



## *Differential relay settings as protection on a 52 MVA Unit 4 Power Transformer PLTA Singkarak*

### **Penyetingan Rele Differensial Sebagai Proteksi Pada Transformator Daya 52 MVA Unit 4 PLTA Singkarak**

**M. Rafli Ardiansyah<sup>1\*</sup>, Liliana<sup>2</sup>**

<sup>1, 2</sup>Teknik Elektro, UIN Sultan Syarif Kasim Riau, Indonesia

Corresponden E-Mail: <sup>1</sup>rafliardiansyah683@gmail.com, <sup>2</sup>liliana@uin-suska.ac.id

*Makalah: Diterima 27 May 2024; Diperbaiki 01 June 2024; Disetujui 27 June 2024  
Corresponding Author: M. Rafli Ardiansyah*

#### **Abstrak**

Sistem proteksi pada peralatan listrik digunakan untuk mengidentifikasi setiap gangguan dan memantau setiap kerusakan yang mungkin terjadi seperti terdapat selisih arus masuk/primer dan arus keluar/sekunder, dan gangguan-gangguan elektrik lainnya. Salah satunya yaitu pada transformator daya, tentunya dampak dari gangguan-gangguan tersebut apabila tidak diatasi maka akan mengganggu sistem tenaga listrik pada pembangkit tersebut. Maka salah satu solusinya yaitu menggunakan alat proteksi berupa rele diferensial. Tujuan Penyusunan laporan ini adalah penyetingan rele diferensial yang selektif pada Transformator daya. Metode yang digunakan pada laporan ini adalah perhitungan secara manual dan matematis pada Rasio CT, *error mismatch*, arus restrain, arus differensial, arus *setting*, arus sekunder CT, dan *percent slope*. Setelah di lakukan perhitungan secara matematis di dapatkan settingan arus rele differensialnya yaitu 0,21 A. *Setting default* pabrik adalah 0,3 A, atau 30%, dengan asumsi sebagai berikut: 10% untuk *current trafo* (CT), 1% untuk *setting* eksitasi, 4% untuk *setting mismatch*, 5% untuk faktor keamanan, dan 10% untuk *setting* sadapan. Rele Diferensial dapat berfungsi ketika arus diferensial lebih besar dari arus *setting*; dalam hal ini, rele akan menyebabkan pemutus arus bekerja.

Kata Kunci : Perhitungan Matematis, Proteksi, Rele Differensial, Transformator Daya, Setting

#### **Abstract**

*The protection system for electrical equipment is used to identify any disturbances and monitor any damage that may occur such as there is a difference between the incoming/primary and outgoing/secondary currents, and other electrical disturbances. One of them is the power transformer, of course the impact of these disturbances, if not resolved, will disrupt the power system at the plant. Then one solution is to use a protection device in the form of a differential relay. The purpose of preparing this report is to set up selective differential relays on power transformers. The method used in this report is manual and mathematical calculations on CT ratios, mismatch errors, restrain currents, differential currents, setting currents, CT secondary currents, and percent slope. After doing the mathematical calculations, we get the differential relay current setting, which is 0.21 A. The factory default setting is 0.3 A, or 30%, with the following assumptions: 10% for current transformer (CT), 1% for excitation settings, 4% for setting mismatch, 5% for safety factor, and 10% for setting leads. Differential Relay can function when the differential current is greater than the setting current; in this case, the relay will cause the circuit breaker to trip.*

*Keyword : Mathematical Calculations, Protection, Differential Relay, Power Transformer, Setting*

#### **1. PENDAHULUAN**

Saat ini, energi merupakan satu-satunya yang sangat diprioritaskan dalam kehidupan sehari-hari. Sebab, energi diperlukan untuk menyalakan lampu rumah tangga, menjalankan mesin, atau bahkan memicu kembalinya mesin ke posisi semula untuk menghasilkan energi yang berbeda. Dalam sistem tenaga listrik, ada beberapa komponen penting yaitu generator, transformator, sistem transmisi, distribusi, dan beban. Pembangkit

listrik di Indonesia masih bergantung dari bahan bakar dan bahan fosil lainnya, namun masih minim dalam penggunaan energi ramah lingkungan seperti sumber tenaga air, angin, gas, panas bumi, dan *solar cell*[1].

