

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kajian Pustaka

Transformator merupakan komponen terpenting sistem tenaga listrik yang berfungsi sebagai penaik ataupun penurun tegangan. Semakin berkembangnya jumlah penduduk disuatu daerah otomatis penggunaan listrikpun semakin bertambah. Untuk menghindari transformator dari beban berlebih yang dapat berdampak berkurangnya usia trafo bahkan membuat trafo terbakar, maka dibutuhkan sistem proteksi yang dapat mengamankan trafo dari berbagai gangguan, sehingga trafo dapat bekerja secara optimal. Mengingat trafo itu sendiri merupakan komponen utama pada sistem tenaga listrik.

Rujukan penelitian yang pernah dilakukan sebagai acuan penulisan tugas akhir ini antara lain:

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

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

apabila ditinjau berdasarkan fasa, semakin besar arus gangguan maka semakin cepat waktu kerja *relay* begitu juga sebaliknya.

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

Indra Baskara (2015) melakukan penelitian mengenai Studi Koodinasi Peralatan Proteksi OCR dan GFR pada Penyulang Tibubeneng. Dari penelitian ini disimpulkan Penentuan nilai *setting* arus, *setting* waktu dan pemilihan karakteristik kurva sangat mempengaruhi tingkat koordinasi sistem proteksi.

Prayoga Setiajie (2015) melakukan penelitian mengenai Evaluasi *Setting Relay* Arus Lebih dan *Setting Relay* Gangguan Tanah pada Gardu Induk Spondol. Dari penelitian ini disimpulkan bahwa kinerja *relay* tidak hanya di pengaruhi oleh nilai setting TMS nya saja, jarak gangguan dan besarnya arus gangguan yang terjadi mempengaruhi kerja dari *relay*.

2.2 Landasan Teori

2.2.1 Pengertian Gardu Induk

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

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

2.2.2 Gardu Induk Menurut Tegangannya

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

1. Gardu Induk Transmisi

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

2. Gardu Induk Distribusi

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

2.2.3 Gardu Induk Menurut Penempatannya

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

1. *Indoor Substation* (Gardu Induk pasangan dalam) adalah Gardu Induk yang peralatannya dipasang di dalam sebuah bangunan atau ruang tertutup, yang bertujuan untuk keselarasan dengan daerah sekitarnya, serta menghindari dari bahaya kebakaran dan gangguan suara.
2. *Outdoor Substation* (Gardu Induk pasangan luar) adalah Gardu Induk yang peralatannya berada diluar sebuah bangunan atau di tempat terbuka, namun sebagian *instrument* berada di dalam sebuah bangunan seperti alat kontrol dan alat ukur. Gardu Induk ini memerlukan tanah yang luas dan biaya konstruksinya lebih murah serta sistem pendinginannya mudah.

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

2.2.4 Komponen Utama pada Gardu Induk di Sisi Penyulang

Berikut adalah beberapa komponen utama pada Gardu Induk di sisi penyulang.

1. Transformator Daya



Gambar 2. 1 Bentuk fisik trafo daya

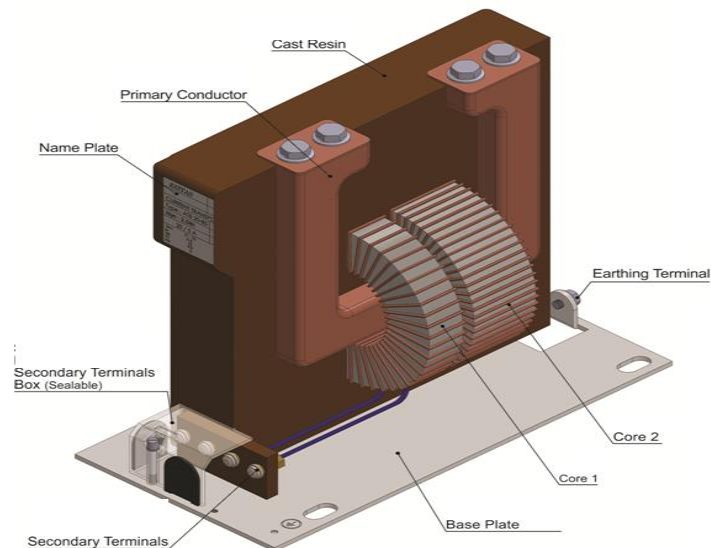
(sumber: <https://materiselamasekolah.wordpress.com>)

Transformator adalah sebuah alat listrik statis yang berfungsi mengubah tegangan guna penyaluran daya listrik dari suatu rangkaian ke rangkaian yang lain melalui gandengan magnet berdasarkan prinsip induksi elektromagnetik.

Transformator daya digunakan untuk mengubah tegangan dari tegangan tinggi ke tegangan rendah begitupun sebaliknya agar didapatkan penyaluran daya yang efisien. Kemampuan transformator untuk mengubah tegangan ini diperoleh karena dua macam lilitan yaitu lilitan primer dan lilitan sekunder, sehingga perbandingan jumlah lilitan dengan langsung menetapkan perbandingan tegangan dan dengan terbalik menetapkan perbandingan arusnya. Transformator daya berfungsi sangat penting dalam penyaluran daya listrik, oleh karena itu trafo harus diamankan untuk mencegah kerusakan akibat gangguan, baik gangguan yang terjadi di dalam trafo itu sendiri maupun gangguan yang terjadi diluar trafo yang dapat mengakibatkan kerusakan pada trafo tersebut.

2. Transformator Instrumen

CURRENT TRANSFORMER



Gambar 2. 2 Bentuk dalam trafo arus

(Sumber: <https://saptocerita.blogspot.co.id>)

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

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

Transformator ini terdiri dari 2 jenis, yaitu:

- a. Transformator Arus

adalah instrumen yang digunakan untuk mengukur arus beban pada suatu rangkaian, dengan menggunakan transformator arus maka arus beban yang besar bias diukur dengan menggunakan ampermeter.

b. Transformator Tegangan

biasa disebut juga dengan potensial transformator yang memiliki fungsi:

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

3. *Disconnecting Switch*

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

4. *Circuit Breaker (CB)*



Gambar 2. 3 Bentuk fisik *circuit breaker*

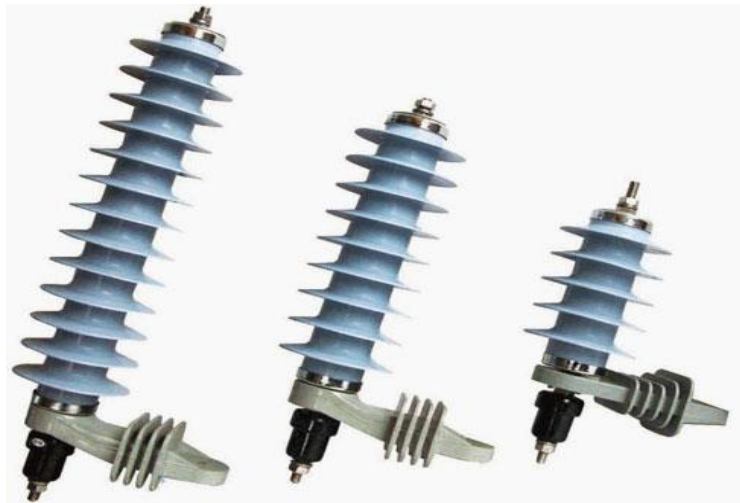
(sumber: <http://hadyone.blogspot.co.id>)

Merupakan sebuah instrumen pemutus yang memiliki fungsi sebagai pemutus ataupun penyambung arus beban nominal untuk kepentingan operasi. Selain itu pemutus beban juga harus dapat memutuskan arus hubung singkat dan arus gangguan lain, apabila terjadi gangguan pada saluran atau jaringan pada daerah yang diproteksinya. Untuk memilih pemutus yang baik, maka baiknya menentukan nilai kapasitas pemutus arus yang memiliki nilai kapasitas tinggi, Karena pada jaringan 150 kV arus hubung singkat yang mungkin terjadi bernilai besar.

Dalam menentukan pemutus biasanya menggunakan rumus sebagai berikut:

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

5. Arrester



Gambar 2. 4 Bentuk *arrester*

(sumber: <http://eescambodia.com>)

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

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

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

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

Dimana:

E_p : puncak surja yang datang

E_a : tegangan pelepasan *arrester* (kA)

A : kecuraman gelombang datang

S : jarak (meter)

V : Kecepatan rambat cahaya (m/s)

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

6. *Grounding*

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

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

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

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

7. Kabel

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

8. Aluminium Conduct Steel Reinforced (ACSR)



Gambar 2. 5 Kabel ACSR

(sumber: <https://www.kelistrikanku.com>)

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

2.2.5 Sistem Proteksi Tenaga Listrik

Sistem proteksi tenaga listrik adalah sistem proteksi yang diterapkan pada peralatan-peralatan listrik yang terpasang pada suatu sistem tenaga listrik, contohnya generator, transformator jaringan dan peralatan listrik lainnya terhadap kondisi *abnormal*. Kondisi *abnormal* pada sistem tenaga listrik adalah hubung singkat, tegangan lebih, beban lebih, frekuensi sistem rendah, asinkron, dan lain-lain.

2.2.6 Tujuan Sistem Proteksi Tenaga Listrik

Sistem proteksi tenaga listrik mempunyai tujuan sebagai berikut:

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

2.2.7 Persyaratan Sistem Proteksi Tenaga Listrik

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

1. Sensitifitas (kepekaan)

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

2. Selektifitas dan Diskriminatif

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

3. Kecepatan

Sistem proteksi perlu memiliki tingkat kecepatan sebagaimana ditentukan sehingga meningkatkan mutu pelayanan, keamanan manusia, peralatan dan stabilitas operasi.

4. Keandalan

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

5. Ekonomis

Suatu perencanaan teknik yang baik tidak terlepas tentunya dari pertimbangan nilai ekonomisnya. Suatu *relay* proteksi yang digunakan hendaknya ekonomis mungkin dengan tidak mengesampingkan fungsi dan keandalannya.

2.2.8 Jenis Gangguan pada Sistem Tenaga Listrik

Jenis gangguan pada sistem tenaga listrik adalah sebagai berikut:

1. Gangguan Internal

Busur api adalah salah satu gangguan internal yang dapat dipicu oleh penyambungan konduktor yang tidak sesuai atau tidak baik, kontak-kontak listrik yang tidak baik, serta kerusakan isolasi antara inti baut.

2. Gangguan pada sistem pendingin

Umumnya pendingin pada transformator adalah minyak transformator mempunyai fungsi sebagai isolasi sekaligus bahan pendingin. Namun, ketika terjadi suatu gangguan didalam transformator maka minyak tersebut memunculkan sejumlah gas yang dapat mengganggu sistem kerja transformator.

3. Gangguan Eksternal

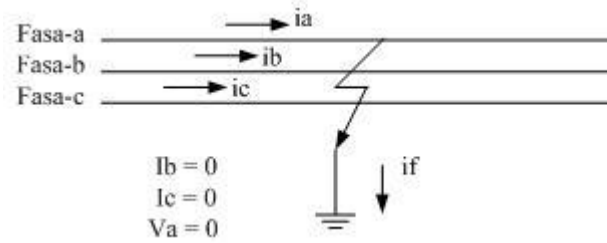
a. *Over Voltage* atau Gangguan Tegangan Lebih

Gangguan tegangan lebih adalah salah satu gangguan yang terjadi dikarenakan adanya sebuah tegangan pada sistem tenaga listrik yang lebih besar dari keadaan normalnya. Gangguan ini dapat terjadi karena beberapa faktor, diantaranya adalah faktor internal dan eksternal. Gangguan yang disebabkan oleh faktor internal biasanya mencakup perubahan beban yang tiba-tiba, operasi pelepasan dan pemutusan yang tiba-tiba dikarenakan adanya gangguan hubung singkat pada jaringan, serta kegagalan isolasi. Sedangkan dari faktor eksternal biasanya disebabkan oleh petir yang menyambar ke saluran atau tertimpa pohon akibat angin kencang.

b. *Short Circuit Fault* atau Gangguan Hubung Singkat

Gangguan hubung singkat di klarifikasikan menjadi 4 jenis, yaitu:

- **Gangguan Hubung Singkat 1 Fasa ke Tanah**



Gambar 2. 6 Gangguan 1 fasa ke tanah

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

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

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

Dimana:

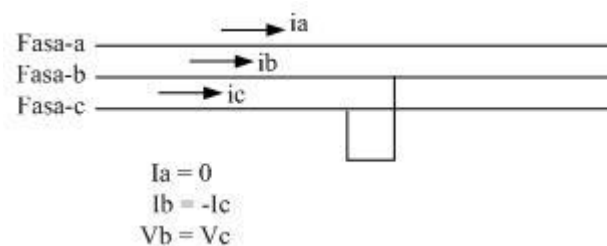
V_f : Tegangan dititik gangguan sesaat sebelum terjadinya gangguan

