

BAB II

STUDI PUSTAKA DAN TEORI PENDUKUNG

2.1 Studi Pustaka

Dalam studi pustaka ini terdapat beberapa referensi-referensi yang menjadi pedoman dalam melakukan penulisan tugas akhir ini. Referensi ini terkait dengan aspek kajian penulisan.

Sugeng Priyono dalam penelitiannya yang berjudul “Koordinasi Sistem Proteksi Trafo 30 MVA di Gardu Induk Krapyak”. Meninjau dari penulisan yang Ia lakukan dapat ditarik kesimpulan bahwa sebuah transformator harus dilengkapi dengan peralatan pengaman OCR dan GFR sebagai perasa saat gangguan terjadi. Jurnal yang berjudul “Perhitungan Arus Gangguan Hubung Singkat pada Jaringan Distribusi di Kota Pontianak”. Dalam penulisan beliau membahas tentang jenis-jenis gangguan hubung singkat yang terjadi dalam jaringan distribusi dan perhitungan dalam menentukan besar nilai gangguan hubung singkat yang terjadi dalam jaringan distribusi. (Hendriyadi, FTE, Universitas Tanjungura).

Jurnal yang berjudul “Studi Analisa Koordinasi *Over Current Relay* (OCR) dan *Ground Fault Relay* (GFR) pada *Recloser* di Saluran Penyulang Penebel” membahas tentang OCR dan GFR pada penyulang panjang yang ada di Bali Selatan menarik kesimpulan bahwa koordinasi proteksi pada penyulang masih kurang baik, waktu peralatan proteksi beraksi saat terjadi gangguan masih dibawah 0,4 detik sehingga dapat terjadi *trip* dan *overlap*. (Agung Budhi Udiana, dkk, Badung Bali, 2017). Dari beberapa penelitian diatas yang menjadi acuan penulis, maka penulis melakukan “Analisis Koordinasi Proteksi pada Penyulang 20 kV dan Proteksi Pelanggan Khusus Tegangan Menengah pada Gardu Induk Bantul”. Dalam hal ini, penulis melakukan perhitungan *setting* rele OCR dan GFR yang sesuai dari data yang ada pada Gardu Induk Bantul, kemudian melakukan perbandingan hasil perhitungan *setting* rele OCR dan GFR dengan yang terpasang di Gardu Induk Bantul untuk mengetahui sistem tersebut baik digunakan serta keandalannya terjamin.

2.2 Teori Pendukung

2.2.1 Transformator (Trafo)

ANSI (*American National Standards Institute*)/IEEE (*Institute of Electrical and Electronics Engineering*) mendefinisikan sebuah transformator sebagai perangkat listrik statis, yang tidak melibatkan bagian yang terus bergerak, digunakan dalam sistem tenaga listrik untuk mentransfer daya antar sirkuit melalui penggunaan elektromagnetik induksi. Transformator memiliki nilai/*rating* yang berbeda-beda tergantung dengan beban yang terpasang. *Rating* yang dimiliki trafo berbeda-beda seperti 500kVA, 20MVA, 60MVA, dll.



Gambar 2.1 Transformator.

(Sumber: James H. Harlow, 2007)

2.2.2 Sistem Distribusi Tenaga Listrik

Listrik merupakan suatu bentuk energi yang sangat dibutuhkan dalam kehidupan manusia. Untuk digunakan oleh manusia listrik harus disalurkan melalui suatu peralatan terlebih dahulu. Dalam penyalurannya terdapat beberapa cara.

Sistem pelayanan (penyaluran) energi listrik umumnya terdiri atas 3 sistem utama yaitu pembangkit, sistem transmisi dan sistem distribusi. Sistem distribusi adalah sistem yang paling dekat dengan beban (konsumen). (Dielektrika, Vol.1, 2010).

Sistem distribusi tenaga listrik adalah suatu bagian dalam sistem tenaga listrik yang berfungsi menyalurkan energi listrik yang telah diterima pada sisi

Gardu Induk hingga sampai dengan Alat Pengukur dan Pembatas (APP) yang ada di instalasi rumah (konsumen). Untuk menyalurkan energi listrik tersebut dari Gardu Induk ke instalasi rumah (konsumen) digunakan gardu distribusi (gardu trafo) dengan standar yang berlaku.

Sistem distribusi tenaga listrik itu sendiri terdiri menjadi beberapa bagian yaitu Gardu Induk, Jaringan Distribusi Primer, Gardu Distribusi dan Jaringan Distribusi Sekunder.

