**Analisa Setting Relai Arus Lebih (OCR) Dan Relai Gangguan Tanah (GFR) Pada Penyulang Gurami Gardu Induk Sungai Kedukan Palembang**

**Choirul Rizal1, Abdul Azis2**

1 Program Studi Teknik Elektro, Universitas Palembang, Indonesia
2 Program Studi Teknik Elektro, Universitas PGRI Palembang, Indonesia.

\*e‒mail: choirulrizal1962@gmail.com, azis@univpgri‒palembang.ac.id

**ABSTRAK**

Relai Arus Lebih merupakan peralatan yang mensinyalir adanya arus lebih, baik yang disebabkan oleh adanya gangguan hubung singkat yang dapat merusak peralatan sistem tenaga listrik yang berada dalam wilayah proteksinya. Relai arus lebih ini digunakan hampir pada seluruh pola pengamanan sistem tenaga listrik, dan dapat juga digunakan sebagai pengaman utama ataupun pengaman cadangan. Dari hasil penelitian diperoleh hasil bahwa besarnya arus gangguan hubung singkat dipengaruhi oleh jarak titik gangguan, semakin jauh lokasi gangguan maka arus gangguan hubung singkat akan semakin kecil, begitu pula sebaliknya. Waktu kerja relai di sisi penyulang lebih cepat dibandingkan dengan waktu kerja di incoming dengan selisih waktu rata-rata sebesar 1,34 detik. Hal ini disebabkan lokasi gangguan mempengaruhi besar kecilnya selisih waktu. Semakin jauh jarak lokasi gangguan, maka semakin besar selisih waktu kerja relai di incoming.

***Kata Kunci: Setting, Relai, Penyulang***

***Analysis of Over Current Relay (OCR) and Ground Fault Relay (GFR) Settings at Gurami Feeder Sungai Kedukan Palembang Substation***

**ABSTRACT**

*Over Current Relays are equipment that signals an overcurrent, whether caused by a short circuit that can damage electrical power system equipment within its protection area. This overcurrent relay is used in almost all electrical power system security patterns, and can also be used as the main safety or backup safety. From the results of the study, it was found that the magnitude of the short-circuit fault current is influenced by the distance of the fault point, the farther the fault location is, the smaller the short-circuit fault current will be, and vice versa. The relay working time on the feeder side is faster than the incoming working time with an average time difference of 1.34 seconds. This is because the location of the disturbance affects the size of the time difference. The farther the distance from the fault location, the greater the difference in relay working time in incoming*

***Keywords: Setting, Relay, Feeder***

Correspondence author : Choirul Rizal, Universitas Palembang, Indonesia.

E‒Mail: choirulrizal1962@gmail.com



Jurnal ***Ampere*** licensed under a [Creative Commons Attribution‒ShareAlike 4.0 International License](http://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/)

1. **PENDAHULUAN**

 Energi listrik yang dibangkitkan di pusat pembangkitan. Setelah dibangkitkan maka selanjutnya energi listrik disalurkan ke konsumen melalui sistem tenaga listrik. Kenyataannya sistem distribusi adalah sistem yang sering mengalami gangguan [7]. Dalam pelaksanaan penyaluran daya listrik akan terjadi kondisi tidak normal (gangguan) yang menyebabkan terganggunya kelangsungan pelayanan energi listrik terhadap konsumen. Gangguan yang dimaksud antara lain gangguan hubung singkat. Gangguan-gangguan tersebut jika tidak dengan segera diperbaiki maka dapat merusak peralatan dan sistem tenaga listrik. Maka diperlukan sistem pengaman (sistem proteksi), yang harus dapat mendeteksi terjadinya gangguan serta membatasi pengaruh-pengaruh lainnya [1,2,3,4,7].

Sistem proteksi adalah suatu sistem pengamanan terhadap peralatan listrik, yang diakibatkan adanya gangguan teknis, gangguan alam, kesalahan operasi, dan penyebab yang lainnya. Sistem proteksi merupakan pengaman listrik pada sistem tenaga listrik yang terpasang pada sistem distribusi tenaga listrik, transformator tenaga, transmisi tenaga listrik dan generator listrik yang dipergunakan untuk mengamankan sistem tenaga listrik dari gangguan listrik atau beban lebih, dengan cara memisahkan bagian sistem tenaga listrik yang terganggu. Sehingga sistem kelistrikan yang tidak terganggu dapat terus bekerja (mengalirkan arus ke beban atau konsumen). Jadi pada hakekatnya pengaman pada sistem tenaga listrik yaitu mengamankan seluruh sistem tenaga listrik supaya kehandalan tetap terjaga [5,8].

Salah satu peralatan yang berfungsi untuk memproteksi peralatan listrik terhadap arus lebih yang disebabkan oleh gangguan hubung singkat adalah Relai Arus Lebih atau yang lebih dikenal dengan *Over Current Relay* (OCR) [5]. Relai Arus Lebih digunakan sebagai proteksi cadangan lokal pada proteksi penghantar, dan digunakan untuk mengamankan penghantar dari gangguan fasa-fasa. Untuk mengetahui setting Relai Arus Lebih (OCR) dan Relai Gangguan Tanah (GFR), maka akan dilakukan pada Penyulang Gurami Gardu Induk Sungai Kedukan Palembang

**Ganguan Hubung Singkat**

Gangguan hubung singkat adalah gangguan yang terjadi karena adanya kesalahan antara bagian-bagian yang bertegangan. Gangguan hubung singkat dapat juga terjadi akibat adanya isolasi yang tembus atau rusak karena tidak tahan terhadap teganggan lebih, baik yang berasal dari dalam maupun yang berasal dari luar (akibat sambaran petir). Gangguan hubung singkat dapat terjadi tiga fasa, dua fasa, satu fasa ke tanah. Gangguan hubung singkat ini sendiri dapat digolongkan menjadi dua kelompok yaitu gangguan hubung singkat simetri dan gangguan hubung singkat tak simetri (asimetri). Gangguan yang termasuk dalam hubung singkat simetri yaitu gangguan hubung singkat tiga fasa, sedangkan gangguan yang lainnya merupakan gangguan hubung singkat tak simetri (asimetri). Gangguan ini akan mengakibatkan arus lebih pada fasa yang terganggu dan juga akan dapat mengakibatkan kenaikan tegangan pada fasa yang tidak terganggu [1,3,5,8].

1. Gangguan Hubung Singkat 3 Fasa

Gangguan hubung singkat tiga fasa termasuk dalam klasifikasi gangguan simetris, dimana arus maupun tegangan stiap fasanya tetap seimbang setelah gangguan terjadi. Sehingga pada sistem seperti ini dapat dianalisa hanya dengan menggunakan urutan positif saja.

1. Gangguan Hubung Singkat 2 Fasa

Gangguan hubung singkat dua fasa atau yang biasa disebut hubung singkat fasa ke fasa adalah kondisi dimana antara fasa ke fasa saling terhubung singkat. Pada gangguan hubung singkat fasa ke fasa, arus saluran tidak mengandung komponen urutan nol dikarenakan tidak ada gangguan yang terhubung ke tanah.

1. Gangguan Hubung Singkat 1 Fasa Ke Tanah

Gangguan hubung singkat 1 fasa ke tanah yang sering terjadi pada sistem tenaga listrik merupakan gangguan asimetris sehingga memerlukan metode komponen simetris untuk menganalisa tegangan dan arus pada saat terjadi gangguan.

