

SISTEM MANAJEMEN KOORDINASI RELE ARUS LEBIH PADA FEEDER 'A' DARI SS#14 SAMPAI KE SS#15 PLAJU

Letifa Shintawaty¹⁰

Abstrak: Untuk meningkatkan keandalan sistem kelistrikan serta meminimalisir adanya gangguan di PT.Pertamina (Persero), diperlukan peralatan proteksi.Salah satu proteksi yang terdapat pada feeder 'A' SS#14 sampai ke incoming SS#15 merupakan rele arus lebih.Pada bulan Maret 2018 kemarin, rele arus lebih tersebut tidak terkoordinasi dengan baik. Dikarenakan hal tersebut, sehingga distribusi listrik ke bagian perumahan komperta Plaju menjadi terganggu. Setelah dilakukan analisa, didapatlah bahwa untuk koordinasi antar rele arus lebih yang terdapat pada feeder 'A' tidak berdasarkan urutan kerja rele tersebut. Pada rele arus lebih pengaman fasa RST, untuk rele yang paling jauh letaknya dari titik gangguan (Incoming SS#14 sisi 12 kV) bekerja lebih cepat yaitu 0,88 detik dibandingkan dua lokasi rele yang paling dekat dengan titik gangguan yaitu 1,36 detik (Incoming SS#14 sisi 6,9 kV) dan 14,6 detik (Outgoing SS#14 to SS#15).Dari hasil perhitungan didapatlah koordinasi rele arus lebih pada feeder 'A' tersebut.Sehingga rele arus lebih yang paling dekat dengan titik gangguan bekerja lebih dahulu dibandingkan rele arus lebih setelahnya. Untuk rele arus lebih yang paling dekat dengan titik gangguan mempunyai waktu kerja sebesar 0,3 detik dan untuk rele arus lebih yang paling jauh dari titik gangguan mempunyai waktu kerja 1,5 detik. Hal tersebut dilakukan agar koordinasi rele arus lebih dapat berjalan dengan baik.

Kata kunci: proteksi, rele arus lebih, koordinasi

Abstract: To improve electrical system reliability and minimize interference at PT. Pertamina (Persero), protection equipment is needed. One of the safeguards in the 'A' SS # 14 feeder to incoming SS # 15 is overcurrent relay. In March 2018 yesterday, overcurrent relays were not well coordinated. Because of this, the electricity distribution to the part of Plaju's joint housing was disrupted. After analysis, it was found that for overcurrent relay coordination contained in the 'A' feeder is not based on the relay work order. In the RST phase safety overcurrent relay, for the relay that is farthest away from the point of interference (Incoming SS # 14 side 12 kV) it works faster ie 0.88 seconds compared to the two relay locations closest to the point of disturbance which is 1.36 seconds Side SS # 14 6.9 kV) and 14.6 seconds (Outgoing SS # 14 to SS # 15). From the calculation results, the coordination of overcurrent relay on the 'A' feeder. So that overcurrent relays are closest to the point interference works first than overcurrent relay afterwards. For overcurrent relays that are closest to the point of disturbance, they have a working time of 0.3 seconds and for overcurrent relays the farthest from the point of interference has a working time of 1.5 seconds. This is done so that the coordination of overcurrent relay can run well.

Keywords: protection, overcurrent relay, coordination

¹⁰ Dosen Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Tridianti Palembang.

PENDAHULUAN

Dalam memenuhi kebutuhan listrik produksi dan perindustrian, PT.Pertamina (Persero) Refinery Unit III membangun pembangkit listrik sendiri. Proses penyaluran energi listrik tentunya tidak luput dari gangguan-gangguan. Untuk meningkatkan keandalan sistem kelistrikan serta meminimalisir adanya gangguan, diperlukan peralatan proteksi. Adanya gangguan pada sistem dapat menyebabkan kerusakan sistem dan peralatan listrik.Selain itu adanya gangguan dapat mengganggu kontinuitas dan keandalan

sistem.Sehingga peralatan proteksi yang ada diharapkan dapat bekerja optimal dalam mengalokasi gangguan maupun menjaga sistem agar tetap baik, serta menghindarkan dari rusaknya peralatan.

