



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Sistem Proteksi Distribusi Tenaga Listrik

2.1.1. Pengertian Sistem Proteksi

Secara umum sistem proteksi ialah cara untuk mencegah atau membatasi kerusakan peralatan terhadap gangguan, sehingga kelangsungan penyaluran tenaga listrik dapat dipertahankan. Rele proteksi ialah susunan peralatan yang direncanakan untuk merasakan ketidaknormalan pada peralatan atau bagian sistem tenaga listrik dan segera secara otomatis memberi perintah untuk membuka pemutus tenaga untuk memisahkan peralatan atau bagian dari sistem yang terganggu dan memberi isyarat berupa lampu dan bel. Rele proteksi dapat merasakan atau melihat adanya gangguan pada peralatan yang digunakan dengan mengukur dan membandingkan besaran-besaran yang diterima, misalnya arus, tegangan, daya, frekuensi, dan impedansi dengan besaran yang telah ditentukan, kemudian mengambil keputusan untuk seketika ataupun dengan perlambatan waktu membuka pemutus tenaga. Pemutus tenaga umumnya dipasang pada generator, transformator daya, saluran transmisi, saluran distribusi dan sebagainya supaya masing-masing bagian sistem dapat dipisahkan sedemikian rupa sehingga sistem lainnya tetap dapat beroperasi (Samaulah, 2004:3) ¹

2.1.2 Tujuan Sistem Proteksi

Gangguan pada sistem distribusi tenaga listrik hampir seluruhnya merupakan gangguan hubung singkat, yang akan menimbulkan arus yang cukup besar. Semakin besar sistemnya semakin besar gangguannya. Arus yang besar bila segera tidak dihilangkan akan merusak peralatan yang dilalui arus gangguan. Untuk melepaskan daerah yang terganggu itu maka diperlukan suatu

⁵Samaulah, Hazairin, *Dasar-Dasar Sistem Proteksi Tenaga Listrik*, Unsri, Palembang, 2004, hlm.3



sistem proteksi, yang pada dasarnya adalah alat pengaman yang bertujuan untuk melepaskan atau membuka sistem gangguan, sehingga arus gangguan ini akan padam. Adapun tujuan dari sistem proteksi antara lain (Samaulah, 2004 : 101):²

1. Untuk menghindari atau mengurangi kerusakan akibat gangguan pada peralatan yang terganggu atau peralatan yang dilalui oleh arus gangguan.
2. Untuk melokalisasi (mengisolasi) daerah gangguan menjadi kecil mungkin
3. Untuk memberikan pelayanan listrik dengan keandalan yang tinggi kepada konsumen. Serta memperkecil bahaya bagi manusia.

2.1.3 Persyaratan Sistem Proteksi

Tujuan utama sistem proteksi adalah:

1. Mendeteksi kondisi abnormal (gangguan)
2. Mengisolir peralatan yang terganggu dari sistem

Persyaratan yang terpenting yaitu:

2.1.3.1 Kepekaan

Pada prinsipnya relay harus cukup peka sehingga dapat mendeteksi gangguan di kawasan pengamannya, termasuk kawasan pengaman cadangan jauhnya, meskipun dalam kondisi yang memberikan deviasi yang minimum.

Untuk relay arus lebih hubung singkat yang bertugas pula sebagai pengaman cadangan jauh bagi seksi berikutnya, relay itu harus dapat mendeteksi gangguan pada tingkat yang masih dini sehingga dapat membatasi kerusakan. Bagi peralatan seperti tersebut di atas, hal ini sangat penting karena jika gangguan itu sampai merusak besi laminasi stator atau inti trafo, maka perbaikannya akan sangat sukar dan mahal.³

Sebagai pengaman gangguan tanah pada SUTM, relay yang kurang peka menyebabkan banyak gangguan tanah, dalam bentuk sentuhan dengan pohon yang tertiuip angin, yang tidak bisa dideteksi. Akibatnya, busur apinya berlangsung lama

² Samaulah, Hazairin, *Dasar Dasar Sistem Proteksi Tenaga Listrik*, Unsri, Palembang, 2004, hlm.3

³ Samaulah, Hazairin, *Dasar Dasar Sistem Proteksi Tenaga Listrik*, Unsri, Palembang, 2004, hlm.101



dan dapat menyebar ke fasa lain, maka relay hubung singkat yang akan bekerja. gangguan sedemikian bisa terjadi berulang kali ditempat yang sama yang dapat mengakibatkan kawat cepat putus. Sebaiknya jika terlalu peka, relay akan terlalu sering trip untuk gangguan yang sangat kecil yang mungkin bisa hilang sendiri atau risikonya dapat dibatalkan atau dapat diterima.

2.1.3.2 Keandalan

Ada tiga aspek dalam keandalan:

1. Dependability

Yaitu tingkat kepastian bekerja (keandalan kemampuan bekerjanya). Pada prinsipnya pengaman harus dapat diandalkan bekerjanya (dapat mendeteksi dan melepaskan bagian yang terganggu), tidak boleh gagal bekerja. Dengan kata lain perkataan *dependability* harus tinggi.

