

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

DAN DASAR TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Pada Gardu Induk banyak komponen listrik yang rentan terhadap gangguan, akan tetapi peralatan tersebut harus dioptimalkan untuk bekerja secara terus-menerus. Untuk mengoptimalkan kinerja dari komponen tersebut salah satunya yaitu transformator yang terdapat dalam sebuah gardu induk, sebagaimana halnya transformator mempunyai peranan penting dalam menaikkan tegangan dan/ menurunkan tegangan pada sebuah gardu induk, maka diperlukan sebuah sistem proteksi untuk melindungi transformator dan juga dapat melindungi sistem kontrol yang terdapat di suatu gardu induk. Sehingga diperlukan analisis dalam keandalan suatu sistem proteksi yang terdapat di sebuah gardu induk.

Untuk tercapainya analisis dalam kepenulisan ini, maka pada penulisan Tugas Akhir ini tidak lepas dari tinjauan pustaka dari pelbagai sumber yang ada baik di buku maupun di *website*. Penulis merujuk pada salah satu Skripsi yang berjudul “Studi Analisis Sistem Koordinasi Proteksi *Over Current Relay* (OCR) Dan *Ground Fault Relay* (GFR) Pada Gardu Induk Godean” yang telah diselesaikan oleh salah satu mahasiswa Teknik Elektro di Universitas Muhammadiyah Yogyakarta (UMY). Pada penulisan Skripsi tersebut bertujuan menganalisis kinerja dari *relay* proteksi melalui perhitungan dan simulasi. Dengan metodologi simulasi ETAP 16.0.0 dengan hasil analisis berupa kerja *relay* OCR dan GFR yang sesuai standar SPLN. (Putra, 2017: 25 &36)

Jurnal penelitian yang disusun oleh Agung Budhi Udiana, Dyana Arjana, dan Gede Indra Partha dari Universitas Udayana, dengan judul “Studi Analisis Koordinasi *Over Current Relay* (OCR) dan *Ground Fault Relay* (GFR) Pada Recloser Di Saluran Penyulang Penebel” yang bertujuan menganalisis lebih dalam tentang *setting-an* OCR dan GFR. Metodologi yang digunakan adalah dengan melakukan pengamatan data dan melakukan perbandingan antara hasil perhitungan dengan data *existing* rele yang telah di *setting*. Hasil analisis berupa *setting* OCR di *relay* penyulang penebel masih kurang baik. (Udiana, Arjana, dan Partha, 2017)

Laporan kerja praktek yang disusun oleh Budi Kristianto dari Universitas Muhammadiyah Yogyakarta, dengan judul “Transformator Tenaga (Trafo) di PLT. PLN (PERSERO) P3BJB APP Salatiga Base Camp Yogyakarta Gardu Induk 150 KV Bantul”, yang bertujuan untuk menganalisis lebih dalam tentang cara kerja dan fungsi transformator dalam menyuplai tenaga listrik melalui penyulang (*feeder*), serta merincikan lebih lanjut mengenai *Current Transformer* (CT) dan *Potensial Transformer* (PT). Dengan metodologi analisis data dan teori dari kerja praktek yang telah dilakukan, dengan hasil berupa studi literatur secara mendalam terkait transformator pada daerah kawasan Gardu Induk tersebut. (Kristianto, 2015: 19-20)

Laporan kerja praktek yang disusun oleh Widiyanto Nugroho dari Universitas Diponegoro Semarang, dengan judul “Pengujian Tahanan Isolasi pada Pemeliharaan Pemutus Tenaga Gas SF₆ BAY Purworejo Gardu Induk 150 KV Bantul”, yang bertujuan untuk menganalisis lebih dalam tentang ketahanan Isolasi PMT pada saat melakukan trip untuk memutus aliran tenaga listrik. Metodologi yang digunakan adalah dengan analisis data dan teori, analisis data berupa pengujian ketahanan isolasi gas SF₆ dalam lama nya waktu pemakaian. Hasil analisis dari penulisan tersebut yaitu kualitas pengujian isolasi gas SF₆. Penulis merujuk pada referensi ini dikarenakan pembahasan PMT berkaitan dengan pembahasan mengenai OCR dan GFR karena PMT adalah suatu alat yang mengeksekusi untuk memutuskan tenaga listrik. (Nugroho, 2019: 1)

Jurnal penelitian yang disusun oleh Erwin Dermawan dan Dimas Nugroho dari Universitas Muhammadiyah Jakarta dengan judul “Analisa Koordinasi *Over Current Relay* Dan *Ground Fault Relay* Di Sistem Proteksi *Feeder* Gardu Induk 20 KV JABABEKA”, yang bertujuan untuk menganalisis tentang gangguan hubung singkat pada penyulang (*feeder*) 20 KV. Dengan metodologi analisis data dan teori. Hasil dari jurnal penelitian tersebut berupa selisih perhitungan dan data yang terukur di lapangan mengenai *setting* OCR dan GFR menurut *existing* atau panjang urutan kabel. (Nugroho dan Dimas, 2017: 45-47)

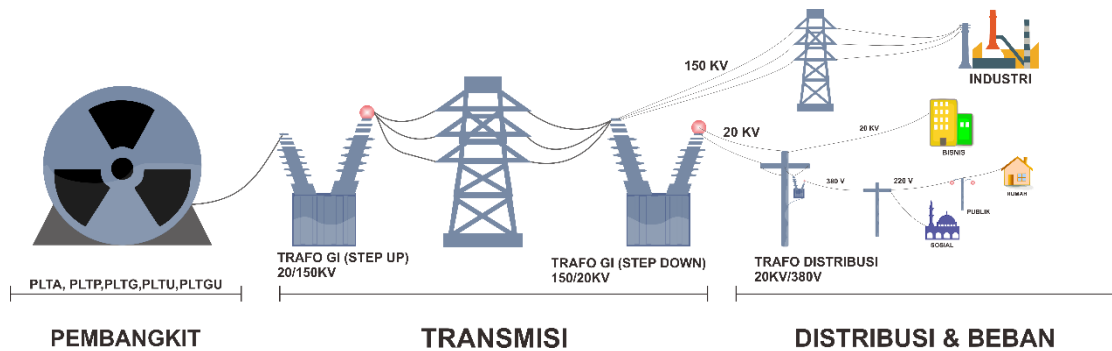
Jurnal penelitian yang disusun oleh Adi syah putra, Karnoto, dan Derman dari Universitas Semarang, dengan judul “Analisis *Setting* Proteksi OCR dan GFR Di Penyulang SRL-01 Sronдол Menggunakan *Software* ETAP 12.6.0. Tujuan dari jurnal ini adalah untuk menganalisis *setting* waktu rele pada penyulang yang dapat bekerja dengan baik atau tidak. Metodologi yang digunakan yaitu analisis perhitungan dari teori dan analisis waktu *setting* dengan grafik percobaan uji simulasi menggunakan ETAP 12.6.0. Hasil dari penelitian ini berkesimpulan bahwa *setting* OCR dan GFR pada penyulang SRL-01 Sronдол ketika terjadi gangguan dapat memerintahkan PMT untuk trip dengan kondisi baik. (Putra, Karnoto dan Derman, 2016)

Jurnal penelitian yang disusun oleh Rize Taufiq Ramadhan dari Universitas Brawijaya, dengan judul “Studi Koordinasi Sistem Pengaman Penyulang Trafo IV Di Gardu Induk Waru”. Pada jurnal ini bertujuan untuk menganalisis lebih dalam tentang waktu pemeriksaan rele pada zona-zona gangguan yang telah ditentukan berdasarkan metodologi analisis berupa teori dan perhitungan data. Kemudian hasil dari penelitian ini berupa perbandingan perhitungan arus gangguan hubung singkat 3 fasa, 2 fasa, dan 1 fasa dengan data yang diperoleh dan setelan rele penyulang pegasangan serta setelan rele penyulang platinum dengan kondisi OCR dan GFR sesuai dengan standar. (Ramadhan, 2014)

Dilihat dari tinjauan pustaka tersebut penulis lebih bertujuan untuk melakukan perbandingan gangguan yang dialami *relay* proteksi yang terjadi di PLN ULTG Yogyakarta dengan metodologi simulasi dengan *software* ETAP 16.0.0, analisis gangguan, analisis data dan teori. Hasil dari penelitian ini yaitu bagaimana kepekaan, keandalan, dan kecepatan kerja *relay* proteksi dalam melakukan perlindungan terhadap transformator. Simulasi yang dijalankan oleh *software* ETAP 16.0.0 harus diisi dengan data hasil penelitian dengan mempertimbangkan kejadian (gangguan) yang terjadi di bawah pengawasan PLN ULTG Yogyakarta.

