

Perbandingan *Setting* Matematis Rele Diferensial Transformator Daya dengan *Setting* GI 150KV Cilegon Baru PT. PLN (Persero) ULTG Cilegon

Dias Eka Kusuma

Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
diasekakusuma9@gmail.com

Ilham Akbar Darmawan

Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
ilham.ad@untirta.ac.id

Alamat : Jalan Raya Palka No.Km.3, Sindangsari, Pabuaran, Serang City, Banten 42163

Email korespondensi : diasekakusuma9@gmail.com

Abstract. *In substation equipment, especially transformers, there are various types of protection such as Differential Relays, where Differential Relays are the main protection system for transformers that work without coordination with other relays. This research aims to understand the principles of differential relays, and analyze and evaluate the calculation of differential relay settings mathematically with the provisions of the new Cilegon GI. The methods used in the research are data collection techniques, literature studies and interview studies conducted directly with the staff of the Protection, Meter and Automation Maintenance Division. From the results of the mathematical setting calculations, there are differences with the differential relay settings at GI Cilegon Baru. Where there are differences is because the mathematical setting calculations take into account several error factors such as current transformer errors, CT mismatch, transformer excitation current and safety factors..*

Keywords: *Differential relays, PLN, power transformers.*

Abstrak. Dalam peralatan gardu induk terkhususnya transformator terdapat berbagai macam proteksi seperti *Differential Relay*, yang dimana Rele Diferensial merupakan sistem proteksi utama pada transformator yang bekerja tanpa koordinasi dengan rele yang lain. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui prinsip dari rele diferensial, dan menganalisa serta mengevaluasi perhitungan *setting* rele diferensial secara matematis dengan ketentuan dari GI Cilegon baru. Metode yang digunakan dalam penelitian, yaitu metode teknik pengumpulan data, studi literatur dan studi wawancara yang dilakukan secara langsung dengan staff Divisi Pemeliharaan Proteksi, Meter dan Otomasi. Dari hasil perhitungan *setting* matematis terdapat perbedaan dengan *setting* rele diferensial di GI Cilegon Baru. Dimana adanya perbedaan tersebut karena pada perhitungan *setting* matematis memperhitungkan akan beberapa faktor kesalahan seperti kesalahan trafo arus, *CT mismatch*, arus eksitasi transformator dan faktor keamanan..

Kata kunci: Rele Diferensial, PLN, Transformator Daya.

LATAR BELAKANG

Sistem proteksi merupakan suatu bentuk perlindungan terhadap peralatan listrik yang berguna untuk menghindari kerusakan peralatan dan juga agar stabilitas penyaluran tenaga listrik tetap terjaga. Dalam peralatan gardu induk terkhususnya transformator terdapat berbagai macam proteksi seperti *Differential Relay*, yang dimana Rele Diferensial merupakan sistem proteksi utama pada transformator yang bekerja tanpa koordinasi dengan rele yang lain. Rele Diferensial bekerja dengan mengikuti prinsip dari

hukum *Kirchoff I* yang dimana ketika beban keluar dari transformator sama dengan beban yang masuk pada transformator. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui prinsip kerja rele diferensial sebagai proteksi utama pada transformator, menganalisa dan mengevaluasi hasil perhitungan *setting* matematis rele diferensial dengan *setting* di GI Cilegon baru.

KAJIAN TEORITIS

Transformator Daya

Menurut (Maulana & Aribowo, 2015) Teori dasar transformator, apabila terdapat bebab listrik AC yang mengalir mengelilingi suatu inti besi maka inti besi tersebut berubah menjadi magnet dan apabila magnet dikelilingi oleh belitan maka pada kedua ujung belitan tersebut akan terjadi beda tegangan mengelilingi magnet sehingga timbul GGL (Gaya Gerak Listrik). Menurut (Keumala, 2021) Apabila ketika kumparan disambungkan pada suatu sumber listrik dengan tegangan AC, maka pada dalam inti yang berlaminiasi akan timbul fluks bolak-balik, yang sebagian besar akan mengait kumparan yang lain, serta di dalamnya akan timbul gaya gerak listrik (GGL). Arus yang mengalir pada belitan primer akan menginduksi inti besi transformator sehingga dalam inti besi akan mengalir medan magnet, yang kemudian medan tersebut menginduksi belitan sekunder sehingga pada ujung belitan sekunder akan terdapat beda potensial (Kurniawan, 2017) “*Transformator merupakan suatu peralatan listrik yang berfungsi untuk memindahkan dan mengubah tenaga listrik dari tegangan tinggi ke tegangan rendah atau sebaliknya, dengan frekuensi yang sama dan perbandingan transformasi tertentu melalui suatu gandengan magnet*” (Aribowo, 2019). Dalam proses pengoperasiannya, transformator dilengkapi dengan peralatan-peralatan utama dalam menunjang kinerjanya agar terciptanya sistem yang andal dan aman saat beroperasi, yaitu Inti Besi (*Elektromagnetic*), Kumparan Transformator (*Winding*), *Bushing*, Pendingin, Tangki Konservator, Minyak Isolasi, *Silikagel*, *Tap Changer*, dan NGR (PT. PLN, 2014). Jika terdapat gangguan atau anomali kinerja pada transformator maka akan menyebabkan terhambatnya proses penyediaan energi listrik dan juga apabila terjadinya gangguan atau anomali dapat menyebabkan kerusakan tersendiri pada transformator (Subianto, 2016). Oleh karena itu diperlukan sistem proteksi transformator tenaga yang handal dan koordinatif (Badruzzaman, 2014).