2. Security

Yaitu tingkat kepastian untuk tidak salah bekerja (keandalan untuk tidak salah kerja). Salah bekerja adalah kerja yang semestinya tidak harus bekerja, misalnya karena lokasi gangguan dari luar kawasan pengamannya atau tidak sama sekali tidak ada gangguan atau kerja yang terlalu cepat atau terlalu lambat. Salah kerja mengakibatkan pemadaman yang sebenarnya tidak perlu terjadi. Jadi pengaman tidak boleh salah bekerja, dengan kata lain *security* harus tinggi.

3. Availability

Yaitu perbandingan antara waktu dimana pengaman dalam keadaan berfungsi/siap kerja dan waktu total dalam operasinya.

Dengan relay elektromekanis, jika rusak/tidak berfungsi, tidak diketahui segera. Baru diketahui dan diperbaiki atau diganti. Disamping itu, sistem proteksi yang baik juga dilengkapi dengan kemampuan mendeteksi terputusnya sikrit trip, sikrit sekunder arus, sikrit sekunder tegangan serta hilangnya tegangan searah (DC *voltage*), dan memberikan alarm sehingga bisa diperbaiki, sebelum kegagalan



proteksi dalam gangguan yang sesungguhnya, benar benar terjadi. Jadi availability dan keandalannya tinggi.

2.1.3.3 Selektifitas

Pengaman harus dapat memisahkan bagian yang terganggu sekecil mungkin yaitu seksi atau peralatan yang terganggu saja yang termasuk dalam kawasan pengamanan utamanya. Pengamanan sedemikian disebut pengaman yang selektif.

Jadi relay harus dapat membedakan apakah:

1. Gangguan terletak dikawasan pengamanan utamanya dimana ia harus bekerja cepat.
2. Gangguan terletak diseksi berikutnya dimana ia harus bekerja dengan waktu tunda (sebagai pengam cadangan) atau menahan diri untuk tidak trip.
3. Gangguannya diluar daerah pengamannya, atau sama sekali tidak ada gangguan, dimana ia tidak harus bekerja sama sekali.

Untuk itu relay-relay , yang didalam sistem terletak secara seri, dikoordinir dengan mengatur peringkat waktu (*time grading*) atau peningkatan *setting* arus (*current grading*) atau gabungan dari keduanya. Untuk itulah relay dibuat dengan bermacam macam jenis dan karakteristiknya. Dengan pemilihan jenis dan karakteristik relay yang tepat, spesifikasi trafo arus yang benar, serta penentuan *setting* relay yang terkoordinir dengan baik, selektifitas yang baik dapat diperoleh.

Pengaman utama yang memerlukan kepekaan dan kecepatan yang tinggi, seperti pengaman transformator tenaga, generator dan busbar pada sistem tenaga listrik ekstra tinggi dibuat berdasarkan prinsip kerja yang mempunyai kawasan pengaman yang batasnya sangat jelas dan pasti, dan tidak selektif terhadap gangguan diluar kawasannya, sehingga sangat selektif, tapi tidak bisa memberikan pengamanan cadangan bagi seksi berikutnya.

2.1.3.4. Kecepatan

Untuk memperkecil kerugian/kerusakan akibat gangguan, maka bagian yang terganggu harus dipisahkan secepat mungkin dari bagian sistem



lainnya. Waktu total pembebasan sistem gangguan adalah waktu sejak munculnya gangguan, sampai bagian yang terganggu benar-benar terpisah dari bagian sistem lainnya.

Kecepatan itu terpenting untuk:

1. Menghindari kerusakan secara thermis pada peralatan yang dilalui arus gangguan serta membatasi kerusakan pada alat yang terganggu.
2. Mempertahankan kestabilan sistem
3. Membatasi ionisasi (busur api) pada gangguan disaluran udara yang akan berarti memperbesar kemungkinan berhasilnya penutupan baik PMT (*reclosing*) dan mempersingkat *dead time* nya (interval waktu antara buka dan tutup)
4. Untuk menciptakan selektifitas yang baik, mungkin saja suatu pengaman terpaksa diberi waktu tunda (td) namun waktu tunda tersebut harus sesingkat mungkin (seperlunya saja) dengan memperhitungkan resikonya)

2.2 Gangguan

Gangguan adalah suatu ketidaknormalan (*interferes*) dalam sistem tenaga listrik yang mengakibatkan mengalirnya arus yang tidak seimbang dalam sistem tiga fasa. Gangguan dapat juga didefinisikan sebagai setiap kesalahan dalam suatu rangkaian yang menyebabkan terganggunya aliran arus yang normal (Suhadi, 2008).⁴

Gangguan dapat diklasifikasikan menjadi beberapa kelompok, yaitu :

- a. Berdasarkan kesimetrisannya
 1. Gangguan asimetris, merupakan gangguan yang mengakibatkan tegangan dan arus yang mengalir pada setiap fasanya menjadi tidak seimbang, gangguan ini terdiri dari:

⁴Suhadi, dkk, *Teknik Distribusi Tenaga Listrik Jilid 1*, Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan, Jakarta