1. Gardu Induk

Gardu induk sebagai salah satu komponen pada sistem distribusi tenaga listrik memegang peranan yang sangat penting, karena merupakan terminal terhadap pelayanan tenaga listrik ke konsumen. Peranan dari gardu induk itu sendiri adalah menerima dan menyalurkan tenaga listrik (KVA, MVA) sesuai dengan kebutuhan pada tegangan tertentu (TET, TT dan TM). (Dian Saefulloh, 2011).

2. Jaringan Distribusi Primer

Jaringan distribusi primer atau sering juga disebut dengan Jaringan Tegangan Menengah (JTM) ini terletak pada sisi primer trafo distribusi, yaitu antara sisi sekunder *transformator substation* (Gardu Induk) dengan sisi primer trafo distribusi. Jaringan Tegangan Menengah (JTM) dengan tegangan operasi 20 kV. Jaringan Tegangan Menengah (JTM) menghubungkan Gardu Induk dengan Gardu Distribusi dan antara Gardu Distribusi dengan Gardu Distribusi.

3. Gardu Distribusi

Gardu distribusi merupakan salah satu peralatan tenaga listrik yang memiliki kemampuan mengubah nominal tegangan dari tegangan menengah menjadi tegangan rendah dengan bantuan transformator penurun tegangan (*transformator step down*) untuk kemudian disalurkan ke beban (konsumen).

4. Jaringan Distribusi Sekunder

Jaringan distribusi sekunder atau jaringan distribusi tegangan rendah ialah jaringan tenaga listrik yang digunakan oleh konsumen atau pelanggan melalui gardu distribusi dengan besaran tegangan 130/230 V dan 130/400 V untuk sistem

lama, atau 380/220 V untuk sistem baru. Dengan ketentuan tegangan 130 V dan 220 V ialah tegangan antar fasa ke netral, sedangkan tegangan 400 V atau 380 V ialah tegangan fasa ke fasa.

2.2.3 Gangguan Pada Sistem Distribusi

Gangguan merupakan segala sesuatu yang berupa kejadian tak normal dalam sistem tenaga listrik yang dapat merusak peralatan sistem tenaga listrik sehingga menyebabkan proteksi pengaman bekerja (*mentripkan*).

Dalam sistem tenaga listrik gangguan dapat terjadi kapan saja dan dimana saja. Gangguan dalam sistem tenaga listrik terjadi karena banyak faktor yang memengaruhinya, yaitu antara lain:

1. Dalam sistem tenaga listrik daerah Jawa, gangguan sistem tenaga listrik lebih sering terjadi karena sambaran petir. Petir menyambar saluran-saluran sistem tenaga listrik, baik itu Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT), Saluran Udara Tegangan Ekstra Tinggi (SUTET), Saluran Udara Tegangan Menengah Menengah (SUTM), dll. Hal ini disebabkan oleh jumlah petir tergolong banyak di Indonesia.
2. Layang-layang, tanaman/ pohon, binatang liar seperti ular serta kelalaian manusia seperti membawa peralatan yang terlalu tinggi hingga menyentuh kabel beraliran listrik.
3. Untuk Saluran Bawah Tanah gangguan lebih sering disebabkan oleh kelalaian manusia seperti terkena cangkul atau bor.

William D. Stevenson, Jr (1983) mengutarakan bahwa gangguan pada sistem distribusi tenaga listrik dapat merusak atau mempengaruhi sistem daya. Adapun pengaruh-pengaruh tersebut antara lain:

1. Rusaknya peralatan listrik yang berada dekat dengan gangguan yang disebabkan arus-arus yang besar, arus tak seimbang maupun tegangan-tegangan rendah yang timbul akibat hubungan singkat.
2. Berkurangnya batas-batas kestabilan daya sistem tersebut.

3. Ledakan-ledakan yang mungkin terjadi pada peralatan yang mengandung minyak isolasi sewaktu terjadi suatu gangguan, menimbulkan kebakaran sehingga membahayakan orang yang menanganinya dan merusak peralatan.
4. Terpecah-pecahnya keseluruhan daerah pelayanan sistem daya itu oleh suatu rentetan tindakan pengamanan yang diambil oleh sistem-sistem pengamanan yang berbeda-beda.

Beberapa cara atau upaya dalam mengurangi jumlah gangguan sistem tenaga listrik antara lain (Djiteng Marsudi, Operasi Sistem Tenaga Listrik, 2016):

1. Merencanakan dan melaksanakan pemeliharaan sesuai dengan buku instruksi pemeliharaan.
2. Memeriksa alat-alat pengaman secara periodik.
3. Mengadakan analisa gerakan untuk menemukan sebab gangguan dengan tujuan mencegah gangguan terjadi atau agar gangguan serupa tidak terjadi.

