

Analisis Sistem Proteksi Rele Differensial Pada Busbar Di Gardu Induk 150 kV Paokmotong

Rosihan Adi Wijaya¹, Supriyatna¹, Sultan¹

¹ Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Mataram Jl. Majapahit 62, Mataram, INDONESIA 83125

ARTICLE INFO

Article history:

Received , 2024

Revised

Accepted

Keywords:

Busbar;
effeciency;
disturbance;
Rele Differensial;
ETAP 19.0.1.;

ABSTRACT

Substations are an important component in the transmission and distribution system of electric power. This substation functions as a point of distributing electricity from the plant to the end consumer by changing the voltage level for power delivery efficiency. The critical element in the substation is the busbar or bus, which serves as a link between electrical equipment such as transformers, circuit breakers, and transmission lines. Busbars at the Substation play an important role in maintaining the continuity and stability of the electric power system. Busbars are also vulnerable to disturbances, such as short circuits that can cause major damage and widespread disruption of electrical services. Fast, sensitive, and reliable protection systems are needed to detect and isolate disturbances in the busbar to prevent more severe damage and ensure the safety and stability of the electric power system. An effective method of protection for busbars is to use differential relays. Differential relays work on the principle of ratio of inlet and outflow currents out of the protection zone. Data processing in the form of calculation of differential relay setting in the form of calculation: finding the value of the CT ratio, secondary current in the CT, differential current, strain current, slope percent and setting current. The next stage is to simulate the differential relay working system through ETAP 19.0.1 software. The differential current value (I_d) is 0.924 A and the restrain current (I_r) is 1.012 A, slope1 is 91.24% and slope2 is 182.48%, and the differential relay setting current value is 1.2012 A. The differential relay performance in the ETAP simulation is 100% working well. When there is a 3-phase internal symmetrical disturbance of 2.708 A, the differential relay works, and when there is an external symmetrical 3-phase disturbance , 1.486 A causes the differential relay not to work.

Gardu Induk merupakan komponen penting dalam sistem transmisi dan distribusi tenaga listrik. Gardu ini berfungsi sebagai titik penyaluran tenaga listrik dari pembangkit menuju ke konsumen akhir dengan mengubah level tegangan untuk efisiensi pengiriman daya. Elemen kritis di gardu induk adalah busbar atau bus, yang berfungsi sebagai penghubung antar peralatan listrik seperti transformator, pemutus sirkuut, dan saluran transmisi. Busbar di Gardu Induk berperan penting dalam menjaga kontinuitas dan stabilitas sistem tenaga listrik. Busbar juga merupakan titik yang rentan terhadap gangguan, seperti hubungan singkat (short circuit) yang dapat menyebabkan kerusakan besar dan gangguan layanan listrik yang meluas. Diperlukan sistem proteksi yang cepat, sensitif, dan andal untuk mendeteksi dan mengisolasi gangguan pada busbar guna mencegah kerusakan yang lebih parah dan memastikan keamanan serta stabilitas sistem tenaga listrik. Metode proteksi yang efektif untuk busbar adalah menggunakan rele differensial. Rele differensial bekerja berdasarkan prinsip perbandingan arus masuk dan keluar dari zona proteksi. Pengolahan data berupa perhitungan setting rele differensial berupa perhitungan: mencari nilai rasio CT, arus sekunder pada CT, arus diferensial, arus restrain, persen slope dan arus setting. Tahap selanjutnya adalah mensimulasikan sistem kerja rele differensial melalui software ETAP 19.0.1. Nilai arus diferensial (I_d) 0,924 A dan arus restrain (I_r) 1,012 A, slope1 91,24 % dan slope2 182,48 %, serta nilai arus setting rele differensial 1,2012 A. Kinerja rele differensial pada simulasi ETAP adalah 100% bekerja dengan baik. Saat terjadi gangguan 3 fasa simetris internal sebesar 2.708 A menyebabkan rele differensial bekerja dan saat terjadi gangguan 3 fasa simetris eksternal sebesar 1.486 A menyebabkan rele diferensial tidak bekerja.

Corresponding Author: Supriyatna, Department of Electrical Engineering, University of Mataram
Email: supriyatna@unram.ac.id

1. PENDAHULUAN

Sistem kelistrikan Lombok saat ini telah beroperasi dalam keadaan looping dengan dihubungkan oleh Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT) 150 kV, membentang dari Mataram di sisi barat hingga Sambelia di sisi timur. Pada tahun 2024 total Gardu Induk yang beroperasi sebanyak 13 unit dengan total kapasitas 830 MVA (Mega Volt Ampere) dengan panjang total SUTT 542,07 kms (kilo meter sikuit) dan energi yang disalurkan sebesar 2.066 GWh (Giga Watt Hour) dan melayani 1,5 juta pelanggan di Pulau Lombok[4].

Gardu Induk 150 kV Paokmotong terhubung langsung dengan Gardu Induk Sengkol di barat dan Gardu Induk Pringgabaya di timur. Gardu induk ini menggunakan sistem double busbar. Memiliki 3 trafo daya yaitu; trafo 1 berkapasitas 30 MVA, trafo 2 berkapasitas 60 MVA, trafo 3 berkapasitas 60 MVA dan 1 trafo PS 200 kVA. Trafo 1 berkapasitas 30 MVA terhubung dengan kopel PLTD 1 dan PLTS selong. Trafo 2 berkapasitas 60 MVA terhubung dengan kopel PLTD 2.

Gardu Induk merupakan komponen penting dalam sistem transmisi dan distribusi tenaga listrik. Gardu ini berfungsi sebagai titik penyaluran tenaga listrik dari pembangkit menuju ke konsumen akhir dengan mengubah level tegangan untuk efisiensi pengiriman daya. Elemen kritis di gardu induk adalah busbar atau bus, yang berfungsi sebagai penghubung antar peralatan listrik seperti transformator, pemutus sirkuit, dan saluran transmisi.