**Relai Arus Lebih**

Relai Arus Lebih atau yang lebih dikenal dengan *Over Current Relay* (OCR) merupakan peralatan yang mensinyalir adanya arus lebih, baik yang disebabkan oleh adanya gangguan hubung singkat atau *overload* yang dapat merusak peralatan sistem tenaga yang berada dalam wilayah proteksinya. Relai Arus Lebih ini digunakan hampir pada seluruh pola pengamanan sistem tenaga listrik, dan relai ini dapat digunakan sebagai pengaman utama ataupun pengaman cadangan [1].

1. **METODE PENELITIAN**

Pengumpulan Data

Data Primer

* Data Transformator 1
* Data Penyulang Gurami
* Data OCR Sisi Penyulang Gurami 20 kV
* Data OCR Sisi Incoming

Data Sekunder

* *Single line diagram* GI Sungai Kedukan
* *Single line diagram* Penyulang Gurami

Studi Literatur

Pengolahan Data

Analisa dan Pembahasan

**Gambar 1. Bagan Alir Penelitian**

Berdasarkan diagram alir metode penelitian pada gambar 1, maka langkah‒langkah yang akan dilakukan dalam penelitian ini adalah: melakukan studi literatur, pengumpulan data primer dan sekunder, kemudian data yang sudah didapatkan diolah agar dapat dipergunakan dalam penelitian, selanjutnya, menganalisa hasil penelitian. Sebelum menentukan arus hubung singkat, maka harus ditentukan terlebih dahulu rel daya tegangan primer di gardu induk untuk berbagai jenis gangguan, kemudian menentukan pada titik‒titik lainnya yang letaknya semakin jauh dari gardu induk tersebut. Untuk menentukan arus gangguan hubung singkat, pertama‒tama harus ditentukan terlebih dahulu besar impedansi sumber, kedua menentukan impedansi transformator tenaga, ketiga menentukan impedansi impedansi penyulang [1].



**Gambar 2. Representasi Penyulang**

**Impedansi Sumber**

Untuk menentukan impedansi sumber di bus sisi sekunder, maka harus ditentukan terlebih dahulu impedansi sumber di bus sisi primer. Impedansi sumber di bus sisi primer (ZS sisi primer) dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan sebagai berikut [2]:

$Z\_{S} (sisi primer) = j X\_{S} (sisi primer) = j \frac{kV\_{P}^{2} (sisi primer)}{MVA\_{SC}}\left(Ω\right)$ (1)

Dimana daya hubung singkat di bus sisi primer (MVASC), adalah:

$$MVA\_{SC} = \sqrt{3} × kV\_{P} (sisi primer) × I\_{SC} (sisi sekunder)$$

dan, arus hubung singkat sisi sekunder (ISC sisi sekunder), adalah:

$I\_{SC} \left(sisi sekunder\right) = \frac{MVA\_{T}}{\sqrt{3} × kV\_{S} (sisi sekunder) × Z\_{T}} $

Arus gangguan hubung singkat yang akan dihitung adalah gangguan hubung singkat di sisi sekunder, maka impedansi tersebut harus dikonversikan dulu ke sisi sekunder. Untuk mengkonversikan impedansi yang terletak di sisi primer ke sisi sekunder, dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan sebagai berikut [2]:

$Z\_{S}\left(sisi sekunder\right) = j X\_{S}\left(sisi sekunder\right) = \frac{ kV\_{S}^{2} \left(sisi sekunder\right)}{ kV\_{P}^{2} \left(sisi primer\right)}× j X\_{S} \left(sisi primer\right) \left(Ω\right)$ (2)

**Impedansi Transformator**

Impedansi suatu transformator yang diambil adalah harga reaktansinya, sedangkan tahanannya diabaikan karena harganya kecil. Maka impedansi transformator adalah [6]:

1. Nilai impedansi transformator pada 100 % atau $Z\_{T }\left(100 \%\right) = j X\_{T }(100 \%)$ untuk transformator pada sisi sekunder, adalah:

$Z\_{T }\left(100 \%\right) = j X\_{T }(100 \%) = j \frac{kV^{2}(sisi sekunder)}{MVA\_{T}}\left(Ω\right) $ (3)

1. Nilai impedansi transformator urutan positif ($Z\_{1T} = j X\_{1T}$) sama dengan nilai impedansi transformator urutan negatif ($Z\_{2T} = j X\_{2T}$), yaitu:

$Z\_{1T} = Z\_{2T} = j X\_{1T} = j X\_{2T} = Z\_{T} \left(\%\right) × j X\_{T }\left(100 \%\right) \left(Ω\right)$ (4)

1. Untuk transformator dengan hubungan belitan YY dan tidak mempunyai belitan delta (Δ) di dalamnya, maka untuk menghitung besarnya impedansi transformator urutan nol $Z\_{0T} = j X\_{0T}$ berkisar antara 9 s/d 14 $× j X\_{1T}$. Dalam penelitian ini diambil nilai sebesar:

$Z\_{0T} = j X\_{0T} = 10 × j X\_{1T} \left(Ω\right)$ (5)

**Impedansi Penyulang**

Nilai impedansi penyulang tergantung dari besarnya impedansi/km ($Z\_{P} = R\_{P} + jX\_{P}$) dan panjang penyulang $\left(l\_{P}\right)$. Maka nilai impedansi penyulang adalah sebagai berikut [1]:

1. Impedansi penyulang urutan positif ($Z\_{1P}$) = impedansi penyulang urutan negatif ($Z\_{2P}$)

$Z\_{1P} = Z\_{2P} = Z\_{1P} × l\_{P} = \left(R\_{1P} + j X\_{1P}\right) × l\_{P} \left(Ω\right)\_{ }$ (6)

1. Impedansi penyulang urutan nol ($Z\_{0P}$)

$Z\_{0P} = Z\_{0P} × l\_{P} = \left(R\_{0P} + j X\_{0P}\right) × l\_{P} \left(Ω\right)\_{ }$ (7)

Dari gambar 2, apabila diasumsikan titik atau lokasi gangguan hubung singkat terjadi pada jarak 0 %, 25 %, 50 %, 75 %, 100 % dari panjang penyulang, maka nilai impedansi penyulang dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan sebagai berikut [5]:

**Tabel 1. Impedansi Penyulang Berdasarkan Lokasi Gangguan**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Panjang Penyulang (%)** | **Impedansi Penyulang Urutan Positif dan Urutan Negatif (**$Z\_{1P} = Z\_{2P}$**) (Ω)** | **Impedansi Penyulang Urutan Nol (**$Z\_{0P}$**) (Ω)** |
| 0% | $Z\_{1P} \left(0\%\right) = Z\_{2P} (0\%) = 0\% × Z\_{1P}\_{ }$  | $$Z\_{0P} \left(0\%\right) = 0\% × Z\_{0P}\_{ }$$ |
| 25% | $Z\_{1P} \left(25\%\right) = Z\_{2P} (25\%) = 25\% × Z\_{1P}\_{ }$  | $$Z\_{0P} \left(25\%\right) = 25\% × Z\_{0P}\_{ }$$ |
| 50% | $Z\_{1P} \left(50\%\right) = Z\_{2P} (50\%) = 50\% × Z\_{1P}\_{ }$  | $$Z\_{0P} \left(50\%\right) = 50\% × Z\_{0P}\_{ }$$ |
| 75% | $Z\_{1P }\left(75\%\right) = Z\_{2P} (75\%) = 75\% × Z\_{1P}\_{ }$  | $$Z\_{0P} \left(75\%\right) = 75\% × Z\_{0P}\_{ }$$ |
| 100% | $Z\_{1P} \left(100\%\right) = Z\_{2P} (100\%) = 100\% × Z\_{1P}\_{ }$ | $$Z\_{0P} \left(100\%\right) = 100\% × Z\_{0P}\_{ }$$ |

