Jurnal Mesil (Mesin Elektro Sipil) **E-ISSN : 2723-7052**
Vol. 7, No.2, Desember 2026, Hal 1-15
https://doi.org/10.53695/jm.v7i2.1581

Studi Analisa Relai Proteksi Pada Generator PLTMG PT. Freeport Indonesia

Robbi Saputra[1*], Rosnita Rauf[2], Hazlif Najif[3]
[1,2,3)] Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Ekasakti, Sumatera Barat
*Email: robbi15.rs@gmail.com

ABSTRAK
Tenaga listrik memiliki peranan yang sangat penting dalam menunjang berbagai aspek kehidupan masyarakat, baik bagi masyarakat umum maupun masyarakat industri dan usaha. Relai berfungsi untuk mengatur, memonitoring dan melakukan proses pemadam tenaga listrik jika terjadi kondisi-kondisi abnormal pada generator. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisa relai proteksi generator yang digunakan pada Pembangkit Listrik Tenaga Mesin Gas (PLTMG) milik PT Freeport Indonesa yang terletak di Sub Portsite Kampung Amamapare Distrik Mimika Timur Jauh Kabupaten Mimika Provinsi Papua Tengah. Penelitian ini menggunakan metode diskriptif dengan tujuan untuk menganalisa sistem kerja relai diferensial saat terjadi gangguan hubung singkat pada area pengamanan relai diferensial. Arus hubung singkat satu fasa ke tanah pada generator sebesar 948,45 A dan arus yang mengalir ke sisi sekunder trafo arus sebesar 7,9 A. Arus hubung singkat satu fasa ke tanah merupakan arus hubung singkat terkecil dan menjadi acuan penyetingan relai. Saat terjadi arus hubung singkat satu fasa ke tanah, arus diferensial yang timbul sebesar 7,9 A (2,18 TAP) dan arus bias 3,95 A (1,09 TAP). Hal ini sudah cukup untuk membuat relai diferensial dengan setting relai sebesar 1,089 A (0,3 TAP) dan nilai slope 25% untuk mengirim perintah *trip* pada pemutus tenaga (*Circuit breaker*).

Kata kunci: Relai Proteksi, Generator, PLTMG, Hubung Singkat, Relai Diferensial

1. PENDAHULUAN

Tenaga listrik memiliki peranan yang sangat penting dalam menunjang berbagai aspek kehidupan masyarakat, baik bagi masyarakat umum maupun masyarakat industri dan usaha. Berbagai aktifitas masyarakat menjadi semakin mudah, nyaman dan efisien melalui penggunaan peralatan yang membutuhkan listrik. Apalagi di zaman modernisasi dan globalisasi seperti saat ini, peran tenaga listrik dirasakan akan menjadi semakin penting [1].

Generator merupakan peralatan yang sangat penting pada suatu pembangkit listrik. Generator berfungsi mengubah energi mekanik penggerak mula menjadi energi listrik. Generator bekerja menggunakan prinsip percobaan Faraday yaitu memutar magnet dalam kumparan atau sebaliknya. Ketika magnet digerakkan dalam kumparan maka akan terjadi perubahan fluks gaya magnet di dalam kumparan yang menembus tegak lurus terhadap kumparan. Fenomena ini menyebabkan beda potensial antara ujung-ujung kumparan yang kemudian menimbulkan listrik [2].

Gangguan yang sering terjadi pada sistem tenaga listrik adalah gangguan hubung singkat. Gangguan hubung singkat adalah suatu kondisi dimana konduktor-konduktor listrik dalam sebuah sistem tenaga listrik, seperti kabel, busbar, belitan motor atau generator, atau peralatan listrik lainnya, secara tidak sengaja terhubung langsung. Akibatnya, hal ini menyebabkan meningkatnya aliran arus dan tidak terkontrol [3]. Gangguan hubung singkat dapat didefinisikan sebagai gangguan yang terjadi akibat adanya penurunan kekuatan dasar isolasi (*basic insulation strength*) antara kawat fasa dengan kawat fasa atau antara kawat fasa dengan tanah yang menyebabkan kenaikan arus secara berlebihan atau biasa juga disebut gangguan arus lebih [4].

Arus hubung singkat merupakan arus lebih yang disebabkan oleh gangguan impedansi yang sangat kecil mendekati nol antara dua penghantar aktif yang dalam kondisi normal berbeda potensialnya. Besaran nilai arus hubung singkat dipengaruhi oleh tegangan, kapasitas dan impedansi atau reaktansi suatu peralatan serta jenis gangguan yang terjadi. Nilai reaktansi sumber dan nilai reaktansi saluran yang dialirinya sangat mempengaruhi terjadinya arus hubung singkat. Cycle pertama kali disebut reaktansi subtransien (X"d) dimana nilai 15 reaktansinya sangat kecil dan arus hubung singkat sangat tinggi. Kemudian cycle kedua adalah reaktansi transien (X'd) dimana arus hubung singkat mulai menurun. Cycle yang terakhir disebut reaktansi sinkron (Xd) dimana arus sudah mencapai *steady state* [5].

