

**PENGUNAAN RELE LINE CURRENT DIFFERENTIAL SEBAGAI
PENGANTI PENGAMAN UTAMA PADA PENGHANTAR BAY REMBANG 2
GARDU INDUK 150KV SEMEN INDONESIA REMBANG**



**Disusun sebagai salah satu syarat menyelesaikan Program Studi Strata I
pada Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik**

Oleh:

MUIDHOTUSSAFITRI

D400190009

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SURAKARTA
2023**

HALAMAN PENGESAHAN

PENGUNAAN RELE LINE CURRENT DIFFERENTIAL SEBAGAI PENGANTI PENGAMAN UTAMA PADA PENGHANTAR BAY REMBANG 2 GARDU INDUK 150KV SEMEN INDONESIA REMBANG

Oleh

MUIDHOTUS SAFITRI

D400190009

Telah diperiksa dan disetujui sebagai salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar Sarjana pada
Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Surakarta

Dosen Pembimbing



Aris Budiman, S.T., M.T.

NIK. 885

Telah dipertahankan di depan Dewan Penguji
Fakultas Teknik
Universitas Muhammadiyah Surakarta
Pada hari Kamis, 26 Januari 2023
dan dinyatakan telah memenuhi syarat

Dewan Penguji:

1. Aris Budiman, S.T., M.T.
(Ketua Dewan Penguji)
2. Agus Supardi, S.T., M.T.
(Anggota I Dewan Penguji)
3. Umar, S.T., M.T.
(Anggota II Dewan Penguji)



Dekan,

Rois Fatoni, S.T., M.Sc., Ph.D

NIK. 892

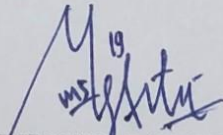
PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam naskah publikasi ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di suatu perguruan tinggi dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan orang lain, kecuali secara tertulis diacu dalam naskah dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Apabila kelak terbukti ada ketidakbenaran dalam pernyataan saya di atas, maka akan saya pertanggungjawabkan sepenuhnya.

Surakarta, 26 Januari 2023

Penulis



MUIDHOTUS SAFITRI
D400190009

PENGUNAAN RELE LINE CURRENT DIFFERENTIAL SEBAGAI PENGANTI PENGAMAN UTAMA PADA PENGHANTAR BAY REMBANG 2 GARDU INDUK 150KV SEMEN INDONESIA REMBANG

Abstrak

Setiap komponen sistem tenaga listrik sangat dibutuhkan sistem yang dapat berfungsi untuk menjaga dari adanya gangguan. Rele adalah komponen elektronika yang biasanya berbentuk saklar dan berfungsi untuk mengontrol rangkaian listrik. Rele *line current differential* (LCD) adalah sebuah komponen utama pada penghantar sebagai sistem proteksi dengan mengabaikan nilai impedansi. Penelitian ini bertujuan untuk memberikan solusi terkait perancangan atau penempatan rele *line current differential* (LCD) pada penghantar Rembang-Semen Indonesia sebagai pengaman utama pada gardu induk tersebut dan hasil dari penelitian ini akan disimulasikan menggunakan *software* ETAP 12.6.0 terkait pemasangan rele yang baru ketika rele beroperasi. Metode yang digunakan yaitu melakukan penelitian dan pengamatan secara langsung saat dilakukan penambahan rele di Gardu Induk 150kV Semen Indonesia Rembang. Langkah selanjutnya mengolah data secara matematis yang kemudian perancangan atau pemasangan rele *line current differential* (LCD) akan disimulasikan di *software* ETAP. Rasio CT sekunder yang digunakan yaitu sebesar 2000/5 A, CT ini didapatkan dari hasil pengujian di lapangan dan diterapkan pada simulasi. Hasil nilai *setting* arus *line current differential* (I_{s1}) yaitu sebesar 0,09025 Amp pada perhitungan sedangkan pada hasil uji lapangan sebesar 1 Amp. Hasil perhitungan *setting* rele *line current differential* satunya (I_{s2}) sebesar 10 Amp dan hasilnya sama dengan uji di lapangan. Nilai *percent slope* 1 hasilnya 12,3% sedangkan pada hasil uji lapangan 40% jadi selisihnya lumayan banyak. Nilai *percent slope* 2 sebesar 24,6% pada perhitungan dan termasuk setengah dari hasil uji di lapangan. Hasil dari simulasi ketika normal maka tidak adanya gangguan pada gardu induk tersebut, sedangkan ketika di *running* dan diberi gangguan internal tetap tidak terjadi *trip* pada CB. Ditambahkan CT dan rele OCR pada bay penghantar Rembang 2 dan ketika di *running* diberi gangguan hasilnya terjadi *trip* pada CB yang artinya ketika rele LCD bekerja bersamaan dengan rele OCR kemudian ada gangguan internal maka dapat mendeteksi adanya gangguan dan memerintahkan CB untuk bekerja.

Kata Kunci: penghantar, gardu induk, sistem proteksi, Rele *line current differential* (LCD).

Abstract

Every component of the electric power system is needed by a system that can function to protect against disturbances. Relay is an electronic component that is usually in the form of a switch and functions to control an electrical circuit. The line current differential (LCD) relay is a main component in the conductor as a protection system regardless of the impedance value. This study aims to provide a solution regarding the design or placement of a line current differential (LCD) relay on the Rembang-Semen Indonesia conductor as the main safeguard at the substation and the results of this study will be simulated using ETAP 12.6.0 software regarding the installation of a new relay when the relay operate. The method used is conducting research and direct observation when adding a relay at the 150kV Semen Indonesia Rembang substation. The next step is to process the data mathematically, then the design or installation of a line current

differential (LCD) relay will be simulated in the ETAP software. The secondary CT ratio used is 2000/5 A, this CT is obtained from the results of field tests and is applied to simulations. The result of the setting value for the current line current differential (Is1) is 0.09025 Amp in the calculation while the field test results are 1 Amp. The results of the calculation of the only line current differential relay setting (Is2) are 10 Amp and the results are the same as the field tests. The percent slope 1 value is 12.3%, while the field test results are 40%, so the difference is quite a lot. The percent slope 2 value is 24.6% in the calculation and includes half of the field test results. The results of the simulation when it is normal, there is no disturbance at the substation, whereas when it is running and given an internal disturbance, there is still no *trip* on the CB. CT and OCR relay were added to the Rembang 2 delivery bay and when running, there was a disturbance, the result was a *trip* on CB, which means that when the LCD relay works together with the OCR relay, there is an internal disturbance, so it can detect a disturbance and instruct CB to work.