**Impedansi Ekuivalen Jaringan**

Perhitungan yang akan dilakukan di sini adalah perhitungan besarnya nilai impedansi ekuivalen positif, negatif dan nol dari titik gangguan sampai ke sumber. Karena dari sejak sumber ke titik gangguan impedansi yang terbentuk adalah tersambung seri maka perhitungan $Z\_{1 eq}$ dan $Z\_{2 eq}$ dapat langsung dengan cara menjumlahkan impedansi tersebut, sedangkan untuk perhitungan $Z\_{0 eq}$ dimulai dari titik gangguan sampai ke transformator tenaga yang netralnya ditanahkan. Impedansi ekuivalen jaringan dapat ditentukan hitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut [1]:

1. Impedansi ekuivalen urutan positif dan urutan negatif ($Z\_{1 eq} = Z\_{2 eq}$)

$Z\_{1 eq} = Z\_{2 eq} = Z\_{1S} (sisi sekunder) + Z\_{1T} + Z\_{1P}$

$Z\_{1 eq} = Z\_{2 eq} = j X\_{1S} (sisi sekunder) + j X\_{1T} + \left(R\_{1P} + j X\_{1P}\right)$ (8)

1. Impedansi ekuivalen urutan nol ($Z\_{0 eq}$)

$Z\_{0 eq} = Z\_{0T} + 3R\_{n} + Z\_{0P} = j X\_{0T} + 3R\_{n} + \left(R\_{0P} + jX\_{0P}\right)$ (9)

Dari gambar 2, apabila diasumsikan titik atau lokasi gangguan hubung singkat terjadi pada jarak 0 %, 25 %, 50 %, 75 %, 100 % dari panjang penyulang, maka nilai impedansi ekuivalen jaringan dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan sebagai berikut [5]:

**Tabel 2. Impedansi Ekuivalen Jaringan Berdasarkan Lokasi Gangguan**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Panjang Penyulang (%)** | **Impedansi Ekuivalen Jaringan Urutan Positif dan****Urutan Negatif (**$Z\_{1 eq}$**=** $Z\_{2 eq}$**) (Ω)** | **Impedansi Penyulang Urutan Nol (**$Z\_{0P}$**) (Ω)** |
| 0% | $Z\_{1 eq} \left(0\%\right) = Z\_{2 eq} \left(0\%\right) = j X\_{1S} + jX\_{1T} + Z\_{1P }\left(0\%\right)\_{ }$  | $Z\_{0 eq} \left(0\%\right) = jX\_{0T} + 3R\_{n} + Z\_{0P }\left(0\%\right)\_{ }$  |
| 25% | $Z\_{1 eq} \left(25\%\right) = Z\_{2 eq} \left(0\%\right) = j X\_{1S} + j X\_{1T} + Z\_{1P} \left(25\%\right)\_{ }$  | $Z\_{0 eq} \left(25\%\right) = jX\_{0T }+ 3R\_{n} + Z\_{0P} \left(25\%\right)\_{ }$  |
| 50% | $Z\_{1 eq} \left(50\%\right) = Z\_{2 eq} \left(0\%\right) = j X\_{1S} + j X\_{1T} + Z\_{1P}\left(50\%\right)\_{ }$  | $Z\_{0 eq} \left(50\%\right) = jX\_{0T} + 3R\_{n} + Z\_{0P} \left(50\%\right)\_{ }$  |
| 75% | $Z\_{1 eq} \left(75\%\right) = Z\_{2 eq} (75\%) = j X\_{1S} + j X\_{1T} + Z\_{1P} \left(75\%\right)\_{ }$  | $Z\_{0 eq} \left(75\%\right) = jX\_{0T} + 3R\_{n}+ Z\_{0P} \left(75\%\right)\_{ }$  |
| 100% | $$Z\_{1 eq} \left(100\%\right) = Z\_{2 eq} (100\%) = j X\_{1S} + j X\_{1T} + Z\_{1P} \left(100\%\right)\_{ }$$ | $Z\_{0 eq} \left(100\%\right) = jX\_{0T} + 3R\_{n} + Z\_{0P} \left(100\%\right)\_{ }$  |

**Arus Gangguan Hubung Singkat**

Perhitungan arus gangguan hubung singkat dapat dihitung dengan menggunakan rumus dasar, impedansi ekivalen mana yang dimasukkan ke dalam rumus dasar tersebut adalah jenis gangguan hubung singkat tiga fasa, dua fasa, atau satu fasa ke tanah. Sehingga formula yang digunakan untuk perhitungan arus hubung singkat tiga fasa, dua fasa, dan satu fasa ke tanah berbeda [8].

1. Arus Gangguan Hubung Singkat 3 Fasa

Arus gangguan hubung singkat 3 fasa ($I\_{hs 3 fasa}$) dapat ditentukan dengan menggunakan persamaansebagai berikut:

$I\_{hs 3 fasa} = \frac{V\_{L‒N}}{Z\_{1 eq}} = \frac{\frac{V\_{L‒L}}{\sqrt{3}}}{Z\_{1 eq}}$ (10)

1. Arus Gangguan Hubung Singkat 2 Fasa

Arus gangguan hubung singkat 2 fasa ($I\_{hs 2 fasa}$) dapat ditentukan dengan menggunakan persamaansebagai berikut:

$I\_{hs 2 fasa} = \frac{V\_{L‒L}}{Z\_{1 eq} + Z\_{2 eq}} = \frac{V\_{L‒L}}{2 × Z\_{1 eq}}$ (11)

1. Arus Gangguan Hubung Singkat 1 Fasa ke Tanah

Arus gangguan hubung singkat 1 fasa ke tanah ($I\_{hs 1 fasa ke tanah}$) dapat ditentukan dengan menggunakan persamaansebagai berikut:

$I\_{hs 1 fasa ke tanah} = \frac{3 × V\_{L‒N}}{Z\_{1 eq} + Z\_{2 eq} + Z\_{0 eq}} = \frac{3 × \frac{V\_{L‒L}}{\sqrt{3}}}{2 × Z\_{1 eq} + Z\_{0 eq}}$ (12)

Dari gambar 2, apabila diasumsikan titik atau lokasi gangguan hubung singkat terjadi pada jarak 0 %, 25 %, 50 %, 75 %, 100 % dari panjang penyulang, maka arus gangguan hubung singkat dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan sebagai berikut [5]:

**Tabel 3. Arus Gangguan Hubung Singkat Berdasarkan Lokasi Gangguan**

|  |  |
| --- | --- |
| **Lokasi Gangguan (%)** | **Arus Gangguan Hubung Singkat (A)** |
| **3 fasa (**$I\_{hs 3 fase}$**)** | **2 fasa (**$I\_{hs 2 fase}$**)** | **1 fasa ke tanah (**$I\_{hs 1 fasa ke tanah}$**)** |
| 0% | $I\_{hs 3 fasa}(0\%) = \frac{V\_{L‒N}}{Z\_{1 eq}\left(0\%\right)}$  | $I\_{hs 2 fasa}(0\%) =\frac{V\_{L‒L}}{2 × Z\_{1 eq}\left(0\%\right)}$  | $I\_{hs 1 fasa ke tanah}(0\%) =\frac{3 × \frac{V\_{L‒L}}{\sqrt{3}}}{2 × Z\_{1 eq}\left(0\%\right) + Z\_{0 eq}\left(0\%\right)}$  |
| 25% | $I\_{hs 3 fasa}(25\%) = \frac{V\_{L‒N}}{Z\_{1 eq}\left(25\%\right)}$  | $I\_{hs 2 fasa}(25\%) =\frac{V\_{L‒N}}{2 × Z\_{1 eq}\left(25\%\right)}$  | $I\_{hs 1 fasa ke tanah}(25\%)\_{ }=\frac{3 × \frac{V\_{L‒L}}{\sqrt{3}}}{2 × Z\_{1 eq}\left(25\%\right)+ Z\_{0 eq}\left(25\%\right)}$  |
| 50% | $I\_{hs 3 fasa}(50\%) = \frac{V\_{L‒N}}{Z\_{1 eq}\left(50\%\right)}$  | $I\_{hs 2 fasa}(50\%) =\frac{V\_{L‒N}}{2 × Z\_{1 eq}\left(50\%\right)}$  | $I\_{hs 1 fasa ke tanah}(50\%)\_{ }=\frac{3 × \frac{V\_{L‒L}}{\sqrt{3}}}{2 × Z\_{1 eq}\left(50\%\right) + Z\_{0 eq}\left(50\%\right)}$  |
| 75% | $I\_{hs 3 fasa}(75\%) = \frac{V\_{L‒N}}{Z\_{1 eq}\left(75\%\right)}$  | $I\_{hs 2 fasa}(75\%) =\frac{V\_{L‒N}}{2 × Z\_{1 eq}\left(75\%\right)}$  | $I\_{hs 1 fasa ke tanah}(75\%)\_{ }=\frac{3 × \frac{V\_{L‒L}}{\sqrt{3}}}{2 × Z\_{1 eq}\left(75\%\right) + Z\_{0 eq}\left(75\%\right)}$  |
| 100% | $I\_{hs 3 fasa}(100\%) = \frac{V\_{L‒N}}{Z\_{1 eq}\left(100\%\right)}$  | $I\_{hs 2 fasa}(100\%) =\frac{V\_{L‒N}}{2 × Z\_{1 eq}\left(100\%\right)}$  | $I\_{hs 1 fasa ke tanah}(100\%) =\frac{3 × \frac{V\_{L‒L}}{\sqrt{3}}}{2 × Z\_{1 eq}\left(100\%\right) + Z\_{0 eq}\left(100\%\right)}$  |

***Setting* Relai Arus Lebih di Sisi Penyulang 20 kV**(***Outgoing***)

1. *Setting* Arus

*Setting* relai yang terpasang di penyulang dihitung berdasarkan arus beban maksimum. Relai *inverse* biasa diset sebesar 1,05 sampai dengan 1,1 × Imaks, sedangkan untuk relai *definite* diset sebesar 1,2 sampai dengan 1,3 × Imaks. Persyaratan lain yang harus dipenuhi yaitu untuk penyetelan waktu minimum dari relai arus lebih (terutama di penyulang tidak lebih kecil dari 0,3 detik). Keputusan ini diambil agar relai tidak sampai trip lagi akibat adanya arus *inrush* dari transformator yang sudah tersambung di jaringan distribusi, pada saat PMT penyulang tersebut dimasukkan. *Setting* arus pada sisi primer transformator adalah [5]:

$I\_{set} (primer) = 1,1 × I\_{beban}$ (13)

Nilai arus tersebut merupakan nilai *setting* pada sisi primer, sedangkan nilai yang akan disetkan pada relai adalah nilai sekundernya. Olehnya dihitung menggunakan nilai rasio transformator arus yang terpasang pada penyulang. Besar arus pada sisi sekunder adalah [5]:

$I\_{set} (sekunder) = I\_{set} (primer) ×\frac{1}{Ratio CT}$ (14)

1. *Setting* Waktu

Arus gangguan yang dipilih untuk menentukan besarnya *setting* TMS OCR sisi penyulang 20 kV transformator tenaga yaitu arus gangguan hubung singkat tiga fasa di 0% panjang penyulang. Waktu kerja paling hilir yang ditetapkan t = 0,3 sekon Keputusan ini diambil agar relai tidak sampai trip lagi akibat adanya arus inrush dari transformator‒transformator distribusi yang sudah tersambung di jaringan distribusi, pada saat PMT penyulang tersebut dimasukan. Maka *setting* waktu ($TMS$) adalah sebagai berikut [5]:

$TMS =\frac{t × \left(\left(\frac{I\_{fault}}{I\_{set}}\right)^{0,02}‒ 1\right)}{0,14} = \frac{t × \left(\left(\frac{I\_{3 fasa}(0\%)}{I\_{set} (primer)}\right)^{0,02} ‒ 1\right)}{0,14}$ (15)

***Setting* Relai Arus Lebih di Sisi *Incoming* 20 kV**

1. *Setting* Arus

Berbeda dengan sisi penyulang, pada sisi *incoming* 20 kV diperlukan nilai arus nominal dalam menentukan *setting* relainya. Maka arus nominal transformator pada sisi 20 kV adalah [6]:

$I\_{nominal} \left(sekunder\right) = \frac{kVA\_{T}}{\sqrt{3} V\_{L-L}}$ (16)

*Setting* arus untuk Relai Arus Lebih, pada sisi primer adalah:

$I\_{set} (primer) = 1,1 × I\_{nominal} \left(sekunder\right)$ (17)

Maka *setting* arus untuk Relai Arus Lebih, pada sisi sekunder adalah:

$I\_{set} (sekunder) = I\_{set} (primer)×\frac{1}{Ratio CT}$ (18)

1. *Setting* Waktu Kerja atau *Time Multiplier Setting* (TMS)

Arus gangguan yang dipilih untuk menentukan besarnya *setting* TMS relai arus lebih atau OCR sisi *incoming* 20 kV transformator tenaga yaitu arus gangguan hubung singkat 3 fasa di 0 % panjang penyulang. Waktu kerja *incoming* didapat dengan waktu kerja relai disisi hilir + 0,4 detik. Maka tincoming = (0,3 + 0,7) = 0,7 detik. Setelah diketahui nilai ketetapan t = 0,7 detik, maka nilai TMS dapat diketahui yaitu [6]:

$TMS = \frac{t × \left(\left(\frac{I\_{fault}}{I\_{set}}\right)^{0,02} ‒ 1\right)}{0,14} = \frac{t × \left(\left(\frac{I\_{3 fasa}(0\%)}{I\_{set} (primer)}\right)^{0,02} ‒ 1\right)}{0,14}$ (19)

***Setting* Relai Gangguan Tanah di Sisi Penyulang 20 kV**(***Outgoing***)

1. *Setting* Arus

Untuk *setting* arus di penyulang menggunakan pedoman yaitu *setting* arus gangguan ke tanah di penyulang diset 10 % x arus gangguan 1 fasa ke tanah terkecil di penyulang tersebut. Hal ini dilakukan untuk menampung tahanan busur. Dimana arus gangguan terkecil terletak di lokasi gangguan 100% maka *setting* arus untuk Relai Gangguan Tanah sisi primer adalah [6]:

$I\_{set} \left(primer\right) = 10\% × I\_{1 fasa ke tanah} (100\%)$ (20)

Maka *setting* arus untuk Relai Gangguan Tanah, pada sisi sekunder adalah:

$I\_{set} (sekunder) = I\_{set} (primer) × \frac{1}{Ratio CT}$ (21)