2.2.3.1 Jenis-Jenis Gangguan

Ditinjau dari lamanya gangguan sistem tenaga listrik terbagi menjadi 2 (dua) macam antara lain:

1. Gangguan yang bersifat kontemporer

Gangguan yang bersifat kontemporer atau gangguan yang bersifat sementara yaitu artinya gangguan ini tidak berlangsung lama atau dapat hilang dengan sendiri setelah gangguan terjadi. Namun, bila gangguan kontemporer ini sering terjadi dapat berubah menjadi gangguan permanen dan merusak peralatan tenaga listrik. Bentuk umum gangguan ini yang sering kita jumpai adalah seperti gangguan yang disebabkan layangan, pohon yang mengenai jaringan dan hewan liar.

2. Gangguan yang bersifat permanen

Gangguan yang bersifat permanen adalah gangguan yang tidak akan hilang jika sumber atau penyebab dari gangguan itu sendiri tidak dihilangkan. Contohnya sendiri adalah adanya penghantar/kabel yang putus,

gangguan akibat penghantar/kabel yang putus tidak akan hilang sebelum penghantar/kabel putus itu sendiri belum diperbaiki (disambung).

Gangguan menurut sifat dan penyebabnya dikelompokkan menjadi 3 (tiga) macam antara lain sebagai berikut.

1. Gangguan Beban Lebih (*Over Load*)

Gangguan beban lebih (*over load*) merupakan suatu gangguan yang terjadi akibat pemasangan beban pada jaringan melebihi batas (kapasitas) maksimal beban yang ditetapkan. Misalnya sebuah transformator memiliki kapasitas sebesar 30 MVA sedangkan beban yang terpasang melebihi dari kapasitas tersebut maka akan menyebabkan pengaman bekerja (*trip*).

2. Tegangan Lebih (*Over Voltage*)

Over Voltage merupakan salah satu bentuk gangguan yang terjadi akibat adanya tegangan dalam jaringan yang melebihi batas atau ambang tegangan. Tegangan lebih (*over voltage*) ini biasanya disebabkan oleh 2 hal yaitu kesalahan pada AVR atau pengatur tap transformator pada sistem distribusi tenaga listrik dan penyebab yang kedua adalah sambaran petir atau surja petir. Petir yang menyambar biasanya pada saluran yang tinggi dimana awan yang bermuatan akan menuju ketanah melalui tiang (menara), jika arus petir lebih besar dari tahanan pentanahan dari menara maka akan timbul tegangan tinggi pada menara.

3. Hubung Singkat

Hubung singkat adalah gangguan yang terjadi karena adanya sentuhan antara bagian penghantar yang bertegangan atau tidak bertegangan sehingga terjadi kondisi yang tak normal pada arus dalam rangkaian.

Sentuhan tersebut dapat terjadi karena mungkin ketahanan isolasi yang digunakan sudah usang, aus, dan umur pemakaian yang sudah lama dan harus diganti.

Gangguan hubung singkat dapat dikelompokkan lagi menjadi beberapa gangguan yang terjadi disetiap fasannya yaitu:

1. Gangguan hubungan singkat tiga fasa

2. Gangguan hubungan singkat dua fasa
3. Gangguan hubungan singkat satu fasa ke tanah

Dalam mencari besarnya arus gangguan hubung singkat diatas dapat menggunakan rumus dasar sebagai berikut:

$$I = \frac{V}{Z}$$

Dimana:

I = Arus yang mengalir pada hambatan Z (A)

V = Tegangan sumber (V)

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

Z untuk gangguan tiga fasa, $Z = Z1$

Z untuk gangguan dua fasa, $Z = Z1 + Z2$

Z untuk gangguan satu fasa, $Z = Z1 + Z2 + Z0$

Dimana:

Z1 = Impedansi urutan positif (*ohm*)

Z2 = Impedansi urutan negatif (*ohm*)

Z0 = Impedansi urutan nol (*ohm*)

2.2.4 Menghitung Impedansi

Sebelum menghitung besarnya arus hubung singkat, kita perlu mengetahui besarnya impedansi-impedansi yang ada. Oleh karena itu, diperlukan perhitungan impedansi sumber, impedansi transformator, dan impedansi penyulang.

