

STUDI KOORDINASI KERJA RELE DIFERENSIAL DAN RELE RESTRICTED EARTH FAULT SETELAH UPGRADING PADA TRANSFORMATOR II DI GI KAPAL

I Made Dwi Cahyadi Jaya¹, I Gede Dyana Arjana², A.A Gede Maharta Pelayun³

Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Udayana

Email : cahyadii.jaya@gmail.com¹, dyanaarjana@unud.ac.id²,
maharta@unud.ac.id³

ABSTRAK

Rele diferensial pada transformator daya II di Gardu Induk Kapal memiliki setting sensitifitas arus sebesar 30% terhadap arus nominal belitan. Arus gangguan dibawah setting tidak dapat terdeteksi karena belum mencapai batas setting. Untuk mengatasi arus gangguan dilengkapi dengan Rele Restricted Earth Fault (REF) yang memiliki sensitifitas lebih kecil dari 30%. Analisis dengan metode perhitungan sesuai buku pedoman setting rele. Hasil perhitungan setting sensitifitas arus rele REF 382,75 A atau titik gangguan pada 22.09% belitan. Rele diferensial 519,6 A atau titik gangguan pada 30% belitan. Hasil perhitungan menunjukkan yang bekerja lebih dulu adalah rele REF daripada rele diferensial. Jadi gangguan pada belitan transformator diatasi oleh rele REF.

Kata Kunci : Rele Diferensial, Rele REF, Transformator Daya.

ABSTRACT

The differential relay on the power transformer II in the Kapal Substation has a sensitivity setting of 30% to the nominal current of winding. Fault current that occurs below setting is not detected because the fault current has not reached the set limit. To overcome the fault current it is equipped with REF relay that has sensitivity below 30%. The analysis was performed by calculation method according to the relay setting manual. The results of sensitivity setting of REF relay is 382.75 A or fault point at 22.09% of the transformer winding, while the differential relay is 519.6 A or fault point at 30% of the transformer winding. The calculation result shows that the first to work is the REF relay than the differential relay. So the fault on the transformer winding is overcome by the REF relay.

Keywords : Differential Relay, REF Relay, Power Transformer.

1. PENDAHULUAN

Gardu Induk (GI) Kapal merupakan GI yang menjadi pusat pengatur beban ke seluruh GI yang ada di Bali. GI Kapal memiliki 4 buah transformator daya, dengan masing-masing memiliki daya sebesar 60 MVA setelah upgrading. Dengan dilakukannya *uprating* pada transformator II pada GI Kapal, transformator ini memerlukan sistem pengamanan yang baik.

Gangguan pada transformator khususnya antar belitan dengan badan transformator maupun belitan dengan belitan yang tidak terdeteksi oleh rele diferensial perlu diamankan. Rele diferensial eksisting yang terpasang pada GI Kapal memiliki *setting* yang dibatasi sebesar 30% terhadap arus nominal transformator. Sehingga jika terjadi gangguan pada belitan transformator dengan arus gangguan dibawah 30%, wa-

laupun gangguan tersebut dideteksi oleh rele diferensial, rele ini belum dapat bekerja karena belum mencapai batas *setting* [1].

Berdasarkan permasalahan tersebut, maka dipasang rele REF sebagai rele bantu pengaman rele diferensial. Dengan terpasangnya rele diferensial dan rele REF pada transformator, kedua rele ini saling bekerjasama mengamankan transformator, sehingga diharapkan dapat mengantisipasi gangguan yang terjadi.

2. KAJIAN PUSTAKA

A. Komponen Simetris.

Suatu sistem tak seimbang yang terdiri dari 'n' fasa yang berhubungan dapat diuraikan menjadi 'n' buah sistem dengan fasa seimbang dinamakan komponen simetris dari fasa aslinya. Prinsip dasar dari komponen simetris untuk rangkaian sistem tiga fasa adalah setiap bilangan fasa yang tak seimbang dapat diuraikan menjadi fasa seimbang [2].

