

ANALISA PENGGUNAAN RECLOSER 3 PHASA 20 KV PENYULANG PAJALAU UNTUK PENGAMAN ARUS LEBIH PT. PLN (PERSERO) ULP KALEBAJENG

Mukti Ari Bayu¹, Nurhidayat Arif², Suryani³, Hafsa Nirwana⁴

¹²³⁴Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Makassar

e-mail: muktiaribayu1998@gmail.com¹, nurhidayatarif2406@gmail.com², suryanibasri@unismuh.ac.id³, hafsahnirwana@gmail.com⁴

Abstract—Mukti Ari Bayu and Nurhidayat Arif, (2023). One of the feeders that PT.PLN (Persero) ULP Kalebajeng ensures its reliability is the Pajalau feeder. However, achieving the desired level of reliability is challenging, considering that overcurrent protection equipment is only available at the Pajalau feeder cubicle. Consequently, when a disturbance occurs in the network, all customers on the Pajalau feeder experience power outages. Therefore, it is necessary to have protection settings that can coordinate the recloser with the Pajalau feeder. This research was conducted to calculate the protection settings that will be applied to the recloser to enable coordination with the Pajalau feeder. The data required for this study includes transformer data using the Pauwels Trafo brand with a capacity of 60 MVA, a voltage of 150/20 kV with vector group YNyn0-d, 3-phase and 1-phase short-circuit data, feeder protection setting data, and conductor data on the network with a cross-sectional area of 240. The calculations involve 3-phase and 1-phase short-circuit currents in each section, setting OCR, GFR, TMS OCR, TMS GFR, and instant high-set recloser. Furthermore, to test the calculation results, fault simulations are performed using the ETAP application. In the ETAP application, 3-phase and 1-phase short-circuit simulations, protection equipment's sequence of operation simulations in the network, and relay protection response time simulations for the occurring short-circuit faults are conducted. The ETAP application simulations demonstrate that the calculated protection setting on the recloser can coordinate effectively with the Pajalau feeder.

Abstrak—Mukti Ari Bayu dan Nurhidayat Arif, (2023) Salah satu penyulang yang dijaga keandalannya oleh PT PLN (Persero) ULP Kalebajeng adalah penyulang pajalau. Namun, untuk mencapai tingkat keandalan yang diinginkan cukup sulit mengingat peralatan proteksi arus lebih hanya berada dikubikel penyulang. Akibatnya, saat terjadi gangguan di jaringan, seluruh pelanggan pada penyulang pajalau akan mengalami pemadaman listrik. sehingga diperlukan *setting* proteksi yang mampu mengkoordinasikan *recloser* dengan penyulang Pajalau. Penelitian ini dilakukan untuk menghitung *setting* proteksi yang akan diterapkan di *recloser* agar mampu berkoordinasi dengan penyulang pajalau. Untuk data yang diperlukan dalam penelitian ini meliputi data trafo yang menggunakan merek Pauwels Trafo dengan daya 60 MVA bertegangan 150/20 kV dengan vektor grup YNyn0-d, data hubung singkat 3 fasa dan 1 fasa, data *setting* proteksi penyulang, data konduktor pada jaringan dengan luas penampang 240. Perhitungan tersebut mencakup arus hubung singkat 3 fasa dan 1 fasa di setiap *section*, *setting* OCR, GFR, TMS OCR, TMS GFR dan *instant highset recloser*. Selanjutnya untuk

menguji hasil perhitungan tersebut dilakukan simulasi gangguan menggunakan aplikasi ETAP. Pada aplikasi ETAP dilakukan simulasi hubung singkat 3 fasa dan 1 fasa, simulasi urutan kerja peralatan proteksi jaringan serta simulasi waktu kerja relai proteksi terhadap gangguan hubung singkat yang terjadi. Simulasi aplikasi ETAP menunjukkan bahwa hasil perhitungan *setting* proteksi pada *recloser* mampu berkoordinasi dengan penyulang Pajalau.

Kata Kunci— Keandalan jaringan, arus hubung singkat, ETAP, koordinasi proteksi, penyulang pajalau.

I. PENDAHULUAN

Pengamanan sistem distribusi tenaga listrik adalah komponen penting dalam penyediaan pelayanan yang handal. Salah satu instrumen yang digunakan dalam pengamanan sistem distribusi listrik pada tegangan 20 kV adalah Recloser, yang berperan sebagai perangkat otomatis untuk mengatasi gangguan sementara. Fungsinya adalah untuk mengantisipasi gangguan jangka pendek sehingga pemadaman listrik dapat dihindari. Dengan demikian, dampak pemadaman tidak akan merambat luas, dan aliran listrik dapat tetap terjaga dengan lancar.[1]

Dalam operasinya, recloser memerlukan dukungan dari berbagai peralatan proteksi, salah satunya adalah relay arus lebih. Fungsi utama relay arus lebih adalah mendeteksi gangguan yang mungkin terjadi, sehingga dapat memberi perintah kepada recloser untuk melakukan pemutusan sirkuit. Pentingnya koordinasi antara recloser dan relay arus lebih tidak dapat diabaikan, karena ini memastikan kinerja yang optimal dan menjaga keamanan proteksi dalam jaringan distribusi. Dengan demikian, interaksi yang baik antara keduanya akan memastikan kelancaran operasi serta perlindungan yang efektif bagi jaringan distribus.[2] Sebagaimana dalam memenuhi kebutuhan listrik yang terus meningkat PT. PLN (Persero) harus dapat memastikan semua ULP dapat mencapai target yang diinginkan. Untuk mencapai target tersebut, ULP harus memastikan bahwasannya keandalan sebuah alat pengaman harus bekerja dengan baik salah satunya ialah recloser.

Pada ULP KALEBAJENG terdiri dari beberapa penyulang salah satunya penyulang Pajalau. Dimana pada penyulang Pajalau 20 kV keandalan recloser sangat dibutuhkan demi

kinerja penyaluran listrik yang optimal, untuk mencapai semua itu ULP Kalebajeng menggunakan aplikasi ETAP sebagai alat untuk merancang, dan menganalisa sebuah jaringan.

