

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Perhitungan Gangguan Hubung Singkat

Perhitungan hubung singkat adalah suatu analisa kelakuan sistem tenaga listrik pada keadaan gangguan hubung singkat, dimana dengan cara ini diperoleh nilai besaran - besaran listrik yang dihasilkan sebagai akibat gangguan hubung singkat tersebut. Analisa gangguan hubung singkat diperlukan untuk mempelajari sistem tenaga listrik baik waktu perencanaan maupun setelah beroperasi kelak.[1]

Analisa hubung singkat digunakan untuk menentukan seting relai proteksi yang digunakan untuk melindungi sistem dari kemungkinan adanya gangguan tersebut. Tujuan dari perhitungan gangguan hubung singkat adalah untuk menghitung arus maksimum dan minimum gangguan, dan tegangan pada lokasi yang berbeda dari sistem tenaga untuk jenis gangguan yang berbeda sehingga rancangan pengaman, relai dan pemutus yang tepat bisa dipilih untuk melindungi sistem dari kondisi yang tidak normal dalam waktu yang singkat.[8]

Dengan perhitungan arus gangguan hubung singkat ini dapat digunakan untuk koordinasi relai proteksi arus lebih *Over Current Relay* (OCR) dari jenis Inverse, manfaatnya menjadi amat terasa karena waktu kerja relai dapat diketahui untuk setiap lokasi gangguan. Relai proteksi lain yang berpengaruh adalah relai gangguan tanah *Ground fault Relay* (GFR). Relai ini digunakan sebagai pengaman dimana fungsinya nanti adalah untuk membantu relai differensial pada transformator tenaga dalam mengamankan busbar dari gangguan hubung tanah di

dalam daerah pengamanan busbar. Karena diketahui relai differensial tidak terlalu sensitif dalam mendeteksi terjadinya gangguan hubung singkat ke tanah tetapi relai differensial ini cukup efektif untuk mengatasi gangguan hubung singkat antara fasa dengan fasa karena biasanya arus gangguan untuk hubung singkat antara fasa dengan fasa adalah tidak terhingga.

Gangguan hubung singkat dapat didefinisikan sebagai gangguan yang terjadi akibat adanya penurunan kekuatan dasar isolasi antara sesama kawat fasa dengan tanah yang menyebabkan kenaikan arus secara berlebihan. Kegunaan dari analisis gangguan hubung singkat antara lain adalah :[4]

- a. Untuk menentukan arus maksimum dan minimum hubung singkat antar fasa.
- b. Untuk menentukan arus gangguan.
- c. Penyelidikan operasi relai - relai proteksi.
- d. Untuk menentukan kapasitas pemutus daya.
- e. Untuk menentukan distribusi arus gangguan dan tingkat tegangan busbar selama gangguan.

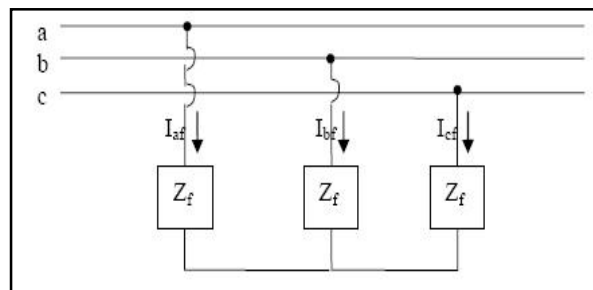
2.2 Gangguan Hubung Singkat Tiga Fasa

Kemungkinan terjadinya gangguan tiga fasa adalah putusnya salah satu kawat fasa yang letaknya paling atas pada transmisi atau distribusi, dengan konfigurasi kawat antar fasanya disusun secara vertikal. Kemungkinan terjadinya memang sangat kecil, tetapi dalam analisisnya tetap harus diperhitungkan.[4]

Kemungkinan lain adalah akibat pohon yang cukup tinggi dan berayun sewaktu angin kencang, kemudian menyentuh ketiga kawat pada transmisi atau distribusi.[4]

Gambar 2.1 menjelaskan *single line diagram* terjadinya gangguan hubung singkat 3 fasa yang terjadi pada jaringan distribusi dengan masing – masing fasa memiliki impedansi gangguan yang sama.

