

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Kajian Pustaka

Berikut ini merupakan beberapa referensi penelitian yang pernah dilakukan untuk mendukung penulisan tugas akhir ini, yaitu

Hafid Mahmudi, (2016) melakukan penelitian mengenai perhitungan *setting relay* arus lebih dan *relay* hubung tanah pada diameter 1 By Line di GIS PLTU 2 Jateng Adipala Cilacap. Penelitian ini menggunakan metode perhitungan rumus dan kemudian di bandingkan dengan yang ada di lapangan. Dari penelitian ini dapat disimpulkan bahwa system proteksi yang memenuhi sensitifitas, keandalan, selektifitas dan kecepatan yang semuanya bergantung pada ketetapan *setting* peralatan proteksinya.

Yoga Aditama, (2016) melakukan penelitian mengenai Analisis waktu kerja OCR *incoming* dan *outgoing feeder* WG-3 di PLTA Wonogiri. Penelitian ini menggunakan metode perhitungan rumus dan kemudian dibandingkan dengan yang ada di lapangan. Dari penelitian ini dapat disimpulkan bahwa Koordinasi system proteksi sangat diperlukan untuk mengamankan peralatan pada pembangkit serta menjaga mutu penyaluran tenaga listrik. Pengaturan ulang OCR pada sisi *incoming* dan *outgoing feeder* dilaksanakan dengan mengetahui waktu kerja relay pada *setting* yang ada.

Rifa Setiawan, (2018) melakukan penelitian mengenai Analisa koordinasi OCR dan GFR di system proteksi Gardu Induk 150 kV Kentungan Sleman. Penelitian ini menggunakan metode perhitungan rumus lalu dibandingkan dengan yang ada di lapangan dan kemudian disimulasikan menggunakan *software* ETAP. Dari penelitian ini dapat disimpulkan bahwa nilai hasil *setting relay* pada bagian sisi penyulang memiliki waktu kerja *relay* lebih cepat dibandingkan dari nilai *setting* waktu kerja *relay*

pada bagian *incoming*, hal ini karena jarak mempengaruhi hasil gangguan yang terjadi, semakin dekat jarak lokasi gangguan maka semakin kecil nilai waktu kerja *relay*.

Muhammad Hanafi R, (2017) melakukan penelitian mengenai *Setting Over Current Relay* (OCR) pada *incoming feeder*, *outgoing feeder* dan *recloser* di PT. PLN (Persero) Rayon Surakarta Kota. Penelitian ini menggunakan metode hitung menggunakan rumus lalu membandingkan hasil data yang diperoleh dengan data yang ada di lapangan. Dari penelitian ini dapat disimpulkan bahwa untuk mengoptimalkan kerja *relay – relay*, maka *relay – relay* tersebut harus di *setting* agar dapat bekerja dengan selektif, sehingga system proteksi dapat bekerja secara koordinatif.

## **2.2 Landasan Teori**

### **2.1.1 Gardu Induk**

Gardu Induk merupakan suatu instalasi yang berfungsi sebagai titik awal untuk mensuplai energi listrik. Gardu Induk memiliki beberapa fungsi yaitu

1. Mentransformasikan tenaga listrik tegangan tinggi yang satu ke tegangan yang lainnya
2. Tempat pengukuran pengawasan operasi dan juga pengaturan pengamanan dari system tenaga listrik
3. Pengaturan daya ke Gardu Induk lain melalui tegangan tinggi dan gardu distribusi melalui *feeder* tegangan menengah

### **2.1.2 Gardu Induk menurut Pemasangannya**

Berdasarkan pemasangannya, Gardu Induk dapat dibedakan menjadi 4 macam yaitu

1. Gardu Induk Pasang Luar (*Outdoor Substation*)

Gardu Induk pasang luar adalah Gardu Induk yang peralatannya berada di luar bangunan, walaupun ada beberapa peralatan yang lain berada di dalam bangunan seperti panel control, *switch board*, dan baterai. Gardu Induk jenis ini memerlukan tanah yang luas tapi biaya konstruksinya lebih murah dan system pendinginnya murah

2. Gardu Induk Pasang Dalam (*Indoor Substation*)

Gardu Induk pasang dalam adalah Gardu Induk yang peralatannya berada di dalam sebuah bangunan, yang bertujuan untuk menyesuaikan dengan daerah sekitarnya dan untuk menghindari dari bahaya kebakaran dan gangguan suara

3. Gardu Induk Setengah Pasang Luar (*Combine Outdoor Substation*)

Gardu Induk setengah pasang luar adalah Gardu Induk yang sebagian peralatannya dipasang didalam sebuah bangunan dan sebagiannya lagi dipasang diluar bangunan dengan mempertimbangkan kondisi lingkungan sekitar

4. Gardu Induk Pasang Bawah Tanah (*Combine Outdoor Substation*)

Gardu Induk pasang bawah tanah adalah Gardu Induk yang hampir semua peralatannya dipasang dalam bangunan bawah tanah kecuali system pendinginnya yang tetap dipasang diatas tanah. Biasanya Gardu Induk jenis ini berada di tengah kota.