2.2.4.1 Impedansi Sumber

Mula-mula dihitung dulu impedansi sumber di bus 150 kV kemudian dikonversi menjadi impedansi bus 20 kV. Impedansi sumber di bus 150 kV diperoleh dengan rumus :

$$X_s = \frac{kV^2}{MVA}$$

Dimana :

Xs = Impedansi sumber (*ohm*)

kV^2 = Tegangan sisi primer trafo tenaga (kV)

MVA = Data hubung singkat di bus 150 kV (MVA)

2.2.4.2 Impedansi Transformator

Dalam menghitung impedansi transformator yang dihitung adalah besarnya reaktansi transformator, hal ini karena nilai imedansi transformator kecil sehingga diabaikan. Untuk mencari nilai reaktansi trafo dalam Ohm dihitung dengan cara sebagai berikut:

$$X_t(\text{pada } 100\%) = \frac{kV^2}{MVA}$$

Dimana :

X_t = Impedansi trafo tenaga (*ohm*)

kV^2 = Tegangan sisi primer trafo tenaga (kV)

MVA = Data hubung singkat di bus 150 kV (MVA)

2.2.4.3 Impedansi Penyulang

Impedansi penyulang memiliki nilai yang akan berubah-ubah sesuai dengan jenis penghantarnya baik itu dari bahan apa penghantar tersebut dibuat dan juga tergantung dari besar kecilnya penampang dan panjang penghantarnya.

2.2.4.4 Impedansi Ekivalen Jaringan

Mencari besarnya impedansi ekivalen jaringan terdiri dari beberapa perhitungan yaitu perhitungan impedansi ekivalen positif (Z_{1eq}), negatif (Z_{2eq}) dan nol (Z_{0eq}) dari titik gangguan sampai ke sumber. Karena tersambung seri maka perhitungan Z_{1eq} dan Z_{2eq} dapat langsung dengan cara menjumlahkan impedansi tersebut, sedangkan untuk perhitungan Z_{0eq} harus diketahui dulu hubungan belitan trafonya.

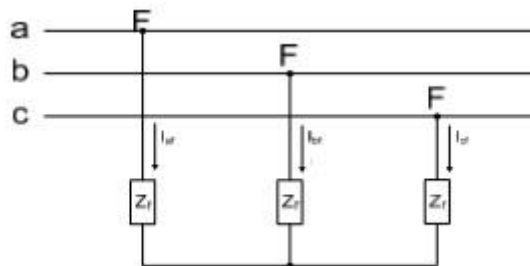
2.2.5 Menghitung Arus Gangguan Hubung Singkat

Perhitungan arus gangguan hubung singkat adalah analisa suatu sistem tenaga listrik pada saat dalam keadaan gangguan hubung singkat, dimana nantinya akan diperoleh besar nilai besaran - besaran listrik yang dihasilkan sebagai akibat gangguan hubung singkat tersebut. Perhitungan arus gangguan hubung singkat

sangat penting untuk mempelajari sistem tenaga listrik baik pada waktu perencanaan maupun setelah beroperasi nantinya. Untuk menghitung arus hubung singkat tergantung jenis gangguan baik tiga fasa, dua fasa, atau satu fasa ke tanah.

2.2.5.1 Perhitungan Arus Hubung Singkat Tiga Fasa

Kondisi gangguan hubung singkat 3 (tiga) fasa ditunjukkan gambar berikut:



Gambar 2.2 Gangguan hubung singkat tiga fasa.

(Sumber: Daman Suswanto, 2009)

Rumus dasar yang digunakan untuk menghitung besarnya arus gangguan hubung singkat tiga fasa adalah:

$$I = \frac{V}{Z}$$

Sehingga arus gangguan hubung singkat tiga fasa dapat dihitung dengan menggunakan rumus:

$$I_{\text{fasa3}} = V_{\text{ph}} / Z_{1\text{eq}}$$

Dimana :

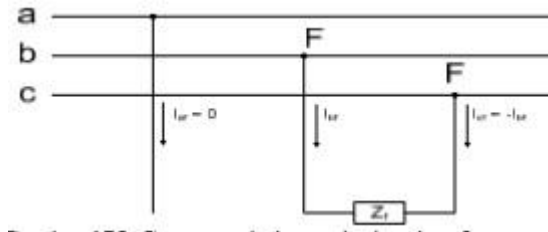
I_{3fasa} = Arus gangguan hubung singkat tiga fasa (A)

V_{ph} = Tegangan fasa - netral sistem $20\text{kV} = \frac{20000}{\sqrt{3}}(\text{V})$

$Z_{1\text{eq}}$ = Impedansi ekivalen urutan positif (*ohm*)

2.2.5.2 Perhitungan Arus Hubung Singkat Dua Fasa

Gangguan hubung singkat 2 (dua) fasa ditunjukkan gambar berikut ini:



Gambar 2.3 Gangguan hubung singkat dua fasa.

