

## ANALISA PENTANAHAN NETRAL PADA TRANSFORMATOR 150/20KV DI GARDU INDUK

Naufal Ariyanto Adli<sup>1)</sup>, Poedji Oetomo<sup>2)</sup>

S-1 Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Institut Sains dan Teknologi Nasional

Email : [ariyantopikok44@gmail.com](mailto:ariyantopikok44@gmail.com)

### *Abstract*

*Substations play a very important role for the distribution of electricity throughout the region, namely as a converter of the transmission voltage from 500kV to 150kV before being distributed again to a voltage of 20kV. To reduce the voltage required a power transformer. With the installation of NGR (Neutral Grounding Resistance) on the transformer will affect the amount of short circuit current to ground. In this paper, as an example of the calculation, the GI Cawang Lama is the Setyaki feeder with a length of 2.85km. Without using NGR, the fault current for 1 phase short circuit to ground is 6060,391A. After using the NGR, the fault current obtained is 914.042A so that the results of the TMS setting on the GFR (Ground Fault Relay) feeder side are 0.103 and the incoming side is 0.26.*

**Keyword :** *Neutral Grounding Resistance, Transformator, Gangguan Hubung Singkat, Ground Fault Relay.*

### *Abstrak*

Gardu induk berperan sangat penting bagi pendistribusian listrik ke seluruh daerah yaitu sebagai pengubah tegangan transmisi dari 500kV menjadi 150kV sebelum didistribusikan lagi ke tegangan 20kV. Untuk menurunkan tegangan tersebut diperlukan transformator daya. Dengan terpasangnya NGR (Neutral Grounding Resistance) pada transformator akan mempengaruhi besar arus hubung singkat ke tanah. Pada penulisan ini sebagai contoh perhitungan yaitu GI Cawang Lama penyulang Setyaki dengan panjang 2,85km. Tanpa menggunakan NGR besar arus gangguan hubung singkat 1 fasa ke tanah adalah 6060,391A. Setelah memakai NGR didapatkan arus gangguan sebesar 914,042A sehingga didapatkan hasil setting TMS pada GFR (Ground Fault Relay) sisi penyulang sebesar 0,103 dan sisi incoming 0,263.

**Kata kunci :** *Neutral Grounding Resistance, Gangguan Hubung Singkat, Ground Fault Relay.*

### **PENDAHULUAN**

Listrik merupakan kebutuhan yang sangat penting dalam kehidupan sehari-hari. Listrik dihasilkan dari sebuah sistem pembangkit tenaga listrik yang tersebar diseluruh Indonesia. Pembangkit listrik mendapatkan energi dari berbagai macam sumber, seperti batu bara, air, angin, panas bumi dan lain-lain. Dalam suatu sistem tenaga listrik terdiri dari pembangkit listrik, sistem transmisi daya, dan sistem distribusi daya listrik. Tenaga listrik yang dihasilkan oleh sebuah sistem pembangkit listrik lalu disalurkan melalui sistem distribusi. PT. PLN (Persero) merupakan Badan Usaha Milik Negara (BUMN) yang mengelola listrik untuk seluruh Indonesia mulai dari sistem pembangkit, sistem pendistribusian listrik dan penjualan listrik ke seluruh Indonesia.

PT PLN (Persero) memiliki banyak gardu induk sebagai pendukung pendistribusian listrik keseluruhan daerah, salah satunya yaitu Gardu Induk Cawang di daerah Jakarta Timur, DKI Jakarta. Gardu Induk Cawang sangat berperan penting bagi pendistribusian aliran listrik khususnya untuk Jakarta Timur.