Pada Gangguan tiga fasa semua fasa mengalami hubung singkat. Ada kemungkinan 2 situasi yaitu ketiga fasa kemungkinan mengalami hubung singkat ke tanah atau tidak melalui ke tanah. Gangguan tiga fasa dijadikan standar untuk menentukan tingkat gangguan [3]. Gangguan satu fasa ke tanah umumnya bukan merupakan hubung singkat melalui tahanan gangguan, sehingga arus gangguannya menjadi semakin kecil dan tidak bisa terdeteksi oleh rele yang ada [4].

B. Gangguan Hubung Singkat Satu Fasa ke Tanah

Arus dan tegangan pada titik hubung singkat dihitung jika sistem tidak seimbang dan pada saat sistem seimbang, maka penggunaan metode simetri untuk menganalisa gangguan hubung singkat [5]. Gangguan ini juga disebut gangguan tidak simetris yaitu terjadi hubung singkat pada salah satu fasa.

$$I_{a1} = \frac{E_a}{Z_1 + Z_2 + Z_0}$$

$$I_b = I_c = 0$$

$$V_{a1} = E_a - (I_{a1} \times Z_1)$$

$$V_{a2} = - (I_{a2} \times Z_2)$$

$$V_{a0} = - (I_{a0} \times Z_0)$$

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

$$I_a = 3 \times I_{a1}$$

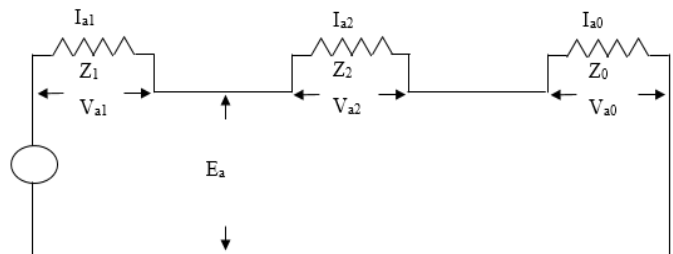
di mana :

I = Arus

V = Tegangan

Z = Impedansi

Karena gangguan yang terjadi satu fasa ke tanah maka rangkaian penggantinya :



Gambar 1. Rangkaian Pengganti Hubung Singkat Satu Fasa ke Tanah [2].

Diperoleh persamaan sebagai berikut

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

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

$$V_{ab} = V_a - V_b$$

$$V_{bc} = V_b - V_c$$

$$V_{ca} = V_c - V_a$$

C. Proteksi Transformator

Proteksi transformator tenaga umumnya menggunakan rele diferensial dan rele *Restricted Earth Fault* (REF) sebagai proteksi utama. Sedangkan proteksi cadangan menggunakan rele arus lebih (OCR) dan rele gangguan ke tanah (GFR). Sedangkan *Standby Earth Fault* (SEBF) umumnya hanya dipergunakan pada transformator dengan belitan Y yang ditanahkan dengan resistor, dan fungsinya lebih mengamankan NGR. Umumnya

skema proteksi disesuaikan dengan kebutuhan [6].

D. Rele

Rele proteksi merupakan skema atau rangkaian yang mampu merespon terhadap adanya suatu gangguan atau kesalahan dalam sistem tenaga listrik dan secara otomatis memutuskan hubungan peralatan yang terganggu atau memberikan sinyal (alarm) [7].

Rele adalah peralatan yang peka terhadap perubahan arus dan tegangan, pada rangkaian sistem yang dapat mempengaruhi bekerjanya alat lain. Syarat karakteristik rele antara lain [8].

1. Kepekaan (*Sensitivity*)
2. Keandalan (*Reliability*)
3. Terpercaya (*Dependability*)
4. Selektif (*Selectivity*)
5. Terjamin (*Security*)
6. Kecepatan (*Speed*)

E. Prinsip Dasar Rele

Rele dapat dibedakan menjadi tiga elemen fundamental [9].

1. Elemen perasa, bertugas mengukur adanya perubahan besaran listrik, misalnya perubahan arus atau tegangan pada sistem.
2. Elemen pembanding, yang bertugas membandingkan besaran terukur dengan besaran yang telah disetting sebelumnya.
3. Elemen pengontrol, merupakan sinyal atau mengontrol rangkaian lain, misalnya membuat sakelar suatu rangkaian tertutup.