- Gangguan Hubung Singkat Satu Fasa ke Tanah, yakni gangguan yang disebabkan karena salah satu fasa terhubung singkat ke tanah atau *ground*.
 - Gangguan Hubung Singkat Dua Fasa, yakni gangguan yang disebabkan karena fasa dan fasa antar kedua fasa terhubung singkat dan tidak terhubung ke tanah.
 - Gangguan Hubung Singkat Dua Fasa ke Tanah, yakni gangguan yang terjadi ketika kedua fasa terhubung singkat ke tanah.
2. Gangguan simetris, merupakan gangguan yang terjadi pada semua fasanya sehingga arus maupun tegangan setiap fasanya tetap seimbang setelah gangguan terjadi. Gangguan ini terdiri dari:
- Gangguan Hubung Singkat Tiga Fasa, yakni gangguan yang terjadi ketika ketiga fasa saling terhubung singka.
 - Gangguan Hubung Singkat Tiga Fasa ke Tanah, yakni gangguan yang terjadi ketika ketiga fasa terhubung singkat ke tanah.

Berdasarkan lama terjadi gangguannya:

1. Gangguan Transient (*temporer*), merupakan gangguan yang hilang dengan sendirinya apabila pemutus tenaga terbuka dari saluran transmisi untuk waktu yang singkat dan setelah itu dihubungkan kembali.
2. Gangguan Permanen, merupakan gangguan yang tidak hilang atau tetap ada apabila pemutus tenaga terbuka pada saluran transmisi untuk waktu yang singkat dan setelah itu dihubungkan kembali.

Selain itu, gangguan juga terbagi menjadi dua jenis kategori yaitu :

- a. Hubung singkat
- b. Putusnya kawat

Dalam kategori pertama termasuk hubung singkat satu atau dua fasa dengan tanah, hubung singkat antara dua fasa, dan hubung singkat tiga fasa satu sama lain, atau hubung singkat tiga fasa dengan tanah. Dalam kategori kedua termasuk putusnya satu atau dua kawat. Terkadang, hubung singkat dan



putusnya kawat dapat terjadi bersamaan. Kadang-kala terjadi juga hubung singkat di beberapa tempat sekaligus (A.Arismunandar,2004 : 69).⁵

2.3. Gangguan Hubung Singkat

Dari berbagai peralatan yang terpasang pada sistem pada sistem distribusi tenaga listrik mulai dari pembangkit sampai ke jaringan distribusi, dua pertiga dari jumlah gangguan yang terjadi adalah pada jaringan distribusi. Hal ini dimengerti karena panjangnya jaringan distribusi yang tebetang dan beroperasi pada kondisi udara yang berbeda, sehingga jaringan merupakan subjek dari gangguan yang umumnya berasal dari alam.

Analisa gangguan hubung singkat adalah analisa kelakuan dari sistem distribusi tenaga listrik pada keadaan gangguan hubung singkat. Hasil langsungnya adalah arus dan tegangan akibat dari gangguan tersebut, sedangkan tujuannya adalah:

1. Memeriksa atau mendapatkan besar daya hubung singkat pada rel daya (busbar) yang ada. Dengan mengetahui besar daya hubung singkat itu, Dapat ditentukan besar kapasitasnya alat pemutus daya yang sesuai untuk kesetiap saluran fasa rel daya tersebut.
2. Mendapatkan besar arus hubung singkat mengalir pada bsetiap peralatan (saluran, transformator dan lain lain) untuk menentukan setting. Pada sirkuit tiga fasa arus bolak balik, terdapat 3 macam hubung singkat yang dapat dibedakan antara lain:
 1. Hubung singkat tiga fasa
 2. Hubung singkat dua fasa
 3. Hubung singkat satu fasa ke tanah

Dari ketiga macam gangguan diatas, gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah merupakan gangguan dengan probalitas yang terbesarr.

Gangguan hubung singkat tersebut dapat menyebabkan:

¹ A.Arismunandar, Buku Pegangan Teknik Tenaga Listrik, Pradnya Paramitha, Jakarta, 2002, hlm.69.

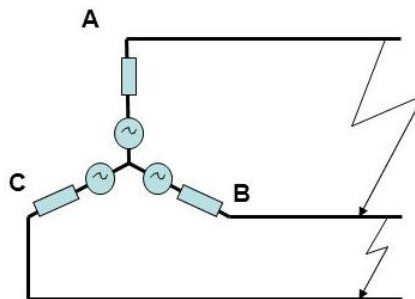


- a. Kerusakan pada peralatan ditempat kejadian hubung singkat.
- b. Menurunnya tegangan dan frekuensi,sehingga menjadi tak normal.
- c. Tergantungnya sebagian atau seluruh pelayanan tenaga listrik.

Karena kemungkinan terjadinya gangguan secara bersamaa sangat kecil ,maka pada perencanaan sistem proteksi biasanya hanya dimisalkan terjadi gangguan pada tipe-tipe bus.Pengecualian pada gangguan dua fasa ke tanah pada sistem yang diketanahkan (*under ground system*),karena kemungkinan terjadinya gangguan jenis ini tetap ada.

