

Analisis Pengaruh Pemasangan Sistem On Load Shedding (OLS) Pada Sisi Sekunder Transformator Tenaga I di Gardu Induk Mandai 70 kV

Rizki Tia Shoffi 1¹), Tadjuddin 2²), Kurniawati Naim 3³)

¹ Teknik Elektro, Politeknik Negeri Ujung Pandang
rizkithia@gmail.com

² Teknik Elektro, Politeknik Negeri Ujung Pandang
Tadjuddin02@gmail.com

³ Teknik Elektro, Politeknik Negeri Ujung Pandang
nianaim09@poliupg.ac.id

Abstrak

Masalah kontinuitas sistem tenaga listrik selalu menjadi perhatian oleh PT. PLN (Persero). Untuk meminimalisir durasi pemadaman pada gardu induk Mandai ketika terjadi gangguan pada saluran transmisi Pangkep 1 – Mandai maka dipasang sistem On Load Shedding (OLS) menggunakan Under Voltage Relay (UVR) pada sisi sekunder transformator tenaga 20 kV. Penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh pemasangan sistem OLS pada GI Mandai dari segi nilai ekonomis dan menghitung nilai setting UVR pada sistem OLS. Dalam penelitian ini data yang digunakan ialah data durasi pemadaman sebelum dan setelah adanya sistem OLS ketika terjadi gangguan pada saluran transmisi Pangkep 1 – Mandai serta data beban pada transformator tenaga I GI Mandai. Data ini diperoleh dari PT. PLN (Persero) ULTG Maros dan ULP Maros. Data – data tersebut diperoleh dengan teknik observasi, dokumentasi dan wawancara. Berdasarkan hasil penelitian diketahui bahwa nilai kerugian sebelum adanya sistem OLS + Rp. 6.046.560,70 dalam durasi pemadaman selama 27 menit dan setelah dipasang sistem OLS nilai kerugian menjadi + Rp. 447.900,34 dalam durasi pemadaman selama 2 menit serta diketahui UVR pada sistem OLS bekerja pada tegangan 28,6 kV atau 45% dari tegangan nominal 70 kV dengan karakteristik Instantaneous moment atau waktu seketika tanpa waktu tunda.

Keywords: *On Load Shedding, Under Voltage Relay, Nilai Ekonomis, Saluran Transmisi.*

I. PENDAHULUAN

Gardu Induk merupakan suatu sistem instalasi listrik yang terdiri dari beberapa peralatan listrik dan menjadi penghubung listrik dari pembangkit ke jaringan transmisi yang selanjutnya disalurkan ke jaringan distribusi primer, dan berfungsi sebagai penyalur daya dengan kapasitas KVA, MVA sesuai dengan tegangan operasinya. Gardu induk merupakan salah satu bagian dari sistem tenaga listrik yang mempunyai kemungkinan sangat besar mengalami bahaya yang disebabkan oleh timbulnya gangguan temporer maupun permanen.

Gardu induk 70 kV Mandai adalah salah satu gardu induk yang beroperasi di wilayah Maros – Sulawesi Selatan dan memiliki dua buah transformator tenaga dengan masing-masing kapasitas 20 MVA. Gardu induk Mandai merupakan gardu induk akhir pada saluran transmisi Tello, Daya dan saluran transmisi Pangkep yang tidak memiliki interkoneksi pada kedua busbar 70 kV-nya, sehingga saat terjadi gangguan pada salah satu saluran transmisi maka transformator tenaga akan langsung kehilangan suplai tenaga dan diperlukan waktu yang cukup lama dalam pemutusan PMT tiap feeder secara manual. Untuk meningkatkan kinerja transformator tenaga pada Gardu Induk Mandai saat terjadi gangguan, maka dipasang proteksi tambahan yakni sistem On Load Shedding (OLS) menggunakan Under Voltage Relay (UVR) pada sisi sekunder transformator tenaga 20 kV.

II. KAJIAN LITERATUR

A. Gardu Induk

Gardu Induk merupakan sub sistem dari sistem penyaluran (transmisi) tenaga listrik, atau merupakan satu kesatuan dari sistem penyaluran (transmisi). Penyaluran (transmisi) merupakan sub sistem dari sistem tenaga listrik. Berarti, gardu induk merupakan sub-sub sistem dari sistem tenaga listrik[1].

