

# ANALISIS RELAI DIFERENSIAL PILOT PADA SKTT GI KENTUNGAN-GIS GEJAYAN

Ari Setiawan<sup>1</sup>, Mujiman,S.T.,M.T<sup>2</sup> dan Sigit Priyambodo,S.T.,M.T. <sup>3</sup>  
Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri  
Institut Sains & Teknologi AKPRIND Yogyakarta  
Jl. Kalisahak No. 28 Komplek Balapan, Yogyakarta, Indonesia  
Ari.Setiawan0012@gmail.com<sup>1</sup>,Mujimanst@gmail.com<sup>2</sup>,Sigit@akprind.ac.id<sup>3</sup>

## ABSTRACT

*Cable underground transmission channel representing channel electric energy planted cable in ground, its installation into ground make the expense of making of this transmission channel much more costly compared to air-duct. To protect cable channel under the from various trouble hence required by protection utilize to avoid damage of equipments, One of trouble which often happened at electric power system linking to shorten. Trouble link to shorten to cause the happening of big current, equipments of especial proteksi which used in the form of pilot diferensial proteksi. In applying appliance of protection need evaluate to equipments of protection with a view to know reliability level and according to performance equipments of protection with a purpose to installation of equipments.*

*For the activity of relay of diferensial pilot at trouble current link to shorten three phase equal to 8574,30 A, trouble current link to shorten biphas equal to 7423,87 A, trouble current link to shorten fase-netral equal to 6487,10 A hence for internal trouble  $I_{DIFF} \neq 0$  relay of diferensial pilot each will work so that PMT 1 and PMT 3 Trip. For the trouble of eksternal  $I_{DIFF} = 0$  relay do not work so that PMT do not Trip. Hence conducted Setting actual relay of diferensial pilot which in the form of ratio matching ( $K_M$ ) = 0,8, pilot padding resistor ( $R_{pp}$ ) = 375  $\Omega$ , time konstanta ( $K_T$ ) = 40, rated current relay ( $I_N$ ) = 1 A, ratio summation ( $N$ ) = 3, multiplier( $K_S$ ) = 1. There are difference with result of analysis of setting conducted with tolerance range which within measure permitted by PLN.*

**Keywords :** Differential relay, Pilot protection, MBCI 01, Underground cable

## INTISARI

Saluran kabel transmisi bawah tanah (*underground cable*) merupakan saluran yang menyalurkan energi listrik melalui kabel yang ditanam di dalam tanah, pemasangannya ke dalam tanah membuat biaya pembuatan saluran transmisi ini jauh lebih mahal dibandingkan dengan saluran udara. Untuk melindungi saluran kabel bawah tersebut dari berbagai gangguan maka dibutuhkan proteksi guna menghindari kerusakan peralatan, Salah satu gangguan yang sering terjadi pada sistem tenaga listrik adalah hubung singkat. Gangguan hubung singkat menyebabkan terjadinya arus yang besar, peralatan proteksi utama yang digunakan berupa proteksi diferensial pilot. Dalam penerapan suatu alat proteksi perlu dilakukan evaluasi terhadap peralatan proteksi dengan maksud untuk mengetahui tingkat keandalan dan kesesuaian kinerja peralatan proteksi dengan tujuan pemasangan peralatan.

Untuk kerja relai diferensial pilot pada arus gangguan hubung singkat tiga fase sebesar 8574,30 A, arus gangguan hubung singkat dua fase sebesar 7423,87 A, arus gangguan hubung singkat fase-netral sebesar 6487,10 A maka untuk gangguan internal  $I_{Diff} \neq 0$  relai diferensial pilot pada masing-masing akan bekerja sehingga PMT 1 dan PMT 3 *Trip*. Untuk gangguan eksternal  $I_{Diff} = 0$  relai tidak bekerja sehingga PMT tidak *Trip*. Maka Setting aktual yang dilakukan pada relai diferensial pilot yang berupa *matching ratio* ( $K_M$ ) = 0,8, *pilot padding resistor* ( $R_{pp}$ ) = 375  $\Omega$ , konstanta waktu ( $K_T$ ) = 40, *rated relay current* ( $I_N$ ) = 1 A, *summation ratio* ( $N$ ) = 3, *multiplier* ( $K_S$ ) = 1. Terdapat perbedaan dengan hasil analisis setting yang dilakukan dengan batas toleransi yang masih dalam batas yang diijinkan oleh PLN.

**Kata kunci :** Relai diferensial, proteksi pilot, MBCI 01, kabel bawah tanah

## I. PENDAHULUAN

Kebutuhan energi listrik di Indonesia meningkat sangat pesat yang sejalan dengan berkembangnya kehidupan masyarakat sehingga membutuhkan ketersediaan energi listrik dalam jumlah besar untuk keperluan industri maupun perumahan. Dalam penyediaan energi listrik, PLN sebagai penyedia energi listrik utama mengutamakan kualitas pelayanan yang meliputi keandalan, kontinuitas, dan keamanan.

Sistem penyaluran energi listrik merupakan sistem kompleks yang membutuhkan investasi dana yang besar sehingga diperlukan prosedur pengoperasian dan pengamanan yang tepat. Pengoperasian penyaluran energi listrik yang tidak benar dapat menimbulkan bahaya, baik dari peralatan maupun bagi manusia yang dapat berakibat terganggunya penyaluran energi listrik ke konsumen. Untuk itu diperlukan sistem proteksi dengan keandalan yang tinggi. Sistem proteksi merupakan bagian penting dalam sistem kelistrikan secara menyeluruh yang berfungsi untuk mengamankan peralatan dari gangguan maupun kondisi abnormal.