Dalam menentukan penyetelan rele sistem proteksi,yang pertama kali diperlukan adalah mengetahui besar arus hubung singkat yang mungkin terjadi.Untuk memberikan skema rele proteksi yang mungkin,perhitungan hubung singkat ini dapat dibatasi hanya pada kebutuhan rele yang direncanakan.Tetapi bagaimanapun juga perlu diketahui reaksi suatu rele terhadap gangguan jenis lain.

2.3.1. Arus Hubung Singkat tiga fasa



Gambar 2.1 Hubung Singkat Tiga Fasa

Gangguan hubung singkat 3 fasa menggunakan impedansi urutan positif tegangannya yaitu E_{fasa} .Perhitungan arus hubung singkat 3 fasa yaitu dengan menggunakan rumus (PN Sari : 10)⁶

$$I_{3 \text{ fasa}} = \frac{V_f}{Z_{eq1}} \dots\dots\dots(2.1)$$

Dimana :

⁴ PN Sari, "Analisa Gangguan Hubung Singkat". diakses dari <https://www.google.com/url?sa=t&source=web&rct=j&url=http://eprints.polsri.ac.id/3799/1/COVER%252Cdll.pdf&ved=2ahUKEwj,pada> tanggal 16 Juli 2019 pukul 10:45

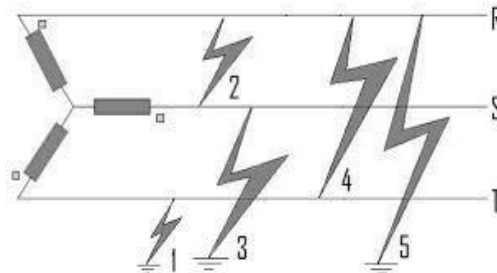


V_f = Tegangan di titik gangguan sesaat sebelum terjadinya gangguan (V)

Z_{eq1} = Impedansi urutan positif ekuivalen dilihat dari titik gangguan (Ω)

2.3.2 Arus Hubung Singkat Tiga Fasa ke Tanah

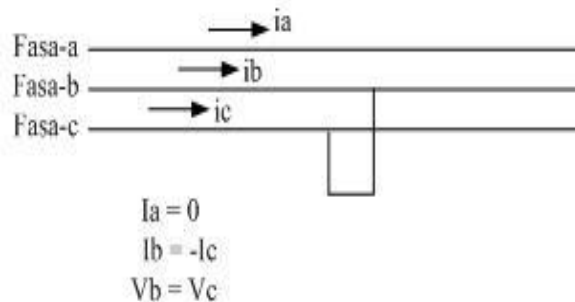
Gangguan tiga fasa ke tanah terjadi ketika ketiga fasa dari sistem tenaga listrik terhubung singkat ke tanah. Gangguan tiga fasa ke tanah dapat dilihat pada gambar dibawah ini (PN Sari :11) :⁷



Gambar 2.2 Gangguan hubung singkat tiga fasa ke tanah

2.3.3. Arus Hubung Singkat dua fasa

Hubung singkat dua fasa atau yang biasa disebut hubung singkat fasa ke fasa adalah kondisi dimana antara fasa ke fasa saling terhubung singkat. Pada gangguan hubung singkat fasa ke fasa, arus saluran tidak mengandung komponen urutan nol dikarenakan tidak ada gangguan yang terhubung ke tanah. Gangguan hubung singkat dua fasa ini dapat ditunjukkan pada gambar dibawah ini (PN Sari : 9)



Gambar 2.3 Gangguan hubung singkat dua fasa atau fasa ke fasa

⁴ PN Sari, "Analisa Gangguan Hubung Singkat". diakses dari <https://www.google.com/url?sa=t&source=web&rct=j&url=http://eprints.polsri.ac.id/3799/1/COVER%252Cdll.pdf&ved=2ahUKEwj,pada> tanggal 16 Juli 2019 pukul 10:45



$$I_{2\text{fasa}} = \frac{V_f}{Z_{eq1} + Z_{eq2}} \dots\dots\dots(2.2)$$

Dimana

$I_{2\text{fasa}}$ = Arus Gangguan Hubung Singkat 2 Fasa

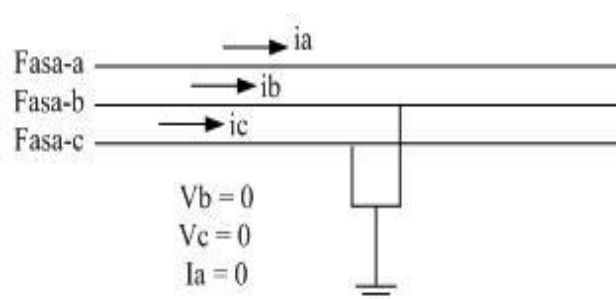
V = Tegangan di titik gangguan sesaat sebelum terjadinya gangguan (V)

Z_{eq1} = Impedansi urutan positif ekuivalen dilihat dari titik gangguan (Ω)

Z_{eq2} = Impedansi urutan positif ekuivalen negatif dilihat dari titik gangguan (Ω)

