

# Menentukan Setting Rele Differential Pada Bus-Bar Di Gardu Induk Paya Pasir Medan

**Yusmartato, Ramayulis Nasution, Armansyah**

Dosen Prodi Teknik elektro Fakultas Teknik, Universitas Islam Sumatera Utara  
Jl. SM. Raja Teladan, Medan (20217)

[yusmartato@ft.uisu.ac.id](mailto:yusmartato@ft.uisu.ac.id) ; [ramayulis@ft.uisu.ac.id](mailto:ramayulis@ft.uisu.ac.id) ; [armansyah@ft.uisu.ac.id](mailto:armansyah@ft.uisu.ac.id)

## Abstrak

*Bus-bar sangat penting penggunaannya pada sistem tenaga listrik yaitu untuk menyalurkan dan membagi tenaga listrik dari sumber ke beban melalui feeder yang tersedia dan dengan bus-bar ini pula pembagian daya listrik dapat diatur dengan mudah untuk setiap feedernya. Dalam hal ini bus-bar ditempatkan pada suatu tempat yang disebut seradung (switch yard) pada gardu induk yang terletak setrategis baik dari segi keamanan maupun sistem pendistribusian energi listriknya, hal ini dilakukan untuk memperkecil kemungkinan terjadinya kerusakan pada peralatan akibat gangguan yang tidak diinginkan pada bus-bar serta untuk mengurangi tertundanya pelayanan energi listrik kekonsumen. Sistem pengaman dari bus-bar tergantung dari besar dan pentingnya bus-bar tersebut untuk diamankan, dalam hal ini proteksi utama pada bus-bar adalah rele differensial. Rele differensial bekerja berdasarkan perbedaan antara dua atau lebih vektor besaran ukur listrik yang sama, dengan cara membandingkan arus yang masuk dan keluar belitan yang diproteksi. Sistem proteksi dapat dikatakan baik apabila terjadi gangguan pada bus-bar proteksi rele sebagai pengaman dapat mengatasi gangguan tersebut dengan baik tanpa harus merusak peralatan yang ada pada bus-bar.*

*Kata Kunci : Gangguan, Bus-bar, Proteksi, Rele Diffrensial*

## I. PENDAHULUAN

Bus-bar adalah suatu perlengkapan untuk menyalurkan dan membagi energi listrik dari sumber ke beban melalui feeder yang tersedia dan dengan bus-bar ini pula pembagian daya listrik dapat diatur dengan mudah untuk setiap feedernya, melalui suatu peralatan yang berbentuk seperti rel yang fungsinya sangat penting dalam suatu sistem penyaluran tenaga listrik yang berada pada gardu induk, maka bus-bar ini harus dapat diamankan dari gangguan yang tidak diharapkan.

Sistem pengaman dari bus-bar tergantung dari besar dan pentingnya bus-bar tersebut untuk diamankan, dalam hal ini proteksi utama pada bus-bar ialah rele differensial serta didukung oleh alat proteksi lainnya apabila proteksi differensial tersebut mengalami kegagalan kerja.

Gangguan yang terjadi pada bus-bar mengakibatkan kerusakan pada komponennya yang terkena gangguan sehingga tidak akan berfungsi sebagaimana yang dikehendaki dan mengakibatkan terputusnya penyaluran daya ke konsumen. Usaha untuk mencegah hal tersebut, maka bus-bar diperlengkapi dengan rele yang berfungsi sebagai alat untuk mendeteksi adanya gangguan atau kelainan pada peralatan di mana rele tersebut dipasang. Pengaman pada bus-bar tergantung dari besar dan pentingnya bus-bar tersebut untuk diamankan, dalam hal ini proteksi utama yang dipergunakan pada bus-bar adalah rele differensial yang berkerja berdasarkan perbedaan antara dua atau lebih vektor besaran ukur listrik yang sama, dengan cara membandingkan arus yang masuk dan ke luar belitan yang diproteksi.