Gardu induk berperan sebagai pengubah tegangan distribusi dari 500 kV menjadi 150 kV sebelum didistribusikan lagi ke distribusi 20 kV. Suatu komponen yang berperan untuk mengubah tegangan distribusi dari 500 kV menjadi 150 kV adalah transformator daya. Transformator daya merupakan suatu peralatan yang berfungsi untuk menyalurkan tenaga listrik dari bertegangan tinggi menuju tegangan rendah atau sebaliknya. Pada penyaluran distribusi daya dari pembangkit menuju gardu listrik sering terjadi gangguan hubung singkat,

salah satunya yaitu gangguan hubung singkat fasa ke tanah pada jaringan distribusi. Akibat gangguan satu fasa pada distribusi listrik dapat merusak peralatan yang ada di gardu induk salah satunya yaitu transformator 150/20 kV. Pada netral transformator 150/20 kV terdapat system pentanahan dengan cara pentanahan secara langsung ketanah atau melalui resistor yang penerapannya disesuaikan dengan besar tahanan dan struktur tanah masing-masing. Salah satu contoh pentanahan netral pada transformator daya yaitu daerah Jakarta di GI Cawang Lama memakai pentanahan pada transformatornya dengan *Neutral Grounding Resistor* (NGR) sebesar 12 ohm dan untuk pengamanan sekunder pada trafo memakai rele gangguan tanah atau biasa disebut *Ground Fault Relay* (GFR) dan rele arus lebih atau biasa disebut dengan *Over Current Relay* (OCR). Rele tersebut berfungsi agar meminimalisir gangguan fasa agar tidak melebar dan menyebabkan kerusakan. Sehingga rele harus bekerja selektif dan juga handal sesuai dengan standar yang berlaku di PLN. Sistem pentanahan dengan resistor ini memiliki peran menghambat arus hubung singkat satu fasa ke tanah sehingga nilainya lebih kecil sesuai kebutuhan setelan rele. Rele gangguan tanah bekerja untuk memproteksi trafo dari gangguan hubung singkat satu fasa ketanah baik titik netral yang menggunakan sistem NGR maupun *solid grounding*.

### TINJAUAN PUSTAKA

Salah satu faktor utama dalam setiap pengamanan suatu system rangkaian listrik adalah pentanahannya. Dalam standart SPLN 26: 1980 telah ditetapkan besar tahanan pentanahan dan besar arus gangguan yang diperbolehkan untuk setiap macam tahanan pentanahan yaitu sebagai berikut :

- a. Tahanan rendah sebesar 12 ohm dan arus gangguan tanah maksimal berada di arus 1000A dipakai pada jaringan kabel tanah. Tahanan jenis ini digunakan untuk wilayah Jabodetabek.
- b. Tahanan rendah sebesar 40 ohm dan arus gangguan tanah maksimal berada di arus 300A dipakai pada jaringan saluran udara maupun campuran saluran udara dengan kabel tanah. Tahanan jenis ini umumnya digunakan untuk wilayah sekitaran Bali.
- c. Tahanan tinggi sebesar 500 ohm dan arus gangguan tanah maksimal berada di arus 25A dipakai pada saluran udara umumnya digunakan untuk sekitaran wilayah Jawa Timur.

Menurut PT. PLN Persero, umumnya menentukan nilai tahanan NGR adalah sebagai berikut :

- a. Pada tegangan 70 kV hambatan pentanahannya sebesar 40 Ohm

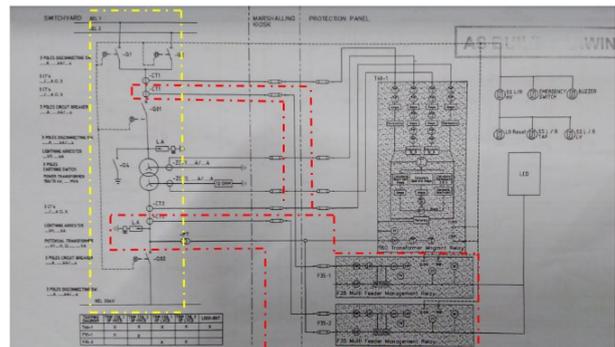
- b. Pada tegangan 20 kV hambatan pentanahannya sebesar 4 Ohm, 12 Ohm, 40 Ohm, 100 Ohm, 200 Ohm sampai dengan 500 Ohm (besaran hambatan yang diperlukan tergantung dari besarnya arus gangguan tanah).



