

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Kajian Pustaka**

Dalam kajian pustaka ini terdapat beberapa referensi-referensi yang menjadi pedoman dalam melakukan penulisan tugas akhir ini. Referensi ini terkait dengan aspek kajian penulisan.

Jurnal yang berjudul “Analisa Koordinasi *Over Current Relay* dan *Ground Fault Relay* di Sistem Proteksi *Feeder Gardu Induk 20 kv Jababeka* ”, jurnal ini membahas tentang perhitungan dan nilai *setting relay* proteksi OCR dan juga GFR pada trafo di Gardu Induk Jababeka, serta menjelaskan tentang beberapa jenis *relay* yang ada di trafo secara umum. (Erwin Dermawan, Dimas Nugroho, Universitas Muhamadiyah Jakarta 2015).

Jurnal yang berjudul “Studi Koordinasi Proteksi Rele Arus Lebih dan *Ground Fault* pada Sistem Eksisting PT Vico Indonesia” jurnal ini menjelaskan tentang beberapa jenis gangguan yang sering terjadi yang dapat merusak komponen kelistrikan, serta menjelaskan tentang perhitungan *setting relay*.(Edo Yanuwirawan, Institut Teknologi Sepuluh November, 2015).

Jurnal yang berjudul “ Analisis Studi Rele Pengaman *Over Current Rele* dan *Ground Fault* pada Pada Pemakaian Distribusi Daya Sendiri pada PLTU Rembang” jurnal ini membahas tentang berbagai jenis gangguan yang sering terjadi dan *setting* Rele, serta menjelaskan tentang beberapa jenis *relay* yang ada di trafo secara umum .(Yoyok Triyono, Institut Teknologi Sepuluh November, 2015).

Fajrian, R.(2015) telah melakukan penelitian dengan judul “Analisa Koordinasi Proteksi *Overcurrent Relay* pada Jaringan Distribusi SUTM 20 kV dengan Menggunakan *Software ETAP*”, menganalisis bahwa OCR akan memerintah CB untuk trip jika terjadi nilai arus yang melebihi dari arus nominal pada *setting* alat, dan GFR juga akan memerintah CB untuk trip jika terjadi gangguan hubung singkat fasa ke tanah (*grounding*).

Amien Harist Hardiansyah (2016), melakukan analisis pada jaringan distribusi dengan judul “Analisis Koordinasi Proteksi pada Jaringan Distribusi Radial”, dimana pada penelitian ini, penelitian membahas tentang perhitungan nilai *setting* arus secara manual yang terdapat di Gardu Induk Bantul pada penyulang BNL 10 tegangan 20 kV.

## **2.2 Landasan Teori**

### **2.2.1 Pengertian Gardu Induk**

Gardu Induk merupakan suatu instalasi kelistrikan yang dibangun sebagai titik awal untuk mensuplai tenaga listrik dengan memiliki beberapa fungsi, diantaranya adalah 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 melalui tegangan tinggi, dan gardu distribusi melalui *feeder* tegangan menengah.

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

Gardu Induk menurut tegangannya dapat dikelompokkan menjadi 2 jenis.

1. Gardu Induk Transmisi : yaitu Gardu Induk yang mendapatkan daya dari saluran transmisi untuk kemudian menyalurkannya ke daerah beban seperti industri, kota dan lainnya. Gardu induk transmisi yang ada di PLN adalah tegangan tinggi dengan besar tegangan 150 kV dan tegangan tinggi 30 kV.
2. Gardu Induk Distribusi : merupakan Gardu Induk yang menerima tenaga dari Gardu Induk transmisi dengan menurunkan tegangannya melalui transformator tenaga menjadi tegangan menengah (20 kV, 12 kV, 6 kV) yang kemudian

tegangan tersebut diturunkan kembali menjadi tegangan rendah (127/220 V atau 220/380 V) sesuai kebutuhan konsumen di daerah tersebut.

