

## STUDI TRANSFORMATOR 150/22 KV GARDU INDUK GULUK-GULUK PULAU MADURA PROVINSI JAWA TIMUR

Rama Abdal Gani<sup>\*)</sup>, Mochammad Facta dan Denis

Program Studi Sarjana Departemen Teknik Elektro, Universitas Diponegoro  
Jl. Prof. Sudharto, SH, Kampus UNDIP Tembalang, Semarang 50275, Indonesia

<sup>\*)</sup>Email: ramaabdal@gmail.com

### Abstrak

Salah satu indikator buruknya kualitas daya adalah besarnya nilai tegangan jatuh. Hal ini terjadi di Kecamatan Guluk-Guluk, Kabupaten Sumenep dimana besarnya nilai tegangan jatuh tidak dapat lagi diatasi dengan pengaturan tap trafo atau penambahan kapasitor, maka dari itu PLN melakukan perencanaan pembangunan Gardu Induk Guluk – Guluk pada tahun 2017. Dari hasil peramalan beban, kapasitas trafo untuk 10 tahun kedepan adalah sebesar 30 MVA yang mana ini sesuai dengan RUPTL 2017. Di tahun 2019, adanya pembangunan infrastruktur yang sangat masif sebagaimana hasil musyawarah pembangunan Kecamatan Guluk – Guluk yang mencapai 11 miliar rupiah mengakibatkan kapasitas GI Guluk – Guluk ditingkatkan menjadi 60 MVA. Kenaikan ini mengakibatkan arus pembebanan meningkat 2 kali lipat, sehingga diperlukan evaluasi pada beberapa parameter trafo untuk menghasilkan listrik yang andal dan aman. Jatuh tegangan yang terjadi pada daerah terjauh di Guluk – Guluk dapat diatasi dengan konfigurasi level tegangan sekunder trafo sebesar 22 kV dan rentang tap sebesar 10% serta menggunakan 4 buah penyulang distribusi dengan luas penampang 185 mm<sup>2</sup> AAAC. Transformator ini dilengkapi dengan sistem pembumian dengan NGR sebagaimana sistem kelistrikan Jawa Timur dan juga menggunakan relai proteksi seperti relai diferensial, relai arus lebih, dan relai gangguan tanah yang mampu bekerja dengan baik untuk melokalisasi gangguan.

*Kata kunci: jatuh tegangan, peramalan, trafo, proteksi*

### Abstract

*One of the indicators in poor power quality is the high amount of drop voltage. This is what has happened in the Guluk-Guluk Sub-district, Sumenep Regency where the drop voltage cannot be overcome by regulating the transformer's tap or by addition of capacitors, therefore the State Electricity Company has planned the construction of the Guluk - Guluk Substation in 2017. Through the calculation of load forecasting, the capacity of the transformer for the next 10 years is 30 MVA which is similar to the Indonesian Electric Power Development Plan 2017. In 2019, very massive infrastructure development as the result of the development plan for the Guluk - Guluk District which reached 11 billion rupiahs caused in the enhancement of the Guluk - Guluk Substation capacity to 60 MVA. This enhancement resulting in a doubling of the loading current, so an evaluation of several transformer parameters are needed to produce reliable and secure electricity. According to the calculation results, the voltage drop that occurs in the farthest area in the Guluk-Guluk can be overcome by setting the transformer secondary voltage level to 22 kV and configure the tapping range to 10% as well as using 4 distribution feeders with a cross-section area of 185 mm<sup>2</sup> type AAAC. This transformer is equipped with a high resistance earthing system (NGR) as applied in the East Java electrical system and also uses several protective relays such as differential relay, overcurrent relay, and ground fault relay that able to localize fault precisely.*

*Keywords: drop voltage, forecast, transformer, protection*

### 1. Pendahuluan

Pertumbuhan ekonomi yang semakin meningkat dalam kurun waktu belakangan membuat kebutuhan akan energi listrik juga semakin meningkat [1]. Di Indonesia, permasalahan akibat meningkatnya konsumsi listrik masih menjadi pekerjaan yang harus segera diselesaikan, dibuktikan dengan rendahnya rasio elektrifikasi pada suatu daerah [2]. Salah satu indikator rasio elektrifikasi adalah besarnya nilai tegangan jatuh [3]. Hal inilah yang terjadi di Kecamatan Guluk-Guluk, Kabupaten Sumenep dimana

besarnya nilai tegangan jatuh tidak dapat lagi diatasi dengan pengaturan tap trafo atau penambahan kapasitor, maka dari itu PLN melakukan perencanaan pembangunan Gardu Induk Guluk – Guluk pada tahun 2017. Dari hasil peramalan beban [4], kapasitas trafo untuk 10 tahun kedepan adalah sebesar 30 MVA yang mana ini sesuai dengan RUPTL 2017. Di tahun 2019, adanya pembangunan infrastruktur yang sangat masif sebagaimana hasil musyawarah pembangunan Kecamatan Guluk – Guluk yang mencapai 11 miliar rupiah mengakibatkan kapasitas Gardu Induk Guluk – Guluk

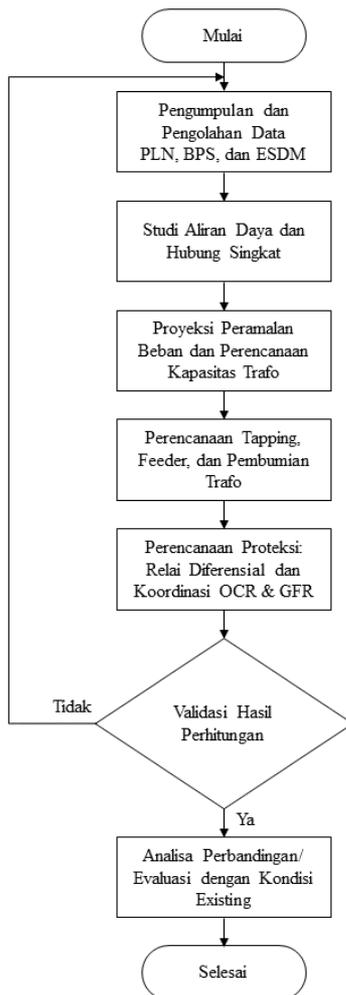
ditingkatkan menjadi 60 MVA. Kenaikan ini mengakibatkan arus pembebanan meningkat 2 kali lipat, sehingga diperlukan adanya evaluasi pada beberapa parameter trafo untuk menghasilkan listrik yang andal dan aman [5]. Adapun tujuan utama dari pembuatan Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Memproyeksikan jumlah pelanggan dan kebutuhan energi listrik di daerah Guluk – Guluk.
2. Menghitung spesifikasi Trafo Guluk – Guluk yang meliputi kapasitas transformator, level tegangan, kondisi tapping, jumlah feeder distribusi, sistem pembumian
3. Menghitung setting relai diferensial pada Trafo Guluk – Guluk sebagai proteksi utama trafo.
4. Menghitung setting dan koordinasi relai arus lebih dan relai gangguan tanah pada sisi saluran 150 kV, saluran 20 kV, dan saluran penyulang.