Keywords : conductors, substations, protection systems, relay line current differential (LSD).

1. PENDAHULUAN

Sistem proteksi adalah salah satu perlindungan terhadap peralatan kelistrikan yang diakibatkan oleh adanya kerusakan atau gangguan yang terjadi pada saluran tenaga listrik. Sistem proteksi dapat dikatakan baik untuk digunakan apabila memiliki beberapa aspek yaitu andal, selektif, dan cepat dalam beroperasi. Ada beberapa bagian dari sistem proteksi tersebut agar dapat bekerja dengan baik dan apabila terdapat salah satu bagian dari sistem proteksi tidak ada maka saluran tenaga listrik tidak dapat bekerja dengan baik atau tidak dapat dikatakan sebagai sistem proteksi. Sistem proteksi memiliki beberapa bagian penting antara lain transformator arus atau tegangan, wiring, dan sumber AC ataupun DC. Di sisi lain, ada salah satu sistem proteksi yang paling penting pada penyaluran tenaga listrik yaitu rele *line current differential* (LCD). (Subari & Kusumastuti, n.d.)

Rele *line current differential* (LCD) adalah salah satu sistem proteksi pada penghantar yang bekerja dengan cepat. Rele *line current differential* (LCD) dapat bekerja dengan cepat dan sangat selektif saat mengatasi terjadinya gangguan. Rele *line current differential* (LCD) digunakan sebagai pengaman utama pada penghantar (*line*) Rembang-Semen Indonesia. Pada daerah rele *line current differential* (LCD) dibatasi oleh trafo arus atau CT. Dalam penggunaan rele *line current differential* (LCD) diperlukan *setting* yang tepat agar dapat bekerja dengan baik ketika terjadi gangguan. Perlu ketelitian ketika menggunakan rele *line current differential* (LCD) ini dikarenakan apabila *setting* yang dilakukan kurang benar maka diperlukan *setting* ulang untuk menjamin kemaksimalan kinerja dari rele *line current differential* (LCD)

(Subari & Kusumastuti, n.d.).

Penggunaan rele *line current differential* (LCD) karena beberapa hal diantaranya rele ini memberikan perlindungan yang baik dan cepat ke peralatan *internal* apabila terjadi gangguan. Rele *line current differential* (LCD) dapat bekerja ketika ada perbedaan dua fase besaran listrik yang sama dengan jumlah yang telah ditentukan. Rele *line current differential* (LCD) ini merupakan sistem proteksi yang baik apabila bagian pendukungnya bekerja dengan maksimal. Rele ini dapat melindungi dari semua gangguan abnormal karena sangat sensitif terhadap gangguan (Lae & Khaing, 2019).

Umumnya, pada penghantar di Gardu Induk Semen Indonesia sebelumnya telah menggunakan rele *distance* (jarak). Namun, dalam penambahan rele *line current differential* (LCD) ini, rele *distance* (jarak) masih terpasang dan berfungsi ketika rele *line current differential* (LCD) sedang non-aktif. Jadi, rele *distance* (jarak) aktif ketika rele *line current differential* (LCD) non-aktif. Rele *line current differential* (LCD) menjadi pengaman utama pada penghantar Rembang-Semen Indonesia. Sistem kerja rele *distance* (jarak) akan digantikan oleh rele *line current differential* (LCD) karena dapat memasok listrik yang cukup banyak ke konsumen yaitu Pabrik Semen Indonesia yang berada di Bulu Mantingan, Rembang. Kinerja rele *line current differential* (LCD) ini menggunakan fiber optik yang dapat mentransmisikan listrik dengan cepat untuk kebutuhan daya konsumen yang cukup besar (Suherman, 2019).

Rele *line current differential* (LCD) adalah sebuah perlindungan yang digunakan pada penghantar (*line*) Rembang-Semen Indonesia pada saat ini. Rele *line current differential* (LCD) ini sering digunakan untuk penghantar jarak pendek karena lebih efisien dan bertindak cepat untuk mengamankan daerah yang terdapat gangguan. Pada saat rele *line current differential* (LCD) diaplikasikan tidak akan terjadi kendala dari luar misalkan RIS (rasio impedansi sumber), *swing* terhadap sistem penghantar. Rele *line current differential* (LCD) memiliki tingkat sensitif yang cukup tinggi dan mudah saat digunakan (Penggunaan et al., 2022).

Dalam mengatasi gangguan *eksternal* yang terjadi pada penghantar ini, maka rele *line current differential* (LCD) harus dapat bekerja dengan cepat tanpa adanya waktu tunda. Prinsip kerja dari rele *line current differential* (LCD) ini yaitu sebagai pembandingan antara dua besaran arus dan fasa antara dua titik pada batasan daerah

pengaman yang ada di penghantar Rembang- Semen Indonesia. Apabila gangguan terjadi pada daerah *eksternal* dari peralatan- peralatan tenaga listrik dilakukan pengamanan maka nilai arus dan fasa adalah sama atau dapat dikatakan memiliki perbandingan nilai arus dan sudut fasa tertentu yang artinya rele tidak akan bekerja. Namun sebaliknya, apabila terjadi gangguan pada daerah atau pada peralatan listrik yang dilakukan pengamanan maka akan ada arus yang berbeda dan sudut fasa akan mengalami perubahan, hal ini yang menyebabkan rele *line current differential* (LCD) akan bekerja dengan semestinya (Suralaya, 2017).

Sistem kerja rele *line current differential* (LCD) sama dengan prinsip Hukum I Kirchoff dimana terdapat perbedaan arus masuk dengan arus keluar di penghantar yang ada di gardu induk. Rele *line current differential* (LCD) memiliki dua CT (*current transformer*). Fungsi dari kedua sisi CT ini adalah menjadi sebuah sensor arus yang akan dideteksi oleh rele *line current differential* (LCD) untuk dijadikan perbandingan perbedaan arus yang mengalir pada penghantar Rembang-Semen Indonesia. Perbedaan arus yang ada akan memberikan tanggapan kepada rele *line current differential* (LCD) sebagai penentu rele *line current differential* (LCD) bekerja atau tidak. Apabila tidak terjadi gangguan arus yang berlebih dari nilai *setting* rele yang ditentukan, maka rele *line current differential* (LCD) akan bekerja (Dharmawanet al., 2020).

