Kinerja Ground Fault Relay (Rele Gangguan Tanah) pada Penyulang 4 dan Penyulang 6 Gardu Induk Srondol

Yusnan Badruzzaman, Rizki Liddinillah

Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Semarang,
E-mail : yusnan.badruzzaman@gmail.com

Abstrak

Salah satu indikator penting dalam operasi sistem tenaga listrik adalah menjaga keandalan dan kontinuitas penyaluran tenaga listrik. Keandalan berkaitan dengan kualitas tegangan dan frekuensi. Kontinuitas berkaitan dengan terjaminnya pasokan energi listrik ke konsumen. Untuk mengamankan operasi sistem tenaga listrik diperlukan suatu sistem proteksi tenaga listrik yang bertugas untuk mendeteksi dan mengisolir gangguan yang terjadi agar tidak meluas. Dalam penelitian ini penulis mengamati kinerja rele gangguan tanah pada penyulang 4 dan 6 gardu induk srondol PLN area Semarang. Rele gangguan tanah sebagai pengaman gangguan tanah disetting dibawah arus gangguan terkecil, namun penyetingan tetap mengacu pada arus residu yang disebabkan ketidakseimbangan beban terbesar agar pada kondisi operasi normal rele tidak bekerja.

Penelitian ini dilakukan dengan metode studi komparatif, dimana data ketidakseimbangan beban dan data gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah di bandingkan dengan setting rele gangguan tanah (GFR). Hasil pengolahan data menunjukkan arus residu akibat ketidakseimbangan beban maksimal sebesar 92,601 A pada penyulang SRL 04 dan 125,654 A pada penyulang SRL 06. Sedangkan arus residu terkecil akibat gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah sebesar 1110 A pada penyulang SRL 04 dan 450A pada penyulang SRL 06. Dan penetapan setting rele gangguan tanah pada sisi primer sebesar 156 A untuk penyulang SRL 04 dan 162 A untuk penyulang SRL 06. Berdasarkan hasil perhitungan, maka dapat diambil kesimpulan bahwa setting penyulang SRL 04 dan penyulang SRL 06 baik namun pada penyulang SRL 06 setting perlu ditingkatkan sebesar 188,481 A.

Kata kunci : rele gangguan tanah, ketidakseimbangan beban, gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah

Abstract

The Main indicator of the operation electric power systems is to maintain the reliability and continuity of electrical power supply. Reliability relates to the quality of voltage and frequency. Continuity related to ensuring electricity supply to consumers. To secure operation of power system required an electric power protection system. This equipment are used to detect and isolate the disturbance that is not widespread. In this study the authors observed the performance of ground-fault relay on feeder 4 and 6 substation Srondol PLN Semarang Distribution. Ground-fault relay must be set under the smallest fault current, but the setup still refers to the residual currents caused by the biggest of unbalanced load. This condition is to make sure that under normal operating conditions the relay is not working.

This research was conducted by the method of comparative study, where the authors compare the data of load imbalance and short circuits single phase to ground with a ground-fault relay settings (GFR). The results of data processing show a residual current due to Maximum unbalanced load are 92.601 A at feeders SRL 04 and 125.654 A at feeders SRL06. While the smallest residual currents due to short circuit single phase to ground at 1110 A at feeders SRL 04 and 450A at feeders SRL 06. And determination of ground-fault relay settings on the primary side of 156 A for feeders SRL 04 and 162 A for SRL 06 feeders. Based on calculations, it can be concluded that the setting feeders SRL 04 and feeders SRL 06 are good enough, but at the feeders SRL 06 GFR setting needs to be increased by 188.481 A.

Keywords : Ground Foults Relay, unbalanced loa , single phase short circuit to ground

I. PENDAHULUAN

Sistem proteksi sitem tenaga listrik memegang peranan penting dalam menjaga keandalan dan kontinuitas penyaluran tenaga listrik. Proteksi sistem tenaga listrik harus selektif dan harus dapat mendeteksi suatu kesalahan secara pasti. Untuk semua keadaan operasi dari sistem, peralatan proteksi harus dapat bekerja secara cepat dan dapat diandalkan dan dipercaya.

Salah satu peralatan proteksi sistem tenaga listrik adalah Rele gangguan tanah. Rele gangguan tanah akan bekerja bila terjadi aliran arus urutan nol (residu) pada Rele gangguan tanah. Arus urutan nol ini disebabkan oleh ketidakseimbangan sistem yang disebabkan baik oleh penyaluran tenaga listrik ke konsumen yang tidak merata atau tidak seimbang ataupun disebabkan oleh gangguan antara fasa dengan tanah.

Ketidakseimbangan beban ditandai dengan tidak seimbangnya aliran arus pada masing – masing fasa dalam sistem tiga fasa. Ketidakseimbangan yang terjadi pada masing – masing fasa ini dapat menyebabkan mengalirnya arus pada kawat netral atau disebut juga arus residu.

Gangguan yang menyebabkan rele gangguan tanah bekerja hanya pada gangguan yang disebabkan oleh terganggunya fasa dengan tanah, antara lain adalah gangguan hubung singkat satu fasa dengan tanah, hubung singkat dua fasa ketanah, ataupun hubung singkat tiga fasa ke tanah.