2.2 Dasar Teori

2.2.1 Sistem Tenaga Listrik



Gambar 2.1 Sistem Tenaga Listrik

Source: Design pribadi dari corel draw

Sistem tenaga listrik secara umum dapat dijelaskan dari gambar 2.1 tersebut, secara umum dimulai dari pembangkit, saluran transmisi, dan saluran distribusi. Ketiga bagian tersebut adalah bagian utama dalam suatu rangkaian sistem tenaga listrik yang bekerja hingga dapat menyalurkan daya listrik dari pembangkit hingga ke beban/*load*. Energi listrik yang akan dihasilkan dari pembangkit akan disalurkan melalui sistem saluran Transmisi kemudian akan didistribusikan ke pusat-pusat beban/*load*. Adapun penjelasan dari ketiga bagian tersebut adalah sebagai berikut:

1. Pembangkit (Power Plant)

Pembangkit listrik adalah tempat di mana pusat penghasil listrik pertama kali yang akan disalurkan. Pembangkit secara umum terdiri dari turbin sebagai penggerak awal yang akan memutar generator sehingga dapat menghasilkan listrik. Pembangkit listrik juga terdapat gardu induk sebagai pengubah tegangan dari hasil pembangkit listrik yang biasanya menghasilkan tegangan (11,5 KV) – (20 KV) untuk menjadi tegangan (150 KV) agar dapat menjadi tegangan untuk saluran transmisi tegangan tinggi. Secara umum pembangkit terdiri dari berbagai jenis pembangkit yaitu PLTU (Pembangkit Listrik Tenaga Uap), PLTA (Pembangkit Listrik Tenaga Air), PLTB (Pembangkit Listrik Tenaga Bayu), PLTGU (Pembangkit Listrik Tenaga Gas dan Uap) dan PLTN (Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir).

2. Sistem Transmisi (*Transmission System*)

Pada sistem transmisi merupakan proses di mana penyaluran listrik tegangan tinggi yang telah dinaikkan tegangannya oleh pembangkit yaitu sebesar 500 KV (SUTET) dan 150 KV (SUTT) dengan arus yang relatif kecil, dengan tegangan yang besar sehingga diperlukan sistem saluran transmisi yang terdiri dari tiang-tiang transmisi, proteksi saluran transmisi (isolator-isolator), dan kabel saluran transmisi (*conductor* dan *ground wire*). Adapun kategori saluran transmisi ada 2 yaitu, pertama saluran transmisi udara (*Overhead Lines*) yang dapat menyalurkan tenaga listrik melalui penghantar yang digantungkan pada menara. Kedua yaitu saluran transmisi bawah tanah (*underground cable*) yang dapat menyalurkan tenaga listrik melalui kabel di bawah tanah.

3. Sistem Distribusi (*Distribution System*)

Sistem distribusi adalah sebuah sistem di mana listrik mengalir dari sistem saluran transmisi ke distribusi beban. Distribusi beban terdapat 3 jenis beban yang akan didistribusikan yaitu beban industri (dengan tegangan 150 KV), tegangan menengah pada pusat kota dan gedung-gedung bisnis (dengan tegangan 6 KV-20 KV), dan perumahan sosial dengan tegangan rendah 380 V dan 220 V. pada sistem distribusi juga terdapat gardu induk distribusi yang akan menurunkan tegangan untuk didistribusikan ke beban, dan juga terdapat sistem proteksi pada tiap-tiap transformator distribusi.

2.2.2 Pengertian Gardu Induk



Gambar 2.2 Ilustrasi Gambar Gardu Induk PLN ULTG Yogyakarta

Source: Dokumentasi Penelitian

Gardu induk merupakan sub sistem dari sistem penyaluran (transmisi) tenaga listrik, atau merupakan satu kesatuan dari sistem penyaluran (transmisi). Penyaluran transmisi merupakan sebuah sub sistem dari tenaga listrik sehingga dapat diartikan bahwa gardu induk merupakan sub-sub sistem dari sistem tenaga listrik. Kemudian dikarenakan sebagai sub-sub sistem dari sistem penyaluran transmisi, gardu induk mempunyai peranan penting dalam pengoperasian yang tidak dapat dipisahkan dari sistem penyaluran transmisi secara keseluruhan.

Gardu induk adalah juga merupakan suatu tempat di mana terdapat instalasi kelistrikan yang terdiri dari beberapa kumpulan peralatan listrik dan bertugas untuk menyuplai tenaga listrik yang akan didistribusikan dan gardu induk juga sebagai pusat dalam tata kelola sistem tenaga listrik menurut fungsi dari masing-masing gardu induk yang bersangkutan. Berikut adalah jenis-jenis gardu induk yang dibedakan menjadi beberapa bagian yaitu:

1. Berdasarkan Tegangannya

a. Gardu Induk Tegangan Ekstra Tinggi (GITET)

Gardu induk ini biasanya lebih dikenal dengan sebutan Gardu Induk Transmisi, yaitu Gardu Induk yang mendapatkan daya dari saluran transmisi untuk kemudian menyalurkan ke daerah-daerah yang berjauhan hingga sampai ke gardu

induk untuk menurunkan tegangan ke tegangan yang lebih kecil. Pada GITET dapat menurunkan tegangan dari 500 KV ke 150 KV.

b. Gardu Induk Tegangan Tinggi (GITT)

Gardu induk ini juga disebut sebagai Gardu Induk Transmisi dikarenakan hanya berbeda pada tegangannya saja, karena disesuaikan dengan panjang saluran dan lokasi pemasangan tiang-tiang transmisi agar menyesuaikan kebutuhan ekonomis. Pada GITT dapat menurunkan tegangan dari 150 KV ke 70 KV.

c. Gardu Induk Distribusi

Gardu induk ini mendapatkan daya dari saluran transmisi untuk kemudian menyalurkan ke daerah beban/*load* seperti industri, kota, dan masyarakat sosial. Pada gardu induk distribusi dapat menurunkan tegangan dari Jaringan Tegangan Menengah (JTM 20 KV) menjadi Jaringan Tegangan Rendah (JTR 380 V atau 220 V) sesuai dengan kebutuhan beban.

2. Berdasarkan Pemasangan Peralatan

a. Gardu induk pemasangan luar:

- 1) Gardu induk pemasangan luar sebageian besar komponennya ditempatkan di luar area gedung, kecuali komponen kontrol, sistem proteksi dan sistem kendali serta komponen bantu lainnya yang berada di dalam gedung.
- 2) Gardu induk ini biasa disebut dengan gardu induk konvensional
- 3) Di Indonesia sebagian besar gardu induk adalah gardu induk konvensional

b. Gardu induk pemasangan dalam (GIS):

- 1) Gardu induk pemasangan dalam hampir semua komponennya (*switchgear*, *cubicle*, komponen kontrol, komponen kendali, busbar, isolator dan lain-lain) dipasang di dalam gedung, kecuali transformator daya yang pada umumnya dipasang di luar gedung.
- 2) Untuk daerah-daerah yang padat penduduknya dan di kota-kota besar di pulau jawa, sebagian menggunakan gardu induk pemasangan dalam, yang disebut *Gas Insulated Substation* atau *Gas Insulated Switchgear* (GIS)
- 3) GIS merupakan bentuk pengembangan dari gardu induk, yang pada umumnya dibangun di daerah perkotaan atau padat pemukiman yang sulit untuk mendapatkan lahan.

- 4) Beberapa keunggulan GIS dibandingkan dengan GI konvensional adalah sebagai berikut:
 - a) Hanya membutuhkan lahan seluas $\pm 3.000 \text{ m}^2$ atau $\pm 6\%$ dari luas lahan GI konvensional.
 - b) Mampu menghasilkan kapasitas daya (*power capacity*) sebesar 3 x 60 MVA bahkan bisa ditingkatkan sampai dengan 3 x 100 MVA.
 - c) Jumlah penyulang keluaran (*output feeder*) sebanyak 24 penyulang (*feeder*) dengan tegangan kerja masing-masing 20 kV.
 - d) Bisa dipasang di tengah kota yang padat pemukiman.
 - e) Keunggulan dari segi estetika dan arsitektural, karena bangunan bisa didesain sesuai dengan kondisi disekitarnya.
- c. Gardu induk kombinasi pasangan luar dan pasangan dalam:

Gardu induk kombinasi merupakan gardu induk yang komponen *switchgear*-nya ditempatkan di dalam gedung dan sebagian komponen *switchgear* yang lainnya ditempatkan di luar gedung, misalnya *gantry (tie line)* dan saluran udara tegangan tinggi (SUTT) sebelum masuk ke dalam *switchgear*. Transformator daya juga ditempatkan di luar gedung.

3. Berdasarkan fungsinya

Berikut adalah fungsi dari gardu induk:

a. Mentransformasikan

Gardu induk berfungsi untuk merubah atau mentransformasikan tenaga listrik dengan tegangan tinggi yang satu ke tegangan yang lainnya atau tegangan menengah dan sebaliknya.