Fungsi utama dari gardu induk adalah mentransformasikan tegangan tinggi ke tegangan tinggi, tegangan tinggi ke tegangan menengah, dan tegangan tinggi ke tegangan rendah. Pelayanan beban dari gardu induk melalui tegangan tinggi menuju gardu distribusi setelah melalui adanya proses penurunan tegangan pada penyulang - penyulang (*feeder*) tegangan menengah pada gardu induk.

B. Transformator Tenaga

Transformator tenaga adalah suatu peralatan tenaga listrik yang berfungsi untuk mentransformasikan daya listrik dari tegangan tinggi ke tegangan rendah atau sebaliknya. Dalam operasi penyaluran tenaga listrik pada gardu induk, transformator dapat dikatakan jantung dari transmisi dan distribusi. Dalam kondisi ini transformator diharapkan dapat beroperasi secara maksimal (secara terus-menerus tanpa ada gangguan)[2].

C. Under Voltage Relay (UVR)

Under voltage relay (UVR) adalah relai yang berfungsi mengamankan peralatan instalasi dari pengaruh perubahan tegangan kurang. Peralatan instalasi mempunyai nilai batas maksimum dan minimum dalam pengoperasiannya. Jika melebihi nilai maksimum atau minimum batas kerja operasinya, peralatan tersebut dapat rusak. Sehingga untuk menjaga peralatan dari kerusakan akibat perubahan tegangan yang signifikan tersebut dibutuhkan UVR. Prinsip dasar UVR adalah bekerja apabila tegangan mencapai titik settingannya, UVR akan bekerja[3].

MiCOM P127 merupakan modul relai proteksi dimana di dalamnya terdapat beberapa macam relai proteksi yang sering digunakan pada sistem tenaga listrik. Diantaranya relai proteksi *under/over voltage, under/over frequency, 3 phase overcurrent, earth overcurrent, autoreclose, restricted earth fault*, dll.



Gambar 1. Relai Proteksi MiCOM P127
(Sumber: Schneider. 2011)

D. Autoreclose

Penutup balik otomatis (*autoreclose*) Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT) merupakan salah satu bagian sistem yang paling sering mengalami gangguan, sebagian besar dari penyebab gangguan tersebut bersifat temporer yang akan segera hilang setelah Pemutus Tenaga (PMT) trip[4]. Agar kesinambungan pasokan tenaga listrik tetap terjaga serta batas stabilitas tetap terpelihara maka PMT dicoba masuk kembali sesaat setelah kejadian trip diatas (*reclose*). Untuk mengurangi dampak gangguan yang bersifat temporer terhadap keandalan pasokan tenaga listrik, maka pada SUTT dipasang penutup balik otomatis (*autoreclose*).

Pola *autoreclose* tiga fasa tidak boleh diterapkan kecuali jika beban trafo dilepas terlebih dahulu untuk menghindari *energize* trafo pada saat berbeban[5].

Ketika sebuah transformator diberi tegangan (*energized*) pada kondisi tanpa beban (*no-load*), arus dengan jumlah yang sangat besar yang nilainya bisa mencapai 3 - 60 kali dari rating arus transformator akan mengalir ketika sebuah transformator tersebut di-*on* kan, sehingga dapat mengaktifkan (*trigger*) proteksi untuk meng-*off*-kan (*trip*) transformator. Aktifnya proteksi untuk meng-*off*-kan transformator tersebut merupakan sebuah "*Mal-Trip*" karena bukanlah *trip* yang kita inginkan ketika kita melakukan penyettingan parameter proteksi untuk keamanan operasional transformator tersebut[6].