Saluran kabel transmisi bawah tanah (*underground cable*) merupakan saluran yang menyalurkan energi listrik melalui kabel yang ditanam di dalam tanah, yang mempunyai keuntungan tidak membahayakan manusia dan juga tidak mudah terjadi gangguan akibat kondisi cuaca atau kondisi alam lainnya. Saluran ini membutuhkan penghantar yang lebih besar, isolasi yang harus lebih tebal, selubung dan pelindung sepanjang kabel, sambungan yang relatif lebih banyak serta pemasangannya ke dalam tanah membuat biaya pembuatan saluran transmisi ini jauh lebih mahal dibandingkan dengan saluran udara.

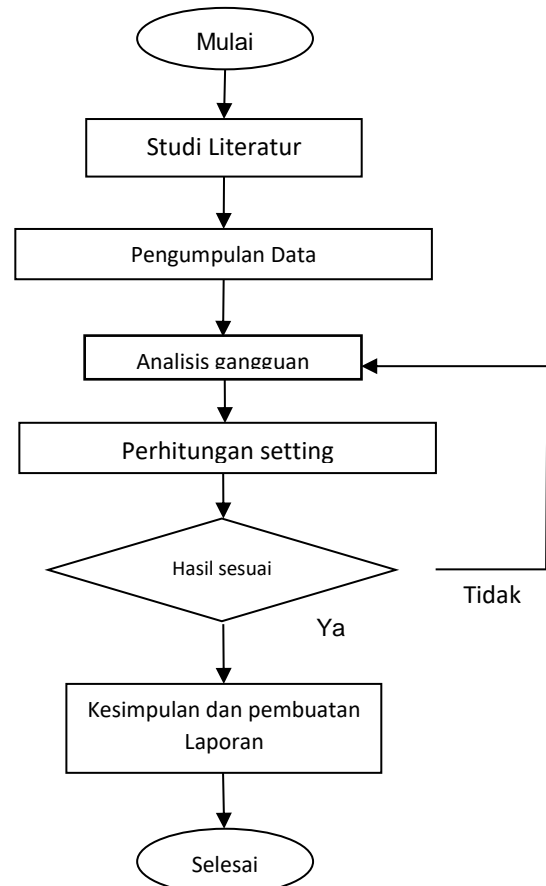
Gangguan yang terjadi pada saluran kabel transmisi bawah tanah umumnya berupa gangguan permanen yang harus ditangani secepat mungkin jika terjadi gangguan. Salah satu gangguan yang sering terjadi pada sistem tenaga listrik adalah hubung singkat. Gangguan hubung singkat menyebabkan terjadinya arus yang besar sehingga dapat melampaui kapasitas arus peralatan maka untuk menghindari kerusakan peralatan, penurunan tegangan, dan terganggunya stabilitas sistem penyaluran energi listrik maka digunakan peralatan proteksi. Peralatan proteksi utama yang digunakan berupa proteksi diferensial pilot. Relai diferensial pilot merupakan bentuk

proteksi pada saluran transmisi yang bekerja dengan prinsip diferensial merz-prize yaitu dengan mengukur dan membandingkan arus yang masuk dan keluar saluran pada daerah yang diproteksi sesuai setting yang dilakukan pada relai tersebut.

Dalam penerapan suatu alat proteksi perlu dilakukan evaluasi terhadap peralatan proteksi dengan maksud untuk mengetahui tingkat kesesuaian kinerja peralatan proteksi dengan tujuan pemasangan peralatan tersebut sehingga dalam penelitian ini membahas evaluasi setting relai diferensial pilot saluran kabel bawah tanah tegangan tinggi GI Kentungan – GIS Gejayan, apakah setting yang dilakukan pada relai sudah dilakukan dengan benar atau tidak.

## II. METODOLOGI

Dalam proses menganalisa data pada penelitian dilakukan dengan mengkaji secara matematis mengenai dasar kerja dan penyetingan relai diferensial pilot. Setelah data perhitungan diperoleh kemudian melakukan simulasi dengan menggunakan bantuan *software* ETAP (*Electric Transient and Analysis Program*) Power station 12.6.0.



Gambar 1. Flowchart penelitian

## A. Proses Penelitian

Penelitian dimulai dengan studi literatur dan mencari referensi terkait dengan topik penelitian yang dilakukan bersumber dari buku-buku, jurnal, artikel, dan sebagainya kemudian dilanjutkan dengan pengumpulan data terkait relai diferensial pilot dengan melakukan observasi lapangan dan melakukan wawancara dengan pegawai maupun operator di PT. PLN (persero) *Gas Insulated Switchgear* Gejayan berupa data peralatan proteksi saluran kabel bawah tanah tegangan tinggi yang meliputi data kabel, data CT, data PMT, data relai diferensial pilot, dan lain-lain, lalu dari data yang diperoleh dilakukan analisa terkait gangguan yang terjadi pada saluran kabel tanah tegangan tinggi.

Dari gangguan yang telah ditemukan kemudian melakukan perhitungan setting pada relai diferensial pilot apabila perhitungan yang dilakukan belum sesuai dengan setelan yang dibutuhkan untuk memproteksi maka dilakukan analisa kembali dan dilanjutkan perhitungan kembali sampai diperoleh setting yang tepat. Hasil perhitungan yang telah tepat kemudian dilanjutkan pembuatan kesimpulan dan membuat laporan penelitian yang telah dilakukan.