## 2. Metode Penelitian

### 2.1. Diagram Alir

Secara garis besar penyusunan laporan tugas akhir ini digambarkan sebagai berikut:



Gambar 1. Diagram Alir

### 2.2. Data Penelitian

Data yang digunakan pada penyelesaian tugas akhir ini: Data Badan Pusat Statistik (BPS) mengenai Produk Domestik Regional Bruto Kabupaten Sumenep Tahun 2013 - 2017, Data Perusahaan Listrik Negara Area Madura (PT PLN Madura) mengenai kondisi sistem kelistrikan existing di Madura, Statistik Kelistrikan Direktorat Jenderal Ketenagalistrikan ESDM 2013 – 2017, dan Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik PT PLN Tahun 2017 – 2026 Provinsi Jawa Timur sebagai acuan pembangunan Gardu Induk Guluk – Guluk mulai direncanakan.

### 2.3. Peramalan Beban dan Perencanaan Kapasitas Trafo

Perencanaan transformator tegangan tinggi pada Gardu Induk Guluk- Guluk meliputi penentuan kapasitas trafo yang didapat melalui peramalan beban hingga 10 tahun kedepan. Nilai kapasitas trafo dapat ditentukan dengan persamaan sebagai berikut [4]:

$$\frac{100\%}{80\%} = \frac{\text{Kapasitas Transformator (MVA)}}{\text{Beban Transformator (MVA)}} \quad (1)$$

### Peramalan Beban dengan software LEAP Energy

1. Laju Pertumbuhan PDRB, Pelanggan, dan Daya Tersambung  
Laju pertumbuhan (growth) suatu variabel merupakan pertumbuhan variable/ tahun[5].

$$\begin{aligned} \text{growth pertahun} &= \frac{\text{Variabel tahun } t - \text{Variabel tahun } (t-1)}{\text{Variabel tahun } (t-1)} \\ \text{growth average} &= \frac{\sum g \text{ pertahun}}{n} \end{aligned} \quad (2)$$

2. Intensitas Energi Final  
Intensitas pemakaian energi adalah parameter yang menyatakan besarnya pemakaian energi untuk melakukan suatu aktivitas tertentu. Intensitas pemakaian energi mempunyai satuan volume energi dibagi volume kegiatan [6].

$$I = \frac{\text{Volume Pemakaian Energi}}{\text{Volume Aktifitas}} \quad (3)$$

3. Faktor Pelanggan  
Faktor pelanggan adalah perbandingan antara pertumbuhan pelanggan masing – masing sektor dibagi dengan pertumbuhan pelanggan rumah tangga [7]. Bentuk matematisnya dinyatakan sebagai berikut:

$$CFH = \frac{\text{Pertumbuhan Pelanggan Sektor Terpilih (\%)}}{\text{Pertumbuhan Pelanggan Rumah Tangga (\%)}} \quad (4)$$

4. Delta Pelanggan Rumah Tangga  
Delta pelanggan rumah tangga adalah rata-rata pertumbuhan jumlah pelanggan rumah tangga [7]. Bentuk matematisnya adalah sebagai berikut:

$$\Delta PRT = \frac{\sum_{2013}^{2017} \text{Pertumbuhan Pelanggan Rumah Tangga}}{\text{Total Jumlah Data}} \quad (5)$$

5. Unit Konsumsi

Unit Konsumsi adalah perbandingan antara besarnya konsumsi energi listrik sektor rumah tangga dibagi dengan jumlah pelanggan sektor rumah tangga [7]. Berikut adalah bentuk matematisnya:

$$UK = \frac{\text{Konsumsi Energi Listrik Rumah Tangga}}{\text{Jumlah Pelanggan Rumah Tangga}} \quad (6)$$

6. Peramalan Beban Metode DKL di LEAP Energy  
Data simulasi dari perhitungan manual:

Tabel 1. Data-Data Masukan Activity Level

Jumlah Pelanggan Tahun Dasar (Pelanggan)			
RumahTangga	Industri	Komersial	Umum
12818	30	803	447

Tabel 2. Data-Data Masukan Final Energy Intensity

Jumlah Pelanggan Tahun Dasar (Pelanggan)			
RumahTangga	Industri	Komersial	Umum
1.29	619.39	7.03	5.99

Selanjutnya adalah memasukkan beberapa *Key Assumption* yang diperoleh dari perhitungan sebelumnya dan nantinya akan digunakan dalam penulisan skenario LEAP. Berikut adalah tabel *Key Assumption*:

Tabel 3. Key Assumption

VARIABEL	NILAI
Pertumbuhan PDRB Total	5,33%
Pertumbuhan PDRB Industri	4,65%
Pertumbuhan PDRB Komersial	6,55%
Pertumbuhan PDRB Umum	6,17%
Pertumbuhan Pelanggan Rumah Tangga	3,99%
Pertumbuhan Pelanggan Industri	12,31%
Pertumbuhan Pelanggan Komersial	11,84%
Pertumbuhan Pelanggan Umum	5,86%
Elastisitas Rumah Tangga	0,73
Elastisitas Industri	0,77
Elastisitas Komersial	1,31
Elastisitas Umum	1,34
Faktor Pelanggan Rumah Tangga	1,00
Faktor Pelanggan Industri	3,08
Faktor Pelanggan Komersial	2,96
Faktor Pelanggan Umum	1,46
Delta Pelanggan Rumah Tangga	0,0339
Unit Konsumsi	1,17
	MWh/Pelanggan
Rata-Rata Daya Tersambung Rumah Tangga	0,72 kVA/Pelanggan
Rata-Rata Daya Tersambung Industri	325,335
	kVA/Pelanggan
Rata-Rata Daya Tersambung Komersial	4,76 kVA/Pelanggan
Rata-Rata Daya Tersambung Umum	2,9475
	kVA/Pelanggan
Pertumbuhan Daya Tersambung Rumah Tangga	5,71 %
Pertumbuhan Daya Tersambung Industri	7,92 %
Pertumbuhan Daya Tersambung Komersial	10,60 %
Pertumbuhan Daya Tersambung Umum	10,28 %

Selanjutnya adalah penulisan skenario pada Activity Level dan Final Energy Intensity metode DKL. Berikut ini adalah skenario di LEAP:

Tabel 4. Skenario pada Activity Level metode DKL

SEKTOR	SKENARIO
Rumah Tangga	PrevYearValue*(1+(Key\Faktor Pelanggan Rumah Tangga[PerPelanggan]*(Key\Pertumbuhan PDRB[PerTahun])))
Industri	PrevYearValue*(1+(Key\Faktor Pelanggan Industri[PerPelanggan]*(Key\Pertumbuhan PDRB Industri[PerTahun])))
Komersial	PrevYearValue*(1+(Key\Faktor Pelanggan Komersial[PerPelanggan]*(Key\Pertumbuhan PDRB Komersial[PerTahun])))
Umum	PrevYearValue*(1+(Key\Faktor Pelanggan Umum[PerPelanggan]*(Key\Pertumbuhan PDRB Umum[PerTahun])))
<b>Daya Tersambung</b>	
Rumah Tangga	PrevYearValue+(Demand\Rumah Tangga:Aktifitas Total[Pelanggan]- PrevYearValue(Demand\Rumah Tangga:Aktifitas Total[Pelanggan]))*Key\Rata Rata Daya Tersambung Rumah Tangga[kVA/Pelanggan]
Industri	PrevYearValue+(Demand\Industri\Electricity:Aktifitas Total[Pelanggan]- PrevYearValue(Demand\Industri\Electricity:Aktifitas Total[Pelanggan]))*Key\Rata Rata Daya Tersambung Industri[kVA/Pelanggan]
Komersial	PrevYearValue+(Demand\Komersial\Electricity:Aktifitas Total[Pelanggan]- PrevYearValue(Demand\Komersial\Electricity:Aktifitas Total[Pelanggan]))*Key\Rata Rata Daya Tersambung Komersial[kVA/Pelanggan]
Umum	PrevYearValue+(Demand\Umum\Electricity:Aktifitas Total[Pelanggan]- PrevYearValue(Demand\Umum\Electricity:Aktifitas Total[Pelanggan]))*Key\Rata Rata Daya Tersambung Umum[kVA/Pelanggan]

Tabel 5. Skenario pada Final Energy Intensity metode DKL

SEKTOR	SKENARIO
Rumah Tangga	PrevYearValue*(1+(Key\Elastisitas Energi Rumah Tangga[PerTahun]*(Key\Pertumbuhan PDRB Total[PerTahun]/100)))+(Key\Delta Pelanggan Rumah Tangga[PerPelanggan]*Key\Unit Konsumsi[MWh/Pelanggan])
Industri	PrevYearValue*(1+(Key\Elastisitas Energi Industri[PerTahun]*(Key\Pertumbuhan PDRB Industri[PerTahun]/100)))
Komersial	PrevYearValue*(1+(Key\Elastisitas Energi Komersial[PerTahun]*(Key\Pertumbuhan PDRB Komersial[PerTahun]/100)))
Umum	PrevYearValue*(1+(Key\Elastisitas Energi Umum[PerTahun]*(Key\Pertumbuhan PDRB Umum[PerTahun]/100)))

2.4. Perancangan Single Line Diagram dengan Software ETAP 12.6

Tugas akhir ini menggunakan software ETAP 12.6, dapat dilakukan perancangan single line diagram daerah Madura. Perancangan ini untuk menentukan 2 studi, yaitu studi aliran daya dan studi hubung singkat.

2.5. Studi Aliran Daya dengan Software ETAP 12.6

Studi aliran daya ini dilakukan dalam 3 kondisi diantaranya: kondisi pembebanan normal, kondisi

pembebanan maksimum, dan kondisi pembebanan minimum.

## 2.6. Studi Hubung Singkat dengan Software ETAP 12.6

Studi hubung singkat yang dilakukan pada tugas akhir ini adalah uji gangguan yang mungkin terjadi pada sistem kelistrikan yaitu gangguan hubung singkat 3 fasa, 2 fasa, dan 1 fasa ke tanah. Pada tugas akhir ini penentuan nilai gangguan hubung singkat diperoleh melalui analisis hubung singkat melalui software ETAP.

## 2.7. Perencanaan Tapping Trafo dan Level Tegangan

### Perencanaan Tapping Trafo

Tap changer adalah alat perubah perbandingan transformasi untuk mendapatkan tegangan operasi sekunder yang lebih baik (diinginkan) dari tegangan jaringan / primer yang berubah-ubah. Dalam tugas akhir ini dijalankan dengan data – data sebagai berikut:

- Daya Trafo Terpasang : 60 MVA
- Level Tegangan : 150/ 22 kV
- Jarak Terjauh Feeder : 6.58 km

$$Tapping (\%) = \frac{Overvoltage (\%) - Undervoltage(\%)}{2} \quad (7)$$

### Perencanaan Level Tegangan

Pada tugas akhir ini akan dilakukan simulasi aliran daya dengan mengatur kondisi tapping pada posisi terendah, tertinggi, dan normal sehingga dapat diketahui nilai tegangan yang bekerja sesuai dengan rumus dasar sebagai berikut [8]:

$$\frac{V_1 \text{ Primer}}{V_2 \text{ Sekunder}} = \frac{V_2 \text{ Primer}}{V_1 \text{ Sekunder}} \quad (8)$$

## 2.8. Perencanaan Feeder Distribusi dan Pembumian Trafo

### Perencanaan Feeder Distribusi

Penentuan jumlah feeder ditujukan untuk mendapatkan sistem dengan efisiensi baik dan ekonomis dengan cara mengatur besar arus pembebanan maksimum di tiap feeder. Berikut adalah bentuk matermatisnya [9]:

$$\text{Arus Pembebanan Maksimum} = \frac{Kapasitas \text{ Trafo}}{V_{\text{sekunder}} \times \sqrt{3}} \quad (9)$$

Menurut SNI 0225 PUIL 2011 Amandemen 1 Tahun 2013, standar konduktor yang digunakan dalam perencanaan penyulang adalah alumunium AAAC. Selanjutnya untuk menentukan jumlah feeder yang terpasang dilakukan analisis ekonomi dari harga kabel dan tiang yang digunakan pada tiap – tiap feeder sesuai SPLN 1997 yaitu penggunaan alumunium AAAC dan Panjang tiang

keseluruhan: 9,11, dan 13meter dengan tinggi diukur dari permukaan tanah 7,5meter, 9,2meter, dan 11meter. Harga yang digunakan didapatkan dari produk tiang milik vendor PLN dan toko di salah satu e-commerce terbesar Indonesia.

### Perencanaan Pembumian Trafo

Secara umum harga tahanan yang ditetapkan pada hubungan netral adalah [11]:

$$R_g = \frac{V_{LN}}{I_{FL}} \quad (10)$$

Dimana:

$R_g$  = Tahanan Netral Pembumian/ NGR (Ohm)

$V_{LN}$  = Nilai tegangan fasa ke netral

$I_{FL}$  = Arus Beban Penuh (A)

Klasifikasi sistem pembumian dengan NGR dibagi menjadi 2 yaitu:

- a. Sistem pembumian dengan tahanan rendah, dengan tahanan 12 dan 40 Ohm serta arus primer 50 – 600 A.
- b. Sistem pembumian dengan tahanan tinggi dengan tahanan 200 dan 500 Ohm, serta arus primer 1 – 10 A.