Proteksi sistem tenaga listrik adalah sistem proteksi yang dipasang pada peralatan-peralatan listrik suatu sistem tenaga listrik, misalnya generator, transformator, jaringan dan lain-lain, terhadap kondisi abnormal operasi sistem itu sendiri [6]. Sistem proteksi dapat merasakan adanya gangguan pada peralatan yang diamankan dengan mengukur atau membandingkan besaran-besaran yang diterimanya, misalkan arus, tegangan, daya, sudut fasa, frekuensi, impedansi dan sebagainya, dengan besaran yang telah ditentukan, kemudian mengambil keputusan untuk seketika ataupun dengan perlambatan waktu membuka pemutus tenaga [7]. Adapun beberapa fungsi dari sistem proteksi adalah untuk menghindari atau mengurangi kerusakan peralatan listrik akibat adanya gangguan (kondisi abnormal) [8].

Relai diferensial adalah relai yang prinsip kerjanya berdasarkan keseimbangan yang membandingkan arus-arus sekunder transformator arus (CT) terpasang pada terminal-terminal peralatan listrik yang diamankan [9]. Berdasarkan hukum Kirchoff, menyatakan prinsip kekekalan muatannya itu jumlah total arus yang masuk pada suatu titik *(node)* dalam suatu rangkaian harus sama dengan jumlah total arus yang keluar dari titik tersebut. Relai diferensial meruupakan pengaman utama pada generator maupun trafo untuk gangguan hubung singkat antara fasa dan fasa untuk generator dengan pentanahan langsung [10].

Dengan melakukan analisa terhadap kinerja relai diferensial berdasarkan setting yang tersedia, akan dapat diketahui kelaakan dari setting relai tersebut. Oleh karena itu perlu dilakukan analisa lebih lanjut terhadap sistem proteksi generator PLTMG PT Freeport Indonesia.

2. METODE PENELITIAN

2.1 Jenis Penelitian

Penelitian ini merupakan studi kasus dengan pendekatan kuantitatif yang berfokus pada analisis teknis sistem proteksi generator PLTMG PT. Freeport Indonesia. Survei dan observasi dilakukan di fasilitas PLTMG PT. Freeport Indonesia untuk mengumpulkan data spesifikasi peralatan dan kondisi operasional. Bahan dan alat yang digunakan meliputi dokumen teknis generator dan data *setting* relai diferensial.

2.2 Lokasi Penelitian

Penelitian dilaksanakan di site PT. Freeport Indonesia yang terletak di Sub Portsite Kampung Amamapare, Distrik Mimika Timur Jauh, Kabupaten Mimika, Provinsi Papua Tengah.

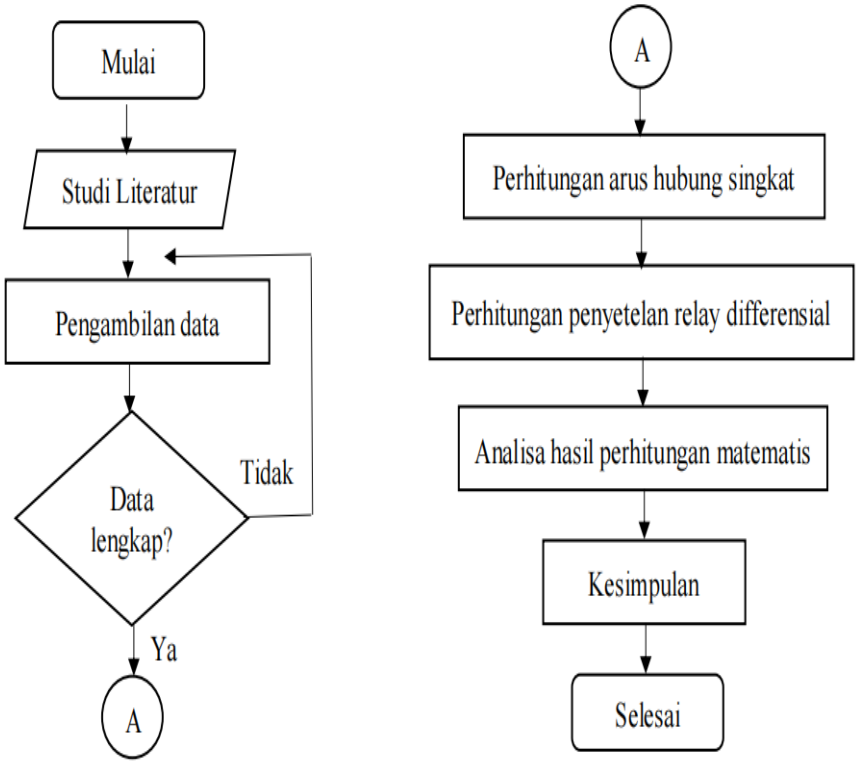
Jurnal Mesil (Mesin Elektro Sipil) **E-ISSN : 2723-7052**
Vol. 7, No.2, Desember 2026, Hal 1-15
https://doi.org/10.53695/jm.v7i2.1581



Gambar 1. Lokasi Penelitian

2.3 Diagram Penelitian

Proses dan alur penelitian pada penelitian dapat dijelaskan dengan menggunakan diagram alir. Adapun aturan penelitian ini seperti ditunjukan pada gambar 2.



Gambar 2. Diagram Alir Penelitian

2.4 Teknik Pengumpulan Data

Sebelum melaksanakan penelitian diperlukan untuk membuat rancangan penelitian agar setiap langkah dan tujuan bisa dilakukan dengan baik. Penulis membuat rancangan penelitian dengan beberapa tahap sebagai berikut:

- Studi Literatur

Studi literatur adalah pengumpulan referensi dari buku, karya ilmiah, jurnal, penelitian terdahulu yang berhubungan dan mendukung teori untuk penyelesaian

penelitian "Studi Analisa Relai Proteksi Pada Generator PLTMG PT. Freeport Indonesia".

- Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan dengan cara mengumpulkan data dari penelitian di PT. Freeport Indonesia. Data diperoleh dengan cara mengikuti prosedur sesuai yang dijelaskan instansi, yaitu dengan mengirim surat izin untuk pengambilan data dari pihak Universitas. Lalu menunggu balasan dari instansi terkait, setelah mendapatkan surat balasan barulah dilakukan pengambilan data proteksi pada generator yang terpasang. Berikut adalah data-data proteksi generator yang akan dikumpulkan, yaitu,

- Spesifikasi generator dan nilai reaktansi
- Spesifikasi relai yang digunakan
- Data *setting* relai
- Data CT

2.5 Teknik Analisa Data

Setelah data-data yang diperoleh telah terpenuhi kemudian melakukan analisa data dan melakukan perhitungan beberapa parameter yang diperlukan dalam melakukan analisa relai proteksi generator dengan menggunakan rumus dari referensi yang berkaitan dengan penelitian. Adapun tahapan perhitungannya sebagai berikut:

- Arus nominal generator

adalah arus yang mengalir pada saat generator dalam kondisi beban penuh yang dapat dihitung berdasarkan spesifikasi generator.

- Nilai impedansi generator

Impedansi generator merupakan nilai yang sangat diperlukan untuk menentukan nilai hubung singkat atau arus gangguan lain yang mungkn dapat terjadi pada suatu sistem tenaga listrik.

- Arus gangguan hubung singkat

Adalah arus listrik yang timbul saat terjadi kondisi yang tidak normal pada suatu sistem tenaga listrik. Berikut beberapa jenis arus gangguan hubung singkat antara lain sebagai berikut:

- Arus gangguan hubung singkat tiga fasa
- Arus gangguan hubung singkat dua fasa
- Arus gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah

- Perhitungan penyetelan relai diferensial

Relai diferensial merupakan yang bekerja berdasarkan perbedaan arus yang terjadi antara dua CT yang ditempatkan pada sisi input dan sisi output suatu rangkaian. Jika terjadi perbedaan arus pada kedua CT tersebut dan melebihi nilai *setting* relai, maka relai akan bekerja dan mengirim sinyal perintah pemutusan pada pemutus tenaga.

2.6 Perhitungan Arus Nominal Generator

Arus nominal generator adalah arus yang mengalir pada suatu generator dalam kondisi generator berbeban penuh. Arus nominal dapat dihitung berdasarkan kapasitas dan tegangan operasi generator. Rumus perhitungan arus nominal generator adalah:

$$I_n = \frac{S}{\sqrt{3}\,x\,V} \quad (1)$$

Dimana :

I_n = Arus nominal generator (A)

S = Daya semu generator (VA)

Jurnal Mesil (Mesin Elektro Sipil) **E-ISSN : 2723-7052**
Vol. 7, No.2, Desember 2026, Hal 1-15
https://doi.org/10.53695/jm.v7i2.1581

V = Tegangan generator (V)

2.7 Perhitungan Impedansi Generator

Nilai impedansi merupakan nilai yang sangat diperlukan untuk menentukan nilai arus hubung singkat atau arus gangguan lain yang mungkin dapat terjadi pada suatu sistem tenaga listrik. Sebelum menghitung nilai impedansi generator berdasarkan nilai persentace reaktansi, dibutuhkan nilai impedansi basis dari generator.

- Impedansi basis generator

Untuk mengetahui impedansi basis generator maka persamaan yang dapat digunakan ialah:

$$Z_{basis} = \frac{(V_{ll})^2}{S} \quad (2)$$

Dimana :
Z_{basis} = Impedansi basis generator (Ω)
S = Daya semu generator (VA)
V_{ll} = Tegangan generator fasa ke fasa (V)

- Impedansi urutan positif

Untuk mengetahui nilai impedansi positif dari generator diperlukan nilai reaktansi sub *transient*, dapat menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$Z_1 = \frac{X_d^{"}}{100} \text{ x } Z_{basis} \quad (3)$$

Dimana :
Z_1 = Impedansi urutan positif (Ω)
$X_d^{"}$ = Reaktansi sub *transient* (%)
Z_{basis} = Impedansi basis generator (Ω)

- Impedansi urutan negatif

Untuk mengetahui nilai impedansi negatif dari generator diperlukan nilai reaktansi urutan negatif, dapat menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$Z_2 = \frac{X_2}{100} \text{ x } Z_{basis} \quad (4)$$

Dimana :
Z_2 = Impedansi urutan negatif (Ω)
X_2 = Reaktansi urutan negatif (%)
Z_{basis} = Impedansi basis generator (Ω)

- Impedansi urutan nol

Untuk mengetahui nilai impedansi nol dari generator diperlukan nilai reaktansi urutan nol, dapat menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$Z_0 = \frac{X_0}{100} \text{ x } Z_{\text{basis}} \quad (5)$$

Dimana :
Z_0 = Impedansi urutan nol (Ω)
X_0 = Reaktansi urutan nol (%)
Z_{basis} = Impedansi basis generator (Ω)

2.8 Perhitungan Arus Hubung Singkat

Arus hubung singkat adalah suatu kondisi dimana terjadi sentuh langsung antar konduktor bertegangan dengan konduktor lain bertegangan maupun sentuh langsung dengan pentanahan.

