

Analysis of Differential Relay on Generator Unit 5 at Lahendong Geothermal Power Plant Units 5 and 6 (2X20 MW)

Juan L. R. Samola, Glanny M. C. Mangindaan, Lily S. Patras

Dept. of Electrical Engineering, Sam Ratulangi University Manado, Kampus Bahu St., 95115, Indonesia

E-mail : juansamola6@gmail.com, glanny_m@unsrat.ac.id, lily_spatras@unsrat.ac.id

Received: [date]; revised: [date]; accepted: [date]

Abstract—Generators play an important role in continuously supplying electricity to consumers while maintaining reliability. To ensure a dependable electrical distribution, an appropriate safety system is essential for safeguarding the electrical system against both internal and external fault. An example of such a safety measure is the utilization of a differential relay in a generator. This relay serves to protect the generator from winding faults, like phase-to-phase short circuits or phase-to-ground issues, which can potentially harm other components within the power plant. This study aims to determine the single-phase ground short-circuit current, three-phase short-circuit current, and set the parameters for the generator's differential relay. An ideal current transformer (CT) ratio of 2000:1 A is recommended for both the neutral and line sides with a permissible error of 1%. The three-phase short-circuit fault current is calculated to be 15,798.4027 A, with a differential current of 2.9763 A. Meanwhile, the single-phase ground short-circuit fault current measures 11,379.0489 A, with a differential current of 0.8483 A. The settings obtained confirm the accuracy of the generator's differential relay, ensuring its continued effectiveness.

Key words— Differential Relay; Generator; Short Circuit Current, Winding Fault

Abstrak— Generator memegang peranan penting dalam menyalurkan tenaga listrik ke konsumen, sehingga pembangkit harus mampu menghasilkan tenaga listrik secara kontinyu dan kondisi yang handal. Untuk menjamin keandalan dan kualitas distribusi energi listrik yang baik, sistem kelistrikan harus memiliki sistem keamanan yang sesuai untuk melindungi dari gangguan internal dan eksternal. Contoh pengamanan yang digunakan adalah penggunaan rele diferensial pada generator. Rele diferensial ini digunakan untuk melindungi generator dari kerusakan belitan seperti hubungan singkat fasa ke fasa atau fasa ke tanah. Arus hubung singkat yang besar dapat merusak bagian lain dari pembangkit listrik. Tujuan dilakukannya penelitian ini adalah untuk menghitung arus hubung singkat satu fasa ke tanah, arus hubung singkat tiga fasa, serta menghitung penyetelan rele diferensial pada generator. Besar rasio CT ideal yang digunakan baik disisi titik netral maupun disisi line adalah sebesar 2000:1 A dengan error mismatch sebesar 1%. Arus gangguan hubung singkat 3 fasa didapat nilai sebesar 15798.4027A dengan arus diferensialnya sebesar 2.9763 A. Sedangkan arus gangguan hubung singkat 1 fasa ke tanah didapat nilai sebesar 11,379.0489 A dengan nilai arus diferensialnya sebesar 0.8483 A. Dengan nilai setting yang didapat, dapat disimpulkan bahwa setting rele diferensial pada generator masih sesuai dan masih bisa digunakan. **Kata kunci** — Arus Hubung Singkat; Generator; Gangguan Pada Belitan; Rele Diferensial

I. PENDAHULUAN

Pembangkit listrik tenaga panas bumi adalah pembangkit yang memanfaatkan panas yang dihasilkan dari dalam bumi untuk menghasilkan listrik. Panas dari bumi digunakan untuk mengubah air menjadi uap dan uap tersebut digunakan sebagai penggerak turbin yang akan menggerakkan generator dan menghasilkan listrik[1].

Generator adalah alat yang mengubah energi mekanik dalam hal ini mengubah tekanan uap dari dalam bumi menjadi energi listrik [2]. Generator memiliki peranan penting dalam sistem tenaga listrik, sehingga dalam proses pembangkitan tenaga listrik, generator harus mampu menghasilkan tenaga listrik secara kontinyu dan dalam kondisi yang handal. Untuk menjamin keandalan dan kualitas distribusi energi listrik yang baik, sistem kelistrikan harus memiliki sistem keamanan yang sesuai untuk melindungi dari gangguan yang terjadi baik dari dalam maupun dari luar. Terutama untuk peralatan esensial seperti generator. Contoh pengamanan yang digunakan adalah penggunaan rele diferensial.

Rele diferensial ini digunakan untuk melindungi generator dari kerusakan akibat dari arus hubungan singkat fasa ke fasa atau fasa ke tanah [3]. Arus hubung singkat yang besar dapat menimbulkan arus yang besar sehingga dapat merusak bagian lain dari pembangkit listrik, bahkan dapat menimbulkan kebakaran atau ledakan sehingga peran rele diferensial sangat penting untuk melindungi dari kerusakan pada generator [4].