Transformator Arus (CT)

Trafo arus (*Current Transformer*) yaitu peralatan yang digunakan dalam melakukan pengukuran besaran arus pada instalasi tenaga listrik disisi primer yang berskala besar dengan melakukan transformasi dari besaran arus yang besar menjadi besaran arus yang kecil secara akurat dan teliti untuk keperluan pengukuran dan proteksi (PT. PLN, 2014).

Adapun fungsi dari CT sendiri yang antara lain, untuk memperkecil besaran arus pada sistem tenaga listrik menjadi besaran arus untuk sistem pengukuran, mengisolasi rangkaian sekunder terhadap rangkaian primer, dan standarisasi rating arus untuk peralatan sisi sekunder (PT. PLN, 2005).

Rele Diferensial

Adapun rele utama dalam transformator, yang dimana rele tersebut adalah rele diferensial. Dimana rele diferensial akan bekerja ketika terjadinya perbedaan beban pada CT primer dan CT sekunder (Syukriyadin, 2011). Rele diferensial merupakan rele yang akan bekerja ketika mendeteksi adanya perbedaan nilai arus masuk dan arus keluar. Rele diferensial bekerja berdasarkan Hukum *Kirchof I* yaitu arus yang masuk pada suatu titik sama dengan arus yang keluar dari titik tersebut. Rele diferensial sendiri berfungsi sebagai proteksi apabila terjadi gangguan internal pada transformator daya, gangguan tersebut dapat berupa hubung singkat antar kumparan. Rele ini tidak akan bekerja apabila dalam keadaan normal atau gangguan berada di luar zona pengamanan (Karyana, 2013).

Dalam menentukan besaran arus *setting* rele diferensial, membutuhkan perhitungan matematis (Nasution, 2019), yang dimana diantaranya:

Perhitungan Arus Nominal Transformator Daya

Arus yang mengalir di sisi primer dan sisi sekunder disebut dengan arus nominal transformator. Adapun persamaan arus nominal transformator sisi primer dan sisi sekunder:

$$I_{N1} = \frac{S}{V_p \times \sqrt{3}} \dots \dots \dots (1)$$

$$I_{N2} = \frac{S}{V_s \times \sqrt{3}} \dots \dots \dots (2)$$

Keterangan:

I_N = Arus nominal trafo (A)

S = Daya tersalur/Nominal rating (MVA)

V_p = Tegangan sisi primer (V)

V_s = Tegangan sisi sekunder (V)

Perhitungan Nilai Rasio CT

Dalam mencari nilai rasio CT, dilakukan perhitungan arus rating terlebih dahulu. Arus rating digunakan sebagai batas pemilihan rasio CT. Perhitungan arus rating:

$$I_{rat} = 110\% \times I_{N1} \dots\dots\dots(3)$$

$$I_{rat} = 110\% \times I_{N2} \dots\dots\dots(4)$$

Keterangan:

I_{rat} = Arus rating (A)

I_N = Arus nominal trafo (A)

Perhitungan Error Mismatch

Error mismatch didapat dengan membandingkan antara ratio CT ideal dengan rasio CT yang ada dipabrikasi. Sebelum mencari nilai *error mismatch*, terlebih dahulu mencari nilai CT ideal yaitu:

$$\frac{CT_2}{CT_1} = \frac{V_P}{V_S} \dots\dots\dots(5)$$

$$Ratio\ CT_{ideal\ 1} = Ratio\ CT_2 \times \frac{V_S}{V_P} \dots\dots\dots(6)$$

$$Ratio\ CT_{ideal\ 2} = Rasio\ CT_1 \times \frac{V_P}{V_S} \dots\dots\dots(7)$$

Setelah mendapatkan nilai CT ideal, dilanjutkan dengan melakukan perhitungan nilai *error mismatch*, yaitu:

$$Error\ Mismatch = \frac{Rasio\ CT\ ideal}{Rasio\ CT\ terpasang} \% \dots\dots\dots(8)$$