- Arus hubung singkat tiga fasa

Jurnal Mesil (Mesin Elektro Sipil) **E-ISSN : 2723-7052**
Vol. 7, No.2, Desember 2026, Hal 1-15
https://doi.org/10.53695/jm.v7i2.1581

Untuk mengetahui arus hubung singkat tiga fasa, maka persamaan yang digunakan ialah:

$$I''_{hs\ 3\emptyset} = \frac{V_{ll}}{(\sqrt{3}\ x\ Z_1)} \quad (6)$$

Dimana :
$I''_{hs\ 3\emptyset}$ = Arus gangguan hubung singkat dalam per unit (A)
V_{ll} = Tegangan generator L-L (V)
Z_1 = Impedansi Urutan Positif (Ω)

- Arus hubung singkat dua fasa

Untuk mengetahui arus hubung singkat tiga fasa, maka persamaan yang digunakan ialah:

$$I''_{hs\ 2\emptyset} = \frac{V_{ll}}{(Z_1+Z_2)} \quad (7)$$

Dimana :
$I''_{hs\ 2\emptyset}$ = Arus gangguan hubung singkat antar dua fasa (A)
V_{ln} = Tegangan Generator L-L (V)
Z_1 = Impedansi urutan positif (Ω)
Z_2 = Impedansi urutan negative (Ω)

- Arus hubung singkat satu fasa ke tanah

Untuk mengetahui arus hubung singkat satu fasa ke tanah, maka persamaan yang digunakan ialah:

$$I''_{hs\ 1\emptyset-g} = \frac{(\frac{V_{ll}}{\sqrt{3}})}{(Z_0+Z_1+Z_2)} \quad (8)$$

Dimana :
$I''_{hs\ 1\emptyset-g}$ = Arus gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah (A)
V_{ll} = Tegangan Generator L-L (V)
Z_0 = Impedansi urutan nol (Ω)
Z_1 = Impedansi urutan positif (Ω)
Z_2 = Impedansi urutan negative (Ω)

2.9 Perhitungan Arus Diferensial dan Arus Bias

- Perhitungan arus diferensial sebagai berikut:

$$I_{Diff} = |i_{sCT_1} - i_{sCT_2}| \quad (9)$$

Dimana:
I_{Diff} = Arus diferensial (A)
i_{sCT_1} = Arus sekunder pada CT_1 (A)
i_{sCT_2} = Arus sekunder pada CT_2 (A)

- Perhitungan arus bias sebagai berikut :

$$I_{Bias} = \frac{i_{sCT_1}+i_{sCT_2}}{2} \quad (10)$$

Dimana:
I_{Bias} = Arus bias (A)
i_{sCT_1} = Arus nominal pada sisi sekunder CT_1 (A)
i_{sCT_2} = Arus nominal pada sisi sekunder CT_2 (A)

- Karakterikstik relai diferensial

Jurnal Mesil (Mesin Elektro Sipil) **E-ISSN : 2723-7052**
Vol. 7, No.2, Desember 2026, Hal 1-15
https://doi.org/10.53695/jm.v7i2.1581

Relai diferensial memiliki karakteristik dimana relai akan bekerja jika memenuhi syarat sebagai berikut:

$$Relai\ Trip = I_{Diff} > I_{sett} + (Slope\ 1\ x\ I_{Bias}) \quad (11)$$

Dimana:

I_{Diff} = Arus diferensial yang terjadi (TAP)
I_{sett} = Arus operasi relai diferensial (TAP)
$Slope\ 1$ = Kemiringan (%)
I_{Bias} = Arus bias yang terjadi (TAP)

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Data Generator

Data generator digunakan sebagai dasar untuk melakukan perhitungan relai proteksi agar sesuai dengan spesifikasi generator. Data pada generator PLTMG PT. Freeport Indonesia dalam Tabel 1.

Tabel 1. Data Generator

Parameter	Spesifikasi
Manufacture	ABB
Tipe	AMG 1120LT10 DSE
Kapasitas	10.422 kVA
Tegangan	13.800 V
Arus	436 A
Reaktansi Subtransient (X"d)	19,6%
Reaktansi Urutan Negatif (X_2)	20,8%
Reaktansi Urutan Nol (X_0)	5,6%

3.2 Data Relai Diferensial

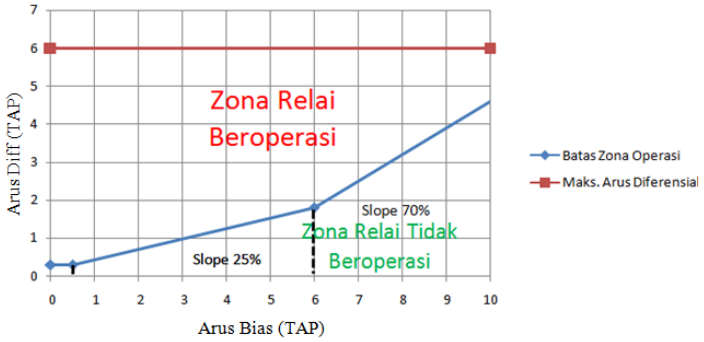
Data relai diferensial akan digunakan sebagai perbandigan antara hasil perhitungan secara teoritis dengan kenyataan di lapangan. Data relai disajikan dalam Tabel 2.