### **2.1.3 Gardu Induk Menurut Tegangannya**

Berdasarkan tegangannya, Gardu Induk dibedakan menjadi 2 jenis yaitu

1. Gardu Induk Transmisi

Gardu Induk Transmisi adalah Gardu Induk yang mendapat daya dari saluran transmisi dan kemudian menyalurkannya ke daerah beban seperti kota, industri dan lainnya. Gardu Induk transmisi yang ada di PLN adalah tegangan tinggi 150 kV dan tegangan tinggi 70 kV

2. Gardu Induk Distribusi

Gardu Induk Distribusi adalah Gardu Induk yang menerima tenaga listrik dari Gardu Induk transmisi dengan menurunkan tegangannya melalui transformator tenaga menjadi tegangan menengah (20 kV, 12 kV, atau 6 kV)

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

#### **2.1.4 Komponen – Komponen Gardu Induk**

##### **1. Transformator Daya**

Transformator Daya adalah suatu komponen tenaga listrik yang berfungsi untuk menyalurkan dan mentransformasikan daya listrik dari tegangan tinggi ke tegangan rendah atau sebaliknya. Transformator daya merupakan komponen sangat penting dalam pendistribusian daya listrik, maka trafo harus diberi system proteksi yang memadai agar mencegah terjadinya kerusakan akibat adanya gangguan.



Gambar 2.1 Transformator Daya

##### **2. Instrumen Transformator**

Instrumen transformator merupakan transformator yang berfungsi sebagai alat pengukuran dan biasa disebut sebagai transformator ukur, dirancang khusus sebagai alat ukur dalam system tenaga listrik. Kelebihan dari instrument transformator ini adalah

- a. Tahan terhadap beban untuk berbagai tingkatan

- b. Memberikan isolasi elektrik bagi system tenaga listrik
- c. Memiliki tingkat keandalan yang tinggi
- d. Bentuk fisik yang sederhana

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

#### 1. Transformator Arus (CT)

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

#### 2. Transformator Tegangan (PT)

Transformator tegangan bias 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

### **2.1.5 *Disconnecting Switch***

*Disconnecting switch* biasa disebut juga sebagai pemisah, yaitu yang memiliki fungsi hamper sama dengan *Circuit Breaker (CB)*, namun *disconnecting switch* tidak dapat memutus jaringan jika terjadi arus gangguan tetapi memiliki fungsi untuk memastikan jika system pada jaringan tidak dalam keadaan bertegangan.

### 2.1.6 *Circuit Breaker (CB)*

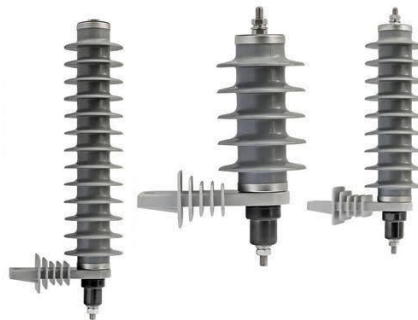
*Circuit Breaker* merupakan komponen pemutus pada rangkaian listrik, biasanya *Circuit Breaker* bekerja pada saat terjadi arus hubung singkat atau ada arus gangguan lain. Untuk menentukan pemutus biasanya menggunakan rumus

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

### 2.1.7 *Arrester*

*Arrester* merupakan salah satu komponen yang penting dalam system tenaga listrik yang berfungsi untuk melindungi instalasi listrik atau peralatan listrik saat terjadi lonjakan tegangan. Ada beberapa syarat dalam pemilihan *arrester* yaitu

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 jatuh tegangan
2. *Arrester* harus mampu memutuskan arus dinamik dan dapat bekerja terus seperti semula. Batas dari tegangan system dimana pemutusan arus susulan ini masih mungkin disebut dengan tegangan dasar dari *arrester*.