Oleh karena itu, berdasarkan informasi tersebut, penulis berusaha membuat karya ilmiah dengan judul “ANALISA PENGGUNAAN RECLOSER 3 PHASA 20 KV PENYULANG PAJALAU UNTUK PENGAMAN ARUS LEBIH PT. PLN (PERSERO) ULP KALEBAJENG”

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Sistem Proteksi Jaringan Distribusi

Sistem jaringan distribusi merupakan elemen tak terpisahkan dari infrastruktur sistem tenaga listrik. Sistem distribusi berperan sebagai bagian subsistem terdekat dengan pelanggan, bertugas mengarahkan aliran tenaga listrik dari sumber daya listrik besar (Sumber Daya Tenaga Besar) hingga ke konsumen akhir. Jaringan distribusi pada rentang tegangan menengah biasanya memiliki tegangan antara 3 kV hingga 20 kV. Saat ini, PLN fokus mengembangkan jaringan distribusi dengan tegangan menengah di kisaran 20 kV. Infrastruktur jaringan distribusi ini sebagian besar terdiri dari saluran udara tegangan menengah dan jaringan kabel bawah tanah.[3]

Dengan sistem proteksi yang andal, peralatan dapat terhindar dari dampak gangguan hubung singkat, serta mampu mengisolasi bagian yang terdampak gangguan dalam sistem. Ini memungkinkan bagian yang tidak terpengaruh dapat beroperasi dengan normal[4]. Untuk efisiensi yang lebih tinggi, solusi otomatis seperti penggunaan recloser digunakan. Recloser berfungsi untuk menutup secara otomatis jika gangguan bersifat sementara. Namun, penempatan recloser harus dipilih dengan hati-hati, karena lokasinya memiliki dampak besar pada kehandalan penyulang. Oleh karena itu, diperlukan optimasi yang cermat untuk mencapai tingkat keandalan maksimal dalam sistem distribusi.[5]

Penggunaan recloser memiliki dampak signifikan terhadap peningkatan indeks keandalan dan faktor ekonomi dalam jaringan sistem distribusi. Hal ini disebabkan oleh kemampuan recloser dalam mengurangi durasi gangguan dengan cara mempercepat penanganannya. Recloser dapat beroperasi secara otomatis dan bisa diatur untuk melakukan beberapa kali tindakan pengamanan saat terjadi gangguan.[5]

B. Gangguan Arus Lebih

Berdasarkan Puil 2011, “Arus hubung singkat adalah arus lebih yang di akibatkan oleh gangguan Impedansi yan sangat kecil mendekati nol antara dua penghantar aktif dalam kondisi operasional normal berbeda potensial”. [6]

1. Gangguan hubung singkat tiga fasa

$$I_{3fasa} = \frac{V_a}{Z_1 + Z_f} \quad (1)$$

Keterangan :

V_a = Tegangan hubung singkat

Z_1 = Impedansi trafo, penyulang, dan sumber

Z_f = Impedansi penyebab gangguan

2. Gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah

$$I_{1fasa-netral} = \frac{E_{fasa} \times 3}{Z_1 + Z_2 + Z_0 + 3Z_n + 3Z_f} \quad (2)$$

Sebelum menghitung arus hubung singkat, langkah pertama adalah memulai perhitungannya dari rel daya tegangan primer yang terdapat di gardu induk. Ini berlaku untuk berbagai jenis gangguan. Setelah itu, perhitungan dilakukan pada titik-titik lain yang semakin menjauh dari gardu induk. Dalam proses ini, perhitungan impedansi sumber, impedansi transformator, dan impedansi penyulang menjadi faktor penting yang harus diperhitungkan.[3]

• Impedansi Sumber

$$X_s = \frac{kV^2}{kV1 \cdot kA \cdot \sqrt{3}} \quad (3)$$

Keterangan :

X_s = Impedansi Sumber sisi 20 kV (Ω)

kV2 = Tegangan Sisi sekunder (kV)

kV1 = Tegangan Sisi Primer (kV)

kA = Data hubung singkat sisi tegangan tinggi 150

kV (kA)

• Impedansi Transformator Tipe YNyn

$$X_{T0} = \% \frac{kV^2}{MVA} \quad (4)$$

Keterangan :

X_T = Reaktansi trafo tenaga (Ω)

kV = Tegangan sisi sekunder 20 kV (kV)

MVA = Kapasitas daya trafo tenaga (MVA)

• Impedansi Penyulang

Urutan positif dan negatif menggunakan rumus :

$$Z = (R + jX)\text{Ohm.KM} \quad (5)$$

C. Recloser

Recloser adalah susunan komponen listrik yang terdiri dari pemutus tenaga yang dilengkapi dengan kotak kontrol elektronik (*Elektronik Control Box*). Kotak kontrol elektronik ini merupakan perangkat elektronik yang menjadi bagian dari recloser. Perangkat ini berfungsi sebagai pengendali recloser dan tidak memiliki koneksi dengan tegangan menengah. Pada perangkat ini, recloser dapat diatur untuk melepaskan sirkuit dengan cara yang diatur. Pengaturan (*setting*) recloser dapat ditentukan melalui kotak kontrol ini.[7]

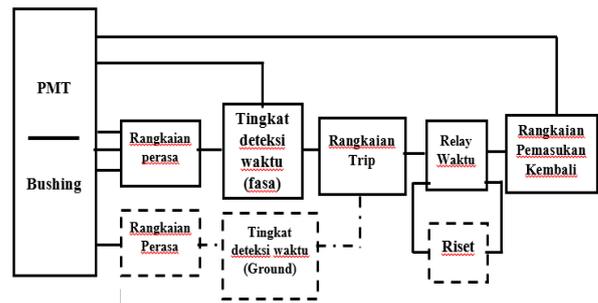


Gbr. 1 Recloser Penyalang Pajalau

Peralatan perlindungan ini beroperasi secara otomatis untuk melindungi sistem dari arus berlebih yang timbul akibat gangguan hubung singkat. Cara kerjanya melibatkan pengaturan untuk penutupan dan pembukaan otomatis dengan pengaturan interval waktu tertentu. Dalam situasi gangguan sementara, recloser tidak akan tetap terbuka (*lock out*), melainkan tetap berfungsi untuk mengatasi masalah tersebut.[7]

D. Prinsip Kerja Recloser

Untuk prinsip kerja recloser sebagai berikut :