### 2.2.3 Gardu Induk Menurut Penempatannya

Berdasarkan penempatan lokasi Gardu Induk, maka Gardu Induk dapat dikelompokkan menjadi beberapa jenis pula, yaitu:

1. *Indoor Substation* (Gardu Induk pasangan dalam) adalah Gardu Induk yang dimana peralatannya dipasang di dalam gedung atau ruang tertutup, bertujuan untuk keselarasan dengan daerah sekitarnya, serta menghindari bahaya kebakaran dan gangguan suara.
2. *Outdoor Substation* (Gardu Induk pasangan luar) merupakan Gardu Induk yang peralatannya berada diluar gedung atau di tempat terbuka, namun sebagian instrument berada di dalam gedung seperti alat kontrol dan juga 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, dimana sebagian peralatan Gardu Induk jenis ini dipasang di dalam ruang tertutup dan yang lainnya dipasang diluar dengan mempertimbangkan situasi dan kondisi lingkungan.
4. *Under Ground Substantion* (Gardu Induk pasangan bawah tanah) Gardu Induk jenis ini, umumnya berada di pusat kota, biasanya Gardu Induk ini dibangun dikarenakan tanah yang tidak memadai, maka komponen kelistrikannya dipasang dibawah bangunan tanah kecuali komponen sistem pendingin.
5. *Semi Under Ground Substantion* (Gardu Induk sebagian pasang dibawah tanah) yaitu Gardu Induk yang menempatkan peralatannya dibawah tanah, dan biasanya transformator daya

dipasang bawah tanah sedangkan peralatan lainnya dipasang di atas tanah.

6. *Mobile Substation* (Gardu Induk mobil) adalah Gardu Induk yang peralatannya ditempatkan diatas *triller* dengan tujuan agar mudah dipindahkan, sehingga dapat dioperasikan dan dibawa ke tempat yang membutuhkan, biasanya dipakai dalam keadaan darurat dan sementara waktu, guna pencegahan beban lebih dan digunakan di tempat pembangunan sampai pembangunan selesai.

#### **2.2.4 Komponen Utama pada Gardu Induk disisi Penyulang**

Komponen utama pada gardu induk disisi penyulang dapat dilihat dibawah ini:

1. Transformator Daya
2. *Instrument Transformer Disconnecting Switch*
3. *Circuit Breaker* (CB)
4. *Arrester*
5. Panel kontrol
6. Busbar
7. Sistem pentanahan titik netral

#### **2.2.5 Transformator Daya**

Transformator Daya adalah suatu peralatan tenaga listrik yang berfungsi untuk menyalurkan tenaga atau daya listrik dari tegangan tinggi ke tegangan rendah atau sebaliknya. Dalam operasi penyaluran tenaga listrik transformator dapat dikatakan jantung dari transmisi dan distribusi.



Gambar 2. 1 Transformator Daya

(Sumber : <http://tlb4atkpmakassar.blogspot.co.id> )

Dalam kondisi ini suatu transformator diharapkan dapat beroperasi secara maksimal (kalau bias secara terus menerus tanpa berhenti). Trafo juga berfungsi mentransformasikan daya listrik dengan merubah besaran tegangannya tanpa merubah frekuensinya dan juga memiliki fungsi sebagai pengaturan tegangan. Pada transformator daya terdapat trafo pentanahan yang berfungsi untuk mendapatkan titik netral dari trafo daya, peralatan ini disebut juga sebagai *Neutral Current Transformer* (NCT), ada juga NGR yaitu *Neutral Grounding Resistance* yaitu pentanahan pada trafo. Mengingat kerja keras dari suatu transformator seperti itu, maka cara pemeliharaan juga dituntut sebaik mungkin. Oleh karena itu tranformator harus dipelihara dengan menggunakan system dan peralatan yang benar, baik dan tepat. Untuk itu regu pemeliharaan harus mengetahui bagian-bagian tranformator dan bagian-bagian mana yang perlu diawasi melebihi bagian lainnya.

