

## **BAB II** **TINJAUAN PUSTAKA**

### **2.1 Tinjauan Pustaka**

Sebuah kajian pustaka terdapat beberapa pedoman untuk dijadikan referensi dalam penulisan tugas akhir. Referensi yang dibutuhkan guna menunjang hasil karya tulis yang baik dan memenuhi aspek penulisan.

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

Dari jurnal yang berjudul “Analisa Studi Rele Pengaman *Over Current Relay* dan *Ground Fault* pada Pemakaian Distribusi Daya Sendiri pada PLTU Rembang” pada jurnal tersebut menjelaskan tentang berbagai jenis gangguan yang sering terjadi dan *setting relay*, dan juga memberi penjelasan tentang beberapa jenis *relay* yang terdapat pada sebuah trafo secara umum. (Yoyok Triyono, Institut Teknologi Sepuluh November, 2015).

Dari jurnal yang berjudul “Analisa Koordinasi *Over Current Relay* dan *Ground Fault* di Sistem Proteksi *Feeder* Gardu Induk 20 KV Jababeka” pada jurnal tersebut membahas tentang perhitungan dan nilai *setting relay* proteksi OCR dan GFR pada sebuah trafo di GI Jababeka, juga menjelaskan beberapa jenis rele yang ada di trafo secara garis besar. (Erwin Dermawan, Dimas Nugroho, Universitas Muhammadiyah Jakarta, 2015).

Amien Harist Hardiansyah (2016), melakukan observasi analysis pada jaringan distribusi yang berjudul “Analisis Koordinasi Proteksi pada Jaringan Distribusi Radial”. Penelitian yang beliau lakukan memuat perhitungan nilai

*setting* arus secara manual yang terdapat pada Gardu induk Bantul pada BNL tegangan 20 KV.

Fajrian, R. (2015) beliau melakukan penelitian dengan judul “Analisa Koordinasi Proteksi *Over Current Relay* pada Jaringan Distribusi SUTM 20 KV dengan Menggunakan *Software* ETAP”. Melakukan analisis OCR akan memerintahkan CB untuk memutus arus jika terjadi arus yang melebihi dari pada arus normal pada *setting* alat.

## 2. 2 Landasan Teori

### 1.2.1 Pengertian Gardu Induk

Gardu Induk adalah suatu instalasi kelistrikan yang dibangun sebagai awal dari pensuplaian tenaga listrik dengan memiliki beberapa fungsi yang utama, diantara lain sebagai berikut:

1. Menjadi tempat pengawasan operasi sistem dan juga sebagai pengaturan pengamanan dari sebuah sistem tenaga listrik yang bekerja.
2. Mentransformasikan tenaga listrik dari tegangan tinggi ke gardu induk lainnya dan juga dapat mentransformasikan ke tegangan menengah.
3. Sebagai pengatur daya gardu induk lainnya melalui *feeder* tegangan menengah.

### 1.2.2 Gardu Induk Menurut Tegangannya

Gardu Induk dapat dikelompokkan menjadi dua jenis menurut tegangannya.

1. Gardu Induk Transmisi, Adalah Gardu Induk yang menyalurkan daya dari saluran transmisi lalu kemudian disalurkan kembali ke daerah beban seperti kawasan industri, perkotaan dan lain sebagainya. Gardu induk transmisi yang ada di PLN memiliki tegangan 150 KV dan tegangan tinggi 30 KV.
2. Gardu Induk Distribusi, adalah Gardu Induk yang menerima tenaga dari gardu induk transmisi dengan menurunkan tegangannya melalui transformator tenaga menjadi tegangan menengah (20 KV, 12 KV atau

6 KV) untuk kemudian tegangan tersebut diturunkan kembali menjadi tegangan rendah (127/220 V atau 220/380 V) sesuai dengan kebutuhan konsumen pada suatu daerah.