Keterangan:

Rasio CT ideal= Nilai Rasio CT Ideal (A)

Rasio CT = Nilai Rasio CT Terpasang (A)

V_p = Tegangan Primer (V)

V_s = Tegangan Sekunder (V)

Perhitungan Arus Sekunder Pada CT

Arus yang terhubung pada transformator di sisi primer dan sisi sekunder disebut arus sekunder CT. Persamaan nilai arus sekunder pada CT, yaitu:

$$I_{sekunder} = \frac{1}{rasio\ CT} \times I_N \dots\dots\dots(9)$$

Keterangan:

$I_{sekunder}$ = Arus Sekunder CT (A)

I_{nom} = Arus nominal transformator (A)

Rasio CT = Nilai Rasio CT terpasang (A)

Perhitungan Arus Diferensial

Arus diferensial merupakan selisih arus sekunder CT 150KV dengan arus sekunder CT 20KV. Persamaan dalam mencari perhitungan arus diferensial, yaitu:

$$I_d = I_2 - I_1 \dots\dots\dots(10)$$

Keterangan:

I_d = Arus diferensial (A)

I_1 = Arus Sekunder CT₁ (A)

I_2 = Arus Sekunder CT₂ (A)

Perhitungan Arus Restrain (Penahan)

Arus *restrain* merupakan arus penahan ketika terjadi selisih arus sekunder CT₁ dan CT₂ pada rele diferensial, perhitungan arus *restrain* yaitu nilai rata-rata arus yang mengalir di sisi primer dan sekunder transformator. Persamaan dari arus *restrain* yaitu:

$$I_r = \frac{I_1 + I_2}{2} \dots\dots\dots(11)$$

Keterangan:

I_r = Arus *restrain* (A)

I_1 = Arus sekunder CT₁ (A)

I_2 = Arus sekunder CT₂ (A)

Perhitungan Percent Slope

Nilai *percent slope* didapat yaitu arus diferensial dibagi dengan arus *restrain*, *slope 1* berfungsi untuk memastikan rele diferensial agar bekerja terhadap gangguan internal, sedangkan *slope 2* berfungsi untuk mengantisipasi agar pengaman tidak bekerja saat terjadinya gangguan eksternal yang begitu besar. Adapun persamaan dalam mencari nilai *percent slope*, yaitu:

$$\text{Slope}_1 = \frac{I_d}{I_r} \times 100\% \dots\dots\dots(12)$$

$$\text{Slope}_2 = \text{Slope}_1 \times 2 \dots\dots\dots(13)$$

Keterangan:

Slope = *Setting* kecuraman (%)

I_d = Arus diferensial (A)

I_r = Arus *restrain* (A)

Perhitungan Arus *Setting* (*Iset*)

Arus setting merupakan penentuan batasan besaran arus apakah rele bekerja atau tidak, untuk menentukan nilai arus setting yaitu mengalikan percent slope dengan arus restrain (penahan). Persamaan perhitungan arus setting yaitu:

$$Iset = \%slope \times Irestrain \dots\dots\dots(14)$$

Keterangan:

Iset = Arus *setting* (A)

Irestrain = Arus penahan (A)

%slope= Setting kecuraman

METODE PENELITIAN

Adapun untuk metode yang peneliti gunakan, yaitu metode teknik pengumpulan data, studi literatur dan studi wawancara secara langsung ke staff Divisi Pemeliharaan Proteksi, Meter dan Otomasi. Dimana untuk metode yang digunakan dapat dijelaskan seperti pada dalam jurnal (Permata & Aditama, 2020: 66).

Pertama, metode dengan teknik pengumpulan data merupakan suatu metode strategi dalam melakukan pengumpulan data-data yang diperlukan pada saat terjun langsung ke lapangan. Adapun data yang dikumpulkan berupa dalam bentuk dokumentasi foto peralatan GI dan dalam bentuk dokumen *setting* rele diferensial.

Kedua, metode studi literatur merupakan metode yang dilakukan dengan cara mengumpulkan data dari teori-teori yang mendukung baik melalui artikel, jurnal, buku ataupun sumber relevan lainnya. Adapun peneliti membaca serta mengumpulkan data dari buku pedoman yang tersedia di GI Cilegon Baru serta mencari *E-journal* dari internet.