Tujuan dari sistem listrik tenaga adalah untuk memastikan bahwa menghasilkan listrik prakiraan yang akurat. Tiga komponen dari sistem penyajian daftar pembangkitan, transmisi, dan distribusi terlibat, dan tujuannya adalah untuk mengirimkan produk ke pelanggan sesuai dengan kebutuhan mereka[1]. Salah satunya adalah pembangkit listrik tenaga air (PLTA). PLTA merupakan salah satu pembangkit listrik yang bekerja dengan cara mengkonversi energi potensial yang berasal dari dam atau *water way*, yang kemudian dikonversikan kembali menjadi energi mekanik dengan bantuan turbin air dan dari energi mekanik dikonversikan kembali menjadi energi listrik dengan bantuan generator. Agar mendapatkan kualitas yang baik, maka sistem harus saling terkoneksi dan dikontrol. Pada proses penyaluran listrik tidak luput dari salah satu komponen utamanya yaitu transformator[2].

Transformator merupakan salah satu alat utama dari sistem tenaga listrik yang berfungsi untuk mengkonversikan listrik dari tegangan tinggi ke tegangan rendah begitupun sebaliknya berdasarkan prinsip induksi elektromagnetik dan menyalurkan listrik dari pembangkit ke pusat beban. Karena jarak antara pembangkit dengan pusat beban yang terletak sangat jauh, maka diperlukan transformator daya yang memiliki peranan penting dalam penyaluran listrik dari pembangkit, transmisi, dan distribusi pada suatu sistem tenaga listrik dan untuk meminimalisir rugi – rugi yang dihasilkan selama proses penyaluran tenaga listrik.[3]

Dalam sistem kerja dari transformator pasti ada terjadi gangguan yang tidak terduga sehingga berdampak pada kinerja dari transformator, serta proses perbaikan yang sangat mahal sehingga diperlukan suatu proteksi yang stabil untuk menjaga kelancaran dan stabilitas pada suatu sistem. Gangguan pada trafo distribusi dapat dicegah dengan melakukan pencegahan terhadap hub eksternal, isolasi, pencabutan petir, perlindungan terhadap kebocoran, penggantian kran, penyetulan kran secara tiba-tiba, standar operasional, proses penuaan, pengepakan, busing, dan penyebab gangguan lainnya[3]. Dari berbagai masalah yang terjadi pada transformator, maka diperlukan sebuah sistem pengamanan (proteksi) pada transformator ini agar dapat mencegah transformator dari gangguan yang ada. Sistem proteksi disebutkan juga dengan relai yang bekerja untuk mendeteksi gangguan yang terdapat pada transformator.[4]