Gambar 2.2 *Arrester*

Jangkauan perlindungan *arrester* yaitu untuk mengamankan instalasi listrik terhadap surja hubung, maka *arrester* dipasang di antara transformator, yang menjadi tujuan utama perlindungan ini dan pemutus bebannya selain itu *arrester* dapat menyerap surja dari pemutus arus pembangkit. Dalam menentukan jarak aman antara transformator dan *lightning arrester* maka menggunakan rumus sebagai berikut.

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

dimana :

$E_p$  : puncak surja yang datang

$E\alpha$  : tegangan pelepasan *arrester* (kA)

A : kecurangan 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

### **2.1.8 Grounding**

*Grounding* atau petanahan merupakan salah satu komopnen yang penting dalam instalasi listrik. Sistem pertanahan yang baik harus memiliki syarat-syarat sebagai berikut

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

Pada jaringan transmisi tahanan *grounding* tidak melebihi 5 ohm dan pada saluran tegangan tinggi tahanan yang diperbolehkan maksimal 15 ohm sedangkan pada saluran tegangan menengah tahanan yang diperbolehkan maksimal 25 ohm. Tahanan petanahan berkaitan berhubungan dengan kandungan air dan suhu, jadi tahanan petanahan suatu system, dapat saja berubah sesuai dengan perubahan iklim.

### **2.1.9 Kabel**

Kabel merupakan media untuk menghantarkan arus listrik yang terdiri dari konduktor dan isolator. Biasanya kabel terbuat dari tembaga namun ada juga yang terbuat dari baja dan lain-lain

### **2.1.10 Aluminium Conduct Steel Reinforced (ASCR)**

Kabel ASCR merupakan kawat penghantar aluminium berinti kawat baja. Kabel ini digunakan untuk saluran transmisi tegangan tinggi, biasanya kabel ini digunakan jika jarak antara Menara berjarak ratusan meter, maka digunakan kawat penghantar ASCR yang memiliki kemampuan kuat Tarik penghantar yang lebih tinggi.

### **2.1.11 Jenis Jenis Gangguan**

1. Gangguan Internal
  - a. Gangguan pada system pendingin  
Pendingin pada transformator yaitu berupa minyak transformator yang berfungsi untuk isolasi sekaligus juga untuk pendingin.
  - b. Busur api  
Terjadinya busur api disebabkan oleh :
    - 1) Cara penyambungan konduktor yang tidak baik
    - 2) *Partial Discharge*
    - 3) Kerusakan isolasi pada baut-baut penjepit inti
2. Gangguan Eksternal
  - a. Beban Lebih (*Over Load*)



Transformator tenaga dapat beroperasi secara kontinu pada beban nominal. Bila beban lebih besar dari beban nominal, maka transformator akan berbeban lebih dan akan menimbulkan arus lebih yang mengakibatkan pemanasan lebih. Hal ini akan menurunkan kemampuan isolasi dari transformator tersebut.

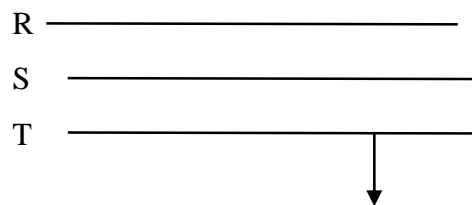
b. Sambaran Petir

Sambaran petir merupakan suntikan muatan listrik. Suntikan muatan ini dapat mengakibatkan tegangan lebih pada transformator. Hal ini dapat merusak isolasi dari transformator

c. Hubung Singkat (*Short Circuit*)

Gangguan hubung singkat pada system tenaga listrik dapat dibedakan menjadi 4 jenis yaitu :

1) Gangguan hubung singkat 1 fasa ke tanah



Gambar 2.3 Gangguan hubung singkat 1 fasa ke tanah

Gangguan ini disebabkan karena adanya salah satu fasa yang terhubung dengan tanah sehingga menimbulkan hubung singkat.