Gambar 1. Sistem Neutral Grounding Resistance (NGR) di Gardu Induk Cawang Lama

### METODOLOGI PENELITIAN

Data yang akan diambil akan mengacu pada gambar dibawah ini dengan garis merah merupakan wiring diagram rele GE F-35 pada GI Cawang Lama dan garis kuning merupakan alur distribusi menuju penyulang 20 kV.



Gambar 2. Wiring diagram rele OCR dan GFR di GI Cawang Lama

Setelah mendapatkan data-data yang diperlukan maka dilakukan perhitungan impedansi sumber, impedansi transformator dan menghitung arus gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah, dua fasa dan tiga fasa. Dilanjutkan dengan menselaraskan *setting* waktu (TMS) dari rele arus lebih (OCR) berdasarkan pada arus hubung singkat dua fasa dan tiga fasa pada sisi incoming trafo

150/20 kV dan penyulang sisi 20 kV juga menseleraskan *setting* waktu (TMS) dari rele gangguan tanah (GFR) berdasarkan pada data arus hubung singkat satu fasa ke tanah pada sisi incoming trafo 150/20 kV dan penyulang sisi 20 kV. Teknik menganalisisnya sebagai berikut :

1.1 Menghitung Arus Gangguan Hubung Singkat

- a. Pada sisi 150 kV dengan data hubung singkat yang ada, maka dapat diperoleh dengan :

$$MVA_{(hs)} = \sqrt{3} \times V_{primer} \times \text{data hubung singkat}$$

Diketahui bahwa:

$MVA_{(hs)}$  = kapasitas daya hubung singkat

$V_{primer}$  = tegangan primer trafo

- b. Menghitung impedansi sumber sisi 150 kV

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

$$Z_{s(sisis\ 20kV)} = \frac{kV\ (sekunder)^2}{kV\ (primer)^2} \times Z_{s(sisi\ 150kV)}$$

Diketahui bahwa :

$Z_s$  (sisi 150 kV) = Impedansi sumber pada sisi 150 kV ( $\Omega$ )

kV = Tegangan sisi primer trafo daya (kV)

$MVA_{hs}$  = Kapasitas daya hubung singkat GI (MVA)

Setelah pada sisi 150 kV didapatkan hasil impedansi sumbernya maka impedansi pada sumber sisi 20 kV dan reaktansi urutan positif dan negatif dapat dihitung menggunakan rumus :

$$Z_{t(20KV)} = \frac{KV_{(sekunder)}^2}{MVA_{trafo}}$$

$$Z_{t(150KV)} = \frac{KV_{(primer)}^2}{MVA_{trafo}}$$

Menghitung reaktansi urutan positif, negative dan nol :

Untuk trafo yang ada di GI Cawang Lama jenis hubungannya yaitu Yyn0+d yang mempunyai belitan delta. Sehingga rumus urutan nolnya menjadi.

$$X_{t1} = \% \text{ impedansi trafo} \times Z_t$$

$$X_{t0} = 3 \times X_{t1}$$

Diketahui bahwa:

$Z_t$  = impedansi dari transformator (ohm)

$KV^2$  = tegangan sisi sekunder maupun primer pada trafo (kV)

$MVA_{trafo}$  = kapasitas daya pada trafo (MVA)

$X_{t1}$  = reaktansi trafo urutan positif dan negative

$X_{t0}$  = reaktansi trafo urutan nol

- c. Perhitungan impedansi penyulang sisi 20 kV

$$Z_1 = Z_2 = L \times (R_1 + jX_1)$$

$$Z_0 = L \times (R_0 + jX_0)$$

Diketahui bahwa :

L = panjang penyulang

$(R_1 \times jX_1)$  = impedansi urutan positif dan negatif pada Penyulang

$Z_1 = Z_2$  = impedansi penyulang

$(R_0 \times jX_0)$  = impedansi urutan nol pada penyulang

Setelah didapatkan hasil  $Z_1$  dan  $Z_0$  pada sisi gangguan di keseluruhan panjang saluran yaitu dengan total panjang saluran jalur sekitar 2,85 km maka perhitungan impedansi penyulang dikalikan langsung dengan presentase panjang saluran yang diperkirakan, terdiri dari 0 %, 25 %, 50 % dan 100%. sehingga didapatkan % gangguan pada posisi 0 km, 0,712 km, 1,425 km, dan 2,85 km.