$$I_a + I_b + I_c = 0 \quad I_a = 0 \quad E = E_b = E_c$$



Gambar 2.1. Gangguan Hubung Singkat Tiga fasa

$$I_{a1} = \frac{1,0 \angle 0^\circ}{Z_1 + Z_f}$$

$$I_{af} = I_{a1} = \frac{1,0 \angle 0^\circ}{Z_1 + Z_f}$$

$$I_{bf} = a^2 I_{a1} = \frac{1,0 \angle 240^\circ}{Z_1 + Z_f}$$

$$I_{cf} = a I_{a1} = \frac{1,0 \angle 120^\circ}{Z_1 + Z_f}$$

$$V_{a0} = 0 ; V_{a2} = 0 ; V_{a1} = Z_f \cdot I_{a1}$$

$$V_{af} = Z_f \cdot I_{a1}$$

$$V_{bf} = Z_f \cdot I_{a1} \angle 240^\circ$$

$$V_{cf} = Z_f \cdot I_{a1} \angle 120^\circ$$

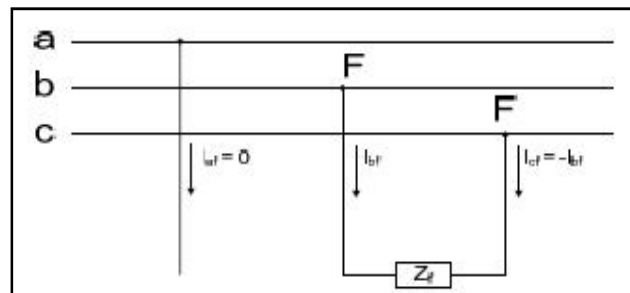
Menurut Gonen (1986 : 547) rumus untuk gangguan tiga fasa adalah :[7]

$$I_f \text{ 3 fasa} = I_f a = I_f b = I_f c = \frac{V \text{ line - netral}}{Z_1}$$

2.3 Gangguan Hubung Singkat Dua Fasa

Kemungkinan terjadinya gangguan dua fasa disebabkan oleh putusnya kawat fasa tengah pada transmisi atau distribusi. Kemungkinan lainnya adalah dari rusaknya isolator di transmisi atau distribusi sekaligus 2 fasa. Gangguan seperti ini biasanya mengakibatkan 2 fasa ke tanah.[4]

Gambar 2.2 menjelaskan *single line diagram* terjadinya gangguan hubung singkat 2 fasa yang terjadi pada fasa b dan fasa c sehingga arus gangguan merupakan total impedansi fasa b dan c :



Gambar 2.2. Diagram garis gangguan hubung singkat dua fasa

$$I_a = 0 ; I_b = - I_c ; V_b - V_c = Z_f I_b$$

Dari komponen-komponen simetris (Turan Gonen, 1986:275)

$$I_{a_0} = 0$$

$$I_{a_1} = - I_{a_2} = \frac{V \text{ fasa}}{Z_1 + Z_2 + Z_f}$$

Jika $Z_f = 0$, maka :

$$I_{a_1} = - I_{a_2} = \frac{V \text{ fasa}}{Z_1 + Z_2}$$

Menurut Gonen (1986 : 548) rumus untuk gangguan dua fasa adalah :[7]

$$I_f L - L = \frac{J\sqrt{3} \times V_{\text{line-line}}}{Z_1 + Z_2}$$

Dari komponen - komponen simetris (Turan Gonen, 1986: 275) :[7]

$$I_{a_0} = 1/3 (I_a + I_b + I_c)$$

$$= 1/3 (0 + -I_c + I_c) = 0$$

$$I_{a_1} = 1/3 (I_a + a I_b + a^2 I_c)$$

$$= 1/3 (0 + a I_b - a^2 I_b) = 1/3 (a - a^2) I_b$$

$$I_{a_2} = 1/3 (I_a + a^2 I_b + a I_c)$$

$$= 1/3 (0 + a^2 I_b - a I_b) = 1/3 (a^2 - a) I_b$$

Sehingga :

$$I_{a_1} = -I_{a_2}$$

$$V_b - V_c = Z_f \cdot I_b$$

$$V_b - V_c = (a^2 - a) \cdot (V_{a_1} - V_{a_2})$$

$$(a^2 - a) [V_f - (Z_1 + Z_2) I_{a_1}] = Z_f \cdot I_b$$

Substitusikan I_b ke persamaan diatas, maka :

$$V_f - Z_1 + Z_2 I_{a_1} = Z_f \frac{3I_{a_1}}{a - a^2 (a^2 - a)}$$

$$(a - a^2)(a^2 - a) = 3$$

Sehingga diperoleh :

$$I_{a_1} = \frac{V_f}{Z_1 + Z_2 + Z_f}$$

Jadi arus gangguan antar fasa adalah :