Pada bulan Maret 2018 lalu, terdapat gangguan hubung singkat di feeder A incoming SS#15. Incoming SS#15 sendiri mendapat suplay listrik dari SS#14. Untuk distribusi listrik di SS#15 disalurkan ke perumahan komperta Plaju, sehingga pada saat gangguan tersebut distribusi listrik ke perumahan komperta Plaju terhenti.Gangguan tersebut bahkan sampai ke transformator di sisi incoming SS#14. Rele

proteksi di feeder tersebut saat itu tidak bekerja sebagaimana mestinya.

TINJAUAN PUSTAKA

Gangguan Hubung Singkat^[1]

Proteksi sistem tenaga listrik, sangat penting untuk mengetahui distribusi arus dan tegangan di berbagai tempat akibat timbulnya gangguan. Karakteristik kerja rele proteksi dipengaruhi oleh besaran energi yang dimonitor oleh rele seperti arus atau tegangan. Dengan mengetahui distribusi arus dan tegangan maka proteksi dapat menentukan setelan (setting) untuk rele proteksi dan rating dari pemutus tenaga/circuit breaker (CB) yang akan digunakan. Gangguan hubung singkat dapat diklasifikasi menjadi tiga jenis yaitu:

a. Gangguan Hubung Singkat Satu Fasa ke Tanah

Gangguan yang sering terjadi pada sistem tenaga listrik merupakan gangguan asimetris sehingga memerlukan metode komponen simetris untuk menganalisa tegangan dan arus pada saat terjadinya gangguan. Gangguan yang terjadi dapat dianalisa dengan menghubungkan-singkat semua sumber tegangan yang ada pada sistem dan mengganti titik gangguan dengan sebuah sumber tegangan yang besarnya sama dengan tegangan sesaat sebelum terjadinya gangguan di titik gangguan tersebut. Dengan menggunakan metode ini sistem tiga fasa tidak seimbang dapat direpresentasikan dengan teori komponen simetris yang berdasarkan komponen urutan positif, komponen urutan negatif dan komponen urutan nol.

$$I_s = \frac{3 \times V_{ph}}{Z_0 + Z_1 + Z_2} \dots (2.1)$$

Dimana:

V_{ph} = Tegangan fasa netral sistem 6,9 kV
 $kV = \frac{6}{\sqrt{3}} (V)$

Z_0 = Impedansi urutan nol dilihat dari titik gangguan

Z_1 = Impedansi urutan positif dilihat dari titik gangguan

Z_2 = Impedansi urutan negatif dilihat dari titik gangguan

b. Gangguan Hubung Singkat Dua Fasa

$$I_s = \frac{V_{ph-ph}}{Z_1 + Z_2} \dots (2.2)$$

Dimana:

V_f = Tegangan fasa-fasa sistem 6,9 kV = 6900 V

Z_1 = Impedansi urutan positif dilihat dari titik gangguan

Z_2 = Impedansi urutan negatif dilihat dari titik gangguan

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

c. Gangguan Hubung Singkat Tiga Fasa

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

$$I_s = \frac{V_{ph}}{Z_1} \dots (2.3)$$

Dimana:

V_{ph} = Tegangan fasa netral sistem 6,9

kV = $\frac{6}{\sqrt{3}} (V)$

Z_1 = Impedansi urutan positif dilihat dari titik gangguan

Dasar Sistem Proteksi^[2]

Rele Proteksi adalah susunan peralatan yang direncanakan untuk dapat merasakan atau mengukur adanya gangguan atau mulai merasakan adanya ketidak normalan pada peralatan atau bagian sistem tenaga listrik dan segera secara otomatis memberi perintah untuk membuka pemutus tenaga dan memisahkan peralatan atau bagian dari sistem yang terganggu dan memberi isyarat berupa lampu dan bel. Rele proteksi dapat merasakan atau melihat adanya gangguan pada peralatan yang diamankan dengan mengukur atau membandingkan besaran-besaran yang diterimanya, misalnya arus, tegangan, daya, sudut fasa, frekuensi, impedansi dan sebagainya, dengan besaran yang telah ditentukan, kemudian mengambil keputusan untuk seketika ataupun dengan perlambatan waktu membuka pemutus tenaga. Pemutus tenaga umumnya dipasang pada generator, transformator daya, saluran transmisi, saluran distribusi dan sebagainya supaya masing-masing bagian sistem dapat dipisahkan

sedemikian rupa sehingga sistem lainnya tetap dapat beroperasi secara normal.