F. Prinsip Dasar Setting Waktu

TMS adalah *time multiple setting* yang digunakan untuk *setting* waktu pada rele, dimana TMS bertujuan agar rele lebih sensitif. Berikut ini merupakan rumus dari TMS [10]:

$$Tms = \frac{tx \left(\left(\frac{I_f}{I_{set}} \right)^\alpha \right) - 1}{\beta}$$

(13)
dan

$$t = \frac{\beta \times tms}{\left[\left(\frac{I_{fault}}{I_{set}} \right)^\alpha - 1 \right]}$$

(14)

di mana :

$$\begin{aligned} TMS &= \text{Time Multiple Setting} \\ t &= \text{Waktu kerja} \\ I_f &= \text{Arus gangguan} \\ I_{set} &= \text{Arus setting} \end{aligned}$$

G. Restricted Earth Fault Rele

Rele REF adalah suatu perangkat pengamanan hubung singkat untuk mendeteksi gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah yang dipasang pada trafo daya atau generator tiga fasa dengan hubungan belitannya adalah hubungan bintang dan titik netralnya ditanahkan baik dengan tahanan pentanahan maupun secara langsung.

$$I_r = I_{l0} + I_{n0} = 0 \quad (15)$$

$$I_R = g \% \text{ (basic setting)} \quad (16)$$

$$I_P = N \times (I_R + (n \times I_E)) \quad (17)$$

$$V_K = 2 \times V_S \quad (18)$$

$$V_S = \frac{I_{hs \text{ mak trafo}}}{N} \times (R_{CT} + 2R_{loop}) \quad (19)$$

$$R_{SR} = \frac{V_S}{I_R} - \frac{V_A}{I_R^2} \quad (20)$$

$$g = 10 \% + \left(\frac{I_{mak} - I_{mean}}{I_{mean}} \times 100 \% \right) \quad (21)$$

di mana :

$$\begin{aligned} I_R &= \text{Arus rele} \\ I_P &= \text{Arus primer} \\ V_K &= \text{Tegangan lutut} \\ V_S &= \text{Tegangan rele} \\ R_{SR} &= \text{Tahanan stabilizer} \\ g &= \text{basic setting} \end{aligned}$$

3. METODELOGI PENELITIAN

Analisis dalam penelitian ini dilakukan dalam beberapa tahapan sebagai berikut :

1. Pengolahan data untuk menganalisis terjadinya gangguan pada internal transformator daya II di GI Kapal.
2. Perhitungan gangguan hubung singkat pada internal transformator daya II.
3. Perhitungan analisis *setting* rele diferensial dan rele REF untuk menanggulangi terjadinya gangguan internal transformator daya II di GI Kapal.
4. Koordinasi kerja *setting* rele eksisting dengan hasil perhitungan.

5. Analisis hasil perbandingan rele eksisting dengan hasil perhitungan.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Gambaran Umum Gardu Induk Kapal

Merupakan area pengatur beban untuk seluruh gardu induk yang ada di Bali. GI Kapal memiliki 4 buah transformator dengan daya masing-masing sebesar 60 MVA. Transformator daya ini menyuplai daya ke beberapa penyulang yang ada di daerah sekitarnya. Transformator memerlukan sistem pengaman yang handal untuk memproteksi sistem dari gangguan. Adapun gangguan tersebut seperti gangguan didalam transformator maupun gangguan yang berasal dari luar daerah pengaman transformator.

B. Perhitungan Arus Hubung Singkat Satu Fasa ke Tanah dengan Tahanan Pentanahan 40Ω

Berdasarkan perhitungan dari Persamaan 1 dan 7 :

$$I_{a1} = \frac{E_a}{Z_1 + Z_2 + Z_0}$$

$$I_{a1} = 0,1101 - j0,0096 \text{ pu}$$

$$I_a = 3 \times I_{a1}$$

$$I_a = 0,3303 - j0,0288 \text{ pu}$$

$$I_a = 0,331 \angle 5,53^\circ \times 1732,1 \text{ A}$$

$$I_a = 573,3 \angle 5,53^\circ$$

Jadi besar arus hubung singkat $I_a = 573,3 \text{ A}$.