### **2.2.3 Gardu Induk Menurut Penempatannya**

Berdasarkan letak penempatan sebuah lokasi Gardu Induk, dapat dikelompokkan menjadi beberapa jenis, yaitu:

1. Gardu Induk Pasang Dalam (*Indoor Substation*) adalah sebuah Gardu Induk yang pemasangan peralatannya diletakkan didalam gedung atau ruang tertutup, dengan tujuan agar menghindari bahaya kebakaran dan gangguan suara, dan menjaga keselarasan dengan daerah sekitarnya.
2. Gardu Induk Pasang Luar (*Outdoor Substation*) adalah sebuah Gardu Induk yang pemasangan peralatannya diletakan diluar gedung atau ditempat yang terbuka, namun beberapa komponen berada didalam ruangan gedung seperti sistem kontrol dan alat ukur agar terhindar dari hujan juga gangguan lainnya. Gardu Induk seperti ini membutuhkan tanah yang cukup luas dan dari segi ekonomi biaya konstruksinya lebih murah serta sistem pendinginnya lebih mudah.
3. Gardu Induk sebagian pasang luar (*Combine Outdoor Substantion*) adalah sebuah gardu induk yang dimana sebagian peralatan Gardu Induk jenis ini dipasang didalam ruangan tertutup dan yang lainnya dipasang diluar untuk mempertimbangkan faktor lingkungan.
4. Gardu Induk pasang bawah tanah (*Under Ground Substantion*) adalah Gardu Induk yang umumnya berada di daerah perkotaan. Biasanya Gardu Induk ini dibangun karena tanah yang kurang memadai, maka komponen kelistrikannya dipasang dibawah bangunan tanah kecuali sistem pendingin.
5. Gardu Induk sebagian pasang dibawah tanah (*Semi Under Ground Substantion*) adalah Gardu Induk yang penempatan peralatannya dibawah tanah dan biasanya transformator daya diletakkan dibagian bawah dan sedangkan peralatan lainnya dipasang diatas tanah

6. Gardu Induk mobil (*Mobile Substation*) adalah gardu induk yang peralatannya ditempatkan diatas mobil dengan tujuan agar mempermudah apabila ingin dipindahkan, sehingga dapat dioperasikan dan dibawa ketempat yang lainnya jika dibutuhkan, biasanya gardu induk ini dipakai dalam keadaan darurat dan hanya sebagai gardu induk bantu keadaan darurat, mencegah terjadinya beban berlebihan dan dapat digunakan juga ditempat yang masih dalam tahap pembangunan.

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

Komponen utama apa saja yang ada pada gardu induk disisi penyulang dapat dilihat dibawah ini:

1. Transformator Daya
2. *Circuit Breaker* (CB)
3. *Arrester*
4. Panel Kontrol
5. Busbar
6. Sistem pentanahan titik netral
7. *Instrumental Transformer disconnecting switch*

#### **2.2.5 Transformator Daya**

Transformator Daya adalah suatu peralatan tenaga listrik yang berfungsi untuk menyalurkan tenaga listrik atau daya listrik dari tegangan yang lebih tinggi ke tegangan yang lebih rendah atau sebaliknya. Pada saat penyaluran tenaga listrik transformtor dapat dikatakan adalah jantung dari saluran transmisi dan saluran distribusi.

Pada saat kondisi suatu transformator diharapkan dapat bekerja dengan maksimal tanpa adanya suatu gangguan. Transformator juga berfungsi mentransformasikan daya listrik dengan merubah besara tegangan tanpa harus meruah pula frekuensinya juga berfungsi sebagai pengaturan tegangan. Pada sebuah transformator daya terdapat saluran pentanahan yakni berfungsi sebagai titik netral dari sebuah transformator,

disebut juga sebagai *Neutral Current Transformer* (NCT), ada pula *Neutral Grounding Resistance* (NGR) yaitu pentanahan pada sebuah trafo. Foto tampak Transformator Daya dapat dilihat pada gambar 2.1 dibawah ini.