- 1) Dari tegangan ekstra tinggi ke tegangan tinggi (GITET 500 KV ke 150 KV)
- 2) Dari tegangan tinggi ke tegangan yang lebih rendah (GITT 150 KV ke 70 KV)
- 3) Dari tegangan tinggi ke tegangan menengah (JTM 150 KV ke JTR 20 KV atau 70 KV ke 20 KV)
- 4) Dengan frekuensi tetap (di Indonesia 50 Hz)

b. Pengukuran Pengawasan

Gardu induk berfungsi untuk melakukan pengukuran pengawasan dalam melakukan operasi dan pengaturan pengamanan dari sistem tenaga listrik.

c. Pengaturan daya

Gardu induk berfungsi sebagai pengaturan daya ke gardu induk lainnya melalui tegangan tinggi dan gardu induk distribusi melalui penyulang (*feeder*) tegangan menengah.

d. Mengatur aliran daya

Gardu induk berfungsi untuk mengatur aliran daya listrik dari saluran transmisi ke saluran transmisi lainnya dan kemudian untuk didistribusikan ke konsumen.

e. Pelayanan beban

Gardu induk berfungsi untuk melakukan pelayanan beban ke gardu induk lain dan gardu induk distribusi.

f. Telekomunikasi

Gardu induk juga sebagai sarana telekomunikasi, untuk saling berhubungan dalam satu regional atau Gardu Induk yang membawahi jaringan distribusi.

4. Berdasarkan isolasi yang digunakan

a. Gardu induk yang menggunakan isolasi udara:

- 1) Yaitu gardu induk yang menggunakan isolasi udara antara bagian yang bertegangan yang satu dengan bagian yang bertegangan lainnya.
- 2) Gardu induk ini berupa gardu induk konvensional, dan gardu induk ini memerlukan tempat terbuka yang cukup luas

b. Gardu induk yang menggunakan isolasi gas SF₆

- 1) Gardu induk yang menggunakan gas SF₆ sebagai isolasi antara bagian yang bertegangan yang satu dengan bagian lain yang bertegangan, maupun antara bagian yang bertegangan dengan bagian yang tidak bertegangan.
- 2) Gardu induk ini sering disebut juga sebagai *Gass Insulated Substation* atau *Gass Insulated Switchgear* (GIS)

5. Berdasarkan sistem rel (busbar)

Rel (busbar) merupakan titik hubungan pertemuan (*connecting*) antara antara transformator daya, SUTT/SKTT dengan komponen listrik lainnya, untuk menerima dan menyalurkan tenaga listrik, berdasarkan sistem rel (busbar) gardu induk dibagi menjadi beberapa jenis, berikut adalah jenis dalam pembagian rel (busbar):

a. Gardu induk sistem rel busbar:

- 1) Yaitu gardu induk yang busbarnya berbentuk ring.
- 2) Pada gardu induk ini, semua busbar yang ada tersambung satu dengan lainnya dan berbentuk ring cincin

b. Gardu induk sistem single busbar:

- 1) Yaitu gardu induk yang mempunyai satu (*single*) busbar.
- 2) Pada umumnya gardu sistem ini adalah gardu induk yang berada pada ujung dari suatu sistem transmisi.
- 3) *Single line* diagram gardu sistem *single* busbar

c. Gardu induk sistem *double* busbar:

- 1) Yaitu gardu induk yang mempunyai dua (*double*) busbar.
- 2) Gardu induk sistem *double* busbar sangat efektif untuk mengurangi terjadinya pemadaman beban, khususnya pada saat melakukan perubahan sistem (*maneuver system*).
- 3) Jenis gardu induk ini pada umumnya yang banyak digunakan.
- 4) *Single line* diagram gardu induk sistem *double* busbar.

d. Gardu induk sistem satu setengah (on hal) busbar

- 1) Yaitu gardu induk yang mempunyai dua (*double*) busbar.
- 2) Pada umumnya gardu induk memiliki jenis yang dipasang pada gardu induk di pembangkit tenaga listrik atau gardu induk yang berkapasitas besar.
- 3) Dalam segi operasional, gardu induk ini sangat efektif, karena dapat mengurangi pemadaman beban pada saat dilakukan perubahan sistem (*maneuver system*).
- 4) Sistem ini menggunakan 3 buah PMT dalam satu diagonal terpasang secara deret (seri). Gambar *single line* diagram

2.2.3 Komponen utama pada PLN ULTG YOGYAKARTA

1. Transformator



Gambar 2.3 Transformator 1 di Gardu INDUK PLN ULTG Yogyakarta

Source: Dokumentasi penelitian

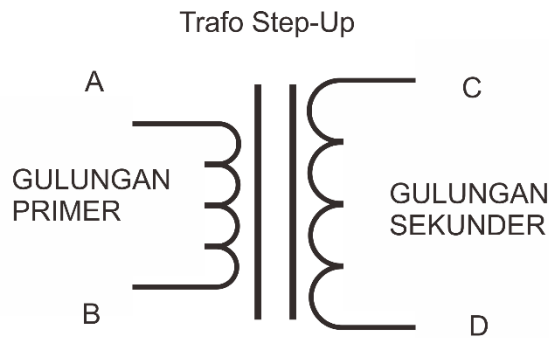
Transformator (Trafo) adalah sebuah alat listrik/elektronika yang berfungsi untuk memindahkan tenaga (daya) listrik dari input ke output atau dari sisi primer ke sisi sekunder. Pemindahan daya listrik dari primer ke sekunder disertai dengan adanya perubahan tegangan naik maupun turun. Trafo juga berfungsi dapat mentransformasikan daya listrik dengan merubah besaran tegangannya tanpa merubah frekuensinya dan juga memiliki fungsi sebagai pengaturan tegangan. Berikut adalah contoh gambar kumparan Trafo pada sisi primer dan sisi sekunder.



Gambar 2.4 Kumparan Transformator Sisis Primer dan Sekunder

Source: Design pribadi Corel Draw

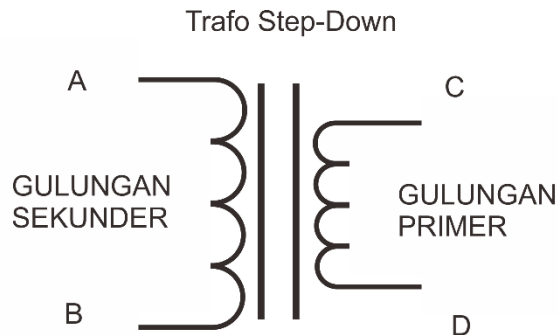
Trafo dibedakan menjadi dua jenis yaitu trafo penaik tegangan (*step up transformer*) dengan contoh gambar kumparan pada Trafo sebagai berikut:



Gambar 2.5 Trafo *Step-Up*

Source: Design Pribadi Corel Draw

Dan trafo penurun tegangan (*step down transformer*). Dengan contoh gambar kumparang sebagai berikut:



Gambar 2.6 Trafo *Step-Down*

Source: Design Pribadi Corel Draw

Jika tegangan pada sisi primer lebih kecil dari tegangan sisi sekunder maka dinamakan trafo step up dan begitu juga sebaliknya.

Pada setiap trafo tentu mempunyai input yang dinamakan gulungan primer dan output yang dinamakan gulungan sekunder. Trafo mempunyai inti besi untuk frekuensi rendah dan inti ferrit untuk frekuensi tinggi atau ada juga yang tidak mempunyai inti (intinya udara). Jika bagian primer trafo dialiri arus listrik bolak-balik (AC), maka gulungan primer akan menjadi magnet yang arah medan

magnetnya juga bolak-balik. Medan magnet ini akan menginduksikan gulungan sekunder dan mengakibatkan pada gulungan sekunder mengalir arus bolak-balik (AC). Sehingga dapat diketahui bahwa besarnya daya pada lilitan primer sama dengan daya yang diberikan pada lilitan sekunder, dapat dilihat dalam rumus berikut:

$$P_P = P_S \text{ atau } V_P \cdot I_P = V_S \cdot I_S \dots\dots\dots (1)$$

Diketahui:

- Pp = Daya primer (W)
- Ps : Daya Sekunder (W)
- Vp : Tegangan Primer (V)
- Vs : Tegangan Sekunder (V)
- Ip : Arus Primer (A)
- Is : Arus Sekunder (A)

Perbandingan trafo juga dapat dilihat dari jumlah lilitan di mana jumlah lilitan di sisi primer dengan sisi sekunder tidak lah sama tergantung dari jenis trafo tersebut, jika di sisi primer trafo jumlahnya lebih sedikit maka trafo tersebut adalah trafo step up begitu juga sebaliknya. Jumlah lilitan pada trafo juga tergantung besar tegangan karena semakin besar tegangan pada trafo maka jumlah lilitan semakin banyak pula, sehingga dapat diketahui mealuli perbandingan berikut ini:

$$\frac{V_P}{V_S} = \frac{N_P}{N_S} \text{ atau } T = \frac{N_P}{N_S} \dots\dots\dots (2)$$