Untuk mendapatkan hasil yang diharapkan pada sistem tenaga agar dapat diandalkan, maka kemampuan dari rele proteksi harus memenuhi persyaratan sebagai berikut:

a. Kepekaan (Sensitivity)

Pada prinsipnya rele harus cukup peka sehingga dapat mendeteksi gangguan di kawasan pengamanannya meskipun dalam kondisi yang memberikan rangsangan yang minimum. Dikatakan sensitif yakni dapat mendeteksi gangguan yang sedini dan sekecil mungkin, sebelum menimbulkan kerusakan yang lebih besar.

b. Keandalan (Reliability)

Pada keandalan pengaman ada 3 aspek, pada sistem distribusi dengan tegangan menengah, yaitu:

➤ Dependability

Dependability yaitu tingkat kepastian bekerjanya (keandalan kemampuan bekerjanya). Pada prinsipnya pengaman harus dapat diandalkan bekerjanya (dapat mendeteksi dan melepaskan bagian yang terganggu), tidak boleh gagal bekerja. Dengan lain perkataan dependabilitynya harus tinggi.

➤ Security

Security yaitu tingkat kepastian untuk tidak salah kerja (keandalan untuk tidak salah kerja). Salah kerja adalah kerja yang yang semestinya tidak harus kerja, misalnya karena lokasi gangguan di luar kawasan pengamannya atau sama sekali tidak ada gangguan, atau kerja yang terlalu cepat atau terlalu lambat.

➤ Availability

Availability yaitu perbandingan antara waktu di mana pengaman dalam keadaan siap kerja (actually in service) dan waktu total operasinya.

➤ Selektifitas (Selectivity)

Pengaman harus dapat memisahkan bagian sistem yang terganggu sekecil mungkin yaitu hanya seksi yang terganggu saja yang menjadi kawasan pengamanannya utamanya. Pengamanannya sedemikian disebut pengaman yang selektif. Jadi rele harus dapat

membedakan apakah gangguan terletak di kawasan pengamanannya utamanya dimana ia harus bekerja cepat atau terletak di seksi berikutnya dimana ia harus bekerja dengan waktu tunda atau harus tidak bekerja sama sekali karena gangguan diluar daerah pengamanannya atau sama sekali tidak ada gangguan.

➤ Kecepatan (speed)

Untuk memperkecil kerugian/kerusakan akibat gangguan dengan arus besar, maka bagian yang terganggu harus dipisahkan secepat mungkin dari sumbernya. Untuk menciptakan selektifitas yang baik, mungkin saja suatu pengaman terpaksa diberi waktu tunda (time delay). Antara pengaman yang terpasang namun waktu tunda itu harus secepat mungkin.

c. Ekonomis

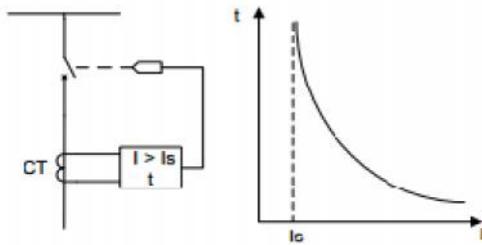
Dengan pengeluaran biaya seminim mungkin dalam arti penempatan jenis rele terhadap peralatan listrik yang diamankan, sesuai dengan jenis gangguan yang ditimbulkannya dan tidak boleh merubah keandalan sistem.

Rele Arus Lebih^[3]

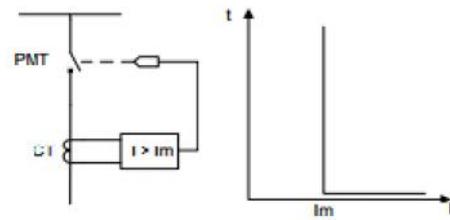
Rele arus lebih atau Over Current Relay (OCR) adalah rele yang melindungi sistem dari gangguan arus lebih dimana waktu kerjanya tergantung dari arus gangguan dan waktu. Rele ini akan memberikan perintah kepada PMT (pemutus tenaga) pada saat terjadi gangguan bila besar gangguannya melampaui arus penyetelannya berdasarkan perbandingan arus setting pada rele terhadap arus primer pada jaringan. Jika arus primer lebih kecil dari arus setting maka rele tidak akan bekerja. Sebaliknya bila arus primer melebihi arus setting maka rele akan bekerja/ beroperasi. OCR dapat dibedakan menjadi beberapa jenis karakteristik yaitu :

1. Invers time

OCR Invers adalah rele dimana waktu tundanya memiliki karakteristik tergantung pada besarnya arus gangguan. Semakin besar arus gangguannya maka waktu kerja rele akan semakin singkat atau cepat. Nilai arus gangguan berbanding terbalik dengan waktu kerja rele.