### **Gambar 2. 1 Transformator Daya**

( Sumber : <http://electrobuzzzz.blogspot.com> )

Mengingat kerja sebuah transformator sangatlah berat maka harus



diimbangi dengan perawatan dan pemeliharaan yang sebaik mungkin. Oleh karena itu transformator haruslah dipelihara dengan menggunakan sistem dan peralatan yang baik, benar dan tepat. Untuk para petugas pemeliharaan harus mengetahui bagian transformator dan bagian yang harus lebih ekstra diawasi melebihi bagian yang lainnya.

#### **2.2.6 Transformator Instrumen**

Merupakan sebuah transformator yang memiliki fungsi sebagai alat pengukuran, dapat diukur juga sebagai transformator ukur, didesain secara

khusus untuk pengukuran dalam sistem tenaga listrik agar lebih akurat.

Keunggulan lain dari instrument transformator ini adalah:

1. Secara fisik bentuk dari transformator ini lebih sederhana
2. Memiliki tingkat keandalan yang cukup tinggi
3. Tahan terhadap beban untuk berbagai tingkatan
4. Dapat memberikan isolasi elektrik bagi sistem tenaga listrik

Transformator memiliki 2 jenis, yaitu transformator arus dan transformator tegangan, yang berfungsi sebagai perubah arus dan tegangan ke tingkat yang lebih rendah untuk pengoperasian *relay* atau metering.

1. Transformator Arus adalah sebuah instrument yang digunakan untuk mengukur beban arus pada suatu rangkaian, dengan menggunakan transformator arus tersebut maka arus beban yang besar dapat diukur dengan menggunakan *ampere meter*.
2. Transformator Tegangan dapat 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 untuk digunakan sebagai pengukuran dan proteksi dari tegangan listrik yang lebih tinggi.

### **2.2.7 Disconnecting Switch**

*Disconnecting Switch* adalah sebuah alat pemisah pada dasarnya berfungsi hamper menyerupai dengan *Circuit Breaker* (CB). Namun yang membedakannya adalah pemisah ini tidak dapat memutus jaringan jika terjadi arus berlebih atau arus gangguan. Pemisah pada gardu induk memiliki fungsi hanya memastikan jika ada sistem pada jaringan tidak dalam keadaan bertegangan. Foto tampak *Disconectting Switch* dapat dilihat pada gambar 2.2 dibawah ini.

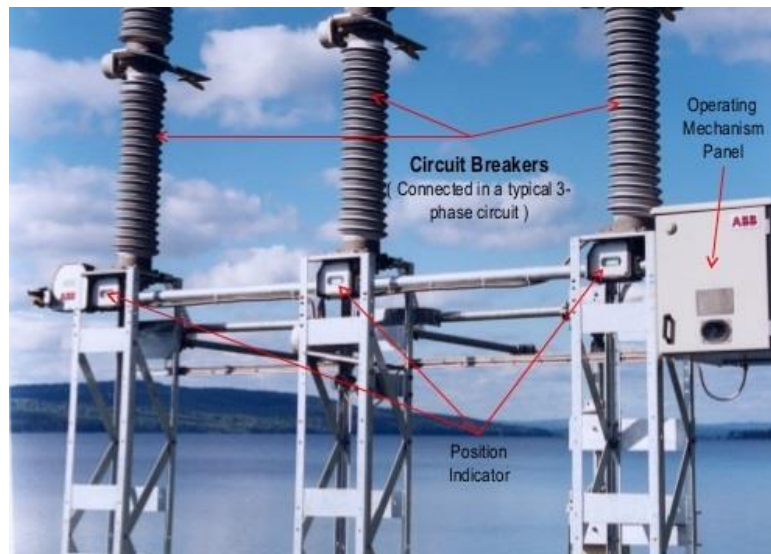


**Gambar 2. 2 *Disconnecting Switch***

( Sumber : <https://www.123rf.com> )

