga dapat merusak komponen instalasi listrik termasuk komponen proteksinya.

#### 4. Gangguan Frekuensi Jatuh

Gangguan frekuensi jatuh adalah gangguan yang menyebabkan frekuensi pada sistem bernilai lebih rendah dibandingkan dengan frekuensi yang seharusnya. Gangguan ini disebabkan karena lepasnya pembangkit ketika sedang beroperasi. Hal ini dikarenakan adanya gangguan di sisi pembangkit.

### 2.2.9 Penyebab Gangguan pada Sistem Tenaga Listrik

Sistem tenaga listrik merupakan suatu sistem yang melibatkan banyak komponen-komponen vital. Oleh karena itu, ada beberapa faktor yang menyebabkan terjadinya gangguan pada sistem tenaga listrik, antara lain sebagai berikut:

#### 1. Faktor Manusia (*Human Error*)

dalam proses kerja dari sistem tenaga listrik, banyak melibatkan semua aspek, khususnya manusia. *Human Error* disebabkan kesalahan atau kelalaian manusia dalam penanganan proses kerja dari sistem. Hal ini dikarenakan manusia dalam proses penanganan sistem, bekerja tidak sesuai dengan standar yang telah ditetapkan. Misalnya salah menyambung rangkaian, keliru dalam mengkalibrasi suatu piranti pengaman, dan sebagainya.

## 2. Faktor Internal

Faktor ini menyangkut gangguan-gangguan yang berasal dari sistem itu sendiri. Misalnya usia pakai komponen sudah lama (tua/sudah tidak layak pakai), kondisi komponen yang sudah aus, dan lain sebagainya. Hal ini bisa mengurangi sensitivitas *relay* pengaman, juga mengurangi daya isolasi peralatan listrik lainnya.

## 3. Faktor Eksternal

Faktor ini meliputi gangguan- gangguan yang bersal dari luar atau lingkungan di sekitar sistem. Misalnya cuaca, gempa bumi, banjir, dan sambaran petir. Di samping itu ada kemungkinan gangguan dari binatang, misalnya gigitan tikus, burung, kelelawar, ular, dan lain sebagainya.

### **2.2.10 Komponen Sistem Proteksi Tenaga Listrik**

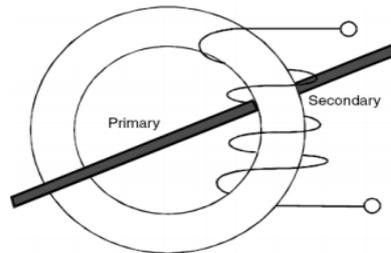
Berikut ini adalah komponen komponen ketenagaan yang umum untuk digunakan pada suatu sistem proteksi tenaga listrik:

#### **1. Trafo Arus (*Current Transformer*)**

Trafo arus atau bias di sebut *Current transformer* (CT) adalah trafo yang mengubah arus listrik skala besar ke skala yang lebih kecil jenis trafo ini yaitu trafo instrumen. Trafo ini banyak digunakan untuk keperluan pengukuran dan perlindungan. Komponen utama CT adalah kumparan induktif. Unjuk kerja CT akan dipengaruhi oleh aliran arus atau beban yang terhubung padanya. Jika arus yang mengalir tidak sefase dengan tegangan, maka dikatakan faktor dayanya tidak sama dengan 1.0. Faktor daya dapat mengikut atau mendahului dan kerugian yang diserap oleh trafo tidaklah tetap.

CT di gunakan karena dalam pengukuran arus tidak mungkin di lakukan secara langsung pada arus beban atau arus gangguan, hal ini di sebabkan arus sangat besar dan bertegangan sangat tinggi. Karakteristik CT di tandai oleh *current*

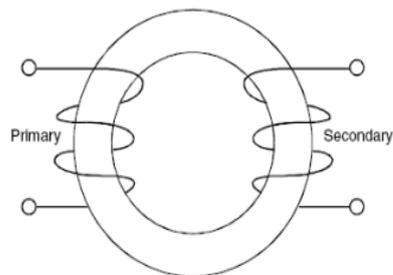
*transformer ratio* (CT) yang merupakan perbandingan antara arus yang di lewatkan oleh sisi primer dengan arus yang di lewatkan oleh sisi sekunder. Berdasarkan dari konstruksi belitan primer trafo arus memiliki dua (2) tipe yaitu *bar primary* dan *wound primary*.