Diketahui:

- T : Perbandingan Transformasi
- Np : Lilitan Primer
- Ns : Lilitan Sekunder

Pada transformator daya terdapat trafo pentanahan yang berfungsi untuk mendapatkan titik netral trafo dari trafo daya, peraltan ini biasanya disebut sebagai *Neutral Current Transformer* (NCT) dan atau/ *Neutral Grounding Resistance* (NGR). Kemudian untuk menentukan besaran transformator maka dibutuhkan rumus seperti berikut:

$$\text{Daya Nyata} = \frac{\text{Daya Aktif (P)}}{\text{Cos phi } (\varphi)} \dots\dots\dots (3)$$

$$\text{Kapasitas Trafo} = \frac{\text{Daya Nyata (S)}}{\text{Efisiensi Trafo}} \times \text{Demand factor} \dots\dots\dots (4)$$

Pada inti besi dan kumparan-kumparan trafo akan mengalami panas yang disebabkan oleh rugi-rugi besi dan rugi-rugi tembaga, bila panas tersebut mengakibatkan kenaikan suhu yang berlebihan, maka dapat merusak isolasi yang terdapat pada trafo. Maka untuk mengurangi kenaikan suhu yang berlebih tersebut, pada trafo dibutuhkan alat atau sebuah sistem pendingin yang berfungsi untuk menyalurkan panas keluar dari trafo tersebut.

a. Media Pendingin Trafo

1) Udara / Gas (*Air*)

Media pendingin yang dipilih adalah media gas berupa SF₆ (*Sulphur Hexaflouride*) dengan sifat SF₆ murni tidak berwarna, tidak berbau, tidak beracun dan tidak mudah terbakar. Pada temperatur di atas 150°C gas SF₆ juga mempunyai sifat tidak merusak metal, plastik dan bermacam-macam bahan yang pada umumnya digunakan dalam pemutus tegangan tinggi.

2) Minyak (*Oil*)

Media pendingin trafo berupa minyak dengan jenis minyak mineral atau sintesis dengan titik api <300°C dan dikenal sebagai minyak trafo. Minyak ini akan mengisi setiap sudut ruang diantara lilitan-lilitan (*coil*) pada belitan-belitan (*winding*) inti dan ruang-ruang lain dalam tangki transformator. Transformator tidak mempunyai bagian yang berputar, oleh karena itu proses transfer panas dilakukan dengan cara mensirkulasikan minyak trafo. Transformator yang inti besinya dicelupkan terendam minyak disebut dengan *Oil Immerset Type Transformer*.

3) Air (*Water*)

Media pendingin air biasanya digunakan sebagai media pendingin eksternal trafo. Dalam melakukan pendinginan trafo tidak hanya dilakukan dengan mengandalkan konveksi secara alami, akan tetapi perlu dilakukan proses konveksi panas dengan cara “dipaksakan” (*Forced*). Proses ini kemudian dilakukan dengan

menggunakan alat seperti pompa air, pompa minyak, dan kipas angin. Adapun cara pengalirannya (sirkulasi) dapat dilakukan dengan 2 cara yaitu Alamiah (*Natural*) dan Tekanan / Paksaan (*Forced*). Berikut adalah tabel macam-macam sistem pendinginan dalam transformator:

Tabel 2. 1 Macam-macam sistem pendingin Trafo

(Source: Ujangaja, 2009)

No	Macam-macam sistem pendingin	Media			
		Di dalam trafo		Di luar trafo	
		Sirkulasi Alamiah	Sirkulasi Paksa	Sirkulasi Alamiah	Sirkulasi Paksa
1	AN	-	-	udara	-
2	AF	-	-	-	udara
3	ONAN	Minyak	-	Udara	-
4	ONAF	Minyak	-	-	Udara
5	OFAN	-	Minyak	Udara	-
6	OFAF	-	Minyak	-	Udara
7	AFWF	-	Minyak	-	Air
8	ONAN/ONAF	Kombinasi 3 dan 4			
9	ONAN/OFAN	Kombinasi 3 dan 5			
10	ONAN/OFAF	Kombinasi 3 dan 6			
11	ONAN/OFWF	Kombinasi 3 dan 7			

Simbol dan penamaan jenis sistem pendingin pada transformator daya ditentukan oleh media penghantar panas dan cara metode konveksi panas yang digunakan. Standarisasi penamaan ini diatur dalam IEEE (*Institute of Electrical and Electronics Engineers*) C57.12.00-2000, dengan ketentuan penamaan sebagai berikut:

Huruf pertama, media pendingin yang bersentuhan dengan belitan (*Winding*)

O : Cairan Isolasi (minyak mineral atau sintetis) dengan titi api <300°C

K : Cairan Isolasi dengan titi api >300°C

L : Cairan Isolasi dengan titik api yang tidak terukur.

Huruf kedua, mekanisme sirkulasi media pendingin internal

N : Proses aliran konveksi terjadi secara alami (*Natural*). Cairan isolasi bersirkulasi secara alami melalui peralatan pendingin dan belitan pada transformator.

F : Sirkulasi cairan isolasi dilakukan secara “dipaksakan” (*Forced*) dengan menggunakan pompa cairan, namun proses aliran konveksi pada belitan terjadi secara alami.

D : Sirkulasi cairan isolasi dilakukan secara “dipaksakan” dengan menggunakan pompa cairan. Cairan isolasi diarahkan *directed* melalui saluran tertentu paling tidak menuju ke belitan utama.

Huruf ketiga, media pendingin eksternal (di luar transformator).

A : Udara (*Air*)

W : Air (*Water*)

Huruf keempat, mekanisme sirkulasi media pendingin eksternal

N : Konveksi alami (*Natural*)

Terdapat dua jenis pendingin pada transformator, diantaranya adalah sebagai berikut:

Tipe kering

AA : pendingin udara natural

Di mana kondisi udara disekitar dijadikan untuk pendinginan. Metode ini biasanya digunakan untuk transformator dengan kapasitas daya sampai dengan 1.5 MVA.

AFA : pendingin udara terpompa

Di mana kondisi udara ditiupkan secara paksa ke permukaan tangki untuk menambah laju disipasi (hilangnya energi) panas. Kemudian kipas-kipas pendingin dinyalakan pada saat temperatur di belitan meningkat di atas batas yang telah ditentukan.

b. Tipe Pendingin Trafo

1) ONAN: *Oil Natural Air Natural*

Pada tipe basah ONAN, udara dan minyak (*Oil*) akan bersirkulasi secara alami. Perputaran *Oil* akan dipengaruhi oleh suhu dari *Oil* tersebut. Metode ini sering digunakan oleh transformator dengan kapasitas daya sampai dengan 30 MVA. Transformator juga dipasang sebuah radiator bertipe sirip untuk menjaga sirkulasi minyak secara alami/*Natural*.

2) ONAF : *Oil Natural Air Forced*

Pada tipe basah ONAF, minyak (*Oil*) akan bersirkulasi dengan alami namun pada radiator *Oil* dibantu didinginkan dengan kipas/*Fan*. Metode ini dilakukan dengan cara “dipaksakan” (*Forced*) dan sering digunakan pada transformator dengan kapasitas daya antara 30 MVA dan 60 MVA. Transformator bertipe ini juga menggunakan radiator bertipe sirip yang dilengkapi dengan kipas pendingin. Kipas-kipas akan dinyalakan pada saat pembebanan yang berat saja.

3) OFAF : *Oil Forced Air Forced*

Pada tipe basah OFAF, minyak (*Oil*) akan didinginkan dengan melalui bantuan pompa agar sirkulasi semakin cepat dan juga dibantu kipas/*Fan* pada radiatornya. Metode seperti ini khusus untuk jenis trafo tenaga tipe basah, di mana kumparan-kumparan dan intinya direndam dalam minyak trafo, terutama trafo-trafo tenaga yang berkapasitas besar, karena minyak trafo mempunyai sifat sebagai media pemindah panas dan bersifat juga sebagai isolasi (tegangan tembus tinggi) dengan maksud sebagai media pendingin dan isolasi. Sehingga kedua metode ini dilakukan dengan cara “dipaksakan” (*Forced*). Oleh karena itu, minyak trafo harus memenuhi persyaratan sebagai berikut:

- a) Ketahanan isolasi harus tinggi (>10 kV/mm)
- b) Berat jenis harus kecil, sehingga partikel-partikel inert di dalam minyak dapat mengendap dengan cepat.
- c) Viskositas yang rendah agar mudah bersirkulasi dan kemampuan pendinginan menjadi lebih baik
- d) Titik nyala yang tinggi, tidak mudah menguap yang dapat membahayakan dan tidak merusak bahan isolasi padat (sifat kimia)

4) O_{FWF}: *Oil Forced Water Forced*

Pada tipe basah O_{FWF}, di mana transformator dengan minyak sebagai pendingin belitan yang bersirkulasi secara paksa atau buatan dan air sebagai pendingin luar yang bersirkulasi secara paksa (*Forced*) atau buatan. Transformator daya dengan rating daya yang besar dan memiliki rentang penggunaan daya yang lebar pada umumnya menggunakan gabungan dari tiga jenis sistem pendingin yaitu ONAN, ONAF, dan OFAF. Biasanya transformator tersebut dilengkapi oleh sensor temperatur analog. Sensor ini biasanya sudah diatur agar sistem pendingin dapat diubah konfigurasinya ketika temperatur transformator mencapai batasan tertentu, misal ketika temperatur 0°C - 50°C digunakan pada sistem ONAN, antara 50°C - 60°C digunakan pada sistem ONAF (kipas angin menyala), dan $\geq 60^\circ\text{C}$ digunakan sistem OFAF (pompa minyak menyala).