## II. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1. Bus-Bar

Pada Gardu Induk, bus-bar merupakan peralatan utama sebagai penyalur daya kekonsumen melalui jaringan transmisi dan peralatan lainnya. Gangguan yang terjadi pada bus-bar mengakibatkan kerusakan pada komponennya yang terkena gangguan sehingga tidak akan berfungsi sebagaimana yang dikehendaki dan mengakibatkan terputusnya penyaluran daya kekonsumen. Untuk mencegah hal tersebut, maka bus-bar diperlengkapi dengan rele yang berfungsi sebagai alat untuk mendeteksi adanya gangguan atau kelainan pada peralatan dimana tempat rele tersebut dipasang.

### 2.2. Fungsi Bus-Bar

Bus-bar sangat penting penggunaannya pada sistem tenaga listrik yaitu untuk menyalurkan dan membagi daya listrik dari sumber ke beban melalui feeder yang tersedia dan dengan bus-bar ini pula pembagian daya listrik dapat diatur dengan mudah untuk setiap feedernya.

Saluran transmisi dan distribusi dihubungkan dengan gardu induk, jadi gardu induk ini merupakan tempat pemusatan dari energi listrik yang dibangkitkan melalui saluran sistem interkoneksi dari sistem transmisi dan distribusi kepada para pelanggan. Saluran transmisi dan distribusi ini dihubungkan dengan bus-bar melalui transformator utama pada gardu induk. Setiap saluran transmisi mempunyai “*switch gear*” dan “*disconnecting switch*” sebagai alat bantu pengaman dari bus-bar.

### 2.3 Rele Differensial

Rele yang digunakan sebagai pengaman utama pada bus-bar adalah rele differensial (*differential relay*), karena rele ini hanya dapat memproteksi gangguan dari dalam bus-bar yang diproteksi itu sendiri (*internal*), tergantung dimana rele tersebut dipasangkan pada peralatan. Rele ini dapat disetting sesuai dengan ketentuan yang sudah ditetapkan, hal ini dilakukan agar bus-bar yang dilindungi dapat terhindar dari gangguan yang tidak diinginkan.

Jenis rele differensial yang biasanya digunakan pada bus-bar ada dua, yaitu:

1. Rele differensial impedansi tinggi (*high impedance differential relay*).
2. Rele differensial dengan bias (*restraint differential relay*).

Kedua jenis rele tersebut merupakan bagian elemen differensial dan sistem rele proteksi bus-bar. Elemen differensial tersebut berfungsi sebagai elemen pengukur yang memberikan perintah trip untuk gangguan dalam (*internal*) dan tetap stabil untuk gangguan luar (*eksternal*), elemen differensial ini terdapat pada semua jenis proteksi bus-bar.

Elemen pendukung lainnya yang terdapat pada rele differensial adalah :

1. Elemen pengawas rangkaian sekunder transformator arus (*CT Supervision*), yang berfungsi sebagai pengawas rangkaian sekunder transformator arus yang terbuka.
2. Rele pemula (*starting*), yang berfungsi untuk meningkatkan keamanan rele akibat kesalahan kerja elemen differensial. Elemen ini biasanya di pasang pada rele arus lebih sebagai rele pelengkap dari sistem proteksi bus-bar.

### 2.4 Rele Differensial Berimpedansi Tinggi (*High Impedance Differential Relay*)

Jenis rele berimpedansi tinggi antara lain terdiri dari:

- Rele differensial impedansi tinggi dengan arus sirkulasi transformator arus (berdasarkan besarnya arus).
- Rele differensial impedansi (berdasarkan tegangan drop)
- Rele differensial impedansi tinggi dengan tegangan sistem (berdasarkan besarnya tegangan).

#### a. Rele differensial impedansi tinggi dengan arus sirkulasi transformator arus (berdasarkan besarnya arus).

Proteksi bus-bar ini berdasarkan pada perbandingan beda fektor arus dalam susunan yang dihubungkan pada sebuah resisten dapat dihubung seri dengan rele guna mengurangi besarnya arus yang mengalir serta menstabilkan keadaan rele. Rele jenis ini sama halnya dengan rele differensial dengan sistem bias yang disebut juga rele impedansi tinggi (*High Impedance relay*).