- d. Perhitungan impedansi ekuivalen jaringan urutan positif dan negatif sisi 150 kV dan 20 kV yaitu:

$$Z_{1equivalen} = Z_{2equivalen} = Z_{sisi\ 20kV} + Z_{t1} + Z_1$$

Setelah didapatkan hasil Z ekuivalen tanpa lokasi gangguan maka setelah itu menghitung ekuivalen dengan adanya lokasi gangguan.

$$\% \text{ gangguan } Z_{1equivalen} = Z_{2equivalen} = Z_{20kV} + Z_1$$

- e. Perhitungan impedansi ekuivalen urutan nol sisi 150 kV dan 20 kV

$$Z_{0eq} = Z_{T0} + 3Rn + Z_0$$

Diketahui bahwa :

$Z_{0eq}$  = Impedansi ekuivalen urutan nol

Rn = resistansi NGR

- f. Menghitung arus gangguan hubung singkat satu fasa, dua fasa dan tiga fasa sisi 20 kV. Rumus hubung singkat satu fasa ke tanah didapatkan dari :

$$I_a = \frac{E_a}{Z_1 + Z_2 + Z_0}$$

$$I_{1\text{ fasa ke tanah}} = \frac{3 \times V_{ph\text{-netral}}}{Z_1eq + Z_2eq + Z_0eq}$$

$$I_{1\text{ fasa ke tanah}} = \frac{3 \times V_{ph\text{-netral}}}{2 \times Z_1eq + Z_0eq}$$

Rumus hubung singkat dua fasa :

$$I_a = \frac{E_a}{Z_1 + Z_2}$$

$$I_{2\text{ fasa}} = \frac{V_{ph}}{Z_1eq + Z_2eq}$$

$$I_{2\text{ fasa}} = \frac{V_{fasa\text{-fasa}}}{2 \times Z_1eq}$$

Rumus hubung singkat tiga fasa :

$$I_a = \frac{E_a}{Z_1}$$

$$I_{3\text{ fasa}} = \frac{V_{fasa\text{-fasa}}}{Z_1eq}$$

Diketahui bahwa :

$V_{ph}$  = tegangan sekunder /  $\sqrt{3}$

$Z_1eq$  = impedansi urutan positif

$Z_0eq$  = impedansi urutan nol

$I_{3,2,1\text{ fasa}}$  = arus gangguan hubung singkat (A)

$V_{fasa\text{-fasa}}$  = Tegangan sisi 20 kV

### 1.2 Menghitung Setelehan Waktu OCR

a. Menghitung arus setting OCR.

$$I_n \text{ (sisi 20kv)} = \frac{MVA}{KV \sqrt{3}}$$

$$I_{set\ primer} = 1,1 \times I_n \text{ (sisi 20kv)}$$

Diketahui bahwa:

MVA = Daya pada Transformator

KV = Tegangan 20kV

b. Menghitung setting sekunder OCR

$$I_{set\ sekunder} = I_{set\ primer} \times \frac{1}{rasio\ CT}$$

Perhitungan waktu pada OCR pada kondisi standar invers

$$t = \frac{\beta}{\left(\left(\frac{I_{gangguan}}{I_{set}}\right)^\alpha - 1\right)}$$

$$TMS = \frac{0,3 \left(\left(\frac{I_{gangguan}}{I_{set}}\right)^{0,02} - 1\right)}{0,14}$$

Diketahui bahwa:

TMS : Time Multiple Setting (standar waktu setting rele)

$I_{gangguan}$  : arus gangguan pada fasa

$I_{set}$  : setting arus pada rele

### 1.3 Menghitung Setelehan Waktu GFR

a. Mengetahui arus setting primer GFR, untuk setelan arus gangguan tanah umumnya 6-20% arus gangguan hubung singkat ke tanah yang paling kecil.