Dengan Rumus :

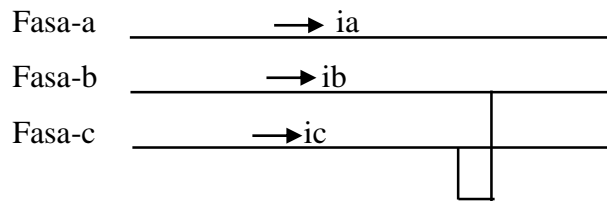
$$I_{\alpha 1} = \frac{V_f}{Z_0 + Z_1 + Z_2} \dots\dots\dots (2.3)$$

dimana :

$V_f$  : Tegangan dititik gangguan sesaat sebelum terjadinya gangguan

- Z0 : Impedansi urutan nol dilihat dari titik gangguan
- Z1 : Impedansi urutan positif dilihat dari titik gangguan
- Z2 : Impedansi urutan negative dilihat dari titik gangguan

2) Gangguan hubung singkat 2 fasa



Gambar 2.4 Gangguan hubung singkat 2 fasa

Gangguan ini terjadi karena adanya kesalahan dalam penyambungan rangkaian, keliru dalam mengkalibrasi suatu piranti pengaman.

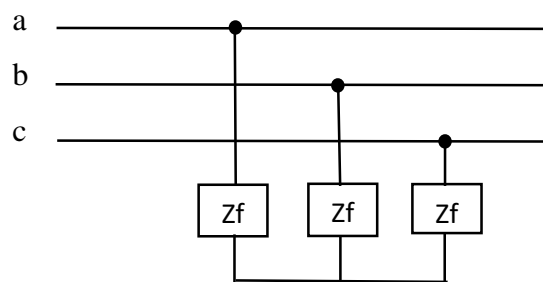
Dengan Rumus :

$$I\alpha 1 = \frac{Vf}{z_0+z_1} \dots\dots\dots (2.4)$$

dimana :

- Vf : Tengan dititik gangguan sebelum terjadinya gangguan
- Z0 : Impedansi urutan nol dilihat dari titik gangguan
- Z1 : Impedansi urutan positif dilihat dari titik gangguan

3) Gangguan hubung singkat 3 fasa



Gambar 2.5 Gangguan hubung singkat 2 fasa

Gangguan ini disebabkan karena ke 3 buah jaringan saling menyatu.

Dengan Rumus :

$$I\alpha = \frac{Vf}{Z1} \dots\dots\dots (2.5)$$

dimana:

Vf : Tegangan dititik gangguan sesaat sebelum terjadinya gangguan

Z1 : Impedansi urutan positif dilihat dari titik gangguan

Ia : Arus pada fasa R

### **2.1.12 Sistem Proteksi Tenaga Listrik**

Sistem proteksi merupakan system pengaman pada peralatan yang terpasang pada system tenaga listrik, misalnya generator, transformator dan lain-lain. Sistem proteksi bekerja untuk merespon terhadap kondisi abnormal operasi system tenaga listrik tersebut dan mengidentifikasi gangguan dengan secepat mungkin agar gangguan yang terjadi tidak sampai merusak komponen-komponen instalasi listrik. Sistem proteksi harus memiliki beberapa syarat keandalan yaitu

1. Kepekaan (*Sensitivity*)  
Yaitu system proteksi harus dapat mendeteksi gangguan dengan rangsangan minimum dari sumber gangguan
2. Selektifitas (*Selectivity*)  
Yaitu system proteksi harus selektif dan hanya bekerja pada system yang terkena gangguan saja
3. Kecepatan (*Speed*)

Yaitu system proteksi harus bekerja secepat mungkin agar meminimalisir adanya kerusakan pada komponen – komponen listrik akibat adanya gangguan

4. Keamanan (*Security*)

Yaitu kemampuan system proteksi saat bekerja, system ini akan bekerja saat terjadi gangguan saja dan tidak bekerja jika tidak terjadi gangguan

### **2.1.13 Komponen Proteksi Sistem Tenaga Listrik**

Sistem proteksi tenaga listrik memiliki beberapa komponen-komponen penting yaitu

1. *Automatic Circuit Recloser*

*Automatic Circuit Recloser* atau penutup balik otomatis yaitu jenis rangkaian listrik yang terdiri dari pemutus tenaga (PMT) yang dilengkapi dengan kotak control elektronik recloser, yaitu suatu peralatan elektronik dimana peralatan ini tidak berhubungan dengan tegangan menengah dan pada peralatan ini recloser dapat dikontrol secara manual. Di kotak control ini nilai setting pengaman recloser dapat ditentukan. *Automatic Circuit Recloser* ini memiliki fungsi untuk mengamankan suatu system arus lebih yang disebabkan adanya gangguan hubung singkat. Alat ini bekerja secara otomatis, prinsip kerja dari alat ini yaitu dengan cara menutup balik dan membuka secara otomatis dengan pengaturan waktu yang dapat ditentukan sendiri.