2. Trafo atau Potensial Transformer (PT)

Trafo Tegangan atau juga dikenal dengan transformator tegangan induksi adalah trafo instrumen yang didesain untuk mendapatkan level tegangan yang tegangan sisi sekunder proporsional dengan tegangan sisi primer. Dengan desain tersebut dimaksudkan untuk dipergunakan sebagai pengukuran (meter) dan proteksi. Dalam melakukan proteksi trafo tegangan juga untuk mengisolasi *circuit* sekunder dari *circuit* primer.

Pada peralatan di lapangan, untuk tegangan di atas 1 KV PT ini digantikan oleh CVT (*Capacitive Voltage Transformer*) atau Transformator Tegangan Kapasitif adalah peralatan pada sistem tenaga listrik yang berupa transformator satu fasa step down yang dirangkai dengan pembagi tegangan kapasitif yang mentransformasi tegangan pada jaringan tinggi ke suatu sistem tegangan rendah yang layak untuk perlengkapan indikator, alat ukur, rele, dan alat sinkronisasi. CVT dipilih karena lebih ekonomis membuat pembagi tegangan kapasitif dari pada membuat transformator dengan belitan tegangan tinggi.



Gambar 2.7 Trafo tegangan

source: Dokumentasi penelitian

3. Trafo Arus atau *Current Transformer* (CT)

Trafo arus adalah trafo yang digunakan untuk mengambil input data masukan berupa besaran arus dengan cara melakukan perbandingan antara sisi primer dan sisi sekunder. Trafo ini sering digunakan untuk pengukuran secara tidak langsung beban arus yang mengalir ke beban/*load* kemudian membatasinya. Besaran arus dari trafo ini juga bisa diambil sebagai inputan data masukan peralatan untuk dikirim ke rele proteksi sebagai pengamanan jaringan.



Gambar 2.8 Trafo Arus

Source: dokumentasi penelitian

4. Disconnecting Switch atau Pemisah (PMS)

PMS adalah peralatan pada tenaga listrik yang berfungsi sebagai saklar pemisah untuk memisahkan peralatan yang bertegangan tinggi dengan peralatan yang tidak bertegangan. Sehingga dalam pengaplikasiannya PMS bekerja dalam keadaan tidak berbeban dan kemudian jika ingin dioperasikan maka pastikan instalasi listrik sudah dimatikan oleh PMT.



Gambar 2.9 PMS PADA PLN ULTG Yogyakarta

Source: Dokumentasi Penelitian

5. Pemutus Tenaga (PMT) atau *Circuit Breaker* (CB)

PMT adalah peralatan pada sistem tenaga listrik yang berfungsi untuk memutuskan hubungan antara sisi sumber tenaga listrik dan sisi beban yang dapat bekerja secara otomatis ketika terjadi gangguan atau secara manual ketika dilakukan perawatan dan perbaikan. PMT dapat memutus tenaga listrik dalam keadaan berbeban. PMT selain sebagai pemutus tenaga listrik juga sebagai pengaman apabila terjadi gangguan listrik berupa hubung singkat, arus berlebih, dan gangguan internal ataupun eksternal lainnya. PMT akan memutus hubungan listrik agar tidak menjalar ke peralatan listrik lainnya yang tidak mengalami gangguan.

PMT dapat dioperasikan pada saat jaringan dalam kondisi normal ataupun abnormal (mengalami gangguan atau sedang terjadi gangguan). Karena pada saat bekerja, PMT mengeluarkan (menyebabkan timbulnya) busur api, maka pada PMT dilengkapi dengan pemadam busur api. Pemadam busur api yang ada dalam PMT

juga skaligus sebagai isolator dengan isolator-nya yaitu berupa minyak, vacum (hampa udara) dan Gas SF₆.



Gambar 2.10 PMT 150 KV PLN ULTG Yogyakarta

Source: Dokumentasi penelitian



Gambar 2.11 Ilustrasi CB di Kontrol Panel Incoming Trafo 3

Source: Dokumentasi penelitian

6. Arrester

LA adalah alat pelindung bagi peralatan listrik dari tegangan yang disebabkan surja petir maupun surja hubung/ pada saat terjadi tegangan lebih arrester berfungsi sebagai *by-pass* di sekitar isolasi dan membentuk jalan yang mudah dilalui arus kilat ke sistem pentanahan, sehingga tidak menimbulkan tegangan lebih tinggi dan tidak merusak isolasi peraltan listrik. Tetapi pada saat kondisi normal arrester akan bekerja sebagai isolator, sehingga tidak mengganggu

aliran daya sistem frekuensi 50 Hz. Sesuai dengan fungsinya yaitu sebagai pelindung peralatan listrik pada sistem jaringan terhadap tegangan yang disebabkan surja petir atau surja hubung maka *lighting arrester* dipasang pada setiap ujung saluran tegangan tinggi (SUTT) yang hendak memasuki gardu induk. Bahkan gardu induk besar ada kalanya pada trafo dipasang juga LA agar trafo lebih terjamin keterlindungannya.



Gambar 2.12 Ilustrasi LA pada Gardu Induk PLN ULTG Yogyakarta

Source: Arsip PLN ULTG Yogyakarta

7. Rele Proteksi

Rele proteksi yaitu berfungsi untuk sebagai pengamanan dalam suatu tenaga listrik. Rele proteksi terdiri dari berbagai macam yaitu *Distance Relay*, *Over Current Relay*, *Ground Fault Relay*, Rele diferensial dan Rele Frekuensi yang memiliki fungsi berdasarkan namanya. Contoh OCR adalah rele yang berfungsi untuk mendeteksi arus lebih, dengan membaca arus yang masuk ke rele (dengan arus yang sebelumnya sudah dikecilkan oleh CT) dan relai akan bekerja dengan mematikan PMT (trip) untuk pengamanan. Rele juga dapat dikatakan sebagai indera dari peralatan gardu induk karena dapat mendeteksi gangguan-gangguan yang terjadi.

8. Panel Kontrol

Panel kontrol berfungsi untuk mengontrol atau mengetahui kondisi gardu induk dan merupakan pusat pengendali lokal gardu induk. Di dalamnya berisi sakelar, indikator-indikator, meter-meter, tombol-tombol komando operasional PMT, PMS, dan alat ukur besaran listrik, serta *annunciator*, berada dalam satu ruangan dengan tempat operator kerja. Berikut adalah beberapa peralatan yang ada di kontrol panel:

- a. *Transformator Control Panel*
- b. *Transmission Line Control Panel*
- c. *Fault Recorder Control Panel*
- d. *KWH Meter dan Faul Recorder Panel*
- e. *LRT Control Panel*
- f. *Bus Couple Control Panel*
- g. *AC/DC Control Panel*
- h. *Synchronizing Control Panel*
- i. *Automatic FD Switching Panel*
- j. *D/L Control Panel*



Gambar 2.13 Panel Kontrol PLN ULTG Yogyakarta

Source: Dokumentasi Penelitian

2.2.4 Kabel

Kabel listrik adalah media penghantar untuk menghantarkan arus listrik ataupun informasi. Bahan dari kabel ini beraneka ragam, khusus sebagai penghantar arus listrik, umumnya terbuat dari tembaga dan umumnya dilapisi dengan pelindung. Selain tembaga, ada juga kabel yang terbuat dari serat optik, yang disebut dengan *fiber optic cable*. Dalam instalasi listrik banyak jenis kabel yang digunakan disesuaikan dengan kebutuhan. Adapun kabel yang berkaitan dengan kepenulisan tugas akhir ini adalah salah satunya yaitu kabel dengan jenis aluminium atau All Aluminium Alloy Conductor (AAAC).