Gbr.2 Blok Diagram Recloser

Ketika recloser dipasang dalam jaringan, arus jaringan akan diambil oleh tiga busung yang berada pada posisi beban, dan kemudian dikirim ke rangkaian perangkat yang terus memonitor arus beban. Jika arus yang mengalir melebihi pengaturan yang telah ditetapkan, mekanisme pendeteksian waktu akan beraktivitas. Ini akan mengirimkan sinyal ke rangkaian trip, dan dari sini akan dikeluarkan perintah untuk melakukan trip pada peralatan proteksi. Setelah recloser melakukan trip, relay waktu akan mulai beroperasi sesuai dengan urutan waktu yang telah ditentukan, biasanya selama 5 detik setelah trip awal. Setelah periode tersebut berlalu, relay waktu akan mengirimkan sinyal ke rangkaian untuk mengaktifkan kembali suplai listrik, yang selanjutnya Ketika recloser dipasang dalam jaringan, arus jaringan akan diteruskan ke tiga busung pada posisi beban. Informasi ini kemudian diteruskan ke rangkaian pemantau arus yang beroperasi terus-menerus. Jika arus melampaui ambang batas yang telah ditetapkan, mekanisme waktu akan teraktifkan. Ini akan mengirimkan sinyal ke rangkaian trip, yang pada gilirannya memerintahkan recloser untuk melepas aliran listrik (trip). Relay waktu akan mulai menghitung selama 10 detik setelah trip awal, dan setelah itu, akan mengirimkan sinyal ke rangkaian pemasukan kembali untuk memerintahkan recloser untuk beroperasi kembali. Jika gangguan masih terdeteksi oleh rangkaian pemantau, recloser akan trip kembali dan relay waktu akan mulai menghitung selama 10 detik lagi[8]. Setelah itu, sinyal akan dikirimkan untuk memerintahkan recloser untuk kembali beroperasi. Namun, jika gangguan tetap ada, recloser akan kembali melakukan trip dan berada dalam kondisi terbuka permanen (*Lock Out*). Ini disebabkan oleh pengaturan pada rangkaian trip yang telah diatur untuk melakukan trip sebanyak tiga kali. Namun, jika gangguan hanya bersifat sementara, setelah recloser kembali dan rangkaian pemantau tidak mendeteksi arus gangguan selama 60 detik, maka mekanisme reset akan aktif. Ini akan mengembalikan seluruh sistem ke kondisi semula sebelum terjadi gangguan.[9]

E. Perhitungan Koordinasi Sistem proteksi

Dalam melakukan penyesuaian pengaturan proteksi, terutama dalam sistem distribusi tenaga listrik, terdapat dua faktor yang harus dipertimbangkan, yaitu faktor arus dan faktor waktu. Penyesuaian faktor arus menetapkan batas maksimum suatu arus agar tetap dianggap sebagai beban yang normal. Sementara itu, penyesuaian faktor waktu menentukan batas waktu yang ditetapkan agar proteksi dapat merespons dan bertindak dengan tepat.[10]

a). Setelan Arus

Dalam menentukan setelan arus ada dua hal yang harus ditentukan yaitu setelan arus OCR dan arus GFR. Setelan arus OCR ini menunjukkan batas minimum arus pada masing-masing fasa agar dianggap sebagai arus gangguan. Sedangkan setelan GFR menunjukkan batas minimum arus pada netral agar dianggap sebagai arus gangguan. Penentuan nilai arus OCR mengikuti british standar dengan relai invers yang diatur 1,05 s/d 1,3 kali arus beban. Pada penentuan setelan GFR dapat diambil dari 50% Ifault satu fasa ketanah pada ujung jaringan apabila terjadi gangguan pohon dengan nilai tahanan pohon 52Ω . [11]

b). Setelan waktu dan karakteristik waktu

Pada karakteristik waktu terbalik selain nilai arus, jenis kurva juga mempengaruhi tunda waktu kerja trip coil. Beberapa jenis kurva yang umum digunakan adalah kurva Standard Inverse, *Very Inverse*, *Extremely Inverse*, dan *Long Inverse*. Pemilihan jenis kurva yang digunakan tidak terdapat aturan baku yang mengatur, namun sangat disarankan dalam satu sistem menggunakan jenis kurva inverse yang sama. Hal ini bertujuan untuk meminimalisir kurva yang saling berpotongan antar peralatan proteksi. Berbagai jenis kurva tersebut akan menghasilkan nilai setelan waktu / *Time Multiple Setting* (TMS) yang berbeda. [11]

Dalam menentukan nilai setelan waktu / TMS berdasarkan karakteristik kurva

inverse dapat ditentukan dengan persamaan berikut:

$$TMS = \frac{t \times \left[\frac{I_{hs}}{I_{SET}} \right]^{\alpha-1}}{\beta} \quad (6)$$

$$t = \frac{TMS \times \beta}{\left[\frac{I_{hs}}{I_{SET}} \right]^{\alpha-1}}$$

Keterangan :

- t = Waktu Kerja Relay
- I_{hs} = Arus Hubung Singkat
- TMS = *Time Multiple Setting*
- I_{SET} = Arus *Setting* Relay
- α, β = Konstanta

Table 1

Nilai konstanta α dan β pada kurva invers

Nama Kurva	α	β
Standard Inverse	0,02	0,14
Very Inverse	1	13,5
Extremely Inverser	2	80
Long Inverse	1	120

Table 2

Beban dan Panjang masing-masing *section*

Titik	Beban (Ampere)	Panjang jaringan (KM)
PMT Pajalau	156	0
Recloser	99	14,62
LBS Pelita	20	19,40
Ujung Jaringan	-	56,592

F. Relay Arus Lebih (OCR)

Pada dasarnya *Over Current Relay* (OCR) adalah salah satu jenis relay proteksi yang bekerja pada saat arus beban melebihi nilai yang telah ditetapkan nilai. Relai arus lebih umumnya memiliki pengali pengaturan arus berkisar antara 50 sampai 200% dengan langkah 25% yaitu disebut sebagai Pengaturan *Steker* (PS). PS untuk setiap relai ditentukan oleh dua parameter; arus gangguan minimum dan arus beban maksimum. Koordinasi relay proteksi ini diatur selama proses perancangan sistem berdasarkan perhitungan arus gangguan. Untuk membersihkan kesalahan dengan benar dalam waktu tertentu, masing-masing relay pelindung harus berkoordinasi relay pelindung lainnya terletak di semua bus yang berdekatan. Koordinasi mereka merupakan faktor penting dari sistem perlindungan desain. Masalah koordinasi relay adalah menentukan urutan operasi rele untuk setiap kemungkinan lokasi gangguan sehingga bagian yang patah diisolasi dengan margin yang cukup dan tanpa penundaan waktu yang berlebihan. Dalam masalah koordinasi dari relay arus lebih,

tujuannya adalah untuk menentukan *Time Setting Multiplier* (TSM) dan *Plug Setting Multiplier* (PSM) masing-masing relay, sehingga waktu operasi keseluruhan relay utama diminimalkan dengan baik. Untuk koordinasi optimal, ini parameter harus memenuhi semua kendala di bawah waktu operasi terpendek. Selain TSM dan PSM, metode optimal, fungsi objektif (fo), jenis jaringan baik jaringan radial maupun interkoneksi, karakteristik relai non linier proporsional untuk TSM dan PSM menjadi aspek penting untuk koordinasi yang optimal. [12]

