

# STUDI KEBUTUHAN PERENCANAAN PEMASANGAN BUSBAR PROTEKSI PADA GARDU INDUK DUMAI PT. PLN (PERSERO) UPT PEKANBARU

Joulelin Yonatan Siallagan<sup>1</sup>, Abrar Tanjung<sup>2</sup>, Arlenny<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup> Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Lancang Kuning Pekanbaru.

Jl. Yos Sudarso Rumbai, Pekanbaru, Telp. (0761) 52324

Email : [joulelinallagan@gmail.com](mailto:joulelinallagan@gmail.com), [abrar@unilak.ac.id](mailto:abrar@unilak.ac.id), [arlenny@unilak.ac.id](mailto:arlenny@unilak.ac.id)

## ABSTRAK

Busbar merupakan bagian utama dalam suatu gardu induk yang berfungsi sebagai tempat terhubungnya semua bay yang ada pada Gardu Induk Dumai, baik bay line maupun bay trafo. Gardu Induk Dumai didesain dengan konfigurasi 2 busbar (Double Busbar). Dan semua ini tidak terlepas dari gangguan. Adanya gangguan yang terjadi pada busbar dapat menghambat proses penyaluran energi listrik ke pemakai (konsumen). Oleh karena itu, sistem proteksi yang handal sangat dibutuhkan untuk melindungi busbar dari gangguan. Beberapa kendala pada Gardu Induk Dumai, Dimana saat ini belum difasilitasi dengan Busbar Proteksi, yang dimana busbar proteksi pada gardu induk sangat berperan penting dalam kehandalan sistem. Maka pada penelitian ini dilakukan “studi kebutuhan perencanaan pemasangan busbar proteksi pada gardu induk dumai” yang dimana sesuai dengan kondisi di lapangan (Switchyard) belum juga difasilitasi Couple Busbar 150 kV. Dengan dilakukannya penelitian ini, maka perencanaannya dibutuhkan CT busbar dengan ratio 2000/1 Amp, setting busbar 1 Iop pada sisi primer 544 Amp, disisi sekunder 0.272 Amp, sensitifitas pengaman 27,2 %, dengan setting resistor 320 Ohm dan busbar 2 Iop pada sisi primer 580 Amp, disisi sekunder 0,290 Amp, sensitifitas pengaman 29 %, dengan setting resistor 300 Ohm kemudian diperlukan non linier resistor pada terminal rele.

**Kata Kunci** : Busbar proteksi, hubung singkat, setting diferensial dan setting, Over Current Relay (OCR).

## ABSTRACT

*The busbar is the main part of a substation that functions as a connection for all the existing feeders at the Dumai Substation, both the feeder line and the transformer feeder. The Dumai Substation is designed with a 2 busbar configuration (Double Busbar). And all this is inseparable from distraction. Any disturbance that occurs in the busbar can hinder the process of distributing electrical energy to the user (consumer). Therefore, a reliable protection system is needed to protect the busbar from interference. There are several problems at the Dumai Substation, which currently has not been facilitated by Busbar Protection, where the protection busbar at the substation plays an important role in system reliability. So in this study conducted a "study of the need for planning the installation of a protection busbar at the dumai substation" which in accordance with the conditions in the field (Switchyard) has not been facilitated by a 150 kV Couple Busbar. By doing this research, the planning required a busbar CT with 2000/1 ratio, 1 Iop busbar setting on the primary side 544 Amp, 0.272 Amp secondary side, 27.2% safety sensitivity, with a 320 Ohm resistor setting and a 2 Iop busbar on the primary side 580 Amp, 0,290 Amp secondary side, 29% safety sensitivity, with a 300 Ohm resistor setting then a non-linear resistor is required at the relay terminal.*

**Keywords** : Busbar protection, short circuit, differential setting and Over Current Relay (OCR) setting.

## 1. PENDAHULUAN

PT PLN (Persero) adalah Perusahaan Milik Negara yang di beri wewenang untuk menangani sistem bahkan masalah kelistrikan di Indonesia. Perusahaan ini memegang peran yang sangat penting dalam menjamin kualitas kelistrikan dan memberikan pelayanan terbaik, mulai dari penyediaan daya listrik, penyaluran dari pusat pembangkit ke pusat pusat beban, sampai dengan pendistribusiannya ke pihak pelanggan. Dalam penyaluran tenaga listrik dari pembangkit ke beban harus digunakan sistem penyaluran yang memiliki efisiensi yang tinggi.

Gardu Induk merupakan salah satu sistem penyaluran dimana keandalan penyaluran tenaga

listrik sangat diperlukan untuk menunjang kelancaran energi listrik ke konsumen. Salah satu peralatan yang sangat penting peranannya dalam menjaga penyaluran energi listrik adalah peralatan pada switchyard yang merupakan salah satu mata rantai terpenting pada suatu sistem transmisi yang berfungsi mengatur dan menjaga kehandalan penyaluran pada suatu gardu induk.

Gardu Induk Dumai tidak terlepas dari terjadinya gangguan. Gangguan yang terjadi pada sistem tenaga di sebabkan oleh banyak faktor. Ketika terjadi gangguan maka sistem proteksi tenaga listrik harus dapat mengisolasi gangguan agar tidak terjadi gangguan yang meluas, serta menjaga agar tidak

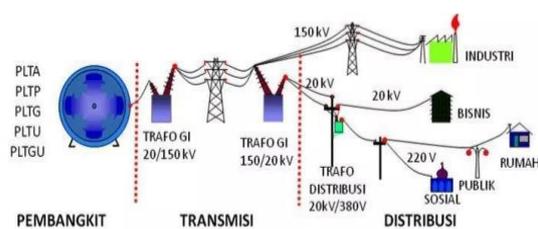
terjadinya kerusakan pada peralatan dan menjaga *kontinuitas* pelayanan pada bagian sistem tenaga listrik yang tidak mengalami gangguan. Arus gangguan mengalir pada sistem tenaga listrik menyebabkan beroperasinya rele proteksi dan menggerakkan Pemutus Tenaga/*Circuit Breaker* (CB) sehingga terputusnya aliran daya yang mengalir pada saluran tersebut.

Rele Diferensial (Differential Relay) digunakan sebagai pengaman utama pada busbar, karena rele ini hanya dapat memproteksi gangguan dari dalam busbar yang diproteksi sendiri (internal), tergantung dimana rele tersebut dipasang pada peralatan. Rele ini dapat dipasang sesuai penyetelan yang sudah ditetapkan, hal ini dilakukan agar busbar yang dilindungi dapat terhindar dari gangguan yang tidak diinginkan.