Penyulang :

$$I_{set\ primer} = 0,1 \times I_{gangguan\ 1\ fasa\ terkecil}$$

Incoming :

$$I_{set\ primer} = 0,08 \times I_{gangguan\ 1\ fasa\ terkecil}$$

b. Arus setting sekunder GFR sisi sekunder

$$I_{set\ sekunder} = I_{set\ primer} \times \frac{1}{rasio\ CT}$$

Setting TMS GFR pada kondisi standar invers

$$t = \frac{\beta}{\left(\left(\frac{I_{gangguan}}{I_{set}}\right)^\alpha - 1\right)}$$

$$0,3 = TMS(td) \times \frac{0,14}{\left(I_{fasa} / I_{set\ primer}\right)^{0,02} - 1}$$

Diketahui bahwa:

TMS : Time Multiple Setting (standar waktu setting rele)

$I_{gangguan}$  : arus gangguan pada fasa

$I_{set}$  : setting arus pada rele

## PEMBAHASAN DAN HASIL

Setelah mendapatkan hasil impedansi dan reaktansi maka didapatkan hasil gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah, dua fasa dan tiga fasa yang tercantum pada table 1.

Pada tabel 1 didapatkan arus hubung singkat pada satu fasa ke tanah tanpa menggunakan NGR pada titik 0 km sebesar 955,953 A, pada titik 0,71 km sebesar 945,230 A, pada titik 1,42 km sebesar 934,657 A dan pada titik 2,85 km sebesar 914,042 km yang menunjukkan bahwa semakin dekat gangguan ke GH (gardu hubung) gangguan akan semakin kecil besarnya.

Tabel 1. Data hasil keseluruhan perhitungan gangguan satu fasa ke tanah, gangguan 2 fasa dan 3 fasa

Panjang saluran (%)	Gangguan satu fasa ke tanah		Gangguan 2 fasa	Gangguan 3 fasa
	Tanpa NGR 0 ohm	Dengan NGR 12 ohm		
0 (0km)	8369,416	955,953	11764,705	23529,411
25 (0,71km)	7700,586	945,230	10830,721	21661,443
50 (1,42km)	7090,654	934,657	9961,088	19922,176
100 (2,85km)	6060,391	914,042	8467,852	16935,705

Sedangkan arus hubung singkat pada satu fasa ke tanah tanpa menggunakan NGR pada titik 0km sebesar 8369,416 A, pada titik 0,71 km sebesar 7700,586 A, pada titik 1,42 km sebesar 7090,654 A dan pada titik 2,85 km sebesar 6060,391 A. Sehingga sampel gangguan arus hubung singkat satu fasa ke tanah diambil pada titik 0 km dengan NGR 12 ohm dikarenakan akan dipakai pada setting arus rele dan hasilnya jauh lebih kecil dibanding tanpa NGR yaitu sebesar 955,953 A banding 8369,416 A. Sehingga penggunaan NGR akan berpengaruh memperkecil besar arus gangguan satu fasa ke tanah dengan mempengaruhi nilai impedansi ekuivalen jaringannya.

Setelah mendapatkan hasil arus gangguan hubung singkat fasa-fasa, setelah itu data tersebut digunakan untuk menentukan nilai penyetelan waktu atau biasa disebut TMS OCR. Perhitungan waktu OCR untuk mentriapkan arus harus tepat agar gangguan tidak melebar lebih jauh. Hasil perhitungan TMS didapatkan sebagai berikut:

Tabel 2. Hasil setting waktu OCR (TMS)

Sisi	Rasio CT	Arus Setting	TMS
Incoming	2000/5A	2078 A	0,183 SI
Penyulang	400/1A	384 A	0,248 SI

Hasil yang didapatkan pada perhitungan TMS sisi penyulang menghasilkan 0,18 yang menunjukkan bahwa hasil masih sedikit melebar dengan ketentuan PLN yaitu sekitar 0,15 dikarenakan disetting lebih cepat di bagian penyulang agar ketika ada gangguan fasa yang melebihi nilai hubung singkat, rele masih bisa bekerja dengan baik dan pada sisi incoming menghasilkan 0,248 yang juga masih sesuai dengan ketentuan PLN yaitu sekitar 0,24.