G. Ground Fault Relay

Gangguan bisa saja terjadi meskipun sudah dilengkapi dengan alat proteksi. Salah satu gangguan yang sering terjadi pada penyulang tegangan menengah adalah ikut tripnya penyulang lain saat adanya gangguan satu fasa ke tanah pada

penyulang yang masih dalam satu busbar, kejadian seperti ini disebut simpatetik trip. Dimana saat kejadian tersebut, arus kapasitif yang dikandung penyulang yang tidak terganggu (penyulang sehat) mengalir menuju titik gangguan dan melalui rele tanah penyulang sehat. Bila setelah rele tanah ini lebih kecil dari besar arus kapasitif yang mengalir, maka rele tanah ini akan bekerja dan mengirim sinyal ke pemutus tenaga untuk trip. Normalnya pemutus tenaga yang membuka harus yang paling dekat gangguan, tidak boleh pemutus tenaga di penyulang sehat yang bekerja, hal ini agar daerah padam dapat diminimalkan. Gangguan satu fasa ke tanah sangat tergantung dari jenis pentanahan dan sistemnya. Gangguan satu fasa ke tanah umumnya bukan merupakan hubung singkat melalui tahanan gangguan, sehingga arus gangguannya menjadi semakin kecil dan tidak bisa terdeteksi oleh Over Current Relay (OCR). Dengan demikian diperlukan relai pengamanan gangguan tanah. Prinsip kerja Ground Fault Relay (GFR) yaitu pada kondisi normal dengan beban seimbang arus – arus fasa Ir, Is, dan It (Ib) sama besar sehingga kawat netral tidak timbul arus dan relai gangguan tanah tidak dialiri arus. Namun bila terjadi ketidakseimbangan arus atau terjadi gangguan hubung singkat fasa ke tanah maka akan timbul arus urutan nol pada kawat netral. Arus urutan nol ini akan mengakibatkan Ground Fault Relay (GFR) bekerja. [13]

H. ETAP 19.0.1

Electrical Transient Analysis Program (ETAP) adalah software yang digunakan untuk menganalisis suatu sistem tenaga listrik. Software ETAP dapat bekerja secara offline (untuk simulasi sistem tenaga listrik) maupun secara online yang bertujuan untuk menganalisis data secara real time (seperti SCADA). Software ETAP sangat bermanfaat dalam perencanaan sistem kelistrikan. Dalam ETAP, terdapat jenis-jenis elemen seperti elemen AC, instrument maupun elemen DC. ETAP ini awalnya dibuat dan dikembangkan untuk meningkatkan kualitas keamanan fasilitas nuklir di Amerika Serikat yang selanjutnya dikembangkan menjadi sistem monitor manajemen energi secara real time, simulasi, kontrol, dan optimasi sistem tenaga. [14]

III. METODE PENELITIAN

A. Metode Penelitian

Penelitian dilaksanakan di wilayah PT. PLN (Persero) ULP Kalebajeng di JL. Pahlawan, No. 4, Limbung, Gowa, Sulawesi Selatan, Perencanaan Pengambilan data penelitian ini berlangsung selama 7 bulan yang dilaksanakan dari bulan Maret-Agustus 2023.

Pada penelitian ini kami menggunakan jenis penelitian deduktif dimana pada penelitian ini banyak mengumpulkan

data yang kemudian akan dimasukkan kedalam rumus yang telah peneliti siapkan demi mendapatkan hasil yang diinginkan.

1. Teknik Pengumpulan Data

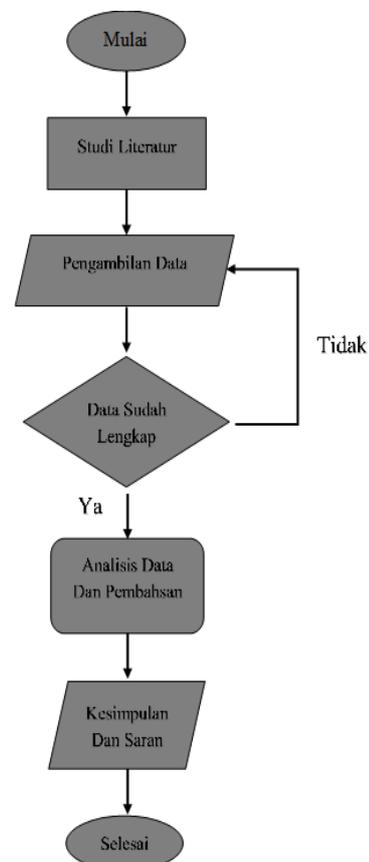
a) Identifikasi Masalah

Langkah pertama dalam melakukan penelitian ini adalah mengetahui masalah yang sering terjadi dalam jaringan tegangan menengah yaitu arus hubung singkat yang dimana proteksi penyulang sangat dibutuhkan agar dapat berkoordinasi dengan recloser, oleh karena itu *setting* recloser sangat dibutuhkan.

b) Metode Kepustakaan

Langkah selanjutnya ialah peneliti menggunakan metode kepustakaan dalam mengumpulkan data-data serta mencari referensi yang berkaitan dengan penelitian recloser 20 kV.

2. Menentukan aplikasi yang akan digunakan yaitu aplikasi ETAP 19.0.1 untuk mendapat setting proteksi yang semestinya agar dapat menghasilkan koordinasi penyulang ke recloser dengan benar.



Gbr.3 Flowchart

B. Data Penyulang Pajalau

Dalam melakukan penelitian ini dibutuhkan beberapa data pendukung dalam mempermudah melakukan analisa dan perhitungan, diantaranya :

- Data hubung singkat 150 kV Gardu Induk Sungguminasa

Tabel 3

Data hubung singkat GI

NO	BUS	Arus Hubung Singkat 1 Fasa (kA)	Arus Hubung Singkat 3 Fasa (kA)
1	Bus 1	15,36	17,53
2	Bus 2	15,36	17,53

- Data spesifikasi trafo

Tabel 4

Spesifikasi Trafo

Daya	:	60 MVA
Merk	:	Pauwels
Type	:	P60LEC495
Ratio Tegangan	:	150/20 kV
Arus Nominal	:	1574 A
Vektor Grup	:	YNyn0-d
Impedansi (%)	:	12,35 %
Rasio Trafo	:	10

- Data setting penyulang Pajalau

Table 5

Setting penyulang

Parameter Setting	Overcurrent Relay (OCR)	Ground Fault Relay (GFR)
I set	720	60
Type Kurva	<i>Standard Invers</i>	<i>Standard Invers</i>
TMS	0,21	0,11
<i>T set Instan High Set 1</i>	28,33	10,00
Type Kurva	<i>Definite</i>	<i>Definite</i>
T set	0,10	0
<i>I set Instan High Set 2</i>	50,00	6000
Type Kurva	<i>Instant</i>	<i>Instant</i>
T set	0	0

- Data impedansi konduktor jaringan 20 kV

Data ini terdiri dari nilai Tahanan (R) dan reaktansi (XL) per kilometer sirukuit (KMS) pada konduktor tipe AAAC yang didapatkan dari SPLN 64:1985. Pada jaringan pajalau menggunakan tipe konduktor AAAC dengan luas penampang 240 mm².

IV. ANALISA DAN HASIL

A. Perhitungan Impedansi Sumber

Hal Pertama untuk menghitung impedansi sumber, data yang digunakan yaitu data short cricuit sumber pada bus 150 kV GI Sungguminasa. Akan tetapi data tersebut tidak dapat langsung diterapkan, sebab data tersebut merupakan nilai impedansi pada sisi 150 kV. Sehingga perlu dikonversikan menjadi 20 kV dengan menggunakan rumus persamaan (3).

