

Analisis Penyetelan Rele Diferensial Pada Generator Di PLTMG Kupang

Teresia Natalia Christi¹, Wellem F. Galla^{*12}, Agusthinus Sampeallo³

^{1,2,3}) Prodi Teknik Elektro / Fakultas Sains dan Teknik / Universitas Nusa Cendana Kupang

^{*})Corresponding author, email : wfridzg@staf.undana.ac.id

Abstrak	INFO.
Generator merupakan alat yang mengubah energi mekanik menjadi energi listrik. Salah satu bagian dari generator adalah belitan stator. Pada bagian belitan stator biasanya menjadi salah satu penyebab kerusakan generator, sehingga untuk mengamankan kerusakan tersebut, dipasang sistem proteksi pada belitan stator generator yaitu rele diferensial. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui penyetelan rele diferensial pada generator PLTMG Kupang dan untuk mengetahui kinerja dari rele diferensial akibat hubung singkat satu fasa ke tanah dan hubung singkat tiga fasa. Metode penelitian yang digunakan pada penelitian ini adalah metode deskriptif, yaitu dengan mengolah dan mendeskripsikan atau menggambarkan data yang telah diperoleh dari PLTMG Kupang. Hasil penyetelan rele diferensial pada Generator di Pembangkit Listrik Tenaga Minyak dan Gas (PLTMG) Kupang di dapatkan arus nominal 604 A, Arus sekunder 0,604 A, <i>Error mismatch</i> 1%, Arus penahan 0,604 A dan <i>Setting Slope</i> 12%. Maka hasil yang di dapatkan untuk penyetelan rele diferensial adalah 0,072 A. Arus hubung singkat satu fasa ke tanah dan tiga fasa di dapati hasil 3,831 A dan 1,417 A. maka rele akan bekerja karena melebihi arus penyetelan.	Info. Artikel: No. 014 Received. Jan 21, 2025 Revised. Jan 22, 2025 Accepted. Jan 30, 2025 Page. 108 –119
Abstract <i>One part of the generator is the stator winding. The stator winding is usually one of the causes of generator damage, so to secure the damage, a protection system is installed on the generator stator winding, namely a differential relay. The purpose of this study is to determine the differential relay settings on the Kupang PLTMG generator and to determine the performance of the differential relay due to single-phase short circuit to ground and three-phase short circuit. The research method used in this study is a descriptive method, namely by processing and describing or depicting data that has been obtained from the Kupang PLTMG. The results of the differential relay adjustment on the Generator at the Kupang Oil and Gas Power Plant (PLTMG) obtained a nominal current of 604 A, a secondary current of 0,604 A, an error mismatch of 1%, a holding current of 0,604 A and a slope setting of 12%. So the results obtained for the differential relay adjustment are 0.072 A. The short circuit current of one phase to ground and three phases were obtained at 3,832 A and 1,417 A. then the relay will work because it exceeds the adjustment current.</i>	Kata kunci: ✓ Rele diferensial ✓ Sistem proteksi ✓ Generator

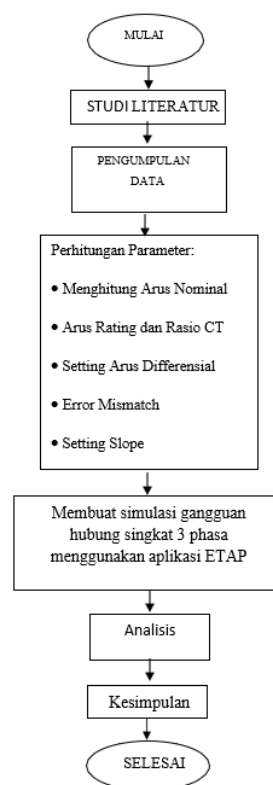
PENDAHULUAN

Pembangkit listrik adalah sekumpulan peralatan dan mesin yang dipakai untuk memproduksi dan membangkitkan tenaga listrik dari berbagai sumber tenaga. Pembangkit listrik sangat berperan dalam penyaluran listrik terhadap konsumen, dimana pembangkit harus tetap dalam keadaan kontinyu dan dalam keadaan handal. karenanya diperlukan proteksi dalam mencegah terjadinya gangguan-gangguan di pembangkit. Salah satu peralatan utama pembangkit listrik ialah Generator. Generator merupakan alat yang bisa menghasilkan listrik. Generator merupakan alat yang mengubah energi mekanik menjadi energi listrik. Salah satu bagian dari generator adalah belitan stator. Pada bagian belitan stator biasanya menjadi salah satu penyebab kerusakan generator, sehingga untuk mengamankan kerusakan tersebut, dipasang sistem proteksi pada belitan stator generator yaitu rele diferensial[1].

