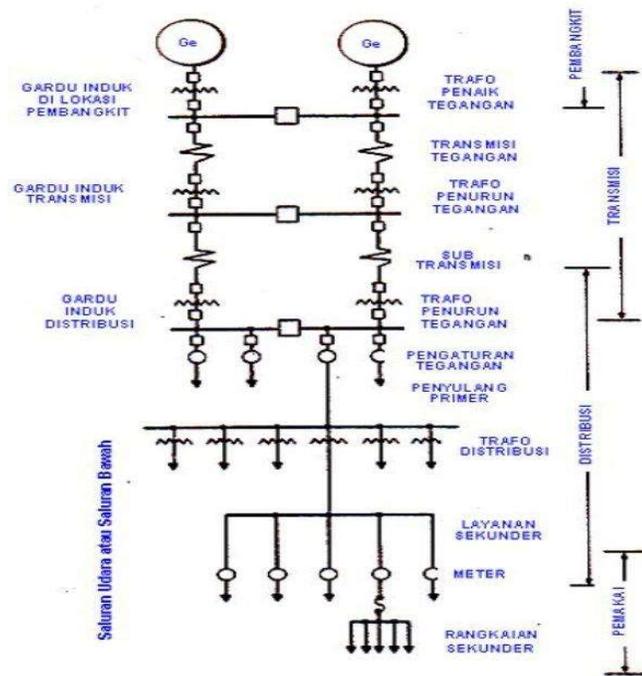


BAB II

LANDASAN TEEORI

2.1. Komponen Pada Sistem Distribusi

Merupakan sistem distribusi yang mencakup secara luas mengenai sistem tenaga listrik dan berfungsi sebagai penyalur energi listrik dari sistem pembangkit sampai ke tangan konsumen, secara umum dapat digambarkan sebagai berikut:



Gambar 2.1. diagram satu garis sistem tenaga listrik.

2.2. Gangguan Sistem Tenaga Listrik

Sistem tenaga listrik meliputi generator, transformator, saluran transmisi, saluran distribusi, dan beban. Hampir dua pertiga gangguan terjadi pada saluran daya (saluran transmisi dan distribusi). Hal ini dapat dimengerti karena saluran memiliki banyak cabang, panjang, dan bekerja dalam kondisi cuaca yang bervariasi, serta akibat berbagai faktor lainnya.

Sebaik apapun suatu sistem tenaga listrik dirancang, gangguan pasti dapat terjadi pada sistem tenaga tersebut. Gangguan ini dapat merusak peralatan sistem tenaga sehingga kerja sistem tenaga menjadi terganggu dan dapat menyebabkan gagalnya penyaluran daya ke konsumen.

Berdasarkan sumber gangguan, gangguan pada sistem tenaga listrik dapat dibagi menjadi dua, yaitu :

a) Gangguan *Internal*

Sumber gangguan berasal dari dalam sistem. Penyebabnya dapat berupa:

- Penuaan peralatan
- Penentuan parameter proteksi yang kurang baik
- Tegangan dan arus *abnormal*

b) Gangguan *Eksternal*

Sumber gangguan berasal dari luar sistem. Penyebabnya dapat berupa:

- Kesalahan manusia dalam mengoperasikan sistem tenaga
- Pengaruh cuaca seperti hujan, angin, serta surja petir
- Pengaruh lingkungan seperti pohon, binatang dan lain-lain.

Bila ditinjau dari segi lamanya waktu gangguan, maka dapat dikelompokkan menjadi :

a) Gangguan Yang Bersifat Temporer

Gangguan yang dapat hilang dengan sendirinya atau dengan memutuskan sesaat bagian yang terganggu dari sumber tegangannya. Gangguan sementara jika tidak dapat hilang dengan segera dapat berubah menjadi gangguan permanen.

b) Gangguan Yang Bersifat Permanen

Dimana untuk membebaskannya diperlukan tindakan perbaikan atau menyingkirkan penyebab gangguan tersebut.

2.2.1. Penyebab Terjadinya Gangguan

Berdasarkan penyebab gangguan, gangguan pada sistem tenaga listrik seperti pada gambar 2.2 dapat dikelompokkan :

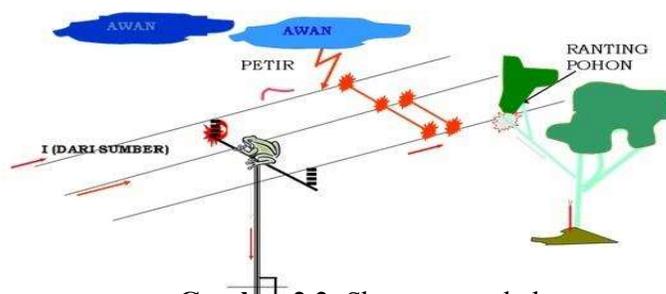
a) Tegangan Lebih (*Over Voltage*)