$$I_{bf} = -j \sqrt{3} \cdot I_{a_1}$$

$$I_{a0} = -\frac{V_f - Z_1 \cdot I_{a1}}{Z_0 + 3Z_f}$$

$$I_{a2} = -\frac{V_f - Z_1 \cdot I_{a1}}{Z_2}$$

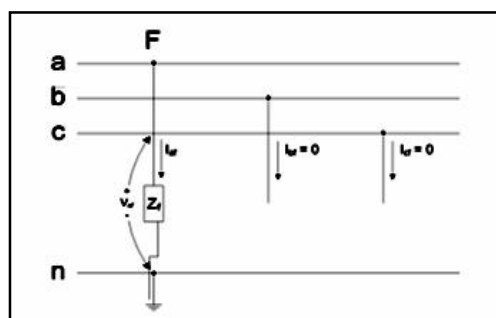
$$I_{a1} = \frac{V_f}{Z_1 + \frac{Z_2(Z_0 + 3Z_f)}{Z_2 + Z_0 + 3Z_f}}$$

$$I_f = I_b + I_c = 3 I_{a0}$$

2.4 Gangguan Hubung Singkat Satu Fasa ke Tanah

Kemungkinan terjadinya gangguan satu fasa ke tanah adalah *back flashover* antara tiang ke salah satu kawat transmisi dan distribusi. Sesaat setelah tiang tersambar petir yang besar walaupun tahanan kaki tiangnya cukup rendah namun bisa juga gangguan fasa ke tanah ini terjadi sewaktu salah satu kawat fasa transmisi / distribusi tersentuh pohon yang cukup tinggi.[4]

Gambar 2.3 menjelaskan *single line diagram* terjadinya gangguan hubung singkat 1 fasa ke tanah. Untuk gangguan ini dianggap fasa a yang mengalami gangguan.



Gambar 2.3. Gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah

Kondisi terminalnya sebagai berikut:

$$I_b = 0 ; I_c = 0 ; V_a = I_a \cdot Z_f$$

Untuk persamaan arus yang digunakan diperoleh dari komponen simetris arus :

$$I_{a0} = I_{a1} = I_{a2} = \frac{V \text{ fasa}}{Z_0 + Z_1 + Z_2 + 3Z_f}$$

$$\begin{array}{l} I_{af} = 1 \quad 1 \quad 1 \quad I_{a0} \\ I_{bf} = 1 \quad a^2 \quad a \quad I_{a1} \\ I_{cf} = 1 \quad a \quad a^2 \quad I_{a2} \end{array}$$

Arus gangguan untuk fasa a didapatkan :

$$I_{af} = I_{a0} + I_{a1} + I_{a2}$$

$$I_{af} = 3I_{a0} = 3I_{a1} = 3I_{a2}$$

Dengan kata lain semua arus urutan sama dari persamaan dan dari gambar diatas adalah :

$$V_{af} = 3 Z_f \times I_{a1}$$

$$V_{af} = V_{a1} + V_{a2} + V_{a0} = 3 Z_f \times I_{a1}$$

Persamaan diatas menunjukkan bahwa masing - masing arus urutan sama.

$$\begin{array}{l} V_{a0} = 0 \quad Z_0 \quad 0 \quad 0 \quad I_{a0} \\ V_{a1} = V_f - 0 \quad Z_1 \quad 0 \quad I_{a1} \\ V_{a2} = 0 \quad 0 \quad 0 \quad Z_2 \quad I_{a2} \end{array}$$

$$V_{a0} = -I_{a0} \cdot Z_0$$

$$V_{a1} = V_f - I_{a1} \cdot Z_1$$

$$V_{a2} = -I_{a2} \cdot Z_2$$

$$V_a = V_{a1} + V_{a2} + V_{a0}$$

Jika pada fasa b atau c terjadi gangguan satu fasa ketanah, maka tegangan dari fasa a dapat dilihat dari komponen sebagai berikut :

$$\begin{bmatrix} V_{af} \\ V_{bf} \\ V_{cf} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_{a0} \\ V_{a1} \\ V_{a2} \end{bmatrix}$$

Seterusnya :

$$V_{bf} = V_{a0} + a^2 V_{a1} + a V_{a2}$$

$$V_{cf} = V_{a0} + a V_{a1} + a^2 V_{a2}$$

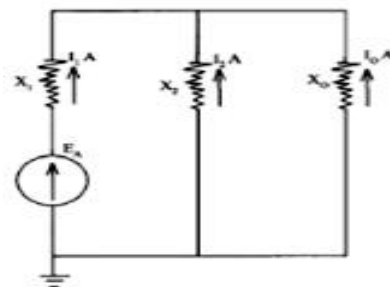
$$I_{1 \text{ fasa}} = 3 \times I_0 = \frac{3 \times V \text{ fasa}}{(Z_1 + Z_2 + Z_0)}$$