Sebelum sistem proteksi di implementasikan, maka agar di peroleh sistem proteksi yang efektif dan efisien dalam menentukan sistem proteksi tersebut maka setiap peralatan proteksi yang di pasang harus disesuaikan dengan kebutuhan dan prediksi gangguan yang akan terjadi serta diperlukan analisis agar pengaturan rele dapat diketahui dan bekerja secara baik. Apabila nantinya terjadi gangguan, sebagai mana yang dimaksud jika hubung singkat terjadi pada suatu peralatan, dan peralatan tersebut memiliki sistem yang bisa memproteksikan hubung singkat tersebut. Maka sistem proteksi akan bekerja sesuai fungsinya sebagai pengamanan, sehingga stabilitas tenaga listrik masih bisa berlangsung dengan baik, misalkan terjadi gangguan pada salah satu busbar mengalami gangguan yang dimana memungkinkan adanya beberapa gangguan seperti gangguan alam (cuaca) ataupun gangguan internal yang mengakibatkan meluasnya gangguan tersebut.

### Sistem Tenaga Listrik

Sistem tenaga listrik terdiri dari tiga bagian utama, yaitu pusat listrik, saluran transmisi dan sistem distribusi. Dipusat listrik dilakukan dengan menghasilkan listrik dengan menggunakan Generator Sinkron. Tenaga Listrik yang dihasilkan dipusat akan ditransmisikan melalui sistem transmisi sebelum di transmisikan, Secara sederhana single line sistem tenaga listrik seperti pada Gambar 1



Gambar 1. Sistem tenaga listrik terdiri dari beberapa subsistem

### 1. Pembangkitan (*Power Plant*).

Merupakan tempat energi listrik pertama kali dibangkitkan, dimana terdapat turbin penggerak mula (*prime mover*) dan generator yang membangkitkan listrik. Biasanya dipusat pembangkit listrik juga terdapat gardu induk. Peralatan utama pada gardu induk antara lain transformer, yang berfungsi untuk menaikkan tegangan generator (11,5 kV) menjadi tegangan transmisi tegangan tinggi (150 kV) dan juga peralatan pengaman dan pengatur. Jenis pusat pembangkit yang umum antara lain ialah Pembangkit Listrik Tenaga Air/PLTA, Pembangkit Listrik Tenaga Uap/PLTU, Pembangkit Listrik Tenaga Gas/PLTG, Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir/PLTN. [1]

### 2. Transmisi Tenaga Listrik

Merupakan proses penyaluran tenaga listrik dari tempat pembangkit tenaga listrik (*power plant*) hingga saluran distribusi tenaga listrik (*substation distribution*) sehingga dapat disalurkan sampai pada konsumen pengguna listrik. Saluran transmisi adalah suatu sistem penyaluran energi listrik berskala besar dari pembangkit ke pusat-pusat beban. Pemakaian saluran transmisi didasarkan atas besarnya daya yang harus disalurkan dari pusat-pusat pembangkit ke pusat beban dengan jarak penyaluran yang cukup jauh antara pusat pembangkit dan pusat beban tersebut. Sistem transmisi menyalurkan daya dengan tegangan tinggi yang digunakan untuk mengurangi adanya rugi-rugi transmisi akibat jatuh tegangan [2], [3].

### 3. Sistem Distribusi

Merupakan subsistem tersendiri yang terdiri dari Pusat Pengatur atau *Distribution Control Center* (DCC), saluran tegangan menengah (6 kV dan 20 kV), yang juga biasa disebut tegangan distribusi primer) yang merupakan saluran udara atau kabel tanah, gardu distribusi tegangan menengah yang terdiri dari panel-panel pengatur tegangan menengah dan trafo sampai dengan panel-panel distribusi tegangan rendah (380 Volt/220 Volt) yang menghasilkan tegangan kerja/tegangan jala-jala untuk industri dan konsumen. Jaringan Distribusi terdiri dari dua jenis, jaringan distribusi tegangan menengah dan jaringan distribusi Tegangan rendah. Untuk jaringan distribusi tegangan menengah disana memakan tiga jenis konfigurasi. Diantaranya adalah konfigurasi radial, konfigurasi serabut dan konfigurasi polos [4]–[8].

### 4. Gardu Induk

Gardu Induk merupakan sub sistem dari sistem penyaluran (transmisi) tenaga listrik yang berfungsi sebagai pusat penyaluran (transmisi) yang menghubungkan sistem tegangan tinggi dari suatu gardu induk ke gardu induk lainnya dengan saluran-saluran dan gardu induk distribusi [2], [9].

## 5. Sistem Proteksi Gardu Induk

Sistem proteksi adalah perlindungan atau isolasi pada bagian yang memungkinkan akan terjadi gangguan atau bahaya. Tujuan utama proteksi adalah untuk mencegah terjadinya gangguan atau memadamkan gangguan yang telah terjadi kemudian melokalisirnya dan membatasi pengaruh pengaruhnya, biasanya dengan mengisolir bagian bagian yang terganggu tanpa mengganggu bagian bagian yang lain.

Busbar merupakan bagian utama dalam suatu gardu induk yang berfungsi sebagai tempat terhubungnya semua bay yang ada pada gardu induk tersebut, baik bay *line* maupun bay trafo. Umumnya sistem pada gardu induk didesain dengan konfigurasi 2 busbar (*Double Busbar*) [1].

## 6. Prinsip Kerja Busbar Proteksi

Rele busbar merupakan proteksi utama yang menggunakan prinsip diferensial, dimana jika pada kondisi sistem normal maka penjumlahan fasor dari semua arus yang masuk dan keluar sama dengan nol, atau jika terjadi gangguan di luar busbar maka minimum satu arah arus berlawanan arah dengan arus lainnya.

## 7. Pengertian Trafo Arus

Trafo Arus (*Current Transformer*) yaitu peralatan yang digunakan untuk melakukan pengukuran besaran arus pada instalasi tenaga listrik disisi primer Tegangan Ekstra Tinggi, Tegangan Tinggi dan Tegangan Menengah (TET, TT dan TM) yang berskala besar dengan melakukan transformasi dari besaran arus yang kecil secara akurat dan teliti untuk keperluan pengukuran dan proteksi [1].

## 8. Arus Hubung Singkat

Merupakan Arus lebih yang dihasilkan oleh gangguan yang terjadi pada suatu sistem, dimana dengan mengabaikan impedansi antara titik-titik pada potensial yang berbeda dalam kondisi layanan normal. Hubung singkat dapat terjadi apabila pada suatu sistem tenaga listrik mengalami abnormal [9], [10].