C. Simulasi Gangguan pada Belitan Transformator

Simulasi gangguan internal satu fasa ke tanah dengan jarak 67 % dari titik netal transformator :

$$I_\emptyset = \frac{x}{100} \times I_f$$

$$I_\emptyset = \frac{67}{100} \times 573,3 = 384,111 \text{ A}$$

$$I_0 = I_{\emptyset a} = I_p = 384,111$$

$$I_r = (384,111 \times 5/2000) - 0.4$$

$$= 0,88 \text{ A}$$

Berdasarkan hasil simulasi gangguan diatas, besar arus yang mengalir pada rele REF adalah : 0,88 A. Sedangkan rele disetting pada 0,238 A. Saat terjadi

gangguan satu fasa ke tanah pada 67 % belitan dari titik netral, nilai REF sudah bekerja.

Rele diferensial disetting 30 % arus nominal transformator yaitu :

$$I_d = 30/100 \times 1732,1 \text{ A} = 519,6$$

$$I_d = 519,6/573,3 \times 100 = 90,63$$

% dari arus gangguan satu fasa ke tanah maksimum.

Dari simulasi diatas maka rele diferensial belum bekerja karena belum mencapai *pick up*, walaupun merasakan adanya gangguan.

Jika ditinjau dari *setting overcurrent* netral, $I_0 = 384,111 \text{ A}$ sudah berada pada daerah *setting* rele *overcurrent* netral (NS 51) karena rele disetting pada $I_r = 0,2 \text{ A}$ ($\pm 60 \text{ A}$ primer) dan rele sudah mencapai *pick up*.

D. Perhitungan Setting Rele REF

Berdasarkan perhitungan diperoleh hasil sebagai berikut :

$$g = 10 \% + \left(\frac{I_{\text{mak}} - I_{\text{mean}}}{I_{\text{mean}}} \times 100 \% \right)$$

$$g = 23,8 \%$$

Dari perhitungan *basic setting* diperoleh:

$$I_R = 23,8 \% \text{ dari } 1 \text{ A}$$

$$= 0,238 \text{ A atau } 238 \text{ mA.}$$

Sesuai Persamaan 17 perhitungan sensitivitas arus primer (I_p):

$$I_p = N \times (I_R + (n \times I_E))$$

$$I_p = 382,75 \text{ A}$$

Sesuai Persamaan 18 perhitungan *setting* tegangan minimum : V_s

$$V_s \geq \frac{I_f \text{ mak trafo}}{N} \times (R_{CT2} + 2R_L)$$

$$V_s = 127,05 \text{ V}$$

Sesuai Persamaan 19 perhitungan tegangan *knee point* atau tegangan titik jenuh (tegangan lutut) V_K :

$$V_K \geq 2 \times V_s$$

$$V_K = 254,1 \text{ V}$$

Sesuai Persamaan 20 perhitungan nilai tahanan *stabilizer* rele REF:

$$R_{ST} = \frac{V_s}{I_R} - \frac{V_A}{I_R^2}$$

$$R_{ST} = 516 \Omega$$

Tabel 1. Perbandingan *Setting* Rele REF Hasil Perhitungan dengan Terpasang

Setting REF	Perhitungan	Terpasang	Keterangan
V_S	127,05 V	127 V	Perbedaan terjadi karena <i>range</i>
I_R	0,238 A	0,2 A	<i>Setting</i> pada rele terbatas
R_{ST}	516 Ω	610 Ω	Mengacu pada <i>setting</i> normal (g)

E. Perhitungan *Setting* Rele Diferensial

Berdasarkan perhitungan diperoleh hasil sebagai berikut.

Perhitungan *slip* (kecuraman) rele diferensial (g) :

$$g = 10 \% + \left[\frac{I_{maks} - I_{mean}}{I_{mean}} \times 100 \% \right]$$

$$I_{mean} = \sqrt{I_{maks} \times I_{min}}$$

$$g = 28,3 \% \approx 30 \%$$

Setting kecuraman 30 % mengacu pada saat transformator berbeban penuh.