Z_0 : Impedansi urutan nol dilihat dari titik gangguan

Z_1 : Impedansi urutan positif dilihat dari titik gangguan

Z_2 : Impedansi urutan negatif dilihat dari titik gangguan

- **Gangguan Hubung Singkat 2 Fasa**



Gambar 2. 7 Gangguan 2 fasa

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

Merupakan jenis gangguan yang terjadi dikarenakan adanya 2 buah jaringan yang saling terhubung, yang biasa disebabkan oleh hewan seperti ular, monyet dan ranting pohon.

Dengan rumus: $I_{a1} = \frac{V_f}{Z_0 + Z_1}$

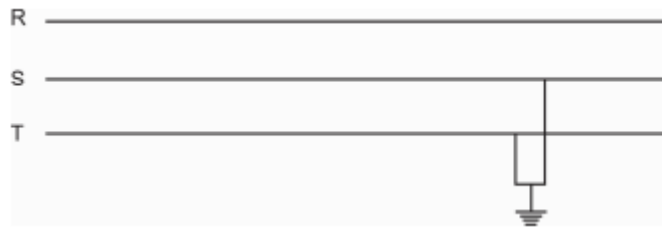
Dimana:

V_f : Tegangan dititik gangguan sesaat sebelum terjadinya gangguan

Z_0 : Impedansi urutan nol dilihat dari titik gangguan

Z_1 : Impedansi urutan positif dilihat dari titik gangguan

- **Gangguan Hubung Singkat 2 Fasa ke Tanah**



Gambar 2. 8 Gangguan 2 fasa ke tanah

(sumber: Putra, A. 2017)

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

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

Dimana:

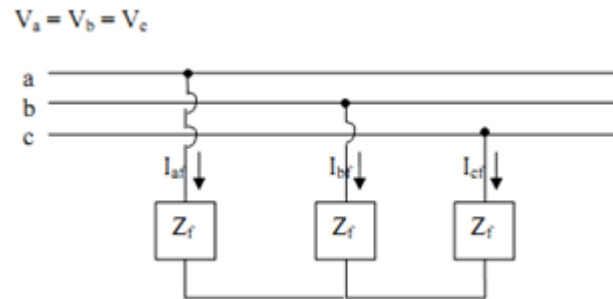
V_f : Tegangan dititik gangguan sesaat sebelum terjadinya gangguan

Z_0 : Impedansi urutan nol dilihat dari titik gangguan

Z_1 : Impedansi urutan positif dilihat dari titik gangguan

Z_2 : Impedansi urutan negatif dilihat dari titik gangguan

- **Gangguan Hubung Singkat 3 fasa**



Gambar 2. 9 Gangguan 3 fasa

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

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

Dengan rumus:

$$I_a = I_{a1} \dots\dots\dots$$

Atau

$$I_a = \frac{V_f}{Z_1} \dots\dots\dots$$

Dimana:

V_f : Tegangan dititik gangguan sesaat sebelum terjadinya gangguan

Z_1 : Impedansi ururan positif dilihat dari titik gangguan

I_a : Arus pada fasa R

2.2.9 Penyebab Gangguan pada Sistem Tenaga Listrik

Ada beberapa penyebab dari banyaknya gangguan yang kerap terjadi pada sistem tenaga listrik, diantaranya:

1. Faktor Manusia

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

2. Faktor Internal

Terjadinya faktor ini dikarenakan adanya beberapa gangguan pada sistem itu sendiri, contohnya adalah faktor usia pakai, keausan dan lain sebagainya. Hal ini berdampak pada kurangnya sensitivitas *relay* pengaman, juga dapat mengurangi daya isolasi peralatan listrik lainnya.

3. Faktor Eksternal

Faktor ini meliputi gangguan-gangguan yang disebabkan dari luar atau lingkungan di sekitar sistem. Contohnya cuaca, gempa bumi, banjir, dan sambaran petir. Dan bisa saja disebabkan oleh gangguan dari binatang, contohnya gigitan tikus, burung, kelelawar, ular, dan lain sebagainya.