### **2.2.8 *Circuit Breaker (CB)***

*Circuit Breaker* adalah sebuah instrument pemutus yang memiliki fungsi sebagai pemutus atau penyambung arus beban nominal untuk kepentingan operasi sistem. Salah satu bahaya dari penggunaan arus listrik yang tidak benar jika terjadinya hubungan pendek dapat terjadi karena aliran listrik lebih besar daripada tahanan listrik sehingga menyebabkan arus meledak, memotong sirkit listrik dan menghentikan aliran listrik. Selain itu juga pemutus beban juga harus dapat memutuskan arus hubungan singkat dan arus gangguan lain, bila terjadi gangguan pada sebuah saluran atau jaringan yang ada pada daerah proteksi. Foto tampak *Circuit Breaker (CB)* dapat dilihat pada gambar 2.3 disamping ini.



**Gambar 2. 3 Circuit Breaker**

( Sumber : <http://engineering4read.blogspot.com> )

Untuk memilih pemutus yang baik maka akan lebih baik hendaknya menentukan nilai kapasitas pemutus arus yang sesuai. Agar memiliki nilai kapasitas yang tinggi, karena pada jaringan 150 KV arus hubung singkat yang mungkin terjadi bernilai besar bahkan dapat lebih. Dapat menggunakan rumus:

$$I_{nom} = \frac{P}{\sqrt{3} \times V} \dots\dots\dots(2.1)$$

Dimana:

$I_{nom}$  = Arus Nominal (A)

P = Daya titik (W)

V = Tegangan daya fasa ke netral (V)

### 2.2.9 Grounding (Pentanahan)

Biasa disebut juga dengan pentanahan, merupakan suatu faktor terpenting dalam sistem tenaga listrik, berfungsi untuk menetralkan listrik apabila terjadi kebocoran tegangan atau arus akan langsung dibuang kebumi, berarti sebuah sistem elektronika *ground* tegangan potensial sama



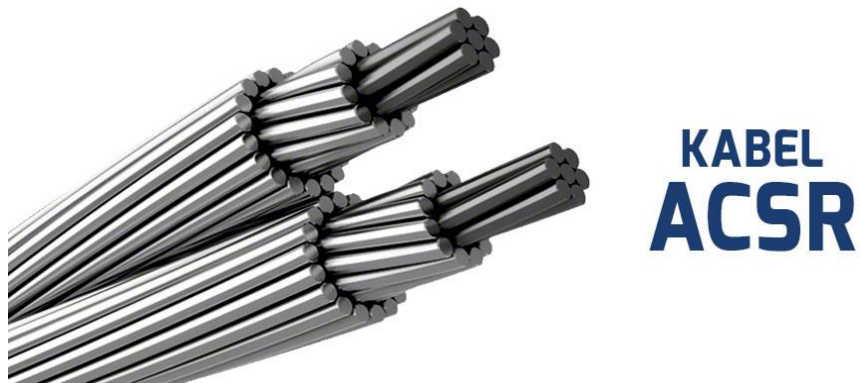
dengan tegangan nol. Maka *grounding* harus memiliki syarat sebagai berikut:

1. Mampu mengatasi gangguan berulang kali akibat surja hubung.
2. Sistem mekaniknya yang kuat namun mudah dalam pelayanannya.
3. Membuat jalur impedansi rendah ke tanah untuk pengamanan peralatan dan juga aman untuk pekerja.
4. Menggunakan bahan yang tahan terhadap korosi juga kondisi kimiawi tanah untuk menjaga sistem peralatan masih digunakan.

Pada sebuah jaringan transmisi *substation* tahanan pentanahan tidak dianjurkan melebihi 5 ohm, pada saluran tegangan tinggi tahanan yang dianjurkan maksimal 15 ohm dan jika pada saluran tegangan menengah tahanan yang digunakan maksimal 25 ohm. Tahanan pentanahan berkaitan dengan kandungan air dan juga suhu udara pada daerah sekitar, maka tahanan pentanahan sistem dapat berubah mengikuti iklim disetiap tahunnya.