Rele diferensial merupakan suatu rele yang prinsip kerjanya berdasarkan keseimbangan (*balance*), yang membandingkan arus-arus sekunder transformator arus (CT1) & (CT2) yang terpasang pada terminal-terminal peralatan atau instalasi listrik yang diamankan[1].

METODE PENELITIAN

Adapun metode penelitian yang digunakan pada penelitian ini adalah metode deskriptif, yaitu dengan mengolah dan mendeskripsikan atau menggambarkan data yang telah diperoleh dari PLTMG Kupang. Data yang didapatkan kemudian diolah untuk mengetahui penggunaan rele diferensial, menyetting rele diferensial serta membuat simulasi proteksi rele diferensial pada generator di PLTMG Kupang, berikut tahapan- tahapan yang digunakan dengan metode. Beberapa langkah-langkah yang dilakukan dalam penelitian ini dapat dilihat pada gambar 1.



Gambar 1. Metode Penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pembahasan ini meliputi; Pengumpulan data-data, Perhitungan penyetelan rele diferensial, dan Perhitungan arus hubung singkat. Berikut adalah data-data yang dipakai dalam analisis :

1. Data Generator

Tabel 1 Data Generator PLTMG Kupang

Merk	ABB
Kecepatan	750 Rpm
Daya	11.505 kVA
Arus	604 A
Tegangan	11 KV
Frekuensi	50 Hz
Koneksi	Star
Faktor Daya	0.85
Fasa	3 fasa
Tegangan Eksitasi	56 V
Zg	0,183 pu
Z0	0,082 pu

2. Data Transformator

Tabel 2 Data Transformator

Merk	ABB
Tegangan Primer	150 KV
Tegangan Sekunder	11 KV
Daya	30 MVA
Fasa	3 fasa
Frekuensi	50 Hz
ZT	0,1129 pu
Z0	0,07 pu
Zst sistem	0,092 pu
Zs0 sistem	0,08

3. Data Rele Differential

Tabel 3 Data Rele Differential

Pabrik	ABB
Type	RADHA
Pengenal I	5A
Penghantar	GTG 1.2
Ratio Kedua CT	5000/5

Perhitungan Penyetelan Rele Diferensial

1. Perhitungan Arus Nominal Generator dikedua Sisi CT

Perhitungan arus nominal merupakan arus yang dihasilkan oleh generator dan arus yang akan masuk ke sisi primer CT. Arus keluaran dari CT berbeda dari arus pengenalan pada beban pengenalan generator. Rasio transformasi CT dapat diperbaiki di kedua sisi generator dengan pengaturan unit yang dilindungi. Pertama, arus utama generator harus dihitung (di kedua sisi) ketika daya nyata dan tegangan antar fasa diketahui, maka didapat rumus :

$$I_n = \frac{S}{\sqrt{3}xV} \dots\dots\dots (1)$$

Keterangan :

I_n : Arus nominal (A)

S : Daya Generator (KVA)

V : Tegangan generator (KV)

Mencari perhitungan arus nominal pada generator :

$$I_n = \frac{11.505}{\sqrt{3 \times 11}} \\ = 604 \text{ A}$$

Jadi untuk nilai arus nominal generator adalah 604 A

2. Perhitungan Arus Sekunder Kedua CT

Perhitungan ini akan mengetahui arus sisi sekunder kedua CT karena rasionya sama, untuk rumusnya yaitu

$$I_{sct} = \frac{I_n}{Ratio_{CT}} \dots\dots\dots (2)$$

Keterangan :

I_{sct} : Arus sekunder CT

$$= \frac{604}{5000/5} \\ = 0,604 \text{ A}$$

Jadi nilai hasil perhitungan arus sekunder kedua CT adalah 1.044 A

3. Perhitungan Error Mismatch

Pengaturan pengambilan arus diferensial harus menghindari arus ketidakseimbangan maksimum dalam kondisi beban normal terutama disebabkan oleh kesalahan CT. Kesalahan CT harus kurang dari 5% (Le & Vu, 2019).