(Sumber: Daman Suswanto, 2009)

Sehingga arus gangguan hubung singkat dua fasa dapat dihitung dengan menggunakan rumus: $I_{2fasa} = \frac{V_{ph-ph}}{Z_{1eq} + Z_{2eq}}$

Karena $Z_{1eq} = Z_{2eq}$, maka: $I_{2fasa} = \frac{V_{ph-ph}}{2 \times Z_{1eq}}$

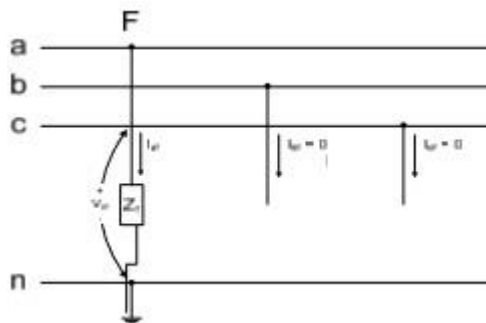
Dimana: I_{2fasa} = Arus gangguan hubung singkat dua fasa (A)

V_{ph-ph} = Tegangan fasa-fasa sistem 20kV = 20000 (V)

Z_{1eq} = Impedansi urutan positif

2.2.5.3 Perhitungan Arus Hubung Singkat Satu Fasa ke Tanah

Gangguan hubung singkat 1 (satu) fasa ke tanah ditunjukkan pada gambar dibawah ini :



Gambar 2.4 Gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah.

(Sumber: Daman Suswanto, 2009)

Sehingga arus hubung singkat satu fasa ke tanah dapat dihitung dengan menggunakan rumus:

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

Karena $Z_{1eq} = Z_{2eq}$, maka:

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

Dimana:

I_{1fasa} = Arus gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah (A)

V_{ph} = Tegangan fasa – netral sistem 20kv = $\frac{20000}{\sqrt{3}}$ (V)

Z_{1eq} = Impedansi urutan positif (*ohm*)

Z_{0eq} = Impedansi urutan nol (*ohm*)

2.2.6 Proteksi Pada Jaringan Distribusi

Proteksi adalah suatu pelaratan yang dapat menghilangkan atau meniadakan segala jenis gangguan yang terjadi secara otomatis tanpa campur tangan manusia.

2.2.6.1 Rele Proteksi

Rele proteksi menurut *The Institute Of Electrical And Electronic Engineering* (IEEE) adalah sebuah peralatan elektrik yang didesain untuk mengartikan kondisi masukan pada keadaan tertentu, setelah kondisi tersebut dispesifikasikan, yang ditujukan untuk memberi respon yang dapat menyebabkan pengoperasian kontak di dalam suatu kesatuan rangkaian listrik. Kondisi masukan biasanya berupa sinyal listrik, mekanik, atau besaran lainnya.

Selain rele proteksi, peralatan-peralatan proteksi pendukung lainnya dapat membebaskan sistem dari bagian yang terganggu, antara lain :

1. Trafo Arus (CT) dan Trafo Tegangan (PT) yaitu sebagai komponen pengukur arus dan tegangan untuk kemudian dibandingkan dengan perbandingan tertentu.
2. Pemutus Tenaga (PMT/*Circuit Breaker*) yaitu komponen yang berfungsi sebagai pemutus saat gangguan terjadi. Sinyal pemutusan ketika gangguan

terjadi dikirimkan oleh rele proteksi untuk memutus/men-*trip* kan area gangguan.

3. Baterai atau aki yaitu sebagai sumber tenaga untuk rele proteksi bekerja dan sebagai sumber energi agar pmt dapat *trip*.

2.2.6.2 Fungsi Rele Proteksi

Rele proteksi mempunyai fungsi antara lain :

1. Untuk mengurangi atau meminimalisir kerusakan peralatan sistem tenaga listrik akibat adanya gangguan.
2. Mengamankan daerah yang mengalami gangguan sehingga tidak menyebar ke daerah lain.
3. Melindungi manusia dan alam sekitar dari akibat gangguan yang terjadi.

2.2.6.3 Syarat Utama Rele Proteksi

Suatu rele proteksi harus memiliki beberapa syarat-syarat utama antara lain :

1. Kepekaan (*Sensitivity*)

Rele harus sensitif, artinya rele cukup peka dalam merasakan dan mendeteksi setiap gangguan yang terjadi termasuk gangguan yang bersifat minimum sehingga rele dapat memberikan tanggapan.