1. *Setting* Waktu Kerja atau *Time Multiplier Setting* (TMS)

Arus gangguan yang dipilih untuk menentukan besarnya *setting* TMS Relai Gangguan Tanah atau *Ground Fault Relay* (GFR) sisi penyulang 20 kV transformator tenaga yaitu arus gangguan hubung singkat 1 fasa di 0 % panjang penyulang. Waktu kerja paling hilir yang ditetapkan t = 0,3 sekon, maka nilai TMS dapat diketahui yaitu [6]:

$TMS = \frac{t × \left(\left(\frac{I\_{fault}}{I\_{set}}\right)^{0,02} ‒ 1\right)}{0,14} = \frac{t × \left(\left(\frac{I\_{1 fasa ke tanah}(0\%)}{I\_{set} (primer)}\right)^{0,02} ‒ 1\right)}{0,14}$ (22)

**Menentukan *Setting* Relai Gangguan Tanah Di Sisi *Incoming* 20 kV**

1. *Setting* Arus

Agar Relai Gangguan Tanah sisi *incoming* lebih peka atau cepat merasakan gangguan sesuai dengan sifatnya sebagai *backup* setelah relai sisi penyulang maka dalam menentukan *setting*nya dibuat lebih kecil yaitu 8% × arus gangguan 1 fasa ke tanah terkecil yaitu pada lokasi 100%. Maka *setting* arus untuk Relai Gangguan Tanah, pada sisi primer adalah [6]:

$I\_{set} \left(primer\right) = 8\% × I\_{1 fasa ke tanah} (100\%)$ (23)

Maka *setting* arus untuk relai gangguan tanah, pada sisi sekunder adalah:

$I\_{set} (sekunder) = I\_{set} (primer) × \frac{1}{Ratio CT}$ (24)

1. *Setting* Waktu Kerja atau *Time Multiplier Setting* (TMS)

Arus gangguan yang dipilih untuk menentukan besarnya *setting* TMS Relai Gangguan Tanah atau GFR sisi *incoming* 20 kV transformator tenaga yaitu arus gangguan hubung singkat 3 fasa di 0 % panjang penyulang. Waktu kerja *incoming* didapat dengan waktu kerja relai disisi hilir + 0,4 detik. Maka tincoming = (0,3 + 0,7) = 0,7 detik. Setelah diketahui nilai ketetapan t = 0,7 detik, maka nilai TMS dapat diketahui yaitu [6]:

$TMS =\frac{t × \left(\left(\frac{I\_{fault}}{I\_{set}}\right)^{0,02} ‒ 1\right)}{0,14} = \frac{t × \left(\left(\frac{I\_{1 fasa ke tanah}(0\%)}{I\_{set} (primer)}\right)^{0,02} ‒ 1\right)}{0,14}$ (25)

1. **HASIL DAN PEMBAHASAN**

Gardu Induk Sungai Kedukan Palembang mempunyai fungsi menyalurkan energi listrik ke konsumen melalui jaringan tegangan menengah. Untuk menyalurkan energi listrik tersebut, pada Gardu Induk Sungai Kedukan Palembang terdapat Transformator 1, 30 MVA 70/20 kV dengan beban empat buah penyulang, yaitu: Penyulang Belido, Penyulang Gurami, Penyulang Lele, dan Penyulang Baung. Pada penelitian hanya membahas mengenai setting Relai Arus Lebih (OCR) pada Penyulang Gurami

**Data Penelitian**

**Data Transformator 1**

* Merk : Pauwels
* Standard : IEC 60076
* Rated Power MVA (MVAT) : 30 MVA
* Cooling : ONAN/ONAF
* Phases ‒ Frequency : 3 ‒ 50 Hz
* Tegangan Primer (kVP 70 kV) : 70 kV
* Tegangan Sekunder (kVS 20 kV) : 20 kV
* Arus Primer (Inominal primer) : 247,4358 A
* Arus Sekunder (Inominal sekunder) : 866,0254 A
* Phasa : 3 Phasa
* Impedance (ZT%) : 12,24%
* Vector Group : YNyn0
* Tahanan Pentanahan (Rn) : 40 Ω

**Data Penyulang Gurami**

* Jenis Pengantar : AAAC 150 mm2
* Panjang (lP) : 16,5 km
* Impedansi Urutan Positif (Z1P) : 0,2162 + j 0,3305 Ω/km
* Impedansi Urutan Negatif (Z2P) : 0,2162 + j 0,3305 Ω/km
* Impedansi Urutan Nol (Z0P) : 0,3631 + j 1,6180 Ω/km

**Data Relai Arus Lebih di Sisi Penyulang Gurami 20 kV (*Outgoing*)**

* Merk : Schneider
* Type : Micom P642
* Karakteristik : Standar Inverse
* I *setting* OCR : 300 A
* Ratio CT : 300/5
* TMS OCR : 0,125

**Data Relai Arus Lebih di Sisi *Incoming***

* Merk : Schneider
* Type : Micom P142
* Karakteristik : Standar Inverse
* I *setting* OCR : 960 A
* Ratio CT : 1.000/5
* TMS OCR : 0,1

**Hasil**

**Impedansi Sumber**

Arus hubung singkat sisi sekunder (ISC 20 kV), yaitu:

$I\_{SC} \left(20 kV\right) = \frac{MVA\_{T}}{\sqrt{3} × kV\_{S} (20 kV) × Z\_{T}} =\frac{30}{\sqrt{3} × 20 × \frac{12,24}{100}} = 7,0754 kA$

Maka daya hubung singkat di bus sisi primer (MVASC), yaitu:

$$MVA\_{SC} = \sqrt{3} × kV\_{P} (70 kV) × I\_{SC} (20 kV) = \sqrt{3 }× 70 × 7,0754 = 857,8431 MVA$$

Impedansi sumber di sisi primer $Z\_{S} \left(70 kV\right)$ dapat ditentukan dengan persamaan (1):

$Z\_{S}\left(70 kV\right) = j X\_{S}\left(70 kV\right) = j \frac{kV^{2} (70 kV)}{MVA\_{SC}}= j \frac{70^{2}}{857,8431} = j 5,7120 Ω$

Maka impedansi sumber di sisi sekunder $Z\_{S} \left(20 kV\right)$ dapat ditentukan dengan persamaan (2):

$Z\_{S} (20 kV) = j X\_{S} (20 kV) = \frac{kV^{2}\left(20 kV\right)}{kV^{2}\left(70 kV\right)} × j X\_{S} \left(70 kV\right) = \frac{20^{2}}{70^{2}} × j 18,1180 = j 0,4663 Ω$

**Impedansi Transformator**

Impedansi transformator pada 100 % atau $Z\_{T }\left(100 \%\right) = j X\_{T }(100 \%)$ untuk transformator pada sisi sekunder, dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan (3) sebagai berikut:

$Z\_{T }\left(100 \%\right) = j X\_{T }\left(100 \%\right) = j \frac{kV^{2}(20 kV)}{MVA\_{T}} = j \frac{20^{2}}{30} = j 13,3333 Ω$

Maka nilai impedansi transformator urutan positif dan nilai impedansi transformator urutan negatif ($Z\_{1T} = Z\_{2T}$) dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan (4):

$Z\_{1T} = Z\_{2T }= j X\_{1T} = j X\_{2T} = Z\_{T}\left(\%\right) × j X\_{T }\left(100 \%\right) = 0,124 × j 13,3333 = j 1,6320 Ω$