Perhitungan dengan pembagian CT ideal dengan CT terpasang, dengan rumus sebagai berikut :

$$Error \text{ Mismatch} = \frac{CT \text{ Ideal}}{CT \text{ Terpasang}} \dots\dots\dots (3)$$

Perhitungan CT ideal sebagai berikut :

$$= \frac{CT \ 1}{CT \ 2} = CT1=CT2 \text{ dikarenakan arus yang masuk satu arah} \dots\dots\dots (4)$$

Keterangan :

CT ideal : Trafo arus yang ideal (A)

CT 1 : CT Terpasang : Arus sisi primer pada data CT (A)

CT 2 : Arus sisi sekunder (A)

V_g : Tegangan Generator (V)

Mencari perhitungan CT Ideal

$$CT1 \text{ Ideal} = CT2 = \frac{5000}{5} = 1000 \text{ A}$$

$$Error \text{ Mismatch} = \frac{1000}{5000/5} = 1 \%$$

Jadi nilai hasil perhitungan didapat CT1 ideal sebesar 1000 A, kemudian untuk nilai eror mismatch CT1 sebesar 1 %. Karena rasio kedua CT sama maka untuk nilai CT2 ideal dan nilai eror mismatch CT2 nilainya sama dengan CT1 ideal dan eror mismatch CT1.

4. Perhitungan Arus Differensial

Perhitungan dengan pengurangan antara arus sisi sekunder CT 1 dikurangi arus sisi sekunder CT 2, dengan rumus sebagai berikut :

$$I_d = |i_{SCT2}| - |i_{SCT1}| \dots\dots\dots (5)$$

Keterangan :

I_d : Arus differensial (A)

$|i_{SCT1}|$: Arus sisi primer CT 1 (A)

$|i_{SCT2}|$: Arus sisi sekunder CT 2 (A)

$$I_{d2} = \frac{1}{5000/5} \times 604 = 0,604 \text{ A}$$

Mencari perhitungan arus differensial :

$$I_d = 0,604 \text{ A} - 0,604 \text{ A} = 0 \text{ A}$$

Jadi nilai hasil perhitungan arus differensial adalah 0 A, karena rasio kedua CT sama.

5. Perhitungan arus penahan

Arus ini dihitung dengan cara penambahan dari hasil arus sisi sekunder CT 1 dan CT 2 dibagi dengan 2 sebagai berikut :

$$I_r = \frac{I_{SCT1} + I_{SCT2}}{2} \dots\dots\dots (6)$$

Keterangan :

I_r : Arus penahan

$|i_{SCT1}|$: Arus sisi sekunder CT 1 (A)

$|i_{SCT2}|$: Arus sisi sekunder CT 2 (A)

Mencari perhitungan arus penahan :

$$I_r = \frac{0,604 + 0,604}{2} \\ = 0,604 \text{ A}$$

Jadi nilai hasil perhitungan arus penahan adalah 0,604 A

6. Perhitungan Slope

Perhitungan *slope* dengan pembagian antara arus differensial dibagi arus penahan dikalikan 100%.

$$Slope_1 = \frac{I_d}{I_r} \times 100\% \dots\dots\dots (7)$$

$$= \frac{0}{0,604} \times 100\% = 0\%$$

$$Slope_2 = 2 \times Slope_1 \dots\dots\dots (8)$$

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

Keterangan :

I_d : Arus differensial (A)

I_r : Arus Penahan (A)

7. Perhitungan Penyetelan Rele

Setting slope = Kesalahan Generator (%) + Error Mismatch CT1 (%) +

$$\text{Error Mismatch CT2 (\%)} + \text{Toleransi (\%)} + \text{Slope (\%)} \dots\dots\dots (9)$$

$$= 5\% + 1\% + 1\% + 5\% + 0\% = 12\%$$

Jadi nilai hasil perhitungan *setting slope* adalah 12%.

Penyetelan rele differensial diambil dari nilai arus nominal generator yang terbaca trafo arus sebesar 5,2228 A kemudian dikalikan dengan *setting slope* sebesar 12%. Jadi untuk penyetelan rele differensial yaitu $I_{df} = 12\% \times 0,604 \text{ A} = 0,072 \text{ A}$.