#### **2.2.10 Kabel ACSR (*Aluminium Conduct Steel Reinforced*)**

Kabel ini merupakan kawat penghantar yang dibuat 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 kabel dengan kemampuan yang kuat untuk penghantar yang lebih tinggi, untuk itu digunakan penghantar ACSR. Foto tampak kabel ACSR dapat dilihat pada gambar 2.4 disamping ini.



**Gambar 2. 4 Kabel ACSR**

( Sumber : <https://tentangteknikumum.blogspot.com> )

### **2.2.11 Pengertian Proteksi Tenaga Listrik**

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

1. Pengaman Utama

Merupakan pengaman yang cukup berperan penting untuk menjaga instrument yang akan dilindungi, merupakan sistem proteksi utama, maka cara kerja dari sistem tersebut harus cepat sehingga apabila adanya gangguan dalam sistem, komponen yang mendapat gangguan cepat diatasi atau diputus tidak mengalami kerusakan secara luas.

2. Pengaman cadangan

Merupakan pengaman yang telah disiapkan setelah pengaman utama, pengaman ini bekerja apabila terjadi kegagalan dalam sistem pengaman utama, pengaman cadangan juga dapat dibagi menjadi dua, yaitu:

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

Sistem proteksi pada jaringan kelistrikan sangat memiliki peran penting, ketika terjadinya keadaan tidak normal yang mendadak pada sistem jaringan, pada jaringan sistem kelistrikan gangguan dapat terjadi di pembangkit, baik itu pada jaringan transmisi maupun jaringan distribusi. Saat terjadi gangguan, peran sistem proteksi harus dapat mengidentifikasi gangguan secara cepat dan menjadi pemutus bagian yang dapat mengganggu. *Relay* proteksi yang terdapat pada sistem proteksi merupakan komponen utama yang harus mengidentifikasi gangguan dan secara otomatis 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 cukup baik, diantaranya syarat standar keandalannya sebagai berikut:

a. Sensitivitas

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

b. Selektivitas

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

c. Keamanan

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

d. Kecepatan

Kemampuan sebuah sistem proteksi jika terjadi gangguan maka sistem harus dapat bekerja dengan baik dengan waktu secepat mungkin agar tidak menyebabkan kerusakan yang lebih pada komponen lain.

### **2.2.12 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 suatu peralatan elektronik dimana peralatan ini tidak berhubungan dengan tegangan menengah dan pada peralatan ini recloser dapat dikontrol secara manual. Nilai setting pengaman pada recloser dapat ditentukan didalam kotak kontrol.

Alat ini mempunyai fungsi untuk mengamankan suatu sistem arus lebih yang disebabkan adanya hubungan singkat. Alat ini bekerja secara otomatis dan memiliki prinsip kerja dengan cara menutup balik dan membuka secara otomatis dengan pengaturan waktu yang dapat ditentukan sendiri.

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

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

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

Adalah sebuah alat pemutus yang bekerja secara otomatis untuk membebaskan seksi-seksi yang mendapat gangguan dari sistem jaringan distribusi, tetapi tidak memutus arus gangguan, karena sering dipakai dalam penutup balik otomatis (PBO). Alat ini juga mempunyai fungsi sebagai pemutus rangkaian guna memisahkan saluran utama agar pada gangguan yang bersifat permanen, luar jaringan ataupun daerah yang harus

dibebaskan disekitar lokasi terjadinya gangguan menjadi seminimal mungkin.

#### 4. Relay Proteksi

Suatu piranti baik elektronik maupun magnetik yang berfungsi untuk mendeteksi kondisi ketika sesuatu terjadi pada peralatan listrik yang dapat membahayakan, jika tanda ketidak normalan muncul maka relay proteksi akan memberikan sinyal atau perintah untuk membuka pemutus tenaga (PMT) agar bagian yang terganggu dapat dipisahkan dari sistem secepat mungkin.