Short Circuit Sumber : 17.53 kA

Tegangan Primer : 150 kV

Tegangan Sekunder : 20 kV

$$X_s = \frac{kV^2}{kV \cdot kA \cdot \sqrt{3}}$$

$$X_s = \frac{20^2}{150 \times 17,53 \cdot \sqrt{3}} = j0,08782$$

B. Perhitungan Impedansi Trafo

Daya Trafo : 60 MVA

Impedansi Trafo : 12,35%

Tegangan Sekunder : 20 kV

Tipe Trafo : Ynyn0-d

$$X_{T0} = \% \frac{kV^2}{MVA}$$

$$X_{T0} = 0,1235 \frac{20^2}{60} = j0,823$$

X_{T0} sama dengan $X_{T1} = j0,823 \Omega$

C. Perhitungan Impedansi Penyulang

Pada penyulang pajalau tipe konduktor yang digunakan adalah tipe AAAC dengan luas penampang 240 mm² sehingga didapatkan :

Impedansi penyulang positif / negatif : 0,1344 + j 0,3158

Impedansi penyulang nol. : 0,1344 + j 0,3158

Apabila ingin mengetahui impedansi penyulang secara keseluruhan maka :

$$Z = (R + jX) \text{ Ohm.Km}$$

1). Impedansi penyulang *section* bus 4

Jarak bus 4 dengan GI adalah 14,62 kms Sehingga nilai impedansi penyulang adalah :

Impedansi penyulang positif / negatif

$$Z = (0,1344 + j0,3158) \cdot 14,62 = 1,964 + j4,616 \text{ Ohm}$$

Impedansi penyulang nol

$$Z = (0,1344 + j0,3158) \cdot 14,62 = 1,964 + j4,616 \text{ Ohm}$$

2). Impedansi penyulang *section* bus 5

Jarak bus 5 dengan GI adalah 19,4 kms Sehingga nilai impedansi penyulang adalah

Impedansi penyulang positif / negatif

$$Z = (0,1344 + j0,3158) \cdot 19,4 = 2,607 + j6,126 \text{ Ohm}$$

Impedansi penyulang nol

$$Z = (0.1344 + j0.3158) \cdot 19,4 = 2,607 + j6,126 \text{ Ohm}$$

3). Impedansi penyulang di ujung jaringan

Jarak ujung jaringan dengan GI adalah 56,592 Km Sehingga nilai impedansi penyulang adalah

$$Z = (0.1344 + j0.3158) \cdot 56,592 = 7,605 + j17,871 \text{ Ohm}$$

Impedansi penyulang nol

$$Z = (0.1344 + j0.3158) \cdot 56,592 = 7,605 + j17,871 \text{ Ohm}$$

D. Perhitungan Arus Hubung Singkat

a. Arus hubung singkat 3 fasa

$$I_{3fasa} = \frac{V_a}{Z_1 + Z_f}$$

Pada penelitian ini impedansi gangguan dianggap tidak ada. Hal ini dikarenakan tidak diketahui penyebab gangguan yang terjadi di jaringan GI Sungguminasa.

1. Arus hubung singkat 3 fasa di bus 4

$$I_{3fasa} = \frac{11547}{\sqrt{(0 + 0 + 1,964)^2 + (j0,08782 + j0,823 + j4,616)^2}} = 1908 \text{ A}$$

2. Arus hubung singkat 3 fasa di bus 5

$$I_{3fasa} = \frac{11547}{\sqrt{(0 + 0 + 2,607)^2 + (j0,08782 + j0,823 + j6,126)^2}} = 1418 \text{ A}$$

3. Arus hubung singkat 3 fasa di ujung jaringan 20 kV

$$I_{3fasa} = \frac{11547}{\sqrt{(0 + 0 + 7,605)^2 + (j0,08782 + j0,823 + j17,871)^2}} = 569 \text{ A}$$

b. Perhitungan arus hubung singkat 1 fasa

$$I_{1fasa-netral} = \frac{E_{fasa} \times 3}{Z_1 + Z_2 + Z_0 + 3Z_n + 3Z_f}$$

Pada penelitian ini pentanahan pada trafo GI Sungguminasa adalah 0,9 Ohm. Sedangkan nilai Z_f adalah nilai impedansi gangguan yang belum diketahui. Namun pada saat menghitung arus hubung singkat 1 fasa di ujung jaringan, nilai Z_f adalah 52 Ohm.

1. Arus hubung singkat 1 fasa pada bus 4

$$I_{1fasa} = \frac{11547 \times 3}{\sqrt{(0 + 0 + (2 \times 1,964) + 1,964 + (3 \times 0,9))^2 + (2 \times j0,08782) + (3 \times j0,823) + (2 \times j4,616) + j4,616)^2}} = 1097 \text{ A}$$

2. Arus hubung singkat 1 fasa di bus 5

$$I_{1fasa} = \frac{11547 \times 3}{\sqrt{(0 + 0 + (2 \times 2,607) + 2,607 + (3 \times 0,9))^2 + (2 \times j0,08782) + (3 \times j0,823) + (2 \times 6,126) + (j6,126)^2}} = 719 \text{ A}$$

3. Arus hubung singkat 1 fasa diujung jaringan dengan R fault 52 Ohm

$$I_{1fasa} = \frac{11547 \times 3}{\sqrt{(0 + 0 + (2 \times 7,605) + 7,605 + (3 \times 0,9) + (3 \times 52))^2 + ((2 \times j0,08782) + (3 \times j0,823) + (2 \times j17,871) + j17,871)^2}} = 191 \text{ A}$$

Tabel 6
Hasil perhitungan

Nama Section	Arus Gangguan Hubung Singkat 3 Fasa (A)	Arus Gangguan Hubung Singkat 1 Fasa (A)
Section Bus 4	1908	1097
Section Bus 5	1418	719
Section Ujung Jaringan	569	191

E. Perhitungan Setting Proteksi Recloser

Setelah mengetahui hasil perhitungan arus hubung singkat yang terjadi di jaringan langkah selanjutnya yaitu menentukan setting proteksi yang akan diterapkan di recloser. Untuk setting proteksi yang dihitung dapat berkoordinasi dengan penyulang, oleh sebab itu setting menerapkan pola cascade proteksi. Pola ini bekerja dengan prinsip "semakin jauh peralatan proteksi dari gardu induk maka semakin cepat pula waktu kerja relay tersebut". [15]

a. Perhitungan waktu kerja penyulang di bus recloser

1. Waktu kerja penyulang pajalau di zona High Set 1 Berdasarkan table 5 setting dan waktu kerja penyulang Pajalau yaitu :

- OCR Instant High Set 1 diatur menjadi 28,33 dengan penundaan waktu selama 0,3 detik.
- GFR Instant High Set 1 diatur menjadi 10,00 dengan penundaan waktu selama 0,3 detik.