Tabel 2. Data Relai Diferensial

Parameter	Spesifikasi
Manufacture	SEL 700G
Proteksi	87G, 87N, 21, 78, 51V, 59/27
Arus Nominal	3,63 A
TAP Arus Sekunder Input	3,63 A
TAP Arus Sekunder Output	3,63 A
Arus Operasi Relai Diferensial	0,3 TAP / 1,089 A
Arus Diferensial Tidak Ditahan	6 TAP / 21,78 A
Slope 1	25%
Slope 2	70%
Kneepoint	6 TAP

Berdasarkan data relai diferensial, dapat diketahui karakteristik relai diferensial dalam bentuk kurva. Kurva karakteristik relai dapat ditunjukan seperti pada Gambar 3.

Jurnal Mesil (Mesin Elektro Sipil) **E-ISSN : 2723-7052**
Vol. 7, No.2, Desember 2026, Hal 1-15
https://doi.org/10.53695/jm.v7i2.1581



Gambar 3. Kurva Karakteristik Relai Diferensial

3.3 Data Ratio CT

Data ratio CT yang digunakan dalam generator untuk relai diferensial dapat disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Data Ratio CT

Parameter	Primer	Sekunder
Ratio CT Input	600	5
Ratio CT Output	600	5

3.4 Perhitungan Arus Nominal Generator

Pada perhitungan nilai arus nominal suatu generator, diperlukan untuk mengetahui nilai arus yang mengalir pada suatu generator pada saat generator terbebani secara penuh. Berdasarkan rumus perhitungan, maka dilakukan perhitungan sebagai berikut:

$$I_n = \frac{S}{\sqrt{3}\ x\ V_{ll}}$$
$$= \frac{10.422\ \text{kVA}}{\sqrt{3}\ x\ 13.800\ V}$$
$$= \frac{10.422.000\ VA}{\sqrt{3}\ x\ 13.800\ V}$$
$$= 436\ A$$

Jadi arus nominal saat generator terbebani secara penuh adalah 436 A.

3.5 Perhitungan Impedansi Generator

- Impedansi basis generator

$$Z_{basis} = \frac{(V_{ll})^2}{S}$$
$$= \frac{(13.800\ V)^2}{10.422\ kVA}$$
$$= \frac{190.440.000\ V^2}{10.422.000\ VA}$$
$$= 18{,}27\ \Omega$$

Jadi impedansi basis generator adalah 18,27 Ω

- Impedansi urutan positif

$$Z_1 = \frac{X_d^{"}}{100}\ \text{x}\ Z_{basis}$$

https://doi.org/10.53695/jm.v7i2.1581

$= \frac{19,6}{100}$ x 18,27 Ω
$= 3,57\ \Omega$

Jadi nilai impedansi urutan positif generator adalah 3,57 Ω

- Impedansi urutan negatif

$Z_2 = \frac{X_2}{100}$ x Z_{basis}
$= \frac{20,8}{100}$ x 18,27 Ω
$= 3,8\ \Omega$

Jadi nilai impedansi urutan negatif generator adalah 3,8 Ω

- Impedansi urutan nol

$Z_0 = \frac{X_0}{100}$ x Z_{basis}
$= \frac{5,6}{100}$ x 18,27 Ω
$= 1,02\ \Omega$

Jadi nilai impedansi urutan nol generator adalah 1,02 Ω.

3.6 Perhitungan Arus Hubung Singkat

Arus hubung singkat yang digunakan adalah arus hubung singkat tiga fasa, arus hubung singkat dua fasa dan arus hubung singkat satu fasa ke tanah. Berdasarkan pada rumus maka dilakukan perhitungan sebagai berikut:

- Arus hubung singkat tiga fasa

$I_{hs\ 3\emptyset} = \frac{V_{ll}}{(\sqrt{3}\ x\ Z_1)}$
$= \frac{13.800\ V}{(\sqrt{3}\ x\ 3,57\ \Omega)}$
$= \frac{13.800\ V}{6,1934\ \Omega}$
$= 2.228\ A$

Arus hubung singkat tiga fasa pada sisi sekunder CT dengan persamaan berikut:

$i_{hs\ 3\emptyset} = \frac{I_{hs\ 3\emptyset}}{Ratio\ CT}$
$= \frac{2.228\ A}{600/5}$
$= 18,57\ A$

Jadi besar arus hubung singkat tiga fasa pada sisi primer CT adalah 2.228 A dan pada sisi sekunder CT adalah 18,57 A.

- Arus hubung singkat dua fasa

$I_{hs\ 2\emptyset} = \frac{V_{ll}}{(Z_1 + Z_2)}$
$= \frac{13.800\ V}{(3,57\ \Omega + 3,8\ \Omega)}$
$= \frac{13.800\ V}{7,37\ \Omega}$
$= 1.872,4\ A$

Arus hubung singkat dua fasa pada sisi sekunder CT dengan persamaan berikut:

$i_{hs\ 2\emptyset} = \frac{I_{hs\ 2\emptyset}}{Ratio\ CT}$

$$= \frac{1.872{,}4\ \text{A}}{600/5}$$
$$= 15{,}60\ A$$

Jadi besar arus hubung singkat dua fasa pada sisi primer CT adalah 1.872,4 A dan pada sisi sekunder CT adalah 15,60 A.