2.3.4. Hubung singkat dua fasa ke tanah

Gangguan dua fasa ke tanah terjadi ketika dua buah fasa dari sistem tenaga listrik terhubung singkat ke tanah. Gangguan dua fasa ke tanah dapat dilihat pada gambar dibawah ini (PN Sari : 10)⁸



Gambar 2.4. Gangguan hubung singkat dua fasa ke tanah

Untuk mencari nilai dari arus hubung singkat dua fasa ke tanah dapat menggunakan rumus dibawah ini :

$$I_{2\text{fasa ke tanah}} = \frac{v_f}{Z_{eq1} + \frac{Z_{eq1} \cdot Z_0}{Z_{eq2} + Z_0}} \dots\dots\dots(2.3)$$

⁴ PN Sari, "Analisa Gangguan Hubung Singkat". diakses dari <https://www.google.com/url?sa=t&source=web&rct=j&url=http://eprints.polsri.ac.id/3799/1/COVER%252Cdll.pdf&ved=2ahUKEwi,pada> tanggal 16 Juli 2019 pukul 10:45



Dimana :

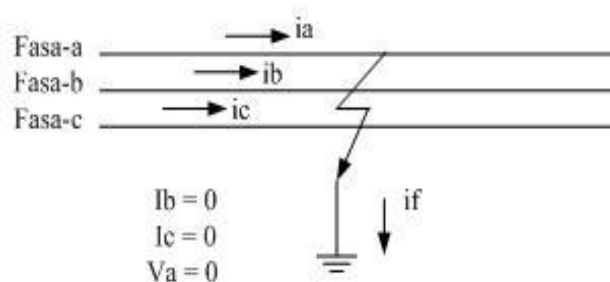
V_f : Tegangan di titik gangguan sesaat sebelum terjadinya gangguan (V)

Z_0 : Impedansi urutan nol dilihat dari titik gangguan (Ω)

Z_{eq1} : Impedansi urutan positif ekuivalen dilihat dari titik gangguan (Ω)

2.3.5. Hubung singkat satu fasa ke tanah

Gangguan yang sering terjadi pada sistem tenaga listrik merupakan gangguan asimetris sehingga memerlukan metode komponen simetris untuk menganalisa tegangan dan arus pada saat terjadi gangguan. Gangguan yang terjadi dapat dianalisa dengan menghubungkan-singkatkan semua sumber tegangan yang ada pada sistem dan mengganti titik (*node*) gangguan dengan sebuah sumber tegangan yang besarnya sama dengan tegangan sesaat sebelum terjadinya gangguan di titik gangguan tersebut. Dengan menggunakan metode ini sistem tiga fasa tidak seimbang dapat direpresentasikan dengan menggunakan teori komponen simetris yaitu berdasarkan komponen urutan positif, komponen urutan negatif, dan komponen urutan nol. Gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah dapat ditunjukkan seperti pada gambar dibawah ini



Gambar 2.5 Gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah

Rumus dasar yang digunakan untuk menghitung besarnya arus gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah juga dengan rumus (Kadarisman : 11-25) :⁹

⁹ Kadarisman, pribadi & Sarimun Wahyudi, *Proteksi Sistem Distribusi*, PT. PLN (Persero), Jakarta, hlm: 11-25



$$I = \frac{V}{Z} \dots \dots \dots (2.4)$$

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

$$I_{1 \text{ fasa ke tanah}} = \frac{3xV_{ph}}{Z_{1eq} + Z_{2eq} + Z_{0eq}} \dots \dots \dots (2.5)$$

Karena $Z_{1eq} = Z_{eq2}$, maka:

$$I_{1 \text{ fasa ke tanah}} = \frac{3xV_{ph}}{2xZ_{1eq} + Z_{0eq}} \dots \dots \dots (2.6)$$

Dimana :

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

V_{ph} = tegangan fasa-netral sistem (V)

Z_{1eq} = Impedansi urutan positif (Ohm)

Z_{0eq} = Impedansi urutan nol (Ohm)

2.4 Impedansi

Impedansi merupakan perbandingan tegangan dan arus pada rele, dimana arus beban biasanya jauh lebih kecil dari arus gangguan, maka perbandingan impedansi akan besar sekali pada keadaan sistem yang normal. Sebelum menghitung arus gangguan hubung singkat, terlebih dahulu dihitung besar impedansi (Z) dari sumber ke titik gangguan. Berdasarkan fungsinya impedansi secara umum dibedakan menjadi sebagai berikut :

2.4.1. Impedansi Sumber

Bila sistem tenaga listrik disuplai dari pusat pembangkit maka impedansi sumber dihitung dari data pusat pembangkit tersebut. Pada gardu induk yang tidak memiliki generator sumber energi listrik berasal dari transformator sehingga pada



transformator tersebut dianggap sebagai generator dengan menggunakan data daya hubung singkat (Kadarisman : 11-25):¹⁰

$$P_{\text{hubung singkat}} = \sqrt{3} \times V_{(\text{phasa})} \times I_{\text{sc}} \times 10^{-3} \dots\dots\dots(2.7)$$

Dimana :