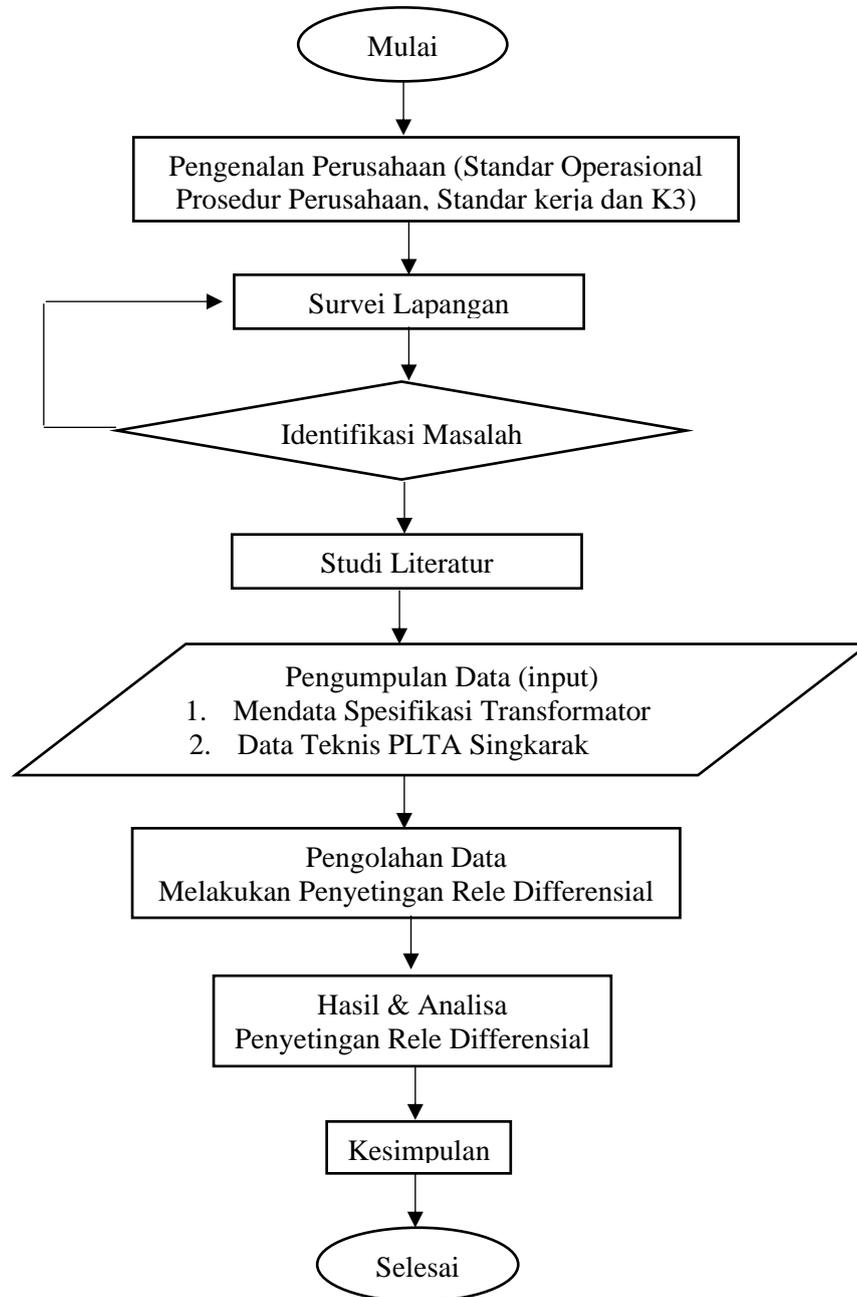
Ada beberapa sistem proteksi yang biasa digunakan untuk pengamanan pada transformator yaitu rele *Over Current Relay* (OCR), *Ground Fault Relay*(GFR), rele differensial, rele jarak, rele direksional, *undervoltage relay*, dan lainnya[4]. Rele *Over Current Relay* (OCR) hanya membaca arus lebih pada transformator, namun pada transformator juga terdapat arus primer dan sekunder. Arus yang melewati transformator ini tidak diproteksi oleh Rele *Over Current Relay* (OCR), maka rele yang berperan sebagai proteksi pada kasus ini adalah rele differensial. Pada permasalahan ini, penulis berfokus pada solusi menggunakan rele differensial. Rele dalam hal ini berfungsi sebagai alat pelindung dengan bekerja untuk membandingkan arus primer dan sekunder, jika ada perbedaan maka rele diferensial memberikan sinyal untuk memberi perintah ke CB untuk bekerja. Perlindungan rele diferensial adalah fungsi utama dari sebuah transformator, dan komponen ini sangat selektif, sehingga tidak perlu dikoordinasikan dengan komponen lain dan beroperasi dengan cepat tanpa memakan banyak waktu [5].

Rele diferensial adalah jenis rele yang beroperasi atas dasar keseimbangan (*balance*), sebagai lawan dari arus-arus sekunder transformator arus (CT) yang diposisikan pada peralatan terminal-ke-terminal atau instalasi listrik yang ditunjuk. Rele digunakan antara lain pada sistem transmisi, bus bar, transformator daya, dan generator. Rele Differential adalah jenis Tindakan perlindungan yang dapat digunakan dengan cepat dan sangat selektif berdasarkan keseimbangan pita arus di dua sisi saluran melalui perantara tertentu, trafo arus (CT) [6]. Arus biasanya bergerak melalui peralatan listrik yang dipindahkan dalam kondisi normal.