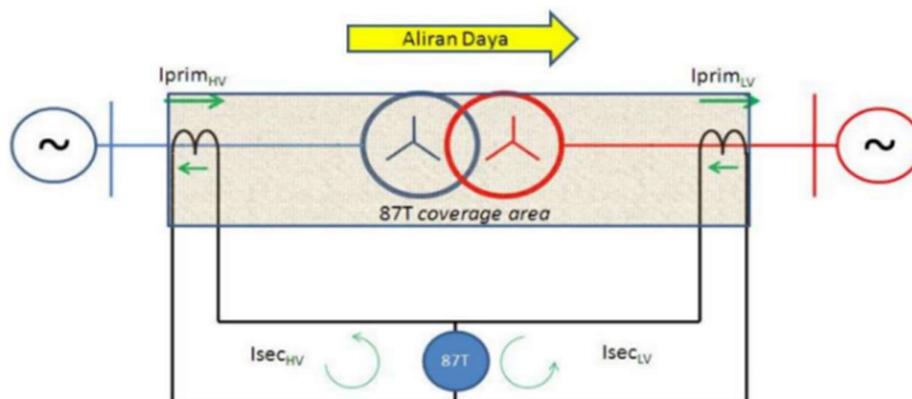
Dan ketiga, metode wawancara merupakan suatu metode yang dilakukan secara langsung dengan para staff terkait yang ahli dalam bidangnya sehingga permasalahan yang ada dapat dicari jalan keluarnya serta dapat menambah masukan untuk penelitian yang dilakukan. Dimana peneliti mewawacarai secara langsung staff pemeliharaan proteksi mengenai rele diferensial.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Sistem proteksi merupakan pengaman komponen listrik pada sistem tenaga listrik yang terpasang pada sistem distribusi tenaga listrik, transformator tenaga, transmisi tenaga

listrik dan generator listrik yang digunakan untuk mengamankan sistem tenaga listrik dari gangguan lebih atau arus lebih, dengan cara memisahkan bagian sistem tenaga listrik yang terganggu (Aziz, 2019). Sistem proteksi sendiri berfungsi untuk menghindari atau mengurangi kerusakan peralatan listrik akibat adanya gangguan (kondisi abnormal). Lalu untuk mempercepat melokalisasi daerah yang terganggu, sehingga daerah yang terganggu menjadi sekecil mungkin, dan sebagai pengaman terhadap bahaya yang dapat ditimbulkan ketika terjadinya gangguan (Tasiam, 2017).

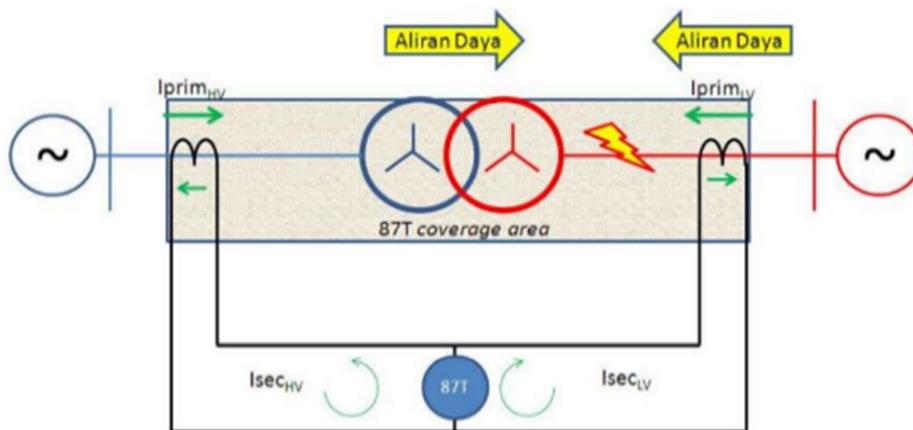
Terdapat beberapa persyaratan agar sistem proteksi dalam transformator dapat dikatakan dalam kondisi baik. Adapun persyaratannya di antara lain, andal, selektif, peka dan cepat. Sedangkan sistem proteksi sendiri terdiri dari beberapa bagian yang apabila salah satunya tidak ada maka tidak dapat dikatakan sistem proteksi. Bagian tersebut adalah transformator arus (CT) atau transformator tegangan (PT), *wiring* atau pengawatan, dan sumber AC/DC (Yuniarto, 2015). Rele proteksi merupakan susunan peralatan yang direncanakan untuk dapat merasakan atau mengukur adanya gangguan atau mulai merasakan adanya gangguan atau anomali pada peralatan atau bagian sistem tenaga listrik dan secara otomatis memberi perintah untuk membuka pemutus tenaga untuk memisahkan peralatan atau bagian dari sistem yang terganggu dan memberi isyarat berupa lampu atau alarm, rele dapat bekerja apabila mendapatkan sinyal-sinyal input yang melebihi dari *setting* rele proteksi tersebut (Nasution, 2019). Terdapat tiga keadaan rele diferensial saat beroperasi, yaitu keadaan normal, keadaan gangguan didalam zona proteksi dan gangguan diluar zona proteksi. Pada saat keadaan normal jika kedua CT dialiri arus i dan i sama besar maka rele tidak bekerja.