1.1 Sistem Proteksi Gardu Induk

Sistem proteksi bertujuan untuk mengidentifikasikan gangguan dan memisahkan bagian yang terganggu dari bagian lain yang masih sehat sekaligus mengamankan bagian yang masih sehat dari kerusakan atau kerugian yang lebih besar. Sistem proteksi terdiri dari Rele Proteksi, Transformator Arus (CT), Transformator Tegangan (PT/CVT), PMT, Catu daya AC/DC yang terintegrasi dalam suatu rangkaian. Untuk efektifitas dan efisiensi, maka setiap peralatan proteksi yang dipasang harus disesuaikan dengan kebutuhan dan ancaman ketahanan peralatan yang dilindungi sehingga peralatan proteksi digunakan sebagai jaminan pengaman [1].

1.2 Proteksi Transformator Tenaga

Proteksi transformator tenaga terutama bertugas untuk mencegah kerusakan transformator sebagai akibat adanya gangguan yang terjadi dalam petak/bay transformator, disamping itu diharapkan juga agar pengaman transformator dapat berpartisipasi dalam penyelenggaraan selektifitas sistem, sehingga pengamanan transformator hanya melokalisasi gangguan yang terjadi di dalam petak/bay transformator saja.

Gangguan-gangguan pada transformator tenaga diantaranya adalah :

a. Gangguan hubung singkat pada jaringan.
b. Beban lebih
c. Surja petir

Gangguan surja petir merupakan gangguan tegangan lebih yang disebabkan oleh sambaran petir.

1.3 Rele Gangguan Tanah (Ground Fault Relay)

Pada dasarnya rele gangguan tanah adalah rele arus lebih yang dipergunakan untuk mengamankan gangguan ke tanah yaitu 1 (satu) fasa atau 2 (dua) fasa ke tanah. Rele gangguan tanah (Ground Fault Relay) berfungsi untuk memproteksi jaringan tenaga listrik terhadap gangguan antara fasa atau 3 fasa dan hanya bekerja pada satu arah saja [2].

Rele ini terpasang pada jaringan tegangan tinggi, tegangan menengah, juga pada pengaman transformator tenaga dan berfungsi untuk mengamankan peralatan listrik akibat adanya gangguan fasa ke tanah.

Proteksi terhadap gangguan tanah lebih sensitif daripada gangguan antar fasa. Proteksi ini dapat dilakukan menggunakan rele yang hanya akan merespon terhadap adanya arus residu sistem, karena komponen residual hanya muncul bilamana arus gangguan mengalir ketanah.

Secara keseluruhan, penyetelan rendah terhadap rele gangguan tanah memungkinkan bagi rele gangguan tanah menjadi sangat berguna, tidak hanya terhadap gangguan tanah, tetapi lebih jauh terhadap hampir semua gangguan, tetapi mungkin dibatasi oleh besarnya impedansi pentanahan atau oleh tahanan pentanahan. Komponen residual diekstrasi dengan cara menghubungkan CT (Current Transformer) jaringan secara paralel [3].

Gambar 1 Tampak Fisik Rele Arus Lebih OCR dan GFR [4]

1.4 Beban Tidak Seimbang

Apabila beban tidak seimbang, sistem akan mengandung fasor-fasor tidak seimbang, baik arus maupun tegangannya. Apabila fasor-fasor tidak seimbang tersebut dapat diuraikan kedalam komponen-komponen yang seimbang maka masing-masing komponen seimbang dapat dianalisis menggunakan model satu fasa. Hasil perhitungan kompenen-komponen tersebut memungkinkan kita memperoleh nilai besaran sesungguhnya (yang tak seimbang) dengan memanfaatkan teorema superposisi [5].

Komponen-komponen seimbang itu disebut komponen simetris. Dalam pembahasan komponen simetris ini kita hanya akan melihat sistem tiga fasa. Bahwa fasor tegangan (ataupun arus) dalam sistem tak seimbang dapat dinyatakan sebagai jumlah dari fasor tegangan (atau arus-arus) yang seimbang dikemukakan oleh C.L. Fortesque, dalam papernya, pada 1918.

Fasor Tidak Seimbang

Fasor tak seimbang merupakan jumlah dari komponen – komponen simetrisnya [6].

$$\begin{aligned}\overline{\boldsymbol{V}}_{\mathrm{A}} &= \overline{\boldsymbol{V}}_{0\mathrm{A}} + \overline{\boldsymbol{V}}_{1\mathrm{A}} + \overline{\boldsymbol{V}}_{2\mathrm{A}} = \overline{\boldsymbol{V}}_0 + \overline{\boldsymbol{V}}_1 + \overline{\boldsymbol{V}}_2 \\ \overline{\boldsymbol{V}}_{\mathrm{B}} &= \overline{\boldsymbol{V}}_{0\mathrm{B}} + \overline{\boldsymbol{V}}_{1\mathrm{B}} + \overline{\boldsymbol{V}}_{2\mathrm{B}} = \overline{\boldsymbol{V}}_0 + a^2\,\overline{\boldsymbol{V}}_1 + a\,\overline{\boldsymbol{V}}_2 \\ \overline{\boldsymbol{V}}_{\mathrm{C}} &= \overline{\boldsymbol{V}}_{0\mathrm{C}} + \overline{\boldsymbol{V}}_{1\mathrm{C}} + \overline{\boldsymbol{V}}_{2\mathrm{C}} = \overline{\boldsymbol{V}}_0 + a\overline{\boldsymbol{V}}_1 + a^2\overline{\boldsymbol{V}}_2\end{aligned} \qquad (1)$$