2. Waktu kerja penyulang pajalau di zona Invers

- Dalam menentukan waktu kerja OCR (*Overcurrent Relay*) untuk penyulang pajalau di zona invers, digunakan dengan *setting* sesuai dengan tabel 5 dan menggunakan arus hubung singkat 3 fasa di bus recloser. Berikut ini adalah perhitungannya :

$$t = \frac{TMS \times \beta}{\left[\frac{I_{hs}}{I_{SET}} \right]^{a-1}}$$

$$t = \frac{0,21 \times 0,14}{\left[\frac{1908}{720} \right]^{0,02-1}}$$

$$t = 1,5 \text{ detik}$$

- Dalam menentukan waktu kerja GFR (*Ground Fault Relay*) untuk penyulang pajalau di zona invers, digunakan dengan *setting* sesuai dengan tabel 3.4 dan menggunakan arus hubung singkat 1 fasa di bus recloser. Berikut ini adalah perhitungannya :

$$t = \frac{TMS \times \beta}{\left[\frac{I_{hs}}{I_{SET}} \right]^{a-1}}$$

$$t = \frac{0,11 \times 0,14}{\left[\frac{1097}{60} \right]^{0,02-1}}$$

$$t = 0,26 \text{ detik}$$

b. Perhitungan *Setting* OCR,GFR,dan Invers

1. Menentukan OCR dan Invers

$$\begin{aligned} \text{Setting OCR (Overcurrent Relay)} &= 1,2 \times \text{beban} \\ &= 1,2 \times 99 \\ &= 118,8 \text{ A} \end{aligned}$$

$$T \text{ set recloser} = 1,5 - 0,3 = 1,2 \text{ detik}$$

Hasil tersebut dimasukkan ke dalam perhitungan untuk mengurangi potensi kegagalan koordinasi, tipe kurva yang digunakan di recloser disamakan dengan penyulang pajalau, yaitu tipe kurva *Standard Inverse*.

$$TMS = \frac{t \times \left[\frac{I_{hs}}{I_{SET}} \right]^{a-1}}{\beta}$$

$$TMS = \frac{1,2 \times \left[\frac{1908}{118} \right]^{0,02-1}}{0,14}$$

$$TMS = 0,490 \text{ detik}$$

2. Menentukan *Setting* GFR dan Invers

$$\begin{aligned} \text{Setting GFR} &= I \text{ Fault} \times 50 \% \\ &= 191 \times 50 \% \\ &= 96 \text{ A} \end{aligned}$$

$$T \text{ set recloser} = 0,215 - 0,3 = 0,85 \text{ detik}$$

Hasil tersebut dimasukkan ke dalam perhitungan untuk mengurangi potensi kegagalan koordinasi, tipe kurva yang digunakan di recloser disamakan dengan penyulang pajalau, yaitu tipe kurva *Standard Inverse*.

$$TMS = \frac{t \times \left[\frac{I_{hs}}{I_{SET}} \right]^{a-1}}{\beta}$$

$$TMS = \frac{0,86 \times \left[\frac{1097}{96} \right]^{0,02-1}}{0,14}$$

$$TMS = 0,69 \text{ detik}$$

3. Menentukan *Setting* OCR dan GFR *Instant Highset*

- OCR *Instant High set* pada recloser disetting 1418 A dengan waktu tunda 0,1 detik
- GFR *Instant High set* pada recloser disetting 719 A dengan waktu tunda 0,1 detik

Table 7

Hasil perhitungan *setting* proteksi recloser

Parameter <i>Setting</i>	OCR	GFR	Keterangan
I Set	119	96	1 x <i>Reclose</i>
Tipe Kurva	<i>Standar Inverse</i>	<i>Standar Inverse</i>	
TMS	0,490	0,69	
<i>Instant High Set</i>	1418	719	Tanpa <i>Reclose</i>
Tipe Kurva	<i>Instant</i>	<i>Instant</i>	
T Set	0,1	0,1	

F. Pemodelan ETAP

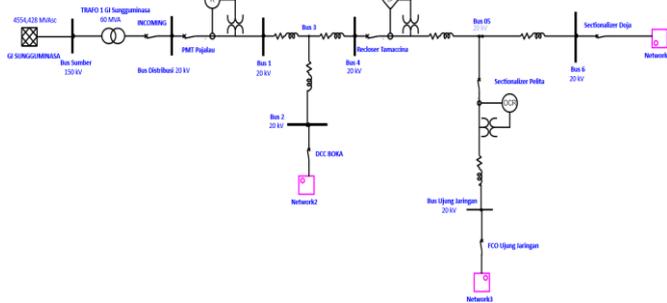
Pemodelan ini bertujuan untuk menguji kecocokan hasil perhitungan dengan analisa dan perhitungan yang diinginkan. Langkah pertama dalam melakukan pemodelan ini adalah menggambar *single line* diagram penyulang pajalau lengkap

dengan recloser serta seluruh parameter setting proteksi dan data teknis yang ada.

Single line diagram tersebut diharapkan akan memvisualisasikan kondisi sesungguhnya dari jaringan penyulang Pajalau. Dalam hal ini parameter – parameter yang diisikan yaitu penggambaran jaringan berupa *Power grid* yang mewakili kondisi sistem 150 kV, trafo daya, PMT, relai proteksi, CT, konduktor pada jaringan, panjang konduktor, recloser.

a. Visualisasi *single line*

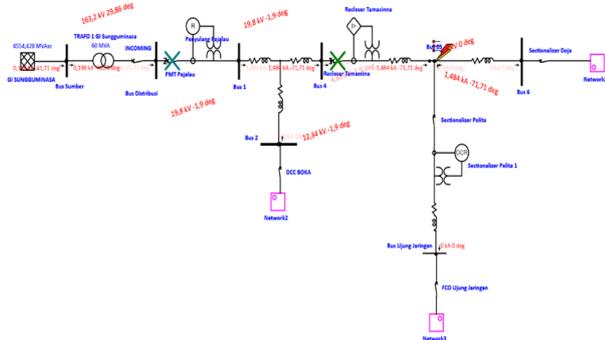
Langkah pertama dalam membuat pemodean etap yaitu membuat sebuah visualisasi *single line* yang nantinya akan disimulasikan.