Setelah mendapatkan hasil setting waktu OCR dan mendapatkan hasilnya, setelah itu menentukan nilai penyetelan waktu pada GFR atau biasa disebut

TMS . Perhitungan waktu GFR untuk mentriapkan PMT harus tepat agar gangguan tidak melebar lebih jauh. Hasil perhitungan TMS didapatkan sebagai berikut:

Tabel 3. Hasil setting waktu GFR (TMS)

Sisi	Rasio CT		Hasil Perhitungan (TMS)	
	Dengan NGR 12ohm	Tanpa NGR	Dengan NGR 12ohm	Tanpa NGR
Incoming	400/1A	800/5 A	0,263	0,259
Penyulang	2000/5A	800/5 A	0,103	0,100

Hasil yang didapatkan pada perhitungan TMS sisi penyulang menghasilkan 0,103 yang menunjukkan bahwa hasil mendekati dengan ketentuan PLN yaitu sekitar 0,12 dan pada sisi incoming menghasilkan 0,263 yang juga masih mendekati dilapangan. Pada setting waktu rele GFR pada kondisi tidak memakai NGR didapatkan hasil pada sisi penyulang 0,100 dan pada sisi incoming didapatkan hasil 0,259 . sehingga bisa disimpulkan bahwa dengan memakai NGR arus hubung singkat fasa ke tanah semakin kecil yang berakibat TMS lebih besar dibanding tanpa menggunakan NGR, karena dengan tidak menggunakan NGR nilai arus hubung singkat akan semakin besar.

**KESIMPULAN**

Tahanan pentanahan netral transformator sangat berpengaruh besar terhadap arus gangguan pada saat terjadi hubung singkat fasa – tanah. Pada hasil yang didapat dari perhitungan dalam penelitian ini yaitu arus hubung singkat pada satu fasa ke tanah tanpa menggunakan NGR 12 ohm pada titik 0km sebesar 955,953 A, pada titik 0,7 km sebesar 945,230 A, pada titik 1,42 km sebesar 934,657 A dan pada titik 2,85 km sebesar 914,042 km yang menunjukkan bahwa semakin dekat gangguan ke GH (gardu hubung) gangguan akan semakin kecil nilai arus gangguannya. Sedangkan arus hubung singkat pada satu fasa ke tanah tanpa menggunakan NGR dengan asumsi resitansi 0ohm pada titik 0km sebesar 8369,416 A, pada titik 0,71 km sebesar 7700,586 A, pada titik 1,42 km sebesar 7090,654 A dan pada titik 2,85 km sebesar 6060,391 A. Sampel gangguan arus hubung singkat satu fasa ke tanah diambil pada titik 0km dengan NGR 12 ohm jauh lebih kecil dibanding tanpa NGR yaitu sebesar 955,953 A banding 8369,416 A. Sehingga penggunaan NGR terbukti berpengaruh memperkecil gangguan satu fasa ke tanah dengan mempengaruhi nilai impedansi ekuivalen jaringannya.