A. Generator

Generator adalah salah satu sumber utama dari semua energi listrik yang kita gunakan. Generator adalah perangkat yang memanfaatkan magnet untuk mengubah energi mekanik menjadi energi listrik melalui prinsip induksi elektromagnetik. Cara kerja generator didasarkan pada prinsip bahwa ketika suatu kumparan berputar dalam medan magnet, itu akan menghasilkan Gaya Gerak Listrik (GGL) induksi. Hukum Faraday menjelaskan bahwa jika terjadi perubahan dalam garis-garis medan magnet di sekitar kumparan kawat, maka akan menghasilkan GGL pada kawat tersebut. Jika kumparan ini terhubung ke dalam rangkaian tertutup, akan ada arus yang mengalir dalam rangkaian tersebut [5] [6] [7].

B. Sistem Proteksi Generator

Sistem proteksi adalah suatu rangkaian sistem yang dibuat untuk melindungi dan mengisolasi bagian-bagian dari suatu sistem atau peralatan yang rentan terhadap gangguan atau bahaya.

Tujuan utama dari sistem proteksi adalah untuk mencegah terjadinya gangguan atau untuk mematikan gangguan yang sudah terjadi, serta meminimalkan dampak yang dapat ditimbulkannya pada bagian-bagian lain dalam sistem. Salah satu metode umum yang digunakan dalam sistem proteksi adalah dengan mengisolasi bagian-bagian yang terkena gangguan sehingga gangguan tersebut tidak merambat atau mengganggu bagian lain dari sistem tersebut [8].

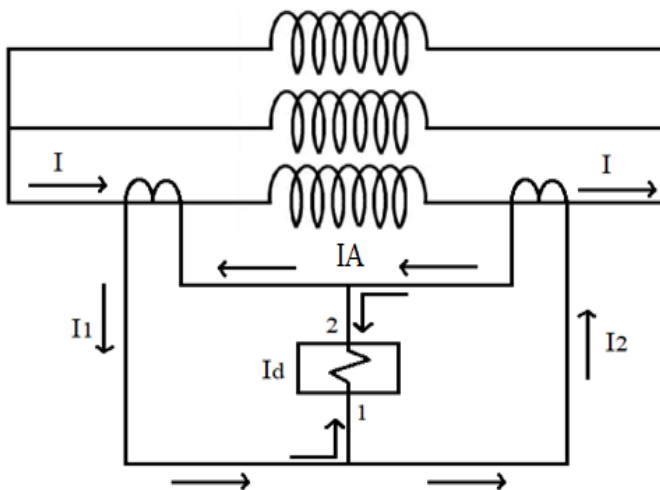
C. Syarat – syarat Sistem Proteksi

Ada beberapa syarat yang harus dipenuhi pada pemasangan suatu sistem proteksi dalam suatu rangkaian sistem tenaga listrik yaitu Sensitivitas (kepekaan), selektifitas dan diskriminatif, kecepatan, keandalan, ekonomis, dan sederhana [9].

D. Rele Diferensial

Rele diferensial adalah sebuah perangkat elektrik dalam sistem proteksi. Rele diferensial berfungsi saat terdapat perbedaan yang melebihi batas antara dua atau lebih besaran listrik sejenis [10]. Pada skema rangkaian rele diferensial, terdapat dua aliran arus yang berasal dari dua bagian berbeda dalam rangkaian tenaga listrik. Kedua aliran ini bertemu di titik pertemuan di mana koil rele terhubung. Sesuai dengan Hukum Arus Kirchoff, aliran listrik total yang mengalir melalui koil rele sebenarnya adalah hasil penjumlahan dari dua aliran yang berasal dari dua bagian rangkaian tenaga listrik yang berbeda [3] [11].

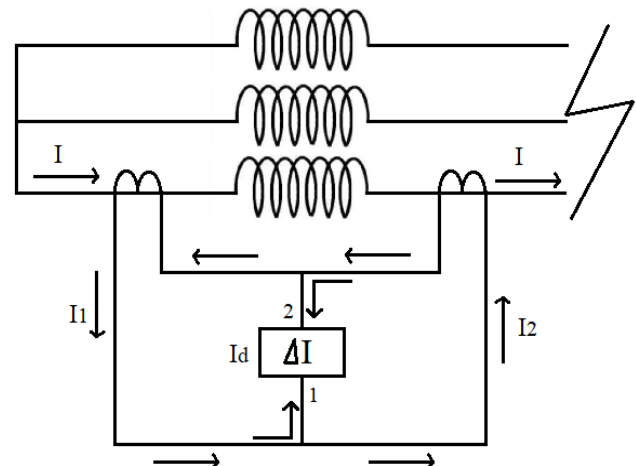
Dalam kondisi ketika terjadi gangguan di luar daerah proteksi, arus keluaran (arus sekunder) dari CT 1 dan CT 2 yaitu I_1 dan I_2 mengalir melalui jalur IA. Dalam keadaan ini, arus yang mengalir pada rele adalah $I_1 = I_2$. Jika relay pengaman dipasang antara terminal 1 dan terminal 2, maka ketika tidak ada gangguan yang terjadi diluar daerah pengaman, tidak akan ada arus yang masuk pada rele pengaman tersebut [12] seperti pada gambar dibawah ini :