$P_{\text{hubung singkat}}$ = Daya hubung singkat (MVA)

$V_{(\text{phasa})}$ = Tegangan nominal sumber (kV)

I_{sc} = Arus Hubung Singkat (A)

Sedangkan untuk mencari I_{sc} dapat menggunakan rumus:

$$I_{\text{sc}} = \frac{100}{Z_s} \text{FLA} \dots\dots\dots(2.8)$$

$$\text{FLA} = \frac{P}{\sqrt{3} \times V_{\text{phasa}}} \dots\dots\dots(2.9)$$

Dimana

P = Daya (MVA)

FLA = *Full Load Ampere* (A)

2.4.2. Impedansi Transformator

Pada perhitungan impedansi suatu transformator yang diambil adalah harga reaktansinya, sedangkan tahanannya diabaikan karena harganya kecil. Untuk menghitung nilai impedansi transformator (Kadarisman : 11-25) adalah :¹¹

$$Z_T = \frac{V^2}{P} \dots\dots\dots(2.10)$$

Dimana :

Z_T = Impedansi trafo (Ω)

V_{phasa} = Tegangan sisi sekunder trafo (kV)

P = Kapasitas daya trafo (MVA)

a. Impedansi urutan positif dan urutan negatif

³ Kadarisman, pribadi & Sarimun Wahyudi, *Proteksi Sistem Distribusi*, PT. PLN (Persero), Jakarta, hlm: 11-25

³ Kadarisman, pribadi & Sarimun Wahyudi, *Proteksi Sistem Distribusi*, PT. PLN (Persero), Jakarta, hlm: 11-25



Rumusan yang dipakai dalam perhitungan impedansi urutan positif dan urutan negatif pada trafo adalah sebagai berikut (Kadarisman : 11-25):

$$Z_{T1} = \% \text{ Impedansi yang diketahui} \times Z_T(\Omega) \dots \dots \dots (2.11)$$

b. Impedansi urutan nol

Sebelum menghitung reaktansi urutan nol (X_{T0}) terlebih dahulu harus diketahui kapasitas belitan delta yang ada dalam trafo seperti dibawah ini :

Untuk trafo tenaga dengan hubungan belitan Yyd dimana kapasitas belitan delta biasanya adalah 1/3 dari kapasitas belitan Y (belitan yang dipakai untuk menyalurkan daya, sedangkan belitan delta tetap ada di dalam tetapi tidak dikeluarkan kecuali satu terminal delta untuk ditanahkan), maka:

$$Z_{T0} = 3 \times Z_{T1} \dots \dots \dots (2.12)$$

Untuk trafo tenaga dengan hubungan belitan YY dan tidak mempunyai belitan delta di dalamnya, maka :

$$Z_{T0} = \text{antara } 9 \text{ s/d } 14 \times Z_{T1} \dots \dots \dots (2.13)$$

Dimana :

Z_{T0} = Impedansi trafo urutan nol (Ω)

Z_{T1} = Impedansi trafo urutan positif dan negatif (Ω)

2.4.3. Impedansi penghantar

a) Impedansi urutan positif dan urutan negatif

Rumusan yang dipakai dalam perhitungan impedansi urutan positif dan urutan negatif adalah sebagai berikut (Kadarisman : 11-25) :¹²

$$Z_1 = Z_2 = \% \text{ panjang} \times L \times Z_1 \text{ atau } Z_2 \dots \dots \dots (2.14)$$

Dimana :

³ Kadarisman, pribadi & Sarimun Wahyudi, *Proteksi Sistem Distribusi*, PT. PLN (Persero), Jakarta, hlm: 11-25



Z_1 = Impedansi urutan positif (Ω)

Z_2 = Impedansi urutan negatif (Ω)

L = Panjang penghantar (km)

b) Impedansi urutan nol

Rumusan yang dipakai dalam perhitungan impedansi urutan nol adalah sebagai berikut

$$Z_0 = \% \text{ panjang} \times L \times Z_0 \dots \dots \dots (2.15)$$

Dimana :

Z_0 = Impedansi urutan nol (Ω)

L = Panjang penghantar (km)

2.5 .Perhitungan Impedansi Total Urutan Fasa

$Z_{1ekivalen}$ dan $Z_{2ekivalen}$ adalah impedansi total dari masing-masing urutan positif dan negatif pada komponen-komponen yang ada. Untuk mencari $Z_{1ekivalen}$ dan $Z_{2ekivalen}$ dapat dicari dengan menggunakan rumus (Kadarisman : 11-25):¹³

$$Z_{1ekivalen} = Z_{2ekivalen} = Z_{S1} + Z_{T1} + Z_{1penyulang} \dots \dots \dots (2.16)$$

Sedangkan $Z_{0ekivalen}$ adalah impedansi total dari masing-masing urutan nol pada komponen-komponen yang ada. Untuk mencari $Z_{0ekivalen}$ dapat menggunakan rumus (Kadarisman : 11-25):

$$Z_{0ekivalen} = Z_{T0} + 3R_N + Z_{0penyulang} \dots \dots \dots (2.17)$$

Dimana :