2. Keandalan (*Reliability*)

Keandalan dapat dibagi atas :

- a. Keandalan (*Dependability*)

Rele harus dapat diandalkan setiap saat artinya tidak boleh gagal bekerja, bila memang harus bekerja (ada gangguan di daerah pengamannya).

- b. Keamanan (*Security*)

Pengaman tidak boleh salah bekerja, yaitu bekerja yang tidak semestinya harus bekerja, misalnya karena lokasi gangguan di luar daerah pengamannya atau sama sekali tidak ada gangguan atau kerja yang terlalu cepat atau terlalu lambat yang dapat mengakibatkan pemadaman yang sebenarnya tidak perlu terjadi.

3. Ketersediaan (*Availability*)

Ketersediaan peralatan pengaman diartikan dengan kondisi siap kerja. Kondisi ini dinyatakan dalam rasio (perbandingan) antara waktu siap kerja rele pengaman dengan waktu total operasinya. Sistem proteksi yang baik dilengkapi dengan kemampuan mendeteksi terputusnya sirkit trip, sirkit sekunder arus, sirkit sekunder tegangan serta hilangnya tegangan searah, dan dapat memberikan alarm sehingga dapat diperbaiki.

4. Selektivitas

Kemampuan rele dalam melakukan pendeteksian daerah atau area yang mengalami gangguan saja sehingga rele harus selektif dalam mengamankan daerah gangguan.

5. Kecepatan

Cepat tidaknya suatu rele dalam merasakan gangguan hingga melakukan trip atau mengamankan daerah yang mengalami gangguan. Kecepatan merasakan ini harus cepat sehingga dampak atau dari gangguan yang tidak diinginkan dapat diminimalisir.

2.2.7 *Over Current Relay (OCR)*

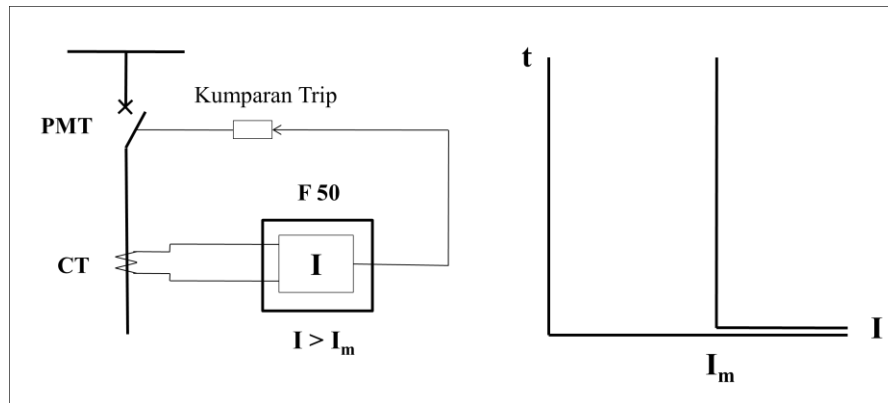
Over Current Relay (OCR) merukan suatu peralatan pengaman dalam sistem tenaga listrik. Dimana peralatan ini berfungsi untuk mendeteksi adanya gangguan arus lebih baik itu gangguan arus lebih yang disebabkan oleh hubung singkat maupun *overload*.

Prinsip kerjanya ialah saat terjadi arus lebih yang disebabkan oleh gangguan busung singkat maupun *overload* maka kemudian rele akan memberikan perintah kepada pemutus (PMT/CB) untuk membuka (*trip*) area yang gangguan.

2.2.7.1 Karakteristik Over Current Relay

a. Rele Waktu Seketika (*Instantaneous*)

Rele jenis ini bekerja instan atau seketika artinya tanpa waktu tunda saat arus gangguan yang mengalir melebihi batas *setting*nya. Rele ini akan bekerja dalam waktu yang singkat yaitu 10-20 ms.