Sumber: Karyana (2013)

Gambar 1. Rele Diferensial Keadaan Arus Normal

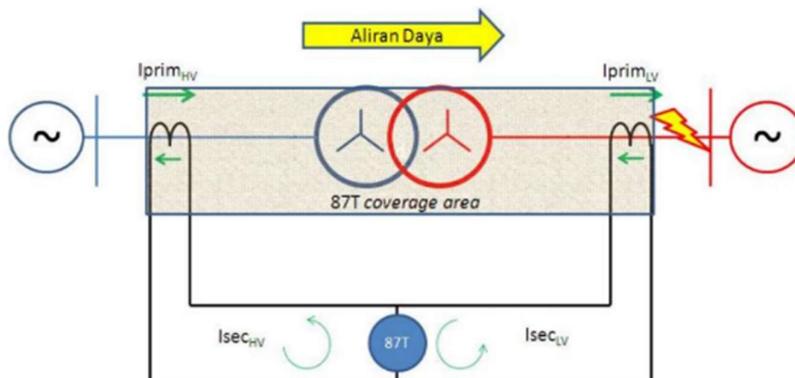
Gangguan yang terjadi di daerah pengaman rele diferensial yang dimana saat terjadi gangguan di daerah pengaman rele diferensial, sehingga arus akan mengalir ke titik gangguan dan mengakibatkan CT yang dialiri arus akan berbalik menuju ke titik gangguan tersebut. Saat $i_d \neq 0$, maka rele diferensial segera bekerja dengan mengirim sinyal ke trip ke pemutus tenaga (PMT) untuk mengtrip, apabila dibiarkan terlalu lama maka kerusakan pada transformator tidak dapat dihindari.



Sumber: Karyana (2013)

Gambar 2. Rele Diferensial Saat Gangguan Dalam Daerah Pengaman

Gangguan eksternal atau gangguan di luar daerah pengaman merupakan gangguan yang di luar zona proteksi rele diferensial, ketika terjadinya gangguan di luar zona proteksi rele diferensial, dimana rele tersebut tidak mendeteksi indikasi gangguan pada transformator, karena arus yang mengalir di kedua CT sama besarnya.



Sumber: Karyana (2013)

Gambar 3. Rele Diferensial Saat Gangguan di Luar Daerah Pengaman

Perhitungan matematis dalam menentukan nilai dari *setting* rele diferensial yaitu menghitung arus nominal transformator dan arus rating untuk mencari nilai rasio dari CT pada transformator. Setelah mendapatkan nilai rasio CT, selanjutnya melakukan

perhitungan *error mismatch*, perhitungan arus sekunder CT, perhitungan arus diferensial, perhitungan arus *restrain*, perhitungan *percent slope*, dan perhitungan arus *setting* rele diferensial. Berikut perhitungan matematis *setting* rele diferensial.

Perhitungan Arus Nominal Transformator Daya

1. Perhitungan Arus Nominal Transformator pada Sisi Primer 150KV

$$I_{N1} = \frac{60 \text{ MVA}}{0,15 \text{ MV} \times \sqrt{3}}$$

$$I_{N1} = \frac{60 \text{ MVA}}{0.259808} = 230,94 \text{ A}$$

2. Perhitungan Arus Nominal Transformator pada Sisi Sekunder 20KV

$$I_{N2} = \frac{60 \text{ MVA}}{0,02 \times \sqrt{3}}$$

$$I_{N1} = \frac{60 \text{ MVA}}{0,034641} = 1732,05 \text{ A}$$

Perhitungan Rasio CT

1. Arus *Rating* pada Sisi Tegangan 150KV

$$I_{rat} = 110\% \times I_{N1}$$

$$I_{rat} = 110\% \times 230,94$$

$$I_{rat} = 254,034 \text{ A}$$

2. Arus *Rating* pada Sisi Tegangan 20KV

$$I_{rat} = 110\% \times 1732,05$$

$$I_{rat} = 1905,255 \text{ A}$$

Perhitungan *Error Mismatch*

1. Perhitungan *Error Mismatch* pada Sisi Tegangan 150KV

$$\text{Ratio } CT_{ideal 1} = \text{Ratio } CT_2 \times \frac{V_S}{V_P}$$

$$\text{Ratio } CT_{ideal 1} = \frac{2000}{1} \times \frac{20}{150}$$

$$\text{Ratio } CT_{ideal 1} = 266,6 \text{ A}$$

$$\text{Error Mismatch} = \frac{\text{Ratio } CT_{ideal 1}}{\text{Ratio } CT \text{ Terpasang}} \%$$