## B. peralatan

### a. Saluran kabel tanah tegangan tinggi

*Underground cable* :  $3 \times 240 \text{ mm}^2$   
Bahan konduktor : tembaga  
Desain : berongga (*Hollow*)  
Jenis kabel : *Oil Filled*  
Jumlah inti : 1 buah  
Jumlah saluran (*oil duct*): 1 buah tiap inti  
Jari-jari saluran minyak ( $r_{oil}$ ): 0,6 cm  
Jari-jari luar konduktor tembaga ( $r_{end}$ ): 1,08 cm  
Kapasitas panas per satuan volume tembaga ( $Cv_{end}$ ) :  $3,4 \text{ W s/cm}^3 \text{ } ^\circ\text{C}$   
Koefisien temperature tahanan pada  $20^\circ\text{C}$  ( $T_{20}$ ):  $3,93.10^{-3}/^\circ\text{C}$   
Bahan isolasi: *Impregnated paper*  
Temperatur maksimum arus kontinyu ( $T_{con}$ ) :  $85^\circ\text{C}$   
Temperatur maksimum arus hubung singkat ( $T_{sc}$ ):  $250^\circ\text{C}$   
*Carrier Current Capacity* ( $ccc$ ): 450 A  
Kapasitansi fase-netral pada tegangan nominal ( $C_N$ ): 244 pF/m  
Tegangan nominal antar saluran ( $V_{L-L}$ ):  $150.10^3 \text{ V}$   
Frekuensi : 50 Hz  
Resistansi a.c pada temperature  $20^\circ\text{C}$  ( $R_{ac20}$ ):  $1,6723.10^{-6} \Omega/\text{cm}$   
Panjang saluran : 5950m

### b. Relay diferensial

Merk : GEC ALSTHOM  
Type : MBCI 01  
No seri : 345365E

Catu daya : 110 V DC  
Frekuensi rating : 50 Hz atau 60 Hz  
Arus rating : 1 A, 2 A atau 5 A

### c. Kabel pilot

Type : *Telephone Type Cable*  
Bahan konduktor : Tembaga  
Jumlah inti : 7 pasang  
Desain : Padat (*solid*)  
Bahan isolasi : *Extruded solid polyethylene compound*  
Kapasitas nominal antar kabel pilot dalam satu pasang ( $C_p$ ) : 42000 pF/km  
Resistansi maksimum ( $R_p$ ) : 29,6  $\Omega/\text{km}$   
Diameter konduktor : 0,9 mm  
Panjang ( $l_p$ ) : 5,95 km

### d. Current Transformer (CT)

Merk : HOLEC  
Type : trisep  
Tegangan : 170 kV  
Capasitas arus nominal : 500-1000/1A

### e. Circuit Breaker (PMT)

Merk : HOLEC  
Type : trisep  
Tegangan : 170 kV  
Capasitas arus nominal : 1250 A  
Media pemadam : SF6  
Media penggerak : Hidraulic

### f. Transformator daya I

Merk : XIAN  
Type : SFZ-60000/150  
Frekuensi : 50 Hz  
Daya : 60 MVA  
Cooling : ONAN-ONAF  
Phase : 3  
Tegangan : 150/20 kV  
Impedansi : 12,39%  
Standart : IEC 76-1976

## C. Data Impedansi

- a. Impedansi Sumber
- |   |                         |
|---|-------------------------|
| $R_1 = 0,0051 \Omega$                           | $X_1 = j 0,0427 \Omega$ |
| $Z_{S1} = 0,0430 \angle 83,19^\circ \text{ pu}$ |                         |
| $R_2 = 0,0051 \Omega$                           | $X_2 = j 0,0428 \Omega$ |
| $Z_{S2} = 0,0430 \angle 83,19^\circ \text{ pu}$ |                         |
| $R_0 = 0,0191 \Omega$                           | $X_0 = j 0,0804 \Omega$ |
| $Z_{S0} = 0,0826 \angle 76,64^\circ \text{ pu}$ |                         |
- b. Impedansi urutan pada kabel bawah tanah Bay 1 = Bay 2
- |  |                                     |
|--|-------------------------------------|
| $R_1 = 0,087 \Omega/\text{Km}$                   | $X_1 = j 0,132 \Omega/\text{Km}$    |
| $= 2,301 \times 10^{-3} \text{ pu}$              | $= 3,491 \times 10^{-3} \text{ pu}$ |
| $Z_{L1} = 0,00419 \angle 56,61^\circ \text{ pu}$ |                                     |
| $R_1 = 0,087 \Omega/\text{Km}$                   | $X_1 = j 0,132 \Omega/\text{Km}$    |
| $Z_{L2} = 0,00419 \angle 56,61^\circ \text{ pu}$ |                                     |
| $R_0 = 0,237 \Omega/\text{Km}$                   | $X_0 = j 0,396 \Omega/\text{Km}$    |

$$= 6,267 \times 10^{-3} \text{ p} = 10,472 \times 10^{-3} \text{ pu}$$

$$Z_{L0} = 0,01222 \angle 58,99^\circ \text{ pu}$$

- c. Impedansi trafo  
 $X_{T1} = X_{T2} = 12,39\%$

**D. Besaran-besaran dasar**

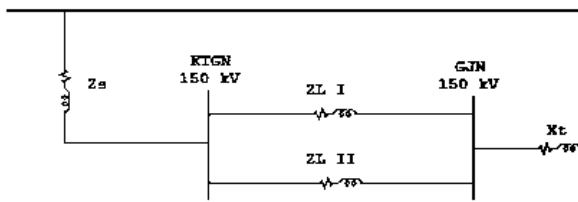
- a. Daya dasar  $MVA_{base} = 100 \text{ MVA}$  (daya dasar yang digunakan PLN)  
 b. Tegangan dasar  $KV_{base} = 150 \text{ kV}$  (tegangan dasar PLN)  
 c. Arus dasar

$$I_{base} = \frac{MVA_{base} \times 1000}{\sqrt{3} \times KV_{base}} \dots \dots \dots (1)$$