Yang dapat kita **tuliskan** dalam bentuk matriks

$$\begin{bmatrix}\overline{\boldsymbol{V}}\,\mathrm{A}\\ \overline{\boldsymbol{V}}\,B\\ \overline{\boldsymbol{V}}\,C\end{bmatrix} = \begin{bmatrix}1 & 1 & 1\\ 1 & a2 & \mathrm{a}\\ 1 & a & a2\end{bmatrix}\begin{bmatrix}\overline{\boldsymbol{V}}\,0\\ \overline{\boldsymbol{V}}\,1\\ \overline{\boldsymbol{V}}\,2\end{bmatrix} \qquad (2)$$

Komponen simetris dapat kita cari dari (1) dengan menjumlahkan fasor – fasor dan dengan mengingat bahwa $(1+a+a^2) = 0$, yaitu :

$$\begin{aligned}&\overline{\boldsymbol{V}}_{\mathrm{A}} = \overline{\boldsymbol{V}}_0 + \overline{\boldsymbol{V}}_1 + \overline{\boldsymbol{V}}_2\\ &\overline{\boldsymbol{V}}_{\mathrm{B}} = \overline{\boldsymbol{V}}_0 + a^2\,\overline{\boldsymbol{V}}_1 + a\,\overline{\boldsymbol{V}}_2\\ &\overline{\boldsymbol{V}}_{\mathrm{C}} = \overline{\boldsymbol{V}}_0 + a\overline{\boldsymbol{V}}_1 + a^2\overline{\boldsymbol{V}}_2 \quad +\\ &\overline{\boldsymbol{V}}_{\mathrm{A}} + \overline{\boldsymbol{V}}_{\mathrm{B}} + \overline{\boldsymbol{V}}_{\mathrm{C}} = 3\overline{\boldsymbol{V}}_0 + (1+a^2+a)\,\overline{\boldsymbol{V}}_1 +\\ &(1+a+a^2)\,\overline{\boldsymbol{V}} = 3\overline{\boldsymbol{V}}_0\\ &\overline{\boldsymbol{V}}_0 = \tfrac{1}{3}(\,\overline{\boldsymbol{V}}_{\mathrm{A}} + \overline{\boldsymbol{V}}_{\mathrm{B}} + \overline{\boldsymbol{V}}_{\mathrm{C}})\end{aligned} \qquad (3)$$

Jika baris ke – dua kita kalikan dengan $\boldsymbol{a}$ dan baris ke – tiga kita kalikan dengan $\boldsymbol{a}^2$, kemudian kita jumlahkan, kita peroleh :

$$\overline{\boldsymbol{V}}_1 = \tfrac{1}{3}(\,\overline{\boldsymbol{V}}_{\mathrm{A}} + a\,\overline{\boldsymbol{V}}_{\mathrm{B}} + a^2\overline{\boldsymbol{V}}_{\mathrm{C}}) \qquad (4)$$

Jika baris ke – dua kita kalikan dengan $\boldsymbol{a}^2$ dan baris ke-tiga kita kalikan dengan $\boldsymbol{a}$, kemudian kita jumlahkan, kita peroleh :

$$\overline{\boldsymbol{V}}_2 = \tfrac{1}{3}(\,\overline{\boldsymbol{V}}_{\mathrm{A}} + a^2\,\overline{\boldsymbol{V}}_{\mathrm{B}} + a^2\overline{\boldsymbol{V}}_{\mathrm{C}}) \qquad (5)$$

Relasi (3), (4), (5) kita kumpulkan dalam penulisan matriks:

$$\begin{bmatrix}\overline{\boldsymbol{V}}0\\ \overline{\boldsymbol{V}}\,1\\ \overline{\boldsymbol{V}}\,2\end{bmatrix} = \tfrac{1}{3}\begin{bmatrix}1 & 1 & 1\\ 1 & \mathrm{a}^2 & \mathrm{a}\\ 1 & a & \mathrm{a}^2\end{bmatrix}\begin{bmatrix}\overline{\boldsymbol{V}}\,\mathrm{A}\\ \overline{\boldsymbol{V}}\,B\\ \overline{\boldsymbol{V}}\,C\end{bmatrix} \qquad (6)$$

Dengan demikian kita mempunyai dua relasi antara besaran fasa dan komponen simetrisnya yaitu (3) dan (6) yang dapat kita tuliskan dengan lebih kompak sebagai berikut.

$$\widetilde{\boldsymbol{V}}_{\mathbf{ABC}} = [\boldsymbol{A}]\,\widetilde{\boldsymbol{V}}_{\mathbf{012}}$$
$$\widetilde{\boldsymbol{V}}_{\mathbf{012}} = [\boldsymbol{A}]^{-1}\widetilde{\boldsymbol{V}}_{\mathbf{ABC}}$$

Dengan :

$$[\boldsymbol{T}] = \begin{bmatrix}1 & 1 & 1\\ 1 & \mathrm{a}^2 & \mathrm{a}\\ 1 & \mathrm{a} & \mathrm{a}^2\end{bmatrix} \text{ dan } [\boldsymbol{T}]^{-1} = \tfrac{1}{3}\begin{bmatrix}1 & 1 & 1\\ 1 & a & \mathrm{a}^2\\ 1 & \mathrm{a}^2 & a\end{bmatrix} \qquad (7)$$