## 9. Perhitungan Arus Hubung Singkat

*Short Circuit Analysis* pada *Software DigSILENT* menganalisa gangguan hubung singkat tiga fasa, antar fasa, satu fasa ke tanah dan dua fasa ke tanah pada sistem tenaga listrik. Program *Short Circuit Analysis DigSILENT* dapat menghitung arus total hubung singkat yang terjadi. DigSILENT menggunakan *Standart Invers* (ANSI) dalam menganalisa gangguan hubung singkat yang bisa dipilih sesuai dengan keperluan dari si pengguna menganalisa. Gangguan Hubung Singkat yang terjadi pada sistem tenaga listrik terbagi menjadi beberapa bagian [11]

## Arus Gangguan 3 Fasa

Gangguan hubung singkat 3 Fasa termasuk kedalam klasifikasi gangguan simetris, dimana arus maupun gangguan disetiap phasanya tetap seimbang setelah gangguan terjadi.

$$I_{f3\phi} = \frac{E_a}{(Z_{S1} + Z_{L1})} \quad (1)$$

Pada gangguan hubung singkat Fasa ke Fasa, arus saluran tidak mengandung komponen urutan nol dikarenakan tidak ada gangguan yang terhubung ke tanah.

$$I_{f2\phi} = \frac{\sqrt{3} \cdot E_a}{2 \cdot (Z_{S1} + Z_{L1})} \quad (2)$$

## Arus Gangguan 1 Fasa ke Tanah

Gangguan hubung singkat satu Phasake tanah biasanya disebabkan oleh adanya sambaran petir, isolator pecah, benturan mekanis dan sebagainya yang terhubung ke tanah.

$$I_{f1\phi} = \frac{3 \cdot E_a}{2 \cdot (Z_{S1} + Z_{L1}) + Z_{S0} + Z_{L0}} \quad (3)$$

Keterangan :

$I_{f2\phi}$	= Arus gangguan dua Fasa
$E_a$	= Tegangan jaringan
$Z_{S1}$	= Impedansi urutan positif sumber
$Z_{L1}$	= Impedansi urutan positif <i>line</i>
$Z_{L0}$	= Impedansi urutan negatif <i>line</i>

## Proteksi Busbar dan *Couple*

Peralatan proteksi busbar dirancang untuk mengamankan peralatan busbar jika terjadi gangguan hubung singkat busbar. Pada sistem gardu induk ini yang menggunakan dua busbar (*Double Busbar*). Gangguan hubung singkat pada busbar umumnya jarang terjadi, namun jika terjadi dampaknya sangat besar terhadap ketahanan peralatan instalasi dan dapat menimbulkan masalah stabilitas transien, serta dapat menimbulkan pemadaman yang meluas [12].

## Perhitungan penggunaan *Current Transformer*

$$V_r = \frac{I_f \max}{Ratio \ CT} (R_{ct} + 2 \times R_{lead} + R_{relay}) \quad (4)$$

$$V_s > V_r$$

Dimana :

$V_s$	= Tegangan <i>Setting</i> Rele (Volt)
$I_f \max$	= Gangguan maksimum pada busbar (Amp)
Ratio	= Ratio CT
$R_{ct}$	= Resistansi CT (Ohm)
$R_l$	= Resistansi <i>lead</i> (Ohm)
$R_r$	= Resistansi Rele (Ohm)
$I_m$	= Magnetisasi CT (Im)

Untuk menjaga stabilitas saat terjadi gangguan eksternal, maka tegangan *setting* ( $V_s$ ) dibuat lebih

tinggi dari pada tegangan yang muncul pada rangkaian (V) [2].

1. *Setting* Arus Rele

Arus nominal rele :

$$I_n = 1 \text{ Amp}$$

a. *Range setting* arus :

$$0,2 - 0,3 \times I_n \tag{5}$$

b. Efektif *Setting*

Jumlah CT, n = n

$$I_{op} = I_{set} + (n \times I_m) \text{ Amp} \tag{6}$$

*Iop* dalam nilai primer

$$I_{opP} = I_{op} \times CT$$

c. Sensitifitas Pengamanan

$$S = \frac{I_{opP}}{I_{fmin}} \times 100 \tag{7}$$

*Ifmin* diasumsikan = I primer CT

d. Perhitungan Stabilitas Resistor (Rs)

$$R_s = \frac{1}{I_{op}} \times \left( V_r - \frac{VA}{I_{op}} \right) \tag{8}$$

2. Perhitungan Busbar *Supervision*

Setelan tegangan supervisi mendekati 5% tegangan rele :

$$V_s = \frac{5}{100} \times V_r \tag{9}$$

3. Arus Sekunder pada *Current Transformator*

$$I_{\text{Sekunder}} = \frac{1}{\text{Ratio CT}} \times I \tag{10}$$

**Rele Diferensial**

Rele Diferensial memiliki prinsip kerja berdasarkan hukum kirchof, dimana arus yang masuk pada suatu titik, sama dengan arus yang keluar dari titik tersebut. *Metode Merz price calculating current* digunakan untuk perhitungan arus sebagai dasar perancangan sistem pengaman busbar menggunakan rele diferensial, dimana arus yang masuk dan keluar ini disebut dengan arus diferensial. Arus diferensial bernilai nol, berarti tidak ada gangguan yang terjadi [12], [13].

**Diferensial Low Impedance**

Rele Diferensial bekerja berdasarkan hukum *Kirchoff* yaitu jumlah arus yang melalui satu titik sama dengan nol. Pada rele diferensial yang dimaksud suatu titik adalah daerah yang diamankan (*Protected Zones*) yang dibatasi trafo arus yang tersambung ke rele diferensial pada keadaan tanpa gangguan atau gangguan diluar daerah yang diamankan, jumlah arus

yang melalui daerah yang diamankan tidak sama dengan nol.

**Diferensial High Impedance**

Rele Diferensial jenis *High Impedance* menggunakan *stabilising resistor* yang dipasang seri dengan rele diferensial arusnya. Rele *disetting* dengan memperhitungkan sensitivitas untuk gangguan *internal* dan stabilitas untuk gangguan *eksternal*. Sensitivitas terhadap gangguan internal ditentukan oleh besarnya arus *setting* arus rele.

Arus Diferensial/Arus *Operate* merupakan arus antar arus sekunder CT pada sisi primer dan arus sekunder CT pada sisi sekunder [14].

$$I_d = I_s - I_p \tag{11}$$

**Arus Restrain**

Arus Restrain dihitung dengan menjumlahkan arus sekunder CTp dengan arus sekunder CTs kemudian dibagi 2.

$$I_d = \frac{I_p + I_s}{2} \tag{12}$$

Dimana :

*I<sub>d</sub>* = Arus Diferensial (Amp)

*I<sub>s</sub>* = Arus Sekunder CTp (Amp)

*I<sub>p</sub>* = Arus Sekunder CTs (Amp)

**Percent Slope**

Dimana *Slope 1* berfungsi menentukan arus diferensial dan arus *restrain* saat kondisi normal dan memastikan sensitifitas pada rele saat kondisi gangguan internal dengan arus gangguan yang kecil. *Slope 2* berfungsi agar dimana rele diferensial tidak bekerja pada gangguan eksternal dengan arus gangguan yang sangat besar, sehingga salah satu *Current Transformer* (CT) mengalami saturasi.