- d. Impedansi dasar

$$Z_{base} = \frac{(KV_{base})^2}{MVA_{base}} \dots \dots \dots (2)$$

**E. Perhitungan Impedansi**



Gambar 3. 1 rangkaian pedoman urutan impedansi

- a. Impedansi ekivalen urutan positif dan negative ( $Z_{1eq} = Z_{2eq}$ )

$$Z_{1eq} = Z_{2eq} = Z_{1s} + \frac{Z_{1LineI} \cdot Z_{1LineII}}{Z_{1LineI} + Z_{1LineII}} \dots \dots \dots (3)$$

Dimana:

- $Z_{1eq}$  = Impedansi ekivalen jaringan urutan positif ( $\Omega$ )
- $Z_{2eq}$  = Impedansi ekivalen jaringan urutan negatif ( $\Omega$ )
- $Z_{1s}$  = Impedansi sumber urutan positif ( $\Omega$ )
- $Z_{1Line I}$  = Impedansi saluran kabel bay 1 urutan positif ( $\Omega$ )
- $Z_{1Line II}$  = Impedansi saluran kabel bay 2 urutan positif ( $\Omega$ )

- b. Impedansi ekivalen urutan Nol ( $Z_{0eq}$ )

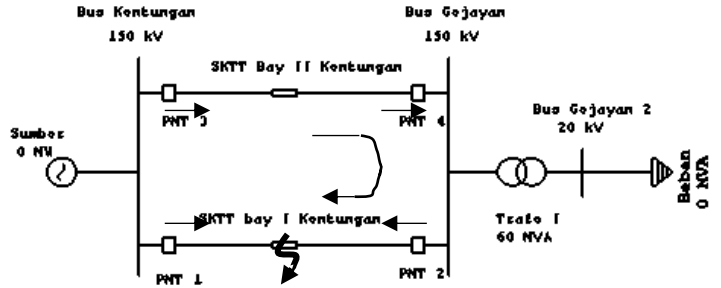
$$Z_{0eq} = Z_{0s} + \frac{Z_{0LineI} \cdot Z_{0LineII}}{Z_{0LineI} + Z_{0LineII}} \dots \dots \dots (4)$$

Dimana:

- $Z_{0eq}$  = Impedansi ekivalen jaringan urutan nol ( $\Omega$ )
- $Z_{0s}$  = Impedansi sumber urutan nol ( $\Omega$ )
- $Z_{0L}$  = Impedansi total saluran kabel urutan nol ( $\Omega$ )
- $Z_{0Line I}$  = Impedansi saluran kabel bay I urutan nol ( $\Omega$ )

$Z_{0Line II}$  = Impedansi saluran kabel bay 2 urutan nol ( $\Omega$ )

**F. Perhitungan Arus Gangguan Hubung Singkat**



Gambar 1. Aliran Arus Pada Saat Terjadi Gangguan

**1. Arus hubung singkat tiga fasa**

- a. Arus pada titik gangguan

$$I_{A1} = \frac{V_f}{Z_{1eq}} \dots \dots \dots (5)$$

$$I_A = I_{A1} \dots \dots \dots (6)$$

$$I_B = I_{A1} \cdot 1,0 \angle 240^\circ \dots \dots \dots (7)$$

$$I_C = I_{A1} \cdot 1,0 \angle 120^\circ \dots \dots \dots (8)$$

Dimana:

- $I_A, I_B, I_C$  = Arus gangguan hubung singkat (A)
- $V_f$  = Tegangan fasa-netral sebelum terjadi gangguan (V)
- $Z_{1eq}$  = Impedansi ekivalen urutan positif ( $\Omega$ )

**2. Arus hubung singkat dua fasa**

Arus pada titik gangguan

$$I_{A1} = \frac{V_f}{Z_{1eq} + Z_{2eq}} \dots \dots \dots (9)$$

$$I_{A2} = -I_{A1} \dots \dots \dots (10)$$

$$I_{A0} = 0 \dots \dots \dots (11)$$

$$I_A = 0 \dots \dots \dots (12)$$

$$I_B = I_{A1} \cdot 1,0 \angle 240^\circ + I_{A2} \cdot 1,0 \angle 120^\circ + I_{A0} \dots \dots (13)$$

$$I_C = I_{A1} \cdot 1,0 \angle 120^\circ + I_{A2} \cdot 1,0 \angle 240^\circ + I_{A0} \dots \dots (14)$$

Dimana:

- $I_A, I_B, I_C$  = Arus gangguan hubung singkat (A)
- $V_f$  = Tegangan fasa-fasa sebelum terjadi gangguan (V)
- $Z_{1eq}$  = Impedansi ekivalen urutan positif ( $\Omega$ )
- $Z_{2eq}$  = Impedansi ekivalen urutan negatif ( $\Omega$ )

**3. Arus hubung singkat satu fasa ke tanah**

a. Arus pada titik gangguan

$$I_{A1} = I_{A2} = I_{A0} = \frac{V_f}{Z_{1eq} + Z_{2eq} + Z_{0eq}} \quad \dots \dots (15)$$

$$I_A = 3I_{A1} \quad \dots \dots (16)$$

$$I_B = 0 \quad \dots \dots (17)$$

$$I_C = 0 \quad \dots \dots (18)$$

Dimana:

- $I_A, I_B, I_C$  = arus gangguan hubung singkat (A)
- $V_f$  = tegangan fasa-netral sebelum terjadi gangguan (V)
- $Z_{1eq}$  = Impedansi ekivalen urutan positif ( $\Omega$ )
- $Z_{2eq}$  = Impedansi ekivalen urutan negatif ( $\Omega$ )
- $Z_{0eq}$  = Impedansi ekivalen urutan nol ( $\Omega$ )