### 2.2.6 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:

1. Memberikan isolasi elektrik bagi sistem tenaga listrik
2. Tahan terhadap beban untuk berbagai tingkatan
3. Tingkat keandalannya tinggi
4. Secara fisik bentuk lebih sederhana

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

1. Trafo Arus : adalah instrumen yang digunakan untuk mengukur arus beban pada suatu rangkaian, dengan menggunakan trafo arus maka arus beban yang besar dapat diukur dengan menggunakan *amperemeter*.
2. Trafo tegangan : biasa disebut juga dengan potensial trafo yang memiliki fungsi:
  - Mentransformasikan nilai tegangan yang tinggi pada sisi primer ke nilai tegangan yang lebih rendah di sisi sekunder yang digunakan untuk pengukuran dan proteksi.
  - Mengisolasi rangkaian sekunder terhadap rangkaian primer, yaitu memisahkan instalasi pengukuran dan proteksi dari tegangan tinggi.

### **2.2.7 Disconetting 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.

### 2.2.8 *Circuit Breaker (CB)*

*Circuit Breaker* adalah sebuah instrumen pemutus yang memiliki fungsi sebagai pemutus ataupun penyambung arus beban nominal untuk kepentingan operasi. Selain itu juga pemutus beban juga harus dapat memutuskan arus hubung singkat dan arus gangguan lain, apabila terjadi gangguan pada saluran atau jaringan pada daerah yang diproteksinya.



Gambar 2. 2 *Circuit Breaker*

(Sumber : <http://electrical-engineering-portal.com>)

Untuk memilih pemutus yang baik, maka hendaknya menentukan nilai kapasitas pemutus arus yang memiliki nilai kapasitas tinggi, Karena pada jaringan 150 kV arus hubung singkat yang mungkin terjadi bernilai besar. Biasanya menggunakan rumus:

$$I_{nominal} = \frac{daya}{\sqrt{3}xv}$$

### 2.2.9 *Arrester*

*Arrester* merupakan suatu 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. Syarat dalam pemilihan *arrester* :

1. Tegangan percikan dan tegangan pelepasan yaitu tegangan pada terminalnya pada 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 memutuskan arus dinamik dan dapat bekerja terus seperti semula. Batas dari tegangan sistem dimana pemutusan arus susulan ini masih mungkin disebut dengan tegangan dasar dari *arrester*.



Gambar 2. 3 Bentuk *Lightning Arrester*

(Sumber : [www.ecvv.com](http://www.ecvv.com))

Jangkauan perlindungan *arrester* : untuk mengamankan terhadap surja hubung, maka *arrester* dipasang di antara 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 aman antara transformator dan *lightning arrester* maka menggunakan rumus sebagai berikut:

$$E_p = E_a + \frac{2AS}{v}$$

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.

### 2.2.10 Grounding

*Grounding* biasa disebut juga sebagai pentanahan, merupakan suatu faktor penting dalam suatu sistem tenaga kelistrikan, 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

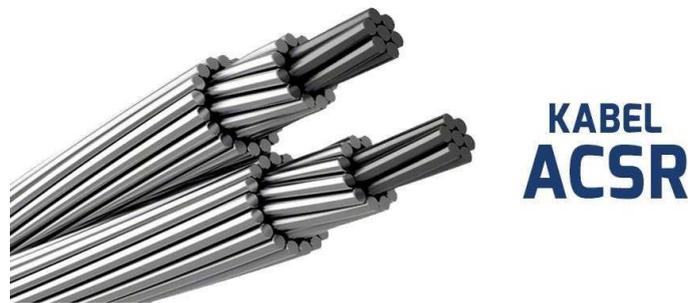
Pada jaringan *transmisi substation* tahanan pentanahan tidak melebihi 5 ohm, pada saluran tegangan tinggi tahanan yang diperbolehkan maksiml 15 ohm sedangkan pada saluran tegangan menengah tahanan yang digunakan maksimal 25 ohm. Tahanan pentanahan berkaitan dengan kandungan air dan suhu, maka tahanan pentanahan suatu sistem dapat saja berubah sesuai dengan perubahan iklim disetiap tahunnya.