#### b. Rele differensial impedansi (berdasarkan tegangan drop)

Proteksi ini juga bekerja berdasarkan pada perbandingan vektor arus, hanya saja tegangan yang ditimbulkan oleh CT lebih besar. Selama kondisi normal jumlah vektor arus dalam susunan ini adalah nol, dan apabila selama gangguan pada bus-bar keseimbangan arus terganggu, maka arus tidak seimbang ini akan mengalir melewati impedansi tinggi (ZH) dan menimbulkan drop tegangan (VZH). Tegangan ini akan disuplai keunit pengukur melalui trafo T. Selama gangguan terjadi pada bus-bar rangkaian trip seluruh CB (*Circuit Breaker*) ditutup oleh rele yang telah dipasangkan pada bus-bar. Oleh karena itu bus-bar akan dipisahkan di mana tegangan yang ditimbulkan lebih tinggi.

Jika rele pada sistem pengukuran menunjukkan jatuhnya tegangan dan bukannya sirkulasi arus, kejenuhan pada CB akan menyebabkan proteksi menjadi tidak stabil. Selama gangguan eksternal, salah satu CT mungkin dalam keadaan jenuh, oleh karena itu output akan dikurangi dan jumlah vektor arus pada sekunder tidak akan menjadi nol. Arus yang tak seimbang inilah yang akan menyebabkan rele bekerja. Walau bagaimanapun jatuhnya tegangan melalui CT pada keadaan jenuh akan dibatasi oleh settingan rele yang telah ditentukan, sebab nilai pada rele relatif rendah. Walau bagaimanapun jatuhnya tegangan pada CT tidak akan bertambah tetapi mendekati nol dibawah kondisi jenuh dengan demikian  $V_{ZH}$  dikurangi.

#### c. Rele differensial impedansi tinggi (berdasarkan besarnya tegangan)

Pola ini menggunakan CT biasa (*conventional*) tetapi masalah kejenuhan diatasi dengan rele differensial impedansi tinggi. Keadaan ini untuk mengatasi kesalahan arus differensial yang mengalir melewati transformator arus yang lebih besar dari coil rele yang beroperasi. Keadaan ini mensyaratkan tahanan sekunder CT yang rendah, hal ini dapat dipenuhi dengan menggunakan CT *bushing*, CT yang kebocoran reaktansinya dapat diabaikan, dan oleh sebab itu impedansi sekundernya rendah.

Membedakan antara tegangan akibat gangguan dalam dengan gangguan luar yang digunakan ke rele. Pada gangguan dalam, tegangannya tinggi mendekati tegangan pengaman terbuka pada CT, sedangkan pada gangguan eksternal tegangan akan rendah dan akan mendekati nol.

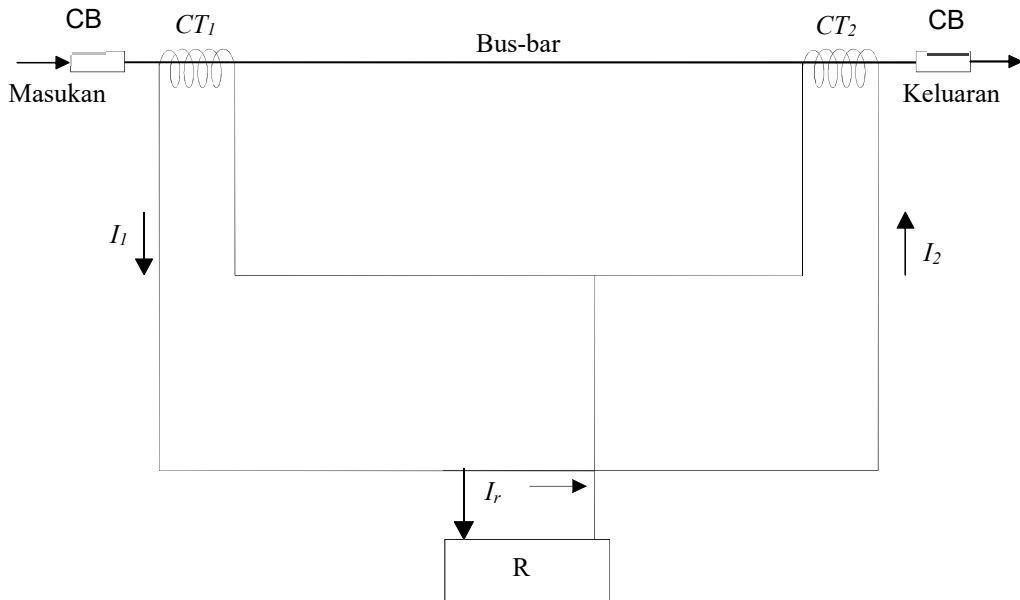
Rele tegangan dioperasikan lewat gelombang penuh rectifier kapasitansi dan induktansi dipilih pada frekwensi dasar untuk menurunkan pengaruh semua harmonisa impedansi cabang ini sekitar 3000 ohm, yang berarti sekunder CT dan rele mendapatkan tegangan tinggi saat gangguan pada bus-bar. Thyristor yang dihubungkan paralel dengan rele untuk membatasi tegangan sekitar 1500 Volt serta hubungan seri dengan unit arus lebih sehingga membuat rele arus lebih ini bekerja sangat cepat untuk gangguan internal.:

**2.5 Prinsip Kerja Rele Differensial Pada Bus-bar**

Prinsip kerja rele differensial pada bus-bar berdasarkan pada prinsip keseimbangan arus, jadi membandingkan jumlah arus yang masuk dengan jumlah arus yang keluar bus-bar.

Bila terjadi perbedaan arus antara kedua penjumlahan arus, Arus yang ditimbulkan pada CT<sub>1</sub> dimisalkan I<sub>1</sub> dan arus yang ditimbulkan pada CT<sub>2</sub> yaitu I<sub>2</sub>, maka rele akan bekerja bila arus CT yang mengalir sebesar :

$$I_1 > I_2$$



Gambar 1. Diagram satu garis pada rele differensial bus-bar

Pada saat bus-bar dalam keadaan normal jumlah I<sub>1</sub> = I<sub>2</sub> dimana I<sub>r</sub> = 0 pada hubungan ini dapat dilihat dari rumus berikut ini :

$$I_r = I_1 - I_2$$

Pada saat I<sub>r</sub> = 0 maka agar R tidak mendapat energi akibat dari perbedaan arus yang masuk I<sub>1</sub> dan arus yang keluar I<sub>2</sub>, maka dalam hal ini R = 0. Disini dapat dilihat bahwa daerah yang diamankan adalah daerah yang berada diantara CT<sub>1</sub> pada sisi masukan dan CT<sub>2</sub> pada sisi keluaran.

Bila pada bus-bar tersebut terdapat beberapa feeder keluaran (outgoing) dan menggunakan beberapa CT, hal ini dapat dinyatakan sebagai penjumlahan dari seluruh CT yang ada pada sisi feeder tersebut, sehingga:

$$\sum In = I_1 + I_2 + I_3 + \dots + I_N = I_1$$

Begitu juga sama halnya dengan I<sub>1</sub> dimana CT ini terletak pada sisi penyuplaian (incoming). Yang terpenting adalah jika keadaan normal jumlah arus yang masuk sama dengan jumlah arus yang keluar, sedangkan jika terjadi gangguan internal maka arus yang masuk tidak sama dengan arus yang keluar, sehingga I ≠ 0 dan akan menyebabkan rele tersebut bekerja.