Dengan cara yang sama kita dapat memperoleh relasi untuk arus:

$$\begin{bmatrix}\overline{I}A\\ \overline{I}B\\ \overline{I}C\end{bmatrix} = \begin{bmatrix}1 & 1 & 1\\ 1 & \mathrm{a}^2 & \mathrm{a}\\ 1 & a & \mathrm{a}^2\end{bmatrix}\begin{bmatrix}\overline{I}0\\ \overline{I}1\\ \overline{I}2\end{bmatrix} \text{ dan } \begin{bmatrix}\overline{I}0\\ \overline{I}1\\ \overline{I}2\end{bmatrix} = \tfrac{1}{3}\begin{bmatrix}1 & 1 & 1\\ 1 & \mathrm{a}^2 & \mathrm{a}\\ 1 & \mathrm{a} & \mathrm{a}^2\end{bmatrix}\begin{bmatrix}\overline{I}A\\ \overline{I}B\\ \overline{I}C\end{bmatrix} \qquad (8)$$

Sehingga secara keseluruhan kita dapatkan relasi untuk tegangan dan arus:

$$\widetilde{\boldsymbol{V}}_{\mathbf{ABC}} = [\boldsymbol{A}]\,\widetilde{\boldsymbol{V}}_{\mathbf{012}} \;\; \mathbf{dan} \;\; \widetilde{\boldsymbol{V}}_{\mathbf{012}} = [\boldsymbol{A}]^{-1}\widetilde{\boldsymbol{V}}_{\mathbf{ABC}} \qquad (9)$$

$$\widetilde{\boldsymbol{I}}_{\mathbf{ABC}} = [\boldsymbol{A}]\,\widetilde{\boldsymbol{I}}_{\mathbf{012}} \quad \mathbf{dan} \quad \widetilde{\boldsymbol{I}}_{\mathbf{012}} = [\boldsymbol{A}]^{-1}\widetilde{\boldsymbol{I}}_{\mathbf{ABC}} \qquad (10)$$

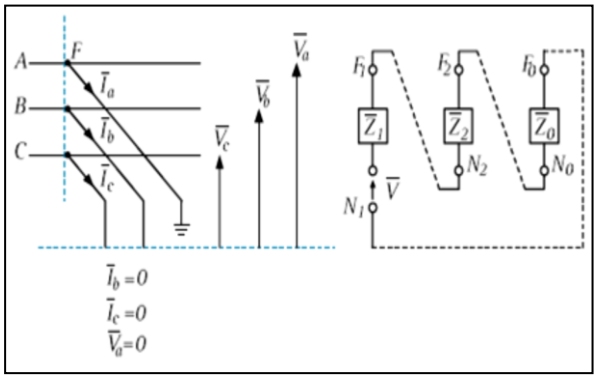
1.5 Gangguan Hubung Singkat Satu Fasa ke Tanah

Gangguan hubung singkat yang terjadi pada sistem tenaga listrik dapat diakibatkan oleh dua macam gangguan hubung singkat, yaitu gangguan hubung singkat simetri dan gangguan hubung singkat tidak simetri [7].

Gangguan hubung singkat simetri terjadi karena akibat yang dirasakan fasa sama, baik gangguan hubung singkat 3 fasa (L – L –L) maupun gangguan hubung singkat 3 fasa ke tanah (L – L – L – G), disebut gangguan simetri karena apabila terjadi gangguan ini sistem tenaga listrik tetap seimbang.

Sedangkan gangguan hubung singkat tidak simetri antara lain diakibatkan oleh gangguan hubung singkat 1 fasa ke tanah (L – G), hubung singkat antar fasa (L – L), maupun hubung singkat antar fasa ke tanah (L – L – G). Gangguan tidak simetri menyebabkan sistem tenaga listrik menjadi tidak seimbang.

Untuk diagram rangkaian gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah diperlihatkan pada Gambar 2.



Gambar 2 Diagram Rangkaian Hubung Singkat Satu Fasa Ke Tanah

Keadaan pada gangguan ini dinyatakan dengan persamaan :

$$Va = 0; \quad Vb \neq 0; \quad Vc \neq 0 ; \quad (10)$$

$$Ia \neq 0; \quad Ib = 0; \quad Ic = 0 ; \quad (11)$$

Transformasi arus ke dalam komponen simetrisnya :

$$I012 = A\text{-}1Iabc \quad (12)$$

$$\begin{bmatrix} \bar{I}a0 \\ \bar{I}a1 \\ \bar{I}a2 \end{bmatrix} = \frac{1}{3}\begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix}\begin{bmatrix} \bar{I}a \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (13)$$

$$Ia\,0 = \frac{1}{3}(Ia + 0 + 0) = \frac{1}{3}Ia$$

$$Ia1 = \frac{1}{3}(Ia + a.0 + a2..\ 0) = \frac{1}{3}\ Ia$$

$$Ia0 = Ia1 = Ia2 = \frac{1}{3}Ia \quad (14)$$

1.6 Arus Residu

Arus residu adalah arus urutan nol dari suatu nilai komponen simetri. Arus urutan nol ini terjadi pada jalur balik atau jalur netral. Pada sistem yang seimbang, tidak mengandung arus urutan nol. Hal ini dapat di pahami berdasakan contoh dibawah ini [8].