Arus dari arah GI Kentungan

$$I_{A(KTGN)} = \frac{Z_{1LineI}}{Z_{1LineI} + Z_{1LineII}} \times I_A \quad \dots \dots (19)$$

$$I_{B(KTGN)} = \frac{Z_{1LineI}}{Z_{1LineI} + Z_{1LineII}} \times I_B \quad \dots \dots (20)$$

$$I_{C(KTGN)} = \frac{Z_{1LineI}}{Z_{1LineI} + Z_{1LineII}} \times I_C \quad \dots \dots (21)$$

Arus dari arah GIS Gejayan

$$I_{A(GJN)} = \frac{Z_{1LineII}}{Z_{1LineI} + Z_{1LineII}} \times I_A \quad \dots \dots (22)$$

$$I_{B(GJN)} = \frac{Z_{1LineII}}{Z_{1LineI} + Z_{1LineII}} \times I_B \quad \dots \dots (23)$$

$$I_{C(GJN)} = \frac{Z_{1LineII}}{Z_{1LineI} + Z_{1LineII}} \times I_C \quad \dots \dots (24)$$

### G. Kerja Relai Terhadap Arus Gangguan

a. Kondisi relai Diferensial MBCI 01 untuk gangguan internal

$$I_{F(KTGN)} = I_{F1} \quad \dots \dots (25)$$

$$I_{F(GJN)} = I_{F2} \quad \dots \dots (26)$$

$$I_{DIFF} = |I_{F(KTGN)} + I_{F(GJN)}| = |I_{F1} + I_{F2}| \neq 0 \dots (27)$$

Relai akan bekerja sehingga PMT Trip

b. Kondisi Relai Diferensial MBCI 01 untuk gangguan eksternal:

$$I_{F(KTGN)} = I_{F1} \quad \dots \dots (28)$$

$$I_{F(GJN)} = -I_{F2} \quad \dots \dots (29)$$

$$I_{DIFF} = |I_{F(KTGN)} + I_{F(GJN)}| = |I_{F1} - I_{F2}| = 0 \dots (30)$$

Relai akan bekerja sehingga PMT 1 tidak Trip

### H. Penyettingan Relai Diferensial Pilot MBCI

1. Menentukan Setting *Matcing Ratio* ( $K_M$ )

$$R_{Loop} = 2 \cdot R_p \cdot I_p \quad \dots \dots (31)$$

Dimana:

- $R_{Loop}$  = keseluruhan impedansi sekunder
- $R_p$  = resistansi kabel pilot
- $I_p$  = panjang kabel pilot

$$K_M = \frac{R_{Loop}}{R_o} \quad \dots \dots (32)$$

Dimana:

- $K_M$  = *matching ratio*
- $R_{Loop}$  = keseluruhan impedansi sekunder
- $R_o$  = keseluruhan impedansi primer

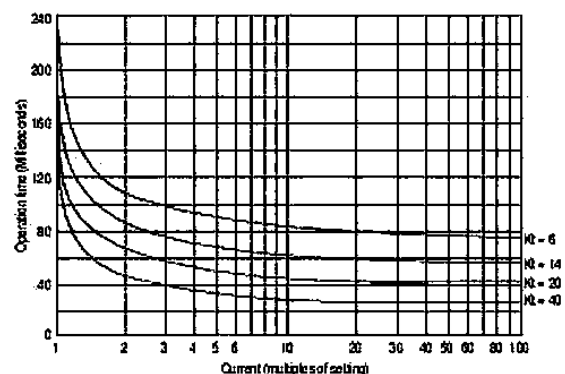
2. Menentukan Setting *Pilot Padding Resistor* ( $R_{pp}$ )

$$R_o = R_{loop} + 2R_{pp} \quad \dots \dots (33)$$

Dimana:

- $R_o$  = keseluruhan impedansi primer
- $R_{Loop}$  = keseluruhan impedansi sekunder
- $R_{pp}$  = resistor sisipan

3. Menentukan *Konstanta Waktu Kerja* ( $K_T$ )



Gambar 2. Karakteristik Waktu Operasi relai MBCI

Sumber: (GEC ALSTHOM)

4. Menentukan Sensitifitas Relai Untuk Gangguan Internal

a. Menentukan Setting *Rated Relay Current* ( $I_N$ )

$$I_{set Primer CT} = 110\% \times I_n \quad \dots (34)$$

Dimana:

$I_n$  = arus nominal saluran

Sehingga:

$$I_{Sekunder CT} = I_{set Primer CT} \times \frac{1}{rasio} \quad \dots (35)$$

b. Menentukan Setting *Summation Ratio* 1,25 : 1 : N ( N )

1. N = 3

Digunakan untuk tipe pentanahan langsung

2. N = 6

Setting N = 6 digunakan apabila diperlukan untuk gangguan tanah rendah

c. Menentukan Setting *Multiplier* ( $K_S$ )

Setting *Multiplier* digunakan untuk menentukan arus *charging* maksimum pada relai sehingga arus yang masuk ke relai masih lebih besar dari pada nilai arus *charging* maksimum tersebut.

$$I_c = \frac{KV \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot X_c} \quad \dots \dots \dots (36)$$

Dimana:

$I_c$  = arus *charging* primer

KV = tegangan nominal

$X_c$  = reaktansi kapasitif

Sehingga

$$I_{CS} = \frac{I_c}{CT} \quad \dots \dots \dots (37)$$

Dimana:

$I_{CS}$  = arus *charging* sekunder

$I_c$  = arus *charging* primer

CT = trafo arus

Agar setelan tidak terlalu rendah maka factor pengali setelan relai ( $K_S$ ) ditentukan berdasarkan suatu faktor koreksi setelan ( $Fks$ ) sebagai berikut:

$$I_{A-N(set)} = Fks \cdot K_S \cdot 0,19 \cdot I_n \quad \dots \dots \dots (38)$$

Sehingga:

$$K_S = \frac{1,1 \cdot I_{CS}}{Fks \cdot 0,19 \cdot I_n} \quad \dots \dots \dots (39)$$

I. Metode Simulasi Hubung Singkat Menggunakan ETAP

Membuat single line diagram sesuai dengan saluran kabel tanah tegangan tinggi antara GI Kentungan dan GIS Gejayan pada aplikasi ETAP 12.6.0 sesuai dengan data peralatan terpasang pada jaringan yang kemudian melakukan simulasi apabila terjadi hubung singkat pada SKTT sehingga dapat diketahui bagaimana kerja dari relai diferensial

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Besaran-besaran dasar

Daya dasar	= 100 MVA
Tegangan dasar	= 150 kV
Arus dasar	= 384,9 A
Impedansi dasar	= 225 $\Omega$

B. Impedansi ekivalen jaringan

Perhitungan ekivalen jaringan menggunakan persamaan (3) dan (4) diperoleh:

$$Z_{1eq} = Z_{2eq} = 0,00626 + j0,04445 \Omega$$

$$Z_{0eq} = 0,02227 + j0,08566 \Omega$$

C. Menghitung arus hubung singkat

Tabel. 1 Arus Gangguan Hubung Singkat

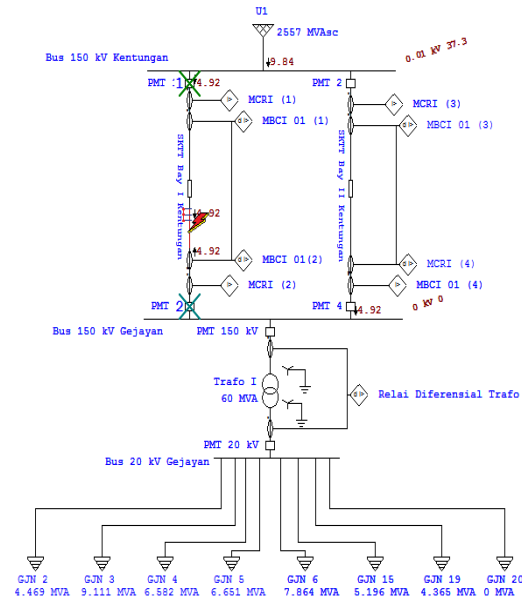
Jenis Gangguan	I titik gangguan (A)	I(KTGN) (A)	I(GJN) (A)
3 fasa	8574,30	4287,15	4287,15
2 fasa	7423,87	3711,93	3711,93
F-N	6487,10	3243,55	3243,55

D. Menghitung Setting Relai Diferensial Pilot MBCI

Tabel. 2 perbandingan setting relai

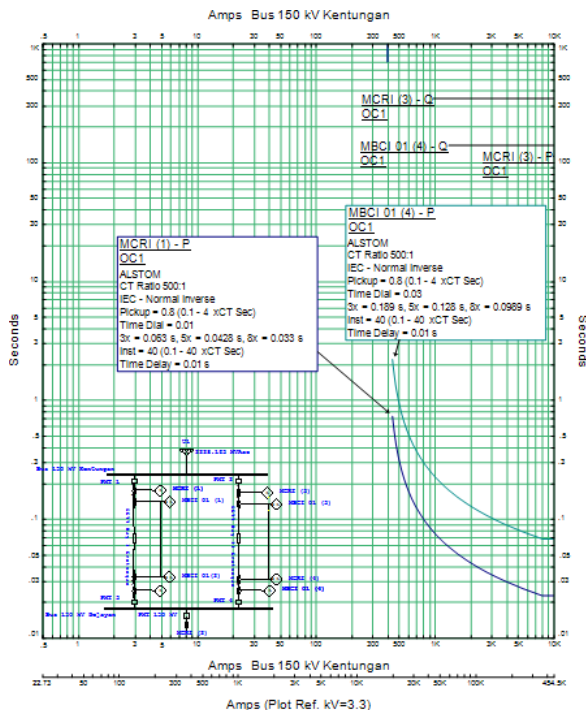
Jenis Setting	Nilai Setting	
	Terpasang	Perhitungan
$K_T$	40	40
N	3	3
Rpp	3,75 x 100 $\Omega$	3 x 100 $\Omega$
$I_N$	1	1,016
$K_S$	1	0,915

### E. Simulasi Hubung Singkat



Gambar 3. Rangkaian Simulasi Relai Diferensial Pada SKTT

Pada gambar 3 Simulasi yang dilakukan terlihat bahwa relai dapat bekerja sesuai yang diharapkan yaitu apabila terjadi gangguan pada saluran kabel memberikan perintah membuka pada PMT 1 dan PMT 2 ditandai dengan tanda silang (X) yang berarti membuka. Pada simulasi juga dapat terlihat besar arus yang mengalir dan arah arus pada saat terjadi gangguan.