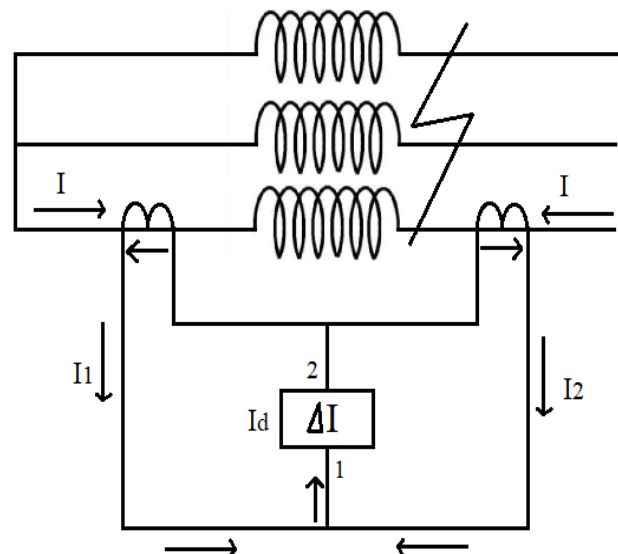
Gambar 1. Single Line Rele Diferensial dalam keadaan normal

Apabila gangguan terjadi di luar daerah yang dilindungi (external fault), maka aliran arus akan meningkat secara signifikan, sementara pola sirkulasi arus akan tetap sama seperti dalam kondisi normal. Dalam situasi semacam ini, rele diferensial tidak akan aktif ketika gangguan terjadi di luar peralatan yang diproteksi. Namun, ketika gangguan terjadi di daerah peralatan yang diproteksi (internal fault), hal ini akan mengakibatkan ketidakseimbangan, yang mengarah pada aliran arus I_d yang mengarah ke rele diferensial dari terminal 1 ke terminal 2 [13].

Selama arus yang terbaca dari kedua transformator arus tetap seimbang dalam besaran yang sama, arus tidak akan masuk ke kumparan kerja (operating coil) rele diferensial. Namun, setiap gangguan antar fase atau ke tanah yang mengakibatkan ketidakseimbangan dalam sistem akan menyebabkan arus masuk ke kumparan kerja rele diferensial. Akibatnya, rele diferensial akan aktif dan memberikan sinyal untuk memutus aliran listrik (tripping) pada circuit breaker (CB), sehingga peralatan atau instalasi listrik yang terganggu akan diisolasi dari sistem tenaga listrik [13] [14].



Gambar 2. Single Line Rele Diferensial ketika terjadi gangguan diluar daerah proteksi.



Gambar 3. Single Line Rele Diferensial ketika terjadi gangguan hubung singkat didalam daerah proteksi

E. Kesalahan Pengukuran CT (Error Mismatch CT)

Kesalahan pengukuran CT atau Error Mismatch CT adalah kesalahan dalam mengukur perbedaan arus pada kedua sisi generator [15]. Error Mismatch harus dijaga sekecil mungkin agar proteksi relay diferensial dapat bekerja secara efektif dalam melindungi generator. Untuk mencapai ini, kesensitifan dari relay diferensial dalam mendeteksi Error Mismatch tidak boleh melebihi 5% [16]. Error mismatch didapat dengan membandingkan rasio CT ideal dan rasio CT terpasang. Berikut adalah persamaannya :

$$\text{Error Mismatch} = \frac{\text{rasio CT ideal}}{\text{rasio CT terpasang}} \times 100\% \quad (1)$$

Untuk menghitung nilai rasio CT ideal, digunakan persamaan berikut :

$$\text{Rasio CT (ideal)} = \text{rasio CT} \times \frac{V_p}{V_s} \quad (2)$$

Dimana :

Rasio CT (ideal) = Rasio transformator arus ideal

Rasio CT = Rasio transformator arus terpasang

V_p = Tegangan Sisi Netral Generator (V)

V_s = Tegangan Sisi Line Generator (V)

F. Arus Keluaran dari CT (Arus Sekunder CT)

Arus sekunder adalah arus yang dikeluarkan oleh transformator arus dengan persamaan :

$$i = \frac{1}{\text{rasioCT}} \times I_n \quad (4)$$

Dimana :

i = Arus keluaran dari CT (Arus Sekunder) (A)

I_n = Arus maksimum yang dihasilkan generator (A)

Rasio CT = nilai rasio trafo arus (A)

G. Arus Penahan (Restrain)

Arus restrain adalah arus penahan yang bekerja dengan membandingkan arus diferensial aktual yang diukur oleh relai dengan nilai arus referensi (biasanya ditentukan sebagai rasio arus diferensial tertentu).