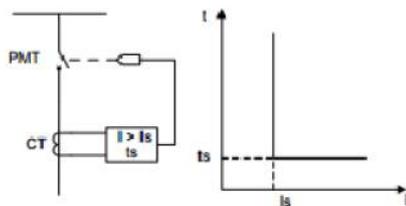
Gambar 1 Karakteristik OCR *Invers Time*



Gambar 3 Karakteristik OCR *Instantaneous Time*

2. *Definite time*

OCR tipe ini bekerja tidak tergantung pada nilai arus gangguan. Rele ini memberikan perintah kepada PMT pada saat terjadi gangguan bila besargangguannya melampaui arus penyetalannya, dan jangka waktu rele ini mulai pickup sampai kerja diperpanjang dengan waktu tidak tergantung pada besarnya arus. Berikut ini adalah grafik hubung OCR definite time.



Gambar 2 Karakteristik OCR *Definite Time*

Sifat atau karakteristik dari rele definite adalah rele baru akan bekerja bila arus yang mengalir pada rele tersebut melebihi besarnya arus setting (I_s) yang telah ditentukan. Dan lamanya selang waktu rele bekerja untuk memberikan komando tripping sesuai dengan waktu setting (T_s) yang diinginkan. Pada rele ini waktu bekerjanya ($T_{tripping} = T_s$) tetap konstan, tidak dipengaruhi oleh besarnya arus yang mengerjakan rele tersebut.

3. *Instantaneous time*

Karakteristik OCR ini bekerja tanpa tunda waktu. Rele ini akan memberikan perintah pada PMT untuk memutuskan jaringan yang mengalami gangguan bila besarnya arus gangguan melebihi arus pengaturannya, dan jangka waktu kerja tanpa penundaan. Dibawah ini adalah grafik karakteristiknya.

Dikarenkan rele ini tanpa penundaan waktu, maka koordinasi untuk mendapatkan selektifitas yang tinggi didasari pada tingkat beda arusnya.

Terdapat beberapa tahapan untuk pengaturan proteksi rele OCR (Over Current Relay). Berikut adalah tahapan yang harus dilakukan untuk mendapatkan setting rele:^[4]

Penghitungan Impedansi

1) **Penyulang**

Perhitungan impedansi penyulang bergantung pada besaran nilai tahanan yang telah ditetapkan oleh data sheet pabrik. Dimana nilai tersebut ditentukan dari jenis penghantar yang digunakan. Dengan persamaan rumus :

$$Z = R^2 + X^2 \dots(2.4)$$

Keterangan :

Z = Impedansi penyulang

R = Resistansi penyulang

X = Reaktansi penyulang

2) **Transformator**

Komponen hitung yang diperlukan dapat dilihat pada spesifikasi trafo yang digunakan. Langkah pertama mencari nilai impedansi trafo pada 100% untuk trafo 6,9 kV yaitu dengan menggunakan rumus:

$$X_{trafo} (100\%) = \frac{k^2}{M} \dots(2.5)$$

Keterangan :

Xtrafo = Reaktansi transformator ()

kV = Tegangan pada sisi sekunder trafo (kV)

MVA = Kapasitas daya maksimal trafo (MVA)

Lalu selanjutnya mencari nilai reaktansi tenaganya:

Untuk menghitung reaktansi urutan positif dan negatif ($X_{t1} = X_{t2}$) menggunakan rumus:
 $X_{t1} = \% \text{ Impedansi trafo} \times X_t \text{ (pada 100\%)}$

Sebelum menghitung reaktansi urutan nol (X_{t0}) terlebih dahulu harus diketahui data transformator tenaga itu sendiri yaitu data kapasitas belitan delta yang ada di dalam trafo:

- Untuk trafo tenaga dengan hubungan belitan Y dimana kapasitas belitan delta sama besar dengan kapasitas belitan Y, maka $X_{t0} = X_{t1}$.
- Untuk trafo tenaga dengan hubungan belitan Yyd dimana kapasitas belitan delta (d) biasanya adalah sepertiga dari kapasitas belitan Y (belitan yang dipakai untuk menyalurkan daya, sedangkan belitan delta tetap ada di dalam tetapi tidak dikeluarkan kecuali satu terminal delta untuk ditanahkan, maka nilai $X_{t0} = 3 \times X_{t1}$.
- Untuk trafo tenaga dengan hubungan belitan YY dan tidak mempunyai belitan delta di dalamnya, maka untuk menghitung besarnya X_{t0} berkisar anatar 9 s/d 14 x X_{t1} .

Sumber

Pada sisi sumber juga terdapat nilai impedansi. Berikut adalah rumus yang dapat menentukan besaran nilainya :

$$Z_s = \frac{K^2}{M} \quad (2.6)$$

Keterangan : Z_s = Impedansi

Sumber ()

KV = Tegangan (kV)

MVAsc= Daya hubung singkat (MVA)

Untuk besaran nilai yang dibutuhkan dalam hitungan terdapat pada data sheet beban yang digunakan.

Penghitungan Nilai Pickup Lowset

Dari standart British BS 142-1983 range penyetelan Iset adalah 1,05-1,3 kali arus nominal (rele arus lebih untuk fasa RST) dan 0,02 kali arus nominal (rele arus lebih untuk gangguan tanah). Mengacu dari standart tersebut maka perhitungannya dapat di lihat sebagai berikut: [5]

$$I_{set} \text{ (primer)} = 1,05 \text{ atau } 0,02 \times I_{nominal} \dots (2.7)$$

$$I_{set} \text{ (sekunder)} = I_{set} \text{ (primer)} \times \frac{1}{r_1} \dots (2.8)$$

Keterangan: $I_{set} \text{ (primer)}$ = Arus pickup lowset primer (A)

$I_{set} \text{ (sekunder)}$ = Arus pickup lowset sekunder (A)

Inominal = Arus beban penuh (A)

rCT = Ratio Current Transformer

➤ Penghitungan Nilai Setting Waktu Rele [6]

Setting waktu menentukan waktu operasi rele. Untuk menentukan setting waktu sesuai dengan karakteristik rele arus lebih sesuai IEC 60255-3 dan BS 142:1966 sebagai berikut:

$$t = TMS \times \frac{0,1}{\left(\frac{I}{I_p}\right)^{0,0-1}} \text{ (detik)} \dots (2.9)$$

$$TMS = \frac{\left(\frac{I}{I_p}\right)^{0,0-1}}{0,1} t \dots (2.10)$$

Waktu kerja rele yang paling dekat dengan titik gangguan ditetapkan $t = 0,3$ detik. Kemudian waktu kerja rele-rele setelahnya dibuat lebih lambat sekitar 0,4 detik. Berdasarkan perbedaan waktu tersebut dipengaruhi oleh beberapa hal, yaitu: [7]

- Kesalahan rele pada feeder/ penyulang : 0,1 detik
- Waktu pembukaan CB sampai hilangnya bunga api : 0,15 detik
- Overshoot : 0,05 detik
- Faktor keamanan : 0,1 detik

Selisih waktu kerja dari rele-rele itu disebut grading time yang maksudnya agar rele di titik yang paling dekat dengan gangguan tersebut dapat bekerja lebih dahulu, agar ketika terjadi gangguan hubung singkat hanya daerah terjadi gangguan saja yang trip sehingga beban yang lain masih mendapatkan suplay listrik.