Rumus untuk mencari *Percent Slope 1* :

$$\text{Slope}_1 = \frac{I_d}{I_r} \times 100 \% \tag{13}$$

Rumus untuk mencari *Percent Slope 2* :

$$\text{Slope}_2 = \frac{I_d}{I_r} \times 100 \% \tag{14}$$

Dimana :

*Slope1* = *Setting* kecuraman 1 (%)

*Slope2* = *Setting* kecuraman 2 (%)

*I<sub>d</sub>* = Arus Diferensial (Amp)

*I<sub>r</sub>* = Arus Diferensial (Amp)

Pada arus *setting* rele diferensial dapat dilakukan perhitungan dengan mengalihkan *slope* dan nilai arus *restrain*.

$$I_{\text{set}} = \% \text{Slope} \times I_r \tag{15}$$

Dimana :

- $I_{set}$  = Arus Setting (Amp)
- $\%Slope$  = Setting kecuraman (%)
- $I_r$  = Arus restrain (Amp)

**Relé Over Current Relay (OCR)**

Relay Over Current merupakan rele yang bekerja dengan input analog arus, dimana rele akan bekerja apabila mendeteksi gangguan diatas setting khususnya untuk gangguan fasa-fasa [15].

1. Prinsip Kerja Over Current Relay (OCR)

Prinsip kerja rele over current relay adalah berdasarkan adanya arus lebih yang dirasakan rele, baik disebabkan adanya gangguan hubung singkat atau overload (beban lebih) untuk kemudian memberikan perintah trip ke PMT (Circuit Breaker) sesuai dengan karakteristik waktunya [16].

2. Perhitungan Setting Over Current Relay (OCR)

$$I_{set1} = \frac{I_{set} \times I_n}{CT} \tag{16}$$

Dimana :

- $I_{set}$  = Setting Arus OCR (Ampere)
- $I_n$  = Arus Nominal CT (Ampere)
- $CCC$  = Current Carrying Capacity atau Kemampuan Hantar Arus kawat Pengantar (Ampere).

3. Setting Waktu Over Current Relay (OCR)

$$TMS = \frac{\left(\frac{I_{hs3\phi}}{I_{set}}\right)^{0,02} - 1}{0,14} \times t \tag{17}$$

4. Setting Waktu pada Rele Diferensial pada Busbar

$$t1 = \frac{0,14}{I_{hs3\ Fasa}} \times Tms1 \tag{18}$$

Dimana :

- $TMS$  = Time Multiple Setting
- $I$  = Arus Hubung Singkat fasa di lokal BUS (A).
- $I_{set}$  = Setting Arus OCR (A)
- $T(SI)$  = Waktu kerja yang diinginkan pada gangguan hubung singkat Fasa-fasa di lokal BUS (A) atau BUS (B).

**DigSILENT/PowerFactory**

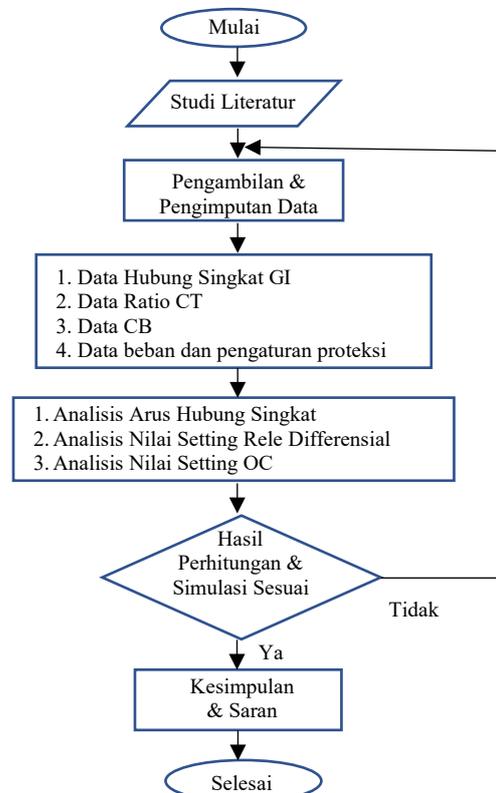
DigSILENT merupakan akronim dari Digital Simulation of Electrical Networks. DigSILENT adalah sebuah program computer rekayasa untuk analisa transmisi distribusi dan sistem tenaga listrik industry. Software ini dirancang sebagai paket perangkat lunak yang terintegrasi dan interaktif canggih didedikasikan untuk sistem tenaga listrik dan analisa control dalam rangka mencapai tujuan utama dan operasi optimalisasi [4], [17], [18].

**2. METODA PENELITIAN**

**Tahapan/Langkah-langkah Penelitian**

1. Melakukan pengambilan data Peralatan Kemampuan Busbar, Current Transformator (CT), Circuit Breaker (CB) yang terpasang di Gardu Induk Dumai dan Data Hubung Singkat, serta settingan rele.
2. Menghitung impedansi pada masing-masing busbar.
3. Melakukan setting diferensial pada rele yang akan digunakan .
4. Menentukan setting rele OCR yang akan digunakan
5. Menganalisa arus hubung singkat dan rele yang terpasang pada busbar proteksi.
6. Melakukan Validasi data dengan menggunakan Software DigSILENT.

Data yang diperoleh pada penelitian ini adalah kualitatif sehingga data tersebut dituangkan atau ditranskripsikan secara tertulis. Diagram alir tahapan pembahasan, seperti pada Gambar 2



Gambar 2. Diagram Alur Tahapan Pembahasan

**3. HASIL DAN PEMBAHASAN**

**Perhitungan Arus Hubung Singkat**

Dari nilai Impedansi pada busbar seberti pada Table 4.1, maka nilai arus hubung singkat pada busbar dengan panjang busbar 0,126 km,  $I_{Base}$  384,9 Amp dan  $E = 1$  pu. Dapat dihitung dengan persamaan

(1) dan (3) untuk mencari arus hubung singkat 3 Phasa dan 1 Phasa :

Tabel 1 Impedansi Busbar 150 kV GI Dumai

No Bus	Panjang Konduktor (m)	Jenis & Luas penampang (mm <sup>2</sup> )	Impedansi	
			Z <sub>1</sub> =Z <sub>2</sub>	Z <sub>0</sub>
1	1	126 AAAC 2x630	0,01218+j 0,08373	0,01229+ j0,09814
2	2	126 AAAC 2x630	0,01218+j 0,08373	0,01229+ j0,09814

1. Arus Hubung Singkat 3 Phasa pada Busbar :

$$\begin{aligned}
 I_{\text{hubung singkat 3 phasa (p)}} &= \frac{E}{(Z_{s1} + Z_{L1})} \\
 &= \frac{0,0123 + j0,0839}{1} \\
 &= 0,0848 \angle 81,66 \\
 &= 11,7886 \times 384,90 \text{ Amp} = 4537 \text{ Amp}
 \end{aligned}$$

2. Arus Hubung Singkat 3 Phasa pada Busbar :

$$\begin{aligned}
 I_{\text{hubung singkat 1 phasa (p)}} &= \frac{E}{2 \times (Z_{s1} + Z_{L1}) + Z_{s0} + Z_{L0}} \\
 &= \frac{2 \times (0,0371) + j0,2669}{1} \\
 &= 0,0742 + j0,2669 \\
 &= 0,2695 \angle 82,09 \\
 &= 11,1322 \times 384,90 \text{ Amp} = 4284 \text{ Amp}
 \end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan arus hubung singkat diatas, maka didapat hasil perhitungan hubung singkat 3 phasa 4537 Amp dan hasil perhitungan hubung singkat 1 phasa 4284 Amp.