## 2.9. Pengaturan Relai Diferensial

### a. Perhitungan Rasio CT

Rasio CT dapat dihitung mengetahui besar arus rating pada saluran. Untuk mendapatkan nilai arus rating dilakukan perhitungan sebagai berikut [12]:

$$I_{rating} = 110\% \times I_{nominal} \quad (11)$$

$$I_{nominal} = \frac{S}{\sqrt{3} \times V}$$

Dimana:

S = Daya Tersalur (MVA)

V = Tegangan Sisi Primer dan Sekunder (kV)

### b. Perhitungan Arus Sekunder CT

Arus sekunder CT merupakan arus yang di keluarkan CT, persamaannya adalah sebagai berikut [12]:

$$I_{\text{sekunder}} = \frac{1}{\text{rasio CT}} \times I_{\text{nominal}} \quad (12)$$

### c. Perhitungan Error Mismatch

Berikut adalah perhitungannya:

$$\text{Error Mismatch} = \frac{CT \text{ ideal}}{CT \text{ terpasang}} \% \quad (13)$$

### d. Perhitungan Arus Diferensial

Arus diferensial merupakan arus selisih antara arus sekunder CT sisi tegangan tinggi dan sisi tegangan rendah. Berikut adalah perhitungannya [12]:

$$I_{\text{diferensial}} = I_2 - I_1 \quad (14)$$

Dimana:

$I_{\text{dif}}$  = Arus Diferensial

$I_1$  = Arus Sekunder CT1

$I_2$  = Arus Sekunder CT2

e. Perhitungan Arus Penahan (*Restrain*)

Arus restrain diperoleh dengan cara menjumlahkan arus sekunder CT1 dan CT2 kemudian dibagi 2. Bentuk matematisnya adalah [12]:

$$I_r = \frac{I_1 + I_2}{2} \quad (15)$$

Dimana:

- $I_r$  = Arus penahan (A)
- $I_1$  = Arus sekunder CT1 (A)
- $I_2$  = Arus sekunder CT2 (A)

f. Percent Slope

Slope didapat dengan cara membagi antara arus diferensial dengan arus restrain. Slope 1 akan menentukan arus diferensial dan arus restrain pada saat kondisi normal sedangkan slope 2 berguna supaya rele diferensial tidak bekerja oleh gangguan eksternal dengan arus gangguan yang besar sehingga salah satu CT mengalami saturasi (Fransiscus Sihombing, 2012). Berikut adalah perhitungannya [12]:

$$\begin{aligned} Slope_1 &= \frac{I_d}{I_r} \times 100\% \\ Slope_2 &= 2 \frac{I_d}{I_r} \times 100\% \end{aligned} \quad (16)$$

Dimana:

- Slope1 = Setting kecuraman 1
- Slope2 = Setting kecuraman 2
- $I_d$  = Arus Diferensial (A)
- $I_r$  = Arus Restrain (A)

g. Perhitungan Arus *Setting*

Arus setting didapat dengan mengalikan antara slope dan arus restrain. Arus setting inilah yang nanti akan dibandingkan dengan arus diferensial. Persamaanya adalah [12]:

$$I_{set} = \% slope \times I_{restrain} \quad (17)$$

Dimana:

- $I_{set}$  = Arus Setting
- % slope = Setting Kecuraman (%)
- $I_{restrain}$  = Arus Penahan

h. Pengujian Gangguan Trafo

Gangguan transformator daya dapat dihitung dengan persamaan:

$$\begin{aligned} I_f Relay &= I_f \times CT_2 \\ I_2 fault &= \frac{I_f relay}{I_2} \\ I_d &= I_2 fault - I_1 \end{aligned} \quad (18)$$

Dimana:

- $I_f relay$  = Arus gangguan yang dibaca rele
- $I_f$  = Arus yang masuk pada rele
- $CT_2$  = Rasio CT2
- $I_2$  = Arus sekunder CT2 belum gangguan
- $I_d$  = Arus diferensial
- $I_1$  = Arus sekunder CT1
- $I_2 fault$  = Arus sekunder CT2 saat gangguan

2.10. Pengaturan dan Koordinasi Relai Arus Lebih dan Relai Gangguan Tanah

a. *Setting* Relai Arus Lebih

Penyetelan relai arus lebih lebih dilakukan pada sisi primer dan sekunder dengan perhitungan sebagai berikut [13]:

$$\begin{aligned} I_{set (primer)} &= 1.05 \times I_{nominal \ trafo} \\ I_{set (sekunder)} &= I_{set (primer)} \times \frac{1}{Rasio \ CT} \end{aligned} \quad (19)$$

b. *Setting* Relai Gangguan Tanah

Penyetelan relai arus lebih lebih dilakukan pada sisi primer dan sekunder dengan perhitungan sebagai berikut [13]:

$$\begin{aligned} I_{set (primer)} &= 0.1 \times I_{gangguan \ 1 \ fasa} \\ I_{set (sekunder)} &= I_{set (primer)} \times \frac{1}{Rasio \ CT} \end{aligned} \quad (20)$$

c. *Setting* Waktu Relai

Menggunakan tipe standar inverse berikut adalah rumusnya:

$$TMS = \frac{0.14 \times t}{\left(\frac{I_f}{I_s}\right)^{0.02} - 1} \quad (21)$$

4. Hasil dan Pembahasan

4.1. Proyeksi Peramalan Beban dengan *Software* LEAP

• Jumlah Pelanggan

Proyeksi jumlah pelanggan energi listrik disimulasikan menggunakan *software* LEAP ditunjukkan oleh tabel berikut:

Tabel 6. Proyeksi Pelanggan Energi Listrik Kecamatan Guluk-Guluk

Tahun	Rumah Tangga	Industri	Komersial	Umum	Total (Thousand)
2017	12.818	0.03	0.803	0.447	14.098
2018	13.501	0.034	0.959	0.487	14.981
2019	14.221	0.039	1.145	0.531	15.936
2020	14.979	0.045	1.366	0.579	16.969
2021	15.777	0.051	1.631	0.631	18.09
2022	16.618	0.059	1.948	0.688	19.313
2023	17.504	0.067	2.325	0.75	20.646
2024	18.437	0.077	2.776	0.818	22.108
2025	19.419	0.088	3.314	0.891	23.712
2026	20.455	0.1	3.957	0.971	25.483
2027	21.545	0.114	4.724	1.059	27.442