$Z_{1ekivalen}, Z_{2ekivalen}$ = Impedansi total untuk urutan positif dan negatif (Ω)

$Z_{0ekivalen}$ = Impedansi total untuk urutan nol (Ω)

Z_{S1} = Impedansi urutan positif dan negatif sumber (Ω)

Z_{T1} = Impedansi urutan positif dan negatif trafo daya (Ω)

³ Kadarisman, pribadi & Sarimun Wahyudi, *Proteksi Sistem Distribusi*, PT. PLN (Persero), Jakarta, hlm: 11-25



$Z_{1\text{penyulang}}$	= Impedansi urutan positif dan negatif kabel (penghantar) (Ω)
Z_{T_0}	= Impedansi urutan nol trafo (Ω)
R_N	= Tahanan Netral (pentanahan) (Ω)
$Z_{0\text{penyulang}}$	= Impedansi urutan nol kabel (penghantar) (Ω)

2.6. Prinsip Dasar Perhitungan Setting Arus Total dan Waktu

Prinsip-prinsip dasar yang digunakan dalam perhitungan setting arus (samaulah,2004 : 59)¹⁴

$$I_s = \frac{Kfk}{kd} I_{max} \dots \dots \dots (2.18)$$

Kfk = Faktor keamanan (1,1 – 1,2)

Kd = Faktor arus kembali (arus kembali/ arus kerja) untuk rele dengan karakteristik waktu tertentu 0,8 – 0,9 dan untuk rele dengan karakteristik waktu terbalik (rele jenis induksi) dan rele static mendekati 1,0

I_{max} = Arus dasar

Prinsip –prinsip dasar yang digunakan dalam perhitungan setting rele waktu. Sedangkan waktu pemutusan dapat dihitung melalui rumus (Jurnal Reka Elkonika:79):¹⁵

$$tms = \frac{tx \left(\frac{I_{fault}}{I_{set}} \right) - 1}{13,5} \dots \dots \dots (2.19)$$

Dimana :

tms = Setting waktu rele (s)

t = wakyu kerja rele (s)

I_{set} = Arus Setting primer (A)

I_{fault} = Arus gangguan hubung singkat (A)

⁵ Samaulah, Hazairin, *Dasar Dasar Sistem Proteksi Tenaga Listrik*, Unsri, Palembang, 2004, hlm.59

⁷ Tirza Nova, *Perhitungan Setting rele OCR dan GFR pada sistem interkoneksi diesel generator*, jurnal Reka Elkonika, 2013, hlm.79



2.7. Rele Arus Lebih (OCR)

2.7.1 Pengertian Rele Arus Lebih

Relay Arus lebih atau lebih dikenal dengan OCR (*Over Current Relay*) merupakan peralatan yang mensinyalir adanya arus lebih, baik yang disebabkan oleh adanya gangguan hubung singkat atau over load yang dapat merusak peralatan sistem tenaga yang berada dalam wilayah proteksinya.

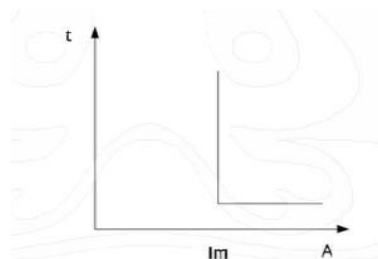
Rele arus lebih ini digunakan hampir pada seluruh pada pengamanan sistem tenaga listrik, lebih lanjut relay ini dapat digunakan sebagai pengaman utama ataupun pengaman cadangan.

Pada transformator tenaga, OCR hanya berfungsi sebagai pengaman cadangan untuk gangguan eksternal atau sebagai backup bagi outgoing feeder. OCR dapat dipasang pada sistem tegangan tinggi saja, atau pada tegangan menengah saja, atau pada sisi tegangan tinggi dan tegangan menengah sekaligus. Selanjutnya OCR dapat menjatuhkan PMT pada sisi dimana rele terpasang atau dapat menjatuhkan PMT di kedua sisi transformator tenaga. OCR jenis definite time ataupun inverse time dapat untuk proteksi transformator terhadap arus lebih.

2.7.2. Jenis Rele berdasarkan Karakteristik Waktu

2.7.2.1 Rele Arus Lebih sesaat

Adalah rele arus lebih yang tidak mempunyai waktu tunda/waktu kerja sesaat. Rele bekerja pada gangguan yang paling dekat dengan lokasi dimana rele terpasang atau dibedakan berdasarkan level gangguan secara lokasi sistem. Berikut gambar karakteristik waktu untuk rele arus lebih waktu sesaat (*instantaneous*):

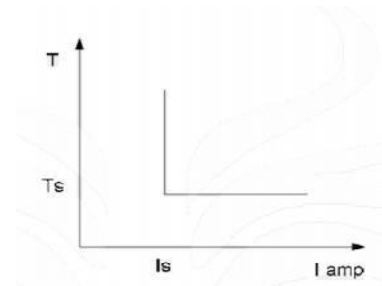


Gambar 2.6 Karakteristik Waktu Seketika (*instantaneous*)