Tabel 1 Konstanta Karakteristik Rele Arus Lebih

| No. | Tipe Kurva | α | K |
|-----|-------------------|----------|--------|
| 1 | Standart Inverse | 0,02 | 0,14 |
| 2 | Very Inverse | 1,00 | 13,20 |
| 3 | Extremely Inverse | 2,00 | 80,00 |
| 4 | Long Time Inverse | 1,00 | 120,00 |

Keterangan:

Tms = Time dial / Time multiple setting

t = waktu kerja rele (detik)

Isc = Arus hubung singkat bus (A)

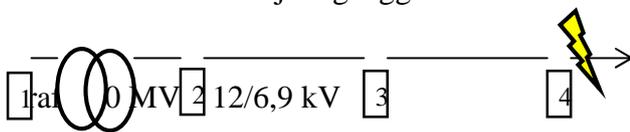
$I_{set} \text{ (primer)}$ = Arus pickup lowset primer (A)

METODOLOGI

Koordinasi Rele Arus Lebih

Pada bulan Maret 2018 lalu, terdapat gangguan hubung singkat di feeder A incoming SS#15. Incoming SS#15 sendiri mendapat suplay listrik dari SS#14. Untuk distribusi listrik di SS#15 disalurkan ke perumahan komperda Plaju, sehingga pada saat gangguan tersebut distribusi listrik ke perumahan komperda Plaju terhenti. Gangguan tersebut bahkan sampai ke transformator di sisi incoming SS#14. Rele proteksi di feeder tersebut saat itu tidak bekerja sebagaimana mestinya. Dikarenakan incoming SS#14 yang mendapatkan suplay listrik langsung dari pembangkit, maka apabila dibiarkan gangguan tersebut dapat terjadi sampai ke sisi pembangkit dan hal tersebut tentu saja dapat menyebabkan terjadinya black out. Sedangkan untuk SS#14 sendiri mendistribusikan listrik ke unit-unit *Prymari Proses* yang sangat penting dalam proses produksi perusahaan.

Pada feeder A dari incoming SS#14 sisi 12 kV sampai ke incoming SS#15 (titik yang mengalami gangguan), terdapat beberapa rele arus lebih yang tidak bekerja atau tidak terkoordinasi saat terjadi gangguan.



Gambar 4 Diagram Satu Garis feeder A

Keterangan:

- Nomor 1 = Incoming SS#14 sisi 12 kV
- Nomor 2 = Incoming SS#14 sisi 6,9 kV
- Nomor 3 = Outgoing SS#14 to SS#15
- Nomor 4 = Incoming SS#15

Adapun setting rele arus lebih pada feeder A tersebut dapat dilihat pada tabel dibawah ini:

Tabel 2 Tabel Settingan Sekarang pada Rele Arus Lebih

| No. | Lokasi | CT Ratio | Nomor | Invers | | Inst |
|-----|----------------------------|----------|-----------|---------|------------|------|
| | | | | Inv (A) | Dial (TMS) | |
| 1 | Incoming SS#14 sisi 12 kV | 1500/5 | 50/51 RST | 3,5 | 0,2 | 24 |
| | | | 51 G | 0,1 | 1 | - |
| 2 | Incoming SS#14 sisi 6,9 kV | 2000/5 | 50/51 RST | 4,5 | 0,2 | 28 |
| | | | 50/51 G | 2,5 | 10 | 80 |

| | | | | | | |
|---|-------------------------|-------|--------|------|-----|---|
| 3 | Outgoing SS#14 to SS#15 | 400/5 | 51 RST | 6 | 5 | - |
| | | | 51 G | 0,5 | 3 | - |
| 4 | Incoming SS#15 | 750/5 | 51 RST | 0,8 | 0,3 | - |
| | | | 51 G | 0,05 | 0,1 | - |

Keterangan:

50 RST = Rele Arus Lebih Instantaneous time untuk fasa RST

50 G = Rele Arus Lebih Instantaneous time untuk gangguan tanah

51 RST = Rele Arus Lebih Invers time untuk fasa RST

51 G = Rele Arus Lebih Invers time untuk gangguan tanah

Data Transformator Tenaga

Transformator tenaga yang digunakan adalah transformator 20 MVA yang terletak pada incoming SS#14 yang menurunkan tegangan 12 KV ke 6,9 kV. Data pada transformator dapat dilihat pada tabel dibawah ini:

Tabel 3 Data Transformator

| | |
|------------------------|---------|
| Kapasitas | 20 MVA |
| Impedansi Trafo | 10,24 % |
| Tegangan Primer | 12 kV |
| Tegangan Sekunder | 6,9 kV |
| Hubungan Belitan Trafo | Y |