Hasil setting waktu OCR pada sisi penyulang (outgoing) berdasarkan hitung manual menghasilkan 0,18 dan dengan data dilapangan yaitu 0,15 dan sisi masukan (incoming) sebesar 0,248 dan pada data di lapangan sebesar 0,24. Setting waktu dari OCR

menunjukkan hasil yang tidak terlalu jauh dan nilai setting waktu dari PLN menunjukkan lebih cepat dikarenakan disetting lebih cepat di bagian penyulang agar ketika ada gangguan fasa yang melebihi nilai hubung singkat rele masih bisa bekerja dengan baik

Hasil setting waktu GFR (TMS) dengan menggunakan NGR pada sisi penyulang (outgoing) berdasarkan hitung manual menghasilkan 0,103 sekon dan dengan data dilapangan yaitu 0,12 dan sisi incoming sebesar 0,263. Setting waktu dari GFR juga tidak berbeda jauh dengan data PLN. Pada setting waktu GFR (TMS) tanpa menggunakan NGR pada sisi penyulang (outgoing) berdasarkan hitung manual menghasilkan 0,100 dan sisi incoming sebesar 0,259. Sehingga bisa disimpulkan bahwa dengan memakai NGR arus hubung singkat fasa ke tanah semakin kecil yang berakibat nilai setting waktu lebih besar dibanding tanpa menggunakan NGR, karena dengan tidak menggunakan NGR nilai arus hubung singkat akan semakin besar yang berakibat nilai setting waktu umumnya akan lebih kecil.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] IEEE Recommended Practice for Grounding of Industrial and Commercial Power Systems. IEEE Std 142 -2007.
- [2] A.R. Sultan, M.W. Mustafa, M. Saini. (2012). “*Ground Fault Currents in Unit Generator-Transformer at Various NGR and Transformer Configurations*”, Universiti Teknologi Malaysia (UTM). DOI :[10.1109/ISIEA.2012.6496615](https://doi.org/10.1109/ISIEA.2012.6496615)
- [3] Asran, J. Misbahul, M. Dedi. (2021). “*Analisa Pengaruh Neutral Grounding Resistance (Ngr) 40 Ohm Pad Transformator Daya 30 Mva Digardu Induk Bireue Terhadap Arus Gangguan Satu Fasa Ke Tanah*”. Universitas Malikussaleh Lhokseumawe. ISSN 2303 - 1360
- [4] Zuhail. Dasar Tenaga Listrik. Penerbit ITB Bandung. 1991.
- [5] SPLN. 1980. No. 26 Tentang Pedoman Penerapan Sistem Distribusi 20 kV, Fasa-Tiga, 3 Kawat dengan Tahanan Rendah dan Tahanan Tinggi.
- [6] Kesepakatan Bersama Pengelolaan Sistem Proteksi Tafo-Penyulang 20kV. PT. PLN (Persero). 2016.
- [7] Tanjung Abrar, 2015. “*Analisis Sistem Pentanahan Transformator Distribusi Di Universitas Lancang Kuning Pekanbaru*”. ISSN 1693-2390 print/ISSN 2407-0939.
- [8] Setiono Iman, Prastyani Galuh, (2017). “*Analisis Kinerja Transformator Bank Pada Jaringan Distribusi Guna Mengurangi Susut Teknis Energi Listrik*”. ISBN 9-789-7936-499-93.
- [9] Samsurizal dkk. (2020). “*Studi Perhitungan Rele Tanah (Gfr) Akibat Gangguan Simpatetik Trip Pada Penyulang Tegangan Menengah*”. Jakarta. P-ISSN 2356-1505, E-ISSN 2656-9175.
- [10] Udiana Budhi Agung G.D I, dkk. (2017). “*Studi Analisis Koordinasi Over Current Relay (OCR) dan Ground Fault Relay (GFR) pada Recloser di Saluran Penyulang Penebel*”. p-ISSN:1693 – 2951; e-ISSN: 2503-2372
- [11] Pandjaitan Bonar. (2012). *Praktik-praktik Proteksi Sistem Tenaga Listrik*. Yogyakarta: Andi Offset.
- [12] Hutaeruk T.S. (1992). *Pengetanahan Netral Sistem Tenaga dan Pengetanahan Peralatan*. Jakarta: Erlangga.
- [13] Markoni. (2018). *Operasi Sistem dan Pemeliharaan Jaringan Distribusi Tenaga Listrik*. Yogyakarta: Teknosain.
- [14] Amin Mustagfirin M. (2014). *Gardu Induk*. Jakarta: Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan Republik Indonesia.