- Arus hubung singkat satu fasa ke tanah

$$\text{I}_{hs\ 1\emptyset-g} = \frac{(\frac{V_{ll}}{\sqrt{3}})}{(Z_1 + Z_2 + Z_0)}$$
$$= \frac{(\frac{13.800}{\sqrt{3}})}{(3{,}57\ \Omega + 3{,}8\ \Omega + 1{,}02\ \Omega)}$$
$$= \frac{7.967\ V}{8{,}4\ \Omega}$$
$$= 948{,}45\ A$$

Arus hubung singkat satu fasa ke tanah pada sisi sekunder CT dengan persamaan berikut:

$$i_{hs\ 1\emptyset-g} = \frac{\text{I}_{\text{hs}\ 1\emptyset-g}}{Ratio\ CT}$$
$$= \frac{948{,}45\ \text{A}}{600/5}$$
$$= 7{,}9\ A$$

3.7 Perhitungan Pengaturan Relai Diferensial

- Arus nominal generator pada sekunder CT

$$i_{S\ CT_1} = \frac{CT\ sekunder}{CT\ primer}\ x\ \text{I}_n$$
$$= \frac{5}{600}\ x\ 436\ A$$
$$= 3{,}63\ A$$

Arus nominal generator pada sisi sekunder CT_1 sebesar 3,63 A. Karena ratio CT yang digunakan sama antara CT_1 (input) dan CT_2 (output) maka arus nominal generator pada sisi sekunder CT_2 sebesar 3,63 A.

- Perhitungan CT ideal

$$CT1_{\text{Ideal}} = rasio_{CT_2}\ x\ \frac{Vs}{Vp}$$
$$= \frac{600}{5}\ x\ \frac{13{,}8\ kV}{13{,}8\ kV}$$
$$= 120$$

Nilai perhitungan CT ideal untuk CT_1 sebesar 120 dan karena ratio CT yang digunakan sama maka untuk nilai CT ideal untuk CT_2 sama dengan CT_1 ideal sebesar 120 dan memiliki ratio *error mismatch* antar CT menjadi 0%.

- Perhitungan arus diferensial dan arus bias pada kedua CT
  - Arus diferensial

$$I_{Diff} = \left|i_{sCT_1} - i_{sCT_2}\right|$$
$$= 3{,}63\ A - 3{,}63\ A$$
$$= 0\ A$$

  - Arus bias

Jurnal Mesil (Mesin Elektro Sipil) **E-ISSN : 2723-7052**
Vol. 7, No.2, Desember 2026, Hal 1-15
https://doi.org/10.53695/jm.v7i2.1581

$$I_{Bias} = \frac{i_{sCT_1} + i_{sCT_2}}{2}$$
$$= \frac{3{,}63\ A + 3{,}63\ A}{2}$$
$$= 3{,}63\ A$$

Arus diferensial yang terdapat pada kedua CT sebesar 0 A dan arus bias sebesar 3,63 A. Hal ini disebabkan karena kedua CT memiliki ratio yang sama yaitu sebesar 120.

- Perhitungan slope 1 dan slope 2
  - Slope 1

$$Slope\ 1 = \frac{I_{diff}}{I_{Bias}} x\ 100\ \%$$
$$= \frac{0\ A}{3{,}63\ A} x\ 100\ \%$$
$$= 0\ \%$$

  - Slope 2

$$Slope\ 2 = \left(\frac{I_{diff}}{I_{Bias}} x2\right) x\ 100\ \%$$
$$= \left(\frac{0\ A}{3{,}63\ A} x2\right) x\ 100\ \%$$
$$= 0\ \%$$

Nilai slope 1 dan slope 2 sebesar 0% karena pada sistem menggunakan dua CT yang memiliki ratio yang sama yaitu 600/5.

- Perhitungan nilai *setting* minimum relai diferensial

Nilai *setting* minimum relai diferensial merupakan batas nilai arus diferensial yang menentukan apakah relai akan bekerja mengirim perintah *trip* atau tidak ke pemutus bebnan. Nilai *setting* minimum relai dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$Setting\ relai = Kesalahan\ Generator(\%) + Error\ Mismatch\ CT1(\%) + Error\ mismatch\ CT2(\%) + Toleransi\ Relai\ (\%) + Slope\ 1\ (\%)$$
$$= 5\% + 0\% + 0\% + 5\% + 0\%$$
$$= 10\%$$

Berdasarkan arus nominal generator sebesar 3,63 A , maka nilai arus diferensial minimum dari persamaan berikut:

$$I_{Sett} = 10\%\ x\ 3{,}63\ A$$
$$= 0{,}363\ A$$

Jadi arus minimum relai diferensial sebesar 0,363 A untuk membuat relai diferensial untuk bekerja mengirim perintah *trip* ke pemutus.

3.8 Perbandingan Data Setting Relai Dengan Hasil Perhitungan

Tabel 4. Perbandingan Data *Setting* Relai Aktual dan Hasil Perhitungan

Parameter	*Setting* relai aktual	Hasil perhitungan
Arus Nominal (I_n)	3,63 A	3,63 A
Arus *Setting* (I_{sett})	1,087 A	0,363 A
Slope 1	25%	0%
Slope 2	70%	0%

3.9 Perhitungan Arus Diferensial Saat Terjadi Hubung Singkat

Arus hubung singkat satu fasa ke tanah adalah arus hubung singkat terkecil yang dapat terjadi pada generator. Arus hubung singkat terjadi di area pengamanan relai

Jurnal Mesil (Mesin Elektro Sipil) **E-ISSN : 2723-7052**
Vol. 7, No.2, Desember 2026, Hal 1-15
https://doi.org/10.53695/jm.v7i2.1581

diferensial dengan diasumsikan arus yang mengalir pada sekunder CT_1 sebesar 7,9 A dan arus yang mengalir pada sekunder CT_2 sebesar 0 A. Arus diferensial dan arus bias dapat dihitung dengan persamaan seperti di bawah ini:

- Arus diferensial

$$I_{Diff} = \left|i_{sCT_1} - i_{sCT_2}\right|$$
$$= 7{,}9\ A - 0\ A$$
$$= 7{,}9\ A$$

- Arus bias

$$I_{Bias} = \frac{i_{sCT_1} + i_{sCT_2}}{2}$$
$$= \frac{7{,}9\ A + 0\ A}{2}$$
$$= 3{,}95\ A$$

Arus diferensial dan arus bias yang terjadi dikonversikan ke dalam karakteristik relai dalam satuan TAP, maka perhitungan arus diferensial dan arus bias dengan persamaan seperti dibawah ini:

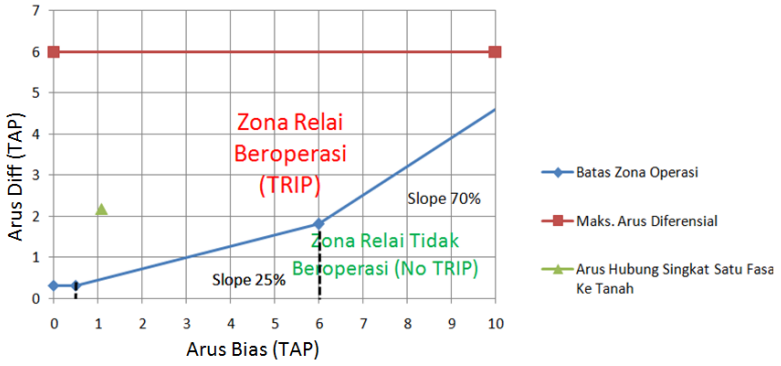
$$I_{Diff\ (TAP)} = I_{Diff\ (A)} \times \frac{1\ TAP}{I_{Nom\ (A)}}$$
$$= 7{,}9\ A \times \frac{1\ TAP}{3{,}63\ A}$$
$$= 2{,}18\ TAP$$
$$I_{Bias\ (TAP)} = I_{Bias\ (A)} \times \frac{1\ TAP}{I_{Nom\ (A)}}$$
$$= 3{,}95\ A \times \frac{1\ TAP}{3{,}63\ A}$$
$$= 1{,}09\ TAP$$

Pada saat terjadi arus hubung singkat satu fasa ke tanah, arus diferensial yang timbul sebesar 2,18 TAP dan arus bias sebesar 1,09 TAP. Berdasarkan karakteristik relai diferensial, maka dapat tentukan apakah relai akan bekerja atau tidak terhadap arus diferensial yang timbul akibat adanya arus hubung singkat dengan persamaan berikut:

$$Relai\ Trip = I_{Diff} > I_{sett} + (Slope\ 1\ x\ I_{Bias})$$
$$= 2{,}18\ TAP > 0{,}3\ TAP + (25\%\ x\ 1{,}09\ TAP)$$
$$Relai\ Trip = 2{,}18\ TAP > 0{,}5725\ TAP$$

Arus diferensial dan arus bias yang timbul dari arus hubung singkat satu fasa ke tanah, dimasukan koordinat ke dalam kurva karakteristik relai diferensial, dapat di tunjukan pada gambar 4.

Jurnal Mesil (Mesin Elektro Sipil) **E-ISSN : 2723-7052**
Vol. 7, No.2, Desember 2026, Hal 1-15
https://doi.org/10.53695/jm.v7i2.1581



Gambar 4. Koordinat Arus Hubung Singkat Satu Fasa Ke Tanah

Titik koordinat gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah berada pada zona operasi relai diferensial dimana relai akan bekerja untuk mengirim perintah *trip* ke sistem pemutus tenaga (*circuit breaker*).

3.10 Analisa

Berdasarkan data *setting* relai dan hasil perhitungan *setting* minimum relai deferensial dan hasil perhitungan serta hasil perhitungan arus diferensial dan arus bias yang timbul saat terjadi arus hubung singkat satu fasa ke tanah, dapat beberapa analisa sebagai berikut:

1. Terdapat beberapa perbedaan antara data *setting* relai secara aktual dan hasil perhitungan. Pada data *setting* aktual relai, arus diferensial operasi relai sebesar 1,087 A dengan nilai slope 1 sebesar 25% dan Slope 2 sebesar 70%. Pada hasil perhitungan sebesar 0,363 A. Dengan nilai slope 1 dan slope 2 sebesar 0%.
2. Arus hubung singkat tiga fasa pada sisi primer CT sebesar 2.228 A dan pada sisi sekunder CT sebesar 18,57 A.
3. Arus hubung singkat dua fasa pada sisi primer CT sebesar 1.872,40 A dan pada sisi sekunder CT sebesar 15,60 A.
4. Arus hubung singkat satu fasa ke tanah pada sisi primer sebesar 948,45 A dan pada sisi sekunder CT sebesar 7,9 A.
5. Arus hubung singkat satu fasa ke tanah menjadi arus gangguan terkecil dari beberapa jenis arus hubung singkat yang dapat terjadi pada generator.
6. Pada saat terjadi arus hubung singkat satu fasa ke tanah, arus diferensial yang timbul sebesar 7,9 A (2,18 TAP) dan arus bias sebesar 3,95 A (1,09 TAP).