E. Daya Transformator

Daya transformator tiga fasa tentu tidak lepas dari segitiga daya. Segitiga daya adalah segitiga yang menggambarkan hubungan matematika antara tipe-tipe daya yang berbeda berdasarkan prinsip trigonometri.

a. Daya Aktif (*Active Power*)

Daya aktif adalah daya yang terpakai untuk melakukan energi sebenarnya. Satuan daya aktif adalah watt. Daya ini merupakan pembentukan besar tegangan yang kemudian dikalikan dengan besar arus dan faktor dayanya.

b. Daya Reaktif (*Reactive Power*)

Daya reaktif adalah jumlah daya yang diperlukan untuk pembentukan medan magnet. Dari pembentukan medan magnet maka akan terbentuk fluks medan magnet. Contoh daya yang menimbulkan daya reaktif adalah transformator, motor, lampu pijar dan lain – lain. Satuan daya reaktif adalah VAR. Daya reaktif merupakan selisih antara daya semu yang masuk pada penghantar dengan daya aktif pada penghantar itu sendiri, dimana daya ini terpakai untuk daya mekanik dan panas.

c. Daya Semu (*Apparent Power*)

Daya semu merupakan daya listrik yang melalui suatu penghantar transmisi atau distribusi, Daya ini merupakan hasil perkalian antara tegangan dan arus yang melalui penghantar[7]. Adapun rumus daya semu sebagai berikut:

Untuk 1 fasa,

$$S = V.I \quad (1)$$

Untuk 3 fasa,

$$S = \sqrt{3}.V.I \quad (2)$$

Dimana:

S = Daya semu (VA)

V = Tegangan (Volt)

I = Arus (Ampere)

F. Capacitive Voltage Transformer (CVT)

Capacitive Voltage Transformer (CVT) digunakan untuk instrumentasi, khususnya pada peralatan-peralatan meter dan proteksi. Pada umumnya kinerja CVT sangat baik pada kondisi steady state. Prinsip kerja CVT adalah menurunkan besaran tegangan primer menjadibesaran tegangan sekunder melalui kapasitor yang berfungsi sebagai pembagitegangan (*voltage divider*) dan trafo tegangan sebagai penurun tegangan. Keluaran tegangan sekunder dirancang seakurat mungkin sama dengan perbandingan rasio tegangan masukan disisi primer dalam segala kondisi operasi[8].

Adapun persamaan umum yang digunakan dalam menghitung ratio potential transformer yaitu:

$$a = \frac{E_1}{E_2} \quad (3)$$

Dimana:

a = Rasio perbandingan VT

E1 = Nilai Tegangan Primer (V)

E2 = Nilai Tegangan Sekunder (V)

G. Perhitungan Nilai Ekonomis

Dalam konteks analisis keandalan suatu sistem distribusi 20 kV, *value analysis* berbanding lurus dengan

perhitungan aspek ekonomis suatu indeks keandalan. Perhitungan aspek ekonomi keandalan bergantung pada besar daya listrik yang disalurkan waktu pemadaman dari tiap-tiap titik beban dan tarif dasar listrik yang berlaku.

Dalam perhitungan analisis nilai ekonomis terdapat beberapa persamaan yang berkaitan dengan perhitungan aspek ekonomis. Adapun persamaan yang digunakan dalam menghitung aspek ekonomi pada sistem, yaitu:[9]

a. Non Delivery Energy (NDE)

$$NDE = P_C \times t_{CA} \quad (4)$$

Dimana:

NDE = Total energi tidak tersalurkan dalam durasi waktu tertentu (kWh)

PC = Jumlah total energi yang tidak tersalurkan (kW)

TCA = Durasi waktu pemadaman (hour)

b. Biaya Kerugian

$$Biaya\ Kerugian = NDE \times TDL \quad (5)$$

Dimana:

NDE = Total energi tidak tersalurkan dalam durasi waktu tertentu (kWh)

TDL = Tarif Daftar Listrik (rupiah)

III. METODE PENELITIAN

Diagram alir prosedur penelitian ditunjukkan oleh Gambar 3.1. Pada *flowchart* dijelaskan alur yang akan dilalui dalam pembuatan tugas akhir ini yang diawali dengan melakukan studi literatur, pengumpulan data, analisis perhitungan nilai ekonomis, perhitungan *setting* UVR, dan melakukan simulasi pada *software* ETAP serta diakhiri dengan menarik kesimpulan.