Kabel AAAC ini terbuat dari aluminium-magnesium-silicon campuran logam, keterhantaran listrik tinggi yang berisi *magnesium silicide*, untuk memberi sifat yang lebih baik. Kabel ini biasanya dibuat dari paduan aluminium 6201. AAAC mempunyai suatu anti karat dan kekuatan yang baik dalam menghantarkan arus listrik. Kabel AAC juga termasuk kabel yang tidak memiliki isolator pelindung, sehingga biasanya dijadikan sebagai penghantar anti petir ke *grounding*. Oleh karena itu, kabel AAAC yang terbuat dari aluminium beratnya ringan dibandingkan dengan ukuran yang sama dari bahan tembaga dan juga tahan terhadap korosi.

KABEL AAAC



Gambar 2.14 ALL ALuminium Alloy Conductor (AAAC)

Source: panduanteknisi, 2018

2.2.5 Pengertian sistem proteksi

Sistem proteksi merupakan suatu sistem kelistrikan yang berfungsi sebagai pengaman ataupun isolator suatu sistem tenaga listrik. Sistem proteksi harus dapat mengamankan seluruh komponen dari berbagai gangguan menurut gangguan yang terjadi sesuai dengan zona suatu sistem tenaga listrik. Adapun pembagian zona-zona proteksi yaitu proteksi pada generator, transformator, transmisi, dan distribusi. Kemudian di setiap zona tersebut terdapat komponen-komponen yang harus dilindungi terutama keselamatan para teknisi yang bertugas sebagai operator atau pengoperasian suatu zona tersebut.

1. Sistem proteksi dalam pembagian tugas

a) Proteksi Utama

Berfungsi untuk meningkatkan keandalan, kecepatan kerja, dan fleksibilitas sebuah sistem proteksi terhadap sistem tenaga listrik.

b) Proteksi Pengganti

Berfungsi ketika proteksi utama mengalami kerusakan ataupun tidak berfungsi (*error*) pada saat mengatasi gangguan yang terjadi.

c) Proteksi Tambahan

Berfungsi untuk penggunaan pada waktu tertentu sebagai pembantu proteksi utama pada daerah tertentu yang dibutuhkan.

2. Instrument sistem proteksi

a. Penutup Balik Otomatis (*Automatic Circuit Recloser*)

Penutup Balik Otomatis adalah rangkaian listrik yang terdiri dari Pemutus Tenaga (PMT) yang dilengkapi dengan kotak kontrol elektronik *recloser*, di mana pada peralatan ini tidak berhubungan dengan tegangan menengah dan dapat dikendalikan secara manual. Di dalam kotak kontrol inilah pengaman pada *recloser* dapat ditentukan nilai *setting*-nya.

Alat ini bekerja secara otomatis yang dapat mengamankan suatu sistem arus lebih yang diakibatkan adanya gangguan hubung singkat, adapun mengenai cara kerjanya, *recloser* ini akan menutup balik dan membuka secara otomatis dengan pengaturan waktu yang dapat ditentukan sendiri, di mana 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*.

b. Saklar seksi otomatis (*Sectionalizer*)

Saklar seksi otomatis merupakan sebuah alat pemutus yang secara otomatis membebaskan seksi-seksi yang terganggu dari suatu sistem jaringan distribusi, tetapi tidak memutus arus gangguan, karena biasanya dipakai dalam hubungannya dengan Penutup Balik Otomatis (PBO). Fungsi dari saklar seksi otomatis adalah sebagai pemutus rangkaian untuk dapat memisah saluran utama dalam beberapa seksi, agar pada gangguan permanen, luas daerah ataupun jaringan yang harus dibebaskan disekitar lokasi gangguan menjadi seminimal mungkin.

c. Pengaman lebur

Pengaman lebur adalah suatu alat pemutus, di mana dengan meleburnya dari komponen yang telah dirancang khusus dan disesuaikan ukurannya untuk membuka rangkaian, di mana pelebur tersebut dipasang dan memutuskan arus bila arus tersebut sudah melebihi suatu nilai dalam waktu tertentu, pengaman lebur memiliki tujuan untuk menghilangkan gangguan permanen, maka alat ini dirancang meleleh pada waktu tertentu pada nilai arus gangguan tertentu.

d. *Relay* proteksi

Relay proteksi adalah suatu piranti, baik elektronik maupun magnetik yang dirancang untuk mendeteksi suatu kondisi ketika terjadi keabnormalan pada peralatan listrik yang bisa membahayakan atau tidak diinginkan, jika bahaya itu muncul maka *relay* proteksi harus memberikan sinyal atau perintah untuk membuka pemutus tenaga agar bagian terganggu dapat dipisahkan dari sistem yang normal secepat mungkin. Jenis rele proteksi sangat banyak dan beragam. Rele proteksi yang akan dibahas pada penelitian kali ini adalah *Over Current Relay* (OCR) dan *Ground Fault Relay* (GFR).

Relay pengaman dapat mengetahui adanya gangguan pada peralatan yang perlu diamankan dengan mengukur atau membandingkan besaran yang telah ditentukan besarannya, seperti arus, tegangan, daya, sudut fasa dan lain sebagainya sesuai besaran yang telah ditentukan

Pada prinsipnya, *relay* proteksi memiliki 3 buah fungsi yaitu:

- 1) Merasakan adanya gangguan pada sistem jaringan
- 2) Mengukur besarnya gangguan yang terjadi pada sistem jaringan
- 3) Memerintahkan PMT untuk membuka agar gangguan tersebut tidak semakin meluas atau tetap menutup.

2.2.6 Over Current Relay (OCR) dan Ground Fault Relay (GFR)

1. Over Current Relay (OCR)

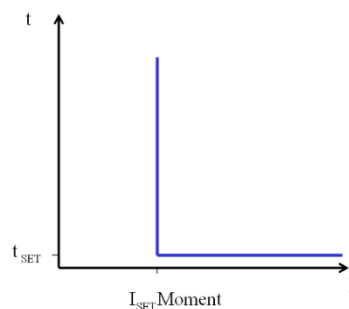
Over Current Relay yang selanjutnya disebut OCR adalah sebuah rele perlindungan yang berkerja apabila arus yang mengalir di dalam sistem tenaga listrik yang dilindungi lebih besar dari nilai setelan arus pada OCR. OCR dapat mendeteksi gangguan berupa fasa ke fasa, sedangkan fasa ke tanah disebut *Ground Fault Relay* yang selanjutnya disebut GFR. GFR digambarkan menyatu dengan OCR sehingga untuk karakteristik GFR menyesuaikan dengan OCR dapat berupa merk dan type peralatan, karena perbedaan hanya terletak pada fasa akan tetapi sama dalam hal mendeteksi gangguan arus lebih.

2. Karakteristik rele arus lebih

Pada karakteristik rele arus lebih yang berdasarkan arah mempunyai arah (*Directional*) dan tidak berarah (*non directional*) sedangkan untuk pada arus (I) dan waktu (t) sebagai berikut:

- a. *Instantenous* tanpa tunda (*moment =instant; t=0*)

Instantenous yaitu karakter tanpa *time delay*, apabila terjadi gangguan maka rele akan memberikan perintah kepada PMT untuk melakukan trip (memutus aliran).



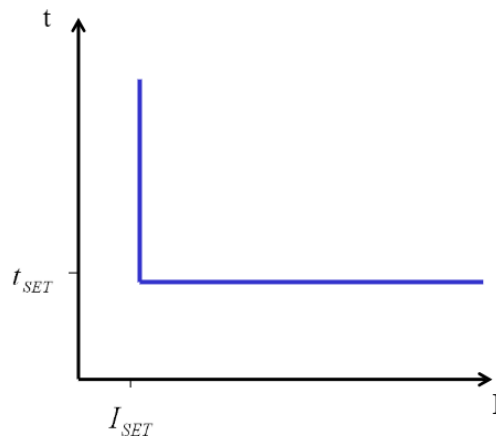
Gambar 2.15 Grafik karakteristik *instant=moment*

Source: data presentasi penelitian

b. *Time delay*

1) Definite (waktu tetap)

pada saat terjadi gangguan maka secara otomatis akan mengaktifkan rele yang kemudian rele tersebut akan mengaktifkan *timer* dan selanjutnya akan memberikan perintah kepada PMT untuk trip/*Tripping Coil* (TC) (memutuskan tenaga).