Kemudian impedansi transformator urutan nol $Z\_{0T} = j X\_{0T}$ dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan (5) sebagai berikut:

$Z\_{0T} = j X\_{0T} = 10 × j X\_{1T} = 10 × j 1,6320 = j 16,3200 Ω$

**Impedansi Penyulang**

Penyulang Gurami menggunakan jenis penghantar AAAC 150 mm2 dengan panjang penyulang 16,5 km. Maka nilai impedansi penyulang urutan positif ($Z\_{1P}$) dan impedansi penyulang urutan negatif ($Z\_{2P}$) dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan (6), yaitu:

$Z\_{1P} = Z\_{2P }= \left(R\_{1P} + j X\_{1P}\right) × l\_{P} = \left(0,2162 + j 0,3305\right) × 16,5 = 3,5673 + j 5,4533 Ω$

Kemudian nilai impedansi penyulang urutan nol ($Z\_{0P}$) dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan (7) sebagai berikut:

$Z\_{0P} = \left(R\_{0P }+ j X\_{0P}\right) × l\_{P} = \left(0,3631 + j 1,6180\right) × 16,5 = 5,9912 + j 26,69707 Ω$

Dengan demikian nilai impedansi penyulang urutan positif dan urutan negatif ($Z\_{1P} = Z\_{2P}$) serta impedansi penyulang urutan nol ($Z\_{0P}$) untuk lokasi gangguan dengan jarak 0 %, 25 %, 50 %, 75 % dan 100 % dari panjang penyulang, adalah:

**Tabel 4. Impedansi Penyulang Berdasarkan Lokasi Gangguan**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Panjang Penyulang**  | $Z\_{1P}=Z\_{2P}$ **(Ω)** | $Z\_{0P}$ **(Ω)** |
|  **(%)** |  **(km)** |
| 0% | 0,0000 | 0,0000 + j 0,0000 = 0,0000 + j 0,0000º | 0,0000 + j 0,0000 = 0,0000 + j 0,0000º |
| 25% | 4,1250 | 0,8918 + j 1,3633 = 1,6291 + j 56,8089º | 1,4978 + j 6,6743 = 6,8402 + j 77,3516º |
| 50% | 8,2500 | 1,7837 + j 2,7266 = 3,2582 + j 56,8089º | 2,9956 + j 13,3485 = 13,6805 + j 77,3516º |
| 75% | 12,3750 | 2,6755 + j 4,0899 = 4,8873 + j 56,8089º | 4,4934 + j 20,0228 = 20,5207 + j 77,3516º |
| 100% | 16,5000 | 3,5673 + j 5,4533 = 6,5164 + j 56,8089º | 5,9912 + j 26,6970 = 27,3610 + j 77,3516º |

Sumber: Hasil Perhitungan

**Impedansi Ekuivalen Jaringan**

Impedansi ekuivalen jaringan urutan positif dan urutan negatif ($Z\_{1 eq} = Z\_{2 eq}$) dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan (8) sebagai berikut:

$$Z\_{1 eq} = Z\_{2 eq} = j X\_{1S} (20 kV) + j X\_{1T} + \left(R\_{1P} + j X\_{1P}\right)$$

$= j 0,4663 + j 1,6320 + \left(3,5673 + j 5,4533\right) = 3,5673 + j 7,5515 Ω$

Kemudian impedansi ekuivalen jaringan urutan nol ($Z\_{0 eq}$) dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan (9) sebagai berikut:

$$Z\_{0 eq} = j X\_{0T} + 3R\_{n} + \left(R\_{0P} + jX\_{0P}\right) $$

$ = j 16,3200 + 3 × 40 + (5,9912 + j 26,6970) = 125,9912 + j 75,6570 Ω$

Dengan demikian nilai impedansi ekuivalen penyulang urutan positif dan urutan negatif ($Z\_{1 eq} = Z\_{2 eq}$) serta impedansi ekuivalen penyulang urutan nol ($Z\_{0 eq}$) untuk lokasi gangguan dengan jarak 0 %, 25 %, 50 %, 75 % dan 100 % dari panjang penyulang, adalah:

**Tabel 5. Impedansi Ekuivalen Berdasarkan Lokasi Gangguan**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Panjang Penyulang**  | $Z\_{1P}=Z\_{2P}$ **(Ω)** | $Z\_{0P}$ **(Ω)** |
|  **(%)** |  **(km)** |
| 0% | 0,0000 | 0,0000 + j 2,0983 = 2,0983∟0,0000º | 120,0000 + j 48,9600 = 129,6036∟22,1955º |
| 25% | 4,1250 | 0,8918 + j 3,4616 = 3,5746∟75,5528º | 121,4978+ j 55,6343 = 133,6296∟24,6032º |
| 50% | 8,2500 | 1,7837 + j 4,8249 = 5,1440∟69,7119º | 122,9956+ j 62,3085 = 137,8777∟26,8664º |
| 75% | 12,3750 | 2,6755 + j 6,1882 = 6,7418∟66,6188º | 124,4934 + j 68,9828 = 142,3279∟28,9912º |
| 100% | 16,5000 | 3,5673 + j 7,5515 = 8,3517∟64,7142º | 125,9912 + j 75,6570 = 146,9617∟30,9846º |

Sumber: Hasil Perhitungan

**Arus Gangguan Hubung Singkat**

1. Arus Gangguan Hubung Singkat 3 Fasa

Arus gangguan hubung singkat 3 fasa ($I\_{3 fasa}$) dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan (10) sebagai berikut:

$I\_{hs 3 fasa} =\frac{\frac{V\_{L‒L}}{\sqrt{3}}}{Z\_{1 eq}} =\frac{\frac{20.000}{\sqrt{3}}}{8,3517∟64,7142º} =\frac{11.547,0054}{8,3517∟64,7142º} = 1.382,5892∟‒64,7142º A$

1. Arus Gangguan Hubung Singkat 2 Fasa

Arus gangguan hubung singkat 2 fasa ($I\_{2 fasa}$) dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan (11) sebagai berikut:

$I\_{hs 2 fasa} = \frac{V\_{L‒L}}{2 × Z\_{1 eq}} = \frac{20.000}{2×\left(8,3517∟64,7142º\right)} = \frac{20.000}{16,7035∟64,7142º} = 1.952,3573∟‒64,7142 A$

1. Arus Gangguan Hubung Singkat 1 fasa ke tanah

Arus gangguan hubung singkat 1 fasa ke tanah ($I\_{1 fasa ke tanah}$) dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan (12) sebagai berikut:

$I\_{hs 1 fasa ke tanah} = \frac{3 × \frac{V\_{L‒L}}{\sqrt{3}}}{2 × Z\_{1 eq} + Z\_{0 eq}}=\frac{3 × \frac{20.000}{\sqrt{3}}}{2×\left(3,5673 + j 7,5515 \right) + 125,9912 + j 75,6570}$

$= \frac{34.641,0162}{133,1258 + j 58,1201}= 238,4763∟‒23,5851° A$

Dengan demikian nilai arus gangguan hubung singkat 3 fasa ($I\_{hs 3 fasa}$), 2 fasa ($I\_{hs 2 fasa}$), 1 fasa ke tanah ($I\_{hs 1 fasa ke tanah}$) untuk lokasi gangguan dengan jarak 0 %, 25 %, 50 %, 75 % dan 100 % dari panjang penyulang, adalah:

**Tabel 6. Hasil Perhitungan Arus Gangguan Hubung Singkat Berdasarkan Lokasi Gangguan**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Lokasi Gangguan** | $I\_{hs 3 fase}$ **(A)** | $I\_{hs 2 fase}$ **(A)** | $I\_{hs 1 fasa ke tanah}$ **(A)** |
|  **(%)** |  **(km)** |
| 0% | 0,0000 | 5.503,0663∟0,0000º | 4.765,7952∟0,0000º | 284,5463∟‒9,7021º |
| 25% | 4,1250 | 3.230,2616∟‒75,5528º | 2.797,4886∟‒75,5528º | 273,0657∟‒13,6406º |
| 50% | 8,2500 | 2.244,7338∟‒69,7119º | 1.943,9965∟‒69,7119º | 261,3833∟‒17,2581º |
| 75% | 12,3750 | 1.712,7405∟‒66,6188º | 1.483,2768∟‒66,6188º | 249,7847∟‒20,5667º |
| 100% | 16,5000 | 1.382,5892∟‒64,7142º | 1.197,3573∟‒64,7142º | 238,4763∟‒23,5851º |

Sumber: Hasil Perhitungan

***Setting* Relai Arus Lebih Di Sisi Penyulang 20 kV (*Outgoing*)**

1. *Setting* Arus

$I\_{beban} = 94 A$

$Rasio CT = 300/5 A$

*Setting* arus untuk Relai Arus Lebih, pada sisi primer dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan (13) sebagai berikut:

$I\_{set} \left(70 kV\right) = 1,1 × I\_{beban} = 1,1 × 94 = 103,400 A$

Maka besarnya arus pada sisi sekunder dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan (14) sebagai berikut:

$I\_{set} \left(20 kV\right) = I\_{set} \left(70 kV\right) × \frac{1}{Ratio CT} = 103,400 × \frac{1}{300/5} = 1,7233 A$

1. *Setting* Waktu

*Setting* waktu (TMS) dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan (15) sebagai berikut:

$TMS = \frac{t × \left(\left(\frac{I\_{3 fasa}(0\%)}{I\_{set} (70 kV)}\right)^{0,02} ‒ 1\right)}{0,14} = \frac{0,3 × \left(\left(\frac{5.503,0663}{103,400}\right)^{0,02} ‒ 1\right)}{0,14} = 0,1773$

***Setting* Relai Arus Lebih Di Sisi *Incoming* 20 kV**

1. *Setting* Arus

$Rasio CT = 1.000/5 A$

Arus nominal transformator pada sisi 20 kV dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan (16) sebagai berikut:

$I\_{nominal} \left(20 kV\right) = \frac{kVA\_{T}}{\sqrt{3} V\_{L-L}} = \frac{30.000}{\sqrt{3} ×20} = 866,0254 A$

*Setting* arus untuk Relai Arus Lebih, pada sisi primer dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan (17) sebagai berikut:

$I\_{set} (70 kV) = 1,1 × I\_{nominal} \left(20 kV\right) = 1,1 × 866,0254 = 952,6279 A$

Maka *setting* arus untuk Relai Arus Lebih, pada sisi sekunder dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan (18) sebagai berikut:

$I\_{set} (20 kV) = I\_{set} (70 kV) × \frac{1}{Ratio CT} = 952,6279 × \frac{1}{1.000/5} = 4,7631 A$

1. *Setting* Waktu

*Setting* waktu (TMS) dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan (19) sebagai berikut:

$TMS = \frac{t × \left(\left(\frac{I\_{3 fasa}(0\%)}{I\_{set} (70 kV)}\right)^{0,02} ‒ 1\right)}{0,14} = \frac{0,3 × \left(\left(\frac{5.503,0663}{952,6279 }\right)^{0,02} ‒ 1\right)}{0,14} = 0,1785 A$

***Setting* Relai Gangguan Tanah di Sisi Penyulang 20 kV****(*Outgoing*)**

1. *Setting* Arus

Arus gangguan terkecil terletak di lokasi gangguan 100% maka *setting* arus untuk Relai Gangguan Tanah dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan (20) sebagai berikut:

$I\_{set} \left(70 kV\right) = 10\% × I\_{1 fasa ke tanah }\left(100\%\right) = 0,1 × 238,4763 = 23,8476 A$

Maka *setting* arus untuk Relai Gangguan Tanah, pada sisi sekunder dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan (21) sebagai berikut:

$I\_{set} \left(20 kV\right) = I\_{set} \left(70 kV\right) × \frac{1}{Ratio CT} = 23,8476 × \frac{1}{300/5} = 0,3975 A$

1. *Setting* Waktu

*Setting* waktu (TMS) dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan (22) sebagai berikut:

$TMS = \frac{t × \left(\left(\frac{I\_{1 fasa ke tanah}(0\%)}{I\_{set} (70 kV)}\right)^{0,02} ‒ 1\right)}{0,14} = \frac{0,3 × \left(\left(\frac{284,5463}{23,8476}\right)^{0,02} ‒ 1\right)}{0,14} = 0,1773$

***Setting* Relai Gangguan Tanah Di Sisi *Incoming* 20 kV**

1. *Setting* Arus

*Setting* arus untuk Relai Gangguan Tanah pada sisi primer, dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan (23) sebagai berikut:

$I\_{set} \left(70 kV\right) = 8\% × I\_{1 fasa ke tanah} (100\%) = 0,08 × 238,4763 = 19,0781 A$

Maka *setting* arus untuk Relai Gangguan Tanah, pada sisi sekunder dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan (24) sebagai berikut:

$I\_{set} (20 kV) = I\_{set} (70 kV) × \frac{1}{Ratio CT} = 19,0781 × \frac{1}{1.000/5} = 0,0954 A$

1. *Setting* Waktu

*Setting* waktu ($TMS$) dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan (25) sebagai berikut:

$TMS = \frac{t × \left(\left(\frac{I\_{1 fasa ke tanah}(0\%)}{I\_{set} (70 kV)}\right)^{0,02} ‒ 1\right) }{0,14}= \frac{0,3 × \left(\left(\frac{284,5463}{19,0781}\right)^{0,02} ‒ 1\right)}{0,14} = 0,0992$

**Tabel 7. Waktu Kerja Relai Untuk Gangguan Hubung Singkat Berdasarkan Lokasi Gangguan**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Lokasi Gangguan** | **Gangguan 3 Fasa (detik)** | **Gangguan 2 Fasa (detik)** | **Gangguan 1 Fasa Ke Tanah (detik)** |
| **(%)** | **(Km)** | **Relai *Incoming*** | **Relai Penyulang** | **Selisish Waktu** | **Relai *Incoming*** | **Relai Penyulang** | **Selisish Waktu** | **Relai *Incoming*** | **Relai Penyulang** | **Selisish Waktu** |
| 0% | 0,0000 | 0,7000 | 0,3000 | 0,4000 | 0,7636 | 0,3117 | 0,4519 | 0,7000 | 0,3000 | 0,4000 |
| 25% | 4,1250 | 1,0108 | 0,3483 | 0,6625 | 1,1474 | 0,3640 | 0,7834 | 0,7111 | 0,3052 | 0,4059 |
| 50% | 8,2500 | 1,4453 | 0,3909 | 1,0544 | 1,7393 | 0,4107 | 1,3286 | 0,7233 | 0,3109 | 0,4124 |
| 75% | 12,3750 | 2,1175 | 0,4298 | 1,6877 | 2,8094 | 0,4536 | 2,3557 | 0,7364 | 0,3171 | 0,4194 |
| 100% | 16,5000 | 3,3419 | 0,4663 | 2,8756 | 5,4521 | 0,4944 | 4,9577 | 0,7503 | 0,3236 | 0,4267 |