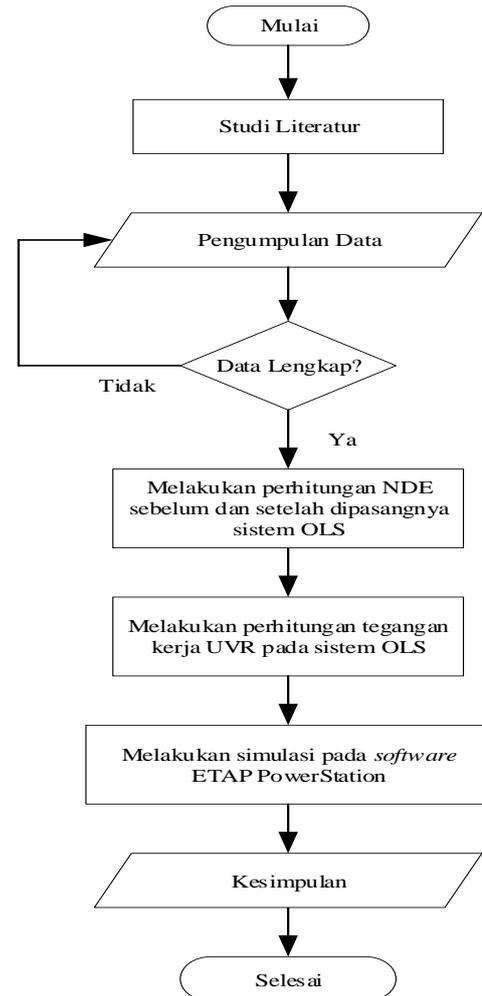
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil

GI Mandai merupakan salah satu penyuplai tenaga listrik yang beroperasi di wilayah Maros – Sulawesi Selatan. GI Mandai memiliki dua buah transformator tenaga dengan masing-masing kapasitas 20 MVA. Pada skripsi ini, penelitian difokuskan pada sistem pelepasan beban penyulang pada transformator tenaga I saat terjadi gangguan pada saluran transmisi Pangkep 1 dimana sistem OLS berpengaruh terhadap keandalan GI Mandai ketika terjadi gangguan. Adapun data yang diambil pada PT. PLN (Persero) adalah data beban transformator I, *single line diagram* GI Mandai, data peralatan *switching*, data penghantar dan panjang saluran transmisi, data durasi padam, dan data lainnya.

a. Data Beban Penyulang Transformator I GI Mandai

Data beban pada tiap *feeder* (penyulang) yang digunakan pada penelitian ini diambil pada rata-rata Waktu Beban Puncak (WBP) siang. Data tersebut dapat dilihat pada Tabel 1.



Gambar 3.1. Flowchart Prosedur Penelitian

Tabel 1. Data Beban Penyulang pada Transformator I

No.	Nama Penyulang	Beban (A)
1	Gombara	117,71
2	Palisi	108,77
3	AURI	59,94
4	Bandara	29,45

b. Data Tarif Dasar Listrik (TDL) PT. PLN (Persero)
Berikut merupakan Tarif Dasar Listrik (TDL) PT. PLN (Persero) periode bulan Oktober 2020 – Maret 2021 untuk pelanggan non-subsidi Tegangan Rendah (TR). Tarif Dasar Listrik (TDL) tersebut dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. TDL periode Oktober 2020 – Maret 2021

No.	Golongan	Daya (VA)	Harga per kWh
1	R-1 / Tegangan Rendah	900	1.352,00
2	R-1 / Tegangan Rendah	1300	1.444,70
3	R-1 / Tegangan Rendah	2200	1.444,70
4	R-2 / Tegangan Rendah	3500 - 5500	1.444,70
5	R-3 / Tegangan Rendah	6600 ke atas	1.444,70

c. Data Setting Under Voltage Relay (UVR)

Pada saat terjadi gangguan pada saluran transmisi Pangkep 1 – Mandai, maka busbar pada GI Mandai akan mengalami *drop voltage* sehingga dipasang UVR sebagai proteksi *drop voltage* pada sistem OLS. Adapun data dari UVR dapat dilihat pada Tabel.3.

Tabel 3. Data Teknis dan Spesifikasi UVR

Data Setting UVR	Keterangan
Merk	Micom P127
Mode	1 & 3 Pole
Operation Mode	AND
Time Operation	0.00 s
Voltage Set UVR	45.0 V

d. Data Durasi Pemadaman Transformator I GI Mandai.