4. KESIMPULAN

1. Arus gangguan hubung singkat tiga fasa sebesar 2.228 A dan arus yang mengalir ke sisi sekunder trafo arus sebesar 18,57 A.
2. Arus gangguan hubung singkat dua fasa sebesar 1.872,40 A dan arus yang mengalir ke sisi sekunder trafo arus sebesar 15,60 A.
3. Arus gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah sebesar 948,45 A dan arus yang mengalir ke sisi sekunder trafo arus sebesar 7,9 A.
4. Nilai slope adalah 0% dan nilai arus diferensial adalah 0 A. Nilai 0% dan 0 A disebabkan karena kedua trafo arus (CT) yang digunakan memiliki ratio yang sama.

5. Perhitungan *setting* relai diferensial diperoleh sebesar 10% dari nilai arus nominal generator yaitu 3,63 A, maka *setting* relai operasi arus diferensial sebesar 0,363 A. Hal ini berbeda dengan nilai *setting* operasi arus diferensial pada relai SEL 700G sebesar 1,089 A. Terjadinya perbedaan antara perhitungan *setting* relai secara teoritis dengan *setting* aktual pada relai, biasanya didasari beberapa pertimbangan saat melakukan input *setting* relai diferensial seperti tolerasi trafo arus, tingkat arus *inrush* (saturasi) trafo arus yang dapat menyebabkan arus diferensial palsu, dan kondisi dari kebutuhan sistem koordinasi proteksi lain seperti relai arus lebih atau relai gangguan pentanahan untuk memastikan hanya relai terdekat dengan gangguan yang akan beroperasi.
6. Arus hubung singkat satu fasa ke tanah menjadi arus hubung singkat terkecil yang berpotensi terjadi pada generator PLTMG PT. Freeport Indonesia.
7. Disaat terjadinya arus gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah yaitu sebesar 7,9 A pada sisi input generator dan dengan asumsi arus yang mengalir pada sisi output sebesar 0 A, maka akan terjadi arus diferensial sebesar 7,9 A (2,18 TAP) dan arus bias sebesar 3,95 A (1,09 TAP). Hal ini sudah cukup untuk membuat relai diferensial SEL 700G dengan *setting* relai diferensial sebesar 1,089 A (0,3 TAP) dan nilai slope 25% untuk bekerja dan mengirim sinyal perintah *trip* pada pemutus tenaga (*circuit breaker*).

DAFTAR PUSTAKA

[1] E. M. Moenif, *Pemeriksaan dan Pengujian Kelaikan Operasi Instalasi Pembangkit Tenaga Listrik*, Cetakan Ke. Pekanbaru, Riau: Dinas ESDM Provinsi Riau, 2008.

[2] U. Nurfaizi, Nazaruddin, and Yaman, "Studi Sistem Proteksi Diesel Engine Generator (DEG-350 KW) Menggunakan Over Current Relay PT. Pupuk Iskandar Muda," *J. Tektro*, vol. 06, no. 02, pp. 1–9, 2022.

[3] L. S. P. Juan L. R. Samola, Glanny M. C. Mangindaan, "Analysis of Differential Relay on Generator Unit 5 at Lahendong Geothermal Power Plant Units 5 and 6 (2X20 MW)," *J. Tek. Elektro dan Komput.*, vol. 9, pp. 1–8, 2023.

[4] A. Akmal and K. Abimanyu, "STUDI PENGATURAN RELAY ARUS LEBIH DAN RELAY HUBUNG TANAH PENYULANG TIMOR 4 PADA GARDU INDUK STUDI KASUS : GARDU INDUK DAWUAN," *J. INFOTRONIK*, vol. 2, no. 1, pp. 34–43, 2017.

[5] A. Rahim, "Studi Koordinasi Relai Arus Lebih Pada Sistem Proteksi," Universitas Hasanuddin, 2023.

[6] A. Susandi, S. Hardi, and P. Teknologi Rekayasa Pembangkit Energi Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Lhokseumawe, "Studi Penggunaan Rele Daya Balik Pada Generator 18 Mw Di Pltmg Pt. Sumberdaya Sewatama Sumbagut-2 Peaker," *J. Tektro*, vol. 05, no. 02, 2021.

[7] I. Chaerah Gunadin, Yustinus Upa Sombolayuk, and Caesar William Alexander, "Analisis Kinerja Relai Diferensial Pada Sistem Proteksi Transformator Daya PLTA Bakaru," *J. Eksitasi*, vol. 2, no. 2, pp. 1–13, 2023.

[8] A. P. Badaruddin, "ANALISA & OPTIMALISASI KOORDINASI RELLAY PROTEKSI," *Tektro*, vol. 19, pp. 187–194, 2015.

[9] T. M. R. Wahyudin SN, Retno Aita Diantari, "Analisa Proteksi Differensial Pada Generator," *J. Energi Kelistrikan*, vol. 9, no. 1, pp. 84–92, 2017, [Online]. Available: https://media.neliti.com/media/publications/269605-analisa-proteksi-

differensial-pada-gener-b4759d15.pdf

[10] F. Fahrizal, S. Subhan, and T. Hasanuddin, "Studi Kinerja Sistem Proteksi Generator Pada Pembangkit Listrik Tenaga Diesel Tapak Tuan," *J. TEKTRO*, vol. 06, no. 02, pp. 218–223, 2022, [Online]. Available: http://e-jurnal.pnl.ac.id/TEKTRO/article/view/3735%0Ahttp://e-jurnal.pnl.ac.id/TEKTRO/article/download/3735/2925