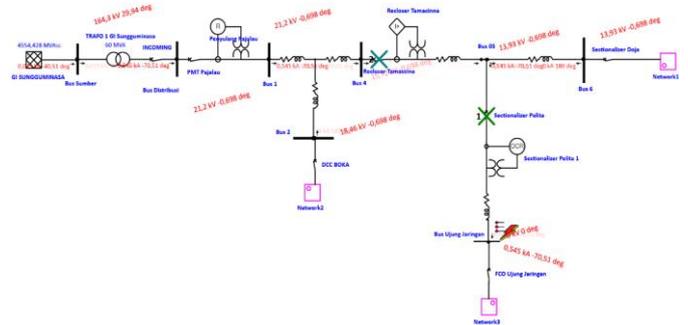
Gbr.5 Visualisasi *single line* diagram penyulang

b. Urutan kerja relay proteksi 3 fasa di bus 5

Langkah selanjutnya mensimulasikan dengan memberikan *fault* pada *section* bus 5 yang dimana kemudian akan memberikan hasil perhitungan *real time* serta grafik yang dapat kita lihat kebenarannya apakah hasil telah berkoordinasi dengan benar atau gagal.



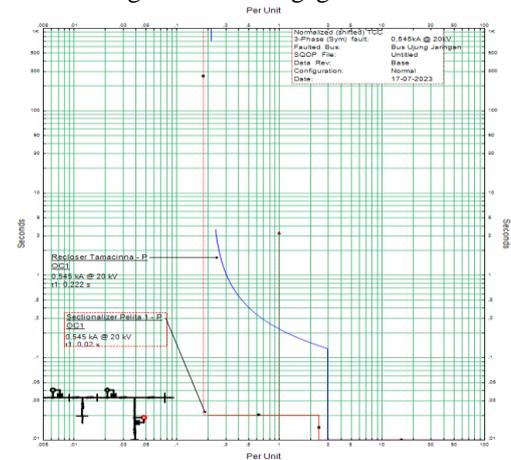
Gbr. 6 Urutan kerja relay proteksi dengan gangguan 3 fasa di bus 05



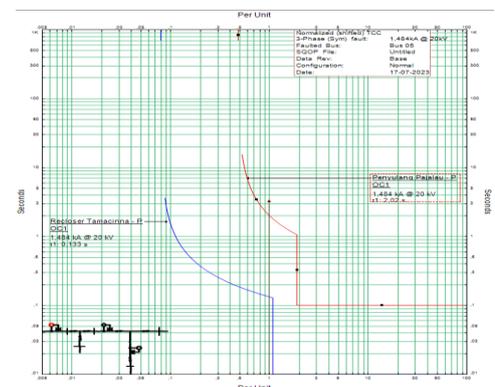
Gbr. 7 Waktu kerja relay dengan gangguan 3 fasa di bus 05

c. Urutan kerja relay proteksi 3 fasa diujung jaringan

Langkah berikutnya ialah dengan memberikan *fault* pada *section* ujung jaringan yang dimana kemudian akan memberikan hasil perhitungan secara *real time* serta grafik yang dapat kita lihat kebenarannya, apakah hasil telah berkoordinasi dengan benar atau gagal.



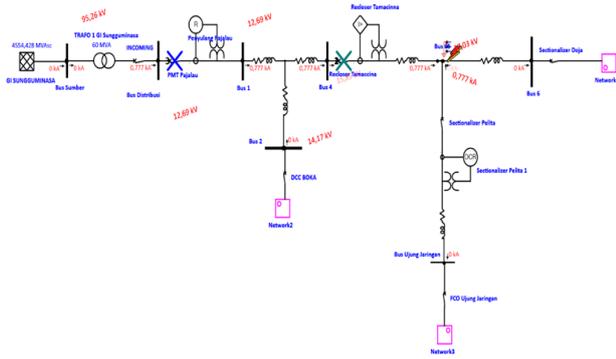
Gbr. 8 Urutan kerja relay proteksi dengan gangguan 3 fasa di bus ujung jaringan



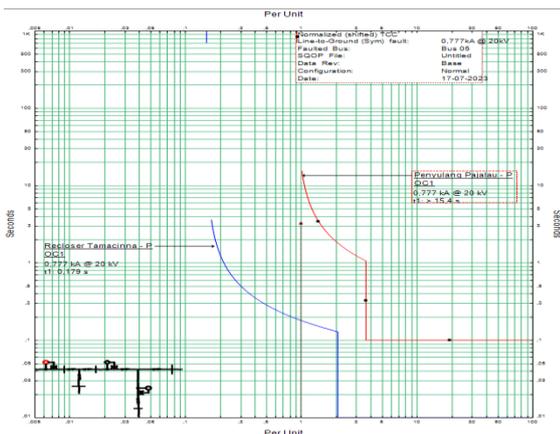
Gbr. 9 Waktu kerja relay dengan gangguan 3 fasa di ujung jaringan

Agar dapat mengetahui apakah setting proteksi recloser sudah mampu berkoordinasi dengan penyulang pajalau, kita perlu melihat apakah grafik setting recloser berpotongan dengan grafik setting penyulang pajalau. Jika terjadi perpotongan, kemungkinan besar koordinasi proteksi gagal dan perlu dilakukan perhitungan ulang begitupun sebaliknya.

- d. Urutan kerja relay proteksi 1 fasa di bus 5
 Langkah selanjutnya mensimulasikan jika gangguan yang diberikan ialah gangguan hubung singkat 1 fasa dengan memberikan *fault* di *section* bus 5 yang kemudian akan memperlihatkan hasil *real time* serta grafik koordinasi.

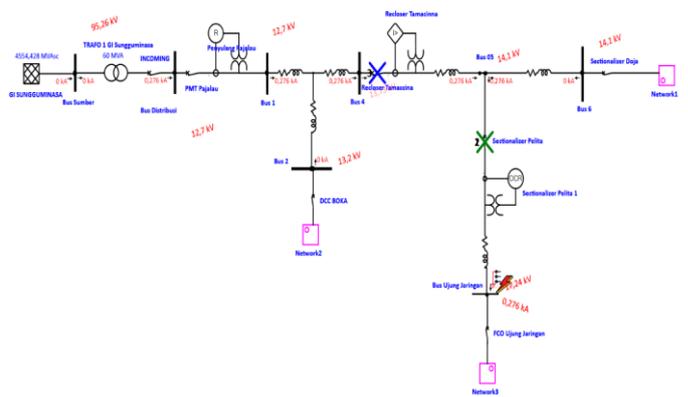


Gbr. 10 Urutan kerja *relay* proteksi dengan gangguan 1 fasa di bus 05

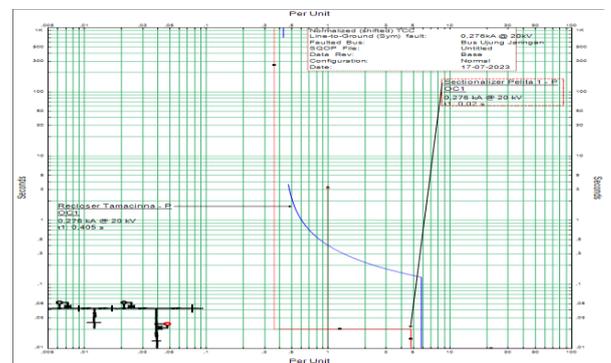


Gbr. 11 Waktu kerja *relay* dengan gangguan 1 fasa di bus 05

- e. Urutan kerja relay proteksi 1 fasa diujung jaringan
 Langkah berikutnya mensimulasikan jika gangguan yang diberikan ialah gangguan hubung singkat 1 fasa dengan memberikan *fault* di *section* ujung jaringan yang kemudian akan memperlihatkan hasil *real time* serta grafik kordinasi.