$$\text{Error Mismatch} = \frac{266,6}{300} \%$$

$$\text{Error Mismatch} = 0,88 \%$$

2. Perhitungan *Error Mismatch* pada Sisi Tegangan 20KV

$$\text{Ratio } CT_{ideal 1} = \text{Ratio } CT_1 \times \frac{V_P}{V_S}$$

$$\text{Ratio } CT_{ideal 1} = \frac{300}{1} \times \frac{150}{20}$$

$$\text{Ratio } CT_{ideal} = 2250 \text{ A}$$

$$\text{Error Mismatch} = \frac{2250}{2000} \%$$

$$\text{Error Mismatch} = 1,125 \%$$

Perhitungan Arus Sekunder CT

1. Perhitungan Arus Sekunder CT pada Sisi Tegangan 150KV

$$I_{sekunder} = \frac{1}{\text{rasio CT}} \times I_{N1}$$

$$I_{sekunder} = \frac{1}{300} \times 230,94$$

$$I_{sekunder} = 0,77 \text{ A}$$

2. Perhitungan Arus Sekunder CT pada Sisi Tegangan 20KV

$$I_{sekunder} = \frac{1}{2000} \times 1732,05$$

$$I_{sekunder} = 0,87 \text{ A}$$

Perhitungan Arus Diferensial

$$I_d = i_2 - i_1$$

$$I_d = 0,87 - 0,77$$

$$I_d = 0,1 \text{ A}$$

Perhitungan Arus restrain

$$I_r = \frac{I_1 + I_2}{2}$$

$$I_r = \frac{0,77 + 0,87}{2}$$

$$I_r = 0,82 \text{ A}$$

Perhitungan Percent Slope

1. Perhitungan Slope₁

$$\text{Slope}_1 = \frac{I_d}{I_r} \times 100 \%$$

$$\text{Slope}_1 = \frac{0,1}{0,82} \times 100 \%$$

$$\text{Slope}_1 = 12,2 \%$$

Jadi, total slope₁: 12,2 % + 10 % + 1,125 % + 1 % + 5 % = 29,32 %, maka setting slope₁ sebesar 29,32 %.

2. Perhitungan Slope₂

$$\text{Slope}_2 = \text{Slope}_1 \times 2$$

$$\text{Slope}_2 = 29,32 \% \times 2$$

$$\text{Slope}_2 = 58,64 \%$$

Perhitungan Arus *Setting*

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

$$I_{set} = 29,32 \% \times 0,82$$

$$I_{set} = 0,24 \text{ A}$$

Hasil perhitungan didapatkan nilai arus setting sebesar 0,24 A. rele diferensial akan bekerja saat terjadi arus gangguan pada transformator yang menyebabkan nilai arus diferensial melebihi dari arus settingnya. Setelah mendapatkan nilai setting sesuai dengan perhitungan, berikut tabel hasil perhitungan matematis dan tabel perbandingan perhitungan setting rele diferensial dengan data setting rele diferensial di Gardu Induk Cilegon Baru.

Tabel 1. Data Hasil Perhitungan Matematis

Nama	150KV	20KV	Hasil
$I_{nominal}$	230.94 A	1732,05 A	
I_{rating}	254,034 A	1905,255 A	
<i>Error Mismatch</i>	0,88%	1,125%	
Arus Sekunder CT	0,77 A	0,87 A	
Arus Diffensial			0,1 A
Arus Restrain			0,82 A
<i>Slope1</i>			29,32%
<i>Slope2</i>			58,64%
Arus <i>Setting</i>			0,24 A

Sumber: Dokumentasi Pribadi (2022)

Tabel 2. Data Perbandingan Settingan Rele Diferensial

Perbandingan <i>Setting</i> Rele Diferensial	Arus <i>Setting</i>	<i>Slope1</i>	<i>Slope2</i>
<i>Setting</i> GI Cilegon Baru	0,2 A	30%	80%
<i>Setting</i> Hasil Perhitungan Matematis	0,24 A	29,32%	58,64%

Sumber: PT. PLN ULTG Cilegon Baru (2022)

Berdasarkan dari hasil pada Tabel perbandingan diatas dapat dilihat, yang dimana terdapat perbedaan pada *setting* di Gardu Induk Cilegon Baru dengan *setting* dari hasil perhitungan matematis atau setelan dari pabrik. Dimana dari tabel diatas dapat dilihat bahwa untuk arus *setting* di GI Cilegon baru sebesar 0,2 A sedangkan untuk arus *setting* hasil perhitungan matematis sebesar 0,24 A. Lalu untuk *setting* slope 1 dan 2 juga terdapat

perbedaan dari kedua *setting*. Dimana slope 1 sebesar 30% dan slope 2 sebesar 80% untuk *setting* GI Cilegon Baru. Sedangkan untuk slope 1 29,32% dan slope 2 58,64% untuk *setting* slope pada *seting* hasil perhitungan matematis.