Contoh suatu sistem seimbang dengan arus masing – masing fasa yaitu:

$Ia = 1 < 00$
$Ib = 1 < 1200$
$Ic = 1 < 2400$

Penyelesaian :

Komponen simetri urutan nol:

$$Ia0 = \frac{1}{3}(Ia + Ib + Ic)$$
$$= \frac{1}{3}(1 + a2 + a)$$
$$= \frac{1}{3}(0) = 0$$

Komponen simetri urutan positif:

$$Ia1 = \frac{1}{3}(Ia + a.Ib + a2Ic)$$
$$= \frac{1}{3}(1 + a2 + a3)$$
$$= 1$$

Komponen simetri urutan negatif:

$$Ia2 = \frac{1}{3}(Ia + a2\ .Ib + a.Ic)$$
$$= \frac{1}{3}(1 + a2 + a)$$
$$= \frac{1}{3}(0) = 0$$

Pada sistem tidak seimbang, arus residu akan mengalir pada jalur balik atau jalur netral yang dapat dicari dengan persamaan sbb :

$IR = Ia + Ib + Ic$
$= (Ia0 + Ia1 + Ia2) + (Ia0 + a2.Ia1 + a.Ia2) + (Ia0 + a.Ia1 + a2.Ia2)$
$= 3\ Ia0 + (1 + a2 + a)\ Ia1 + (1 + a + a2)\ Ia2$
$= 3\ Ia0 + (0).Ia1 + (0).Ia2$
$= 3\ Ia0$

II. METODE PENELITIAN

Studi ini meliputi kajian literatur intensif, komparatif, pengambilan data primer dan analisis data primer. Pengamatan langsung dilakukan pada *Ground Fault Relay* yang terpasang pada penyulang 4 dan penyulang 6 di Gardu Induk Srondol Semarang. Pengamatan dilakukan selama kurang lebih 4 bulan dari Januari 2013 sampai Mei 2013.

Pengambilan data primer dilakukan pada rele gangguan tanah dengan tipe MICOM P123 yang merupakan produk dari AREVA. Data yang diambil meliputi data ketidakseimbangan beban dan data gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah. Kedua data ini akan dibandingkan dengan setting rele gangguan tanah (GFR).

Dari data yang telah terkumpul dilakukan pengelompokan sesuai identifikasi permasalahannya. Analisis sistem dilakukan melalui empat tahapan yaitu:

a. Survei atas sistem yang sedang berjalan,
b. Analisis terhadap temuan survei,
c. Identifikasi kebutuhan Informasi, dan
d. Identifikasi persyaratan sistem.

Hasil analisis kemudian dibuat laporannya untuk masukan dalam perancangan sistem yang diusulkan.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Data Rele Gangguan Tanah Penyulang Srondol 04

Berikut merupakan gambar panel kubikel penyulang Srondol 4 (SRL 4) yang terdapat pada Gardu Induk Srondol.

Gambar 2 Panel Kubikel Penyulang Srondol 4 (SRL 4)

Data rele yang digunakan yaitu:

Merk	= AREVA
Type	= MICOM P123
No seri	= 31068048
Karakteristik	= SI
I Nominal	= 5 A
TMS	= 0,17
Ratio CT	= 600/5 A
Iset primer	= 156 A
Iset sekunder	= 1,3 A

3.2 Data Rele Gangguan Tanah Penyulang Srondol 06

Berikut merupakan gambar panel kubikel Srondol 6 (SRL 6) yang terletak di gardu induk Srondol.

Gambar 3 Panel penyulang Srondol 6 (SRL 6)

Merk	= AREVA
Type	= MICOM P123
No seri	= 310680198
Karakteristik	= SI
I Nominal	= 5
TMS	= 0,20
Ratio CT	= 600/5
Iset primer	= 162 A
Iset sekunder	= 1,35 A

3.3 Setting Rele Gangguan Tanah Gardu Induk Srondol

Berikut merupakan Setting yang digunakan oleh PT. PLN (Persero) untuk menetapkan setting rele gangguan tanah pada Gardu Induk Srondol untuk penyulang Srondol 4 (SRL 04) dan penyulang Srondol 6 (SRL 06).

Setting rele gangguan tanah penyulang Srondol 4 (SRL 04)

Penyulang Srondol 4 (SRL 04) terhubung dengan transformator 2 PAUWELS sehingga penyettingan rele berdasarkan pada Transformator tersebut. Data Gardu induk Srondol dengan Transformator 2 PAUWELS :

Kapasitas	S	= 31,5	MVA
Vektor group		= Ynyn0 (d11)	
Impedansi	X	= 18,21	%
Tegangan primer	Vp	= 150	kV
Tegangan sekunder	Vs	= 22	kV
MVA SC 3 phasa		= 11,81485	kA
MVA SC 1 phasa		= 8,37895	kA

Untuk penyetingan rele gangguan tanah digunakan arus gangguan hubung singkat 1 fasa ke tanah sisi sekunder transformator dengan tegangan dasar 20 kV yaitu sebesar :

If20 = 4,851 x 103 A

Rasio CT (Current Transformer) yang digunakan yaitu:

CT sisi 150 kV	CT150	= 400/1	A
CT penyulang	CTp	= 600/5	A

Setting rele gangguan tanah pada sisi penyulang 20 kV pada Gardu Induk Srondol. Setelan arus pada rele gangguan tanah yaitu :

I nominal rele	In	= 5	A
I nominal primer	CCCp	= 400	A
faktor keamanan	fk	= 0,4	

Setting rele gangguan tanah pembanding yaitu :