Sumber: Hasil Perhitungan

**Pembahasan**

**Arus Gangguan Hubung Singkat**

Untuk perhitungan arus gangguan hubung singkat dilakukan disepanjang panjang jaringan dan diasumsikan titik-titik atau lokasi gangguan hubung singkat yang terjadi adalah pada lokasi 0 %, 25 %, 50 %, 75 % dan 100 % dari panjang jaringan. Tabel 6 menunjukkan hasil perhitungan arus gangguan hubung singkat pada Penyulang Gurami, dan dapat diketahui bahwa apabila ditinjau dari gangguan terhadap fasa, arus gangguan hubung singkat 3 fasa lebih besar daripada arus gangguan hubung singkat 2 fasa dan arus gangguan hubung singkat 1 fasa tanah. Begitu pula arus gangguan hubung singkat 2 fasa lebih besar daripada arus gangguan hubung singkat 1 fasa tanah. Selain itu besarnya arus gangguan hubung singkat berbanding terbalik dengan jarak titik gangguan atau panjang jaringan, dimana semakin jauh jarak titik gangguan maka akan semakin kecil pula nilai arus gangguan hubung singkatnya.

***Setting* Relai Arus Lebih Dan Relai Gangguan Tanah di Sisi Penyulang 20 kV (*Outgoing*)**

Besarnya nilai *setting* relai di sisi penyulang ditentukan oleh arus beban maksimum serta rasio pada Penyulang Gurami. Relai arus lebih akan bekerja bila arus yang mengalir melebihi nilai *setting* arusnya (Iset), yaitu Iset (primer) 103,4 A dan Iset (sekunder) 1,7233 A. Relai ini bekerja dengan membaca *input* berupa besaran arus kemudian membandingkan dengan nilai *setting*, apabila nilai arus *setting* terbaca oleh relai melebihi nilai *setting*, maka relai akan mengirim perintah *trip* (lepas) kepada Pemutus Tenaga (PMT) atau *Circuit Breaker* (CB) setelah tunda waktu TMS 0,1773 detik yang diterapkan pada *setting*. Relai arus lebih memproteksi instalasi listrik terhadap gangguan antar fasa. Sedangkan untuk memproteksi terhadap gangguan fasa tanah digunakan relai gangguan tanah. Waktu kerja OCR lebih cepat daripada waktu kerja GFR, karena OCR bekerja berdasarkan penguluran arus, dimana relai akan berkerja apabila merasakan arus diatas nilai *setting*nya. GFR dirancang sebagai pengaman cadangan transformator jika terjadi gangguan hubung singkat fasa terhadap tanah, baik dalam transformator (*internal fault*) maupun gangguan eksternal (*external fault*). *Setting* arus GFR (Iset (primer) = 23,8476 A dan Iset (sekunder) = 0,3975 A) lebih kecil daripada OCR.

***Setting* Relai Arus Lebih Dan Relai Gangguan Tanah Di Sisi *Incoming* 20 kV**

Besarnya nilai *setting* relai di sisi *incoming*20 kV ditentukan oleh arus beban maksimum serta

rasio pada Penyulang Gurami. Relai arus lebih akan bekerja bila arus yang mengalir melebihi nilai *setting* arusnya (Iset), yaitu Iset (primer) 952,6279 A dan Iset (sekunder) 4,7631 A. Relai ini bekerja dengan membaca *input* berupa besaran arus kemudian membandingkan dengan nilai *setting*, apabila nilai arus *setting* terbaca oleh relai melebihi nilai *setting*, maka relai akan mengirim perintah *trip* (lepas) kepada Pemutus Tenaga (PMT) atau Circuit Breaker (CB) setelah tunda waktu TMS 0,1785 detik yang diterapkan pada *setting*. Relai arus lebih memproteksi instalasi listrik terhadap gangguan antar fasa. Sedangkan untuk memproteksi terhadap gangguan fasa tanah digunakan relai gangguan tanah. Waktu kerja OCR lebih cepat daripada waktu kerja GFR, karena OCR bekerja berdasarkan penguluran arus, dimana relai akan berkerja apabila merasakan arus diatas nilai *setting*nya. GFR dirancang sebagai pengaman cadangan transformator jika terjadi gangguan hubung singkat fasa terhadap tanah, baik dalam transformator (*internal fault*) maupun gangguan eksternal (*external fault*). *Setting* arus GFR (Iset (primer) = 19,7081 A dan Iset (sekunder) = 0,0954 A) lebih kecil daripada OCR.

1. **KESIMPULAN**
2. Besarnya arus gangguan hubung singkat dipengaruhi oleh jarak titik gangguan, semakin jauh lokasi gangguan maka arus gangguan hubung singkat akan semakin kecil, begitu pula sebaliknya.
3. Waktu kerja relai di sisi penyulang lebih cepat dibandingkan dengan waktu kerja di *incoming* dengan selisih waktu (*grading time*) rata-rata sebesar 1,34 detik. Hal ini disebabkan lokasi gangguan mempengaruhi besar kecilnya selisih waktu (*grading time*). Semakin jauh jarak lokasi gangguan, maka semakin besar selisih waktu kerja relai di *incoming*.

**DAFTAR PUSTAKA**

1. A. Azis and I. K. Febrianti, “Analisis Sistem Proteksi Arus Lebih Pada Penyulang Cendana Gardu Induk Bungaran Palembang,” *Jurnal Ampere,* vol. 4, no. 2, pp. 332‒344, 2019, DOI: http://dx.doi.org/10.31851/ampere.v4i2.3468.
2. A. Pauzan, A. Azis and I. K. Febrianti. “Analisa Penggunaan Recloser Untuk Memproteksi Arus Lebih Pada Jaringan Distribusi di PT. PLN (Persero) ULP Mariana Gardu Induk Prajin,” *Jurnal Surya Energy,* vol. 6, no. 1, pp. 17‒24, 2021, DOI: <https://doi.org/10.32502/jse.v6i1.3097>.
3. Emidiana, “Pengaruh Gangguan Hubung Singkat 1 Fasake Tanah Terhadap Kinerja Alternator,” *Jurnal Ampere,* vol. 2, no. 1, pp. 12‒18, 2017, DOI: http://dx.doi.org/10.31851/ampere.v2i1.1206.
4. N. Nurdiana, “Analisa Gangguan Arus Hubung Singkat Pada Penyulang Nakula Gardu Induk Talang Kelapa,” *Jurnal Ampere,* vol. 1, no. 1, pp. 26‒36, 2016, DOI: http://dx.doi.org/10.31851/ampere.v1i1.475.
5. P. M. Anderson, Power System Protection, New York: Wiley‒IEEE Press, 2022.
6. P. Kadarisman and W. Sarimun, Koordinasi OCR dan GFR Pada Jaringan Distribusi, Jakarta: PT PLN (Persero) Jasa Pendidikan dan Pelatihan, 2002.
7. T. Ardianto, A. Azis and Perawati, “Evaluasi Koordinasi Sistem Proteksi Transformator 30 MVA di PT. PLN (Persero) Gardu Induk Keramasan,” *Jurnal Surya Energy,* vol. 5, no. 2, pp. 61‒66, 2021, DOI: <https://doi.org/10.32502/jse.v5i2.3095>.
8. T. Gonen, Electric Power Distribution System Engineering, Boca Raton: CRC Press Taylor & Francis Group, 2014.