Dalam penelitian ini berfokus pada transformator terutama pada sistem proteksi yang terdapat didalamnya yaitu rele differensial untuk mencegah masalah yang timbul. Oleh karena itu penulis mengangkat judul “Penyettingan Rele Differensial Sebagai Proteksi Pada Transformator Daya 52 MVA Unit 4 PLTA Singkarak”. Manfaat yang didapatkan adalah penulis dapat lebih memahami terkait cara kerja dan sistem proteksi pada transformator di PLTA Singkarak dengan merujuk pada beberapa literatur.

**2. METODE**

Penelitian diawali dengan melakukan studi literatur. Pada saat studi literatur dilakukan identifikasi permasalahan, menemukan permasalahan dan melakukan penelusuran mengenai penelitian-penelitian terdahulu yang terkait dengan topik yang dikaji. Berikut diagram alir penelitian :



**Gambar 1.** Diagram Alir Penelitian

**2.1 Pengumpulan Data**

Data diperoleh dari pengambilan langsung ke lapangan dan data sekunder.

**Tabel 1** Data Teknis Proyek PLTA Singkarak

Elevasi air danau tertinggi	363,50 mdpl
Debit air rata-rata	47,10 $m^3/s$
Elevasi saluran air pembuangan tertinggi	61,50 mdpl
Tinggi air jatuh	302 m
Maksimum daya yang dihasilkan	175 MW
Pusat pembangkit bawah tanah, jumlah turbin	4 unit
Daya turbin tipe Fraance, poros vertical	43,75 MW
Generator 3 fasa dengan air pendingin	52 MVA
Daya maksimum yang dihasilkan	986 GWh/tahun

**Tabel 2** Data Transformator PLTA Singkarak

Merk/type	KDO 52 000
Pabrik	ABB
Kapasitras Trafo	52 MVA
Tegangan Sisi Primer	150 KV
Tegangan Sisi Sekunder	10,5 KV
Frekuensi	50 Hz
Impedansi	11,3 %
Sambungan	YNd5
Tahun Buat	1993
Tahun Operasi	1998
Pendingin	OFWF

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 3.1 Perhitungan Matematis Setting Rele Differensial

##### 3.1.1 Rasio Current Transformers (CT)

Perbedaan relatif beroperasi jika karakteristik CT menguntungkan. Peletakan dari rele diferensial dianalisis dengan CT pada silo pertama dan kedua. Untuk menentukan laju CT, langkah pertama adalah mengurangi kesalahan peringkat yang ada pada transformator daya. Peringkat arus berfungsi sebagai dasar untuk menghitung jari-jari CT. Arus nominal adalah arus yang dapat berinteraksi dengan tegangan tinggi dan tegangan rendah secara bersamaan[1]. Saat menggunakan CT Rasio, apapun yang dekat dengan Irating bisa dijadikan bahan dengan rumus :

$$I_{rating} = 110\% \times I_n \quad (1)$$

Sebelum itu harus di tentukan terlebih dahulu nilai arus nominal nya dengan rumus,

$$I_n = \frac{s}{V \times \sqrt{3}} \quad (2)$$

In atau arus nominal adalah jenis arus yang mempengaruhi semua jenis jaringan (baik kecepatan tinggi maupun kecepatan rendah).