- Sebelum dipasang sistem OLS

Berikut data gangguan yang terjadi pada *line* transmisi Pangkep1 - Mandai pada hari Rabu, 25 November 2020 yang mengakibatkan Transformator I GI Mandai kehilangan suplai tenaga dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Data Durasi Pemadaman Sebelum Dipasang Sistem OLS.

Waktu Pemadaman	Waktu Penormalan	Durasi Pemadaman
08.25 AM	11.52 AM	27 menit

- Setelah dipasang sistem OLS

Berikut data gangguan yang terjadi pada *line* transmisi Pangkep1 - Mandai pada hari Kamis, 18 Februari 2021 yang mengakibatkan Transformator I GI Mandai kehilangan suplai tenaga dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Data Durasi Pemadaman Setelah Dipasang Sistem OLS.

Waktu Pemadaman	Waktu Penormalan	Durasi Pemadaman
11.08 AM	11.10 AM	2 menit

B. Pembahasan

Tahapan pada pembahasan penelitian dimulai dengan menghitung nilai ekonomis sebelum dan sesudah pemasangan sistem *On Load Shedding* (OLS) dengan berdasarkan data durasi pemadaman dan data daya tak tersalurkan saat terjadi gangguan temporer di saluran transmisi Pangkep 1 – Mandai yang berdampak pada Gardu Induk Mandai kemudian menghitung nilai setting dan karakteristik kerja *Under Voltage Relay* (UVR) pada sistem OLS di Gardu Induk Mandai lalu dilanjutkan dengan membuat dan melakukan simulasi *load flow* dan *protective device coordination* pada *software* ETAP v12.6.0.

a. Analisis Perhitungan Nilai Ekonomis

Analisis perhitungan nilai ekonomis GI Mandai dimulai dengan menghitung beban dan energi tak tersalurkan tiap *feeder* (penyulang) pada transformator tenaga I. Kemudian menghitung total kerugian nilai ekonomis selama pemadaman saat terjadi gangguan di GI Mandai.

1. Perhitungan Daya Beban pada Transformator I

Perhitungan ini dilakukan berdasarkan data pada Tabel 1 dimana beban yang diketahui adalah beban *feeder* dalam satuan *Ampere* (A) sehingga dari persamaan 2, dapat dihitung daya beban pada transformator sebagai berikut:

- Daya beban pada *feeder* Gombara.

$$P_{Gombara} = \sqrt{3} \times kV \times I \times \cos\phi$$

$$= \sqrt{3} \times 20 \text{ kV} \times 117,71 \text{ A} \times 0,85$$

$$= 3465,95 \text{ kW}$$

- Daya beban pada *feeder* Palisi.

$$P_{Palisi} = \sqrt{3} \times kV \times I \times \cos\phi$$

$$= \sqrt{3} \times 20 \text{ kV} \times 108,77 \text{ A} \times 0,85$$

$$= 3202,72 \text{ kW}$$

- Daya beban pada *feeder* AURI.

$$P_{AURI} = \sqrt{3} \times kV \times I \times \cos\phi$$

$$= \sqrt{3} \times 20 \text{ kV} \times 59,94 \text{ A} \times 0,85$$

$$= 1764,93 \text{ kW}$$

- Daya beban pada *feeder* Bandara.

$$P_{Bandara} = \sqrt{3} \times kV \times I \times \cos\phi$$

$$= \sqrt{3} \times 20 \text{ kV} \times 29,45 \text{ A} \times 0,85$$

$$= 867,15 \text{ kW}$$

Sehingga daya beban total pada Transformator Tenaga I GI Mandai.

$$P_{Total} = P_{Gombara} + P_{Palisi} + P_{AURI} + P_{Bandara}$$

$$= 3465,95 + 3202,72 + 1764,93 + 867,15$$

$$= 9300,75 \text{ kW}$$

2. Perhitungan *Non Delivery Energy* (NDE) saat Gangguan di GI Mandai.

Perhitungan ini dilakukan berdasarkan perhitungan daya beban transformator tenaga I dan data pada Tabel 4 dan Tabel 5 dimana diketahui durasi waktu pemadaman saat terjadi gangguan sebelum dan setelah dipasangnya sistem *On Load Shedding* (OLS) pada GI Mandai. Sehingga dari persamaan 4, dapat dihitung daya tidak tersalurkan sebagai berikut:

- Perhitungan *Non Delivery Energy* (NDE) sebelum dipasang sistem OLS.

$$NDE = P_{Total} \times t_{CA}$$

$$= 9300,75 \text{ kW} \times \frac{27}{60} \text{ hour}$$

$$= 4185,34 \text{ kWh}$$

- Perhitungan *Non Delivery Energy* (NDE) setelah dipasang sistem OLS.

$$NDE = P_{Total} \times t_{CA}$$

$$= 9300,75 \text{ kW} \times \frac{2}{60} \text{ hour}$$

$$= 310,03 \text{ kWh}$$

Dari hasil perhitungan *Non Delivery Energy* (NDE) diatas sebelum adanya sistem OLS, jumlah daya yang tidak tersalurkan saat terjadi gangguan pada saluran transmisi sebesar 4185,34 kWh dalam durasi pemadaman selama 27 menit dan setelah dipasang sistem OLS, jumlah daya yang tidak tersalurkan saat terjadi gangguan menjadi 310,03 kWh dalam durasi pemadaman selama 2 menit.

3. Perhitungan Nilai Ekonomis

Perhitungan ini dilakukan berdasarkan perhitungan *Non Delivery Energy* (NDE) dan data pada Tabel 2 dimana ditetapkan Tarif Dasar Listrik (TDL) pada bulan Oktober 2020 – Maret 2021 untuk kelas Tegangan Rendah (TR) oleh PT. PLN (Pesero). Sehingga dari persamaan 5, dapat dihitung nilai ekonomis sebelum dan setelah dipasang sistem OLS sebagai berikut:

- Perhitungan biaya kerugian sebelum dipasang sistem OLS.

$$\begin{aligned} \text{Biaya Kerugian} &= \text{NDE} \times \text{TDL} \\ &= 4185,34 \text{ kWh} \times \text{Rp. } 1444,70 \\ &= \text{Rp. } 6.046.560,70 \end{aligned}$$

- Perhitungan biaya kerugian setelah dipasang sistem OLS.

$$\begin{aligned} \text{Biaya Kerugian} &= \text{NDE} \times \text{TDL} \\ &= 310,03 \text{ kWh} \times \text{Rp. } 1444,70 \\ &= \text{Rp. } 447.900,34 \end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan nilai kerugian diatas sebelum adanya sistem OLS, nilai kerugian sebesar + Rp. 6.046.560,70 dalam durasi pemadaman selama 27 menit dan setelah dipasang sistem OLS, nilai kerugian menjadi + Rp. 447.900,34 dalam durasi pemadaman selama 2 menit.

b. Analisis Perhitungan *setting Under Voltage Relay* (UVR) pada GI Mandai.

Perhitungan ini dilakukan berdasarkan data pada Tabel 3 dimana diketahui nilai setting *Under Voltage Relay* (UVR) pada sistem OLS. Sehingga dari persamaan 3, dapat dihitung tegangan kerja UVR pada sistem OLS di GI Mandai sebagai berikut:

Diketahui,

$$\text{Ratio VT} = \frac{70.000}{110} \text{V}$$

$$\text{Voltage set UVR} = 45\text{V}$$

Berdasarkan persamaan 3,

$$\begin{aligned} a = \frac{E_1}{E_2} \text{ maka, } E_1 &= a \times E_2 \\ &= \frac{70.000}{110} \text{V} \times 45\text{V} \\ &= 28.636 \text{V} \end{aligned}$$

Dari perhitungan diatas maka UVR bekerja saat tegangan pada busbar sebesar 28,6 kV. Dapat dilihat pada Tabel 3 dimana pengaturan *time operation* pada UVR