Berdasarkan Tabel 7 diatas terlihat total pelanggan energi listrik sektor Rumah Tangga adalah yang terbesar. Kemudian disusul oleh kebutuhan energi listrik sektor Komersial, Umum, dan Industri. Melalui hasil tersebut

dapat diketahui pertumbuhan total pelanggan rata – rata dari tahun 2018 – 2027 adalah sebagai berikut [7]:

- Pertumbuhan Tahun 2018  

$$= \frac{(\text{Pelanggan 2018} - \text{Pelanggan 2017})}{\text{Pelanggan 2017}} \times 100\%$$

$$= \frac{(14.981 - 14.098)}{14.098} \times 100\%$$

$$= 6,26\%$$

Melalui perhitungan yang sama untuk tahun – tahun berikutnya maka didapatkan pertumbuhan pelanggan rata – rata sebesar:

$$\text{Rata – Rata Pertumbuhan Pelanggan} = \frac{\sum_{2018}^{2027} \text{Pertumbuhan Pelanggan Listrik}}{\text{Jumlah Data}}$$

$$= \frac{6,26\% + 6,37\% + 6,48\% + 6,61\% + 6,76\% + 6,90\% + 7,08\% + 7,26\% + 7,47\% + 7,69\%}{10}$$

$$= 6,89\%$$

Jumlah pelanggan energi listrik kecamatan guluk – guluk meningkat rata – rata sebesar 6.89% per tahun hingga tahun 2027. Adapun perkiraan pertumbuhan per sektor yaitu pertumbuhan sektor rumah tangga rata – rata sebesar 5,33 % dengan nilai di tahun 2027 sebesar 21.545 pelanggan. Pertumbuhan sektor industry rata – rata sebesar 14.29% dengan nilai di tahun 2027 sebesar 114 pelanggan. Pertumbuhan sektor komersial rata – rata sebesar 19,39% dengan nilai di tahun 2027 sebesar 4.724 pelanggan. Pertumbuhan sektor umum rata – rata sebesar 9,01% dengan nilai di tahun 2027 sebesar 1.059 pelanggan.

• **Kebutuhan Energi Listrik**

Proyeksi kebutuhan energi listrik disimulasikan menggunakan software LEAP ditunjukkan oleh tabel berikut:

**Tabel 7. Proyeksi Kebutuhan Energi Listrik Kecamatan Guluk-Guluk**

Tahun	Rumah Tangga	Industri	Komersial	Umum	Total In Mwh (Thousand )
2017	16.53521	18.58169	5.645089	2.677529	43.43953
2018	17.95882	21.25057	6.745342	2.921140	48.87588
2019	19.48742	24.30278	8.060039	3.186915	55.03716
2020	21.12819	27.79337	9.630977	3.476871	62.02942
2021	22.88875	31.78531	11.50809	3.793208	69.97538
2022	24.77723	36.35062	13.75107	4.138326	79.01725
2023	26.80226	41.57163	16.43122	4.514845	89.31997
2024	28.97306	47.54254	19.63373	4.925620	101.0749
2025	31.29944	54.37104	23.46044	5.373769	114.5047
2026	33.79181	62.18032	28.03298	5.862692	129.8678
2027	36.46129	71.11124	33.49673	6.396099	147.4653

Berdasarkan Tabel 4.2 diatas terlihat bahwa kebutuhan energi listrik sektor Rumah Tangga adalah yang terbesar. Kemudian disusun oleh kebutuhan energi listrik sektor Industri, Komersial, dan Umum. Melalui hasil tersebut dapat diketahui pertumbuhan kebutuhan energi rata – rata dari tahun 2018 – 2027 adalah sebagai berikut [7]:

- Pertumbuhan Tahun 2018  

$$= \frac{(\text{Keb. Listrik 2018} - \text{Keb. Listrik 2017})}{\text{Keb. Listrik 2017}} \times 100\%$$

$$= \frac{(48.87588126 - 43.43953903)}{43.43953903} \times 100\%$$

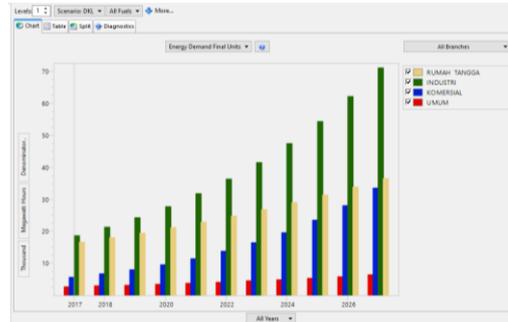
$$= 12,51\%$$

Melalui perhitungan yang sama untuk tahun – tahun berikutnya maka didapatkan pertumbuhan rata -rata sebesar:

- Rata – Rata Pertumbuhan Energi  

$$= \frac{\sum_{2018}^{2027} \text{Pertumbuhan Keb.Listrik}}{\text{Jumlah Data}}$$

$$= 13,00\%$$



**Gambar 2. Proyeksi Kebutuhan Energi Listrik 2018 – 2027**

Jumlah kebutuhan energi listrik kecamatan guluk – guluk meningkat rata – rata sebesar 13% per tahun hingga tahun 2027. Adapun perkiraan pertumbuhan per sektor yaitu pertumbuhan sektor rumah tangga rata – rata sebesar 8,23 % dengan nilai di tahun 2027 sebesar 36,46 ribu MWh. Pertumbuhan sektor industry rata – rata sebesar 14.36% dengan nilai di tahun 2027 sebesar 71,11 ribu MWh. Pertumbuhan sektor komersial rata – rata sebesar 19,49% dengan nilai di tahun 2027 sebesar 33,49 ribu MWh. Pertumbuhan sektor umum rata – rata sebesar 9,1% dengan nilai di tahun 2027 sebesar 6,39 ribu MWh. Sehingga, didapatkan pengaruh pertumbuhan terbesar ada pada sektor komersial yang mencakup perdagangan, transportasi dan pergudangan, penyediaan akomodasi, sarana komunikasi, jasa keuangan dan asuransi, dan real estate.