Perbandingan data pada tabel 2 terdapat hasil yang mendekati antara arus *setting* rele diferensial perhitungan matematis dengan data arus *setting* rele diferensial Gardu Induk Cilegon Baru serta *setting* slope 1 dan 2. Hal ini karena pada perhitungan matematis mempertimbangkan faktor kesalahan yang mempengaruhi besar nilai *setting* diantaranya: Kesalahan transformator arus, CT *Mismatch*, Arus eksitasi transformator, dan faktor keamanan.

Adapun perbedaan signifikan pada slope 2, tetapi masih dalam rekomendasi dari PLN yang tercantum dalam buku petunjuk dan pedoman, dimana isi dari buku tersebut yaitu untuk *setting* slope 1 sebesar 20 % - 30 % dan untuk nilai *setting* slope 2 sebesar 40 % - 80 % seperti yang telah tercantum pada buku Pedoman Dan Petunjuk Sistem Proteksi Transmisi Dan Gardu Induk Jawa Bali. Dapat dilihat pada *setting* Slope Rele Diferensial di Gardu Induk Cilegon Baru pada Transformator Daya 60MVA Bay Cilegon baru yang dimana untuk *setting* nilai Slope 1 yaitu sebesar 30% dan untuk *setting* nilai slope 2 yang sebesar 80%. Berdasarkan dari nilai *setting* tersebut dapat dilihat, dimana untuk *setting* slope di Gardu Induk Cilegon baru sudah mencapai batas dari parameter yang direkomendasikan oleh PLN dan tercantum pada buku Pedoman dan Petunjuk Sistem Proteksi Transmisi dan Gardu Induk Jawa Bali. Dimana berdasarkan dari buku pedoman batas parameter dari *setting* slope 1 yaitu sebesar 30% dan *setting* slope 2 yaitu sebesar 80%.

Berdasarkan penjelasan dari staff proteksi di Gardu Induk Cilegon Baru, yang dimana untuk *setting* yang digunakan tersebut didapat dari perhitungan yang dilakukan oleh Pusat yaitu di Unit Pelayanan Transmisi (UPT) PLN pusat yang tidak dapat diubah oleh pihak staff proteksi Gardu Induk Cilegon apabila tanpa persetujuan dari pusat. Untuk *setting* slope yang digunakan dari Gardu Induk Cilegon baru yang mencapai batas parameter yang ditentukan, karena dilihat dari faktor perubahan nilai rasio transformator daya yang disebabkan oleh bekerjanya *on load tap changer*, dan arus magnetisasi dari transformator daya.

Namun, setelah melakukan perbandingan dari *setting* secara perhitungan matematis dengan *setting* yang ada di Gardu Induk Cilegon Baru serta mempertimbangkan dengan adanya beberapa faktor kesalahan serta acuan dari buku Pedoman dan Petunjuk Sistem

Proteksi Transmisi Gardu Induk Jawa Bali. Menurut peneliti untuk *setting* slope rele diferensial pada transformator daya gardu induk cilegon baru, kurang aman karena *setting* di GI Cilegon baru sudah mencapai batas parameter yang dianjurkan dan apabila terdapat kelebihan nilai pada slope dapat terjadi nya suatu error pada rele. Maka dari itu, peneliti sedikit menganjurkan untuk *setting* yang digunakan mungkin dapat dilihat juga dari keandalan rele diferensialnya serta untuk *setting* slope peneliti menyarankan dapat menggunakan *setting* dari perhitungan matematis atau *setting* dari pabrik yang masih dalam batas rekomendasi pada buku pedoman PLN.

KESIMPULAN DAN SARAN

Dari pembahasan yang telah diuraikan diatas dapat diambil kesimpulan bahwa rele diferensial merupakan merupakan proteksi utama dalam transformator daya. Prinsip kerja dari rele diferensial mengadaptasi hukum kirchoff I, yang dimana jumlah beban yang masuk dari sisi CT primer sama dengan beban yang keluar dari sisi CT sekunder.

Hasil perbandingan antara perhitungan matematis *setting* rele diferensial dengan *setting* GI Cilegon Baru, menunjukan bahwa *setting* perhitungan matematis memiliki nilai yang mendekati dengan data *setting* di GI Cilegon Baru. Dimana arus *setting* dari perhitungan matematis sebesar 0,24A dan *slope1* serta *slope2* sebesar 29,32% dan 58,64%, sedangkan arus *setting* pada GI Cilegon Baru sebesar 0,2A dan *slope1* serta *slope2* sebesar 30% dan 80%.