Menurut Turan Gonen (1986 : 549) rumus untuk gangguan satu fasa ke tanah, yaitu :[7]

$$I_f \text{ 1 fasa ke tanah} = \frac{V \text{ fasa}}{Z_G}$$

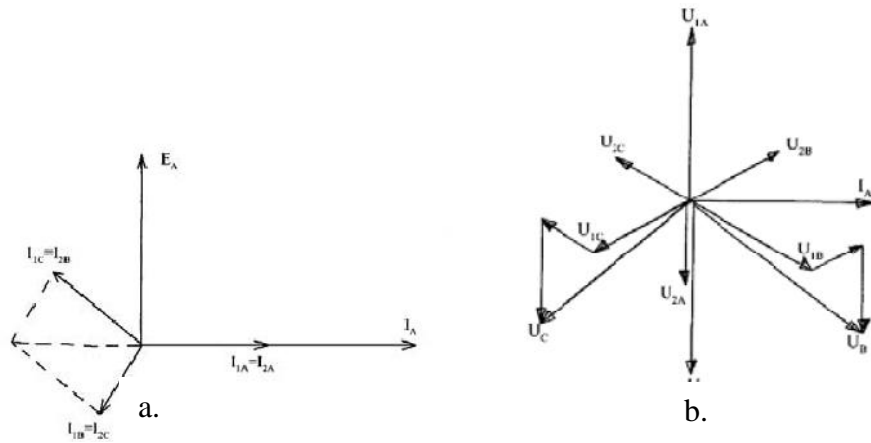
$$\text{Dimana } Z_G = \frac{2 Z_1 + Z_0}{3}, \quad \text{maka } I_f \text{ 1 fasa ke tanah} = \frac{3 \times V \text{ fasa}}{2 Z_1 + Z_0}$$

Dari hasil perhitungan hubung singkat 1 fasa ke tanah, maka arus dan tegangan dapat digambarkan dengan rangkaian ekivalen pada gambar 2.4 sebagai berikut :



Gambar 2.4. Rangkaian ekivalen gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah

Dari persamaan - persamaan di atas dapat dilukiskan pula vector diagram untuk arus dan tegangan pada gangguan arus hubung singkat 1 fasa ke tanah sesuai gambar 2.5 sebagai berikut :



Gambar 2.5. Vektor diagram arus dan tegangan gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah

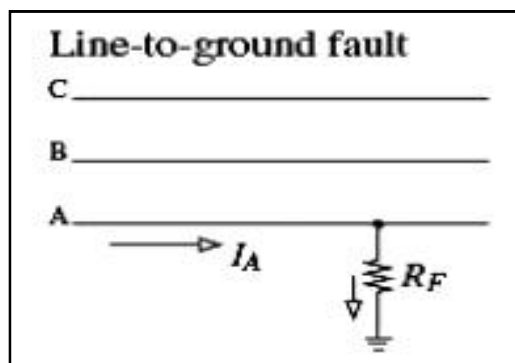
sehingga diperoleh :

$$I_{a_1} = \frac{1}{3} I_a = \frac{V_f}{Z_1 + Z_2 + Z_0 + Z_f}$$

Dengan demikian :

$$I_{a_1} = I_f = \frac{3V_f}{Z_1 + Z_2 + Z_0 + 3Z_f}$$

Sebagian besar saluran distribusi adalah jenis radial, dengan hanya satu sumber dan satu jalur untuk arus gangguan. Gambar 2.6 berikut menunjukkan persamaan untuk menghitung arus gangguan 1 fasa ke tanah pada saluran distribusi.



Gambar 2.6. Gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah.

2.5 Koordinasi Sistem Pengaman OCR dan GFR

Sistem pengaman adalah cara untuk mencegah / membatasi kerusakan peralatan terhadap gangguan, sehingga kelangsungan penyaluran tenaga listrik dapat dipertahankan salah satu alat pengaman yang digunakan adalah relai.

Relai adalah suatu alat pengaman yang bekerja secara otomatis mengukur / memasukkan rangkaian listrik (rangkai trip atau alarm) akibat adanya perubahan rangkain lain. fungsi sistem pengaman adalah untuk menghindari atau mengurangi kerusakan akibat gangguan pada yang terganggu atau peralatan yang dilalui oleh arus gangguan sehingga dapat memberikan pelayanan listrik dengan keandalan yang tinggi kepada konsumen. [6]

Pada tahap selanjutnya setelah melakukan perhitungan arus hubung singkat diatas hasilnya dipergunakan untuk menentukan nilai setelan arus lebih terutama nilai setelan Tms (*Time Multiple Setting*), dari relai arus lebih dengan karakteristik jenis Invers.[5]

Disamping itu setelah nilai setelan relai diperoleh, nilai - nilai arus gangguan hubung singkat pada setiap lokasi gangguan yang diasumsikan, dipakai untuk memeriksa relai arus lebih itu, apakah masih dapat dinilai selektif atau nilai setelan harus dirubah ke nilai lain yang memberikan kerja relai yang lebih selektif.