Iset primer = 0,4 . CCCp
= 0,4 . 400
= 160 A

Iset sekunder = Iset primer / Ratio CT
$= \frac{160}{600/5}$
= 1,333 A

Tap = Iset sekunder / In
$= \frac{1,333}{5}$
= 0,267

dipilih Tap = 0,26

Setelan aktual (sebenarnya) yaitu :

Iset primer = Tap x In x rasio CT
= 0,26 x 5 x 600/5
= **156** A

Iset sekunder = Iset priemer / rasio CT
$= \frac{156}{600/5}$
= **1,3** A

Waktu kerja yang di inginkan t = 0,35 s

TMS $= \frac{\left(\frac{Ihs\ 1fasa}{Iset\ primer}\right)^{0,02}}{0,14} t$
$= \frac{\left(\frac{4851}{156}\right)^{0,02}-1}{0,14} 0,5$
= **0,17 (SI)**

Waktu kerja aktual untuk rele gangguan tanah yaitu :

tk $= \frac{0,14}{\left(\frac{4851}{156}\right)^{0,02}-1} 0,17$
= **0,334** s

3.4 Setting Rele Gangguan Tanah Penyulang Srondol 6 (SRL 06)

Penyulang Srondol 6 (SRL 06) terhubung dengan transformator 1 ABB 1995 sehingga penyettingan rele berdasarkan pada Transformator tersebut. Adapun data gardu induk Srondol dengan Transformator 2 ABB 1995 adalah sebagai berikut :

Kapasitas	S	= 30	MVA
Vektor group		= Ynyn0 (d11)	
Impedansi	X	= 12,36	%
Tegangan primer	Vp	= 150	kV
Tegangan sekunder	Vs	= 20	kV
MVA SC 3 phasa		= 11,81485	kA
MVA SC 1 phasa		= 8,37895	kA

Untuk penyetingan rele gangguan tanah digunakan arus gangguan hubung singkat 1 fasa ke tanah sisi sekunder transformator dengan tegangan dasar 20 kV yaitu sebesar :

If20 = 7,422 x 10^3 A

Rasio CT (*Current Transformer*) yang digunakan yaitu :

CT sisi 150 kV	CT150	= 400/1 A
CT penyulang	CTp	= 600/5 A

Setting rele gangguan tanah pada sisi penyulang 20 kV pada Gardu Induk Srondol penyulang Srondol 6 (SRL 06). Setelan arus pada rele gangguan tanah untuk penyulang Srondol 6 (SRL 06) yaitu :

I nominal rele	In	= 5	A
I nominal primer	CCCp	= 400	A
faktor keamanan	fk	= 0,4	

Setting rele gangguan tanah pembanding yaitu :

Iset primer = 0,4 . CCCp
= 0,4 . 400
= 160 A

Iset sekunder = Iset primer / Ratio CT
$= \frac{160}{600/5}$
= 1,333 A

Tap = Iset sekunder / In
$= \frac{1,333}{5}$
= 0,267

dipilih Tap = 0,27

Setelan aktual (sebenarnya) yaitu :

Iset primer = Tap x In x rasio CT
= 0,27 x 5 x 600/5
= **162** A

Iset sekunder = Iset priemer / rasio CT
$= \frac{162}{600/5}$
= **1,35** A

Waktu kerja yang di inginkan t = 0,35 s

TMS $= \frac{\left(\frac{Ihs\ 1fasa}{Iset\ primer}\right)^{0,02}}{0,14} t$
$= \frac{\left(\frac{7422}{162}\right)^{0,02}-1}{0,14}\ 0,5$
= **0,199** (SI)

dipilih TMS = 0,2

Waktu kerja aktual rele gangguan tanah

tk $= \frac{0,14}{\left(\frac{7422}{162}\right)^{0,02}-1}\ 0,17$
= **0,352** s

3.4.1 Kinerja Rele Gangguan Tanah Terhadap Ketidakseimbangan Beban pada Kondisi Operasi Normal

Pada kondisi operasi normal, diharuskan rele gangguan tanah dapat menanggung arus residu akibat ketidakseimbangan beban seperti yang telah dijelaskan. Dalam menganalisa aliran arus residu akibat ketidakseimbangan beban ini dapat mempergunakan komponen simetris.

Dengan menggunakan komponen simetris, fasor – fasor yang tidak seimbang tersebut dapat diuraikan kedalam komponen – komponen yang seimbang. Dengan penguraian ini, akan didapatkan hasil berupa arus urutan nol (arus residu), arus urutan positif, dan arus urutan negatif. Pada penelitian ini juga akan dicari berapa besar faktor ketidakseimbangan bebannya.

a. Perhitungan Komponen Simetris

Contoh perhitungan ini mengambil data beban puncak siang hari pada penyulang Srondol 4 (SRL 4) pada tanggal 1 Januari 2013.