Pada penelitian ini, ketika akan menentukan pengamanan terhadap rele *line current differential* (LCD) sebagai pengaman utama penghantar Rembang-Semen Indonesia maka dilakukan dengan cara pengujian nilai *setting* arus lebih agar jika terjadi gangguan *eksternal* (luar) dapat mengatasi dengan semestinya. Dan ketika *setting* arus akan didapatkan data sekunder kemudian disimulasikan menggunakan *software* ETAP 12..6.0. Ketika disimulasikan maka akan terlihat bagian mana saja yang akan terjadi *trip* ketika adanya gangguan di saat sudah terpasang rele yang baru. Apabila dilakukan perhitungan secara sistematis dan adanya data pengujian di lapangan tetapi rele *line current differential* (LCD) tidak mengalami *trip* maka akan diberikan gangguan agar dapat diketahui bagian-bagian mana saja yang akan *trip* ketika adanya gangguan saat sudah menggunakan rele yang baru. Pada penghantar ini masih terdapat rele yang sebelumnya digunakan yaitu rele *distance* (jarak). Jadi, ketika ditambahkan rele *line current differential* (LCD) maka perlu untuk diuji apakah dapat bekerja dengan baik jika masih ada rele lain di penghantar yang sama

karena rele *line current differential* (LCD) dapat bekerja tanpa berkoordinasi dengan penghantar yang lain. Sehingga penelitian ini akan dapat dijadikan referensi dalam penambahan serta penempatan rele *line current differential* (LCD) pada Gardu Induk 150kV Semen Indonesia saat memasok listrik kepada konsumen dapat tercukupi meskipun dengan jumlah daya yang cukup besar serta dapat memasok energi listrik yang efektif.

2. METODE

a. Studi Literatur

Tahap yang dilakukan penulis yaitu mengumpulkan dan membaca serta menelaah informasi dari berbagai sumber diantaranya yaitu buku, internet, jurnal nasional dan jurnal internasional, serta data yang dikumpulkan dari Gardu Induk 150kV Semen Indonesia.

b. Pengumpulan Data

Tahap pengumpulan data ini adalah suatu metode mengumpulkan data sekunder dan data penelitian langsung dari Gardu Induk 150kV Semen Indonesia.

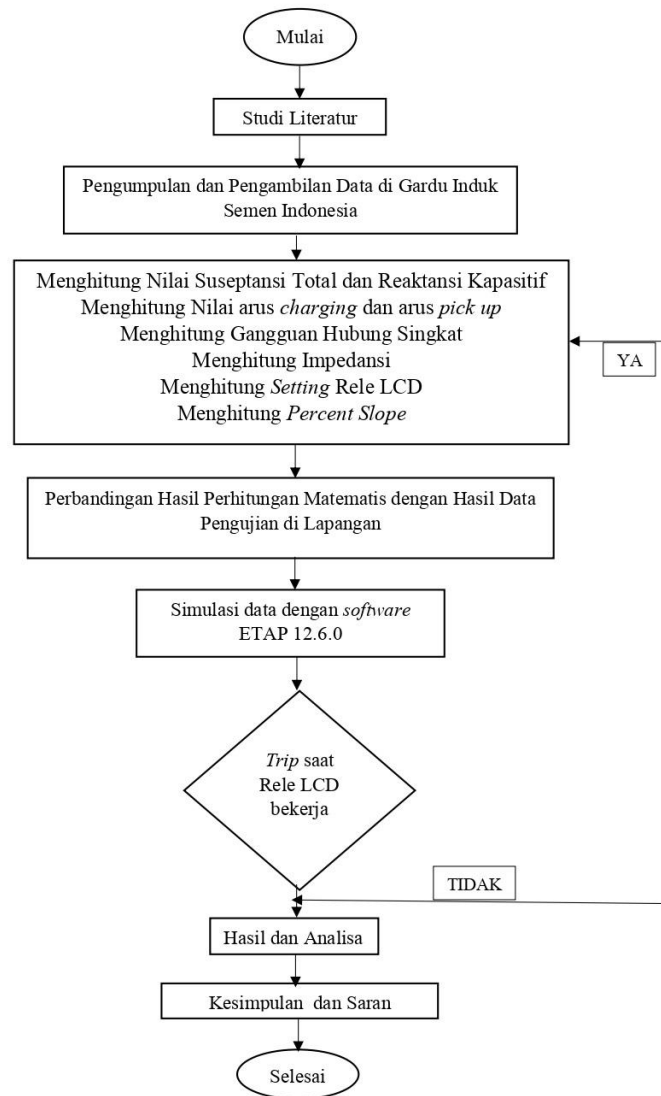
c. Pengolahan Data dan Pemecahan Masalah

Tahap pengolahan data dilakukan dengan pengidentifikasian data yang diperoleh dari beberapa sumber seperti observasi, wawancara mengenai data yang ada di lapangan. Data tersebut akan dihitung secara manual berdasarkan referensi dari studi literatur agar diketahui berbagai nilai-nilai yang dibutuhkan ketika rele *line current differential* (LCD) dijadikan pengaman utama dalam penghantar Rembang-Semen Indonesia, setelah itu ada tahap pengujian dengan menggunakan simulasi *software* ETAP 12.6.0 terhadap keandalan pasokan listrik ketika menggunakan rele *line current differential* (LCD). Setelah melakukan simulasi terhadap rele *line current differential* (LCD) pada penghantar maka dapat diusulkan untuk penambahan rele selanjutnya apabila dibutuhkan pasokan daya yang lebih besar ke konsumen jadi akan diketahui bagian mana saja yang akan *trip* ketika adanya gangguan. Namun, jika cukup menggunakan rele *line current differential* (LCD), maka akan dipastikan bahwa rele yang baru terpasang dapat bekerja dengan maksimal meskipun ada rele yang non-aktif di satu penghantar tersebut.

d. Pembuatan Laporan Tugas Akhir

Bagian ini merupakan metode dalam pembuatan laporan penelitian tugas akhir sebagai bentuk dari hasil penelitian dan percobaan yang telah dijalankan untuk memenuhi pembuatan naskah publikasi tugas akhir.

e. Alur Penelitian



Gambar 1. Alur Penelitian

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Bagian ini meliputi pengolahan data secara perhitungan matematis dan simulasi dari penggunaan rele *line current differential* (LCD) saat memasok listrik pada penghantar *bay* Rembang 2 serta saat terjadinya gangguan *internal* dengan menggunakan *software* ETAP 12.6.0.