##### 1. Arus Nominal Sisi Tegangan Primer 150 Kv

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

$$I_n = \frac{52,000,000}{150,000 \times \sqrt{3}}$$

$$I_n = \frac{52,000,000}{259,807}$$

$$I_n = 200,148 A$$

##### 2. Arus Nominal pada Sisi Tegangan Sekunder 10.5 Kv

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

$$I_n = \frac{52,000,000}{10,500 \times \sqrt{3}}$$

$$I_n = \frac{52,000,000}{18,186,533}$$

$$I_n = 2859,258 A$$

Setelah didapatkan arus nominalnya, selanjutnya mencari  $I_{rating}$

##### 1. Arus Rattng pada Sisi Tegangan Primer 150 kv

$$I_{rating} = 110\% \times I_n$$

$$I_{rating} = 110 \% \times 200,148$$

$$I_{rating} = 220,162 \text{ A}$$

2. Arus Rattng pada Sisi Tegangan Sekunder 10,5 kV

$$I_{rating} = 110 \% \times I_n$$

$$I_{rating} = 110 \% \times 2859,258$$

$$I_{rating} = 3145,18 \text{ A}$$

Hasil percobaan menunjukkan bahwa arus nominal yang mencapai trafo pada level sepuluh kilovolt pertama adalah 200,148 A, sedangkan arus nominal pada level sepuluh kilovolt kedua adalah 2859,258 A. Berdasarkan parameter tersebut, radius CT yang ditemui pada tegangan sisi primer 150 kV dan tegangan sisi sekunder 10,5 kV masing-masing adalah 200:5 A dan 3000:5 A. Menurut perhitungan ini, 1 A akan terlepas jika terjadi intrusi arsenik pada CT pada sisi tegangan primer lebih dari 200 A. Rasio CT yang terdiri dari 200 A dan 3000 A.

**3.1.2 Error Mismatch**

Yang dimaksud dengan "error mismatch" adalah terdeteksinya perbedaan arus dan tegangan pada tumpukan transformator primer dan kedua, serta terjadinya resetting fasa pada transformator tersebut. Dengan ketidakakuratan catatan besar yang tidak lebih dari 5% dari rasio CT yang dihitung, dimungkinkan untuk menunjukkan adanya ketidakcocokan yang signifikan antara keduanya [1]. Perhitungan Error Mismatch dapat ditemukan dengan membaca bagian berikut:

$$Error\ mismatch = \frac{CT\ Ideal}{CT\ Terpasang} \% \tag{3}$$

1. Error mismatch di sisi tegangan 150 Kv

$$Error\ mismatch = \frac{CT\ Ideal}{CT\ Terpasang} \%$$

$$CT_1(ideal) = CT_2 \frac{V_2}{V_1} = \frac{3000}{5} \times \frac{10.5}{150} = 600 \times 0.07$$

$$= 42 \text{ A}$$

$$Error\ mismatch = \frac{42}{200} = 0,21 \%$$

2. Error mismatch disisi Tegangan 10.5 kV

$$Error\ mismatch = \frac{CT\ Ideal}{CT\ Terpasang} \%$$

$$CT_2(ideal) = CT_1 \frac{V_1}{V_2} = \frac{200}{5} \times \frac{150}{10.5} = 40 \times 14,285$$

$$= 571,4 \text{ A}$$

$$Error\ mismatch = \frac{571,4}{3000} = 0.19 \%$$

Sebagai hasil dari percobaan yang telah selesai, diperoleh nilai ideal CT1 sebesar 42 A dan tingkat kesalahan ketidakcocokan 0,21%. selisih antara error rate CT2 sebesar 0,19% dengan hit rate CT yang diinginkan sebesar 571,4 A.

**3.1.3 Arus Sekunder CT**

Arus sekunder CT yaitu arus output pada CT[1].

$$I_{Sekunder} = \frac{I}{rasio\ CT} \times i_n \tag{4}$$

1. Arus Sekunder CT Sisi Tegangan Tinggi 150 kV

$$I_{Sekunder} = \frac{5}{200} \times 200.148 = 5.003 \text{ A}$$

## 2. Arus Sekunder CT Sisi Tegangan Rendah 10,5 kV

$$I_{\text{Sekunder}} = \frac{5}{3000} \times 2859,258 = 4,765 \text{ A}$$

### 3.1.4 Arus Differensial

Arus differensial merupakan hasil dari perbandingan arus sekunder CT pada sisi tegangan tinggi dengan sisi tegangan rendah[1].

$$I_{\text{dif}} = I_2 - I_1 \quad (5)$$

$$I_{\text{dif}} = 5,003 - 4,765 = 0,23 \text{ A}$$

Hasil percobaan menghasilkan nilai 0,23 A antara Isekunder CT sisi tegangan tinggi dan sisi tegangan rendah. Nilai tersebut digunakan untuk mengatur kemiringan.