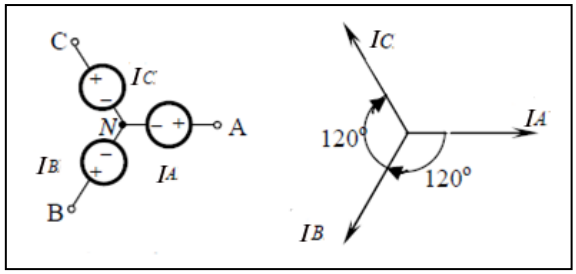
Data:

Arus fasa R	Ir = 248	A
Arus fasa S	Is = 271	A
Arus fasa T	It = 265 A	
Tegangan	V = 20	kV
Daya nyata Transformator:		
Daya nyata	P = 13,3	MW
Daya reaktif	Q = 3	MVar

Dengan mengetahui Daya nyata dan Daya reaktif dari Transformator dapat dicari sudut yang digunakan untuk perhitungan mencari komponen simetris

Sudut Θ = Arc Tan ($\frac{Q}{P}$)
Θ = Arc Tan ($\frac{3}{13,3}$)
Θ = 13°

Dalam perhitungan mencari komponen simetris, dikarenakan pada PT. PLN (Persero) untuk cos **Q** sudah diatur oleh APB (Area Pengatur Beban), maka di asumsikan bahwa pergeseran sudut pada masing – masing fasanya adalah 120° seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 4.



Gambar 4 Diagram Fasor Arus

Sehingga:

Ir = 248 < 13°
Is = 271 < - 107°
It = 265 < 133°

Pembahasan :

Arus masing – masing fasa diubah kedalam bilangan kompleks.

Ir = 241,922 + **j** 54,569
Is = -80,538 - **j** 157,19
It = -179,75 + **j** 194,717

Dengan penjabaran arus pada masing – masing fasa berupa bilangan polar dan bilangan kompleks, maka dapat dicari arus – arus komponen simetrisnya:

Arus urutan positif

$I_1 = \frac{1}{3}(Ir + \mathbf{a}.Is + \mathbf{a}^2.It)$

$= \frac{1}{3}(248 < 13^o + 1 < 120^o \times 271 < -107^o + 1 < 240^o \times 265 < 133^o)$

$= \frac{1}{3}(241{,}922 + 264{,}358 + j59{,}630 + 258{,}505 + j\ 58{,}309)$

$= 254{,}929 + j\ 57{,}503$

$= 261{,}333 < 13^o$

Arus urutan negatif

$I_2 = \frac{1}{3}(Ir + \mathbf{a}^2.Is + \mathbf{a}.It)$

$= \frac{1}{3}(248 < 13^o + 1 < 240^o \times 271 < -107^o + 1 < 120^o \times 265 < 133^o)$

$= \frac{1}{3}(241{,}922 + j\ 54{,}569 - 183{,}82 + j\ 199{,}126 - 78{,}755 - j\ 253{,}027)$

$= -6{,}884 + j\ 0{,}223$

$= 6{,}888 < 178^o$

Arus urutan nol

$I_0 = Ir + Is + It$

$= 248 < 13^o + 271 < -107^o + 265 < 133^o$

$= 241{,}922 + j\ 54{,}569 - 80{,}538 - j\ 157{,}19 - 179{,}75 + j\ 194{,}717$

$= -6{,}122 - j\ 3{,}157$

$= 6{,}888 < -153^o$

Dengan mengetahui masing – masing komponen urutan simetris, maka arus residu yang mengalir ke rele gangguan tanah dapat dicari dengan:

$Ir = 3\ I_0$

$Ir = 3 \times 6{,}888 < -153^o$

$Ir = 20{,}664 < -153^o$ A

Jadi arus residu yang mengalir ke rele gangguan tanah yang diakibatkan oleh ketidakseimbangan beban adalah sebesar $20{,}664 < -153^o$ A.

Untuk arus yang mengalir pada sekunder rele gangguan tanah adalah :

Irele = Iprimer / Rasio CT

$= \frac{20{,}664}{600/5}$

= 0, 270 A

b. Perhitungan Ketidakseimbangan Beban

Perhitungan untuk mencari ketidakseimbangan beban yaitu dengan mengasumsikan arus pada masing – masing fasa adalah **a**, **b**, dan **c**. Komponen **a**, **b**, dan **c** tersebut merupakan pembagian antara arus pada masing – masing fasa dengan rata – rata arus pada ke tiga fasa

$I\ rata2 = \frac{Ir+Is+It}{3}$

$= \frac{248+271+265}{3}$

= 261,333 A

$a = \frac{Ir}{Irata2}$

$= \frac{248}{261{,}333}$

= 0,949

$b = \frac{Is}{Irata2}$

$= \frac{271}{261{,}333}$

= 1,037

$c = \frac{It}{Irata2}$

$= \frac{265}{261{,}333}$

= 1,014

Dari komponen – komponen tersebut dapat dihitung besar ketidakseimbangan bebannya, yaitu:

$Kb = \frac{(|\boldsymbol{a}-1|+|\boldsymbol{b}-1|+|\boldsymbol{c}-1|}{3} \times 100\ \%$

$= \frac{(|0{,}949-1|+|1{,}037-1|+|1{,}014-1|}{3} \times 100\ \%$

= 3,40 %

Jadi besar ketidakseimbangan bebannya adalah 3,40 %.

3.4.2 Kinerja Rele Gangguan Tanah terhadap Gangguan Hubung Singkat Satu Fasa ke Tanah

a. Perhitungan Mencari Arus Residu

Data gangguan hubung singkat diambil dari data gangguan pada tanggal 09 Januari 2013.

Data :

Arus pembacaan rele

Ihr = 2,05 A

Tegangan saat hubung singkat

Vhs = 21,3 kV

Besaran diatas merupakan besaran pembacaan rele, dalam menganalisa secara perhitungan komponen simetris, besaran tersebut di ubah kedalam sisi primer rele gangguan tanah.