Busbar di Gardu Induk berperan penting dalam menjaga kontinuitas dan stabilitas sistem tenaga listrik. Busbar juga merupakan titik yang rentan terhadap gangguan, seperti hubungan singkat (short circuit) yang dapat menyebabkan kerusakan besar dan gangguan layanan listrik yang meluas. Diperlukan sistem proteksi yang cepat, sensitif, dan andal untuk mendeteksi dan mengisolasi gangguan pada busbar guna mencegah kerusakan yang lebih parah dan memastikan keamanan serta stabilitas sistem tenaga listrik.

Metode proteksi yang efektif untuk busbar adalah menggunakan rele differensial. Rele differensial bekerja berdasarkan prinsip perbandingan arus masuk dan keluar dari zona proteksi. Kondisi normal, arus yang masuk ke busbar harus sama dengan arus yang keluar. Jika terjadi gangguan, seperti hubungan singkat di dalam zona proteksi, akan terdapat perbedaan antara arus masuk dan arus keluar, yang kemudian akan terdeteksi oleh rele differensial. Ketika rele mendeteksi perbedaan arus yang signifikan, rele ini akan mengirim sinyal untuk memutus sirkuit, mengisolasi area yang terganggu dan mencegah penyebaran gangguan lebih lanjut.

2. METODE

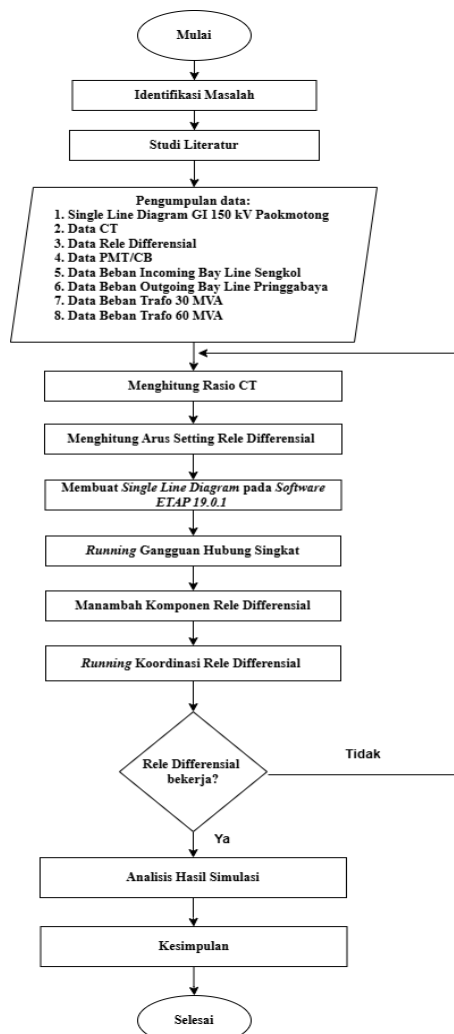
2.1. Langkah Penelitian

Penelitian ini dilakukan untuk menentukan ratio CT, nilai setting rele differensial, dan simulasi rele differensial terhadap gangguan internal dan eksternal pada Busbar di Gardu Induk 150 kV Paokmotong.

Langkah - langkah penelitian yang dilakukan sebagai berikut:

1. Memulai penelitian dengan mencari dan mengumpulkan referensi-referensi terpercaya yang berkaitan dengan topik penelitian.
2. Melakukan studi literatur dengan beberapa referensi terpercaya.
3. Mengambil data sekunder berupa:
 - i. *Single Line Diagram* GI 150 kV Paokmotong.
 - ii. Data PMT/CB.
 - iii. Data CT.
 - iv. Data Rele Differensial ke PT.PLN (persero).
 - v. Data Arus Beban *Incoming Bay Line* Sengkol.
 - vi. Data Arus Beban *Outgoing Bay Line* Pringgabaya.
 - vii. Data Beban Trafo 30 MVA.
 - viii. Data Beban Trafo 60 MVA.
4. Merangkai *Single Line Diagram* Gardu Induk 150 kV Paokmotong pada *software ETAP 19.0.1*.
5. Menjalankan *software ETAP 19.0.1*.
6. Melihat apakah terdapat *error* atau tidak, apabila terdapat *error* maka harus diperiksa kembali rangkaian dan data yang sudah di input tetapi jika tidak ada *error* maka rangkaian dan data yang di input sudah benar.
7. Running gangguan hubung singkat pada *software ETAP 19.0.1*.
8. Menghitung Rasio CT dan Setting Rele Differensial.
9. Masukkan hasil perhitungan Rasio CT dan Setting Rele Differensial pada rangkaian *ETAP 19.0.1*.
10. Running Koordinasi Rele Differensial pada saat terjadi gangguan hubung singkat *internal* dan *eksternal* pada bus.

11. Menganalisis hasil running dalam keadaan normal, dan saat terjadi gangguan internal dan eksternal pada bus.
12. Selesai



Gambar 1. Diagram Alir Proses Penelitian

2.2. Gardu Induk

Gardu Induk merupakan sub sistem dari sistem penyaluran (transmisi) tenaga listrik yang berfungsi sebagai pusat penyaluran (transmisi) yang menghubungkan sistem transmisi tegangan tinggi dengan saluran-saluran dan gardu-gardu distribusi [2][3].