**Gambar 2. 3** Tipe *bar primary*

(Sumber : <https://iwan78.files.wordpress.com/2011/04/sistem-proteksi.pdf>)

Konstruksinya mampu menahan arus hubung singkat yang cukup tinggi sehingga memiliki faktor thermis dan dinamis arus hubung singkat yang tinggi.



**Gambar 2. 4** Tipe *wound primary*

(Sumber : <https://iwan78.files.wordpress.com/2011/04/sistem-proteksi.pdf>)

Biasa digunakan untuk pengukuran pada arus rendah, burden yang besar, atau pengukuran yang membutuhkan ketelitian tinggi.

## **2. Potential Transformer**

*Potensial Transformer* adalah suatu peralatan listrik yang berfungsi menurunkan tegangan yang tinggi menjadi tegangan yang lebih rendah yang sesuai dengan setting relay. Dalam sistem tenaga listrik dikenal berbagai macam tipe dan konstruksi dari trafo sesuai dengan aplikasinya. Untuk aplikasi peralatan proteksi sistem tenaga listrik khususnya *relay*, trafo digunakan untuk mengatur besaran kuantitas sistem (arus atau tegangan) dan mentransformasikan ke level yang lebih rendah sebagai input pengukuran untuk *relay*. Trafo ini dikenal dengan sebutan *instrument transformer* yang terdiri dari trafo tegangan dan trafo arus.

Trafo tegangan yang digunakan untuk peralatan proteksi mempunyai prinsip yang sama dengan trafo daya pada sistem tenaga listrik. Perbedaan utama antara potential transformator dan trafo tegangan adalah potential trafo memiliki rating daya yang sangat kecil, dengan tegangan tinggi di sisi primer dan tegangan rendah di sisi sekundernya yaitu berkisar antara 100-120 Volt rms. Trafo tersebut digunakan untuk memberikan *sample* pengukuran tegangan sistem ke peralatan proteksi. *Potential trafo* berfungsi untuk memperkecil besaran tegangan pada sistem tenaga listrik menjadi besaran tegangan untuk sistem pengukuran atau proteksi dan dapat mengisolasi rangkaian sekunder terhadap rangkaian primer.

## **3. Jenis relay Proteksi**

*Relay* adalah suatu alat yang dapat memberikan indikasi suatu kondisi abnormal jika diberi energi oleh besaran-besaran sistem yang tepat. Pada prinsipnya, ketika kontak-kontak irelay menutup, maka rangkain pemutus (*breaker*) akan membuka/mentriapkan sistem sehingga gangguan dapat diisolir. Berikut adalah *relay* berdasarkan fungsinya:

### **1. Overcurrent relay**

*Overcurrent relay* adalah suatu *relay* dimana bekerjanya berdasarkan adanya kenaikan arus yang melewatinya. Agar peralatan tidak rusak bila dilewati

arus yang melebihi kemampuannya, selain peralatan tersebut diamankan terhadap kenaikan arusnya, maka peralatan pengamannya harus dapat bekerja pada jangka waktu yang telah ditentukan.

### 2. *Differential Relay*

*Differential Relay* prinsip kerjanya berdasarkan hukum *kirchoff*, dimana arus yang masuk pada suatu titik, sama dengan arus yang keluar dari titik tersebut. *Relay* ini dirancang untuk mendeteksi perbedaan serta membandingkan antara arus yang masuk dan keluar dizona proteksinya.

### 3. *Directional Relay*

*Directional Relay* adalah *relay* yang dirancang untuk mengidentifikasi perbedaan fasa antara fasa satu dengan yang lain. *Relay* ini akan bekerja ketika terjadi gangguan daya balik.

### 4. *Ground Fault Relay*

*Ground Fault Relay* adalah *relay* yang bekerja untuk mendeteksi adanya gangguan pada komponen jaringan ke tanah atau lebih tepatnya dengan mengukur besarnya arus residu yang mengalir ke tanah.

### 5. *Distance Relay*

*Distance Relay* yaitu *relay* yang digunakan untuk proteksi pada saluran transmisi karena *relay* jarak dapat mengukur impedansi untuk mencapai titik tertentu. *Relay* ini bekerja dengan mendeteksi adanya gangguan hubung singkat yang terjadi antara lokasi *relay* dan batas jangkauannya yang telah ditentukan.

### 4. Pemutus Tenaga (*Circuit Breaker*)

*Circuit Breaker* (CB) adalah salah satu peralatan pemutus daya yang berguna untuk memutuskan dan menghubungkan rangkaian listrik dalam kondisi

terhubung ke beban secara langsung dan aman, baik pada kondisi normal maupun saat terdapat gangguan.