Hasil untuk penyetelan rele differensial adalah 0,072 A, jika arus yang terdeteksi lebih dari arus penyetelan tersebut maka rele differensial akan bekerja.

Perhitungan Arus Hubung Singkat

- a. Perhitungan hubung singkat tiga fasa

$$I_n = \frac{S}{\sqrt{3} \times V} \dots\dots\dots (10)$$

$$I_n = \frac{11505 \text{ va}}{\sqrt{3} \times 11000 \text{ v}} = 604 \text{ A}$$

Beban arus penuh pada CT sekunder

$$\frac{1}{\frac{5000}{5}} \times 604 = 0,024 \text{ A}$$

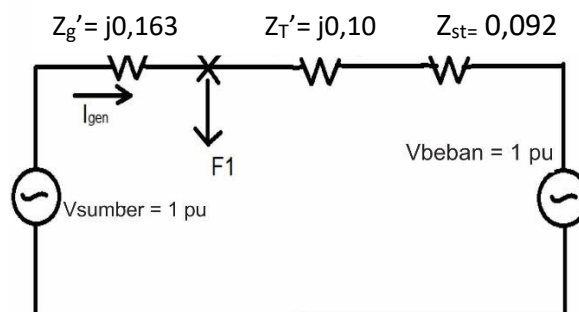
Mencari perhitungan impedansi urutan positif pada generator dan transformator berdasarkan basis 100 MVA yaitu :

$$Z_g' = j0,183 \times \frac{100 \text{ MVA}}{11.505 \text{ MVA}} = j0,163$$

$$Z_T' = j0,1129 \times \frac{100 \text{ MVA}}{30 \text{ MVA}} = j0,429$$

$$Z_{sys} = 0,092 \text{ pu}$$

$$I_b = \frac{100 \text{ MVA}}{\sqrt{3} \times 11 \text{ KV}} = 5248,64 \text{ A}$$



Gambar 2 Komponen urutan positif tiga fasa

Menghitung impedansi pengganti komponen urutan positif yaitu :

$$Z_1 = \frac{Z_g' \times (Z_T' + Z_{st})}{Z_g' + Z_T' + Z_{st}} \dots\dots\dots (11)$$

$$= \frac{0,163 \times (0,429 + 0,092)}{0,163 + (0,429 + 0,092)} = j0,092 \text{ pu}$$

Menghitung arus hubung singkat 3 fasa pada titik F1 dengan rumus sebagai berikut:

$$I_h = \frac{V_f}{Z_1} \dots\dots\dots (12)$$

Keterangan :

I_h = Arus hubung singkat (A)

V_f = Tegangan dititik gangguan = 1 pu

Z_1 = Impedansi pengganti komponen urutan positif (pu)

Mencari perhitungan arus hubung singkat 3 fasa pada titik F1 yaitu

$$I_h = \frac{1pu}{0,092 pu} = j10,869 pu$$

Menghitung arus hubung singkat 3 fasa pada arus basis 100 MVA yaitu

$$I_{hs} = I_b \times I_h \dots\dots\dots (13)$$

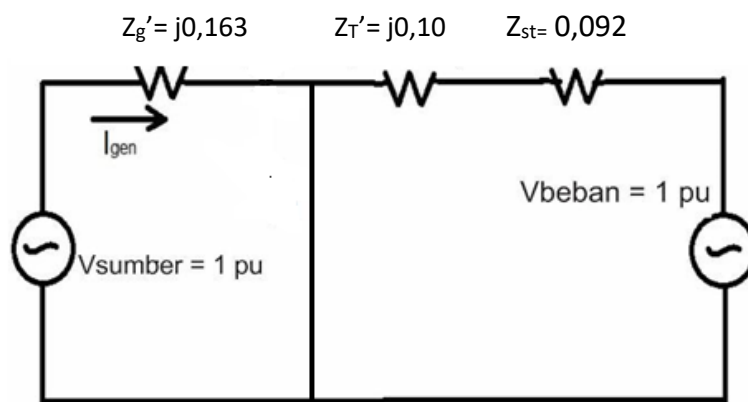
$$= 5248,64 \times 10,86 = 57000 A$$

Menghitung arus yang masuk ke sisi sekunder CT yaitu

$$i_{CT} = I_{hs} \times \text{ratio CT} \dots\dots\dots (14)$$

$$= 57000 \times 5/5000 = 57A.$$

Jadi nilai hasil perhitungan arus hubung singkat 3 fasa pada titik F1 adalah 57000 A dan untuk arus hubung singkat 3 fasa pada titik F1 yang masuk ke sisi sekunder CT adalah 57 A.