Gambar 2.5 Karakteristik Rele Arus Seketika

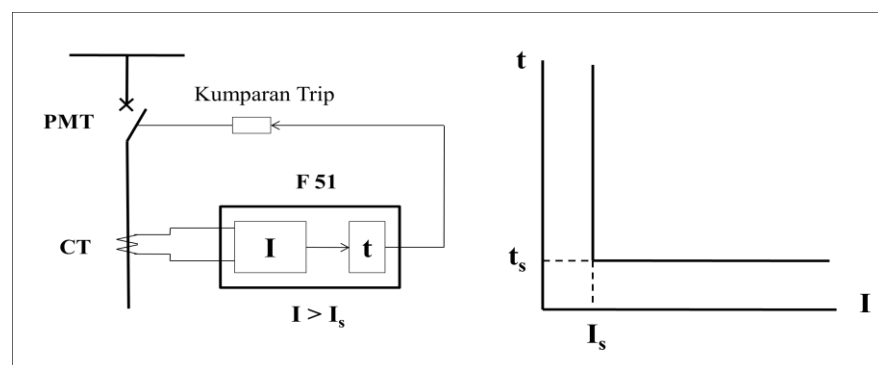
(Sumber: Dunia-listrik.blogspot.com)

Adapun nilai *setting*nya:

$$I_{set} = (4-6) \times I_n$$

Rele ini tidak dapat berdiri sendiri biasanya dikombinasikan dengan rele yang lain seperti rele arus lebih waktu tertentu (*definite time*).

b. Rele Waktu Tertentu (*Definite Time*)



Gambar 2.6 Karakteristik Rele Waktu Tertentu.

(Sumber: Dunia-listrik.blogspot.com)

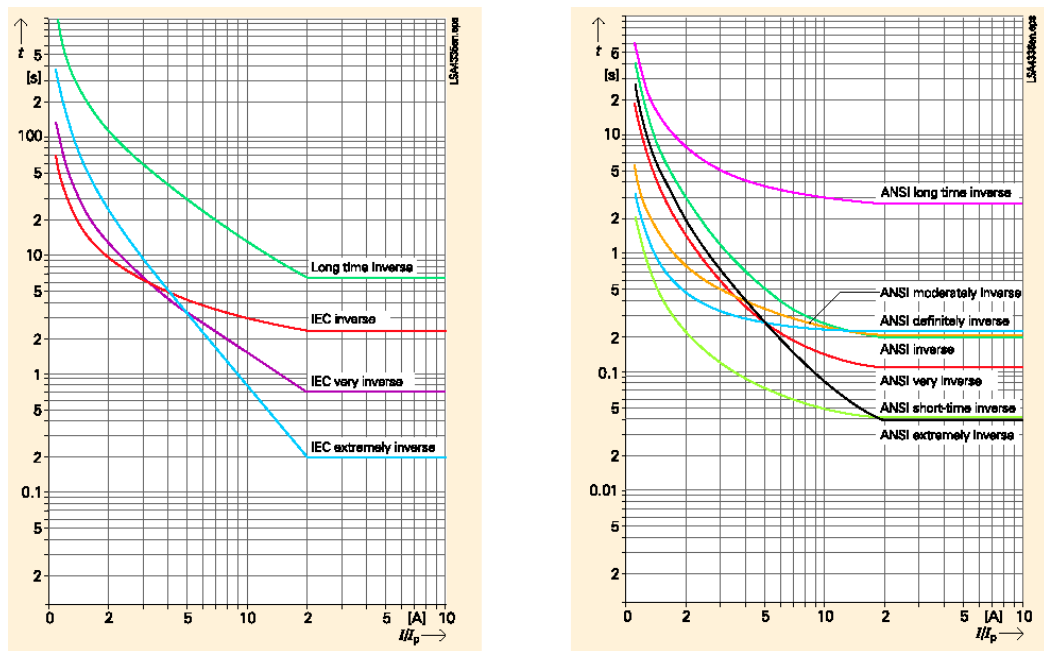
Rele ini bekerja dengan waktu tunda tertentu yang tidak tergantung dari besarnya arus asal melebihi nilai settingnya yang dapat disetting adalah arus dan waktu tunda. Adapun nilai settingnya :

$$I_s = 1.2 \times I_n$$

c. Rele Waktu Terbalik (*Inverse*)

Rele jenis ini akan bekerja dengan waktu tunda tertentu yang tergantung dari besarnya arus secara terbalik (*Inverse time*), makin besar arus makin kecil waktu tundanya. Menentukan setting arus berarti menentukan daerah kerja rele tersebut. Komulasi waktu dapat ditekan, hal ini dapat diartikan bahwa rele akan memberikan pengamanan dengan waktu kerja yang lebih cepat khususnya untuk rele yang dihulu.. Rele jenis ini terbagi menjadi beberapa karakteristik yaitu:

- 1) *Normal Inverse*
- 2) *Very inverse*
- 3) *Extremely Inverse*
- 4) *Long Time Inverse*



Gambar 2.7 Karakteristik berdasarkan IEC (kiri) dan ANSI (kanan).