3.1 Data Name Plate Gardu Induk Semen Indonesia 150kV

Tabel 1. Data dari Transformator Daya di Gardu Induk Semen Indonesia 150kV

Merk	UNINDO
Nomor serial	19E000213
Kapasitas trafo	60 MVA
Tegangan sisi primer	150 kV
Tegangan sisi sekunder	20 kV
Frekuensi	50 Hz
Impedansi	12,35%
Sambungan	YNyn0+d
Fasa	3
Cooling	ONAN/ONAF
Jenis minyak	IEC 60076

Tabel 2. Data dari CT Sisi Primer 150kV

Merk	ALSTOM
Tipe	OSKF-170
Nomor seri fasa R	37994003259
Nomor seri fasa S	37994003260
Nomor seri fasa T	37994003261
Rasio CT	4000-2000/5 A
Arus nominal	230,9A

Tabel 3. Data dari CT Sisi Sekunder 20kV

Merk	TRAFINDO
Tipe	CTB-24-2
Nomor seri fasa R	13CI 09276
Nomor seri fasa S	13CI 16729
Nomor seri fasa T	13CI 09243
Rasio CT	2000/5 A
Arus nominal	1732,1 A

Tabel 4. Data Spesifikasi dari Rele LCD

Merk	NR Electric Co.,Ltd.
Tipe	GE2000344XP003/X001/10
Nomor Serial	NRJB20155120C0170
<i>Rated Power Supply</i>	13CI 09276
<i>Rated Frequency</i>	13CI 16729
<i>Rated Voltage</i>	13CI 09243
<i>Rated Current</i>	1732,1 A
<i>Bay</i>	<i>Line Rembang 2</i>
<i>Setting Slope 1</i>	40%
<i>Setting Slope 2</i>	60%

3.2 Perhitungan Secara Matematis

Untuk mengidentifikasi terhadap penambahan rele *line current differential (LCD)* pada penghantar Rembang-Semen Indonesia, maka diperlukan perhitungan terhadap rele *line current differential (LCD)*, sehingga dari penambahan rele ini dapat diketahui kinerja penghantar Rembang-Semen Indonesia dalam memasok listrik ke konsumen yaitu Pabrik Semen Indonesia Rembang. Kemudian akan dilakukan *setting* arus beberapa nilai yang dibutuhkan agar penggunaan rele *line current differential (LCD)* dapat beroperasi dengan baik. Dalam melakukan

perhitungan tersebut maka akan diketahui kinerja dari penambahan rele *line current differential (LCD)* itu baik atau tidak dan dapat dianalisis dengan baik secara sistematis maupun matematis.

1. Perhitungan Suseptansi Total

Perhitungan nilai suseptansi total maka diperlukan nilai dari suseptansi dan panjang saluran penghantar Rembang-Semen Indonesia.

$$B_t = B \cdot L_n \quad (1)$$

Dengan :

$$B_t = \text{Suseptansi total (S)}$$

$$B = \text{Suseptansi } \left(\frac{S}{km}\right)$$

$$L_n = \text{Panjang saluran (km)}$$

Untuk perhitungan nilai suseptansi total pada penghantar Rembang-Semen Indonesia dapat menggunakan persamaan 1, sehingga diperoleh :

$$B_t = B \cdot L_n$$

$$B_t = 412,54 \cdot 10^{-6} \frac{S}{km} \times 27,07 \text{ km}$$

$$B_t = 0,0111674578 \text{ S}$$

$$B_t = 16,6745 \cdot 10^{-4} \text{ S}$$

2. Perhitungan Nilai Reaktansi Kapasitif

$$X_c = \left(\frac{1}{B_t}\right) \quad (2)$$

Dengan :

$$X_c = \text{Reaktansi Kapasitif (Ohm)}$$

$$B_t = \text{Suseptansi total (S)}$$

Untuk menghitung nilai reaktansi kapasitif pada penghantar ini dapat dihitung dengan persamaan 2 berikut ini :

$$X_c = \left(\frac{1}{B_t}\right)$$

$$X_c = \left(\frac{1}{16,6745 \cdot 10^{-4}}\right)$$

$$X_c = 599,7181 \text{ Ohm}$$

3. Perhitungan Arus *Charging*

Untuk menghitung arus *charging* dapat menggunakan perhitungan dengan sisi primer dan sisi sekunder dengan persamaan berikut :

a. Arus *charging* sisi primer

$$I_c = \frac{kV \times 10^3}{\sqrt{3} \times X_c} \quad (3)$$

Dengan :

I_c = Arus *charging* (A)

kV = Tegangan nominal (V)

Sisi primer arus *charging* dapat menggunakan persamaan 3 berikut ini :

$$I_c = \frac{kV \times 10^3}{\sqrt{3} \times X_c}$$

$$I_c = \frac{150000}{\sqrt{3} \times 599,7181}$$

$$I_c = 144,4054 \text{ Amp}$$

b. Arus *charging* sisi sekunder

$$I_{sc} = \frac{I_c}{CT} \quad (4)$$

Dengan :

I_c = Arus *charging* primer (A)

I_{sc} = Arus *Charging* Sekunder (A)

CT = *Current* Transformator Ratio (A)

Untuk menghitung arus *charging* sekunder dapat menggunakan nilai dari arus *charging* primer dan nilai CT, dengan persamaan 4 :

$$I_{sc} = \frac{I_c}{CT}$$

$$I_{sc} = \frac{144,4054}{4000/1}$$

$$I_{sc} = 0,0361 \text{ Amp}$$

4. Arus *Pick Up*

1. Arus *Pick Up* Minimum Rele (I_{S1})

Nilai arus *pick up* minimum (I_{S1}) dihitung dari persamaan berikut ini :

$$I_{S1} = 2,5 \times I_{sc} \quad (5)$$

Dengan :

I_{sc} = Arus *charging* sekunder

Maka, nilai arus *pick up* minimum rele (I_{S1}) dapat ditentukan dengan persamaan 5 berikut ini :

$$I_{S1} = 2,5 \times I_{sc}$$

$$I_{S1} = 2,5 \times 0,0361 \text{ Amp}$$

$$I_{S1} = 0,09025 \text{ Amp}$$

2. Arus *Pick Up* Maksimum Rele (I_{S2})

Nilai I_n (arus nominal) yang digunakan sesuai dengan rasio CT yang digunakan. Rasio CT yang digunakan yaitu 4000/1, arus nominal 5. Perhitungan setting rele I_{S2} dihitung menggunakan persamaan berikut :

$$I_{S2} = 2 \times I_n \text{ Rele} \quad (6)$$

Dengan :