Energi mekanik yang diperlukan untuk membuka kontak utama diperoleh dari gaya pegas, tekanan hidrolis, tekanan *pneumatic* atau dari kombinasi diantaranya. Pada saat CB memutuskan atau menghubungkan arus listrik akan timbul busur api sehingga digunakan beberapa bahan isolator seperti minyak, udara, gas, dan lain sebagainya.

#### 5. DC System Power Supply

DC System Power Supply merupakan pencatu daya cadangan yang terdiri dari *Battery* dan *Charger*. *Charger* berfungsi sebagai peralatan yang mengubah tegangan AC ke DC dan *Battery* berfungsi sebagai penyimpan daya cadangan. Sebagai peralatan proteksi, DC System Power Supply merupakan peralatan yang sangat vital karena jika terjadi gangguan dan kontak telah terhubung, maka DC System Power Supply akan bekerja yang menyebabkan CB membuka. *Charger* adalah sumber utama dari DC system power supply, karena charger adalah alat untuk merubah AC power menjadi DC power (*rectifier*).

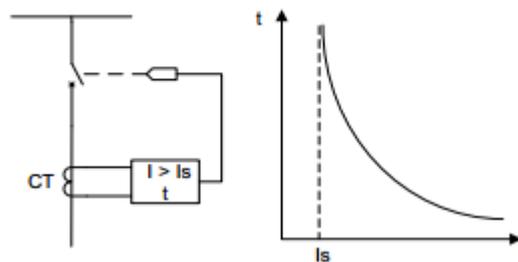
#### 2.2.11 Proteksi Overcurrent Relay (OCR)

Relay arus lebih (*over current relay*) adalah *relay* yang bekerja berdasarkan adanya kenaikan arus yang melebihi suatu nilai pengaman tertentu dan jangka waktu tertentu. Fungsi utama dari *relay* arus lebih ini adalah untuk merasakan adanya arus lebih kemudian memberikan perintah kepada pemutus beban (PMT) untuk membuka.

OCR dapat dibedakan menjadi beberapa jenis, yaitu:

### 1. OCR Invers Time

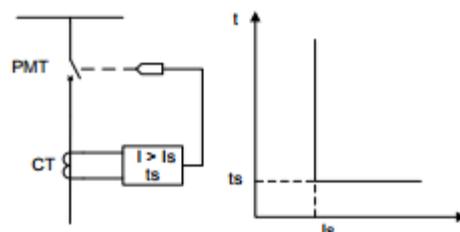
OCR *invers* adalah *relay* dimana waktu tundanya memiliki karakteristik tergantung pada besarnya arus gangguan. Semakin besar arus gangguannya maka waktu kerja *relay* akan semakin singkat atau cepat. Nilai arus gangguan berbanding terbalik dengan waktu kerja *relay*.



**Gambar 2. 5** Karakteristik OCR *invers*

### 2. OCR Definite Time

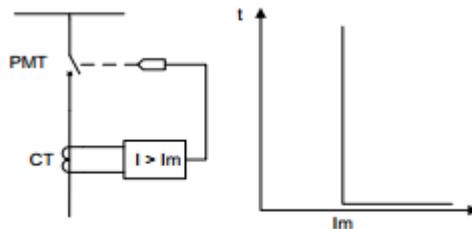
*Definite Time* adalah jenis relay arus lebih dimana jangka waktu relay mulai *pick-up* sampai selesainya kerja relay dapat diperpanjang dengan nilai tertentu dan tidak tergantung dari besarnya arus yang mengerjakannya (tergantung dari besarnya arus setting, melebihi arus setting maka waktu kerja *relay* ditentukan oleh waktu *settingnya*).



**Gambar 2. 6** Karakteristik OCR *definite time*

### 3. OCR *Instantaneous Time*

*Instantaneous Time* ini bekerja tanpa tunda waktu. *Relay* ini akan memberikan perintah pada PMT untuk memutuskan jaringan yang mengalami gangguan bila besarnya arus gangguan melebihi arus pengaturannya, dan jangka waktu kerja tanpa penundaan. jenis *relay* arus lebih yang paling sederhana dimana jangka waktu kerja *relay* yaitu mulai saat *relay* mengalami *pick-up* sampai selesainya kerja *relay* sangat singkat yakni sekitar 20-100 mili detik tanpa adanya penundaan waktu. Dibawah ini adalah grafik karakteristiknya.