Jika terjadi kecuraman arus sebesar 30% terhadap arus nominal transformator tenaga, maka akan dirasakan oleh rele diferensial dan selanjutnya secara seketika rele memerintahkan PMT trafo lepas (*trip*). Tapi jika kemiringan arus tersebut dibawah 30% terhadap arus nominal transformator maka rele diferensial belum dapat bekerja karena belum mencapai batas *setting*, walaupun rele merasakan adanya gangguan pada daerah pengamanannya.

Tabel 2. *Setting* Arus Nominal Rele Diferensial

Set. Rele Diferensial	$I_{primer} = 230 \text{ A}$	$I_{sekunder} = 1732 \text{ A}$
$I_{set} = 30 \% \times I_n$	69 A	519,6 A

F. Perbandingan *Setting* Rele REF dengan Rele Diferensial

Ditinjau dari *setting* arusnya, besar arus gangguan 1 fasa ke tanah maksimum 600 A. Rele Diferensial disetting 30% x I_n transformator = 519,6 A. Rele REF disetting dengan sensitifitas arus primer 382,75 A se-

suai perhitungan. Besar arus gangguan 1 fasa maksimum, rele diferensial akan bekerja pada titik gangguan 30% belitan. Sedangkan rele REF akan bekerja pada titik gangguan 22.09% belitan.

5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perhitungan yang dilakukan memperoleh kesimpulan sebagai berikut :

1. Hasil sensitifitas rele REF memiliki sensitifitas sebesar 382.75 A atau titik gangguan pada 22.09% belitan. Rele diferensial sebesar 519.6 A atau titik gangguan pada 30 % belitan.
2. Hasil perhitungan menunjukkan rele REF akan bekerja lebih dulu dalam mengamankan gangguan satu fasa ke tanah pada internal transformator.

6. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Nyoman Suryana, I.G.B. Studi Penggunaan Rele Restricted Earth Fault (REF) Pada Sistem Pengaman Transformator – 4 150/20 kV Di Gardu Induk Kapal. Tugas Akhir. Jimbaran : Universitas Udayana. 2003.
- [2] Stevenson Jr. 1984. Analisa Sistem Tenaga Listrik. Jakarta : Erlangga
- [3] Badri Ram. D.N Vishwakarma. 2007. Power System Protection and Switchgear 22nd. New Delhi. Tata McGraw-Hill.
- [4] Anom Astana Ady, I.K. Studi Pengaruh *Setting* Rele Pengaman Untuk Meminimalkan Gangguan Sympathetic Trip Pada Penyulang Bunisari-Suwung. Jurnal Teknologi Elektro, Vol.15 No.2, Juli-Desember 2016.
- [5] Upanayana, I.N. Pemasangan DGR (Directional Ground Relay) Untuk Mengatasi Gangguan Sympathetic Trip Pada GIS Bandara Penyulang Ngurah Rai I Dan Ngurah Rai II. Jurnal Teknologi Elektro, Vol.16, No.02, Mei – Agustus 2017.
- [6] PT.PLN (PERSERO). 2014. Buku Pedoman Pemeliharaan Proteksi Dan Kontrol Transformator.
- [7] Pradnya, M.A. Studi Analisis Dampak Pemasangan Over Load Shedding Terhadap Pembebanan Pada Saluran

- Transmisi 150 kV Di Bali. Jurnal Teknologi Elektro, Vol.16, No.1, Januari-April 2017.
- [8] Sarimun. 2014. Buku Saku Pelayanan Teknik (Yantek). Edisi Ketiga. Kota Depok, Penerbit: Garamod.
- [9] Titarenko, M. Noskov-Dukelsky, I. 1997. Protective Relaying in Electric Power System. Moscow : Foreign Language Publishing House
- [10] Utomo, E.P & Raharjo, Amien. 2013. Analisis Sistem Proteksi Relay Arus Lebih dan Gangguan Tanah Pada Penyulang Limo. Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia.