

## SISTEM PROTEKSI PADA GENERATOR DI PLTG MUSI 2 PALEMBANG

Letifa Shintawaty<sup>1)</sup>

**Abstrak :** Sistem proteksi tenaga listrik adalah suatu peralatan listrik yang berfungsi untuk mengatasi apabila terjadi sesuatu gangguan yang akan mengurangi kontinuitas pelayanan terhadap konsumen.

Salah satu peralatan listrik (PMT) yaitu untuk mengisolasi daerah yang mengalami gangguan dimana gangguan pada generator jarang terjadi namun gangguan tersebut akan mengakibatkan kerusakan yang serius.

Salah satu jenis gangguan arus listrik yang mengalir menuju generator dari dalam sendiri maupun dari luar generator sendiri. Maka untuk mengatasi masalah ini yaitu dengan cara memproteksi gangguan hubung singkat akibat arus listrik yang menuju belitan generator, sehingga gangguan tersebut dapat segera terisolir.

*Kata Kunci : Proteksi*

**Abstract :** Protection system of electric power is an electric tool which function to overcome the conslute which elimat the continuation of client service.

One of electrical to tools is to isolate the conslute happened in electric generator if it happened it will make serious damaged.

One of electric conslute which how to one generator from internal and external. So to overcome the problem is to protect the relation of conflict because of electric current to generator it will isolate the conslute.

*Keyword : Protection*

### 1. PENDAHULUAN

#### 1.1. Latar Belakang

Jika dalam operasi pelayanan tenaga listrik pada system tenaga mengalami berbagai gangguan, maka akan mengurangi kontinuitas pelayanan terhadap konsumen. Gangguan-gangguan seperti hubung singkat sambaran petir, kawat putus dan sebagainya dapat terjadi didaerah beban, didaerah saluran transmisi atau di daerah pembangkitan. Selain dapat mempengaruhi kontinuitas pelayanan terhadap

konsumen gangguan tersebut dapat juga menimbulkan kerusakan dalam peralatan tenaga listrik, seperti generator, transformator, motor, saluran transmisi dan lain sebagainya.

Diperlukan suatu system proteksi yang akan mengontrol pemutus tenaga (PMT) untuk mengisolasi daerah yang terganggu tersebut pada bagian-bagian yang tidak terganggu, sehingga kerusakan yang lebih serius pada peralatan dapat dihindari.

---

<sup>1)</sup> Dosen Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Tridianti Palembang

## 1.2. Tujuan

Memproteksi gangguan hubung singkat akibat arus listrik yang menuju belitan generator, sehingga gangguan tersebut dapat saegera diisolir.

## 1.3. Perumusan Masalah

Gangguan di generator jarang terjadi, namun jika gangguan terjadi akan mengakibatkan kerusakan yang serius. Salah satu jenis gangguan adalah gangguan arus lebih, dimana arus yang mengalir menuju generator, baik dari dalam generator itu sendiri maupun dari luar generator sendiri.

## 1.4. Perumusan masalah

Mengingat luasnya masalah system proteksi dari suatu sistem tenaga listrik, maka dibuat pembatasan masalah pada perhitungan arus hubung singkat berdasarkan arus lebih pada generator itu sendiri yaitu pada bus 20 kV.

# 2. SISTEM PENGAMAN PADA GENERATOR

## 2.1. Prinsip Kerja Pengaman Differensial

Rele differensial didefinisikan sebagai rele yang bekerja jika terdapat perbedaan antara arus yang masuk dan arus yang keluar dari peralatan yang diproteksi. Sistem atau peralatan yang di proteksi dapat berupa rangkaian yang panjang kumpran generator, transformator dan lain-lain.

Prinsip kerja pengaman differensial pada dasarnya menggunakan perbedaan besaran arus dan fasa (besaran vector arus) dari arus yang masuk dan keluar dari peralatan yang diamankan.

Untuk keperluan pengamanan differensial digunakan 2 trafo arus yang sama (identik) yaitu  $CT_1$ , dan  $CT_2$  untuk menginduksi

arus  $I_1$  dan  $I_2$  dimana  $CT_1$  dan  $CT_2$  merupakan batas peralatan yang diamankan oleh pengaman differensial.

Pada keadaan normal arus yang mengalir  $i_1 = i_2$  sehingga arus yang mengalir pada sisi sekunder  $CT_2 (i_1)$  dan arus yang mengalir pada sisi sekunder  $CT_2 (i_2)$  adalah sama besar, tetapi arah dari arus  $i_1$ , dan  $I_2$  adalah tidak sama. Jika dengan ketentuan kedua trafo arus dianggap betul-betul sama (identik), maka :

$$I_1 - I_2 = 0$$

Dalam keadaan demikian arus tidak mengalir pada kumparan kerja sehingga didapatkan persamaan :

$$I_d = I_1 - I_2 = 0$$

Dimana :

$I_1$  = Arus sekunder transformator arus 1 ( $CT_1$ )

$I_2$  = Arus sekunder transformator arus 2 ( $CT_2$ )

$I_d$  = Arus differensial

Pada kenyataannya walaupun system dalam keadaan normal masih juga ada arus yang mengalir ke kumparan kerja rele, adanya arus yang mengalir tersebut disebabkan karena adanya perbedaan arus eksitasi atau arus magnetasi dari kedua transformator arus tersebut. Juga adanya pengaruh perbandingan impedansi ( $Z$ ) dari kawat penghubung, sehingga didapat persamaan :

$$i_d = i_1 - i_2 = 0$$

Adanya perbedaan arus ini disebut ketidakseimbangan, walaupun arus yang mengalir pada kumparan kerja itu sangat kecil. Akan tetapi beda arus ini akan lebih besar lagi yang akan dirasakan oleh rele di differensial akibat adanya gangguan luar (external fault).

Dengan demikian untuk mengatasi agar rele differensial tidak bekerja pada saat gangguan luar, maka penyetelan arus rele differensial harus berada diatas arus maksimum gangguan tersebut. Untuk mengatasi persoalan

ini dengan tidak mengurangi sensitifitas dari rele, maka dipakailah rele differensial peresentase.

Pada saat terjadi gangguan didaerah yang diamankan maka arus  $I_1$ , tidak sama dengan arus  $I_2$  sehingga  $I_1 \neq I_2$ , jika gangguan mengalir lewat CT, melalui  $I_1$  maka  $I_d = I_1$  dan  $I_2 = 0$ . Karena arus differensial ini cukup besar maka arus lewat kumparan kerja rele tersebut akan membuka pemutus tenaga memisahkan alat yang diamankan terhadap system.

## 2.2. Gangguan Hubung Singkat pada Generator.

Sesuai dengan reaktansi-reaktansi diatas, maka arus-arus pun ada 3 macam :

I. Arus hubung singkat mantap (steady state), yaitu arus mantap setelah bagian peralihan hilang karena redaman.

$I'' =$

$$\frac{O_a}{\sqrt{2}} = \frac{E}{X}$$

I'. Arus hubung singkat peralihan (transient) yaitu arus selama keadaan peralihan, beberapa saat setelah hubung singkat terjadi dan belum termasuk arus-arus komponen arus searah.

$$I' = \frac{O_b}{\sqrt{2}} = \frac{E}{X'}$$

I''. Arus sub peralihan (sub transient) yaitu arus maksimum pada saat terjadinya hubung singkat, belum termasuk komponen arus searah.

$$I'' = \frac{O_c}{\sqrt{2}} = \frac{E}{X''}$$

### 2.2.1. Gangguan Hubung Singkat 3 Fasa Simetris

Terjadinya gangguan hubung singkat 3 fasa simetris akan menyebabkan kenaikan arus pada generator. Arus gangguan mengakibatkan

terbakarnya isolasi yang pada akhirnya menimbulkan kerusakan yang fatal pada mesin. Besarnya arus gangguan ini tidak saja dipengaruhi oleh besarnya reaktansi-reaktansi generator tetapi juga oleh impedansi dari system tenaga.

### 2.2.2. Gangguan Hubung Singkat 2 Fasa (antar fasa)

Dengan menggunakan teori komponen simetris, gangguan hubung singkat antar fasa tersebut pada suatu generator yang diketanahkan melalui suatu impedansi  $Z_n$ , hubungan jala-jala urutan untuk tiap-tiap komponen adalah paralel.

### 2.2.3. Gangguan Hubung Singkat 1 Fasa Tanah

Jenis Gangguan ini adalah yang paling sering terjadi sering terjadi, baik pada pembangkit maupun saluran tranmisi. Generator gangguan ini dapat terjadi akibat kerusakan isolasi sehingga terjadi hubung singkat antar kawat fasa dengan ground.

## 3. FAKTOR PENGARUH DAN PENENTU RELE

### 3.1. Penentuan Peralatan Pengaman Differensial

Didalam menentukan peralatan pengamanan differensial untuk generator maka sebelum menginjak masalahnya lebih lanjut, maka data sfesipikasi dari generator yang diamankan tersebut harus diketahui atau dimengerti terlebih dahulu, adapun data-data yang penting diperlukan tersebut antara lain :

- kapasitas daya
- tegangan nominal generator
- bentuk hubung belitan stator generator
- reaktansi generator

Jika hal tersebut diatas sudah diketahui, maka langkah-langkah yang harus dikerjakan adalah antara lain:

- Menghitung arus nominal ( $I_n$ ) gunanya untuk menentukan arus nominal dan perbandingan transformasi transformator arus yang akan dipasang.
- Menghitung arus hubung singkat yang mungkin terjadi, hal ini untuk menentukan batas ketelitian standar atau factor kejenuhan transformator arus
- Menentukan bentuk hubungan transformator arus
- Menentukan penampang kabel penghubung antara transformator arus dengan rele differensial. hal ini untuk mengetahui burden dari kabel.
- Menentukan bentuk pemakaian rele differensial.
- Menentukan bentuk penyetelan rele differensial.

Hal-hal yang penting dalam menentukan data-data transformator arus antara lain adalah sebagai berikut:

- Arus nominal sisi primer dari transformator arus ini disesuaikan dengan arus nominal generator yang diamankan, pemilihan arusnya diperhitungkan dengan faktor keamanan standar yang ada.
- Arus nominal sisi sekunder sesuai standar yang ada dipilih 5 ampere.
- Jika transformator arus ini hanya digunakan untuk pengguna differensial saja, maka dipilih transformator arus dengan satu buah inti kumparan, jika digunakan bersama-sama dengan pengukuran maka diperlukan transformator arus dengan dua buah inti kumparan.
- Kelas ketelitian adalah untuk mendapatkan kesalahan yang sekecil mungkin.

- Burden, dengan mempertimbangkan beban yang terpasang pada sisi sekundernya yaitu meliputi kabel penghubung, tahanan dalam dari transformator arusnya dan rele differensial maka dapat dihitung burden yang diperlukan.
- Angka kejenuhan ( $n_{\text{number}}$ ), untuk mendapatkan ketelitian yang baik ada saat gangguan (untuk rele differensial terutama untuk gangguan di luar daerah pengamannya) dipilih angka ditentukan harus lebih besar dari arus gangguan tersebut.
- Tegangan operasi E, yaitu tegangan nominal dari trafo arus yang dipasang pada tegangan operasi sistem
- Jenis pemasangan, yaitu jenis pemasangan luar atau pemasangan dalam, untuk generator biasanya dipilih pemasangan dalam (in door / cubicle).

### 3.2. Menghitung Arus nominal dan arus hubung singkat.

Untuk menghitung arus nominal dari generator, maka dapat dipergunakan persamaan sebagai berikut :

$$X I_n = I_b = \frac{\text{kVA}}{\sqrt{3} \text{ kV}_b} \text{ Ampere}$$

Untuk menghitung arus hubung singkat maka impedansi urutan positif dari generator dipakai impedansi sub peralihan ( $X_d$ ), sehingga persamaan untuk gangguan tiga fasa menjadi:

$$I_{\text{hs } 3\phi} = \frac{E}{X_d} I_{\text{dasar}}$$

dimana :

$$I_{\text{dasar}} = I_b$$

$$\text{kVA} = \text{kVA}_{\text{dasar}}$$

$$\text{kV}_b = \text{kV}_{\text{dasar}}$$

$$E = \text{Tegangan yang dibangkitkan generator emf (volt).}$$

### 3.3. Menghitung beban rangkaian sekunder (burden)

Dengan menghitung tahanan dari kabel penghubung ( $R_e$ ) sekunder transformator arus sampai rele differensial maka, jika burden nominal adalah P Volt-Ampere pada arus sekunder nominal  $I_s$  Ampere. Maka, impedansidakam (tahanan kabel) dapat dihitung :

$$Z_b = \frac{P}{I_{sn}} \text{ Ohm}$$

Tahanan dalam dari sekunder transformator arus, atau jika tidak ada maka perlu diadakan pengukuran. Tahanan dalam rele, biasanya tahanan dalam rele tidak diberikan datanya, tetapi dinyatakan dalam pemakaian dayanya dalam VA ( $P_r$ ) sehingga tahanan kabel nominal ( $I_{sn}$ ). Maka :

$$P = I_{sn}^2 \cdot R_r \cdot VA$$

Sehingga total burden :

$$P_r = P + P_r \cdot VA$$

Dimana  $P_r$  adalah total burden rangkaian sekunder transformator arus termasuk kabel, tahanan dalam transformator.

### 3.4. Setting Differensial pada Generator

Rele Diferensial persentase mempunyai dua prinsip penyetelan, yaitu setting kumparan kerja dan setting penahan.

#### a. Setting Kumparan Kerja (Setting dasar)

Didefinisikan sebagai perbandingan antara arus terkecil pada kumparan kerja pada arus restrain sama dengan nol dan arus kerja nominal kumparan tersebut :

$$\% \text{ setting dasar} = \frac{I_{0 \text{ min}}}{I_{\text{nominal}}} \cdot 100\%$$

#### b. Setting Kumparan Penahan (harga pic up)

Didefinisikan sebagai suatu perbandingan antara besarnya arus pada kumparan kerja

yang menyebabkan rele bekerja dengan besarnya arus yang mengalir pada kumparan penahan.

$$\% \text{ harga Pick Up} = \frac{(I_1 - I_2)}{(I_1 + I_2)/2} \cdot 100\%$$

Uraian tersebut adalah prinsip garis besarnya, tetapi didalam kenyataannya karena rele differensial ini dibuat oleh bermacam-macam pabrik, maka kemungkinan-kemungkinan akan dijumpai hal-hal sebagai berikut :

- √ Penyetelan  $i_{o \text{ minimum}}$ 
  - Dapat distel dan dinyatakan dalam %  $i_{\text{nom}}$  atau dalam satuan Ampere.
  - Tidak dapat distel dan mempunyai harga yang tepat untuk semua penyetelan ( $\% i_d$ ) /  $i_r$
  - Tidak dapat distel tetapi mempunyai harga tertentu untuk semua penyetelan ( $\% i_d$ ) /  $i_r$
- √ Persentase  $i_d / i_r$  ( $\% i_d / i_r$ )
  - Hanya berlaku untuk I, tertentu, sedang yang lebih besar dari harga tertentu tersebut kecuramannya tidak dapat diatur dan mempunyai harga tetap untuk semua penyetelan ( $\% i_d$ ) /  $i_r$
  - Setelah harga  $I_r$  tertentu kemudian kecuraman dari ( $\% i_d$ ) /  $i_r$  adalah tetap sesuai dengan yang dinyatakan oleh penyetelannya.
  - ( $\% i_d$ ) /  $i_r$  dicapai atau didekati setelah harga  $i_r$  tertentu.
- √ Cara menyatakan
  - $i_r$  adalah harga yang terbesar dari  $i_{r1}$  dari  $i_{r2}$
  - $i_r$  adalah harga yang terkecil dari  $i_{r1}$  dari  $i_{r2}$
  - $i_r$  dinyatakan dalam x  $i_{r1}$  dari  $i_n$  atau dalam ampere.

Daerah batas dari I min ke karakteristik  $5i_d / i_r$  atau dari  $\% i_d / i_r$  ke daerah kecuraman  $i_d / i_r$  yang tidak dapat di tel, tidak pada harga

tertentu, pendekatan pada umumnya merupakan garis lengkung.

### 3.4. Rele Arus Lebih (OCR)

Besaran arus dapat digunakan sebagai besaran listrik yang mendeteksi gangguan pada system tenaga listrik untuk perencanaan system proteksi. Sistem proteksi yang menggunakan besaran arus disebut sistem proteksi arus lebih, dan alat yang mendeteksi ini disebut rele arus lebih. Jadi pada prinsipnya rele arus lebih akan bekerja bila dialiri arus lebih yang besarnya tertentu.

Rele arus lebih mempunyai bermacam-macam karakteristik kerja arus waktu. Berdasarkan karakteristik kerja arus waktu tersebut, maka rele arus lebih dapat dibagi atas beberapa jenis yaitu :

- a) Rele Definit, dengan karakteristik-nya yang mempunyai waktu relatif tetap sesuai dipakai untuk saluran dengan kondisi :
  - Besaran arus gangguan antar pangkal dan ujung seksi sangat tidak jauh berbeda. Keadaan ini didapatkan bila impedansi sumber ( $Z_s$ ) lebih besar dibandingkan dengan impedansi saluran.
  - Kapasitas pembangkit bervariasi cukup besar sehingga arus gangguan pada kondisi itu berbeda cukup besar.
- b) Rele Invers yang mempunyai kondisi :
  - $Z_s > Z_{saluran}$  atau berbeda antara  $I_f$  dipangkal dan ujung saluran cukup besar
  - Saluran terdiri dari banyak seksi
  - Kapasitas pembangkit tidak begitu bervariasi atau tetap
  - Diperlukan waktu pemutusan yang semakin cepat untuk arus gangguan yang semakin besar.
- c) Rele sangat invers.

Pada prinsipnya pemakaian rele jenis ini sama dengan rele invers, tetapi rele ini

terutama dipakai pada system-sistem yang membutuhkan pengurangan waktu kerja rele yang lebih besar pada arus gangguan yang semakin besar.

#### d) Rele amat sangat invers

Sama halnya dengan rele sangat invers, rele ini mempunyai keuntungan untuk mengurangi waktu kerja yang lebih besar lagi karena karakteristiknya jauh lebih curam. Karakteristik ini sama dengan karakteristik pemanasan peralatan, oleh karena itu rele amat sangat invers sesuai dipakai pada proteksi peralatan terhadap efek pemanasan yang berlebihan, misalnya pada kabel. Rele ini banyak dipakai pada system distribusi, rele ini juga dapat mengatasi masalah inrush current yang tertinggi pada saat pemutus daya setelah pemadaman yang cukup lama.

#### e) Rele IDMT (Invers Definite Minimum Time)

Rele ini karakteristiknya merupakan gabungan dari karakteristik rele invers dan rele definit.

#### f) Rele Sesaat

Rele ini dipakai untuk mengatasi gangguan dengan arus besar. Disebabkan waktu kerjanya yang tak dapat dirubah, maka untuk memperoleh selektifitas yang baik penentuan setting arus harus lebih baik.

### 1. Selektifitas rele arus lebih

Pada dasarnya arus lebih tidak dapat membedakan lokasi gangguan secara tepat sehingga timbul kesulitan untuk menentukan daerah operasi arus lebih.

Untuk mengatasi masalah tersebut, ada beberapa cara yang dapat dilakukan yaitu :

- Pengaturan arus kerja minimum (minimum pick-up current)
- Pengaturan kelambatan waktu kerja (operating time delay)

- Pengaturan arus kerja minimum dan kelambatan waktu kerja.

## 2. Pengaturan pick-up dan reset

Pada umumnya rele arus lebih mempunyai daerah penyetelan yang dapat disesuaikan dengan pemakaian yang lebih luas. Bagaimanapun juga daerah penyetelan ini terbatas karena kemampuan kumparan yang digunakan pada rele tersebut dan juga kesederhanaan rele itu sendiri. Oleh sebab itu rele ini terdiri dari bermacam-macam dan masing-masing mempunyai daerah penyetelan sendiri atau berbeda-beda. Untuk rele arus lebih, rele elektromagnetik sering digunakan dalam sistem tenaga listrik, sebab sangat sederhana dan pengaturannya mudah. Sedangkan untuk rele induksi penyetelan dilakukan dengan mengatur tap kumparannya. Jadi untuk rele arus lebih penyetelan pick-up dan resetnya diatur sesuai dengan kegunaannya, sehingga besarnya arus yang diperlukan untuk pengerjaan setting rele juga dapat diatur.

## 3. Beda Waktu Koordinasi

Agar diperoleh selektifitas yang baik dibutuhkan beda waktu kerja minimum antar dua buah rele yang berdekatan atau berurutan. Beda waktu kerja minimum yang biasa dikenal dengan beda waktu koordinasi (coordinating time interval – CTT) dimaksudkan agar rele utama dan pemutus dayanya dapat memisahkan gangguan yang terjadi pada daerah proteksinya sebelum rele yang berfungsi sebagai proteksi back-up bekerja pemutus daya.

Faktor kerja yang mempengaruhi beda waktu koordinasi :

- Waktu kerja pemutus daya ( $t_{pd}$ )
- Waktu over travel dari rele ( $t_{ot}$ )
- Waktu pengaman

Beda waktu koordinasi dipakai adalah sebesar 0,5 detik. Disamping beda waktu koordinasi yang lebih kecil misalnya 0,4 atau 0,5 detik bias dipergunakan untuk rele dan peralatan-peralatan proteksi yang mempunyai ketelitian yang cukup tinggi. Untuk jenis rele static dengan pemutus daya cepat, beda waktu koordinasi yang dipakai dapat lebih kecil lagi (0,2 detik) karena ketelitiannya lebih tinggi daripada rele elektromagnetik yang biasa dipakai.

Setelah pemadaman dalam waktu yang cukup lama jaringan penutupan pemutus daya mungkin akan mengalami kesukaran. Hal ini disebabkan inrush current yang tinggi dan tidak normal yang disebabkan oleh jaringan telah kehilangan diversitas beban. Umumnya arus current minimum rele tidak dapat diset diatas besar arus transient ini tanpa mengakibatkan mengurangi sensitivitasnya. Oleh karena itu penentuan setting rele harus memperhatikan hal tersebut.

## 3.4. Menentukan setting Arus dan Waktu Rele.

### 1. Setting arus kerja rele ( $I_{pp}$ )

Untuk menentukan arus kerja dari suatu rele, sebaiknya arus hubung singkat minimum maupun maksimum dapat ditentukan dengan persamaan :

$$I_{pp} = \frac{I_{hs maks}}{k_s}$$

Dimana:

- $I_{pp}$  = arus kerja rele
- $I_{hs maks}$  = arus hubung singkat maksimum
- $I_{hs min}$  = arus hubung minimum
- $Ks$  = Konstanta selektivitas (1,5 – 2,0) , diasumsikan  $k_s = 1,5$

Sedangkan untuk arus nominal rele ( $I_n$ ) dirumuskan :

$$I_n = I_{pp} \cdot 1/CT$$

Dimana :

$I_{in}$  = arus nominal

$1/CT$  = Perbandingan transformator arus

2. Setting waktu rele (t)

Untuk menentukan setting waktu rele dapat ditentukan dengan rumus :

$$ISM = \frac{I_{in} \cdot 1/CT}{Amper\ tab}$$

TSM = t/TM(detik)

Dimana :

$I_{in}$  = arus hubung singkat

TM = waktu yang ditentukan oleh karakteristiok rele (detik)

t = waktu operasi

#### 4. PERHITUNGAN ARUS HUBUNG SINGKAT DAN SETTING RELE

##### 4.1. Data-data Mesin PLTG Musi 2 Palembang

PLTG Musi 2 Palembang memiliki 3 buah generator yang dioperasikan secara paralel. Generator tersebut dari jenis dan merek yang sama dengan kapasitas masing-masing sebesar 3 x 4,5 MVA. Generator yang akan ditinjau adalah satu buah generator tersebut dengan data sebagai berikut :

Data Generator :

Merk	: LEROY SOMER
Type	: LSA 56B – UL85/4p
Kecepatan	: 1500 rpm
Daya	: 6750 kVA
Tegangan	: 6,3 kV
Frekuensi	: 50 Hz
Power Faktor	: 0,8
Connections	: Y (Star)
Phasa	: 3
Reaktansi	: 20,9%

##### 4.2. Perhitungan besaran nominal (rating) peralatan

Besar arus beban penuh :

$$I_n = \frac{kVA_{dasar}}{\sqrt{3} kV_{dasar}}$$

$$I_n = \frac{6750kVA}{\sqrt{3} \cdot 6,3 kV}$$

$$I_n = 618,59 A$$

##### Kasus 1

Jika terjadi gangguan pada lilitan generator tidak terproteksi ( $\alpha$ ) = 0%

$$I_{fg} =$$

$$I_{fg} = \frac{(0^2) \cdot 618,59}{\sqrt{3}}$$

$$I_{fg} = 0 \text{ Ampere}$$

##### Kasus 2

Jika terjadi gangguan pada lilitan generator tidak terproteksi ( $\alpha$ ) = 5%

$$I_{fg} =$$

$$I_{fg} = 0,893 \text{ Ampere}$$

##### Kasus 3

Jika terjadi gangguan pada lilitan generator tidak terproteksi ( $\alpha$ ) = 10%

$$I_{fg} =$$

$$I_{fg} = 3,571 \text{ Ampere}$$

##### Kasus 4

Jika terjadi gangguan pada lilitan generator tidak terproteksi ( $\alpha$ ) = 15%

$$I_{fg} =$$



$$I_{fg} = 8,0357 \text{ Ampere}$$

**Kasus 5**

Jika terjadi gangguan pada lilitan generator tidak terproteksi ( $\alpha$ ) = 20 %

$$I_{fg} =$$

$$I_{fg} = 14,286 \text{ Ampere}$$

**Tabel. 4.1. Besar arus gangguan pada generator**

Kasus	$I_n$ (Ampere)	$\alpha$ (%)	$I_{fg}$ (Ampere)
1	618,59	0	0
2		5	0,893
3		10	3,571
4		15	8,0357
5		20	14,286

**4.3. Setting Rele Differensial Saat Terjadi Gangguan**

$$\frac{(0,2)^2 \cdot 618,59}{\sqrt{3}}$$

Setting rele juga digunakan dalam mengatasi terjadinya gangguan-gangguan singkat yang menuju ke lilitan generator.

Data rele differensial :

- Rele : Differensial Relay
- Jenis : Elektromagnetik
- Type : IDT8N
- Pabrik : turbomach SA
- Rated Curent : 5 Ampere
- Setting : 20%
- Setting range : 10-20%
- Perbandingan :
- Transformator : 700/5 Ampere ; 600/5 Ampere
- Arus nominal : 665 Ampere
- Arus setting :

$$I_{set} = \frac{I_{tg}}{K_s}$$

Dalam hal ini :

- $K_s$  = faktor sensitivitas = 1,5
- $I_n$  =  $I_{set}$  · Radio Transformator

$$I_{lim} = I_{n \text{ rele}} \cdot I_n$$

$$I_d = I_{n \text{ rele (2)}} \cdot I_{n \text{ rele (1)}}$$

**Kasus 1.**

$$I_{fg} = 0 \text{ Ampere}$$

$$I_{set} = \frac{I_{tg}}{K_s}$$

$$I_{set} = \frac{0}{1,5} = 0 \text{ Ampere}$$

Untuk CT = 700/5 Ampere

$$I_n = I_{set} \cdot \text{Ratio transformator}$$

$$I_{n(1)} = (5/700) \cdot 0$$

$$= 0 \text{ Ampere}$$

Untuk CT = 600/5 Ampere

$$I_n = I_{set} \cdot \text{Ratio transformator}$$

$$I_{n(2)} = (5/600) \cdot 0$$

$$= 0 \text{ Ampere}$$

$$I_d = I_{n \text{ rele (2)}} - I_{n \text{ rele (1)}}$$

$$= 0 - 0$$

**Kasus 2.**

$$I_{fg} = 0,893 \text{ Ampere}$$

$$I_{set} = \frac{0,893}{1,5} = 0,595 \text{ Ampere}$$

Untuk CT = 700/5 Ampere

$$I_n = I_{set} \cdot \text{Ratio transformator}$$

$$I_{n(2)} = (5/700) \cdot 0,595$$

$$= 0,00425 \text{ Ampere}$$

Untuk CT = 600/5 Ampere

$$I_n = I_{set} \cdot \text{Ratio transformator}$$

$$I_{n(2)} = (5/600) \cdot 0,595$$

$$= 0,00496 \text{ Ampere}$$

$$I_d = I_{n \text{ rele (2)}} - I_{n \text{ rele (1)}}$$

$$= 0,00496 - 0,00425$$

$$= 0,0007 \text{ Ampere}$$

**Kasus 3.**

$$I_{fg} = 3,57 \text{ Ampere}$$

$$I_{set} = \frac{3,57}{1,5} = 2,38 \text{ Ampere}$$

Untuk CT = 700/5 Ampere

$$I_{n(1)} = (5/700) \cdot 2,38 = 0,017 \text{ Ampere}$$

Untuk CT = 600/5 Ampere

$$I_{n(2)} = (5/600) \cdot 2,38 = 0,0198 \text{ Ampere}$$

$$I_d = I_{n \text{ rele}(2)} - I_{n \text{ rele}(1)} = 0,02 - 0,017 = 0,003 \text{ Ampere}$$

**Kasus 4.**

$$I_{fg} = 8,04 \text{ Ampere}$$

$$I_{set} = \frac{8,04}{1,5} = 5,36 \text{ Ampere}$$

Untuk CT = 700/5 Ampere

$$I_{n(1)} = (5/700) \cdot 5,36 = 0,038 \text{ Ampere}$$

Untuk CT = 600/5 Ampere

$$I_{n(2)} = (5/600) \cdot 5,36 = 0,045 \text{ Ampere}$$

$$I_d = I_{n \text{ rele}(2)} - I_{n \text{ rele}(1)} = 0,045 - 0,038 = 0,007 \text{ Ampere}$$

**Kasus 5.**

$$I_{fg} = 14,286 \text{ Ampere}$$

$$I_{set} = \frac{14,286}{1,5} = 9,524 \text{ Ampere}$$

Untuk CT = 700/5 Ampere

$$I_{n(1)} = (5/700) \cdot 9,524 = 0,068 \text{ Ampere}$$

Untuk CT = 600/5 Ampere

$$I_{n(2)} = (5/600) \cdot 9,524 = 0,08 \text{ Ampere}$$

$$I_d = I_{n \text{ rele}(2)} - I_{n \text{ rele}(1)} = 0,08 - 0,068 = 0,012 \text{ Ampere}$$

**Tabel 4.2. Arus Kerja Rele Differensial**

Kasus	$\alpha$ (%)	$I_{setting}$ (A)	$I_{n(1)}$ (A)	$I_{n(2)}$ (A)	$I_d = I_{n(1)} - I_{n(2)}$ (Amper)
1	0	0	0	0	0
2	5	0,595	0,005	0,006	0,0007
3	10	2,38	0,017	0,02	0,003
4	15	5,36	0,038	0,045	0,017
5	20	9,524	0,068	0,08	0,012

**4.4. Persen Setting Rele**

Dari hasil pengamatan untuk gangguan lilitan yang tidak dirasakan ( $\alpha$ ) dimulai dari 0% 20%. dapat ditentukan persen setting dari masing-masing kondisi gangguan tersebut, sebagai berikut :

Maka : 1. Untuk  $\alpha = 0\%$

$$\% \text{ setting} = \frac{(\alpha)^2}{\sqrt{3}} 20\%$$

$$\% \text{ setting} = \frac{(0)^2}{\sqrt{3}} 20\%$$

$$= 0\%$$

2. Untuk  $\alpha = 5\%$

$$\% \text{ setting} =$$

$$= 0,03\%$$

3. Untuk  $\alpha = 10\%$

$$\% \text{ setting} =$$

$$= 0,11\%$$

4. Untuk  $\alpha = 15\%$

$$\% \text{ setting} =$$

$$= 0,26\%$$

5. Untuk  $\alpha = 20\%$

$$\begin{aligned} \% \text{ setting} &= \\ &= 0,46\% \end{aligned}$$

Dalam perhitungan arus gangguan hubung singkat dibutuhkan parameter-parameter dari sistem yang ditinjau adalah : impedansi generator, impedansi saluran karena gangguan yang terjadi pada bus 6,3 kV terhadap pembangkit dalam keadaan tanpa beban, maka nilai daya dasar dan tegangan dasar yang dipilih adalah sama dari sumber sampai ke busbar dan demikian juga dengan impedansinya.

Untuk reaktansi generator diketahui dalam satuan persen, maka untuk reaktansi generator dalam per unit (pu), dapat ditentukan. Sesuai dengan data sumber maka dalam perhitungan adalah :

$$\frac{(0,2)^2}{\sqrt{3}} 20\%$$

$$\begin{aligned} \text{MVA}_{\text{dasar}} &= 6,5 \text{ MVA} \\ \text{kV}_{\text{dasar}} &= 6,5 \text{ MVA} \\ \text{X}''_{\text{d}} &= 20,9\% \end{aligned}$$

Maka reaktansi generator dalam per unit :

$$Z_s = X''_g = X_{\text{pu}} =$$

$$X''_{\text{d}}(\%) \cdot \left( \frac{\text{kV}_{\text{rating}}}{\text{kV}_{\text{base}}} \right)^2 \cdot \left( \frac{\text{kVA}_{\text{base}}}{\text{kVA}_{\text{rating}}} \right)$$

$$X_{\text{pu}} = 20,9\% \cdot \left( \frac{6,3}{6,3} \right)^2 \cdot \left( \frac{6750}{4500} \right)$$

$$X_{\text{pu}} = 0,209 \cdot 1,5$$

$$X_{\text{pu}} = 0,314$$

#### 4.5. Perhitungan Arus Hubung Singkat

Untuk menentukan besarnya arus hubung singkat pada suatu sistem, maka yang dibutuhkan adalah data-data dari generator beserta tahanan (impedansi) dan reaktansi. Perhitunganyang akan dilakukan adalah perhitungan arus gangguan hubung singkat 3

fasa, 2 fasa, dan 1 fasa tanah pada generator di PLTG Musi 2 Palembang.

1. Arus hubung singkat 3 Ø simetris :

$$\begin{aligned} I''_{\text{hs}} &= \frac{E}{Z_1} \\ &= \frac{1}{0,371} \\ &= 2,7 \text{ pu} \\ &= 2,7 \cdot (618,69 \text{ Ampere}) \\ &= 1.667,63 \end{aligned}$$

2. Arus hubung singkat 2 Ø

$$\begin{aligned} I''_{\text{hs}} &= -j \sqrt{3} \frac{E_a}{Z_1 Z_2} \\ &= -j (1,73) \frac{1}{j0371 + j0,371} \\ &= 2,33 \text{ pu} \\ &= 2,33 \text{ pu} \cdot (618,69 \text{ A}) \\ &= 1.444,2 \text{ Ampere} \end{aligned}$$

3. Arus hubung singkat 1 Ø – tanah

$$\begin{aligned} I''_{\text{hs}} &= 3 \frac{E_a}{Z_1 + Z_2 + Z_0} \\ &= 3 \frac{1}{j0,371 + j0,371 + j5,08} \\ &= 0,515 \text{ pu} \\ &= 0,515 \text{ pu} \cdot (618,69 \text{ A}) \\ &= 318,8 \text{ Ampere} \end{aligned}$$

**Tabel 4. Hasil perhitungan arus hubung singkat**

No	Jenis Gangguan	Besar Gangguan (A)
1	$I_{\text{hs}} 3 \text{ Ø}$	1.667,63
2	$I_{\text{hs}} 2 \text{ Ø}$	1.444,2
3	$I_{\text{hs}} 1 \text{ Ø} - \text{tanah}$	318,8

#### 4.6. Setting Rele Arus Lebih (Over current relay)

Data rele :

Rele : Over Current Relay  
 Jenis : Invers time  
 (Elektromagnetik)  
 Type : 5 Ampere  
 Pabrik : Turbomach SA

Rated Current : 665 A

Setting : 1,0

Setting arus dan kerja rele arus lebih berdasarkan hubung singkat maksimum dan arus hubung singkat minimum :

$$I_{hs \text{ maksimum}} = I_{hs} 3 \emptyset = 1.667,63 \text{ Ampere}$$

$$I_{hs \text{ minimum}} = I_{hs} 2 \emptyset = 1.444,2 \text{ Ampere}$$

Ratio CT = 700/5 Ampere

Ks = 1,5

## 5. KESIMPULAN DAN SARAN

### 5.1. Kesimpulan

#### 1. Arus kerja rele differensial

a. Jika terjadi gangguan pada lilitan generator tidak terproteksi ( $\epsilon$ ) = 5%, Arus setting 0,595 A. Arus kerja minimum saat arus restrain  $I_d = 0,007$  A. Persen setting rele 0,03 A.

b. Jika terjadi gangguan pada lilitan generator tidak terproteksi ( $\epsilon$ ) = 20%, Arus setting 9,524 A. Arus kerja minimum saat arus restrain  $I_d = 0,012$  A. Persen setting rele 0,46 A.

2. Hasil perhitungan untuk arus hubung singkat gangguan 3 fasa ( $I_{hs} 3\emptyset = 1.667,63$  A), hubung singkat 2 fasa ( $I_{hs} 2\emptyset = 1.444,2$  A), hubung singkat 1 fasa ( $I_{hs} 1\emptyset - \text{tanah} = 318,8$  A).

3. Setting rele arus lbih (OCR) jenis invers time (elektromagnetik), rated current 665 A, Setting 1. Setting arus dan kerja rele arus berdasarkan arus hubung singkat maksimum

dan arus hubung singkat minimum  $I_{s \text{ min}} 3\emptyset = 1.667,63$  A,  $I_{s \text{ maks}} 2\emptyset = 1.444,2$  A

4. Pada dasarnya rele arus lebih tidak boleh bekerja pada beban maksimum, batas penyetelan arus pick-up  $I_{s \text{ min}} = 2,501,45$  A dan  $I_{s \text{ maks}} = 1.155,36$  A.

5. Penyetelan waktu kerja Tms didasarkan pada Td (time dial) atau Tms (time multiple setting) didasarkan pembangkit maksimum 0,2 – 0,3 detik.

### 5.2. Saran

Mengingat gangguan hubung singkat ini jarang terjadi dan sangat berbahaya terhadap isolasi belitan generator, maka untuk mengantisipasi hal ini agar rele protekasi tetap andal terhadap keadaan yang tidak normal tersebut, maka sebaiknya rele protekasi di evaluasi secara berkala.

## DAFTAR PUSTAKA

Data Pembangkit PLTG Musi 2 Palembang

Hazairin Samaullah, “Dasar-dasar Sistem Proteksi, UNSRI 2004.

Skripsi, Ade Suryadi Surya Negara, “Studi Proteksi Generator pada PLTD Payo Selincah Jambi, 1999.

PT. PLN (Persero) Pusdiklat, “Rele Proteksi Sistem Penyaluran”.

WWW.Geogle.Com