**4.2. Perhitungan Kapasitas Transformator**

Perhitungan Kapasitas Transformator Guluk – Guluk dapat diketahui melalui proyeksi kebutuhan energi listrik Kecamatan Guluk – Guluk pada tahun terakhir. Nilai kebutuhan energi listrik pada tahun 2027 dalam MWh akan diubah kedalam bentuk satuan besaran transformator yaitu MVA. Berikut adalah perhitungannya:

$$\text{Beban Transformator (MW)} = \frac{147,4653782 \times 1000}{1 \text{ Tahun}}$$

$$\text{Beban Transformator (MW)} = \frac{147,4653782 \times 1000}{365 \times 24}$$

$$\text{Beban Transformator (MW)} = 16,834 \text{ MW}$$

Untuk mendapatkan nilai beban dalam satuan trafo (MVA) maka nilai beban transformator terhitung dibagi dengan faktor daya yang diasumsikan sebesar 0.8.

$$\text{Beban Transformator (MVA)} = \frac{16,834}{0,8}$$

$$\text{Beban Transformator (MVA)} = 21,042 \text{ MVA}$$

Dengan demikiran nilai kapasitas Trafo adalah [31]:

$$\frac{100\%}{80\%} = \frac{\text{Kapasitas Transformator (MVA)}}{21,042 \text{ MVA}}$$

$$\text{Kapasitas Transformator (MVA)} = 26,303 \text{ MVA}$$

Melalui perhitungan didapatkan nilai kapasitas transformator hitung sebesar 26,303 MVA. Nilai ini harus disesuaikan dengan nilai pasaran transformator yang tersedia di Indonesia dalam hal ini nilai transformator yang sesuai dan terdapat di pasaran adalah 30 MVA. Perhitungan ini telah sesuai dengan perencanaan RUPTL PLN Tahun 2017 sebagaimana terlihat pada tabel 3.4 nilai kapasitas Transformator Gukul – Gukul bernilai 30 MVA. Pada kondisi pembebanan existing, nameplate trafo menunjukkan kapasitas sebesar 60 MVA. Perubahan ini dikarenakan pada tahun 2018 – 2019 Musyawarah Rencana Pembangunan Kecamatan (musrenbangcam), Kecamatan Gukul – Gukul mendapat dana hingga 11 miliar (jauh lebih tinggi daripada rata – rata dana kecamatan pada umumnya) dari APBD Sumenep untuk rencana pembangunan infrastruktur. Hal ini sudah terlihat dari proyeksi kebutuhan energi listrik dan kenaikan jumlah pelanggan listrik yang signifikan dimana pertumbuhan pembangunan sektor industri adalah yang terbesar namun dalam hal ini kebutuhan energi diluar perkiraan pada tahun 2017 sehingga transformator pada Gardu Induk Gukul – Gukul dinaikkan menjadi 60 MVA. Analisa dan perhitungan selanjutnya dalam tugas akhir ini akan menggunakan data trafo existing sehingga memungkinkan terjadi proses evaluasi.

**4.3. Perhitungan Tapping, Level Tegangan, Feeder Distribusi, dan Pembumian Trafo**

**1. Perhitungan Tapping**

Melalui simulasi aliran daya 2 kondisi pada overvoltage dan undervoltage dapat diketahui kondisi tegangan terburuk pada daerah terjauh dari Gukul – Gukul sehingga penentuan tapping trafo dapat ditentukan melalui perhitungan sebagai berikut [8]:

$$Tapping = \frac{Overvoltage (\%) - Undervoltage(\%)}{2}$$

$$Tapping = \frac{110,06\% - 90,95\%}{2}$$

$$Tapping = 9,56\% \xrightarrow{\text{pembulatan}} 10\%$$

**2. Perhitungan Level Tegangan**

Umunya level tegangan untuk trafo step down tegangan tinggi di Indonesia menggunakan nilai tegangan sekunder sebesar 20 kV/ 22 kV.

**Tabel 8. Pengujian Aliran Daya**

Tapping (%)	Primary Voltage (kV)	Output (%)	Output Voltage (kV)
90	135	94,48	18,89
100	150	85,52	17,10
110	165	78,08	15,61

Dari hasil tersebut dapat diketahui bahwa dengan menggunakan tegangan sekunder 22 kV menghasilkan keluaran tegangan yang lebih mendekati rating tegangan menengah 20 kV.

**3. Perhitungan Feeder Distribusi**

Perencanaan jumlah feeder dapat dilakukan setelah mengetahui besar arus pembebanan maksimum pada keluaran 20 kV Trafo Gukul – Gukul. Hasil perhitungan berdasarkan rumus no 9 adalah sebesar 1732 A. Selanjutnya adalah melakukan analisis ekonomi terkait jumlah feeder yang akan digunakan. pemilihan feeder menurut standar PLN diatur jumlahnya untuk minimal 4 agar mendapatkan sudut yang optimal dalam menjangkau wilayah yang jauh.

**Tabel 9. Perbandingan Harga Perencanaan Feeder**

Jumlah Feeder	Besar Arus/ Feeder	Ampacity AAAC (KHA)	Luas Penampang mm <sup>2</sup>	Harga (1m)	Harga (40m) + Tiang	Harga - Jumlah Feeder
4	433	490	185	Rp37,900.00	Rp11,786,000	Rp47,144,000
5	346	365	120	Rp21,300.00	Rp11,122,000	Rp55,610,000
6	289	320	95	Rp19,300.00	Rp11,042,000	Rp66,252,000

**4. Perhitungan Pembumian Trafo**

Berdasarkan hasil simulasi dapat diketahui besaran arus hubung singkat di sisi penyulang yang diasumsikan terjadi pada 25%, 50%, 75% dan 100% panjang penyulang. Berikut adalah tabel nilai gangguan hubung singkat:

**Tabel 10. Arus Hubung Singkat Penyulang**

Panjang	3 Fasa (A)	2 Fasa (A)	1 Fasa Ke Tanah (A)
25%	5170	4480	972
50%	4080	3530	915
75%	3360	2910	858
100%	2860	2480	805

Dari Gambar .. dapat dilihat bahwa ketiga jenis gangguan memiliki trean yang sama. Dimana semakin jauh jarak titik gangguan maka semakin kecil arus gangguan hubung singkatnya. Dari 3 jenis gangguan hubung singkat yang diuji dapat dilihat bahwa arus gangguan hubung singkat terbesar adalah arus gangguan hubung singkat 3 fasa, apabila ditinjau dari gangguan terhadap fasa.

**Perhitungan NGR**

Hasil perhitungan dengan rumus 10 menunjukkan angka 375,065 ohm, sebagaimana diketahui bahwa sistem pembumian dengan tahanan tinggi memiliki tahanan 200 dan 500 Ohm sehingga nilai yang memungkinkan untuk dipilih adalah 500 ohm karena besar arus beban penuh yang terlalu besar membuat nilai tahanan tidak bisa mencapai 200 ohm.

Tabel 11. Analisa Keefektifan NGR

Panjang	Penurunan
25%	73,15%
50%	64,53%
75%	57,10%
100%	50,91%

Dari tabel 11 dapat dilihat bahwa pemasangan NGR memberikan pengaruh yang cukup signifikan dalam meredam arus gangguan 1 fasa ke tanah. Lebih dari 50% arus gangguan tanah yang diujikan di penyulang dapat diredam

#### 4.4. Analisa Perhitungan Relai Diferensial

Perhitungan setting relai diferensial sesuai dengan rumus 11 – 18 didapatkan hasil perhitungan sebagai berikut:

- **Perhitungan Rasio CT**

Perhitungan Sisi Primer

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

$$I_{rating} = 254,03 \text{ A}$$

Setelah didapatkan nilai arus rating maka besar CT dapat ditentukan dengan membandingkan nilai hasil hitungan dengan nilai rasio CT di pasaran. Rasio CT yang dipilih untuk sisi primer adalah 1:300 A. Maksud dari rasio yang dipilih adalah, apabila pada trafo sisi tegangan tinggi mengalir arus sebesar 300 A maka pada CT tersebut terbaca 1 A.