$I_n \text{ Rele}$ = Arus nominal

Maka arus *pick up* maksimum rele (I_{S2}) dapat dihitung dengan persamaan 6 yaitu :

$$I_{S2} = 2 \times I_n \text{ Rele}$$

$$I_{S2} = 2 \times 5$$

$$I_{S2} = 10 \text{ Amp}$$

5. Perhitungan Gangguan Hubung Singkat

Saat terjadi gangguan fasa ke tanah pada penghantar di Gardu Induk Semen Indonesia, maka dari itu terdapat beberapa perhitungan yang dapat diolah terkait gangguan tersebut diantaranya :

a. Gangguan Hubung Singkat Tiga Fasa

Gangguan hubung singkat tiga fasa ini termasuk ke dalam gangguan yang simetris karena arus atau tegangan setiap fasanya seimbang setelah terjadinya gangguan, sehingga dapat dihitung dan dianalisis menggunakan urutan positif dengan persamaan berikut ini :

$$I_{3fasa} = \frac{V_{ph}}{Z_{1eg}} \quad (7)$$

Dengan :

$$V_{ph} = \text{Tegangan fasa-netral } \left(\frac{\text{tegangan sisi trafo}}{\sqrt{3}} \right) \text{ (V)}$$

$$Z_{1eg} = \text{Impedansi urutan positif (Ohm)}$$

$$I_{3fasa} = \text{Arus hubung singkat 3 fasa (A)}$$

Maka untuk menghitung gangguan hubung singkat tiga fasa dapat ditentukan menggunakan persamaan 7 sebagai berikut :

$$I_{3fasa} = \frac{V_{ph}}{Z_{1eg}}$$

$$I_{3fasa} = \frac{\frac{150000}{\sqrt{3}}}{j55,112}$$

$$I_{3fasa} = 1571,39 \text{ A}$$

6. Perhitungan Impedansi

Untuk menghitung impedansi sumber pada sisi penghantar 150kV maka menghitung hubung singkat terlebih dahulu yang terjadi pada sisi primer :

- a. Hubung Singkat pada Bus 150kV

$$MVA_{(hs)} = \sqrt{3} \times V \times I_{(hs)} \quad (8)$$

Dengan :

$$V = \text{Tegangan sisi primer transformator daya}$$

$$I_{(hs)} = \text{Arus hubung singkat}$$

Untuk menghitung hubung singkat dalam MVA pada bus 150kV, dapat menggunakan persamaan 8, sehingga diperoleh :

$$MVA_{(hs)} = \sqrt{3} \times V \times I_{(hs)}$$

$$MVA_{(hs)} = \sqrt{3} \times 150kV \times 7,341$$

$$MVA_{(hs)} = 1.907 \text{ MVA}$$

b. Impedansi Sumber 150kV

$$Z_{S(150kV)} = \frac{kV^2}{MVA_{(hs)}} \quad (9)$$

Dengan :

Z_S = Impedansi Sumber (Ohm)

kV^2 = Tegangan sisi primer atau sekunder transformator tenaga

$MVA_{(hs)}$ = Hubung singkat dalam MVA

Untuk mengetahui impedansi sumber pada sisi 150kV dapat menggunakan persamaan 9, sebagai berikut :

$$Z_{S(150kV)} = \frac{kV^2}{MVA_{(hs)}}$$

$$Z_{S(150kV)} = \frac{kV^2}{1.907_{(hs)}}$$

$$kV^2 = 12,71 \text{ Ohm}$$

7. Setting Rele *Line Current Differential* (LCD)

Perhitungan *setting* rele digunakan untuk menentukan arus kerja minimum dan maksimum. Perhitungan nilai *setting* rele *differential* ini terbagi menjadi 2 yaitu Is_1 dan Is_2 , dengan persamaan sebagai berikut :

a. *Setting Rele Line Current Differential* (Is_1)

Setting Rele Is_1 digunakan untuk menentukan arus kerja minimum.

$$Is_1 > (2,5 \times I_c) \quad (10)$$

Dengan :

I_c = Arus *charging* (A)

Is_1 = Arus *pick up* minimum (A)

Menentukan Is_1 :

$$Is_1 > (2,5 \times 144,4054)$$

$$Is_1 > 144,4054 \text{ A}$$

b. *Setting Rele Line Current Differential* (Is_2)

Setting rele Is_2 digunakan untuk menentukan arus kerja

maksimum rele terhadap kestabilan kinerja rele tersebut ketika terjadi gangguan yang besar.

$$I_{s2} = 2 \times I_n \text{ Rele} \quad (11)$$

Menentukan I_{s2} :

$$I_{s2} = 2 \times 5$$

$$I_{s2} = 10 \text{ Amp}$$

8. Perhitungan *Percent Slope*

Slope 1 berfungsi untuk mengatur rele *line current differential* (LCD) dalam mengatasi adanya gangguan *internal*, sedangkan *slope 2* berfungsi untuk memastikan agar saat adanya gangguan *eksternal* rele ini tidak bekerja.

Rumus untuk menentukan *percent Slope 1* :

$$\text{Slope 1} = \frac{I_d}{I_r} \times 100\% \quad (12)$$

Rumus untuk menentukan *percent slope 2* :

$$\text{Slope 2} = \left(\frac{I_d}{I_r} \times 2\right) \times 100\% \quad (13)$$

Dengan :

Slope 1 = *Setting slope 1* (%)

Slope 2 = *Setting slope 2* (%)

I_d = Arus Differential (A)

I_r = Arus *restrain*/penahan (A)