2. *Fuse Cut Out*

*Fuse Cut Out* adalah sebuah alat pemutus yang mempunyai tujuan untuk menghilangkan gangguan yang bersifat permanen. Cara kerja alat ini yaitu dimana pelebur tersebut dipasang dan akan memutus arus jika arus tersebut sudah melebihi suatu nilai dalam waktu tertentu.

3. *Arrester*

*Arrester* merupakan suatu alat yang berfungsi sebagai pengaman instalasi listrik dari gangguan tegangan lebih akibat sambaran petir. Arrester ini akan menstabilkan tegangan arus listrik saat terjadi lonjakan sehingga mampu melindungi berbagai peralatan listrik akibat lonjakan tegangan. Cara kerja dari arrester ini yaitu membuang kelebihan tegangan listrik ke system pembumian / *grounding*.

#### 4. Relay

Relay merupakan suatu alat yang berfungsi untuk mendeteksi suatu kondisi pada saat terjadi gangguan pada instalasi listrik yang dapat menimbulkan bahaya. Cara kerja relay yaitu jika relay mendeteksi adanya tanda ke abnormalan maka relay akan memberikan sinyal atau perintah untuk membuka pemutus tenaga (PMT) agar bagian yang terganggu dapat dipisahkan dari system yang normal secepat mungkin.

#### **2.1.14 Sistem Proteksi *Over Current Relay* (OCR)**

Sistem proteksi OCR merupakan sebuah alat yang bekerja pada saat ada gangguan hubung singkat yang berdampak dengan naiknya arus. Hubung singkat merupakan hubungan konduksi sengaja / tidak sengaja yang melalui impedansi yang cukup rendah antara dua atau lebih titik yang dalam keadaan normalnya mempunyai beda potensial.

*Standard Inverse* merupakan jenis relay arus lebih yang sangat baik untuk dikoordinasikan karena memiliki tunda waktu yang statis dan mempunyai 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.

Rumus umum dari *standard inverse* yaitu

$$t = \frac{0,14}{I^{(0,02-1)}} [tms] \dots\dots\dots (2.6)$$

dimana :

- t<sup>^</sup> : Time setting relay
- tms : Standar waktu setting relay
- K : Konstanta standard inverse (0,14)
- α : Konstanta standard inverse (0,02)

Prinsip kerja *Over Current Relay* yaitu ketika relay mendeteksi adanya arus lebih, baik disebabkan adanya gangguan hubung singkat atau overload (beban lebih), kemudian relay akan memberikan sinyal dan memberikan perintah trip ke pemutus tenaga (PMT) sesuai dengan karakteristik waktunya.

Arus setting untuk relay *Over Current Relay* pada sisi primer transformator tenaga yaitu

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

dimana

- I\_set : Setting arus
- I\_nom : Arus nominal pada transformator

Arus setting untuk relay *Over Current Relay* pada sisi sekunder yaitu

$$I_{set(sek)} = I_{set\ (primer)} \times \frac{1}{Ratio\ CT} \dots\dots\dots (2.8)$$

**2.1.15 Sistem Proteksi *Ground Fault Relay* (GFR)**

Sistem proteksi GFR bekerja dengan cara mendeteksi melalui binary input yang ada pada relay sehingga memerintahkan binary output agar memberikan perintah bila ada hubungan singkat ke tanah. Relay ini bekerja pada saat terjadi kenaikan arus yang melebihi suatu nilai setting pengaman tertentu dalam jangka waktu tertentu.

Prinsip kerja system proteksi GFR yaitu pada kondisi normal beban seimbang I<sub>r</sub>, I<sub>s</sub>, I<sub>t</sub> sama besar, sehingga pada kawat netral tidak timbul arus dan relay hubungan 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.

Arus setting untuk relay GFR pada sisi primer transformator tenaga yaitu

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

dimana

$I_{set}$  : Setting arus

$I_{nom}$  : Arus nominal pada transformator

Arus setting untuk relay GFR pada sisi sekunder transformator tenaga yaitu

$$I_{set(sek)} = I_{set(primer)} \times \frac{1}{Ratio CT} \dots\dots\dots (2.10)$$

### 2.1.16 Software ETAP

*Electric Transient Analysis Program* (ETAP) merupakan sebuah software yang digunakan untuk mensimulasikan system tenaga listrik yaitu dengan cara menggambarkan single diagram dari suatu system jaringan maka dapat diketahui bagaimana system jaringan itu bekerja. Sistem ini bekerja secara *offline* untuk mensimulasikan instalasi listrik dan dapat bekerja secara online untuk pengolahan data *real time*.