**Penggunaan Current Transformator (CT) pada Couple**

1. Data Sistem Perencanaan CT

- Ratio CT : 2000/1 Amp
- Resistansi CT (Rct) : 1,999 Ohm
- Resistansi lead (Rlead) : 1 Ohm
- Resistansi relay (Rr) : 13,497 Ohm
- Knee-point CT (Vk) : 1758,5 Volt
- Arus Magnetisasi CT (Im) : 0,0067 Amp
- Arus Gangguan Maksimum (Ifmax) : 40000 Amp

**A. Perhitungan Current Transformator yang akan digunakan**

Dalam perencanaan pemasangan *Current Transformer* (CT) yang akan digunakan pada *Couple* busbar dapat dihitung. Dengan menggunakan persamaan 4, 5, 6, 7, 8 dan 9 :

1. *Setting* Tegangan (*Vr*)

$$Vr = \frac{If \max}{Ratio \ CT} (Rct + 2xRlead + Rrelay)$$

$$Vr = \frac{40000}{2000/1} (1,999 + 1,224 + 13,497)$$

$$Vr = 334,4 \text{ Volt}$$

Setelan tegangan rele yang dipilih *Vr* = 334.4 Volt (d disesuaikan dengan tapping yang ada di rele)

2. *Setting* Arus

Arus nominal rele : *In* = 1 Amp

a. *Range setting* arus : 0,2 – 0,3 x *In*

$$\begin{aligned}
 Iset &= 0,2 \times In \\
 &= 0,2 \times 1 = 0,2 \text{ Amp}
 \end{aligned}$$

b. Efektif *Setting*

$$\begin{aligned}
 \text{Jumlah CT, } n &= 9 \\
 Iop &= Iset + (n \times Im) \text{ Amp} \\
 &= 0,2 + (9 \times 0,0067) \text{ Amp} \\
 &= 0,260 \text{ Amp}
 \end{aligned}$$

Maka Efektif *Setting* = 0,260 Amp

*Iop* dalam nilai primer

$$\begin{aligned}
 IopP &= Iop \times CT \\
 &= 0,260 \times \frac{2000}{1} \\
 &= 520 \text{ Amp}
 \end{aligned}$$

c. Sensitifitas Pengamanan

$$\begin{aligned}
 s &= \frac{IopP}{Ifmin} \times 100 \\
 \text{Ifmin diasumsikan} &= I \text{ primer CT} \\
 &= \frac{520}{2000} \times 100 \\
 &= 26 \%
 \end{aligned}$$

d. Perhitungan Stabilitas Resistor (*Rs*)

$$\begin{aligned}
 Rs &= \frac{1}{Iop} \times \left( Vr - \frac{VA}{Iop} \right) \\
 &= \frac{1}{0,260} \times \left( 334,4 - \frac{1}{0,260} \right) \\
 &= 1271,360 \text{ Ohm} \\
 \text{Maka Stabilitas Resistor} &= 1271 \text{ Ohm}
 \end{aligned}$$

3. Perhitungan Busbar *Supervision*

Setelan tegangan supervisi mendekati 5% tegangan rele

$$\begin{aligned}
 Vs &= \frac{5}{100} \times Vr \\
 &= \frac{5}{100} \times 334,4 \\
 Vs &= 16,705 \text{ Volt}
 \end{aligned}$$

**B. Arus Sekunder CT**

Arus sekunder CT adalah arus yang terbaca pada parameter sekunder seperti dan dapat dihitung pada persamaan 10 :

$$I_{\text{Sekunder}} = \frac{1}{Ratio \ CT} \times I$$

1. Arus Sekunder CT pada Busbar 1 :

$$I_{\text{Sekunder}} = \frac{1}{2000} \times 1383 = 0,691 \text{ Amp}$$

2. Arus Sekunder CT pada Busbar 2 :

$$I_{\text{Sekunder}} = \frac{1}{2000} \times 2183 = 1,091 \text{ Amp}$$

### C. Perhitungan Rele Diferensial yang akan Digunakan

Arus diferensial/arus *operate* merupakan selisih arus yang mengalir antara arus sekunder CT pada sisi primer dan arus sekunder CT pada sisi sekunder, seperti pada persamaan 11 :

$$I_d = I_2 - I_1 = 1,091 \text{ Amp} - 0,691 \text{ Amp}$$

$$I_d = 0,4 \text{ Amp}$$

Arus *Restrain* dapat dihitung dengan menjumlahkan arus sekunder CT<sub>1</sub> dengan arus sekunder CT<sub>2</sub> dan dibagi dengan 2, seperti pada persamaan 12 :

$$I_r = \frac{I_1 + I_2}{2} = \frac{1,091 + 0,691}{2}$$

$$I_r = 0,891 \text{ Amp}$$

Dimana *Slope 1* berfungsi menentukan arus diferensial dan arus *restrain* saat kondisi normal dan memastikan sensitifitas pada rele saat kondisi gangguan internal dengan arus gangguan yang kecil. *Slope 2* berfungsi agar dimana rele diferensial tidak bekerja pada gangguan eksternal dengan arus gangguan yang sangat besar, sehingga salah satu *Current Transformator* (CT) mengalami saturasi, seperti pada persamaan 13 dan 14 :

Rumus untuk mencari *Percent Slope 1* :

$$\text{Slope}_1 = \frac{I_d}{I_r} \times 100 \% = \frac{0,4}{0,891} \times 100 \%$$

$$= 44 \%$$

Rumus untuk mencari *Percent Slope 2* :

$$\text{Slope}_2 = \left( \frac{I_d}{I_r} \times 2 \right) 100 \% = \left( \frac{0,4}{0,891} \times 2 \right) 100 \%$$

$$= 89 \%$$

Dari hasil perhitungan diperoleh nilai slope 1 sebesar 44 % dan Slope 2 sebesar 89 %.

Arus *setting* rele diferensial dapat dicari dengan mengalikan *slope* dan nilai arus *restrain*. Dengan persamaan 15 :

$$I_{\text{set}} = \% \text{Slope} \times I_r = 44 \% \times 0,891 \\ = 0,3 \text{ Amp}$$

### D. Perhitungan Setting Rele OCR

Rele OCR (*Over Current Relay*) pada busbar proteksi merupakan rele yang bekerja berdasarkan adanya kenaikan arus yang melebihi suatu nilai pengaman tertentu, sehingga rele ini dapat dipakai

sebagai rele pengaman arus lebih. Dari Perencanaan Pemasangan Busbar Proteksi, dimana pada type konduktor AAC 630 mm<sup>2</sup> memiliki kemampuan hantar arus 2.280 A berdasarkan dari pada kemampuan Kuat Hantar Arus pada konduktor Busbar Gardu Induk Dumai. Maka untuk menentukan nilai *Iset* pada rele OCR dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 2.15 dan 2.16 :

Busbar konduktor AAAC 2 x 630, dengan CCC sebesar 2.280 A. Ratio CT yang digunakan adalah 2000/1 A. Referensi Arus setelah dipilih nilai arus CCC atau CT terkecil. Setelan arus nominal rele (*Inr*) adalah 1 A.