Menentukan *Slope 1* :

$$\text{Slope 1} = \frac{0,62}{5,03} \times 100\%$$

$$\text{Slope 1} = 12,3\%$$

Menentukan *Slope 2* =

$$\text{Slope 2} = \left(\frac{0,62}{5,03} \times 2\right) \times 100\%$$

$$\text{Slope 2} = 24,6\%$$

Perhitungan *percent slope* 1 dan *percent slope* 2 sangat berbeda hasilnya. Untuk *percent slope* 1 sebesar 12,3% dengan perbandingan hasil dari uji di lapangan yaitu sebesar 40%. Kemudian untuk hasil *percent slope* 2 diperhitungan sebesar 24,6% sedangkan *percent slope* 2 hasil uji di lapangan adalah sebesar 60%. Jadi, antara *slope* 1 dan 2 diperhitungan dengan di hasil uji lapangan selisih banyak. Sebelum menentukan *percent slope* langkah yang dilakukan yaitu mengetahui nilai dari arus *differential* dan arus *restrain* (bias). *Percent slope* 1 ini digunakan untuk mengatasi adanya suatu gangguan *internal* yang terjadi pada saat rele *line current differential* (LCD) ini terpasang dan beroperasi sedangkan *percent slope* 2 berfungsi untuk memastikan bahwa rele *line current differential* (LCD) tidak akan bekerja ketika adanya gangguan *eksternal*. Jadi, semakin besar *percent slope* yang digunakan maka akan semakin kuat untuk menahan adanya gangguan *internal* maupun *eksternal* yang terjadi pada penghantar bay Rembang 2 di Gardu Induk Semen Indonesia 150kV ini.

3.3 Perbandingan Data Perhitungan dengan Hasil Uji di Lapangan

Berikut merupakan nilai-nilai dari perbandingan antara hasil uji di lapangan dengan hasil perhitungan :

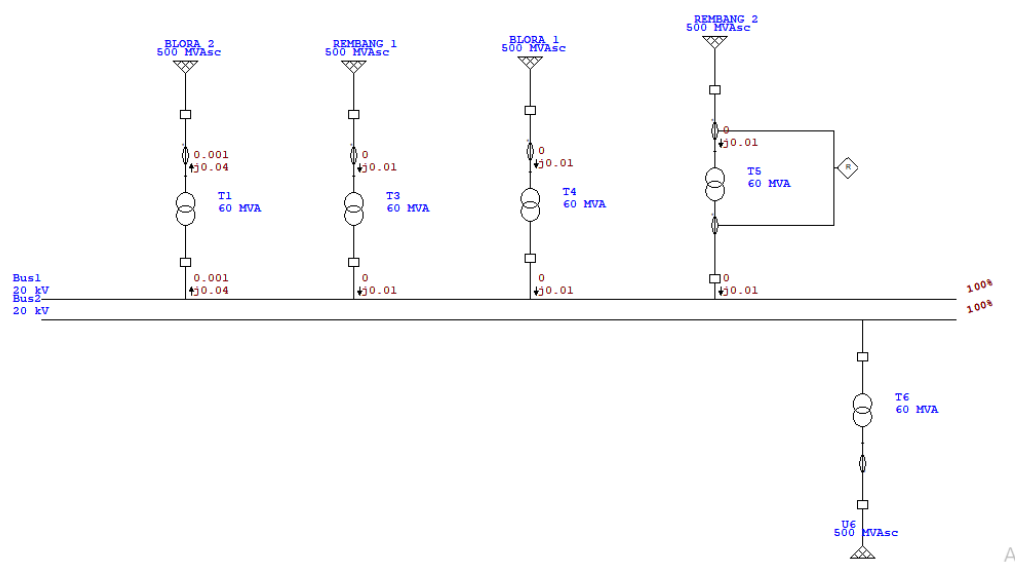
Keterangan	Perbandingan	
	Uji	Perhitungan
I_{s1}	1 Amp	0,09025 Amp
I_{s2}	10 Amp	10 Amp
<i>Slope</i> 1	40%	12,3%
<i>Slope</i> 2	60%	24,6%

Dari hasil tabel perbandingan antara hasil perhitungan dengan hasil uji di lapangan diperoleh data untuk hasil perhitungan *setting* I_{s1} adalah 0,09025 Ampere pada sisi Gardu Induk Semen Indonesia 150kV atau 0,09025 x

$2000/5 = 36,1$ Ampere di sisi primer untuk masing-masing gardu induk (Gardu Induk Semen Indonesia 150kV dan Gardu Induk Rembang 150kV). Kemudian untuk rasio CT yang berbeda pada kedua sisi gardu induk tersebut tidak berpengaruh terhadap nilai *setting* karena rele mempunyai ganti rugi atau kompensasi nilai arus untuk pengaturan tersebut. Rele akan bekerja ketika memenuhi syarat dan nilai *setting* arus *pick up* minimum yaitu 0.09025 Ampere atau 36,1 Ampere di sisi primer kedua sisi gardu induk atau 40 Ampere seperti nilai *setting* yang terpasang di rele *line current differential* (LCD). Rele tidak akan bekerja ketika nilai arus yang terbaca kurang dari nilai *setting* tersebut yaitu 1 Ampere atau 40 Ampere dengan nilai karakteristik 40% untuk arus *restraint* (bias) sebagai batasan kerja rele agar dapat memunculkan sensitivitas yang tinggi pada area kerja rele tersebut. Dari hasil pemilihan nilai arus *pick up* maksimum (I_{s2}) adalah 10 Ampere di sisi Gardu Induk Semen Indonesia 150kV atau 10 A dikali *ratio* CT 2000/5 yaitu 4000 A di sisi primer. Pengaturan I_{s2} berfungsi apabila adanya perbedaan arus yang besar dan adanya gangguan *eksternal* yang terjadi. Selanjutnya untuk nilai K_2 sebesar 60% dapat digunakan saat arus *restraint* (bias) melebihi I_{s2} agar dapat memberikan sebuah kestabilan rele selama adanya gangguan yang sangat besar dan gangguan *eksternal* yang terjadi pada penghantar rele tersebut.