2.3 Prinsip Kerja Gardu Induk Konfigurasi Double Busbar.

Busbar memiliki peranan yang sangat penting karena berfungsi sebagai tempat terhubungnya semua bay yang ada pada gardu induk tersebut, seperti bay trafo dan bay line. Sistem double busbar terdiri dari 2 rel, menghubungkan rel 1 dengan rel 2 digunakanlah bay kopel, pada bay kopel terdapat PMT kopel yang berfungsi menghubungkan kedua rel tersebut. Sistem tenaga listrik yang mengalir akan lebih fleksibel karena apabila sewaktu menghadapi gangguan yang terjadi dalam sistem. PMS (Pemisah) rel pada rel 1 tidak tersambung, maka arus akan mengalir pada penghantar tersebut berasal dari rel 2 yang terhubung dengan sumber tenaga. Salah satu rel dalam keadaan padam (sedang dilakukan pemeliharaan maupun sedang terjadi gangguan) maka beban tersebut akan dilimpahkan/dialihkan ke rel lainnya untuk menjaga keandalan sistem tenaga listrik tetap handal[2][3].

2.4 Sistem Proteksi.

Gangguan pada pusat pembangkit listrik dapat terjadi kapan saja, untuk itu diperlukan sistem proteksi, yang berfungsi selain mengamankan peralatan pada pusat pembangkit juga untuk melokalisir dampak dari gangguan. Alat pendeteksi gangguan adalah rele, yang selanjutnya memberi perintah kepada trip coil untuk membuka pemutus tenaga (PMT)[5][6].

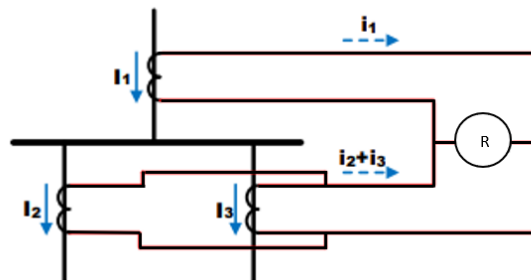
2.5 Syarat-Syarat Sistem Proteksi.

Adapun beberapa syarat-syarat sistem proteksi antara lain:

1. Sensitif
Sistem proteksi harus mampu mendeteksi sekecil apapun ke tidak normalan sistem dan beroperasi dibawah nilai minimum gangguan.
2. Selektif
Sistem proteksi harus mampu menentukan daerah kerjanya dan atau fasa yang terganggu secara tepat.
3. Keandalan
Suatu sistem proteksi dapat bekerja benar sesuai fungsi yang diinginkan dalam kondisi dan jangka waktu tertentu. Proteksi diharapkan bekerja pada saat kondisi yang diharapkan terpenuhi dan tidak boleh bekerja pada kondisi yang tidak diharapkan.
4. Kecepatan
Elemen sistem proteksi harus mampu memberikan respon sesuai dengan kebutuhan peralatan yang dilindungi untuk meminimalisasi terjadinya gangguan meluas, lama gangguan dan gangguan pada stabilitas sistem. Desain sistem proteksi harus mempertimbangkan kecepatan pemutusan gangguan untuk memisahkan sumber gangguan.

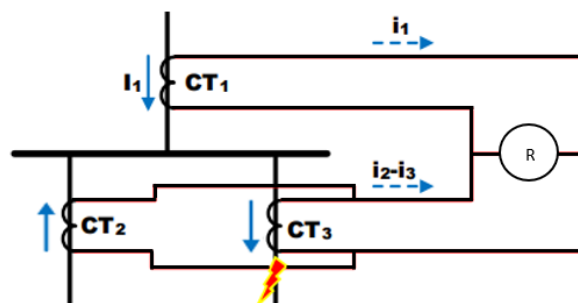
2.6 Rele Differensial.

Prinsip kerja rele differensial mengacu pada hukum kirchoff yaitu keseimbangan jumlah arus antara jumlah arus yang masuk dan jumlah arus yang keluar pada suatu titik. Rele differensial hanya bekerja jika terjadi gangguan pada daerah yang diproteksi dan tidak terpengaruh dengan adanya gangguan akibat beban lebih. Rele differensial digunakan sebagai pengaman utama karena sifatnya yang dapat bekerja dengan kecepatan tinggi serta sangat selektif mengamankan gangguan. Proteksi differensial ini digunakan antara lain pada generator, transformator, motor, dan bus. Kondisi normal arah aliran arus akan mengalir seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2[8].



Gambar 2. Pemodelan Rele Differensial Pada Kondisi Normal.

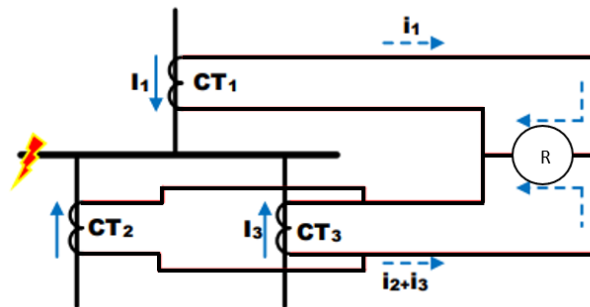
Saat kondisi normal, besar arus I_1 akan sama dengan jumlah arus I_2 dan I_3 atau $I_1 = I_2 + I_3$. Dengan demikian jumlah arus yang masuk dan keluar daerah yang diproteksi akan tetap sama sehingga rele differensial tidak akan bekerja. Meskipun telah terjadi *overload* atau kelebihan beban pada sistem. Sedangkan kondisi saat terjadi gangguan eksternal seperti pada Gambar 3 maka arus gangguan akan mengalir menuju ke titik gangguan di luar daerah yang diproteksi [8].



Gambar 3. Pemodelan Rele Differensial Saat Gangguan *Eksternal*.