Gambar 3 Hubung singkat tiga fasa

$$I_{gen} = \frac{j0,192}{j0,355} \times j10,869$$

$$= j5,878 pu \times 5248,64 = 30851,505 A$$

$$I_{beban} = \frac{0,163}{0,355} \times 10,869$$

$$= j4,991 pu \times 5248,64 = 26195,962A$$

$$I_{gen} = 30851,505 \times \frac{5}{5000} = 30,851 A$$

$$I_{beban} = 26195,962 \times \frac{5}{5000} = 26,195 A$$

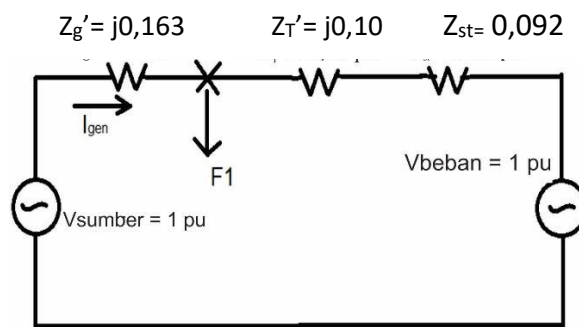
$$I_{df} = I_{gen} - I_{beban} = 30,851 A - 26,195 A = 4,656 A$$

b. Perhitungan Hubung Singkat Satu fasa ke tanah

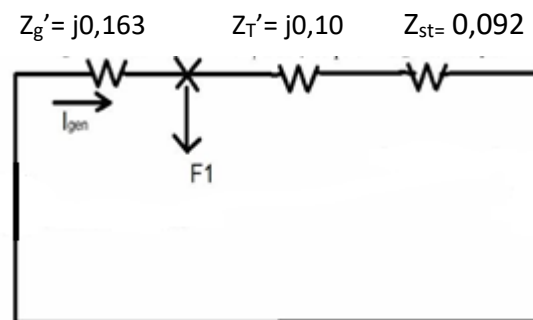
Diketahui : $Z_1 = Z_2 = j0,092 pu$

$$Z_{g0'} = Z_{g0} \times \frac{S_b}{S_g} \dots\dots\dots (15)$$

$$Z_{T0'} = Z_{T0} \times \frac{S_b}{S_g} \dots\dots\dots (16)$$



Gambar 4 Komponen urutan positif satu fasa ke tanah



Gambar 5. Komponen urutan negatif

Keterangan :

Z_{g0}' = Impedansi urutan nol generator berdasarkan basis (pu)

Z_{g0} = Impedansi urutan nol generator (pu)

Z_{T0}' = Impedansi urutan nol transformator berdasarkan basis (pu)

Z_{T0} = Impedansi urutan nol transformator (pu)

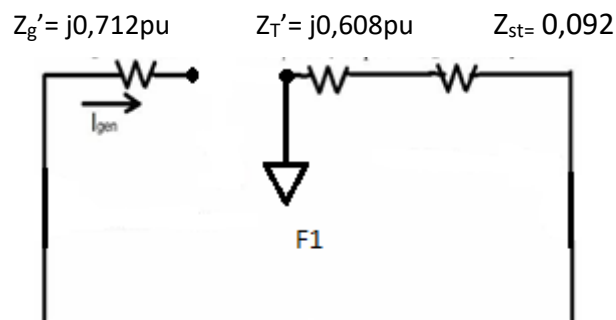
S_b = Daya basis (MVA)

S_g = Daya generator (MVA)

Mencari perhitungan arus hubung 1 fasa ke tanah pada titik F1 yaitu

$$Z_{g0}' = 0.082 \times \frac{100 \text{ MVA}}{11.5 \text{ MVA}} = 0,712 \text{ pu}$$

$$Z_{T0}' = 0.07 \times \frac{100 \text{ MVA}}{30 \text{ MVA}} = 0,608 \text{ pu}$$



Gambar 6. Komponen urutan nol

Dari gambar 4.5 di dapatkan $z_0 = z_g = 0,712 \text{ pu}$.