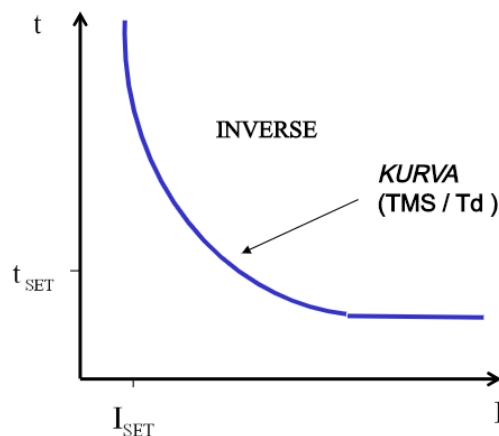


Gambar 2.16 Grafik Karakteristik tunda waktu tertentu (*Definite Time*)

Source: data presentasi penelitian

2) *Inverse* (waktu terbalik)

Inverse ketika terjadi gangguan, apabila arus gangguannya semakin besar, waktu tunda akan semakin sedikit (cepat), inilah yang

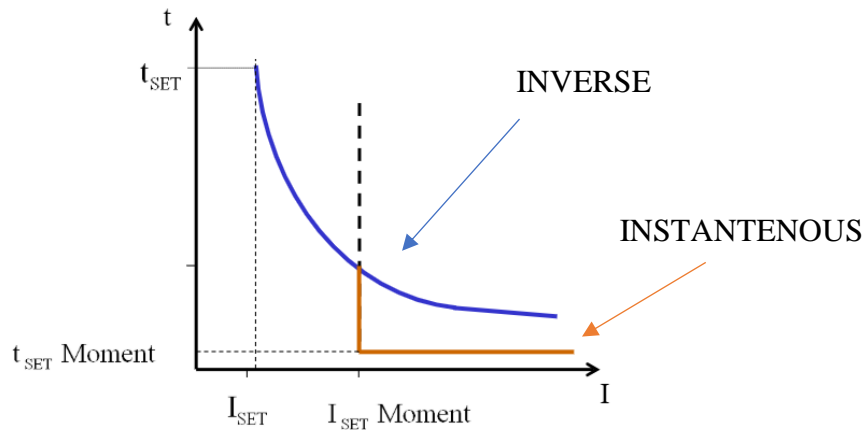


dimaksud dengan waktu terbalik (*inverse*)

Gambar 2.17 Grafik Karakteristik tunda waktu (*Inverse*)

Source: data presentasi penelitian

- c. Kombinasi instant dengan tunda waktu tertentu
 karakteristik ini merupakan kombinasi atau gabungan dari *instantaneous* dan *time delay*.



Gambar 2.18 Grafik Karakteristik Rele Waktu Kombinasi

Source: data presentasi penelitian

3. persamaan rele dalam karakteristik waktu

karakteristik waktunya dapat dibedakan menjadi empat kelompok dengan persamaan sebagai berikut:

- a. *Standard Inverse* (SI)

$$t = \frac{0,14}{I^{0,02-1}} tms \dots\dots\dots (5)$$

- b. *Very Inverse* (VI)

$$t = \frac{13,5}{I-1} tms \dots\dots\dots (6)$$

- c. *Extremely Inverse* (EI)

$$t = \frac{80}{I^2-1} tms \dots\dots\dots (7)$$

- d. *Long Time Inverse* (LTI)

$$t = \frac{120}{I-1} tms \dots\dots\dots (8)$$

4. Setelan koordinasi OCR dan GFR

Ada 2 tipe setelan sambungan OCR dan GFR sebagai berikut:

- a. sambungan tipe 3 OCR + 1 GFR

Sambungan tipe 3 OCR + 1 GFR

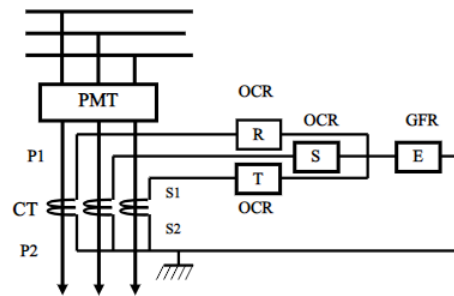


Diagram AC

Gambar 2.19 Sambungan tipe 3 OCR + 1 GFR

Source: data presentasi penelitian

- b. sambungan tipe 2 OCR + 1 GFR

Sambungan tipe 2 OCR + 1 GFR

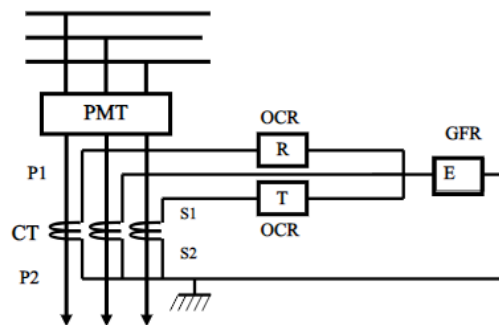


Diagram AC

Gambar 2.20 sambungan tipe 2 OCR + 1 GFR

Source: data presentasi penelitian

2.2.7 Penyebab gangguan

Adapun faktor penyebab dari gangguan-gangguan yang sering terjadi pada sistem tenaga listrik adalah sebagai berikut:

1. Faktor Manusia

Faktor manusia ini terjadi dikarenakan kelalaian manusia ataupun kesalahan dalam memberikan perlakuan terhadap sistem pada peralatan tenaga listrik. Kelalaian tersebut bisa berupa kurangnya tingkat keamanan (*self deffence*) pada diri sendiri yang tidak memakai peralatan keamanan. Kesalahan-kesalahan yang sering terjadi juga seperti salah penyambungan dalam rangkaian tidak tepat dalam mengkalibrasi suatu peralatan tenaga listrik dan lain sebagainya yang berhubungan dengan *human error*.

2. Faktor Internal

Faktor internal terjadi karena adanya beberapa gangguan pada sistem itu sendiri, contoh dari gangguannya adalah faktor internal berupa peralatan yang sudah tua (termakan usia), korosi akibat cuaca yang mengakibatkan kurangnya keandalan dalam memproteksi suatu peralatan atau mensuplai tenaga listrik. Adapun jenis-jenis gangguan internal dapat dijelaskan sebagai berikut:

a. Busur api

Gangguan ini dipicu oleh penyambungan konduktor yang tidak sesuai (salah penyambungan), kerusakan isolasi, terhubungnya fasa ke fasa yang menyebabkan hubung singkat dan lain sebagainya.

b. Gangguan pada sistem pendingin

Gangguan pada sistem pendingin transformator yaitu pada minyak transformator yang berfungsi sebagai isolator sekaligus pendingin tidaklah cukup bertahan lama. Harus terus dilakukan perawatan (*maintenance*), karena jika tidak apabila pendingin (minyak trafo) berada bawah level normal yang telah ditentukan maka pendingin dan sekaligus isolator trafo berupa minyak tidak bekerja secara maksimal.

c. Arus sirkulasi pada transformator

Dalam melakukan pendinginan pada transformator tidak hanya minyak transformator saja melainkan ada kipas angin trafo (fan) sebagai pendingin trafo, yang apabila terjadi gangguan maka tingkat keandalan trafo menjadi berkurang. Sistem pendingin berupa fan ini biasanya terdapat pada transformator yang berkapasitas besar.

3. Faktor Eksternal

Faktor eksternal terjadi karena adanya gangguan pada sistem yang disebabkan oleh faktor dari luar, contohnya cuaca buruk berupa angin kencang yang menyebabkan pohon tumbang dan merusak peralatan sistem, petir yang menyebabkan tegangan berlebih, ataupun konslet yang disebabkan oleh gangguan-gangguan hewan.

2.2.8 Persyaratan Kualitas proteksi

Ada beberapa persyaratan proteksi yang perlu diperhatikan dalam suatu sistem tenaga listrik agar keandalan dalam suatu sistem proteksi tersebut meningkat, berikut adalah persyaratannya:

1. Selektivitas dan diskriminasi

Selektivitas dan diskriminasi dimaksudkan adalah mencapai keefektifitasan suatu sistem proteksi yang hanya dapat mengisolir bagian yang mengalami gangguan saja.

2. Stabilitas

Sifat suatu sistem proteksi yang memiliki sistem operasi tetap ketika terjadi gangguan-gangguan di luar zona yang melindungi (gangguan luar).

3. Kecepatan operasi

Dalam hal ini sistem proteksi perlu memiliki tingkat kecepatan operasi untuk meningkatkan mutu pelayanan, keamanan manusia, peralatan dan stabilitas. Dikarenakan dalam tenaga listrik tentu memiliki batas-batas stabilitas sehingga arus gangguan yang terus mengalir dapat menyebabkan kerusakan pada peralatan, sehingga diperlukan rele proteksi yang bekerja dengan cepat tidak hanya

memperkecil gangguan tetapi juga memperkecil kemungkinan meluasnya gangguan pada peralatan.

4. Sensitivitas (kepekaan)

Suatu rele proteksi bertugas mengamankan suatu alat atau suatu bagian tertentu dari suatu sistem tenaga listrik, alat atau bagian yang termasuk dalam jangkauan pengamanannya. Rele proteksi akan mendeteksi adanya gangguan yang terjadi pada daerah pengamanannya dan harus sensitif dalam mendeteksi gangguan.