Saat terjadi gangguan eksternal maka besar arus I_2 akan sama dengan jumlah arus I_1 dan I_3 atau $I_1 = I_2 + I_3$. Perubahan tanda I_3 disebabkan karena perubahan arah arus I_3 akibat terjadi gangguan eksternal pada *feeder* I_2 kondisi tersebut maka tetap terjadi keseimbangan antara jumlah arus yang masuk dan arus yang

keluar pada daerah yang diproteksi dengan demikian maka rele differensial tidak akan bekerja. Gangguan internal maka arus gangguan akan mengalir menuju daerah yang diproteksi seperti pada Gambar 4 [8].

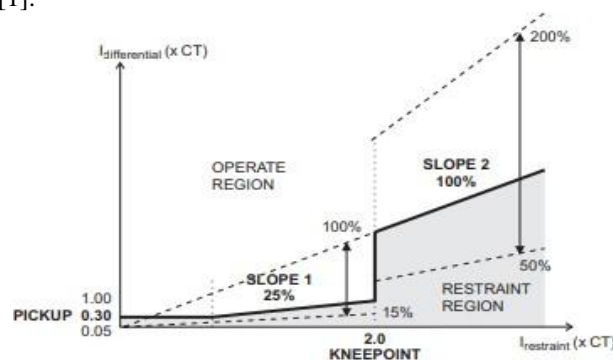


Gambar 4. Pemodelan Rele Differensial Saat Gangguan *Internal*.

Gangguan internal maka tidak terjadi keseimbangan antara jumlah arus yang masuk dan arus yang keluar pada daerah tersebut karena seluruh arus mengalir menuju titik gangguan. Rele akan segera bekerja memberikan sinyal trip ke *circuit breaker* yang terpasang pada setiap *feeder incoming* dan *outgoing* yang terhubung dengan busbar tersebut [8].

2.7 Karakteristik Rele Differensial.

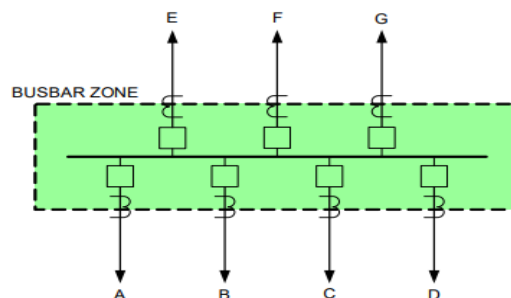
Rele differensial merupakan suatu rele yang karakteristik kerjanya berdasarkan keseimbangan (*balance*), yang membandingkan arus-arus sekunder transformator arus (*CT*) terpasang pada terminal peralatan atau instalasi listrik yang diamankan. Kurva karakteristik *Slope* didapatkan dengan cara memasukkan arus *setting Slope* dan *%Slope*. Kurva ini berfungsi untuk melihat tingkat kecuraman *%Slope trip value* sebagai indikasi selektifitas rele differensial [1].



Gambar 5. Karakteristik Rele Differensial.

2.8 Daerah Proteksi Busbar.

Daerah kerja proteksi busbar adalah daerah di antara semua trafo arus (*CT*) bay yang tersambung di busbar tersebut. Sistem proteksi busbar harus bekerja tanpa tunda waktu (*instantaneous*) apabila terjadi gangguan di dalam zona proteksiannya (area warna hijau) seperti diperlihatkan pada Gambar 6. Namun, untuk gangguan yang terjadi di luar zona proteksiannya (di luar area warna hijau), proteksi busbar tidak boleh bekerja (rele harus stabil)[7].



Gambar 6. Daerah Proteksi Busbar.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Perhitungan Setting Rele Differensial

- a. Perhitungan Arus Nominal

1. Perhitungan Arus Nominal Trafo Daya 30 MVA

$$\begin{aligned} I_n HV &= \frac{S}{\sqrt{3} \times V_P} \\ &= \frac{30 \text{ MVA}}{\sqrt{3} \times 150 \text{ kV}} \\ &= \frac{30.000 \text{ kVA}}{\sqrt{3} \times 150 \text{ kV}} \\ &= 115,47 \text{ A} \end{aligned}$$

2. Perhitungan Arus Nominal Trafo Daya 60 MVA

$$\begin{aligned} I_n HV &= \frac{S}{\sqrt{3} \times V_P} \\ &= \frac{60 \text{ MVA}}{\sqrt{3} \times 150 \text{ kV}} \\ &= \frac{60.000 \text{ kVA}}{\sqrt{3} \times 150 \text{ kV}} \\ &= 230,94 \text{ A} \end{aligned}$$

3. Perhitungan Arus Nominal *Bay Line* Sengkol Dan *Bay Line* Pringgabaya.

$$\begin{aligned} I_n HV &= \frac{S}{\sqrt{3} \times V_P} \\ &= \frac{148.090 \text{ MVA}}{\sqrt{3} \times 150 \text{ kV}} \\ &= \frac{148.090 \text{ kVA}}{\sqrt{3} \times 150 \text{ kV}} \\ &= 570 \text{ A} \end{aligned}$$

- b. Perhitungan Rasio CT

1. Perhitungan Rasio CT pada Transformator Daya 30 MVA

$$\begin{aligned} I_{rating} &= 110 \% \times I_n \\ &= 110 \% \times 115,47 \text{ A} \\ &= 127,017 \text{ A} \end{aligned}$$

Perhitungan arus nominal pada sisi primer yang dihasilkan adalah 115,47 A dan nilai arus rating nya adalah 127,017 A, sehingga rasio yang digunakan pada CT adalah 150:1 A.

2. Perhitungan Rasio CT pada Transformator Daya 60 MVA

$$\begin{aligned} I_{rating} &= 110 \% \times I_n \\ &= 110 \% \times 230,94 \text{ A} \\ &= 254,034 \text{ A} \end{aligned}$$

Perhitungan arus nominal pada sisi primer yang dihasilkan adalah 230,94 A dan nilai arus rating nya adalah 254,034 A, sehingga rasio yang digunakan pada CT adalah 300:1 A.