Jika perbedaan antara arus diferensial aktual dan nilai referensi ini melebihi ambang batas yang ditentukan, relai diferensial akan menganggap itu sebagai tanda adanya gangguan dan memutuskan daya. Namun, jika perbedaannya kecil dan dianggap sebagai perubahan normal dalam operasi sistem, arus restrain akan membantu relai untuk tidak memicu trip yang tidak perlu. Arus restrain dapat dihitung dengan persamaan :

$$I_r = \frac{i_1 + i_2}{2} \quad (5)$$

Dimana :

I_r = Arus Penahan (A)

i_1 = Arus keluaran CT1 (A)

i_2 = Arus keluaran CT2 (A)

H. Arus Diferensial

Arus diferensial adalah perbedaan arus yang dibaca CT di sisi line dan sisi netral generator. Jika tidak ada gangguan atau beban seimbang, arus diferensialnya nol atau mendekati nol. Jika terjadi gangguan didalam daerah proteksi rele diferensial, perbedaan arus disisi line dan disisi netral generator akan berbeda. Arus diferensial dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$I_d = |i_1 - i_2| \quad (6)$$

Berdasarkan persamaan diatas, arus diferensial yang diukur bernilai absolut untuk memastikan bahwa rele tidak terganggu oleh polaritas arus dan dapat mendeteksi gangguan dengan sensitivitas yang konsisten.

I. Slope

Slope (kemiringan) dalam konteks proteksi relai diferensial diperoleh dengan membagi nilai dari arus diferensial dengan arus restrain atau penahan. Slope 1 digunakan untuk menentukan arus diferensial dan arus restrain dalam kondisi normal. Ini memastikan sensitivitas relay saat terjadi gangguan internal dengan arus gangguan yang kecil. Dengan kata lain, Slope 1 mengatur berapa besar perbedaan antara arus diferensial dan arus penahan yang diperlukan agar relay mengenali gangguan. Sedangkan Slope 2 memiliki tujuan yang berbeda, yaitu untuk mencegah relay bekerja ketika terjadi gangguan diluar daerah pengaman atau yang sangat besar, yang dapat menyebabkan salah satu transformator arus mengalami saturasi . Slope dapat dihitung dengan persamaan :

$$\text{slope} = \frac{I_d}{I_r} \times 100\% \quad (7)$$

Dimana :

I_d = Arus Diferensial (A)

I_r = Arus Penahan (A)

slope = Setting Kemiringan (%)

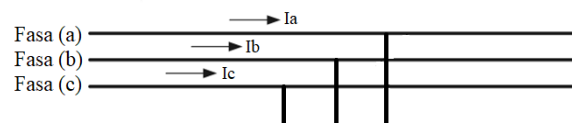
J. Arus Setting Rele Diferensial

Arus Setting adalah nilai ambang atau parameter yang menentukan apakah rele diferensial akan bekerja atau tidak. Rele akan bekerja men-tripkan jaringan jika arus diferensial nilainya melebihi arus setting. Dalam seting rele diferensial, digunakan persamaan :

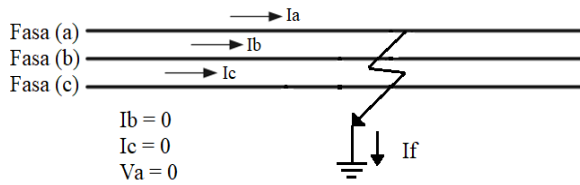
$$\text{Setting rele diferensial} = \text{Kesalahan Generator (\%)} + \text{Slope (\%)} + \text{Nilai Missmatch (\%)} + \text{Error CT (\%)} + \text{Toleransi (\%)} \quad (8)$$

K. Gangguan Hubung Singkat

Gangguan hubung singkat, atau yang sering disebut sebagai gangguan arus hubung singkat, adalah suatu kondisi di mana konduktor - konduktor listrik dalam sebuah sistem listrik, seperti kabel, busbar, atau peralatan listrik, secara tidak sengaja terhubung secara langsung. Akibatnya, hal ini menyebabkan meningkatnya aliran arus dan tidak terkontrol melalui jalur tersebut [17] [18].



Gambar 4. Gannguan Hubung Singkat 3 Fasa



Gambar 5. Gangguan Hubung Singkat 1 Fasa Ke Tanah

1) Gangguan Hubung Singkat Tiga Fasa

Gangguan hubung singkat 3 fasa merupakan kondisi dimana terjadi kontak antara tiga penghantar listrik dalam sistem 3 fasa [18] dengan persamaan :

$$I_{f\ p.u} = \frac{V_f}{Z_1} \quad (9)$$

Dimana :

- V_f = Tegangan yang muncul ketika terjadinya gangguan
 Z_1 = impedansi per-unit urutan positif
 $I_{f\ p.u}$ = Arus gangguan dalam per-unit

2) Gangguan Hubung Singkat Satu Fasa ke Tanah

Gangguan hubung singkat 1 fasa ke tanah adalah kondisi dimana terjadi kontak antara penghantar listrik 1 fasa dengan tanah pada sistem 3 fasa [18] dan dapat dihitung dengan persamaan

$$I_{f\ p.u} = \frac{V_f}{Z_0 + Z_1 + Z_2} \quad (10)$$

Dimana :

- V_f = Tegangan yang muncul ketika terjadinya gangguan
 Z_0 = impedansi per-unit urutan nol
 Z_1 = impedansi per-unit urutan positif
 Z_2 = impedansi per-unit urutan negative
 $I_{f\ p.u}$ = Arus gangguan dalam per-unit

II. DATA DAN PERHITUNGAN

A. Data Spesifikasi Peralatan DI PLTP Unit 5

1) Spesifikasi Generator Unit 5

Di PLTP Lahendong Unit 5 menggunakan generator sinkron dengan spesifikasi seperti pada Tabel I.