3.4 Hasil Simulasi Software ETAP 12.6.0

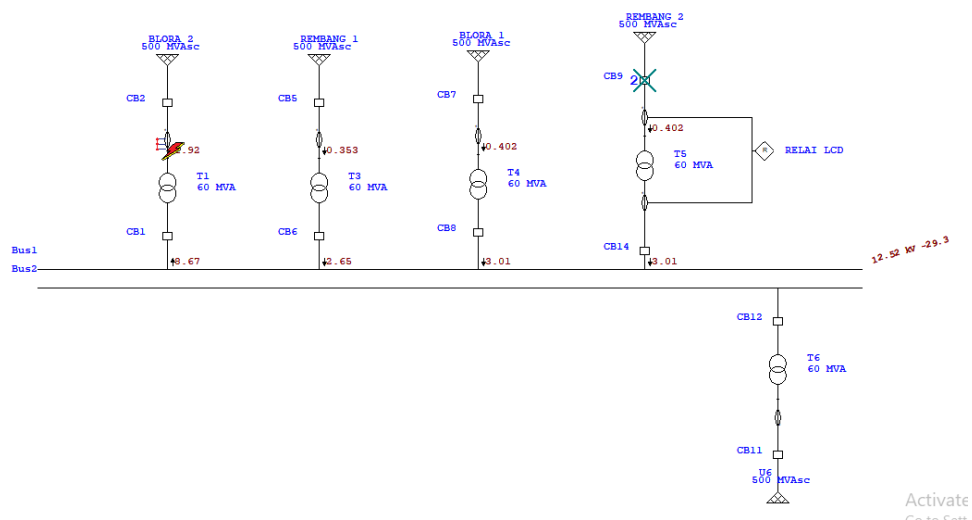
3.4.1 Simulasi Kinerja Rele LCD Ketika Normal



Gambar 1. Simulasi Rele LCD Ketika normal

Gambar di atas menunjukkan hasil simulasi ketika di *running* yaitu ketika rele LCD normal yang artinya pada *software* ETAP 12.6.0 dibuat *Single Line Diagram* (SLD) pada Gardu Induk Semen Indonesia 150kV kemudian mengfungsikan rele *Line Current Differential* (LCD) sebagaimana mestinya dan ternyata ketika kondisi normal dalam artian tidak adanya gangguan tersebut tidak terjadi adanya *trip*, jadi rele *Line Current Differential* (LCD) dapat bekerja dengan semestinya pada penghantar bay Rembang 2 yang tersambung dengan bus 20kV dengan *power grid* 500MVA dengan transformator di masing-masing penghantar sebesar 60 MVA. Kemudian untuk arus sisi primer sebesar 4000-2000 Ampere atau yang digunakan sebesar 2000 Ampere sedangkan arus sisi sekunder sebesar 5 Ampere. Ketika tidak ada gangguan maka rele *Line Current Differential* (LCD) dapat bekerja dengan normal. Kemudian pada dasarnya, CB hanya dapat bekerja ketika adanya suatu gangguan pada sisi primer maupun sisi sekunder di transformator yang terpasang.

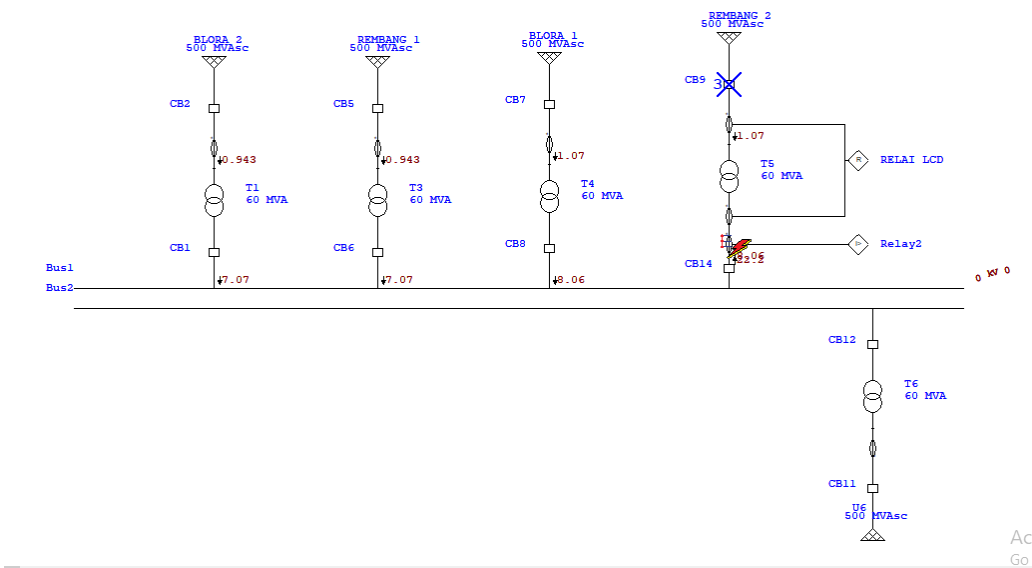
3.4.2 Simulasi Kinerja Rele LCD Ketika Terjadi Gangguan Internal pada Bus 20kV



Gambar 2. Simulasi Rele LCD ketika terjadi gangguan internal pada bus 20kV

Dari hasil simulasi pada gambar 2 di atas dimana diberikan sebuah

3.4.3 Simulasi Kinerja Rele LCD Ketika *Trip* Gangguan Internal dengan adanya Rele OCR



Dari hasil simulasi gambar 3 di atas terjadi gangguan pada bus di penghantar *bay* rembang 2 yang mana bus tersebut tersambung dengan sistem rele OCR. Ketika diberikan gangguan seperti gambar di atas maka CB akan bekerja yaitu CB 1 akan bekerja dalam selang waktu 2s dari saat adanya gangguan. Ketika CB bekerja maka PMT akan *open* dibantu dengan rele OCR sebagai rele pendukung dari rele *Line Current Differential* (LCD) untuk memberikan sinyal *open* ke CB pada penghantar tersebut. Dari simulasi di atas, rele *Line Current Differential* (LCD) akan memberikan sinyal *trip* ke PMT sisi sekunder pada waktu 0,28s. Setelah itu, rele *Line Current Differential* (LCD) sisi sekunder dibantu dengan rele OCR akan memberikan

sebuah sinyal gangguan ke PMT sisi primer. Dengan adanya gangguan pada penghantar *bay* Rembang 2 sebesar 5,104 KA, sehingga ketika adanya gangguan pada penghantar yang terpasang rele *Line Current Differential* (LCD) dengan bantuan sistem rele OCR maka CB akan bekerja sesuai *setting* waktu yang ditentukan yang mana CB akan memutuskan ketika sudah adanya gangguan tersebut.