Suatu gangguan akibat tegangan pada sistem tenaga listrik lebih besar dari seharusnya. Umumnya diakibatkan oleh adanya sambaran petir. Perubahan arus yang sangat cepat dan faktor induktansi dari saluran menyebabkan timbulnya tegangan pada saluran. Penambahan tegangan ini dapat mengakibatkan tegangan pada sistem naik melampaui BIL (*Basic Impuls Level*) dari peralatan sistem sehingga dapat merusak peralatan tersebut (Kurniawan,A.P.2007:10-11).

b) Arus Lebih (*Over Current*)

Gangguan arus lebih ditandai dengan terjadinya kenaikan arus melebihi arus beban maksimum. Arus lebih terbagi menjadi arus beban lebih dan arus hubung singkat. Arus beban lebih terjadi akibat penambahan beban yang akan menyebabkan arus mengalir melebihi arus beban maksimum. Kenaikan arus beban lebih ini tidak terlalu besar (normal) sehingga sistem masih bisa bertahan untuk selang waktu yang cukup lama. Sedangkan arus hubung singkat adalah terjadinya hubungan penghantar bertegangan maupun tidak bertegangan sehingga mengalir arus sangat besar (tidak normal/*abnormal*). Arus hubung singkat yang begitu besar membahayakan peralatan, sehingga perlu diputuskan dengan peralatan pemutus tenaga (PMT). Gangguan hubung singkat yang sering terjadi yaitu :

- 1) Hubung Singkat Satu Fase Ke Tanah
- 2) Hubung Singkat Dua Fase
- 3) Hubung Singkat Tiga Fase



Gambar 2.2. Skema penyebab gangguan

2.2.2. Jenis-Jenis Gangguan Hubung Singkat

a) Hubung Singkat Satu Fase Ke Tanah

Hubung singkat satu fase ke tanah adalah gangguan hubung singkat yang terjadi karena *flashover* antara penghantar fase dan tanah (tiang travers atau kawat tanah pada SUTM). Gangguan ini bersifat temporer, tidak ada kerusakan yang permanen di titik gangguan. Pada gangguan yang tembusnya (*breakdown*) adalah isolasi udaranya. Setelah arus gangguannya terputus, misalnya karena terbukanya *circuit breaker* oleh relai pengamannya, peralatan atau saluran yang terganggu tersebut siap dioperasikan kembali. Jika terjadi gangguan satu fase ke tanah arus gangguannya hampir selalu lebih kecil daripada arus hubung singkat tiga fase.

b) Hubung Singkat Dua Fase

Hubung singkat dua fase adalah hubung singkat yang terjadi karena bersentuhannya antara penghantar fase dengan satu penghantar fase lainnya sehingga terjadi arus lebih (*over current*). Gangguan ini dapat diakibatkan oleh *flashover* dengan pohon-pohon yang tertiuip oleh angin. Jika terjadi gangguan hubung singkat dua fase, arus hubung singkatnya lebih kecil dari arus hubung singkat tiga fase.

c) Hubung Singkat Tiga Fase

Hubung singkat tiga fase adalah gangguan hubung singkat yang terjadi karena bersatunya ketiga penghantar fase. Gangguan ini dapat diakibatkan oleh tumbangnya pohon kemudian menimpa kabel jaringan.

Semua gangguan hubung singkat di atas, arus gangguannya dihitung dengan menggunakan rumus dasar (hukum ohm) yaitu :

$$I = \frac{V}{Z} \dots\dots\dots(2.1)$$

Di mana :

I = arus yang mengalir pada hambatan Z (amper)

V = tegangan sumber (volt)

Z = impedansi jaringan, nilai ekivalen dari seluruh impedansi didalam jaringan dari sumber tegangan sampai titik gangguan (ohm)

Yang membedakan antara gangguan hubung singkat satu fase ke tanah, dua fase dan tiga fase adalah impedansi yang terbentuk sesuai dengan macam gangguan itu sendiri, dan tegangan yang memasok arus ke titik gangguan.

Impedansi yang terbentuk dapat ditunjukkan seperti berikut ini :

Z untuk gangguan satu fase ke tanah, $Z = Z_1+Z_2+Z_0\dots\dots\dots(2.2)$

Z untuk gangguan dua fase, $Z = Z_1+Z_2\dots\dots\dots(2.3)$

Z untuk gangguan tiga fase, $Z = Z_1 \dots\dots\dots(2.4)$

Di mana:

Z_1 = impedansi urutan positif (ohm)

Z_2 = impedansi urutan negatif (ohm)

Z_0 = impedansi urutan nol (ohm)

2.3. Relai Arus Lebih (*Over Current Relay*)

2.3.1. Pengertian Relai Arus Lebih

Relai arus lebih (*Over Current Relay*) merupakan bagian dari sistem proteksi yang mengisolasi instalasi listrik terhadap gangguan antar fasa.