(Sumber: Michael Tinegar, 2009)

Adapun karakteristik waktu berdasarkan IEC dan ANSI dijabarkan melalui rumus berikut:

	IEC	ANSI
NI	$t = \frac{0,14}{(I/I_p)^{0,02} - 1} \cdot T_p$	$t = \left(\frac{8,9341}{(I/I_p)^{2,0938} - 1} + 0,17966 \right) \cdot D$
VI	$t = \frac{13,5}{(I/I_p) - 1} \cdot T_p$	$t = \left(\frac{3,922}{(I/I_p)^2 - 1} + 0,0982 \right) \cdot D$
EI	$t = \frac{80}{(I/I_p)^2 - 1} \cdot T_p$	$t = \left(\frac{5,64}{(I/I_p)^2 - 1} + 0,0244 \right) \cdot D$
LTI	$t = \frac{120}{(I/I_p) - 1} \cdot T_p$	$t = \left(\frac{5,6143}{(I/I_p) - 1} + 2,18592 \right) \cdot D$

Dimana : t = Tripping time

T_p = Setting value

$I = \text{Fault current}$

$I_p = \text{Setting value of the current}$

2.2.7.2 Setting Arus OCR

Mula-mula dihitung atau dicari terlebih dahulu arus nominal trafo untuk melakukan penyetelan rele OCR. Kemudian setelah itu dihitung besarnya arus *setting* sisi primernya dengan rumus:

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

Nilai tersebut adalah nilai primer, untuk mencari besarnya nilai arus *setting* sekundernya maka harus dihitung dengan menggunakan rasio trafo arus (CT) yang terpasang pada sisi primer maupun sisi sekunder transformator tenaga.

$$I \text{ set (sekunder)} = I \text{ set (primer)} \times \frac{1}{\text{Ratio CT}}$$

2.2.7.3 Setelan Waktu

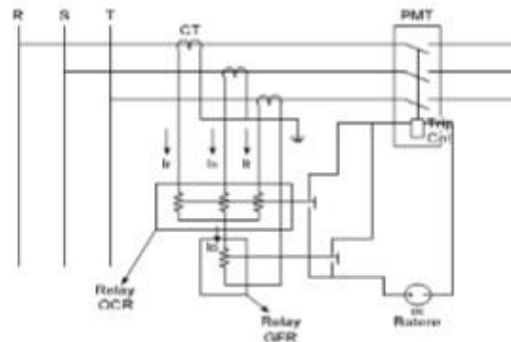
Untuk setelan waktu OCR, arus gangguan yang dibutuhkan adalah arus pada gangguan 3 fasa di titik 0%. Rele yang digunakan pada Gardu Induk Bantul berkurva SI (*standard inverse*), maka berdasarkan rumus IEC untuk menghitung waktunya menggunakan rumus berikut:

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

2.2.8 Ground Fault Relay (GFR)

Ground Fault Relay (GFR) memiliki fungsi yang sama dengan OCR yaitu sebagai pelatan pengaman dalam sistem tenaga listrik, namun untuk pemicunya berbeda dimana OCR akan membuka (*trip*) PMT/CB ketika ada arus lebih yang disebabkan gangguan hubung singkat antara fasa sedangkan GFR akan membuka (*trip*) saat terjadi gangguan hubung singkat fasa ke tanah. Maksudnya, saat kondisi normal beban seimbang I_r , I_s , I_t sama besar, sehingga pada kawat netral tidak timbul arus dan relay hubung tanah tidak dialiri arus. Bila terjadi ketidakseimbangan arus atau terjadi gangguan hubung singkat ke tanah, maka

akan timbul arus urutan nol pada kawat netral, sehingga rele hubung tanah akan bekerja.



Gambar 2. Rangkaian pengkawatan GFR.

(Sumber: Khalik Al Ridha dan Firdaus, 2016)

2.2.8.1 Setelan Arus GFR

Untuk penyetelan *Ground Fault Relay* dapat disetel mulai dari 6% s/d 12% x arus gangguan hubung singkat 1 fasa terkecil (pada titik 100% gangguan) dengan tujuan untuk mengantisipasi jika penghantar tersentuh pepohonan yang dapat memperkecil besarnya arus gangguan hubung singkat 1 fasa ke tanah.

2.2.8.2 Setelan Waktu

Untuk menentukan nilai setelan waktu yang akan disetkan pada rele GFR diambil arus hubung singkat 1 fasa ke tanah. Untuk rumus menghitungnya sama seperti sebelumnya yaitu:

$$t = \frac{0,14 \times Tms}{\left(\frac{Ifault}{Iset}\right)^{0,02} - 1}$$