1. Arus *Setting* :

$$I_{\text{set}} = (120\%) \times CCC = 1,2 \times 2280$$

$$I_{\text{set}} = 2736 \text{ Amp Primer}$$

$$I_{\text{set}I} = \frac{I_{\text{set}} \times I_n}{CT} = \frac{2736 \times 1}{2000} \\ = 1,368 \text{ Amp Sekunder}$$

2. Waktu *Setting* :

$$\text{TMS} = \frac{\left( \frac{I_{hs} \text{ 3ph}}{I_{\text{set}}} \right)^{0,02} - 1}{0,14} \times T = \frac{\left( \frac{4537}{1,368} \right)^{0,02} - 1}{0,14} \times 1$$

$$\text{TMS} = 1,257 \text{ Detik}$$

$$\text{TMS} = \frac{\left( \frac{I_{hs} \text{ 1ph}}{I_{\text{set}}} \right)^{0,02} - 1}{0,14} \times T = \frac{\left( \frac{4284}{1,368} \right)^{0,02} - 1}{0,14} \times 1$$

$$\text{TMS} = 1,247 \text{ Detik}$$

3. Waktu *Setting* Rele Diferensial pada Busbar :

a. Waktu *Setting* Busbar 3 fasa :

$$tI = \frac{0,14}{I_{hs3 \text{ Fasa}}} \times T_{msI}$$

$$tI = \frac{0,14}{4537} \times 1,257 \text{ Detik}$$

$$tI = 0,0000387 \text{ Detik}$$

b. Waktu *Setting* Rele Diferensial pada Busbar 1 fasa :

$$tI = \frac{0,14}{I_{hs1 \text{ Fasa}}} \times T_{msI}$$

$$tI = \frac{0,14}{4284} \times 1,247 \text{ Detik}$$

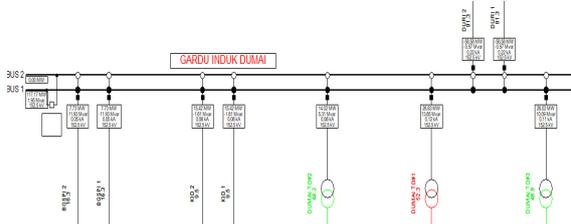
$$tI = 0,0000407 \text{ Detik}$$

Hasil perhitungan busbar pada *setting* rele OCR yang akan digunakan, dimana pada arus *setting* sisi primer ialah 2736 Amp dan arus *setting* sisi sekunder ialah 1,368 Amp, untuk *setting* waktu OCR pada hubung singkat 3 fasa 1,257 Detik dan untuk *setting* waktu OCR pada hubung singkat 1 fasa 1,247 Detik.

**E. Simulasi Menggunakan Software DigSILENT**

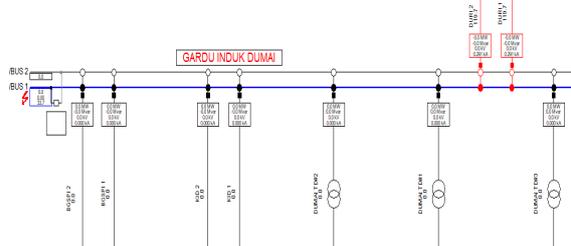
**1. Hubung Singkat Busbar pada Gardu Induk Dumai**

Konfigurasi Gardu Induk Dumai yang hanya beroperasi dengan 1 busbar, kemudian disimulasikan kondisi saat tidak terjadi hubung singkat dan terjadinya hubung singkat, seperti pada Gambar 3 dan 4 berikut :



Gambar 3 Sebelum Terjadinya Hubung Singkat

Terlihat pada simulasi pada Gambar 3, Gardu Induk Dumai hanya beroperasi di 1 busbar saja dan bila disimulasikan dengan adanya hubung singkat, maka yang terjadi seperti pada gambar 4 berikut :

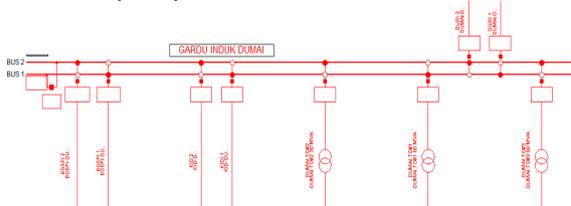


Gambar 4 Setelah terjadi Hubung Singkat

Terlihat pada simulasi diatas, yang dimana busbar Gardu Induk Dumai mengalami hilangnya tegangan (*Blackout*) setelah di hubung singkatkan. Sehingga mengalami terputusnya penyaluran instalasi tenaga listrik.

**2. Pemasangan Busbar Proteksi Gardu Induk Dumai**

Perencanaan pemasangan busbar proteksi Gardu Induk bertujuan untuk memenuhi kebutuhan dalam menjaga kehandalan sistem pada Gardu Induk Dumai, seperti pada Gambar 5.

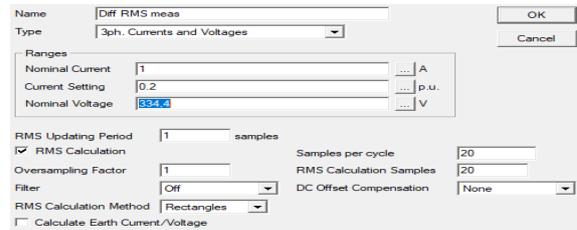


Gambar 5. Single Line Diagram perencanaan Busbar Proteksi Gardu Induk Dumai

Hasil simulasi pada Gardu Induk Dumai dipasang Couple Bus 150 kV, bertujuan untuk menghubungkan antara Tegangan serta beban yang berada pada Busbar 1 dan Busbar 2 dengan difasilitasi Circuit Breaker (CB) sebagai pemutus tenaga bila dimana salah satu busbar mengalami hubung singkat.

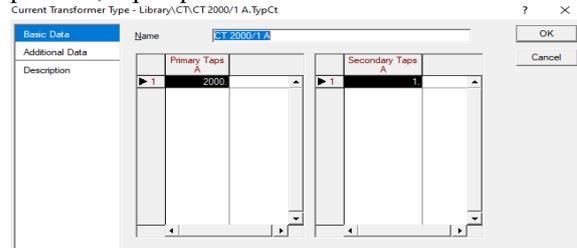
**3. Penginputan Setting Rele Diferensial DigSILENT**

Pada hasil perhitungan rele diferensial maka dilakukan penginputan data setting, seperti pada gambar 6 :



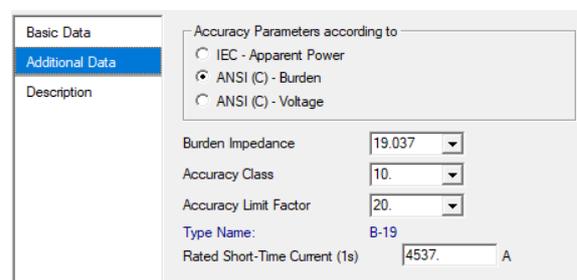
Gambar 6. Penginputan Setting Diferensial