No.	Uraian	Data Teknis
1.	Output	25.300 kVA
2.	Voltage	11 kV
3.	Current	1.328 A
4.	Power Factor	0.85
5.	Frequency	50 Hz
6.	Speed	3.000 rpm
7.	X''_d	0.13 pu
8.	X''_q	0.14 pu
9.	X_0	0.08 pu
10.	X_0 sistem	0.08 pu

(Sumber : PT. Pertamina Geothermal Energy Lahendong)

2) Spesifikasi Main Transformator Unit 5

Di PLTP Lahendong Unit 5 menggunakan transformator dengan spesifikasi seperti pada Tabel II.

Rated Power	26 MVA
Rated Voltage	150 / 11 kV
Vector Group	YNd5
Impedance	0.125 pu
X_0	0.04 pu

(Sumber : PT. Pertamina Geothermal Energy Lahendong)

3) Spesifikasi Rele Diferensial

Pada generator unit 5, digunakan rele diferensial dengan spesifikasi seperti pada tabel III.

No.	Uraian	Data Teknis
1.	Is1	10mA
2.	k1	5%
3.	Is1	0.1A
4.	k2	10%

(Sumber : PT. Pertamina Geothermal Energy Lahendong)

4) Spesifikasi Transformator Arus

Transformator arus yang dipasang disisi netral generator dan disisi line generator memiliki spesifikasi seperti pada tabel IV.

No	Uraian	Rasio	Tipe	Beban	Hubungan Belitan
1	Sisi Line	2000/1	5P20	30 VA	Y
2	Sisi Netral	2000/1	5P20	30VA	Y

(Sumber : PT. Pertamina Geothermal Energy Lahendong)

B. Menghitung Gangguan Hubung Singkat

Menghitung Gangguan Hubung Singkat 3 Fasa

Beban penuh generator :

$$I_n = \frac{S}{\sqrt{3} \times V}$$

$$I_n = \frac{25300000}{\sqrt{3} \times 11000} = 1.328 \text{ A}$$

Beban arus penuh pada CT sekunder :

$$\frac{1}{2000} \times 1.328 = 0,664 \text{ A}$$

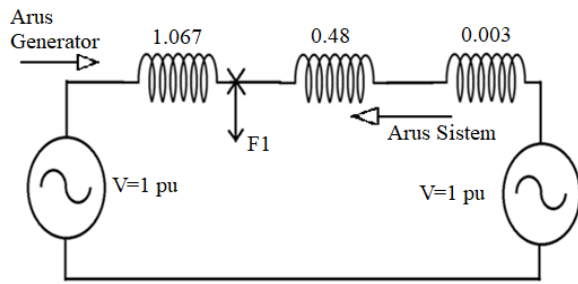
Impedansi berdasarkan base 100 MVA :

$$X_g = 0.27 \times \frac{100}{25.3} = 1.067 \text{ pu}$$

$$X_T = 0.125 \times \frac{100}{26} = 0.48 \text{ pu}$$

$$X_{sys} = 0.003 \text{ pu}$$

$$I_{base} = \frac{kVA}{\sqrt{3} \times kV} = \frac{100000}{\sqrt{3} \times 11} = 5.248,6388 \text{ A}$$



Gambar 6. Diagram Fasa Urutan Positif

Impedansi pengganti :

$$\frac{1.067 \times (0.48 + 0.003)}{1.067 + 0.48 + 0.003} = \frac{0.515}{1.55} = 0.3322 \text{ pu}$$

Arus gangguan hubung singkat 3 fasa pada titik gangguan :

$$I_f = \frac{Vf}{Z_1} = \frac{1}{0.3322}$$

$$I_{f \text{ p.u.}} = 3.01 \text{ pu}$$

$$I_f = I_{f \text{ p.u.}} \times I_{base}$$

$$I_f = .01 \times 5248.6388 = 15.798,4027 \text{ A}$$

Arus hubung singkat dari generator :

$$\frac{1.067}{1.067 + 0.48 + 0.003} \times 15798.4027 = 10.875,4165 \text{ A}$$

Sisi sekunder CT :

$$\frac{1}{2000} \times 10.875,4165 = 5,4377 \text{ A}$$

Arus hubung singkat dari system :

$$\frac{0.48 + 0.003}{1.067 + 0.48 + 0.003} \times 15.798,4027 = 4.922,9861 \text{ A}$$