**III. ANALISA DAN PEMBAHASAN**

**3.1 Data-data rele differensial yang dipakai pada bus-bar**

**1. Rele differensial**

Merek	:	MBCH 1201AB07510
No. seri	:	518002B
Isett	:	0,2 Amp
In	:	1 Amp
Ratio CT	:	300/ 1 Amp
f	:	50 Hz
Vx	:	110/125 Volt

Rumus

$$I_{sett} = \sum I_{sett (kutub\ rele\ 1-6)} \times In$$

**2. Trafo daya**

Nama trafo	:	TD.1
Merek	:	PASTI
No. seri	:	93.P0024
Ratio tegangan	:	150/ 20 kV
Kapasitas	:	60 MVA
In	:	1.732 Amp

**3. Pemutus tenaga (PMT)**

Merek	:	AEG
Made	:	GERMANY
Type	:	SI.170 F1
No. seri	:	3.000.958/ 001
I <sub>n</sub>	:	3150 Amp
V <sub>n</sub>	:	170 kV

**4. Pemisah tenaga (PMS)**

Merek	:	COELME
Made	:	ITALIA
Type	:	SDC
No. seri	:	889.0/ 3-R
I <sub>n</sub>	:	1250 Amp
V <sub>n</sub>	:	170 kV

**5. Current Transformers (CT)**

Merek	:	ABB
Made	:	Australia
Type	:	IMBD.170L4T
CLS	:	0,5/ 5P20
Burden	:	20/ 40 Ohm
Ratio	:	300/ 1 Amp

**3.4. Settingan Rele Differensial.**

Prinsip dasar suatu settingan rele differensial didasarkan pada dua hal, yaitu :

- a. Rele sesensitif mungkin sehingga bila terjadi gangguan yang kecil pun rele dapat mendeteksi gangguan dari daerah yang tidak diamankan.
- b. Disamping harus sensitif perlu menjadi perhatian agar tidak salah kerja.

Kedua hal diataslah yang membatasi settingan rele sehingga kesensitifan rele terbatas. Settingan rele differensial dilakukan untuk menyeting harga tap arus kumparan dan pemilihan arus minimum. Pemilihan harga tap arus dilakukan dengan sedemikian rupa, sehingga arus tidak seimbang yang mungkin timbul adalah sekecil mungkin. Harga arus kerja minimum ditentukan oleh besarnya arus tidak seimbang yang terjadi dan persentase pengubah arus berbeban. Pemilihan arus kerja minimum dapat diuraikan sebagai berikut :

1. Dipilih tap transformator arus yang sesuai, sehingga memberikan arus sekunder transformator arus sebesar 5 Amp (standard) pada kVA maksimum.
2. Pilih tap arus rele yang sebanding dengan arus yang mengalir ke rele.
3. Tentukan harga ketidak seimbangan dengan rumus sebagai berikut :
- 4.

$$\% \text{ketidakseimbangan} = \frac{I_{RL} - T_L}{I_{RH} \cdot \frac{T_H}{a}} \times 100\%$$

Dimana :

I<sub>RL</sub>, I<sub>RH</sub> : Arus yang masuk ke rele dari sisi tegangan tinggi dan rendah transformator daya.

T<sub>L</sub>, T<sub>H</sub> : Harga tap arus rele untuk sisi tegangan tinggi dan rendah transformator daya.

a : Perbandingan transformator dan diambil harga a sekecil mungkin diantara

$$\frac{I_{RL}}{I_{RH}} \text{ dan } \frac{T_L}{T_H}$$

5. Periksa performance transformator arus.

- a. Beban maksimum transformator arus dapat dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut :

- Untuk transformator arus yang dihubungkan secara delta :  $Z_B = 3 (RTc + RL + ZT)$

- Untuk transformator arus yang dihubungkan secara bintang :  $ZB = (RTc + RL + ZT)$

Di mana :

R<sub>TC</sub> : Tahanan transisi pada titik kontak yang umumnya sebesar 0,05 Ω impedansi beban.

R<sub>L</sub> : Tahanan kabel penghubung

R<sub>T</sub> : Beban total sisi sekunder transformator arus

- b. Menentukan % kesalahan transformator arus.