Gambar 4. Karakteristik kerja relai

### F. Evaluasi Kerja Relai

Tabel. 3. Kondisi Relai MBCI Di Ujung GI Kentungan

Gangguan		$I_f(KTGN)$ (A)	$I_f(GJN)$ (A)	$I_{set}$ (primer) (A)	PSM	$T_{akt}$ (ms)
3 fasa	A-B-C	4287,15	4287,15	255	16,81	<30
	A-B	3711,93	3711,93	400	9,28	≈30
2 fasa	B-C	3711,93	3711,93	500	7,42	≈30
	C-A	3711,93	3711,93	220	16,87	<30
1 fasa	A-N	3243,55	3243,55	95	34,14	<30
	B-N	3243,55	3243,55	125	25,95	<30
	C-N	3243,55	3243,55	165	19,66	<30

Kondisi relai Diferensial MBCI 01 di GI Kentungan untuk gangguan internal

$$I_{F(KTGN)} = I_{F1}$$

$$I_{F(GJN)} = I_{F2}$$

$$I_{DIFF} = |I_{F(KTGN)} + I_{F(GJN)}| = |I_{F1} + I_{F2}| \neq 0$$

Relai akan bekerja sehingga PMT 1 Trip

Untuk gangguan tiga fase

$$I_{DIFF} = |4287,15 + 4287,15| = 8574,30 \neq 0$$

Untuk gangguan Dua fase

$$I_{DIFF} = |3711,93 + 3711,93| = 7423,87 \neq 0$$

Untuk gangguan fase-Netral

$$I_{DIFF} = |3243,55 + 3243,55| = 6487,10 \neq 0$$

Tabel. 3. Kondisi Relai MBCI Di Ujung GIS Gejayan

Kerja relai Diferensial MBCI 01 di GIS

Gangguan		$I_f(KTGN)$ (A)	$I_f(GJN)$ (A)	$I_{set}$ (primer) (A)	PSM	$T_{akt}$ (ms)
3 fasa	A-B-C	4287,15	4287,15	255	16,81	<30
	A-B	3711,93	3711,93	400	9,28	≈30
2 fasa	B-C	3711,93	3711,93	500	7,42	≈30
	C-A	3711,93	3711,93	220	16,87	<30
1fas a	A-N	3243,55	3243,55	95	34,14	<30
	B-N	3243,55	3243,55	125	25,95	<30
	C-N	3243,55	3243,55	165	19,66	<30

Gejayan untuk gangguan internal

$$I_{F(KTGN)} = I_{F1}$$

$$I_{F(GJN)} = I_{F2}$$

$$I_{DIFF} = |I_{F(KTGN)} + I_{F(GJN)}| = |I_{F1} + I_{F2}| \neq 0$$

Relai akan bekerja sehingga PMT 2 Trip

Untuk gangguan tiga fase

$$I_{DIFF} = |4287,15 + 4287,15| = 8574,30 \neq 0$$

Untuk gangguan Dua fase

$$I_{DIFF} = |3711,93 + 3711,93| = 7423,87 \neq 0$$

Untuk gangguan fase-Netral

$$I_{DIFF} = |3243,55 + 3243,55| = 6487,10 \neq 0$$

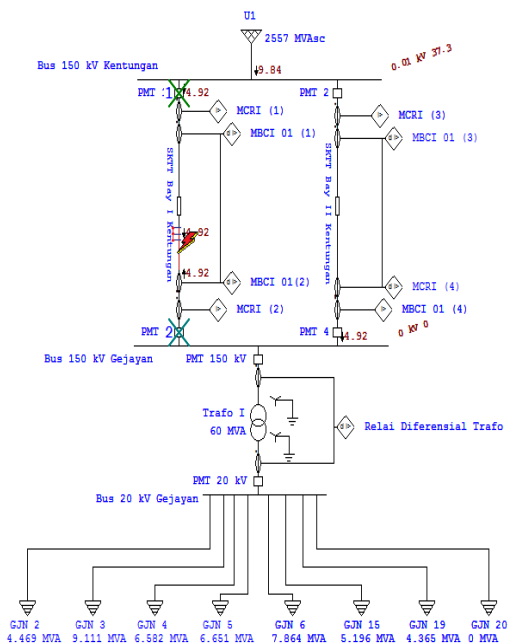
Perbandingan arus gangguan dari busbar GI Kentungan terhadap arus gangguan dari busbar GIS Gejayan adalah

kebalikan dari perbandingan impedansi ekivalen dari busbar GI Kentungan terhadap impedansi ekivalen dari busbar GIS Gejayan sehingga menimbulkan arus yang saling berlawanan arah.

Gangguan di tengah-tengah saluran akan terdeteksi oleh sistem proteksi diferensial sebagai suatu gangguan internal pengisian dari dua arah, yaitu dari arah busbar GI Kentungan dan GIS Gejayan. Relai di kedua ujung saluran mendeteksi gangguan dengan magnitude dan arah yang berbeda.

Perbandingan fase pada relai MBCI 01 di kedua ujung saluran telah memenuhi syarat untuk  $trip$  ( $-90^\circ < \alpha < 90^\circ$ ). Berdasarkan Tabel 4.6 dan Tabel 4.7 relai MBCI mendeteksi arus gangguan pada masing-masing ujung saluran yang melampaui setelannya. Perbedaan PSM antara kedua relai menyebabkan perbedaan waktu operasi relai. Secara umum total waktu untuk gangguan di tengah saluran adalah  $< 50$  ms. Jika *total breaking time* PMT 1 adalah  $\pm 30$  ms dan *total breaking time* PMT 2 adalah  $\pm 50$  ms, maka *total clearing time* pada titik gangguan ditengah saluran adalah  $< 80$  ms.

### Simulasi



Gambar 5 Kerja Relai Gangguan Internal

Pada Gambar 5 merupakan unjuk kerja relai pada saat terjadi gangguan di dalam zona proteksi relai diferensial. Relai MBCI di GI kentungan akan memerintahkan PMT 1 untuk membuka dan Relai MBCI di GIS

Gejayan akan memerintahkan PMT 3 membuka.