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

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

Merupakan sebuah alat yang bekerja ketika ada gangguan hubungan singkat yang memiliki dampak 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 waktu yang sebenarnya merupakan inti dari setelan relay selain itu juga perhitungan setelan arus.

#### 1. *Standard Inverse*

Standard inverse adalah jenis relay yang sangat baik untuk dikoordinasikan karena memiliki tunda waktu yang statis, serta memiliki setelan kurva arus dan waktu sehingga relay dapat lebih 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:

$$t = \frac{0,14 \times TMS}{\left(\frac{I_{fault}}{I_{set}}\right)^{0,02} - 1} \dots\dots\dots (2.2)$$

$$TMS = \frac{t \times \left( \left( \frac{I_{fault}}{I_{set}} \right)^{0,02} - 1 \right)}{0,14}$$

Dimana :

t : Waktu (s)

tms : Standar waktu setting relay

I fault : Arus gangguan (A)

I set : *Setting* Arus (A)

## 2. Prinsip Kerja OCR

Prinsip kerja OCR ketika adanya arus lebih yang di rasakan relay disebabkan oleh adanya gangguan hubungan singkat atau beban berlebih, kemudian relay akan memberikan perintah trip kepemutus tenaga (PMT) sesuai dengan karakteristik waktunya.

## 3. *Setting* OCR

Arus *Setting* untuk *relay* OCR pada sisi primer transformator tenaga yaitu:

$$I_{set \text{ (sekunder)}} = I_{set \text{ (primer)}} \times \frac{1}{Rasio \text{ CT}} \dots\dots\dots(2.3)$$

Dimana

$I_{Set \text{ (sekunder)}}$  = *Setting* Arus sekunder (A)

$I_{set \text{ (primer)}}$  = *Setting* Arus primer (A)

Untuk mendapatkan nilai setelan sekunder yang dapat di set pada *relay* OCR, maka haruslah dihitung dengan menggunakan rasio trafo (CT) yang harus terpasang pada sisi primer maupun sisi sekunder pada transformator tenaga.

### 2.2.14 **Proteksi *Ground Fault Relay* (GFR)**

*Relay* ini bekerja dengan melakukan pendeteksian melalui binary input yang ada pada *relay* sehingga memerintahkan binary output agar memberikan perintah apabila ada hubung singkat ke tanah. *Relay* ini bekerja ketika adanya kenaikan arus yang melebihi suatu nilai *setting*

pengaman tertentu dalam jangka waktu tertentu yang telah ditetapkan, apabila terjadi gangguan arus hubung singkat fasa ke tanah.

### 1. Prinsip Kerja GFR

Pada Kondisi Normal beban seimbang dan tidak ada gangguan, sehingga pada kawat netral tidak timbul arus dan juga pada relay yang terhubung ke tanah tidak dialiri arus. *Relay* hubung ke tanah akan bekerja apabila timbul arus urutan nol pada kawat netral yang disebabkan oleh gangguan hubung singkat ke tanah ataupun ketidak seimbangan arus.

### 2. *Setting* GFR

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

$$I_{\text{set (primer)}} = 10\% \times I_{\text{nom trafo}} \dots\dots\dots(2.4)$$

Dimana

$$I_{\text{set}} = \textit{Setting Arus (A)}$$

$$I_{\text{nom}} = \textit{Arus nominal pada transformator (A)}$$

Untuk mendapatkan nilai *setting* GFR yang benar haruslah menggunakan data yang sama dengan yang terdapat pada trafo.

### 2.2.15 Software ETAP

*Electric Transient Analysis Program* (ETAP) adalah 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*. Untuk menggambarkan *single diagram* dari satu sistem jaringan maka dapat diketahui bagaimana kondisi suatu jaringan itu bekerja.