### 2.2.11 Kabel

Kabel listrik adalah media untuk menghantarkan arus listrik ataupun informasi, kabel listrik biasanya terbentuk dari bermacam aneka bahan yang dapat mengantarkan listrik, biasanya terbuat dari tembaga, namun ada juga dari serat optik, baja dll.

### 2.2.12 ACSR

Kabel ACSR merupakan kawat penghantar yang terbuat dari aluminium berinti kawat baja, kabel ini digunakan untuk saluran transmisi tegangan tinggi, dimana jarak antara menara atau tiang berjauhan mencapai ratusan meter, maka dibutuhkan kemampuan kuat tarik penghantar yang lebih tinggi, untuk itu digunakan kawat penghantar ACSR.



Gambar 2. 4 *Aluminium Conduct Steel Reinforced (ACSR)*

(Sumber : [www.alkonusa.com](http://www.alkonusa.com))

### 2.2.13 Faktor-faktor Penyebab Gangguan

Adapun penyebab dari banyaknya gangguan pada sistem tenaga listrik biasanya disebabkan oleh beberapa factor, diantaranya:

#### 1. Faktor manusia

Faktor ini terjadi dikarenakan kelalaian ataupun kesalahan dalam memberikan perlakuan terhadap sistem, contoh yang sering terjadi antar lain adalah salah penyambungan dalam rangkaian, keliru dalam mengkalibrasi suatu piranti pengaman dan lain sebagainya.

#### 2. Faktor Internal

Faktor internal Faktor ini terjadi karena adanya beberapa gangguan pada sistem itu sendiri, contoh dari gangguannya adalah faktor usia pakai, keausan dan lain sebagainya, hal ini dapat menjadi penyebab kurangnya sensitivitas *relay* pengaman, juga mengurangi daya isolasi peralatan listrik

lainnya.

### 3. Faktor eksternal

Faktor ini merupakan gangguan yang berasal dari lingkungan sekitar, misalnya adanya saluran transmisi bawah tanah yang terkena *bulldozer*, saluran udara yang terkena sambaran petir ataupun pohon yang tumbang.

## 2.2.14 Jenis-Jenis Gangguan Internal

### 1. Busur api

Merupakan gangguan internal yang dipicu oleh penyambungan konduktor yang tidak sesuai atau tidak baik, Kontak-kontak listrik yang tidak baik, Kerusakan isolasi antara inti baut.

### 2. Gangguan pada sistem pendingin

Umumnya pendingin pada transformator adalah minyak transformator sendiri yang berfungsi sebagai isolasi sekaligus bahan pendingin. Namun ketika terjadi suatu gangguan didalam transformator maka minyak tersebut menimbulkan sejumlah gas yang dapat mengganggu sistem kerja transformator.

### 3. Arus sirkulasi pada transformator

## 2.2.15 Jenis-Jenis Gangguan Eksternal

Dalam sistem tenaga listrik biasanya gangguan eksternal yang terjadi dapat dibagi menjadi beberapa jenis, antara lain, gangguan tegangan lebih (*Over voltage*) dan juga gangguan hubung singkat (*Short circuit fault*).

### 1. *Over Voltage* atau Gangguan Tegangan Lebih

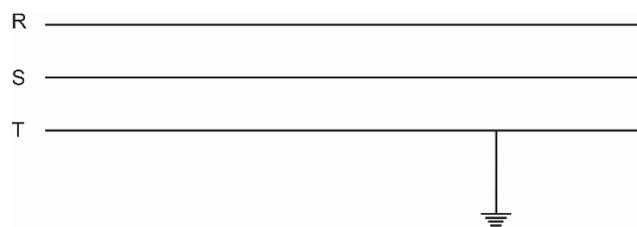
Gangguan tegangan lebih adalah gangguan yang disebabkan adanya tegangan pada sistem tenaga listrik yang lebih besar dari keadaan normalnya. Gangguan ini dapat terjadi karena beberapa faktor, diantaranya faktor internal dan eksternal. Gangguan yang disebabkan oleh faktor internal biasanya mencakup perubahan beban yang

mendadak, operasi pelepasan dan pemutusan yang mendadak dikarenakan adanya gangguan hubung singkat pada jaringan, serta kegagalan isolasi. Sedangkan dari faktor eksternal biasanya terjadi akibat adanya petir yang menyambar ke saluran atau kerebahan pohon akibat angin kencang.