3. Perhitungan Rasio CT pada *Bay Line* Sengkol dan *Bay Line* Pringgabaya.

$$\begin{aligned} I_{rating} &= 110 \% \times I_n \\ &= 110 \% \times 570 \text{ A} \\ &= 627 \text{ A} \end{aligned}$$

Perhitungan arus nominal pada sisi primer yang dihasilkan adalah 570 A dan nilai arus rating nya adalah 627 A, sehingga rasio yang digunakan pada CT adalah 600:1 A.

c. Perhitungan Arus Sekunder Pada CT

1. Perhitungan Arus Sekunder Pada CT Trafo 30 MVA

$$\begin{aligned} I_s &= \frac{1}{ratio\ CT} \times I_{bay\ trafo} \\ &= \frac{1}{\frac{150}{1}} \times 111,1 \text{ A} \\ &= \frac{1}{150} \times 111,1 \text{ A} \\ &= 0,740 \text{ A} \end{aligned}$$

2. Perhitungan Arus Sekunder Pada CT Trafo 60 MVA

$$\begin{aligned} I_s &= \frac{1}{ratio\ CT} \times I_{bay\ trafo} \\ &= \frac{1}{\frac{300}{1}} \times 220,2 \text{ A} \\ &= \frac{1}{300} \times 220,1 \text{ A} \\ &= 0,734 \text{ A} \end{aligned}$$

3. Perhitungan Arus Sekunder Pada CT Bay Line Sengkol Dan CT Bay Line Pringgabaya.

$$\begin{aligned} I_s &= \frac{1}{ratio\ CT} \times I_{bay\ line} \\ &= \frac{1}{\frac{600}{1}} \times 82,6 \text{ A} \\ &= \frac{1}{600} \times 82,6 \text{ A} \\ &= 0,137 \text{ A} \end{aligned}$$

d. Perhitungan Arus Differensial

$$\begin{aligned} I_d &= |I_{s\ bay\ line} - I_{s\ bay\ trafo}| \\ &= |(0,137+0,137+0,137+0,137) - (0,740+0,734+0)| \text{ A} \\ &= |(0,550) - (1,474)| \text{ A} \\ &= |-0,924| \text{ A} \\ &= 0,924 \text{ A} \end{aligned}$$

e. Perhitungan Arus Restrain (I_r)

$$\begin{aligned}
 I_r &= \frac{I_{s \text{ bay line}} + I_{s \text{ bay trafo}}}{2} \\
 &= \frac{0,550 + 1,474 \text{ A}}{2} \\
 &= \frac{2,025 \text{ A}}{2} \\
 &= 1,012 \text{ A}
 \end{aligned}$$

f. Perhitungan *Persen Slope*

$$\begin{aligned}
 \text{slope 1} &= \frac{I_d}{I_r} \times 100\% \\
 &= \frac{0,924 \text{ A}}{1,012 \text{ A}} \times 100\% \\
 &= 91,24 \%
 \end{aligned}$$

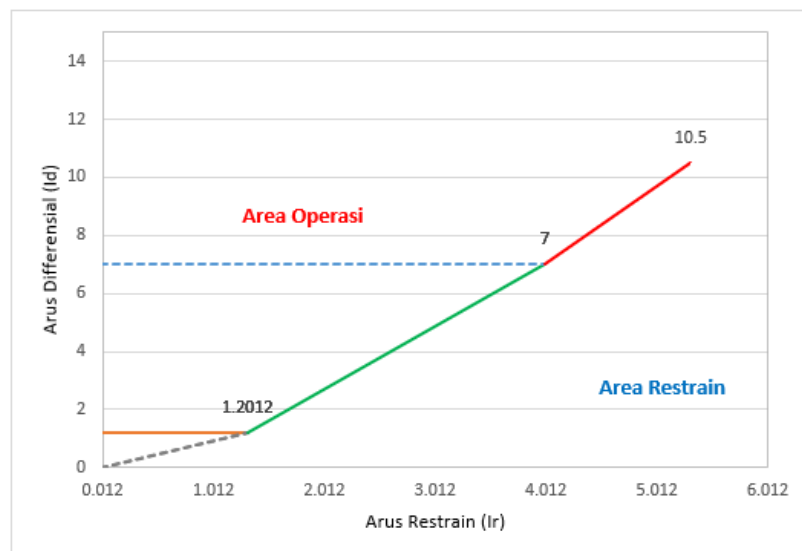
$$\begin{aligned}
 \text{Slope 2} &= 2 \times \text{Slope 1} \\
 &= 2 \times 91,24 \% \\
 &= 182,48 \%
 \end{aligned}$$

a. Perhitungan Arus Setting Rele Differensial

$$\begin{aligned}
 I_{set} &= \% \text{Slope} \times I_r \\
 &= 91,24 \% \times 1,012 \text{ A} \\
 &= 0,924 \text{ A}
 \end{aligned}$$

Hasil perhitungan nilai arus setting rele differensial adalah 0,924 A. Nilai Arus Setting di tambah 30% supaya tidak mendekati nilai arus differensial pada kondisi normalnya. Nilai arus setting adalah 1,2012 A.