5. Pertimbangan ekonomis

Perlunya mempertimbangkan dalam hal keekonomisan biaya sehingga dapat menerapkan biaya yang ekonomis namun mempunyai kemampuan pengamanan yang sebesar-besarnya dikarenakan banyaknya titik-titik proteksi yang harus dipasang.

6. Realibilitas (keandalan)

Dalam keadaan normal atau sistem yang tidak pernah terganggu rele proteksi tidak bekerja selama berbulan-bulan bahkan mungkin sampai bertahun-tahun, tetapi rele proteksi tetap bisa diandalkan bila diperlukan harus dan pasti dapat bekerja, sebab apabila gagal bekerja dapat mengakibatkan kerusakan yang lebih parah pada peralatan yang diamankan atau mengakibatkan bekerjanya rele lain sehingga daerah itu mengalami pemadaman yang lebih luas. Untuk tetap menjaga keandalannya maka rele proteksi harus dilakukan pengujian secara periodik.

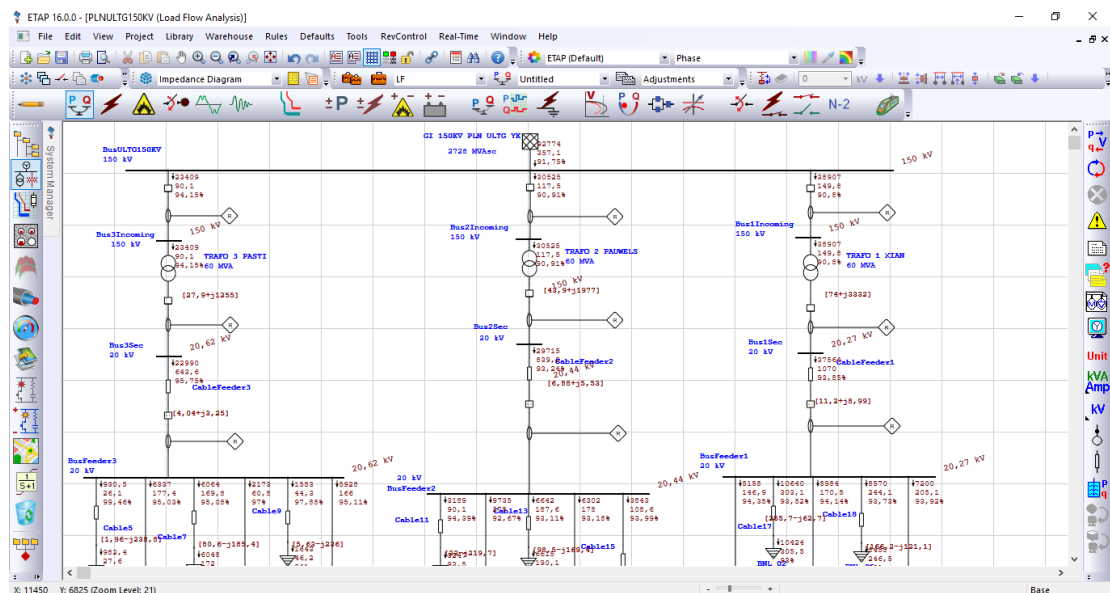
7. Proteksi pendukung

Proteksi pendukung (*back up system*) merupakan susunan yang sepenuhnya berpisah dan bekerja untuk mengeluarkan bagian yang terganggu apabila proteksi utama tidak bekerja (*fail*). Sistem pendukung ini sedapat mungkin independen seperti halnya proteksi utama, memiliki trafo-trafo dan rele-rele tersendiri. Seringkali hanya tripping CB dan trafo-trado tegangan yang dimiliki bersama oleh keduanya. (Tasiam :2017)

2.2.9 Software ETAP

ETAP (*Electric Transient and Analysis Program*) merupakan sebuah software atau aplikasi yang berfungsi untuk membantu para *electrical engineer* melakukan analisis dan simulasi untuk suatu sistem tenaga listrik. Aplikasi ini juga dapat menganalisis hubung singkat (*Short Circuit analysis*), analisis aliran daya (*load flow analysis*), analisis percikan bunga api (*arc flash analysis*), *starting motor*, koordinasi proteksi, dan analisis kestabilan transien ataupun daya *loses* pada sebuah sistem tenaga listrik, sehingga dalam melakukan analisis dalam penelitian tugas akhir ini menggunakan *software* ETAP 16.0.0.

Dalam penelitian tugas akhir ini, penulis akan melakukan analisis pada etap dengan cara melakukan analisis hubung singkat (Short Circuit Analysis) dan analisis aliran daya (*load flow analysis*) beserta *losses* daya. Hasil analisis pada etap adalah bentuk ideal karena kebanyakan *library* yang otomatis dengan standar IEC dan ANSI. Sehingga dapat melakukan perbandingan dari data hasil simulasi dengan data terukur di lapangan.



Gambar 2.21 Ilustrasi dan simulasi short circuit ETAP 16.0.0

Source: screenshot pribadi software ETAP 16.0.0

2.2.10 Dasar-Dasar Perhitungan/Persamaan Rumus

1. Segitiga daya

$$\sin(\theta) = \frac{Q}{S}; \cos(\theta) = \frac{P}{S}; \tan(\theta) = \frac{Q}{P} \dots\dots\dots (9)$$

2. Menghitung kapasitas Daya Hubung Singkat:

$$MVAsc = \sqrt{3} \times I_{hs} \times V_{primer} \dots\dots\dots (10)$$

2. Menghitung Impedansi Sumber:

$$Z_{s1} = \frac{KV^2}{MVAsc} \dots\dots\dots (11)$$

3. Menghitung Impedansi Trafo:

$$Z_{s2} = \frac{KV^2}{MVA_{Trafo}} \dots\dots\dots (12)$$

4. Menghitung Impedansi Trafo urutan positif negatif:

$$Z_{T1} = \%X_T \times \frac{E_{TM^2}}{MVA_{TR}} \dots\dots\dots (13)$$

5. Menghitung Impedansi Trafo urutan nol

$$Z_{T0} = 3 \times X_{T1} \dots\dots\dots (14)$$

6. Menghitung impedansi jaringan..... (15)

a. Impedansi urutan positif

$$Z1=Z2=\text{panjang penyulang (km)} \times Z_0 \Omega$$

b. Impedansi urutan negatif

$$Z_0 = \text{panjang penyulang (km)} \times Z_0 \Omega$$

c. Impedansi ekivalen urutan positif dan negatif

$$Z_{1eq} = Z_{2eq} = Z_{s1} + Z_{t1} + Z_{1\text{penyulang}} \Omega$$

d. Impedansi ekivalen urutan nol

$$Z_{0eq} = Z_{t0} + 3 RN + Z_{0\text{penyulang}} \Omega$$

RN= tahanan tanah trafo tenaga

7. Menghitung arus hubung singkat

a. Arus hubung singkat 3 fasa

$$I_{3\text{fasa}} = \frac{V_{ph}}{Z_{1eq}} \dots\dots\dots (16)$$

b. Arus hubung singkat 2 fasa

$$I_{2\text{fasa}} = \frac{V_{ph-ph}}{Z_{1eq}+Z_{2eq}} \dots\dots\dots (17)$$

c. Arus hubung singkat 1 fasa

$$I_{1fasa} = \frac{3 \times V_{ph}}{Z_{1eq} + Z_{2eq} + Z_{0eq}} \dots\dots\dots (18)$$

8. Menghitung Arus setting OCR dan GFR

a. Setting OCR

primer

$$I_{set(prim)} = 1,05 \times I_{nominaltrafo} \dots\dots\dots (19)$$

Sekunder

$$I_{set(sec)} = I_{set(prim)} \times \frac{1}{ratio\ CT} \dots\dots\dots (20)$$

b. Setting GFR

primer

$$I_{set(prim)} = 0,2 \times I_{nominal\ trafo} \dots\dots\dots (21)$$

sekunder

$$I_{setsekunder} = \frac{0,2 \times I_{Nom}}{CT} \dots\dots\dots (22)$$

9. Menghitung time delay (dasar perhitungan)

$$T_d = \frac{\left(\frac{I_f}{I_s}\right)^{0,02} - 1}{0,14} \cdot 1,2 \dots\dots\dots (23)$$

$$T_{act} = \frac{0,14}{\left(\frac{I_f}{I_s}\right)^{0,02} - 1} \cdot T_d \dots\dots\dots (24)$$

10. Perhitungan TMS

$$TMS = \frac{t \times \left[\left[\frac{I_{fault}}{I_{set}} \right]^a - 1 \right]}{0,14} \dots\dots\dots (25)$$

11. Perhitungan setting waktu

$$t = \frac{0,14 \times tms}{\left[\frac{I_{fault}}{I_{set}} \right]^{0,02} - 1} \dots\dots\dots (26)$$