## 2. *Short Circuit Fault* atau Gangguan Hubung Singkat

Gangguan hubung singkat pada sistem jaringan kelistrikan dapat diklasifikasi menjadi 4 jenis:

### a. Gangguan Hubung Singkat 1 Fasa ke Tanah



Gambar 2. 5 Gangguan Hubung Singkat 1 Fasa ke Tanah

(sumber: <http://www.wandynotes.com>)

Merupakan jenis gangguan yang disebabkan oleh adanya salah satu fasa yang terhubung dengan tanah sehingga menimbulkan hubung arus singkat.

Dengan rumus: 
$$I_{a1} = \frac{V_f}{Z_0 + Z_1 + Z_2} \dots\dots\dots(2.1)$$

Dimana:

$V_f$  : Tegangan dititik gangguan sesaat sebelum terjadinya gangguan

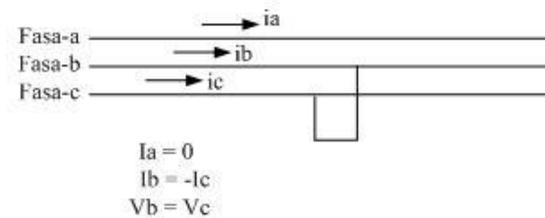
$Z_0$  : Impedansi urutan nol dilihat dari titik gangguan

$Z_1$  : Impedansi urutan positif dilihat dari titik gangguan

$Z_2$  : Impedansi urutan negatif dilihat dari titik gangguan

#### b. Gangguan Hubung Singkat 2 Fasa

Faktor ini terjadi dikarenakan kelalaian ataupun kesalahan dalam memberikan perlakuan terhadap sistem, contoh yang sering terjadi antar lain adalah salah penyambungan dalam rangkaian, keliru dalam mengkalibrasi suatu piranti pengaman dan lain sebagainya.



Gambar 2. 6 Gangguan 2 fasa

(sumber: <http://www.wandynotes.com>)

Dengan rumus:  $I_{a1} = \frac{V_f}{Z_0 + Z_1}$ .....(2.2)

Dimana:

$V_f$  : Tegangan dititik gangguan sesaat sebelum terjadinya gangguan

$Z_0$  : Impedansi urutan nol dilihat dari titik gangguan

$Z_1$  : Impedansi urutan positif dilihat dari titik gangguan

#### c. Gangguan Hubung Singkat 2 Fasa ke Tanah

Merupakan jenis gangguan yang terjadi dikarenakan adanya keterhubungan antara 2 saluran fasa ke tanah.



Gambar 2. 7 Gangguan 2 fasa ke tanah

(sumber: Putra, A. 2017)

Dengan rumus:  $I_{a1} = \frac{V_f}{Z_1 + \frac{Z_2 Z_0}{Z_2 + Z_0}} \dots\dots\dots(2.3)$

Dimana :

$V_f$  : Tegangan dititik gangguan sesaat sebelum terjadinya gangguan

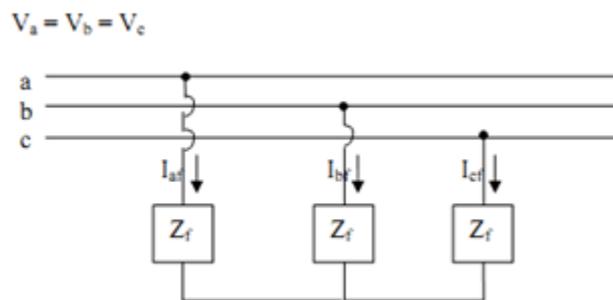
$Z_0$  : Impedansi urutan nol dilihat dari titik gangguan

$Z_1$  : Impedansi urutan positif dilihat dari titik gangguan

$Z_2$  : Impedansi urutan negatif dilihat dari titik gangguan

d. Gangguan Hubung Singkat 3 fasa

Merupakan jenis gangguan yang disebabkan karena ke 3 buah saluran atau jaringan saling menyatu.