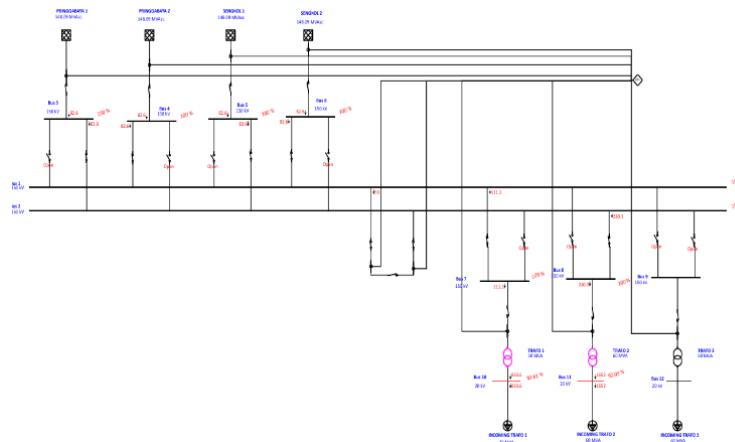
b. Karakteristik Rele Differensial



Gambar 7. Karakteristik Rele Differensial GI 150 kV Paokmotong.

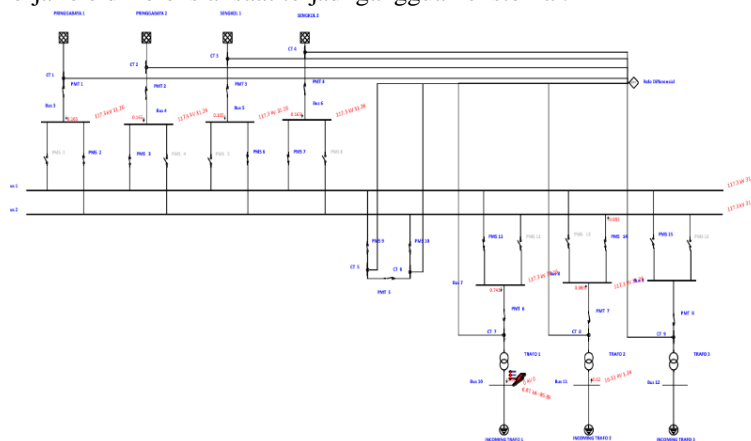
3.2 Simulasi Sistem Kerja Rele Differensial Menggunakan Software ETAP 19.0.1.

a. Simulasi sistem rele differensial saat keadaan normal.



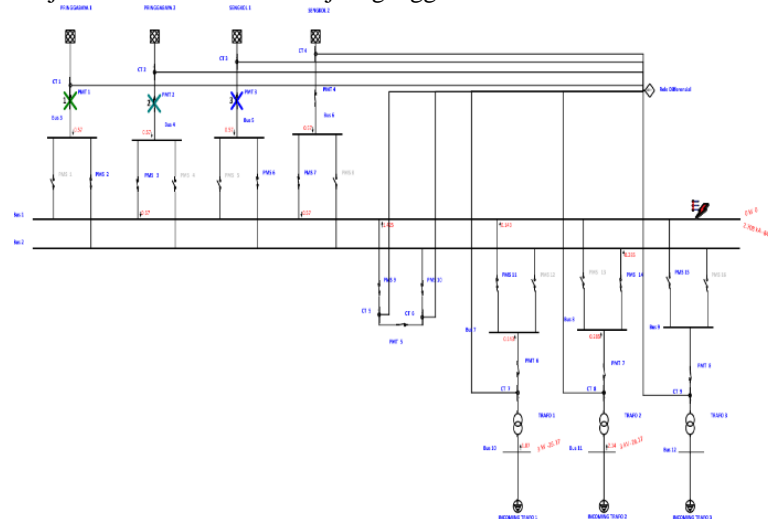
Gambar 8. Simulasi sistem rele differensial saat keadaan normal.

b. Simulasi sistem kerja rele differensial saat terjadi gangguan eksternal.



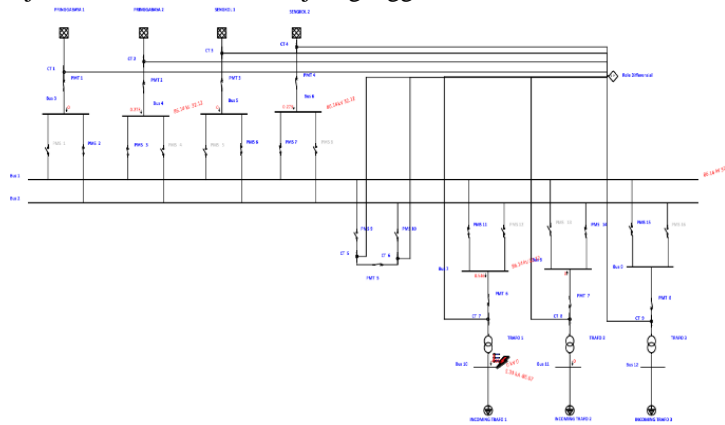
Gambar 9. Simulasi sistem kerja rele differensial saat terjadi gangguan eksternal.

c. Simulasi sistem kerja rele differensial saat terjadi gangguan internal.



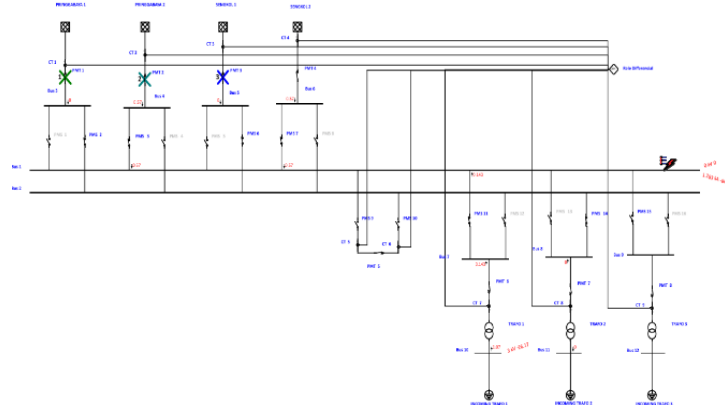
Gambar 10. Simulasi sistem kerja rele differensial saat terjadi gangguan internal.

d. Simulasi sistem kerja rele differensial saat terjadi gangguan eksternal dalam kondisi *bay copel open*.