Sedangkan untuk setelan arus dari relai arus lebih dihitung berdasarkan arus beban yang mengalir di penyulang atau incoming Trafo, artinya untuk relai arus lebih yang terpasang di penyulang dihitung berdasarkan arus beban maksimum yang mengalir di penyulang tersebut. Untuk relai arus lebih yang terpasang di Incoming trafo dihitung berdasarkan arus nominal trafo tersebut.

Sesuai *British standard* untuk :

- Relai Invers biasa diset sebesar 1,05 s/d 1,1 x I Beban ,
- Sedangkan Relai Definit diset sebesar 1,2 s/d 1,3 x I Beban.

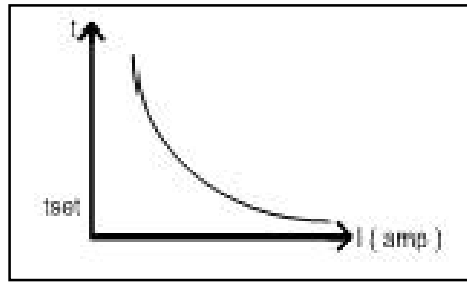
Persyaratan lain yang harus dipenuhi adalah penyetelan waktu minimum dari relai arus lebih (terutama di penyulang) tidak lebih kecil dari 0,3 detik. Pertimbangan ini diambil agar relai tidak sampai trip lagi, akibat arus *Inrush current* dari transformator distribusi yang memang sudah tersambung di jaringan distribusi, sewaktu PMT penyulang tersebut di operasikan. [5]

Nilai *inrush current* pada transformator distribusi minimum = 1,02 x I_n transformator dengan waktu (t) = 0,2 detik.

Penyetelan *Ground fault Relay* (GFR) dapat di setel mulai 6% s/d 12% x arus gangguan hubung singkat 1 fasa terjauh/terkecil. Nilai ini untuk mengantisipasi jika penghantar tersentuh pohon, dimana tahanan pohon besar yang dapat memperkecil besarnya arus gangguan hubung singkat 1 fasa ketanah.

2.6 Penyetelan *Time Multiple Setting* (TMS)

Setelan *Time multiple setting* (Tms) dan setelan waktu relai pada jaringan distribusi mempergunakan *standard Invers*, yang dihitung mempergunakan rumus kurva waktu berbanding terbalik dengan arus, dalam hal ini juga diambil persamaan kurva arus waktu dari *standard British*, karakteristik relai standart invers dapat dilihat pada gambar 2.8 berikut :[5]



Gambar 2.7. Karakteristik relai Standart Invers

$$Tms = \frac{t \times \left(\frac{I \text{ fault}}{I \text{ seting}} \right)^k - 1}{0,14}$$

Dan

$$t = \frac{Tms \times 0,14}{\left(\frac{I \text{ fault}}{I \text{ seting}} \right)^k - 1}$$

Dimana :

t = Waktu trip (detik).

Tms = *Time multiple setting* (tanpa satuan)

$I \text{ fault}$ = Besarnya arus gangguan hubung singkat (A)

- Setelan *Over Current Relay* (invers), diambil arus gangguan hubung singkat terbesar.
- Setelan *Ground fault Relay* (invers) diambil arus gangguan hubung singkat terkecil.

$I \text{ seting}$ = Besarnya arus setting sisi primer (A)

- Setelan over current relay (Invers) diambil 1,05 s/d 1,1 x I beban
- Setelan ground fault relay (invers) diambil 6% s/d 12% x arus gangguan hubung singkat 1 fasa terkecil.

k = Konstanta.

Nilai konstanta bergantung pada kurva arus dan waktu yang terbentuk dari masing – masing karakteristik relai. Tabel 2.1 menunjukkan nilai konstanta (k) yang bisa dipergunakan dalam perhitungan setelan Tms dan waktu sesuai karakteristik relai yang akan digunakan.

Tabel 2.1. Faktor k (Konstanta)

NAMA KURVA	k
IEC standard Inverse	0,02
IEC very Inverse	1
IEC Extremely Inverse	2
IEEE standard Inverse	0.02
IEEE Short Inverse	0.02
IEEE Very Inverse	2
IEEE inverse	2
IEEE Extremely Inverse	2