Gambar 2. 8 Gangguan 3 fasa

(sumber: <https://ikkkholis27.wordpress.com>)

Dengan rumus:

$I_a = I_{a1} \dots\dots\dots(2.4)$

Atau

$$I_a = \frac{V_f}{Z_1} \dots\dots\dots(2.5)$$

Dimana:

$V_f$  : Tegangan dititik gangguan sesaat sebelum terjadinya gangguan

$Z_1$  : Impedansi ururan positif dilihat dari titik gangguan

$I_a$  : Arus pada fasa R

### 2.2.16 Pengertian Proteksi Tenaga Listrik

Proteksi merupakan suatu sistem kelistrikan yang memiliki fungsi sebagai pengisolasi, pemisah dan pemutus jika terdapat suatu gangguan dari suatu keadaan *abnormal*. Sistem Proteksi juga biasa disebut sebagai sistem pengaman, pengaman dapat dibagi menjadi 2 bagian yaitu:

#### 1. Pengaman utama

Merupakan pengaman yang sangat berperan penting dalam menjaga instrumen yang akan dilindungi, dan dia merupakan sistem proteksi utama, maka cara kerja sistem pengaman utama harus cepat sehingga apabila terjadi suatu gangguan dalam sistem, komponen yang mendapat gangguan cepat diputus dan tidak mengalami kerusakan secara luas.

#### 2. Pengaman cadangan

Adalah pengaman yang disiapkan setelah pengaman utama, pengaman ini bekerja apabila terjadi kegagalan dalam sistem pengaman utama, pengaman cadangan juga dapat dibagi menjadi 2 lagi yaitu:

- *Local back up* (pengaman cadangan terletak di satu lokasi yang sama dengan pengaman utama)
- *Remote back up* (pengaman cadangan terletak di tempat yang berbeda dari pengaman utama).

Sistem Proteksi pada suatu jaringan kelistrikan sangat berperan penting, terkhusus ketika terjadinya keadaan abnormal yang mendadak pada sistem jaringan, gangguan pada jaringan sistem kelistrikan dapat terjadi di pembangkit, baik itu pada jaringan transmisi maupun jaringan distribusi. Saat gangguan itu terjadi, maka peran sistem proteksi harus dapat mengidentifikasi gangguan tersebut dan menjadi pemutus bagian yang mendapat gangguan dengan secepat mungkin. *Relay* proteksi yang terdapat pada sistem proteksi merupakan komponen utama yang harus mengidentifikasi gangguan yang terjadi pada suatu sistem, *relay* proteksi akan bekerja secara otomatis dengan memerintah atau memberikan sinyal kepada CB untuk memisahkan peralatan dari gangguan sebelum terjadi. *relay* juga harus memiliki beberapa standar keandalan sehingga dapat menjadi pemutus yang benar-benar baik, diantara syarat standar keandalannya sebagai berikut:

a. Sensitivitas

Yaitu kemampuan sistem proteksi untuk mengidentifikasi ketidak normalan yang terjadi pada suatu jaringan dimana *relay* tersebut bekerja.

b. Selektivitas

Pengkoordinasian pada sistem proteksi, jika terdapat gangguan maka relay hanya memutus bagian yang diperlukan saja, tidak memutus jaringan yang luas.

c. Keamanan

Kemampuan sistem proteksi saat bekerja, sistem ini akan bekerja saat terjadi gangguan saja dan tidak akan berkerja jika tidak terjadi gangguan.

d. Kecepatan

Jika terjadi suatu gangguan pada jaringan maka sistem proteksi harus bisa bekerja dengan baik dengan waktu secepat

mungkin agar tidak menyebabkan kerusakan pada komponen yang terdapat pada jaringan tersebut.