Gambar 11. Simulasi sistem kerja rele differensial saat terjadi gangguan eksternal dalam kondisi *bay copel open*.

e. Simulasi sistem kerja rele differensial saat terjadi gangguan internal dalam kondisi *bay copel open*.



Gambar 12. Simulasi sistem kerja rele differensial saat terjadi gangguan internal dalam kondisi *bay copel open*.

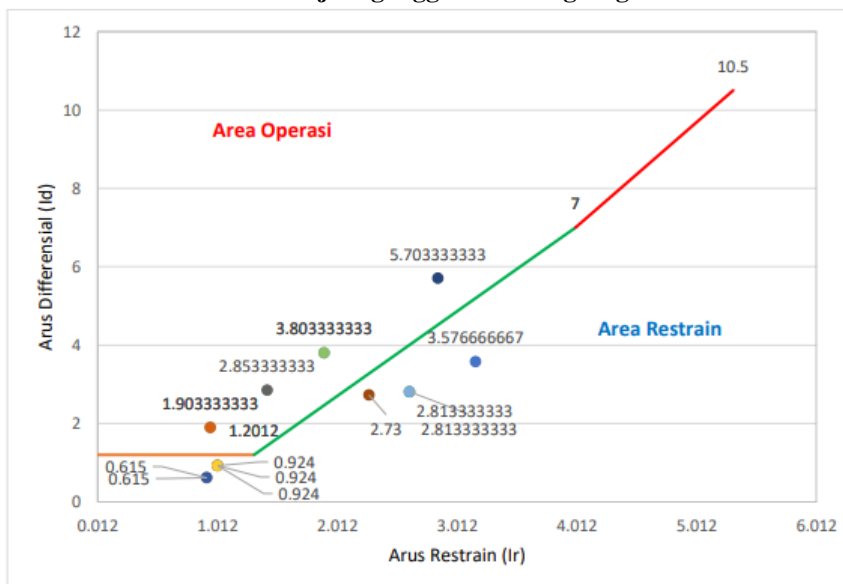
3.3 Hasil Perhitungan Simulasi Arus Differensial Dan Arus Restrain Saat Terjadi Gangguan Hubung Singkat 3 Fasa.

Tabel 1. Hasil perhitungan simulasi arus differensial dan arus restrain saat terjadi gangguan hubung singkat 3 fasa.

No.	Gangguan	Kondisi	Arus Differensial (Id) (A)	Arus Restrain (Ir) (A)
1	Normal	<i>Bay Kopel Close</i>	0,924	1,012
2	Eksternal	<i>Bay Kopel Close</i>	3,576	3,165
3	Eksternal	<i>Bay Kopel Open</i>	2,73	2,275
4	Internal	<i>Bay Kopel Close</i>	5,703	2,851
5	Internal	<i>Bay Kopel Open</i>	2,853	1,426
6	Normal	<i>Bay Line Pringgabaya Open</i>	0,924	1,012
7	Eksternal	<i>Bay Kopel Close (Pringgabaya Open)</i>	2,813	2,613
8	Eksternal	<i>Bay Kopel Open (Pringgabaya Open)</i>	0,615	0,922
9	Internal	<i>Bay Kopel Close (Pringgabaya Open)</i>	3,803	1,901
10	Internal	<i>Bay Kopel Open (Pringgabaya Open)</i>	1,9	0,95
11	Normal	<i>Bay Line Sengkol Open</i>	0,924	1,012
12	Eksternal	<i>Bay Kopel Close (Sengkol Open)</i>	2,813	2,613
13	Eksternal	<i>Bay Kopel Open (Sengkol Open)</i>	0,615	0,922
14	Internal	<i>Bay Kopel Close (Sengkol Open)</i>	3,803	1,901
15	Internal	<i>Bay Kopel Open (Sengkol Open)</i>	1,9	0,95

Tabel 1 hasil perhitungan simulasi arus differensial dan arus restrain saat terjadi gangguan hubung singkat 3 fasa. Pada kondisi normal rele differensial tidak bekerja karena tidak terjadi gangguan. Pada saat terjadi gangguan eksternal di Trafo 30 MVA rele diffrensial tidak bekerja disebabkan gangguan berada pada luar daerah proteksi. Gangguan internal di bus 1 rele differensial bekerja disebabkan gangguan berada pada daerah proteksi yang ditandai dengan *circuit breaker open*.

3.4 Karakteristik rele differensial saat terjadi gangguan hubung singkat 3 fasa simetris.



Gambar 12. Karakteristik rele differensial saat terjadi gangguan hubung singkat 3 fasa simetris.

Gambar 12 karakteristik rele differensial saat terjadi gangguan hubung singkat 3 fasa simetris. Gangguan internal rele differensial bekerja karena gangguan berada pada daerah proteksi seperti pada area proteksi. Saat terjadi gangguan eksternal rele differensial tidak bekerja karena gangguan berada di luar daerah proteksi seperti pada area restrain.