Pada keadaan gangguan yang terjadi diluar daerah pengaman (dengan arus gangguan sebesar 20 kali tap arus rele), maka % kesalahan transformator arus tidak boleh melebihi 10 %. Jadi untuk menghitung kesalahan transformator arus dapat digunakan kurva karakteristik transformator arus yang digunakan dengan cara sebagai berikut :

$$\% \text{kesalahan trafo arus} = \frac{a (I_s - I_p)}{I_p} \times 100\%$$

Dimana :

I<sub>s</sub> : Arus sekunder trafo arus

I<sub>p</sub> : Arus primer trafo arus

a : Perbandingan transformator

Pada Gardu Induk KIM memiliki arus beban puncak harian sebesar 1195 Amp, Arus gangguan (I<sub>fault</sub>) yang terjadi antara fasa ke fasa sebesar 35.000 Amp dan ratio arus pada CT adalah 300/ 1 Amp.

Nilai-nilai setelan arus pada rele dihitung sebagai berikut :

1. Nilai setelan rele pada tegangan 150 kV

- Setelan Arus

$$I_{set (pri)} = 1,05 \times I_{beban (maks)}$$

Sebagai contoh :

Bila diketahui (Dari daftar beban puncak harian) :  
 Arus beban maksimum adalah 1195 Amp  
 Maka :

$$\begin{aligned}
 I_{\text{sett (pri)}} &= 1,05 \times I_{\text{beban (maks)}} \\
 &= 1,05 \times 1195 \\
 &= 1.254,7 \text{ Ampere}
 \end{aligned}$$

Nilai setelan tersebut adalah nilai primer. Untuk mendapatkan nilai setelan sekunder yang dapat disettingkan pada rele differensial, maka harus dihitung dengan menggunakan data ratio transformator arus yang terpasang pada rele tersebut yaitu sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 I_{\text{set (sek)}} &= I_{\text{set (pri)}} \times \frac{1}{\text{RatioCT}} \\
 &= 1.254,7 \times \frac{1}{300} \text{ Ampere} \\
 &= 4,18 \text{ Ampere}
 \end{aligned}$$

- Setelan Waktu (TMS)  
 Setelan waktu (TMS) rele standart dihitung dengan menggunakan rumus perhitungan sebagai berikut :

$$t = \frac{0,14 \times TMS}{\left(\frac{I_{\text{fault}}}{I_{\text{sett}}}\right)^{0,02} - 1}$$

$$TMS = \frac{t \left[ \left(\frac{I_{\text{fault}}}{I_{\text{sett}}}\right)^{0,02} - 1 \right]}{0,4}$$

Di mana :  
 TMS : Setelan waktu rele  
 $I_{\text{sett (sek)}}$  : Setelan arus pada sisi sekunder trafo (A)  
 $I_{\text{sett (pri)}}$  : Setelan arus pada sisi primer trafo (A)  
 t : Waktu kerja rele (detik)  
 $I_{\text{fault}}$  : Arus gangguan (Amp)

Dik :  
 $I_{\text{fault}} = 35.000 \text{ Amp}$   
 $I_{\text{sett (rele)}} = 0,2 \text{ Amp}$   
 $t = 0,4 \text{ detik}$