Sisi sekunder CT :

$$\frac{1}{2000} \times 4.922,9861 = 2,4614 \text{ A}$$

Arus yang mengalir pada kumparan kerja :

$$5,4377 - 2,4614 = 2,9763 \text{ A}$$

Menghitung gangguan hubung singkat 1 fasa ke tanah

$$Z_1 = Z_2 = 0.3322 \text{ pu}$$

Impedansi urutan nol berdasarkan base 100 MVA :

$$X_{0g}: 0.08 \times \frac{100}{25.3} = 0.316 \text{ pu}$$

$$X_{0T} = 0.04 \times \frac{100}{26} = 0.154 \text{ pu}$$

$$X_{0 \text{ sys}} : 0.08 \text{ pu}$$

$$I_{base} = \frac{kVA_{basis}}{\sqrt{3} \times kV}$$

$$= \frac{100000}{\sqrt{3} \times 11} = 5.248,6388 \text{ A}$$

Impedansi urutan nol pengganti :

$$Z_0 = \frac{0.316 \times (0.154 + 0.08)}{0.316 + 0.154 + 0.08} = \frac{0.074}{0.55}$$

$$Z_0 = 0.1345 \text{ pu}$$

Arus gangguan hubung singkat 1 fasa ke tanah pada titik gangguan :

$$I_{f \text{ p.u.}} = \frac{Vf}{Z_1 + Z_2 + Z_0} = \frac{\sqrt{3}}{0.3322 + 0.3322 + 0.1345}$$

$$I_{f \text{ p.u.}} = \frac{\sqrt{3}}{0.7989}$$

$$I_{f \text{ p.u.}} = 2.168 \text{ pu}$$

$$I_f = I_{f \text{ p.u.}} \times I_{base}$$

$$I_f = 2.168 \times 5.248.6388 = 11.379,0489 \text{ A}$$

Arus Hubung Singkat dari Generator :

$$\frac{0.316}{0.316 + 0.154 + 0.08} \times 11.379,0489 = 0,5745 \times 11.379,0489$$

$$= 6.537,2636 \text{ A}$$

Sisi sekunder CT 1:

$$\frac{1}{2000} \times 6.537,2636 = 3,2686 \text{ A}$$

Arus hubung singkat dari system :

$$\frac{0.154 + 0.08}{0.316 + 0.154 + 0.08} \times 11.379,0489$$

$$= 0.4254 \times 11.379,0489$$

$$= 4.840,6474 \text{ A}$$

Sisi sekunder CT 2 :

$$\frac{1}{2000} \times 4.840,6474$$

$$= 2,4203 \text{ A}$$

Arus yang mengalir ke kumparan kerja adalah :

$$3,2686 - 2,4203 = 0,8483 \text{ A}$$

C. Perhitungan Setting Rele Diferensial

1) Arus Nominal Generator :

$$I_n = \frac{S}{\sqrt{3} \times V}$$

$$I_n = \frac{25300000}{\sqrt{3} \times 11000}$$

$$I_n = 1.328 \text{ A}$$

Jadi, untuk arus nominal generator adalah 1.328 A.

2) Perhitungan Error Mismatch

$$\text{Rasio CT (ideal)} = \text{rasio CT2} \times \frac{V_p}{V_s}$$

$$= \frac{2000}{1} \times \frac{11000}{11000}$$

$$= \frac{2000}{1} = 2000$$

$$\text{Error Mismatch} = \frac{2000:1}{2000:1}$$

$$\text{Error Mismatch} = 0\%$$

3) Menghitung Arus Sekunder CT 1 dan CT 2

$$i_{1\&2} = \frac{1}{2000} \times 1.328$$

$$i_{1\&2} = 0,664 \text{ A}$$

4) Menghitung Arus Diferensial

$$I_d = |i_1 - i_2|$$

$$= |0,664 - 0,664|$$

$$= 0 \text{ A}$$

5) Menghitung Arus Restrain

$$I_r = \frac{i_1 + i_2}{2}$$

$$I_r = \frac{0,664 + 0,664}{2}$$

$$I_r = \frac{1,328}{2}$$

$$I_r = 0,664 \text{ A}$$

6) Menghitung Persen Slope

$$\text{Slope 1} = \frac{I_d}{I_r} \times 100\% = \frac{0}{0,664} \times 100\% = 0\%$$

$$\text{Slope 2} = 2 \times \text{slope 1}$$

$$= 2 \times 0 = 0\%$$

7) Setting Rele Diferensial

Dari hasil perhitungan yang dilakukan, telah diketahui nilai dari slope dan error mismatch yaitu 0%. Maka dihitung setting rele diferensial dengan menggunakan persamaan (7).

$$\text{Setting rele diferensial} = 5\% + 0\% + 5\% + 0\% + 5\%$$

$$= 15\%$$

Diambil 15% dari nilai arus gangguan hubung singkat terkecil yang mengalir ke kumparan kerja yaitu arus gangguan hubung singkat 1 fasa ke tanah :

$$0,8483 \times 15\% = 0,127245 \text{ A}$$

III. HASIL DAN ANALISA

A. Hasil Perhitungan

Berdasarkan perhitungan – perhitungan yang sudah dilakukan berdasarkan data yang didapat, diperoleh hasil sebagai berikut :

TABEL III
Hasil Perhitungan

No	Jenis Perhitungan	Hasil
1	Arus Nominal Generator	1.328 A
2	Error Mismatch	0%
3	Arus Sekunder CT 1 dan CT 2	0,664 A
4	Arus Diferensial	0 A
5	Arus Restrain	0,664 A
6	Slope	0%
7	Gangguan Hubung Singkat 3 Fasa	15.798,4027 A
8	Arus Diferensial Gangguan Hubung Singkat 3 Fasa	2,9763 A
9	Gangguan Hubung Singkat 1 Fasa Ke Tanah	11.379,0489 A
10	Arus Diferensial Gangguan Hubung Singkat 1 Fasa Ke Tanah	0,8483
11	Setting Arus Diferensial	0,127245 A

B. Analisa

Gangguan hubung singkat yang terjadi pada generator dapat disebabkan karena kegagalan isolasi, kontaminasi kotoran, kelembapan, stres mekanis, kegagalan sistem pendingin, gangguan fisik, faktor lingkungan dan kurangnya pemeliharaan. Untuk mengurangi kerusakan dari gangguan, maka di perlukan rele proteksi salah satunya rele diferensial.