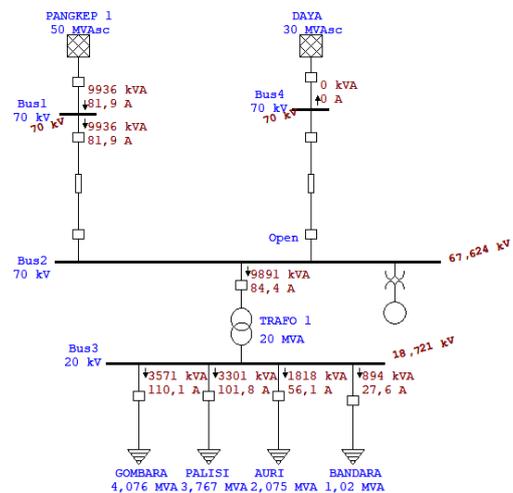
sebesar 0,00 second, yang berarti UVR bekerja dengan karakteristik *Instantaneous moment* atau waktu seketika tanpa waktu tunda.

c. Simulasi *Load Flow* dan *Protective Device Coordination* pada software ETAP v12.6.0.

Dalam melakukan simulasi pada software ETAP v12.6.0 dilakukan dengan dua kondisi, yakni kondisi normal dan kondisi saat terjadi gangguan.

1. Simulasi *load flow* kondisi normal pada software ETAP v12.6.0.

Simulasi *load flow* ini digunakan untuk mengetahui nilai tegangan pada busbar 70 kV pada GI Mandai pada kondisi normal ketika tidak terjadi gangguan pada saluran transmisi Pangkep 1 – Mandai. Berikut simulasi *load flow* Transformator Tenaga I GI Mandai kondisi normal pada software ETAP v12.6.0 dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Simulasi *load flow* Trafo I GI Mandai pada ETAP

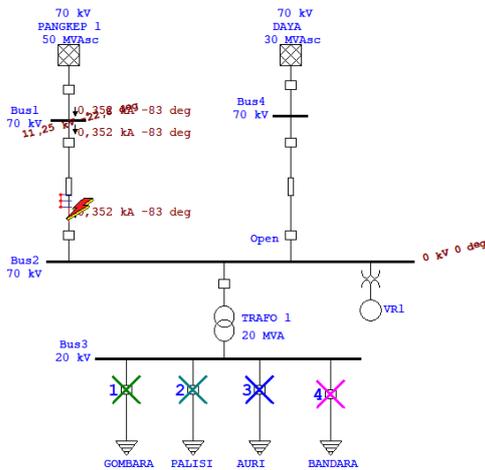
Dapat dilihat pada gambar 2 simulasi *load flow* kondisi normal ketika tidak ada gangguan tegangan pada busbar 70 kV GI Mandai sebesar 67,624 kV. Tegangan mengalami penurunan sebesar 2,4kV akibat adanya rugi-rugi tegangan pada saluran transmisi Pangkep1 – Mandai sepanjang 39,7 km.

2. Simulasi *protective device coordination* kondisi gangguan pada software ETAP v12.6.0.

Simulasi *protective device coordination* ini digunakan untuk mengetahui kerja proteksi UVR pada sistem OLS ketika diberikan simulasi gangguan 3 fasa pada saluran transmisi Pangkep 1 – Mandai dimana busbar 70 kV GI Mandai kehilangan tegangan. Berikut simulasi *protective device coordination* GI Mandai kondisi gangguan dapat dilihat pada Gambar 3.

Dapat dilihat pada gambar 3 simulasi *protective device coordination* GI Mandai pada ETAP ketika diberi gangguan tiga fasa pada saluran transmisi

Pangkep1 – Mandai maka PMT pada feeder (penyulang) Gombara, Palisi, AURI, dan Bandara akan mengalami trip sehingga Transformator I GI Mandai dalam keadaan tidak berbeban.



Gambar 3. Simulasi *rotective device coordination* Trafo I GI Mandai pada ETAP

Hal ini sesuai dengan syarat PLN dimana pola *autoreclose* tiga fasa tidak boleh diterapkan kecuali jika beban trafo dilepas terlebih dahulu untuk menghindari *energize* trafo pada saat berbeban.