Terlihat pada simulasi diatas, dimana pada  $I_{nom} = 1$ ,  $I_{set} = 0,2 \text{ Amp}$  dan Nominal Tegangan  $334,4 \text{ Volt}$  pada setting busbar 1 dan busbar 2. Untuk mengisi data pada setting rele OCR dan Ratio CT yang direncanakan dalam melakukan pemasangan busbar proteksi, seperti pada Gambar 7 :



Gambar 7. Setting Ratio CT pada Bay Couple

Terlihat pada simulasi Gambar 7, dimana pada Ratio CT yang dipasang pada busbar ialah 2000/1 A, yang digunakan sebagai pengaturan arus hubung singkat. Nilai Arus Hubung Singkat pada yang dalam setting rele OCR yang direncanakan dalam melakukan pemasangan busbar proteksi, seperti pada Gambar 8 :

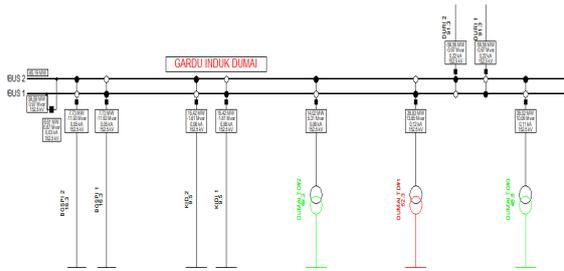


Gambar 8 Setting Nilai Arus Hubung Singkat

Terlihat pada simulasi diatas, dimana pada setting Arus Hubung Singkat pada rele OCR adalah 4537 Amp dengan Impedansi 19,037 Ohm.

**4. Cara Kerja Busbar Proteksi pada Simulink**

Setelah memasukkan data pada item simulasi yang ada pada Gardu Induk Dumai, kemudian lakukan *calculate load flow*. Pada rangkaian tersebut, nilai metering saat beroperasi dalam kondisi normal, seperti pada Gambar 9 :



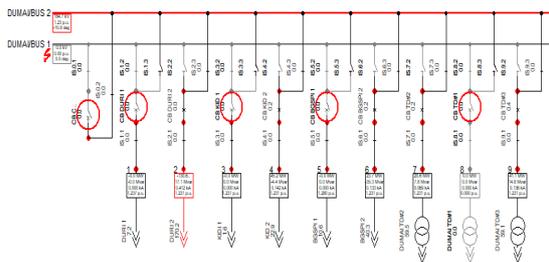
Gambar 9 Nilai metering saat beroperasi dalam kondisi Normal

Terlihat simulasi rangkaian pada gambar 9, dimana pada konfigurasi Gardu Induk Dumai yang beroperasi pada Busbar 1 ialah Bay Line Duri 1, Bay Line KID 1, Bay Line Bagan Siapi-Api 1 dan Bay Trafo Daya 1. Kemudian yang beroperasi pada Busbar 2 ialah Bay Line Duri 2, Bay Line KID 2, Bay Line Bagan Siapi-Api 2, Bay Trafo Daya 2 dan Bay Trafo Daya 3.

**F. Simulasi Hubung Singkat pada Busbar**

**1. Hubung Singkat Busbar 1**

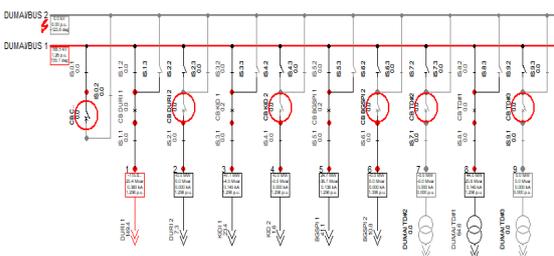
Hasil simulasi hubung singkat menggunakan *Software DigSILENT*, seperti pada Gambar 10. Gambar 10 memperlihatkan saat terjadinya hubung singkat pada busbar 1. *Circuit Breaker (CB) Couple*, Duri 1, KID 1, Bagan Siapi-Api 1 dan Trafo Daya 1 mengalami trip. Namun Bay yang beroperasi pada busbar 2 masih dalam keadaan masuk (Normal), sehingga penyaluran pada Gardu Induk Dumai tidak mengalami padam total (*Blackout*).



Gambar 10. Hubung Singkat pada Busbar 1

**2. Hubung Singkat Busbar 2**

Hasil simulasi hubung singkat menggunakan *Software DigSILENT*, seperti pada Gambar 11 :

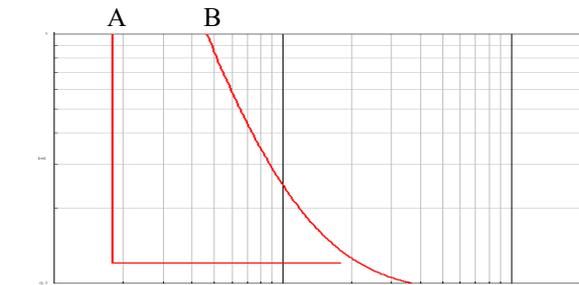


Gambar 11 Hubung Singkat pada Busbar 2

Gambar 11 memperlihatkan hubung singkat yang terjadi pada busbar 2. *Circuit Breaker (CB) Couple* Duri 2, KID 2, Bagan Siapi-Api 2, Trafo Daya 2 dan Trafo Daya 3 mengalami trip, Namun Bay yang beroperasi pada Busbar 1 masih dalam keadaan masuk (Normal), sehingga penyaluran pada Gardu Induk Dumai tidak mengalami padam total (*Blackout*).

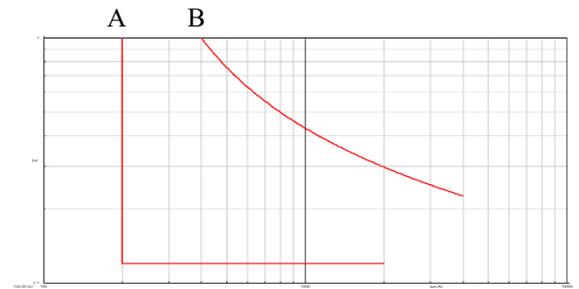
**Kinerja Time OCR Eksisting dengan Diferensial**

*Over Current Relay* untuk mengamankan busbar pada kondisi saat ini terletak pada *couple* busbar dengan retio CT 2000/1 Amp. OCR baru akan bekerja ketika arus sekunder CT *couple* melebihi nilai 1,368 Amp atau terjadi aliran arus pada *couple* lebih dari 2736 Amp. Arus gangguan pada busbar yang kurang dari 2736 Amp tidak akan mengidentifikasinya sebagai gangguan, seperti pada Gambar 12 dan 13 :



Gambar 12 Kurva Hubung Singkat OCR pada Busbar 1

Terlihat pada simulasi rangkaian diatas, pada saat terjadinya hubung singkat yang dimana rele diferensial bekerja dengan memberikan sinyal trip kepada *Circuit Breaker (CB)* disemua Bay yang terhubung pada busbar yang dilindungi. Karakteristik yang diterapkan pada rele diferensial busbar 1, rele OCR memerlukan waktu 1,257 detik untuk mentripkan semua *Circuit Breaker (CB)* disemua Bay yang terhubung pada Busbar 1, yang dimaksud pada poin A ialah menunjukkan kurva waktu dan B menunjukkan kurva Arus yang trip.