3.5 Perbandingan Kurva Karakteristik Rele Differensial Dengan Simulasi Etap.

Tabel 2. Perbandingan Kurva Karakteristik Rele Differensial Dengan Simulasi Etap

No.	Gangguan	Kondisi	Posisi Kurva Karakteristik	Simulasi Etap
1	Normal	<i>Bay Kopel Close</i>	Area Restrain	<i>Tidak Bekerja</i>
2	Eksternal	<i>Bay Kopel Close</i>	Area Restrain	<i>Tidak Bekerja</i>
3	Eksternal	<i>Bay Kopel Open</i>	Area Restrain	<i>Tidak Bekerja</i>
4	Internal	<i>Bay Kopel Close</i>	Area Operasi	<i>Bekerja</i>
5	Internal	<i>Bay Kopel Open</i>	Area Operasi	<i>Bekerja</i>
6	Normal	<i>Bay Line Pringgabaya Open</i>	Area Restrain	<i>Tidak Bekerja</i>
7	Eksternal	<i>Bay Kopel Close (Pringgabaya Open)</i>	Area Restrain	<i>Tidak Bekerja</i>
8	Eksternal	<i>Bay Kopel Open (Pringgabaya Open)</i>	Area Restrain	<i>Tidak Bekerja</i>
9	Internal	<i>Bay Kopel Close (Pringgabaya Open)</i>	Area Operasi	<i>Bekerja</i>
10	Internal	<i>Bay Kopel Open (Pringgabaya Open)</i>	Area Operasi	<i>Bekerja</i>
11	Normal	<i>Bay Line Sengkol Open</i>	Area Restrain	<i>Tidak Bekerja</i>
12	Eksternal	<i>Bay Kopel Close (Sengkol Open)</i>	Area Restrain	<i>Tidak Bekerja</i>
13	Eksternal	<i>Bay Kopel Open (Sengkol Open)</i>	Area Restrain	<i>Tidak Bekerja</i>
14	Internal	<i>Bay Kopel Close (Sengkol Open)</i>	Area Operasi	<i>Bekerja</i>
15	Internal	<i>Bay Kopel Open (Sengkol Open)</i>	Area Operasi	<i>Bekerja</i>

Tabel 2 perbandingan kurva karakteristik rele differensial dengan simulasi etap, pada kurva karakteristik ketika rele bekerja ditandai dengan area operasi dan rele differensial tidak bekerja ditandai dengan area restrain. Simulasi etap rele differensial bekerja ditandai dengan *circuit breaker open* dan rele differensial tidak

bekerja ditandai dengan circuit breaker close. Perbandingan kurva karakteristik rele differensial dengan simulasi etap sesuai ketika terjadi gangguan internal dan eksternalnya.

4. KESIMPULAN

Penggunaan rele differensial pada busbar di Gardu Induk 150 kV Paokmotong berfungsi sebagai pengaman utama busbar karena sifatnya yang cepat dan selektif mengamankan gangguan. Settingan rele differensial yang didapatkan dengan arus differensial (I_d) adalah 0,924 A dan arus *restrain* (I_r) sebesar 1,012 A, dengan *slope* 1 sebesar 91,24 % dan *slope* 2 sebesar 182,48 %, serta arus *setting* rele differensial adalah 1,2012 A. Simulasi ETAP 19.0.1 saat terjadi gangguan hubung singkat 3 fasa simetris di daerah pengaman (internal) menyebabkan rele differensial bekerja karena gangguan berada pada daerah proteksi dengan arus differensial (I_d) adalah 5,703 A dan arus *restrain* (I_r) sebesar 2,851 A. Gangguan hubung singkat 3 fasa simetris di luar daerah pengaman (eksternal) yang menyebabkan rele differensial tidak bekerja karena gangguan berada pada luar daerah proteksinya dengan arus differensial (I_d) adalah 3,576 A dan arus *restrain* (I_r) sebesar 3,165 A.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] P.M. Anderson,, (2021). Power System Protection, Second Edition.
- [2] M. N. A. L. Danianto,, I.G.D. Arjana, & C. G. I. Partha, (2022). Analisis Sistem Pengaman Utama Untuk Mengamankan Busbar 150 Kv Terhadap Gangguan di GIS Pecatu. Jurnal SPEKTRUM Vol, 9(4).
- [3] A. Fauzi, I.G.D. Arjana, & C.G.I. Partha, (2020). Perancangan sistem pengaman busbar 150 KV menggunakan rele differensial di gardu induk Sanur. Jurnal SPEKTRUM Vol, 7(2).
- [4] Lombok Post. (2024). Provinsi Nusa Tenggara Barat dalam Angka 2024. (<https://lombokpost.jawapos.com/ntb/1502791549/dua-unit-layanan-gardu-induk-beroperasi-listrik-lombok-semakin-andal>) (Diakses pada Kamis, 23 Mei 2024 jam 16:00 wita).
- [5] P.L. Multa, & P. A. Restu, (2013). Modul Pelatihan ETAP. Jurusan Teknik Elektro Dan Teknologi Informasi Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta: Magatrika.
- [6] R. C. Nova (2018). Simulasi Dan Monitoring Relai Differensial Sebagai Proteksi Busbar Di Gardu Induk Tegangan Tinggi Dengan Konfigurasi Double Busbar Berbasis Arduino Mega 2560 Dengan Menggunakan Scada. Program Studi Teknik Elektro Departemen Teknologi Industri Sekolah Vokasi Universitas Diponegoro Semarang.
- [7] PT. PLN (Persero). (2014). Buku Pedoman Pemeliharaan Proteksi Dan Kontrol Busbar. No; PDM/SGI/17:2014.
- [8] N. F. Rizkaurum (2017). Evaluasi Kegagalan Setting Rele differensial Pada Bus 18 Kv Di Sistem Kelistrikan PLTU Up Paiton Unit 1. Departemen Teknik Elektro Fakultas Teknologi Elektro Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.
- [9] J.Y. Siallagan, A. Tanjung, dan A. Arlenny, (2021). Studi Kebutuhan Perencanaan Pemasangan Busbar Proteksi Pada Gardu Induk Dumai PT. PLN (Persero) UPT Pekanbaru. JURNAL TEKNIK, 15(2), 94-103.
- [10] Y. Yusmartato, R. Nasution, & A. Armansyah, (2019). Menentukan Setting Rele differensial Pada Bus-Bar Di Gardu Induk Paya Pasir Medan. JET (Journal of Electrical Technology), 4(1), 47-52.