**Gambar 2. 7** Karakteristik OCR *instantaneous time*

#### 2.2.12 *Setting Over Current Relay (OCR)*

##### 1. Arus setting OCR

*Setting relay* OCR pada sisi primer dan sisi sekunder *transformator* tenaga terlebih dahulu harus dihitung arus nominal *transformator* tenaga. Arus *setting* untuk *relay* OCR baik pada sisi primer maupun sekunder *transformator* tenaga adalah [4]:

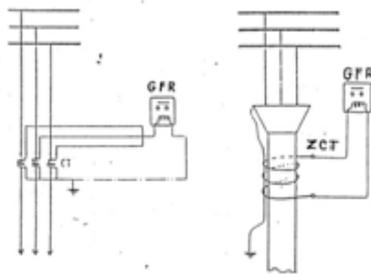
$$I_{set} \text{ (prim)} = \frac{1,2 \cdot I_p}{CT_p} \dots\dots\dots(2.3)$$

Keterangan:

- I set        = *Setting* Arus
- I<sub>p</sub>         = Arus Nominal Pada Sisi Primer
- C<sub>tp</sub>        = Ratio *transformator* arus pada sisi primer

### 2.2.13 *Ground Fault Relay (GFR)*

Relay hubung tanah ground fault relay (*Ground Fault Relay*) ini berfungsi untuk memproteksi SUTM/SKTM dari gangguan tanah. Menurut Djiteng Marsudi dalam Operasi Sistem Tenaga Listrik bahwa GFR (*ground fault relay*) maupun OCR (*Over Current Relay*) seringkali di gunakan sebagai pengaman utama atau main protection pada jaringan distribusi tegangan menengah



Gambar 2.11.  
Prinsip Kerja GFR

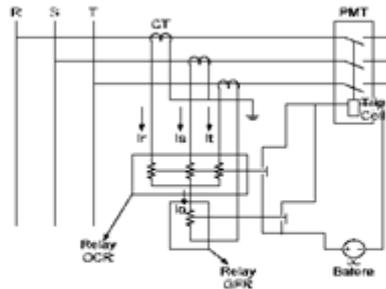
### Gambar 2. 8 Prinsip Kerja GFR

Gangguan satu fasa ke tanah sangat tergantung dari jenis pentanahan dan sistemnya. Gangguan satu fasa ke tanah umumnya bukan merupakan hubung singkat melalui tahanan gangguan, sehingga arus gangguannya menjadi semakin kecil dan tidak bisa terdeteksi oleh *Over Current Relay* (OCR). Dengan demikian diperlukan *relay* pengaman gangguan tanah. Prinsip kerja *Ground Fault Relay* (GFR) yaitu pada kondisi normal dengan beban

seimbang arus – arus fasa  $I_r$ ,  $I_s$ , dan  $I_t$  ( $I_b$ ) sama besar sehingga kawat netral tidak timbul arus dan *relay* gangguan tanah tidak dialiri arus. Namun bila terjadi ketidakseimbangan arus atau terjadi gangguan hubung singkat fasa ke tanah maka akan timbul arus urutan nol pada kawat netral. Arus urutan nol ini akan mengakibatkan *Ground Fault Relay* (GFR) bekerja. (Edil Herwan: 2009).

Untuk menentukan penyetelan (*setting*) *Ground Fault Relay* (GFR) terlebih dahulu diketahui besar arus hubung singkat yang mungkin terjadi, dan harus

diketahui terlebih dahulu impedansi sumber, reaktansi trafo tenaga, dan impedansi penyulang. Dan setelah ketiga komponen yang telah disebutkan, Barudapat di tentukan total impedansi jaringan. Total impedansi jaringan inilah yang akan langsung digunakan dalam perhitungan arus hubung singkat



Gambar 2.12.  
prinsip kerja *Ground Fault Relay*

Gambar 2. 9 Prinsip Kerja GFR

#### 2.2.14 Setting Ground Fault Relay (GFR)

##### 1. Arus setting GFR

Setting relay GFR pada sisi primer dan sisi sekunder *transformator* tenaga terlebih dahulu harus dihitung arus Nilai tersebut adalah nilai primer, untuk mendapatkan nilai *setting* sekunder yang dapat disetkan pada *relay* GFR, maka harus dihitung dengan menggunakan rasio trafo arus (CT) yang terpasang pada sisi primer maupun sisi sekunder *transformator* tenaga. Cara yang sama juga digunakan pada setting OCR.

$$I_{gfr} = \frac{0,2 \cdot I_{nom}}{CT} \dots\dots\dots(2.4)$$

Keterangan:

- $I_{gfr}$  = Arus pada relay GFR
- $I_{nom}$  = Arus nominal pada *transformator*
- CT = Rasio *Transformator*