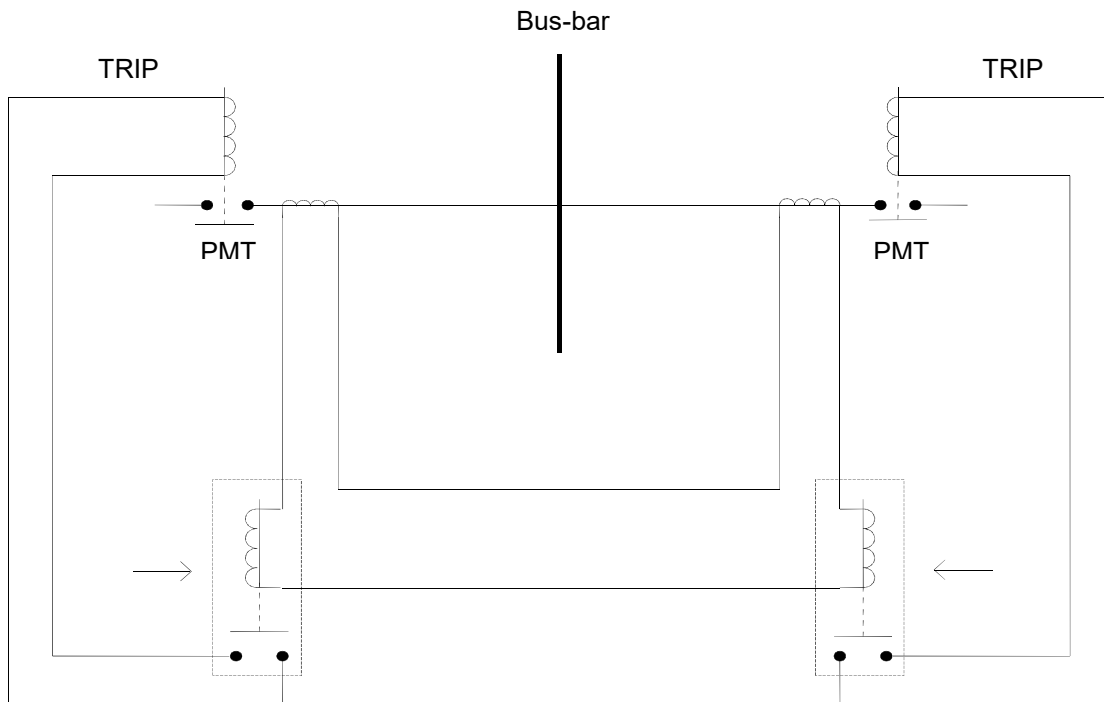
Jadi :

$$TMS = \frac{t \times \left[ \left(\frac{I_{\text{fault}}}{I_{\text{sett (rele)}}}\right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$TMS = \frac{0,4 \times \left[ \left(\frac{35.000}{0,2}\right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

TMS = 0,78627

Maka :  
 Setelan waktu ( TMS ) pada rele adalah : 0,78627



Gambar 2. Rangkaian Rele Differensial Pada Bus-Bar

#### IV. KESIMPULAN DAN SARAN

##### 4.1. Kesimpulan

1. Rele yang dipergunakan sebagai pengaman utama pada bus-bar adalah rele differensial, karena rele ini dapat efektif memproteksi gangguan yang terjadi pada daerah busbar yang dilindungi.
2. Prinsip kerja rele pada bus-bar berdasarkan pada prinsip keseimbangan arus.
3. Rele differensial harus sensitif mungkin, sehingga bila terjadi gangguan rele dapat mendeteksi dan bekerja.
4. Rele differensial sebagai pengaman utama bus-bar harus disetting sesuai dengan data-data yang digunakan di GI. KIM tersebut.

##### 4.2. Saran

1. Hendaklah melakukan pengecekan atau pemeriksaan pada peralatan secara terjadwal agar peralatan dapat bekerja dengan baik dan tahan lama.
2. Sebaiknya pada lokasi peralatan dapat dibuat pembatas berupa pagar, hal ini dilakukan untuk keamanan dan keselamatan para pekerja.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] A.Arismunandar, 1979, *Teknik Tenaga Listrik, Jilid III*, Penerbit P.T Pradnya Paramita, Jakarta.
- [2] AR. Van. C., Warrington. Chapman and Hall, 1982, *Protective Relay, Their Theory and Practice volume one*, New York.
- [3] Bien, Liem Ek, Helna Dita, 2007, *Studi Penyetelan Rele Diferensial pada Transformator PT. Chevron Pasific Indonesia*, Dosen Jurusan Teknik Elektro FTI, Fakultas Teknik, Universitas Trisakti, Jakarta.
- [4] Edy Supriyadi, 1999, *Sistem Pengaman Tenaga Listrik*, Penerbit Adicita Karya Nusa, Yogyakarta.
- [5] Soedibyono, *Gardu Induk* kerja sama PLN-Institut Teknologi Bandung (ITB).
- [6] Sunil. S Rao, 1982, *Switchgear and protection, Khana publisher 6th*, New Delhi.
- [6] Titarenko-M and Inoscov, *Protection in Electric Power Sistem, Second Printing, Pease publisher, Moscow*.
- [5] Toha, M., 2013, *Pola Dasar Proteksi Gardu Induk*, Semarang.