Adapun terdapat perbedaan signifikan pada *slope2*, tetapi masih dalam rekomendasi dari PLN yang tercantum dalam buku petunjuk dan pedoman, dimana isi dari buku tersebut yaitu untuk *setting* slope 1 sebesar 20 % - 30 % dan untuk nilai *setting* slope 2 sebesar 40 % - 80 % seperti yang telah tercantum pada buku Pedoman Dan Petunjuk Sistem Proteksi Transmisi Dan Gardu Induk Jawa Bali.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada pihak jurnal yang telah membantu proses review dan publikasi serta kepada Jurusan Pendidikan Vokasional Teknik Elektro yang telah membantu penulis dalam proses penelitian.

DAFTAR REFERENSI

- Afandi. (2005). *Sistem Tenaga Listrik Operasi Sistem dan Pengendalian*. Malang: UNM Press.
- Aribowo, D. (2019). Analisa Pengujian Tegangan Tembus Menggunakan Applied Potensial Test Pada Current Transformator Unit CT/VT. *Prosiding Seminar Nasional Pendidikan FKIP*, Vol 2 (1): 231-239.
- Aribowo, D., & Desmira. (2016). Analisis Kerugian Daya Pada Saluran Transmisi Tegangan Ekstra Tinggi 500 KV Unit Pelayanan Transmisi Cilegon Baru Cibinong. *VOLT*, Vol 1 (1): 19-36.
- Aribowo, D., Permata, E., Desmira, Ekawati, R., Hamid, M. A., Fatkhurrohman, M., . . . Bahtiar, K. (2018). Analisis Hasil Uji PMT 150kV Pada Gardu Induk Cilegon Baru BAY KS 1. *Seminar FORTEI*, 51-65.
- Aziz, A. (2019). Analisi Sistem Proteksi Arus Lebih Pada Penyulang Cendana Gardu Induk Bungaran Palembang. *Jurnal Ampere*, Vol 4 (2): 332-334.
- Badruzzaman, Y. (2014). Keandalan Rele Differential Sebagai Pengaman Utama Transformator Terhadap Gangguan Arus Hubung Singkat di GIS Randugarut. *JTET*, Vol 3 (3): 159-167.
- Karyana. (2013). *Pedoman dan Petunjuk Sistem Proteksi Transmisi dan Gardu Induk Jawa Bali*. Jakarta: PT. PLN (Persero).
- Keumala, D. (2021). Analisis Penggunaan Rele Diferensial Sebagai Proteksi Transformator 66MVA di PLTMG Sumbagut 2 Peaker Power Plant 250MW. *Jurnal Energi Elektrik*, Vol 10 (1): 9-13.
- Kurniawan, D. H. (2017). Analisis Penambahan Transformator Daya Baru (60MVA) Untuk Menambah Suplai Daya Area Distribusi Pada Gardu Induk Kentungan 150KV. *Jurnal Elektrikal*, Vol 4 (1): 65-73.
- Maulana, H. A., & Aribowo, D. (2015). Analisa Catu Daya Sistem Transformator Pemakaian Sendiri Pada SST dan UST. *Jurnal Teknik*, Vol 4 (1): 102-110.
- Nasution, E. S. (2019). Rele Diferensial Sebagai Proteksi Pada Transformator Daya Pada Gardu Induk. *Ready Star*, Vol 2 (1):179-186.
- Permata, E., & Aditama, D. (2020). Sistem Kendali On/Off Circuit Breaker 150kV AD20 Tipe 8DN2 di PT. Krakatau Daya Listrik. *Energi dan Kelistrikan: Jurnal Ilmiah*, Vol 12 (1): 65-73.
- PT. PLN (Persero) Undiklat Bogor. (2010). *Sistem Proteksi Gardu Induk*. Bogor: PT. PLN (Persero).
- PT. PLN. (2005). *Buku Teori Pelatihan O&M Relai Proteksi Gardu Induk*. Semarang: PT. PLN (Persero) P3B.

- PT. PLN. (2014). *Buku Pedoman Pemeliharaan Transformator Arus*. Jakarta Selatan: PT. PLN (Persero).
- PT. PLN. (2014). *Buku Pedoman Pemeliharaan Transformator Tenaga*. Jakarta Selatan: PT. PLN (Persero).
- Subianto. (2016). Studi Proteksi Rele Diferensial Pada Transformator PT. PLN (Persero) Keramasan Palembang. *Jurnal Surya Energi*, Vol 1 (1): 32-40.
- Syukriyadin. (2011). Analisis Proteksi Relay Differensial Terhadap Gangguan Internal dan Eksternal Transformator Menggunakan PSCAD/EMTDC. *Jurnal Rekayasa Elekrika*, Vol 9 (3): 101-107.
- Tasiam. (2017). *Proteksi Sistem Tenaga Listrik*. Yogyakarta: Teknosia.
- Yuniarto. (2015). Setting Relay Diferensial Pada Gardu Induk Kaliwungu guna Menghindari Kegagalan Proteksi. *Transmisi*, Vol 17 (3): 147-152.