Perhitungan Sisi Sekunder

$$I_{rating} = 110\% \times 1574,59$$

$$I_{rating} = 1732,05 \text{ A}$$

Setelah didapatkan nilai arus rating maka besar CT dapat ditentukan dengan membandingkan nilai hasil hitungan dengan nilai rasio CT di pasaran. Rasio CT yang dipilih untuk sisi sekunder adalah 1:1800 A. Maksud dari rasio yang dipilih adalah, apabila pada trafo sisi tegangan tinggi mengalir arus sebesar 300 A maka pada CT tersebut terbaca 1 A.

- **Perhitungan Arus Sekunder CT**

Perhitungan Sisi Primer

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

$$I_{sekunder} = 0,769 \text{ A}$$

Perhitungan Sisi Sekunder

$$I_{sekunder} = \frac{1}{1800} \times 1574,59$$

$$I_{sekunder} = 0,874 \text{ A}$$

- **Perhitungan Error Mismatch**

Perhitungan Sisi Primer

$$Error \text{ Mismatch} = \frac{264}{300} \%$$

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

Perhitungan Sisi Sekunder

$$Error \text{ Mismatch} = \frac{2045,45}{1800} \%$$

$$Error \text{ Mismatch} = 1,14 \%$$

•

- **Perhitungan Arus Diferensial**

$$I_{diferensial} = |0,769 - 0,874|$$

$$I_{diferensial} = 0,105 \text{ A}$$

Selisih antara  $I_{sekunder}$  CT<sub>1</sub> dan CT<sub>2</sub> yaitu sebesar 0,105 A. Selisih inilah yang nanti akan dibandingkan dengan arus setting rele diferensial.

- **Perhitungan Arus Penahan (Restrain)**

$$I_r = \frac{0,769 + 0,874}{2}$$

$$I_r = 0,822 \text{ A}$$

Arus *restrain* yang didapat dari hasil perhitungan adalah 0,822 A. Ketika arus diferensial naik akibat perubahan rasio di sisi tegangan tinggi dan tegangan rendah yang disebabkan oleh perubahan tap trafo daya maka arus *restrain* ini juga akan naik. Hal ini berguna agar rele diferensial tidak bekerja karena bukan merupakan gangguan.

- **Percent Slope**

$$Slope_1 = 12,77 \%$$

$$Slope_2 = 25,53 \%$$

- **Perhitungan Arus Setting**

$$I_{set} = 12,77\% \times 0,822$$

$$I_{set} = 0,105 \text{ A}$$

Arus setting yang diperoleh dari hasil perhitungan adalah 0,105 A namun diperlukan toleransi sebesar 30% dengan pertimbangan yaitu: kesalahan sadapan (10%), kesalahan CT (10%), *mismatch* (4%), arus eksitasi (1%) dan faktor keamanan (5%).

$$I'_{set} = 0,105 + (30\% \times 0,105)$$

$$I'_{set} = 0,136 \text{ A}$$

- **Batas Kerja Relai**

Perhitungan Sisi Primer

$$I_f = 0,778 \times 300$$

$$I_f = 233,535 \text{ A}$$

Batas kerja relai sebesar 233,535 A artinya apabila ada gangguan pada sisi primer bernilai kurang dari 233,535 A maka relai tidak bekerja/ tidak dianggap sebagai gangguan.

Perhitungan Sisi Sekunder

$$I_f = 0,792 \times 1800$$

$$I_f = 1426,997 \text{ A}$$

Batas kerja relai sebesar 1426,997 A artinya apabila ada gangguan pada sisi primer bernilai kurang dari 1426,997 A maka relai tidak bekerja/ tidak dianggap sebagai gangguan.

#### 4.5. Analisa Koordinasi Pengaturan Relai Arus Lebih dan Relai Gangguan Tanah

Hasil perhitungan rumu 19 -21 dinyatakan dalam tabel berikut:

Tabel 12. Pengaturan Relai Arus Lebih dan Gangguan Tanah

Relai	TMS Sisi Penyulang 20 kV (s)	TMS Sisi Incoming 20 kV (s)	TMS Sisi Incoming 150 kV (s)
Arus Lebih	0.111055527	0.082370278	0.225373924
Gangguan Tanah	0.136805138	0.245002855	0.101259901

Melalui hasil pada tabel 12 didapat nilai setelan waktu relai dengan seluruh nilai kurang dari 1s. Nilai TMS Relai ini kemudian dapat digunakan untuk pengujian waktu kerja relai dan pengujian waktu pembebanan maksimum penghantar.

**Pengujian Lama Kapasitas Penyaluran Arus di Penghantar**

Pengujian dilakukan pada saluran primer 150 kV, sekunder 20 kV, dan penyulang 20 kV. Berikut adalah hasil perhitungannya:

Tabel 13. Pengujian Lama Waktu Penyaluran Arus di Penghantar

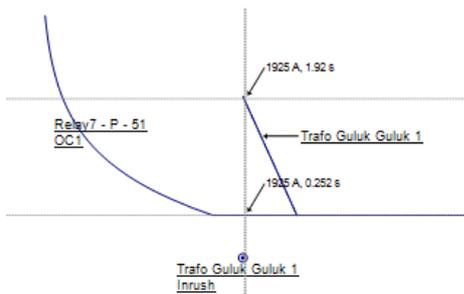
Penghantar	Lama Waktu (s)
Saluran 150 kV (ACSR 262 mm <sup>2</sup> )	62,12
Penyulang 20 kV (AAAC 185 mm <sup>2</sup> )	8,04

Dari tabel 13 hasil yang didapat menunjukkan seluruh waktu trip yang terjadi memiliki nilai yang kurang dari lama waktu penghantaran arus maksimal. Dengan demikian perhitungan waktu trip dapat melindungi penghantar dari adanya arus sesaat yang besar.

**Pengujian Kurva Arus Waktu**

Pengujian kurva arus waktu dilakukan pada masing-masing relai terhadap trafo.