Menghitung arus hubung singkat 1 fasa ke tanah pada titik F1 dengan rumus sebagai berikut (Idris, 1993) :

$$I_h = \frac{V_f}{Z_1 + Z_2 + Z_0} \dots\dots\dots (17)$$

Keterangan :

I_h = Arus hubung singkat (A)

V_f = Tegangan dititik gangguan = 1 pu

Z_1 = Impedansi urutan positif (pu)

Z_2 = Impedansi urutan negatif (pu)

Z_0 = Impedansi urutan nol (pu)

Mencari perhitungan arus hubung 1 fasa ke tanah pada titik F1 yaitu

$$I_h = \frac{1pu}{j0,092 + j0,092 + j0,712}$$

$$= j 1,12 \text{ pu}$$

Mencari perhitungan arus hubung 1 fasa ke tanah pada titik F1 yaitu

$$I_{hs} = I_b \times I_h \dots\dots\dots (18)$$

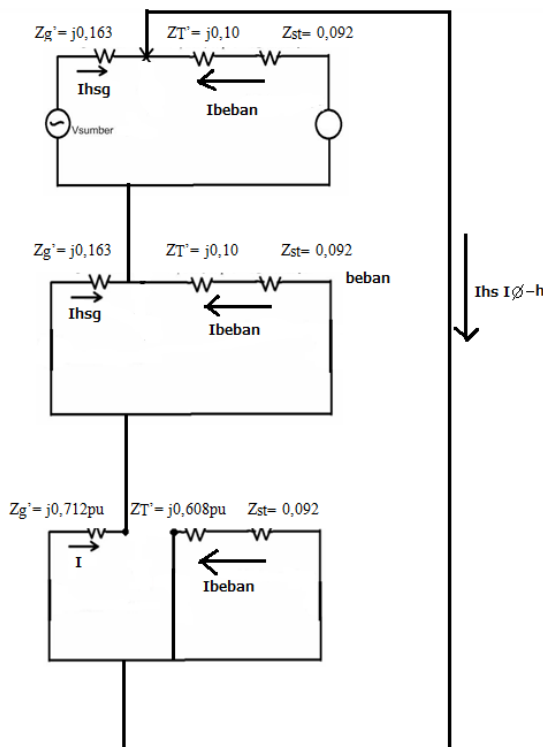
$$= j1,12 \times 5248,64$$

$$= 5878,477 \text{ A}$$

Menghitung arus yang masuk ke sisi sekunder CT yaitu

$$I_{ct} = 5878,477 \times \frac{5}{5000} = 5,878 \text{ A}$$

Jadi nilai hasil perhitungan arus hubung singkat 1 fasa ke tanah pada titik F1 adalah 5878,477 A dan untuk arus hubung singkat 1 fasa ke tanah pada titik F1 yang masuk ke sisi sekunder CT adalah = 5,878 A



Gambar 7 Hubung Singkat Saru Fasa Ke Tanah

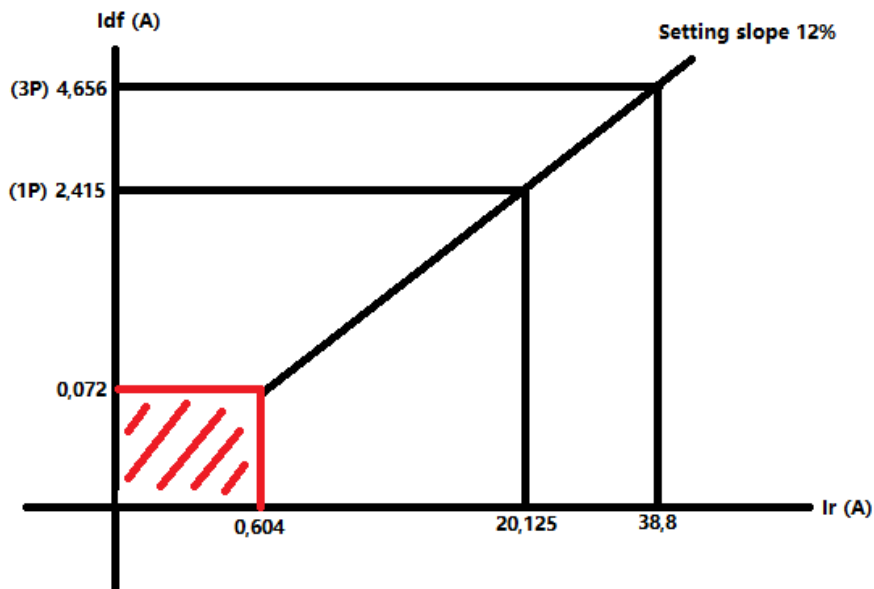
$$I_{\text{gen}} = \frac{0,384}{1,422} = 0,27 \text{ pu}$$