2.2.10 Peralatan Proteksi Sistem Tenaga Listrik

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

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

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

2. *Fuse Cute Out* (Pengaman Lebur)

Merupakan sebuah alat pemutus yang memiliki tujuan untuk menghilangkan gangguan yang bersifat permanen. Adapun cara kerjanya dengan melebur bagian

dari komponen yang sudah disesuaikan ukurannya dan telah dirancang khusus untuk membuka rangkaian, dimana pelepasan tersebut dipasang dan memutuskan arus jika arus tersebut sudah melebihi suatu nilai dalam waktu tertentu.

3. *Sectionalizer* (Saklar Seksi Otomatis)

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

4. *Relay* Proteksi

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

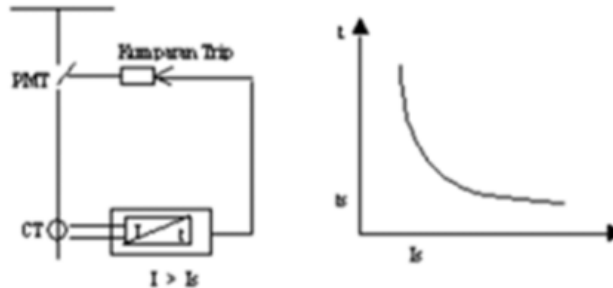
Relay proteksi dapat mengetahui adanya gangguan pada peralatan yang perlu diamankan dengan mengukur atau membandingkan besaran-besaran yang diterima dengan nilai besaran yang telah ditentukan. Besaran-besaran tersebut adalah arus, tegangan, daya, sudut fasa, frekuensi dan lain sebagainya.

2.2.11 Proteksi *Overcurrent Relay* (OCR)

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

1. *Standard Inverse*

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



Gambar 2. 10 Karakteristik *relay* arus lebih waktu terbalik

(sumber: Erwin, dkk. 2010)

Ketentuan rumus umum dari *standard inverse* adalah:

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

Dimana:

t : *Time setting relay*

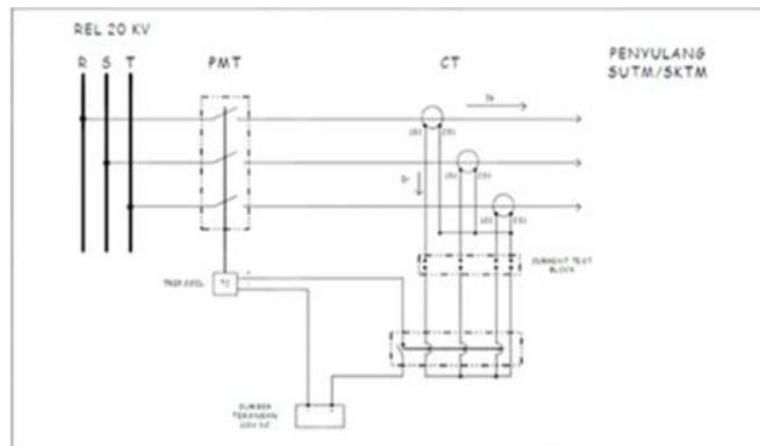
tms : Standar waktu *setting relay*

K : Konstanta *standard inverse* (0,14)

α : Konstanta *standard inverse* (0,02)

2. Prinsip Kerja OCR

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



Gambar 2. 11 Rangkaian pengawatan OCR

(sumber: Erwin, dkk. 2010)

3. Setting OCR

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

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

Dimana:

I_{set} : *Setting* arus

I_{nom} : Arus nominal pada transformator

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

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

2.2.12 Proteksi *Ground Fault Relay* (GFR)

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

1. Prinsip Kerja GFR

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

2. Setting GFR

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

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

Dimana:

I_{set} : *Setting* arus

I_{nom} : Arus nominal pada transformator

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

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

2.2.13 Software ETAP 12.6

Electric Transient Analysis Program (ETAP) merupakan salah satu *software* yang digunakan untuk sistem tenaga listrik. *Software* ini dapat bekerja secara *offline* untuk mensimulasikan tenaga listrik, dan juga dapat bekerja secara *online* untuk pengelolaan data *real time*.

Analisa tenaga listrik yang dapat dilakukan antara lain:

1. Analisa aliran daya (*Load flow analysis*)
2. Analisa hubung singkat (*Short circuit analysis*)
3. *Motor starting*
4. *Arc flash analysis*
5. *Harmonics power system*
6. Analisa kestabilan transien (*Transient stability analysis*)