Rele diferensial ini digunakan sebagai proteksi generator apabila gangguan hubung singkat terjadi di daerah proteksi rele diferensial generator. Rele diferensial ini bekerja dengan membandingkan arus sekunder CT1 dan arus sekunder CT2 yang dipasang di sisi line dan di sisi netral generator. Jika ada perbedaan arus dalam pembacaan arus di CT dan perbedaan arus tersebut melewati batas dari setting rele diferensial, maka rele diferensial akan bekerja dan memberikan sinyal trip kepada circuit breaker (CB).

Dalam perhitungan arus gangguan hubung singkat di generator unit 5 PLTP Lahendong, didapat nilai arus gangguan hubung singkat 3 fasa sebesar 15.798,4027 A dengan arus yang mengalir ke kumparan kerja sebesar 2,9763 A dan arus gangguan hubung singkat 1 fasa ke tanah sebesar 11.379,0489 A dengan arus yang mengalir ke kumparan kerja sebesar 0,8483 A.

Hasil dari perhitungan rele diferensial pada generator diperoleh error mismatch CT 0% dan slope 0%. Error mismatch dan slope generator harus mendekati 0% dikarenakan untuk memastikan tingkat akurasi yang tinggi agar proteksi generator dapat beroperasi secara andal dan dapat mendeteksi gangguan dengan tepat waktu.

Dari hasil perhitungan berdasarkan data - data dari generator unit 5 PLTP Lahendong unit 5 dan 6 menunjukkan bahwa nilai seting minimum sebesar 15%. Nilai setting rele diferensial didapat dari 15 % dari nilai arus hubung singkat terkecil dan arus hubung singkat yang terkecil adalah arus hubung singkat 1 fasa ke tanah ,maka 15% dari arus hubung singkat 1 fasa ke tanah sebesar 0,8483 A diperoleh hasil 0,127245 A. Seting rele diferensial yang dipasang sebesar 0,01 A, maka dengan arus sebesar 0,127245 A dapat membuat rele diferensial bekerja dan memberikan sinyal untuk trip pada circuit breaker (CB).

IV. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisa dan perhitungan, diambil kesimpulan bahwa nilai rasio CT ideal yang digunakan baik disisi titik netral maupun disisi line adalah sebesar 2000:1 A dengan error mismatch sebesar 0%. Arus gangguan hubung singkat 3 fasa didapat nilai sebesar 15.798,4027 A dengan arus diferensialnya sebesar 2,9763 A. Sedangkan arus gangguan hubung singkat 1 fasa ke tanah didapat nilai sebesar 11.379,0489 A dengan nilai arus diferensialnya sebesar 0,8483 A. Nilai minimum arus setting rele diferensial didapat nilai sebesar 0,127245 A. Dari hasil perhitungan tersebut, diketahui seting rele diferensial pada generator unit 5 di PLTP Lahendong Unit 5&6 sudah tepat. Karena seting rele diferensial yang terpasang pada generator unit 5 adalah 0,01 A, maka arus sebesar 0,127245 A sudah cukup untuk membuat rele diferensial bekerja.

B. Saran

Dalam melakukan analisa rele diferensial, gunakan software simulasi proteksi seperti software ETAP untuk mensimulasikan berbagai skenario gangguan - gangguan yang mungkin terjadi pada generator.

Pembahasan dan hasil analisa rele diferensial generator di PLTP Lahendong Unit 5&6 kiranya dapat menjadi referensi untuk pengujian yang akan dilakukan kedepannya dan untuk pengembangan penelitian ini kiranya dapat diaplikasikan pada pembangkit lain.