Gambar 13. Kurva Hubung Singkat OCR pada Busbar 2

Terlihat pada simulasi rangkaian diatas, pada saat terjadinya hubung singkat yang dimana rele diferensial bekerja dengan memberikan sinyal trip kepada *Circuit Breaker (CB)* disemua Bay yang

terhubung pada busbar yang dilindungi. Karakteristik yang diterapkan pada rele diferensial busbar 2, rele OCR memerlukan waktu 1,257 detik untuk mentripping semua *Circuit Breaker* (CB) disemua Bay yang terhubung pada Busbar 2, yang dimaksud pada poin A ialah menunjukkan kurva waktu dan B menunjukkan kurva Arus yang trip.

#### 4. KESIMPULAN DAN SARAN

##### A. Kesimpulan

1. Dengan konfigurasi busbar yang direncanakan, maka bila terjadinya gangguan pada busbar 150 kV Gardu Induk Dumai tidak mengalami *Blackout*/padam total karena sebelumnya busbar belum di fasilitasi dengan *Couple* Busbar.
2. Rele diferensial yang berfungsi sebagai pengaman pada busbar Gardu Induk Dumai dengan *setting* rele Diferensial 0,3 *Amp*, Arus Reistrain 0,891 *Amp*, *Slope1* 44 %, *Slope2* 89%.
3. Pada *Setting* rele OCR *Iset* yang digunakan ialah  $(120\%) \times \text{Current Carrying Capacity}$  (kemampuan hantar arus kawat pengantar) yaitu pada *Iset* 2736 *Amp* (Primer) dan *Iset* 1,368 *Amp* (Sekunder) dengan *setting* waktu 1,257 Detik.

##### B. Saran

Jika terjadi gangguan akan mengalami padam total (*Blackout*) yang berdampak kepada peralatan Gardu Induk Dumai. Disarankan harus dilakukan pemasangan Rele Busbar Proteksi dan ditambah *Couple* Bus pada Gardu Induk Dumai tersebut.

#### 5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] E. Diniardi, Syawaluddin, A. I. Ramadhan, W. Isnain, E. Dermawan, and D. Almanda, "Analisis Desain Pickup Piezoelektrik Elemen dari Model Hybrid Solar Cell- Piezoelectric untuk Daya Rendah," *Jurnal Teknologi*, vol. 9, no. 2, 2017.
- [2] A. Fauzi, I. G. D. Arjana, and C. G. I. Partha, "Menggunakan Rele Diferensial Di Gardu Induk Sanur," *Jurnal Spektrum*, vol. 7, no. 2, pp. 101–108, 2020.
- [3] W. Octary, H. Eteruddin, and A. Tanjung, "Susut Tegangan pada Penghantar ACCC di Saluran Transmisi 150 kV di PT. PLN (Persero) Unit Pelayanan Transmisi Pekanbaru," *SainETIn*, vol. 5, no. 1, pp. 1–7, 2020.
- [4] DIGSILENT, "DIGSILENT PowerFactory 15 Tutorial." DIGSILENT GmbH, Gomaringen, p. 100, 2014.
- [5] H. Eteruddin, D. Setiawan, and P. P. P. Hutagalung, "Evaluasi Jaringan Tegangan Menengah 20 kV Pada Feeder 7 Peranap PT. PLN Persero Rayon Taluk Kuantan," in *Seminar Nasional Pakar*, 2020, pp. 1.4.1-1.4.6.
- [6] A. Van Anugrah, H. Eteruddin, and A. Arlenny, "Studi Pemasangan Express Feeder Jaringan Distribusi 20 kV Untuk Mengatasi Drop Tegangan Pada Feeder Sorek PT. PLN (Persero) Rayon Pangkalan Kerinci," *SainETIn*, vol. 4, no. 2, pp. 65–71, 2020.
- [7] H. Hardiyanto, A. Arlenny, and Z. Zulfahri, "Studi Penempatan Recloser Pada Jaring Distribusi 20 kV di Penyulang 21 Tarai PT. PLN (Persero) Rayon Panam," *Jurnal Teknik*, vol. 11, no. 1, pp. 11–19, 2017.
- [8] A. R. Iklas, A. Arlenny, and U. Situmeang, "Studi Penempatan Recloser pada Jaring Distribusi 20 kV Di Penyulang 12 Kualu PT. PLN (Persero) Rayon Panam," *Jurnal Teknik*, vol. 11, no. 1, pp. 1–10, 2017.
- [9] H. Asman, H. Eteruddin, and A. Arlenny, "Analisis Proteksi Rele Jarak Pada Saluran Transmisi 150 kV Garuda Sakti – Pasir Putih Menggunakan PSCAD," *SainETIn*, vol. 2, no. 1, pp. 27–36, 2018.
- [10] M. J. T. Manurung, "Studi Pengaman Busbar 150 kV Pada Gardu Induk Siantan," *Tek. Elektro Univ. Tanjungpura*, vol. 1, no. 1, 2013.
- [11] B. L. Tobing, *Peralatan Tegangan Tinggi*, 2nd ed. Jakarta: Erlangga, 2012.
- [12] G. Multilin, "B90 Low Impedance Bus Differential System." G E Grid Solutions, Ontario, 2017.
- [13] H. Eteruddin, A. A. Mohd Zin, and B. Belyamin, "Line Differential Protection Modeling with Composite Current and Voltage Signal Comparison Method," *Telkomnika*, vol. 12, no. 1, Mar. 2014.
- [14] P. Bonar, *Praktik-praktik Proteksi Sistem Tenaga Listrik*. Yogyakarta: CV. Andi Offset, 2012.
- [15] T. Aryanto, *Proteksi Tegangan Tinggi*. Jakarta Pusat: PT PLN ( Persero ) Pusdiklat, 2009.
- [16] A. Tanjung and M. Monice, "Reconstruction of Power Supply System 20 kV Distribution to Compare Power Rate and Fall Voltage PT. PLN (Persero) Area Dumai," in *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2017, vol. 97, no. 1, p. 012048.
- [17] Tukiman, K. Handono, and A. Satmoko, "Analisis Arus Hubung Singkat Pada Sistem Catu Daya Listrik Iradiator Gamma," *Batan : Pusat Rekayasa Fasilitas Nuklir*, 2017.
- [18] R. Abdullah, D. Meliala, and Z. Zulfahri, "Studi PLTG Unit 2 Pusat Listrik Balai Pungut Sebagai Black Start Saat Kehilangan Tegangan Pada Sistem 150 kV," *SainETIn*, vol. 2, no. 1, pp. 11–17, 2018.