$$= 0,27 \text{ pu} \times 5248,64 \times \frac{5}{5000} = 1,417 \text{ A}$$

$$I_{\text{beban}} = \frac{1,038}{1,422} = 0,73 \text{ pu}$$

$$= 0,73 \text{ pu} \times 5248,64 \times \frac{5}{5000} = 3,832 \text{ A}$$

$$I_{\text{df}} = I_{\text{beban}} - I_{\text{gen}} = 3,832 \text{ A} - 1,417 \text{ A} = 2,415 \text{ A}$$



Gambar 8. Grafik setting rele diferensial dengan gangguan arus

Keterangan :

- I_{df} = arus diferensial
- I_r = arus penahan
- Arsiran merah/garis merah = daerah rele tidak bekerja
- Garis hitam = daerah rele bekerja
- 1P = arus hubung singkat satu fasa ke tanah (yang masuk ke rele diferensial)
- 3P = arus hubung singkat tiga fasa (yang masuk ke rele diferensial)

Gambar diatas adalah gambar grafik rele diferensial dengan arus gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah dan tiga fasa yang dirasakan rele diferensial dengan *setting slope* 12%.

Pembahasan

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 diperlukan 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).

Pada penyetelan rele differensial dipilih arus gangguan terkecil yaitu arus hubung singkat 1 fasa ke tanah yang mengalir ke trafo arus. Perhitungan penyetelan rele differensial diperoleh hasil perhitungan slope nya adalah 0% dan hasil perhitungan arus differensial adalah 0 A. Nilai 0% dan 0 A disebabkan karena kedua trafo arus (CT) generator memiliki rasio yang sama. Hasil perhitungan *setting slope* adalah 12%. Jadi penyetelan rele differensial diambil dari nilai arus nominal generator yang terbaca trafo arus sebesar 604 A kemudian dikalikan dengan 12%, sehingga hasil perkalian tersebut didapat sebesar 0,072 A. Pada perhitungan arus gangguan hubung singkat di generator PLTMG Kupang didapati arus hubung singkat pada generator yaitu arus hubung singkat 1 fasa ke tanah dan arus hubung singkat 3 fasa. Hasil perhitungan diperoleh arus hubung singkat 1 fasa ke tanah senilai 5878,477 A dan arus yang mengalir ke trafo arus senilai 5,878 A. perhitungan arus hubung singkat 3 fasa pada titik F1 adalah 57,000 A dan untuk arus hubung singkat 3 fasa pada titik F1 yang masuk ke sisi sekunder CT adalah 57 A. Setelah rele di setting dan di dapatkan hasil penyetelan kemudian diberikan gangguan arus hubung singkat tiga fasa dan satu fasa pada Generator. Hasil yang di dapatkan dari arus hubung singkat tiga fasa dari sisi primer dan sekunder adalah 30,851 A dan 26,195 A perbandingan dari sisi primer dan sekunder adalah 4,656 A. Karena perbedaan arus yang mengalir ke sisi primer dan sekunder melebihi batas arus setting rele maka rele diferensial akan bekerja. Begitu pula dengan memberikan arus hubung singkat satu fasa di dapatkan hasil yang berbeda yaitu sebesar 3,832 A untuk sisi primer dan 1,417 A untuk sisi sekunder. perbandingan dari sisi primer dan sekunder adalah 2,415 A. Maka rele akan bekerja karena melebihi arus yang disetting pada penyetelan rele diferensial.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perhitungan dari uraian diatas dengan penelitian di PLTMG Kupang diperoleh kesimpulan yaitu :