V. KUTIPAN

- [1] L. J. Dwiatmanto, "PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA PANAS BUMI (PLTP) DAN KENDALA PEMBANGUNANNYA," vol. 11, no. 1, 2015.
- [2] "Sahdev - Electrical Machines.pdf"
- [3] Y. Badruzzaman and F. Himawati, "Keandalan Rele Differential sebagai Pengaman Utama Transformator terhadap Gangguan Arus Hubung Singkat di GIS Randugarut," vol. 3, no. 3, 2014.
- [4] A. S. Sampeallo, N. Nursalim, and P. J. Fischer, "ANALISIS GANGGUAN HUBUNG SINGKAT PADA JARINGAN PEMAKAIAN SENDIRI PLTU BOLOK PT. SMSE (IPP) UNIT 3 DAN 4 MENGGUNAKAN SOFTWARE ETAP 12.6.0," *J. Media Elektro*, pp. 79–88, Apr. 2019, doi: 10.35508/jme.v8i1.1442.
- [5] W. Ardiyanto, "ANALISA RELAY DIFFERENSIAL PADA GENERATOR DI GAS TURBIN GENERATOR 1.2 PLTGU SEMARANG," 2020.
- [6] S. K. Sahdev, "Electrical Machines," 2018.
- [7] Z. Anthony, *GENERATOR SINKRON*. 2018.
- [8] R. T. Jurnal, "ANALISA PROTEKSI DIFFERENSIAL PADA GENERATOR DI PLTU SURALAYA," *Energi Kelistrikan*, vol. 9, no. 1, pp. 84–92, Nov. 2018, doi: 10.33322/energi.v9i1.51.
- [9] J. D. Glover, T. J. Overbye, and M. S. Sarma, *Power system analysis & design*, Sixth edition. Boston, MA: Cengage Learning, 2017.
- [10] L. Shintawaty, "SISTEM PROTEKSI PADA GENERATOR DI PLTG MUSI 2 PALEMBANG," vol. 2, no. 1, 2014.
- [11] D. Keumala, A. Bintoro, S. Salahuddin, and H. M. Yusdartono, "ANALISIS PENGGUNAAN RELE DIFFERENSIAL SEBAGAI PROTEKSI TRANSFORMATOR 66 MVA DI PLTMG SUMBAGUT 2 PEAKER POWER PLANT 250 MW," *J. Energi Elektr.*, vol. 9, no. 2, p. 9, May 2021, doi: 10.29103/jee.v10i1.4221.
- [12] MUHAMMAD ARFIANDA, "ANALISA PENGGUNAAN RELE DIFFERENSIAL SEBAGAI PROTEKSI PADA TRANSFORMATOR DAYA GARDU INDUK PAYA PASIR (PT. PLN PERSERO)," 2019.
- [13] I. Kartika F, "PENERAPAN RELE DIFFERENSIAL DI TRANSFORMATOR 30 MVA," *J. Ampere*, vol. 1, no. 2, p. 60, Feb. 2017, doi: 10.31851/ampere.v1i2.902.
- [14] D. E. Rofianto, E. A. Zuliari, and T. Wati, "Analisa Perencanaan Pemasangan Differential Relay Pada PT.Bramindo Niaga Pratama," 2019.
- [15] D. Amalia and E. Ariyanto, "OPTIMALISASI PENGUKURAN ARUS OLEH CURRENT TRANSFORMER UNTUK MEMINIMALISIR SUSUT ENERGI PADA PABRIK BAJA PT. INTI GENERAL YAJA STEEL DAERAH SEMARANG BARAT," *Gema Teknol.*, vol. 18, no. 1, p. 1, Oct. 2014, doi: 10.14710/gt.v18i1.8806.
- [16] A. Istimaroh and N. Hariyanto, "Penentuan Setting Rele Arus Lebih Generator dan Rele Diferensial Transformator Unit 4 PLTA Cirata II," 2013.
- [17] T. A. Al Qoyyimi, O. Penangsang, and N. K. Aryani, "Penentuan Lokasi Gangguan Hubung Singkat pada Jaringan Distribusi 20 kV Penyulang Tegalsari Surabaya dengan Metode Impedansi Berbasis GIS (Geographic Information System)," *J. Tek. ITS*, vol. 6, no. 1, pp. 66–71, Mar. 2017, doi: 10.12962/j23373539.v6i1.21297.
- [18] I. Kasikci, *Short Circuits in Power Systems: A Practical Guide to IEC 60909-0: A Practical Guide to IEC 60909*. Weinheim, Germany: Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, 2018. doi: 10.1002/9783527803378.



Juan Leronzo Renhard Samola, penulis adalah anak kedua dari tiga bersaudara, lahir di Tomohon, Sulawesi Utara pada tanggal 8 Mei 2002. Penulis menempuh pendidikan pertama di Sekolah Dasar Inpres Tondegesan pada tahun 2007 sampai 2013, setelah itu masuk ke Sekolah Menengah Pertama Negeri 1 Kawangkoan pada tahun 2013 sampai 2016, kemudian melanjutkan

pendidikan di Sekolah Menengah Atas Negeri 1 Tomohon pada tahun 2016 hingga lulus di tahun 2019. Pada tahun 2019 penulis memulai pendidikan di Universitas Sam Ratulangi, Fakultas Teknik, Jurusan Teknik Elektro dengan mengambil konsentrasi minat Teknik Tenaga Listrik pada tahun 2021. Dalam menempuh pendidikan, penulis telah melaksanakan Kerja Praktek di PT. Pertamina Geothermal Energy Area Lahendong divisi maintenance pada bulan September - November tahun 2022, dan mengikuti Kuliah Kerja Terpadu (KKT) pada bulan April 2023 pada KKT 134 Posko Munte, Kecamatan Tumpaan, Kabupaten Minahasa Selatan. Kemudian pada bulan Juni-Juli tahun 2023 melakukan penelitian dan pengambilan data di PT. Pertamina Geothermal Energy Lahendong. Penulis juga merupakan anggota Himpunan Mahasiswa Elektro Universitas Sam Ratulangi.