### 3.1.5 Arus Restrain (Penahan)

Arus *restrain* merupakan hasil total dari penjumlahan arus sekunder CT<sub>1</sub> dan CT<sub>2</sub> yang dibagi 2[1].

$$I_r = \frac{I_1 + I_2}{2} \quad (6)$$

$$I_r = \frac{4,765 + 5,003}{2} = 4,884 \text{ A}$$

Hasil percobaan tersebut di atas menghasilkan batas pengekangan sebesar 4,884 A.

### 3.1.6 Perhitungan Percent Slope (Setting Kecuraman)

Kemiringan adalah hasil keseluruhan dari membandingkan arus pembeda dengan arus penahan. Ada dua jenis lereng, lereng 1 dan lereng 2. Lereng 1 berfungsi sebagai alat untuk mendeteksi arousal diferensial dan terkendali selama operasi normal dan memantau reaktivitas real-time ketika ada gangguan internal dengan sedikit gairah. Lereng 2 berfungsi untuk mengontrol atau memastikan agar diferensial rel tidak beroperasi ketika terjadi gangguan eksternal dengan gangguan arus yang besar[10]

$$\text{Slope 1} = \frac{I_d}{I_r} \times 100 \% \quad (7)$$

#### 1. Menghitung Slope 1

$$\text{Slope 1} = \frac{I_d}{I_r} \times 100 \% = \frac{0,23}{4,884} \times 100 \%$$

$$\text{Slope 1} = 4,7 \%$$

#### 2. Menghitung Slope 2

$$\text{Slope 2} = \left( \frac{I_r}{I_d} \times 2 \right) \times 100 \%$$

$$\text{Slope 2} = \left( \frac{4,884}{0,23} \times 2 \right) \times 100 \%$$

$$\text{Slope 2} = 9,4 \%$$

Hasil yang didapat dari perhitungan di atas yaitu slop 1 sebesar 4,7% dan slope 2 sebesar 9,4%.

### 3.1.7 Arus Setting

Arus setting merupakan hasil total dari perkalian slope dengan arus restrain yang kemudian akan dibandingkan dengan arus differensial[1].

$$I_{set} = \% slope \times I_{restrain} \tag{8}$$

$$I_{set} = 4,4\% \times 4,884 A$$

$$I_{set} = 0,21 A$$

Hasil setting nilai arus di atas adalah 0,21 A, namun hasil setting diferensial adalah 0,3 A. Hasil yang diperoleh dari pengujian setting arus diferensial di atas adalah 0,21 A. Oleh karena itu, tekanan bangkitan setting sesuai dengan tekanan gairah yang optimal selama bermain, dan tingkat tekanan gairah yang ideal adalah nol. Kesalahan Pembacaan CT, serta Eksitasi Arus. Untuk mencapai setting 30% atau 0,33 A penyet harus dipengaruhi oleh beberapa faktor antara lain kesalahan CT (10%), arus eksitasi (1%), error mismatch (4%), faktor keamanan ( 5%), dan kesalahan sadapan (10%).

**3.1.8 Nilai Setting Rele Diferensial**

Tabel 6.1 Perhitungan Matematis Settingan Rele Diferensial pada Transformator 52 MVA

No	Persamaan	Tegangan Sisi Primer 150 kV	Tegangan Sisi Sekunder 10,5 kV
1	Pemilihan Ratio CT	$I_n = 200 A$ $I_{rat} = 220,162 A$	$I_n = 3000 A$ $I_{rat} = 3145,18 A$
2	Error Mismatch	$CT_1 ideal = 42 A$ $error mismatch = 0,21 \%$	$CT_1 ideal = 571,4 A$ $error mismatch = 0.19 \%$
3	Arus Sekunder CT( $I_{Sek}$ )	$I_{sek} = 5,003 A$	$I_{sek} = 4,765 A$
4	Arus Diferensial( $I_{dif}$ )	$I_{dif} = 0,23 A$	
5	Arus Restrain( $I_r$ )	$I_r = 4,884 A$	
6	Percent Slope	$Slope_1 = 4,7 \%$ $Slope_2 = 9,4 \%$	
7	Arus Setting ( $I_{set}$ )	0,23 A	