2.3.2. Jenis Relai Berdasarkan Waktu Kerja

Berdasarkan karakteristik waktu kerjanya, jenis-jenis relai dapat dijelaskan sebagai berikut:

a. Relai Arus Lebih Seketika (*Instantaneous*)

Merupakan relai yang bekerja tanpa perlambatan atau waktu tunda, sehingga jika arus yang melewati suatu jaringan melampaui arus penyetelannya, maka relai ini akan langsung memberikan perintah kepada PMT untuk membuka.

b. Relai Arus Lebih Dengan Waktu Tunda (*Definite*)

Relai ini bekerja jika arus yang mengalir pada relai tersebut melebihi arus *setting* yang ditentukan, lamanya waktu kerja relai ini untuk memberikan perintah membuka adalah sesuai waktu *setting* yang diinginkan, sehingga

waktu kerjanya tetap konstan, dan tidak dipengaruhi oleh besarnya arus yang melewatinya.

c. Relai Arus Lebih Dengan Waktu Kerja Terbalik (*Invers*)

Adalah relai yang akan bekerja bila arus yang mengalir pada relai tersebut melebihi besarnya arus *setting* yang telah ditentukan, lamanya waktu relai bekerja untuk memberikan perintah *tripping* adalah paling lambat sesuai waktu *setting* yang ditentukan, jadi pada relai ini waktu bekerjanya tidak sama dengan waktu *setting*. Sehingga semakin besar arus yang melewati relai, maka semakin cepat relai tersebut bekerja.

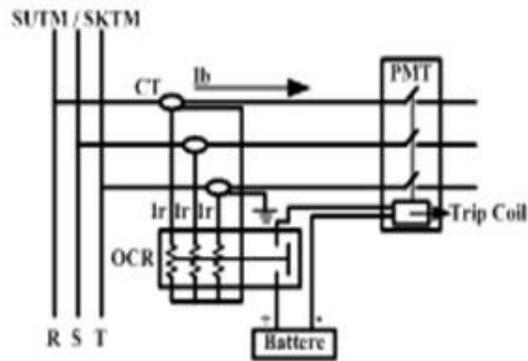
Berdasarkan kecondongan waktu-arus, pada relai jenis ini dapat dikelompokkan menjadi empat kelompok, yaitu sebagai berikut:

1. *Normal Inverse*
2. *Very Inverse*
3. *Long Invers*
4. *Extremely Inverse*

2.3.3. Prinsip Kerja Relai Arus Lebih

Relai arus lebih bekerja dengan mendeteksi arus yang masuk ke suatu penyulang dan membandingkannya dengan nilai *setting*, jika nilai arus yang terdeteksi melebihi nilai yang ditentukan, maka relai akan

mengirim perintah kepada Pemutus Tenaga (PMT) atau *Circuit Breaker* (CB) untuk melepas penyulang tersebut.



Gambar 2.3. Prinsip Kerja OCR

Cara kerja relai arus lebih dapat dijelaskan sebagai berikut:

- 1). Pada saat arus beban I_b mengalir pada SUTM / SKTM, nilai arusnya akan di transformasikan ke besaran arus sekunder I_r , sehingga dapat mengalir pada kumparan relai, karena arus ini masih lebih kecil dari pada suatu harga yang ditetapkan, maka relai tidak bekerja
- 2). Pada saat terjadi gangguan arus hubung singkat, nilai besaran dari arus beban I_b akan naik dan mempengaruhi arus sekunder I_r , apabila arus sekunder naik melebihi *setting* yang telah ditetapkan, maka relai akan bekerja dan memberikan perintah untuk membuka *tripping coil* sehingga PMT akan terbuka dan memisahkan penyulang yang terganggu dari jaringan.

2.3.4. *Setting* OCR

1. Arus *Setting* OCR

Penyetelan relai OCR pada sisi primer dan sisi sekunder transformator tenaga terlebih dahulu harus dihitung arus nominal transformator tenaga. Arus *setting* untuk relai OCR baik pada sisi primer maupun pada sisi sekunder transformator tenaga adalah:

$$I_{set} (\text{primer}) = 1,05 \times I_{\text{nominal trafo}} \dots\dots\dots (2.3)$$

Nilai tersebut adalah nilai primer, untuk mendapatkan nilai setelan sekunder yang dapat disetkan pada relai OCR, maka harus dihitung dengan menggunakan ratio trafo arus (CT) yang terpasang pada sisi primer maupun sisi sekunder transformator tenaga.

$$I_{set} (\text{cek}) = I_{set} (\text{primer}) \times \frac{1}{\text{Ratio CT}} \dots\dots\dots (2.4)$$

2. *Setting* waktu (TMS)

Hasil perhitungan arus gangguan hubung singkat, selanjutnya digunakan untuk menentukan nilai setelan waktu (TMS). Rumus untuk menentukan nilai setelan waktu bermacam-macam sesuai dengan desain pabrik pembuatan relai. Dalam hal ini diambil rumus TMS dengan relai merk MC 30.