1. Hasil penyetelan rele diferensial pada Generator di Pembangkit Listrik Tenaga Minyak dan Gas (PLTMG) Kupang di dapatkan arus nominal 604 A, Arus sekunder 0,604 A, *Error mismatch* 1%, Arus penahan 0,604 A dan *setting Slope* 12%. Maka hasil yang di dapatkan untuk penyetelan rele diferensial adalah 0,072 A.
2. Arus hubung singkat satu fasa ke tanah dan tiga fasa di dapati hasil 3,832 A dan 1,417 A. maka rele akan bekerja karena melebihi arus penyetelan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada dosen pembimbing Bapak Wellem F. Galla, ST, MT dan Bapak Agusthinus Sampeallo, ST, MT yang membimbing dan memberi masukan kepada penulis selama penyusunan artikel ini, dan juga kepada Bapak Frans J. Likadja, ST, MT selaku penguji yang memberikan kritik dan saran kepada penulis sehingga penelitian ini dapat diselesaikan dengan baik.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Rohman, Ulul Fauzani. 2017. *Analisis Proteksi Rele Diferensial Pada Trafo Gardu Induk Konsumen Tegangan Tinggi Di Gardu Induk Semen Merah Putih Rembang*.
- [2] Bahar Wahyudi, Ansyar, and Mohd. Razlan Anas Bin Mohd. 2018. "Studi Sistem Proteksi Generator Pada PLTU Jeneponto." : 1–23.
- [3] Fahrizal, F, S Subhan, and T Hasanuddin. 2022. "Studi Kinerja Sistem Proteksi Generator Pada Pembangkit Listrik Tenaga Diesel Tapak Tuan." *Jurnal TEKRO* 06(02): 218–23. <http://e-jurnal.pnl.ac.id/TEKTRO/article/view/3735%0Ahttp://e-jurnal.pnl.ac.id/TEKTRO/article/download/3735/2925>.

- [4] Febriana, Fitri, and Supri Hardi. 2022. "Analisis Sistem Kontrol Dan Instrumentasi Preheater Pada Engine Di Pt. Sumberdaya Sewatama Sumbagut 2 Peaker 250 Mw." 224 *Jurnal Tektro* 06(02): 224–31.
- [5] KAJIAN, DAPATAN. 2006. "BAB_4.Pdf." : 166–206.
- [6] Mahaganti, Ingriany, Hans Tumaliang, A. F. Nelwan, and Marthinus Pakiding. 2014. "Pra-Desain Pembangkit Listrik Tenaga Arus Laut Menggunakan Generator Asinkron." *Jurnal Teknik Elektro dan Komputer* 3(3): 12–18. <https://ejournal.unsrat.ac.id/index.php/elekdankom/article/view/4822>.
- [7] Mustamam. 2016. "Penggunaan Penyeimbang Penurunan Saluran (Line Drop Compensation) Dalam Hubungan Dengan AVR Dan Transformator Sebagai Pengatur Tegangan Pada Jaringan Distribusi 20 KV." *Journal of Electrical Technology* 1: 55–62.
- [8] Penuntun ETAP, Universitas Sumatera Utara. 2012. "Penuntun Praktikum Etap Laboratorium." : 1–30. https://dte.usu.ac.id/images/IMAGE/Modul_ETAP.pdf.
- [8] Shintawaty, Letifa. 2014. "Sistem Proteksi Pada Generator Di Pltg Musi 2." *Desiminasi Teknologi* 2(1): 1–12.
- [9] Simbolon, Sintia Windayana, Muhammad Aditya, Sinta Marito Siagian, Teknik Listrik, Teknik Elektro, and Politeknik Negeri Medan. 2023. "Transformator Daya Di Pt Pln Nusantara Power Updk." : 453–64.
- [10] Subianto. 2016. "Studi Sistem Proteksi Rele Diferensial Pada Transformator Pt. Pln (Persero) Keramasan Palembang." *JurnalSuryaEnergy* 1(1):30–38. <https://jurnal.um-Palembang.ac.id / senergi / article /view /564>.
- [14] SULISTYANTO, H. 2017. "Rancang Bangun Generator Ac 1 Fasa Dengan Magnet Permanen Pada Maket Pltu. " http://repository.unj.ac.id/30324/%0Ahttp://repository.unj.ac.id/30324/1/skripsi_habib_sulistyanto_5115122575.pdf.