Sequence-of-Operation Events - Output Report: Gangguan Petir

3-Phase (Symmetrical) fault on connector between CB3 & Line Pangkep 1 - Mandai. Adjacent bus: Bus2

Data Rev.: Base Config: Normal Date: 14-07-2021

Time (ms)	ID	If (kA)	T1 (ms)	T2 (ms)	Condition
2,0	VR1	2,0	2,0		Undervoltage - 27
2,0	VR1	2,0	2,0		Undervoltage - 27
2,0	VR1	2,0	2,0		Undervoltage - 27
2,0	VR1	2,0	2,0		Undervoltage - 27
62,0	CB5	60,0			Tripped by VR1 Undervoltage - 27
62,0	CB6	60,0			Tripped by VR1 Undervoltage - 27
62,0	CB7	60,0			Tripped by VR1 Undervoltage - 27
62,0	CB8	60,0			Tripped by VR1 Undervoltage - 27

Gambar 4. *Sequence of Operation Event* UVR pada ETAP

Pada gambar 4 di atas diketahui bahwa PMT Gombara, Palisi, AURI, dan Bandara mengalami *trip* oleh *Under Voltage Relay* (UVR) yang membaca tegangan pada busbar 70 kV GI Mandai yang mengalami kehilangan tegangan.

V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan dalam skripsi ini, maka dapat diambil kesimpulan bahwa :

1. Dengan adanya pemasangan sistem *On Load Shedding* (OLS) pada sisi sekunder transformator tenaga I GI Mandai, dari hasil perhitungan nilai kerugian sebelum adanya sistem OLS sebesar + Rp. 6.046.560,70 dalam durasi pemadaman selama 27 menit dan setelah dipasang sistem OLS nilai kerugian dapat ditekan menjadi + Rp. 447.900,34 dalam durasi pemadaman selama 2 menit.

2. Dari hasil penelitian diketahui bahwa *Under Voltage Relay* (UVR) pada sistem *On Load Shedding* (OLS) bekerja dengan karakteristik *Instantaneous moment* atau waktu seketika tanpa waktu tunda dan dari hasil perhitungan, UVR bekerja pada tegangan 28,6 kV atau 45% dari tegangan nominal 70 kV.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih penulis sampaikan kepada semua pihak yang telah ikut membantu kelancaran penulisan jurnal ini.

REFERENSI

- [1] I. Roza, "Analisa Pembangkit Pengatur Tegangan Pada Penyulang 20 kV (Aplikasi Gardu Induk PT.PLN (Persero) Sei Rotan)," *RELE (Rekayasa Elektr. dan Energi) J. Tek. Elektro*, vol. 1, no. 1, pp. 21–30, 2018, doi: 10.30596/rele.v1i1.2258.
- [2] I. Kartika Febrianti, "Analisa Penurunan Faktor Kerja Tranformator Daya 30 Mva," *J. Chem. Inf. Model.*, vol. 2, no. 9, pp. 1689–1699, 2017.
- [3] "Materi Dasar – Dasar Sistem Proteksi Tegangan Tinggi PT PLN (Persero) PUSDIKLAT;" 2009.
- [4] Trionovendri, Edo, Cahayahati, Ija Darmana, "Evaluasi Kerja Auto Reclose Relay Terhadap PMT Aplikasi Auto Reclose Relay Pada Transmisi 150 Kv Maninjau – Padang Luar ," no. 1.
- [5] O. D. A. N. Pemeliharaan and G. Induk, "MATERI WORKSHOP GARDU INDUK PT PLN (Persero) PUSDIKLAT;" 2009.
- [6] T. A. Ramanel, "Ferroresonansi & Inrush Current."
- [7] A. Setiawan, and A. Priatama, "Analisa Rugi-Rugi Daya Pada Transmisi Tegangan Tinggi 150 kV di PLN Sungguminasa" pp. 7–40, 2021.
- [8] Muhijrah, and A.Muis, "Analisis Gangguan CVT Line Sidrap 2 di PT. PLN(Persero) Gardu Induk Maros 150 kV" *Angew. Chemie Int. Ed. 6(11)*, 951–952., vol. 7, no. 1, p. 283, 2020,.
- [9] M. Preditama, Fery, Utomo, Teguh, Shidiq, "Analisis Keandalan Dan Nilai Ekonomis Di Penyulang Pujon PT. PLN (Persero) Area Malang," Pp. 1–8.