Tabel 2.1. Karakteristik Operasi Waktu Jenis *Relay Inverse Time*

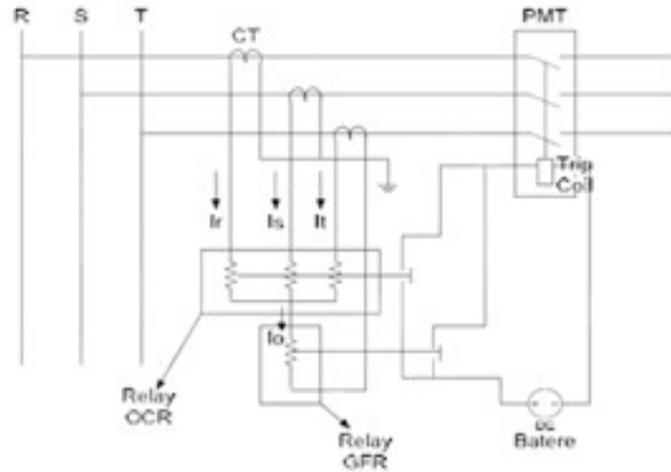
Tipe Relai	Setelan Waktu (TMS)
<i>Standar Inverse</i>	$\text{TMS} = \frac{0,14 \times t}{\left(\frac{I_f}{I_s}\right)^{0,02} - 1}$
<i>Very Inverse</i>	$\text{TMS} = \frac{13,5 \times t}{\left(\frac{I_f}{I_s}\right) - 1}$
<i>Extremely Inverse</i>	$\text{TMS} = \frac{80 \times t}{\left(\frac{I_f}{I_s}\right)^2 - 1}$
<i>Long Time Earth Fault</i>	$\text{TMS} = \frac{120 \times t}{\left(\frac{I_f}{I_s}\right) - 1}$

Untuk menentukan nilai TMS yang akan di setkan pada relai OCR sisi *incoming* transformator tenaga yaitu arus hubung singkat (*I_f*) -2 fasa di Bus 20 kV, sedangkan untuk sisi 150 kV transformator tenaga diambil arus hubung singkat (*I_f*) 2 fasa di sisi 150 kV

2.4. Relai Hubung Singkat Tanah (GFR)

2.4.1. Pengertian GFR

Relai hubung tanah atau yang lebih sering dikenal dengan *Ground Fault Relay* (GFR) merupakan bagian dari sistem proteksi yang mengisolasi instalasi listrik terhadap gangguan tanah.



Gambar 2.4. Rangkaian Pengawatan Relai GFR

2.4.2. Prinsip Kerja GFR

Pada kondisi normal dengan beban seimbang arus pada I_r , I_s , dan I_t sama besar, sehingga kawat netral tidak timbul arus dan relai gangguan tanah tidak dialiri arus. Namun bila terjadi ketidakseimbangan arus atau terjadi gangguan hubung singkat ke tanah, maka akan timbul arus nol pada kawat netral. Arus urutan nol ini akan mengakibatkan *Ground Fault Relay* bekerja.

2.4.3. Setting GFR

1. Arus Setting GFR

Penyetelan baik pada sisi primer maupun pada sisi sekunder transformator tenaga adalah:

$$I_{set} (\text{primer}) = 10\% \times I_{\text{nominal trafo}} \dots \dots \dots (2.5)$$

Sedangkan untuk menghitung *setting* arus pada sisi sekunder yaitu:

$$I_{set} \text{ (sekunder)} = I_{set} \text{ (primer)} \times \frac{1}{\text{ratio CT}} \dots\dots\dots (2.6)$$

2. Setelan waktu (TMS)

Hasil perhitungan gangguan hubung singkat, selanjutnya digunakan untuk menentukan nilai setelan waktu kerja relai (TMS). Sama halnya dengan relai OCR, relai GFR menggunakan rumus penyetelan TMS yang sama dengan relai OCR. Tetapi waktu kerja relai yang diinginkan berbeda. Relai GFR cenderung lebih sensitif dari pada relai OCR. Untuk menentukan nilai TMS yang akan disetkan pada relai GFR sisi incoming 20 kV dan sisi 150 kV transformator tenaga diambil arus hubung singkat 1 fasa ke tanah.