4. PENUTUP

4.1 Kesimpulan

Berdasarkan *output* dari penggunaan rele *line current differential* (LCD) sebagai pengaman utama penghantar *Bay* Rembang 2 dalam memasok listrik dapat disimpulkan bahwa :

- a. Keefektifan rele *line current differential* (LCD) saat digunakan dibandingkan dengan rele sebelumnya (rele *distance*).
- b. Rele *line current differential* (LCD) dapat bekerja saat adanya gangguan di daerah proteksi dan dapat stabil jika diluar daerah gangguan.
- c. Arus *pick up* minimum (I_{s1}) rele yang didapat dari hasil perhitungan yaitu sebesar 0,09025 Ampere sedangkan pada hasil uji di lapangan sebesar 1 Ampere.
- d. Arus *pick up* maksimum (I_{s2}) rele yang didapat dari hasil perhitungan sebesar 10 Ampere yang mana hasilnya sama dengan hasil uji di lapangan yaitu 10 Ampere.
- e. *Percent slope* 1 pada perhitungan didapatkan sebesar 12,3% sedangkan pada hasil uji di lapangan sebesar 40%.
- f. *Percent slope* 2 pada perhitungan sebesar 24,6% sedangkan hasil uji di lapangan sebesar 60%. Hal tersebut menunjukkan selisih yang cukup banyak.
- g. Waktu operasi rele *line current differential* (LCD) sisi sekunder sebesar 0,07s yang artinya waktu tersebut merupakan waktu *setting* dari rele *line current differential* (LCD) untuk memerintahkan CB melakukan *trip* atau memutuskan karena adanya gangguan yang terjadi pada penghantar tersebut.
- h. Hasil simulasi yang didapatkan saat menggunakan *software* ETAP 12.6.0 yaitu dimana ketika rele *line current differential* (LCD) bekerja dan akan diberikan gangguan maka memerlukan rele OCR untuk memancing gangguan tersebut agar dari rele *line current*

differential (LCD) dapat memerintahkan CB untuk melakukan *trip*.

- i. Ketika diberikan gangguan pada penghantar tersebut maka bus yang digunakan tidak boleh melebihi kapasitas dari transformator yang terpasang pada penghantar karena hal ini tidak dapat mendeteksi adanya gangguan ketika sudah dipancing dengan memberikan sebuah gangguan.

PERSANTUNAN

Alhamdulillah saya panjatkan puja dan puji syukur atas kehadiran Allah SWT, karena berkat rahmat dan hidayah-Nya saya telah menyelesaikan naskah publikasi Tugas Akhir ini dengan baik dan percaya diri untuk mendapatkan gelar Sarjana Teknik pada Kurikulum Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Surakarta. Saya sebagai penulis mengucapkan terima kasih kepada pihak-pihak yang telah memberi bantaun, memberikan dukungan, motivasi dan doa yang diberikan dalam mengerjakan naskah publikasi Tugas Akhir ini sebagai berikut :

1. Allah SWT yang telah memberikan saya kekuatan dan meyakinkan saya untuk menyelesaikan naskah publikasi ini dengan baik dan percaya diri.
2. Orang tua saya yang selalu memberikan saya dukungan dan motivasi, serta doa untuk bisa menyelesaikan naskah publikasi ini dengan baik serta selalu memberikan nasihat kepada saya.
3. Dosen pembimbing tugas akhir saya Bapak Aris Budiman, S.T.,M.T. yang telah meluangkan waktunya untuk bisa berkonsultasi terkait penyelesaian tugas akhir saya.
4. *Supervisor* Gardu Induk Semen Indonesia, Bapak Syukur Ary Mukti yang telah membantu dan memberikan izin dalam proses pengamatan, pengambilan, dan penelitian secara langsung di lapangan untuk pembuatan naskah publikasi tugas akhir ini.
5. Mas Anggidya Putra Handika, S.T. sebagai kakak tingkat saya yang sudah meluangkan waktunya di tengah kesibukan pekerjaannya untuk membantu saya menyelesaikan kebingungan saat penyusunan naskah publikasi.
6. Mas Muchammad Arifin, S.T. sebagai kakak tingkat saya yang sudah meluangkan waktu untuk membantu saya dalam menyelesaikan naskah publikasi terutama di bagian simulasi *software*.
7. Orang terdekat saya yang telah menemani saya, terimakasih Bale yang telah *support*

saya dan meluangkan waktunya dalam membantu serta menemani saya dalam susah senang.

8. Sahabat-sahabat saya, Fatika, Farida, dan Kak Dinda yang telah memberikan *support* dan motivasi setiap saat.
9. Teman-teman angkatan 2019 yang telah saling membantu dan memberikan dorongan semangat kepada saya untuk selalu optimis dalam menyelesaikan naskah publikasi ini dengan baik.

DAFTAR PUSTAKA

- Alvanie, Z. Z., Ariyanto, E., & Mangkusasmito, F. (n.d.). *Simulasi Pengaman Pada Saluran Kabel Tegangan Tinggi Berupa Line Current Differential (LCD) Berbasis Arduino Mega 2560 DenganTampilan Human Machine Interface dan Notifikasi Blynk. Lcd*, 79–84.
- Dharmawan, N. B., Ariastina, W. G., & Amrita, A. A. N. (2020). Studi Sistem Proteksi Line CurrentDifferential Relay Pada Saluran Transmisi 150 Kv. *Spektrum*, 7(1), 152–161.
- Lae, N. Y., & Khaing, C. C. (2019). Design and Results of Differential Relay Settings for Power Transformers 80 MVA, 40 MVA and 100 MVA. *International Journal of Scientific Engineeringand Technology Research*, 2, 32–34.
- Nashirin, A. F. (2020). *Kajian Setting Rele Dfferensial pada Generator Unit 6 di Pembangkit ListrikTenaga Uap Suralaya*. 81.
- Penggunaan, S., Line, R., Sebagai, D., Utama, P., & Penghantar, P. (2022). *Studi Penggunaan Rele Line Differential Sebagai Proteksi Utama Pada Penghantar 150 KV Tenayan - Riau - Pasir Putih di PT.PLN (Persero) UPT Pekanbaru*. 1.
- Subari, A., & Kusumastuti, D. H. (n.d.). *SETTING RELAY DIFFERENSIAL PADA GARDU INDUKKALIWUNGU GUNA MENGHINDARI KEGAGALAN PROTEKSI*.
- Suherman. (2019). Setting Koordinasi Proteksi Distance Relay pada Saluran Transmisi 150 KV Gardu Induk Isimu ke Gardu Induk Botupingge PT . PLN (Persero) Sistem Gorontalo. *Radial*, 1(2), 78–89.
- Dharmawan, N. B., Ariastina, W. G., & N Amrita, A. A. (2020). *STUDI SISTEM PROTEKSI LINE CURRENT DIFFERENTIAL RELAY PADA SALURAN TRANSMISI 150 KV* (Vol. 7, Issue 1).
- Universitas, R., & Sumatera, M. (2019). 225829936 (1).