### IV. KESIMPULAN

Dari Analisis relai diferensial pilot pada saluran kabel tanah tegangan tinggi antara GI Kentungan dan GIS Gejayan terhadap gangguan hubung singkat dan analisis setting relai dapat diambil kesimpulan bahwa:

1. Kerja relai diferensial pilot pada arus gangguan hubung singkat tiga fase sebesar 8574,30 A, arus gangguan hubung singkat dua fase sebesar 7423,87 A, arus gangguan hubung singkat fase-netral sebesar 6487,10 A maka untuk gangguan internal  $I_{Diff} \neq 0$  relai diferensial pilot pada masing-masing akan bekerja sehingga PMT 1 dan PMT 3 *Trip*. Untuk gangguan eksternal  $I_{Diff} = 0$  relai tidak bekerja sehingga PMT tidak *Trip*.
2. Setting aktual yang dilakukan pada relai diferensial pilot yang berupa *matching ratio* ( $K_M$ ) = 0,8, *pilot padding resistor* ( $R_{pp}$ ) = 375  $\Omega$ , konstanta waktu ( $K_T$ ) = 40, *rated relay current* ( $I_N$ ) = 1 A, *summation ratio* ( $N$ ) = 3, *multiplier* ( $K_S$ ) = 1. Terdapat perbedaan dengan hasil analisis setting yang dilakukan dengan batas toleransi yang masih dalam batas yang diijinkan oleh PLN.
3. Berdasarkan setting arus *pick-up* pada relai diketahui bahwa setting relai diferensial pilot telah memenuhi syarat stabilitas dan sensitivitas yaitu: arus setting primer CT sebesar 500 A sudah lebih rendah dari arus gangguan yang mungkin terjadi dan lebih tinggi dari kapasitas hantar arus maksimum saluran kabel = 450 A untuk gangguan tertinggi B-C dengan arus sekunder CT sebesar 1 A dan terendah A-N dengan arus sekunder CT sebesar 0,19 A.

### V. UCAPAN TERIMA KASIH

Dalam melakukan penelitian dan penyusunan jurnal ini penulis telah mendapatkan banyak dukungan dan bantuan dari berbagai pihak. Penulis mengucapkan terima kasih yang tak terhingga kepada: Bapak Mujiman, S.T., M.T., selaku dosen pembimbing I, dan Bapak Sigit Priyambodo, S.T., M.T., selaku dosen pembimbing II, yang telah dengan penuh kesabaran dan ketulusan memberikan ilmu dan bimbingan terbaik kepada penulis. Bapak Budi Santoso selaku Manager PT.PLN (Persero) APP Salatiga.



Bapak Nur Kholis selaku Supervisor Gardu Induk 150kV Kentungan dan GIS Gejayan. Mas Dwi selaku operator GIS Gejayan. Orang tua dan Semua pihak yang telah membantu penulis dalam menyusun laporan ini yang tidak bisa saya sebutkan satu persatu.

## VI. DAFTAR PUSTAKA

- Adamson, C., & Talkhan, E. (1960). SELECTION OF RELAYING QUANTITIES FOR DIFFERENTIAL FEEDER PROTECTION. *The institution of electrical engineering paper no. 3137 M*, 37-47.
- Agung, A. R. (2002). *Proteksi Diferensial Pilot Pada Saluran Transmisi Bawah Tanah 150 kV antara GI Bantul dan GIS Wirobrajan Yogyakarta*. Yogyakarta: jurusan teknik elektro Universitas Gajah Mada.
- Badruzzaman, Y., & Himawati, F. (Desember 2014 ). Keandalan Rele Differential sebagai Pengaman Utama Transformator terhadap Gangguan Arus Hubung Singkat di GIS Randugarut. *ISSN : 2252-4908 Vol. 3 No. 3*, 159 – 167.
- Degerli, G., & Yumurtaci, R. (2017). The comparison of Distance Protection and Differential Protection techniques for T-Connected Transmission Lines. *978-1-5090-6789-3/ 17/\$ 31 .00 ©20 17 IEEE*, 135-142.
- GEC ALSTHOM. (n.d.). *Type MBCI Relay Translay 'S' Differential feeder and transformer Feeder Protection*. Stafford: GEC ALSTHOM PROTECTION & CONTROL LIMITED.
- PT. PLN(Persero). (2014). *Buku Pedoman Pemeliharaan Proteksi dan Kontrol Penghantar*. Jakarta: PT. PLN (persero).
- Putra, Y. W. (2011). *Analisis Kesalahan Kerja Sistem Proteksi Transmisi SKTT 150 kV GI bantul-GIS Wirobrajan*. Yogyakarta: Jurusan Teknik Elektro dan Teknologi Informasi, Universitas Gajah mada.
- Rahman, W. I., Pujiantara, M., & Wahyudi, R. (2014). setting Relai Diferensial bus High Impedance pada Sistem Distribusi Ring 33 kV di PT.Pertamina RU VBalikpapan. *JURNAL TEKNIK POMITS Vol. 2, No. 1,*, 1-6.
- Rizki, O. A., Mujahidin, M., & Bachtiar, I. K. (n.d.). ANALISIS ARUS INRUSH TERHADAP PENGARUH KINERJA RELAI DIFERENSIAL PADA TRANSFORMATOR 150 KV.
- Stevenson, Jr, w. D., & Idris, K. (1984). *Analisis Sistem Tenaga Listrik*. Jakarta: Erlangga.
- Yuniarto, Subhari, A., & Kusumastuti, D. H. (2015). SETTING RELAY DIFERENSIAL PADA GARDU INDUK KALIWUNGU GUNA MENGHINDARI KEGAGALAN PROTEKSI. *TRANSMISI e- ISSN 2407-6422*, 148.