### 2.2.17 Peralatan Proteksi Sistem Tenaga Listrik

#### 1. *Automatic Circuit Recloser* (Penutup Balik Otomatis)

Merupakan salah satu jenis rangkaian listrik yang terdiri dari pemutus tenaga (PMT) yang dilengkapi dengan kotak kontrol elektronik recloser, yaitu satu peralatan elektronik sebagai kelengkapan recloser dimana peralatan ini tidak berhubungan dengan tegangan menengah dan pada peralatan ini recloser dapat dikontrol secara manual. Di dalam kotak kontrol ini nilai setting pengaman pada recloser dapat ditentukan.

Alat ini mempunyai fungsi untuk mengamankan suatu sistem arus lebih yang disebabkan adanya gangguan hubung singkat. Alat ini bekerja secara otomatis dan mempunyai prinsip kerja dengan cara menutup balik dan membuka secara otomatis dengan pengaturan waktu yang dapat ditentukan sendiri. Dimana pada gangguan temporer, *recloser* akan berada pada posisi *lock out*, *recloser* akan menutup kembali setelah gangguan hilang, namun jika gangguan bersifat permanen maka *recloser* akan tetap berada pada posisi *lock out*.

#### 2. *Fuse Cute Out* (Pengaman Lebur)

Merupakan sebuah alat pemutus yang memiliki tujuan untuk menghilangkan gangguan yang bersifat permanen. Adapun cara kerjanya dengan melebur bagian dari komponen yang sudah disesuaikan ukurannya dan telah dirancang khusus untuk membuka rangkaian, dimana pelebur tersebut dipasang dan memutus arus jika arus tersebut sudah melebihi suatu nilai dalam waktu tertentu.

#### 3. *Sectionalizer* (Saklar Seksi Otomatis)

Merupakan salah satu alat pemutus yang bekerja secara otomatis guna membebaskan seksi-seksi yang mendapat gangguan dari suatu sistem jaringan distribusi, tetapi tidak memutus arus gangguan, karena sering dipakai dalam hubungannya dengan Penutup Balik Otomatis (PBO). Alat ini mempunyai fungsi sebagai pemutus rangkaian guna memisah saluran utama dalam beberapa seksi, agar pada gangguan yang bersifat permanen, luas jaringan ataupun daerah yang harus dibebaskan disekitar lokasi terjadinya gangguan menjadi seminimal mungkin.

#### 4. Relay Proteksi

Merupakan suatu piranti, baik elektronik maupun magnetik yang berfungsi untuk mendeteksi suatu kondisi ketika terjadi gangguan pada peralatan listrik yang bisa membahayakan atau tidak diinginkan, jika tanda keabnormalan itu muncul maka relay proteksi akan memberikan sinyal atau perintah untuk membuka pemutus tenaga (PMT) agar bagian yang terganggu dapat dipisahkan dari sistem yang normal secepat mungkin.

Relay proteksi dapat mengetahui adanya gangguan pada peralatan yang perlu diamankan dengan mengukur atau membandingkan besaran-besaran yang diterima dengan nilai besaran yang telah ditentukan. Besaran-besaran tersebut adalah arus, tegangan, daya, sudut fasa, frekuensi dan lain sebagainya.

##### **2.2.18 Proteksi *Over Current Relay* (OCR)**

Merupakan sebuah alat yang bekerja ketika ada gangguan hubung singkat yang berdampak pada kenaikan arus, oleh karena itu disebut relay arus lebih. *Relay* arus lebih dapat dikoordinasikan dengan *relay* lain atau dengan *Ground Fault Relay* (GFR) dengan memberikan tunda waktu yang sebenarnya merupakan inti dari setelan *relay* selain juga perhitungan setelan arus.