**Relai Sisi Penyulang**

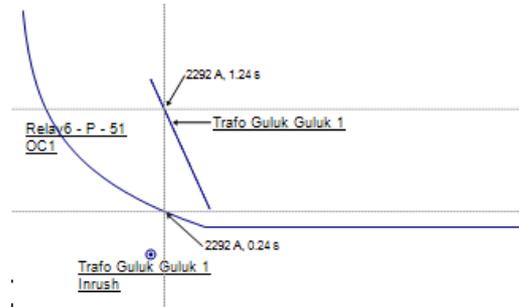


Gambar 3. Kurva Arus Waktu Relai Sisi Penyulang

Gambar 3 menunjukkan kerja relai telah sesuai dan bekerja dengan baik sebagai proteksi trafo. Sebagai contoh dapat

dilihat bahwa Trafo Guluk – Guluk memiliki waktu kerja maksimal sebesar 1,92 s untuk arus gangguan 1925 A. Kerja relai untuk gangguan dengan besaran yang sama menunjukkan waktu kerja sebesar 0,252 s.

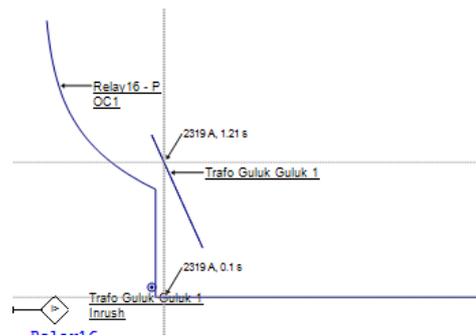
**Relai Sisi 20 kV**



Gambar 4. Kurva Arus Waktu Relai Sisi 20 kV

Gambar 4 menunjukkan kerja relai telah sesuai dan bekerja dengan baik sebagai proteksi trafo. Sebagai contoh dapat dilihat bahwa Trafo Guluk – Guluk memiliki waktu kerja maksimal sebesar 1,24 s untuk arus gangguan 2292 A. Kerja relai untuk gangguan dengan besaran yang sama menunjukkan waktu kerja sebesar 0,24 s.

**Relai Sisi 150 kV**



Gambar 5. Kurva Arus Waktu Relai Sisi 150 kV

Gambar 5 menunjukkan kerja relai telah sesuai dan bekerja dengan baik sebagai proteksi trafo. Sebagai contoh dapat dilihat bahwa Trafo Guluk – Guluk memiliki waktu kerja maksimal sebesar 1,21 s untuk arus gangguan 2319 A. Kerja relai untuk gangguan dengan besaran yang sama menunjukkan waktu kerja sebesar 0,1 s.

**5. Kesimpulan**

Peramalan beban Kecamatan Guluk – Guluk telah sesuai dengan RUPTL 2017 yaitu 30 Ohm tetapi yang digunakan pada sistem adalah sebesar 60 MVA dikarenakan adanya pembangunan massif yang direncanakan pada tahun 2019. Kondisi tapping transformator Guluk – Guuk yaitu 10% telah sesuai karena telah mampu mengatasi drop tegangan hingga di daerah terjauh di Kecamatan Guluk – Guluk.

Level tegangan transformator Guluk- Guluk 150/ 22 kV telah sesuai diterapkan di kondisi kelistrikan existing. Jumlah penyulang distribusi yang ditetapkan sebanyak 4 buah dalam sistem merupakan pemilihan yang tepat ditinjau dari analisis ekonomi dan representasi mata angin. Kemudian untuk pengamanan pada trafo, sistem pembumian NGR yang diterapkan terbukti efektif karena mampu mengurangi nilai arus gangguan hubung singkat hingga lebih dari 50% besar gangguan pada setiap panjang penyulang. Selanjutnya hasil relai diferensial yang didapat adalah sebesar 0,136 Ampere dengan memperhitungkan toleransi sebesar 30% artinya relai bekerja ketika terjadi perbedaan arus sebesar 0,136 Ampere pada sisi primer dan sekunder CT. Terakhir, koordinasi kerja relai arus lebih dan arus gangguan tanah bekerja dengan baik sesuai dengan yang ditampilkan pada kurva arus waktu karena kurva pada setiap relai tidak memotong komponen yang dilindungi.

## Referensi

- [1]. Suryanto, Yusuf. 2013. Konsumsi Energi Listrik dan Pertumbuhan Ekonomi di Indonesia: Aplikasi dan Model. Indonesia: Majalah Bappenas.
- [2]. Stigant A. S dan A. C. Franklin, "The J & P Transformer Book", Edisi Kesepuluh, Britain: Newnes-Butterworths, 1973. Buku 5 PT. PLN (Persero). 2010. *Standar Konstruksi Jaringan Tegangan Menengah Tenaga Listrik*, Jakarta: PT PLN (Persero).
- [3]. Samaulah, Hazairin. 2004. Dasar-Dasar Sistem Proteksi Tenaga Listrik. Palembang: Unsri
- [4]. Sampeallo, Agustinus. 2012. Penentuan Kapasitas Transformator Daya Pada Perencanaan Gardu Induk (Gi) Sistem 70 Kv (Studi Kasus Pembangunan Gardu Induk Ende - Ropa – Maumere). Kupang: Universitas Nusa Cendana.
- [5]. Sari, D.A., Wahyudi, W. dan Facta, M., 2011. Peramalan Kebutuhan Beban Jangka Pendek Menggunakan Jaringan Syaraf Tiruan Backpropagation. Semarang: Universitas Diponegoro
- [6]. Huang Y, Bor YJ, Peng CY. The long-term forecast of Taiwan's energy supply and demand: LEAP model application. *Energy Policy*. 2011 Nov 1;39(11):6790-803.
- [7]. Kuncoro, A.H. dan Dalimi, R., 2005. Aplikasi Jaringan Syaraf Tiruan Untuk Peramalan Beban Tenaga Listrik Jangka Panjang Pada Sistem Kelistrikan Di Indonesia. *Jurnal Teknologi*, Edisi, 3, pp 211 - 217
- [8]. Dieter Dohnal, On Load Tap Changers for Power Transformers, ter. Tiras Ari Sadewo, Maschinen-Fabrik Reinhausen GmbH, Regensburg-Germany, 2013
- [9]. PT. PLN Persero. Buku Pedoman Pemeliharaan Transformator Tenaga, (Jakarta Selatan: PT. PLN, 2014).
- [10]. SNI 0225 PUIL 2011 Amandemen 1 Tahun 2013
- [11]. Ramadhan, Muhammad Zakiy. 2009. Netral Grounding Resistor. Laporan Mingguan OJT PT PLN Sektor Asam-Asam Wilayah Kalimantan Selatan dan Kalimantan Tengah.
- [12]. aliwal, Nikhil., & Trivedi, A. (2014). Analysis of Modern Digital Differential Protection for Power Transformer. *International Journal of Interdisciplinary Research and Innovations*. 2, 46-53.
- [13]. Wahyudi Sarimun, N, Pribadi Kadarisman, Koordinasi OCR dan GFR Pada Jaringan Distribusi, Penerbit PT PLN (Persero) Jasa Pendidikan dan Pelatihan, Jakarta.