Sisi primer

Ihs = I pembacaan rele x In x Rasio CT
= 2,05 x 5 x 600/5
= 1230 A

Berdasarkan penjabaran keadaan hubung singkat satu fasa ketanah, maka keadaan arus dan tegangan pada masing – masing fasanya dapat di jabarkan sebagai berikut:

I fasa r	Ir = 1230 A < 0^o
I fasa s	Is = 0
I fasa t	It = 0

Pembahasan :
Arus masing – masing fasa diubah ke dalam bilangan kompleks.

Ir = 1230
Is = 0
It = 0

Dengan penjabaran arus pada masing – masing fasa berupa bilangan polar dan bilangan kompleks, maka dapat dicari arus – arus komponen simetrisnya:

Arus urutan positif

$I_1 = \frac{1}{3}$ (Ir + **a**.Is + a^2.It)
$= \frac{1}{3}$ (1230)
= 410 A < 0^o

Arus urutan negatif

$I_2 = \frac{1}{3}$ (Ir + $\mathbf{a}^2$. Is + **a** . It)
$= \frac{1}{3}$ (1230)
= 410 < 0^o

Arus urutan nol

I_0 = Ir + Is + It
$= \frac{1}{3}$ (1230)
= 410^o < 0^o

Dengan mengetahui masing – masing komponen urutan simetris, maka arus residu yang mengalir ke rele gangguan tanah dapat dicari dengan:

In = 3 I_0
In = 3 x 410 < 0^o
In = 1230 < 0^o

Jadi arus residu yang mengalir ke Rele gangguan tanah yang diakibatkan oleh gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah adalah 1230 < 0^o.

b. Perhitungan Mencari Faktor Ketidak Seimbangan Beban

I rata2 = $\frac{Ir+Is+It}{3}$
$= \frac{1230+0+0}{3}$
= 410 A

a $= \frac{Ir}{Irata2}$
$= \frac{1230}{410}$
= 3

b $= \frac{Is}{Irata2}$
= 0

c $= \frac{It}{Irata2}$
= 0

Dari komponen – komponen tersebut dapat dihitung besar ketidakseimbangan bebannya, yaitu:

Kb = $\frac{(|\boldsymbol{a}-1|+|\boldsymbol{b}-1|+|\boldsymbol{c}-1|}{3}$ x 100 %
$= \frac{(|3-1|+|0-1|+|0-1|}{3}$ x 100 %
= 133,33 %

Jadi besar ketidakseimbangan bebannya adalah 133,33 %.

IV. KESIMPULAN

1. Kinerja rele gangguan tanah pada kondisi operasi normal dipengaruhi oleh arus residu yang disebabkan oleh ketidakseimbangan beban.
2. Kinerja rele gangguan tanah sebagai sistem proteksi tenaga listrik harus mampu mendeteksi gangguan hubung singkat satu fasa ketanah yang terkecil dan harus mampu tahan terhadap arus residu akibat ketidakseimbangan beban pada kondisi operasi normal.
3. Besar aliran arus residu maksimal akibat ketidakseimbangan beban pada pengoperasian normal dari bulan Januari 2013 sampai Mei 2013 pada gardu induk Srondol adalah sebesar 92,601 A untuk penyulang Srondol 4 (SRL 04) dan 125,654 A untuk penyulang Srondol 6 (SRL 06).

4. Besar arus residu gangguan hubung singkat satu fasa ketanah terkecil adalah sebesar 1110 A untuk penyulang Srondol 4 (SRL 04) dan 450 A untuk penyulang Srondol 6 (SRL 06) pada gardu induk Srondol.
5. Besar arus residu terbesar akibat ketidakseimbangan beban dan besar arus residu terkecil gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah dijadikan sebagai acuan dalam penetapan setting rele gangguan tanah.

DAFTAR PUSTAKA

[1] Aiyub, Said. "Koordinasi Sistem Proteksi Over Current Relay Tipe BEI-51 pada Transformator Daya dengan Ground Foult Relay", *Jurnal Listrik*, 2008, Volume 5, Nomor 1, Maret 2008: hal. 22 – 26.

[2] *Sistem Proteksi Gardu Induk*, PT. PLN (Persero) Pusat Pendidikan dan Pelatihan.

[3] Carwoto, "Pemilihan Fungsi Proteksi dan Perhitungan Setting Relay Digital MCX – 913 untuk Proteksi Transformator Step – Up 11,5 kV", *Momentum*, Semarang, 2008, Vol.4, No.1, April 2008:15 – 22.

[4] *Relai Arus Lebih*, PT. PLN (Persero) Pusat Pendidikan dan Pelatihan.

[5] Dahlan, Moh. "Akibat Ketidakseimbangan Beban Terhadap Arus Netral dan Losses pada Transformator Distribusi", Kudus : ISSN:1979 – 6870.

[6] Sudirham, Sudaryatno. *Analisis Rangkaian Listrik Jilid 3*, Bandung : Darpublic, 2012.

[7] Alawiy, Muhammad Taqiyyudin. Proteksi Sistem Tenaga Listrik Seri Relay Elektromagnetis, Malang : Fakultas Teknik Elektro Universitas Islam Malang, 2006.

[8] Yudha, Hendra Marta. Rele Proteksi Prinsip dan Aplikasi, Sriwijaya : UNSRI, 2008.