2.7.2.2 Rele arus lebih waktu tertentu (*definite time*)

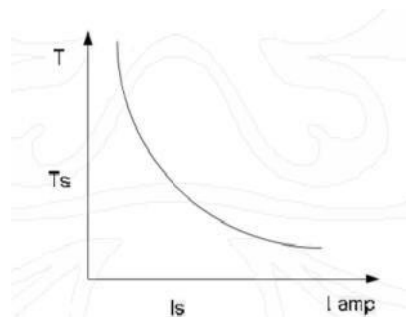
Adalah rele dimana waktu tundanya tetap, tidak tergantung pada besarnya arus gangguan. Jika arus gangguan telah melebihi arus settingnya berapapun besarnya arus gangguan rele akan bekerja dengan waktu yang tetap. Berikut gambar karakteristik waktu untuk rele arus lebih waktu tertentu (*definite time*):



Gambar 2.7 Karakteristik Waktu Tertentu (*Definite*)

2.7.2.3 Rele arus lebih waktu terbalik (*inverse time*)

Adalah rele dimana waktu tundanya mempunyai karakteristik tergantung pada besarnya arus gangguan. Jadi, semakin besar arus gangguan maka waktu kerja rele akan semakin cepat, arus gangguan berbanding terbalik dengan waktu kerja rele. Berikut gambar karakteristik rele arus lebih waktu (*time*) :



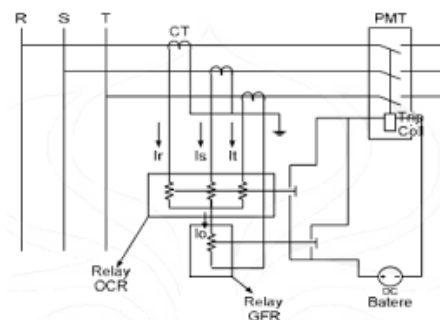
Gambar 2.8 Karakteristik Waktu Terbalik (*Inverse Time*)



2.8 Rele hubung tanah (GFR)

Rele hubung tanah yang lebih dikenal dengan GFR (*Ground Fault Relay*) pada dasarnya mempunyai prinsip kerja sama dengan rele arus lebih (OCR) namun memiliki perbedaan dalam kegunaannya. Bila rele OCR mendeteksi adanya hubung singkat antar fasa, maka GFR mendeteksi adanya hubung singkat ke tanah.

Dalam kondisi normal beban seimbang I_r , I_s , I_t sama besar, sehingga pada kawat netral tidak timbul arus dan rele 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. (Affandi, 2009 : 36).



Gambar 2.9 rangkaian pengawatan relay GFR

2.8.1 Prinsip Kerja GFR

Pada kondisi normal beban seimbang I_r, I_s, I_t sama besar, sehingga pada kawat netral tidak timbul arus dan rele hubung tanah tidak dialiri arus. Bila terjadi ketidak seimbang arus atau terjasi gangguan hubung singkat ketanah, maka akan timbul arus urutan nol pada kawat netral, sehingga relay hubung tanah akan bekerja.



2.8.2 Setting GFR

2.8.2.1 Arus Setting GFR

Penyetelan relay OCR pada sisi primer dan sisi sekunder transformator tenaga terlebih dahulu harus dihitung arus nominal transformator tenaga. Arus setting untuk relay OCR baik pada sisi primer maupun pada sisi sekunder transformator tenaga adalah :¹⁶

$$I_{\text{set (prim)}} = 1,2 \times I_{\text{nominal trafo}} \dots \dots \dots (2.20)$$

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

$$I_{\text{set (sekunder)}} = I_{\text{set (prim)}} \times \frac{1}{R_{\text{Attio CT}}} \dots \dots \dots (2.21)$$

2.8.1.2. Setting Waktu (tms)

Hasil perhitungan arus gangguan hubung singkat, selanjutnya digunakan untuk menentukan nilai setelan waktu kerja relay (tms). Sama halnya dengan relay OCR, relay GFR menggunakan rumus penyetingan tms yang sama dengan relay OCR. Tetapi waktu kerja relay yang diinginkan berbeda.

Menentukan nilai tms yang akan disetkan pada relay GFR, transformator tenaga diambil arus hubung singkat 1 fasa ketanah dengan rumus (Jurnal Reka Elkonika:79)¹⁷

$$tms = \frac{tx \left[\frac{I_{\text{fault}}}{I_{\text{set}}} \right] - 1}{13,5} \dots \dots \dots (2.22)$$

Dimana :

tms = Setting waktu rele (s)

² Afandi Irfan, *Analisa Setting Arus Lebih dan Relai Gangguan Tanah pada Penyulang Sadewa*, Skripsi Program Studi Teknik Elektro Kekhususan Elektro Universitas Indonesia, Tidak diterbitkan, 2009, hlm.36

⁷ Tirza Nova, *Perhitungan Setting rele OCR dan GFR pada sistem interkoneksi diesel generator*, jurnal Reka Elkonika, 2013, hlm.79



t = waktu kerja rele (s)

I_{set} = Arus *setting* primer (A)

I_{fault} = Arus gangguan hubung singkat (A)



Politeknik Negeri Sriwijaya