### 1. *Standard Inverse*

*Standard Inverse* adalah jenis *relay* arus lebih yang sangat baik untuk dikoordinasikan karena memiliki tunda waktu yang statis, serta memiliki setelan kurva arus dan waktu sehingga *relay* arus lebih jenis ini dapat memberikan tunda waktu berdasarkan besar atau tidaknya arus yang terukur. Semakin besar arus, maka semakin kecil waktu tundanya.

Ketentuan rumus umum dari *standard inverse* adalah:

$$t^{\alpha} = 0,14 / (I^{\alpha} - 1) \quad [tms] \quad \alpha \dots \dots \dots (2.6)$$

Dimana:

$t^{\alpha}$  : Time setting relay

tms : Standar waktu setiing relay

K : Konstanta standard inverse (0,14)

$\alpha$  : Konstanta standard inverse (0,02)

### 2. Prinsip Kerja OCR

Prinsip kerja over current relay adalah ketika adanya arus lebih yang dirasakan relay, baik disebabkan oleh adanya gangguan hubung singkat atau overload (beban lebih), kemudian relay akan memberikan perintah trip ke pemutus tenaga (PMT) sesuai dengan karakteristik waktunya.

### 3. Setting OCR

Arus setting untuk relay OCR pada sisi primer transformator tenaga yaitu:

$$I_{set} (prim) = 1,05 \times I_{nom} \text{ trafo} \dots \dots \dots (2.7)$$

Dimana:

$I_{set}$  : Setting arus

$I_{nom}$  : Arus nominal pada transformator

Untuk mendapatkan nilai setelan sekunder yang dapat disetkan pada relay OCR, maka harus dihitung dengan menggunakan ratio trafo (CT) yang terpasang pada sisi primer maupun sisi sekunder transformator tenaga.

$$I_{set} (sek) = I_{set} (prim) \times 1/(\text{ratio CT}) \dots\dots\dots(2.8)$$

### 2.2.19 Proteksi Ground Fault Relay (GFR)

*Relay* ini bekerja dengan mendeteksi melalui binary input yang ada pada relay sehingga memerintahkan binary output agar memberikan perintah bila ada hubungan singkat ke tanah. *Relay* ini bekerja ketika adanya kenaikan arus yang melebihi suatu nilai setting pengaman tertentu dalam jangka waktu tertentu, apabila terjadi gangguan arus hubung singkat fasa ke tanah.

#### 1. Prinsip Kerja GFR

Pada kondisi normal beban seimbang  $I_r$ ,  $I_s$ ,  $I_t$  sama besar, sehingga pada kawat netral tidak timbul arus dan relay hubung tanah tidak di aliri arus. *Relay* hubung tanah akan bekerja ketika timbul arus urutan nol pada kawat netral yang disebabkan oleh gangguan hubung singkat ke tanah ataupun ketidakseimbangan arus.

#### 2. Setting GFR

Arus *setting* untuk *relay* GFR pada sisi primer transformator tenaga adalah:

$$I_{set} (prim) = 10\% \times I_{nom} \text{ trafo} \dots\dots\dots(2.9)$$

Dimana:

$I_{set}$  : Setting arus

$I_{nom}$  : Arus nominal pada transformator

Arus *setting* untuk *relay* GFR pada sisi sekunder transformator tenaga adalah:

$$I_{\text{set}} (\text{sek}) = I_{\text{set}} (\text{prim}) \times 1/(\text{ratio CT}) \dots\dots\dots(2.10)$$

#### **2.2.20 Software ETAP 12.60**

*Electric Transient Analysis Program* (ETAP) merupakan salah satu software yang digunakan untuk sistem tenaga listrik. Software ini dapat bekerja secara offline untuk mensimulasikan tenaga listrik, dan juga dapat bekerja secara online untuk pengelolaan data *real time*. Dengan menggambarkan *single diagram* dari satu sistem jaringan maka dapat diketahui bagaimana kondisi suatu jaringan itu bekerja