Gbr. 12 Urutan kerja *relay* proteksi dengan gangguan 1 fasa di bus ujung jaringan



Gbr. 13 Waktu kerja *relay* dengan gangguan 1 fasa di bus ujung jaringan

V. PENUTUP

Kesimpulan

Dalam menentukan setting proteksi pada recloser section bus 4, langkah-langkah yang perlu dilakukan yaitu pertama menghitung impedansi ekuivalen yang terdiri dari impedansi sumber, impedansi trafo, dan impedansi saluran. Hal ini dilakukan untuk mengetahui karakteristik impedansi sistem yang akan dilindungi. Selanjutnya, perlu dilakukan perhitungan arus hubung singkat 3 fasa dan 1 fasa yang terjadi di bus recloser, section bus 4, serta ujung jaringan. Ini penting untuk menentukan tingkat arus yang akan dipantau dan dilindungi oleh recloser. Berdasarkan perhitungan arus hubung singkat dan karakteristik sistem, dapat ditentukan setting OCR yang sesuai. Setting ini menentukan ambang batas arus maksimum yang dapat ditoleransi sebelum recloser memicu proteksi dan memutus aliran listrik. Jika diperlukan, perhitungan dan penentuan setting GFR dapat dilakukan. GFR melindungi

terhadap hubung singkat ke tanah dan beroperasi ketika terjadi arus hubung singkat ke tanah yang melebihi ambang batas yang ditentukan.

Setting Invers (Inverse Time Delay) digunakan untuk mengatur waktu respons recloser terhadap arus hubung singkat. Ini penting untuk memastikan bahwa proteksi bekerja dengan tepat sesuai dengan karakteristik sistem dan melindungi peralatan dari kerusakan yang berkepanjangan. Setting Instant High Set digunakan untuk mendeteksi arus hubung singkat besar yang memerlukan respons segera dari recloser. Setting ini berguna untuk melindungi peralatan yang rentan terhadap arus tinggi yang berlangsung sebentar

DAFTAR PUSTAKA

- [1] S. Sofyan, A. Achmad, and I. Amal S P, "Studi Peningkatan Keandalan Dengan Penambahan Recloser Pada Penyulang Pajalau Pt. Pln (Persero) Ulp Kalebajeng Dengan Metode Section Technique," *Jurnal Teknologi Elekterika*, vol. 19, no. 2, p. 106, 2022, doi: 10.31963/elekterika.v6i2.3688.
- [2] P. Sgn, S. Menggunakan, J. Martino, W. Saputro, B. Winardi, and S. Handoko, "Analisis Koordinasi Proteksi Relay Ocr Dan Recloser Pada," vol. 7, pp. 1–6, 2018.
- [3] Ario Putra and Firdaus, "Analisa Penggunaan Recloser Untuk Pengaman Arus Lebih Pada Jaringan Distribusi 20 kv Gardu Induk Garuda Sakti," *Jom FTEKNIK*, vol. 4, no. 1, pp. 1–10, 2017.
- [4] R. Yusliana Bakti, T. Wahyuni, and M. A. M Hayat, "Game Edukasi Berbasis Android sebagai Media Pembelajaran Matematika untuk Anak Tunarungu," 2021.
- [5] A. Fuadi, P. Eko, Pambudi, and S. Gatot, "Analisis Penempatan Recloser Sebagai Parameter Penentu Keandalan Sistem Proteksi Pada Sistem Distribusi 20Kv," *IST AKPRIND Yogyakarta*, vol. 3, no. 2, pp. 41–48, 2016.
- [6] SNI, "General electrical installation requirements (PUIL) 2011," *DirJen Ketenagalistrikan*, vol. 2011, no. PUIL, pp. 1–133, 2011.
- [7] C. F. Hutabarat, "Analisa Penggunaan Recloser Pada Sutm 20 Kv Sistem 3 Fasa 4 Kawat Di Pt Pln (Persero) Ulp Siborongborong," pp. 1–38, 2022.
- [8] Ridwang, Syafaruddin, A. A. Ilham, and I. Nurtanio, "Indonesian Sign Language Letter Interpreter Application Using Leap Motion Control based on Naïve Bayes Classifier," in *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, IOP Publishing Ltd, Dec. 2019. doi: 10.1088/1757-899X/676/1/012012.
- [9] M. Kadepa, "ANALISA SISTEM KERJA RECLOSER TIPE VWVE MEREK SEL 551 PADA JARINGAN DISTRIBUSI 20 kV," *Jurnal Elektrikal*, vol. 3, no. 2, pp. 13–22, 2016.
- [10] S. Hani, G. Santoso, and D. Wibowo, "Penempatan Recloser Sebagai Parameter Penentu Keandalan Sistem Proteksi Pada Sistem Distribusi," *Simposium Nasional RAPI XVIII*, vol. 3, no. 2, pp. 21–27, 2019.
- [11] A. N. An Nisa, M. Marwan, and A. R. Idris, "Analisis sistem proteksi di PT. PLN (Persero) sektor pembangkitan kendari unit PLTD Wua Wua," *Tekno*, vol. 29, no. 2, p. 177, 2019, doi: 10.17977/um034v29i2p177-189.
- [12] M. H. Hussain, S. R. A. Rahim, and I. Musirin, "Optimal overcurrent relay coordination: A review," *Procedia Engineering*, vol. 53, pp. 332–336, 2013, doi: 10.1016/j.proeng.2013.02.043.
- [13] S. Samsurizal and T. G. Nugroho, "Studi Perhitungan Rele Tanah (GFR) Akibat Gangguan Simpatetik Trip Pada Penyulang Tegangan Menengah," *Sutet*, vol. 10, no. 1, pp. 1–14, 2021, doi: 10.33322/sutet.v10i1.1137.
- [14] L. M. Hayusman, T. Hidayat, C. Saleh, I. M. Wartana, and T. Herbasuki, "Pelatihan Software ETAP (Electrical Transient Analyzer Program) Bagi Siswa dan Guru SMK Nasionl Malang," *Industri Inovatif: Jurnal Teknik Industri*, vol. 7, no. 1, pp. 7–11, 2017.
- [15] D. Gardu, I. Menggala, N. P. Wibowo, and H. Widodo, "Analisa Proteksi Auto Recloser pada Sistem 150kV Penghantar Menggala – Gumawang 2," vol. 5, no. 1, pp. 41–48, 2022.