**4. KESIMPULAN**

Pengukuran rasio CT pada sisi 10,5 kV adalah sebesar 3000/5 dan pada sisi 150 Kv sebesar 200/5, rasio CT ditentukan berdasarkan arus nominal yg didapat pada perhitungan yaitu sebesar 2859,58 ampere (sisi 10,5 kV) dan 200,148 ampere (sisi 150 kV) dan Error mismatch pada trafo arus (CT) didapat hasil perhitungan masing-masing trafo arus baik pada sisi 10,5 kV dan 150 kV sebesar 0,21% dan 0,19%. Hasil perhitungan nilai setting arus adalah 0.23, tetapi setting yang dilakukan adalah 0,3 A atau 30% dengan pertimbangan yaitu: kesalahan sadapan (10%), kesalahan CT (10%), mismatch (4%), arus eksitasi (1%) dan faktor keamanan (5%).

**REFERENSI**

- [1] Andreas Hendratmoko. Analisis Kinerja Proteksi Relai Diferensial Pada Transformator Daya Di Gardu Induk 150 Kv Blora Menggunakan Software Etap 12.6.0. Universitas Muhammadiyah Surakarta 2021: 7 - 13.
- [2] Arief Goeritno, Syofyan Rasiman, Irwan Nugraha, Ayumi Johan. Kinerja Relai Diferensial Diukur Melalui Pemberian Simulasi Fenomena Gangguan Internal Pada Transformator Daya. Universitas Sultan Ageng Tritayasa 2020; 2: 179 - 181.
- [3] Elvy Sahnur Nasution, Faisal Irsan Pasaribu, Muhammad Arfianda. Rele Diferensial Sebagai Proteksi Pada Transformator Daya Pada Gardu Induk. Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara 2018; 7.
- [4] Erwin dan Kiswondo, Dasar - Dasar Proteksi. PLN University.
- [5] Zulkarnaini, Fauza Hafni. Studi Analisa Rele Differensial Pada Proteksi Transformator 60 MVA Gardu Induk Pauh Limo. Institut Teknologi Padang 2020; 9.
- [6] R. Aita Diantari, T. Mardhi Rahmatullah, T. Elektro, dan S. Tinggi Teknik -PLN, “Analisa Proteksi Differensial Pada Generator Di Pltu Suralaya,” 2017.
- [7] Sekretariat Perusahaan. Company Profile PT PLN (Persero). PT PLN (Persero) PLTA SINGKARAK 2021
- [8] A. Multi dan T. Addaus, “PT. PLN (Persero) Distribusi Jawa Barat dan Banten Area Pelayanan dan Jaringan (APJ) Karawang Studi Analisis Gangguan Transformator Distribusi Pada Jaringan Distribusi 20 KV” vol. 32, hlm. 1–8, 2022, doi:10.37277/stch.v32i1.
- [9] Istimaroh, Anaa, Hariyanto, Nasrun. Teknik Elektro, Iteas Bandung. “Penentuan Setting Rele Arus Lebih Generator Dan Rele Diferensial Transformator Unit 4 PLTA CIRATA II” . 2013
- [10] Syaputra, Julian. T.Elektro, “Analisa Penyetelan Rele Arus Lebih Untuk Pengaman Transformator Pemakaian Sendiri 9mva, 11 Kv/6 Kv Unit 4 Pt. PLN (Persero) Sektor Pembangunan Bukit Asam”
- [11] Ulfah, Nurida Maharani, Trihasto, Agung, Pravitasari, Deria. THETA OMEGA: Journal of Electrical Engineering, Computer, and Information Technology “Evaluasi Kinerja Rele Arus Lebih Dan Rele Diferensial Pada Generator Kapasitas 100 MW”. 2021