Data Saluran

Feeder A dari SS#14 sampai ke SS#15 Plaju PT.Pertamina (Persero) Refineri Unit III mempunyai panjang 2,981 km (kabel bawah tanah) dengan ukuran 240 mm². Berikut merupakan nilai impedansi kabel bawah tanah menurut SPLN 64: 1985 :

Tabel 4 Impedansi Kabel Tanah

| A (mm ²) | R (/km) | L (mH/km) | C (mf/km) | Impedansi urutan positif (/km) | Impedansi urutan Nol (/km) |
|----------------------|---------|-----------|-----------|--------------------------------|----------------------------|
| 150 | 0,206 | 0,33 | 0,26 | 0,206 + j0,104 | 0,356 + j0,312 |
| 240 | 0,125 | 0,31 | 0,31 | 0,125 + j0,097 | 0,275 + j0,029 |
| 300 | 0,100 | 0,30 | 0,34 | 0,100 + j0,094 | 0,250 + j0,282 |

ANALISA

Perhitungan Impedansi

- Menghitung Impedansi Sumber
Tegangan pada sumber sebesar 12 kV dengan data hubung singkat sebesar 4547 MVA. Berdasarkan persamaan 2.6, maka didapatkan:

$$X_s = \frac{K^2}{M_s} = \frac{1^2}{4} = 0,03167$$

Impedansi sumber (Z_s) adalah impedansi pada sisi 12 kV, karena arus gangguan hubung singkat yang akan dihitung pada sisi 6,9 kV maka impedansi sumber harus dikonversikan terlebih dahulu ke sisi 6,9 kV. Untuk mengkonversikan impedansi yang terletak pada sisi 12 kV ke sisi 6,9 kV dengan cara sebagai berikut:

$$X_s(\text{sisi } 6,9 \text{ kV}) = \frac{6,9^2}{1^2} \times 0,03167 = 0,01047$$

$$Z_s = j X_s (\text{sisi } 6,9 \text{ kV}) = j 0,01047$$

- Menghitung Reaktansi Transformator
Transformator tenaga 20 MVA memiliki persentase impedansi trafo sebesar 10,24%. Sebelum mencari reaktansi transformator urutan positif, negatif, dan nol, terlebih dahulu mencari nilai reaktansi transformator pada 100% untuk trafo pada sisi 6,9 kV dengan menggunakan persamaan 2.5 yaitu sebagai berikut:

$$X_t (\text{pada } 100\%) = \frac{k^2}{M} = \frac{6,9^2}{2} =$$

2,3805

Untuk mencari nilai impedansi urutan positif dan negatif ($Z_{t1} = Z_{t2}$) yaitu sebagai berikut:

$$X_{t1} = Z\% \times X_t = 10,24\% \times 2,3805 = 0,244$$

$$Z_t = Z_{t1} = Z_{t2}$$

$$Z_t = j X_t = j 0,244$$

Transformator ini mempunyai hubungan

Y maka untuk nilai reaktansi transformator urutan nol yaitu:

$$X_{t0} = X_{t1}$$

$$X_{t0} = 0,244$$

$$Z_{t0} = j X_{t0} = j 0,244$$

- Menghitung Impedansi Penyulang/Feeder
Impedansi penyulang/feeder akan dihitung tergantung dari besarnya impedansi per km dari feeder tersebut. Untuk penyulang yang digunakan pada

feeder A dari SS#14 sampai ke SS#15 Plaju di PT.Pertamina (Persero) Refinery Unit III mempunyai panjang 2,981 km (kabel bawah tanah) dengan ukuran 240 mm².

$$Z_1 = Z_2 = (0,125 + j 0,097) / \text{km} \times 2,981 = 0,373 + j 0,289$$

$$Z_0 = (0,275 + j 0,029) / \text{km} \times 2,981 = 0,820 + j 0,086$$

Dengan demikian nilai impedansi penyulang pada lokasi gangguan dengan jarak 0%, 25%, 50%, 75%, dan 100% panjang penyulang, sebagai berikut:

Urutan Positif dan Negatif

Tabel 5 Impedansi Penyulang Urutan Positif dan Negatif

| Panjang (%) | Impedansi Penyulang (Z_1 dan Z_2) |
|-------------|--|
| 0 | 0% $\cdot (0,373 + j0,289) = 0$ |
| 25 | 25% $\cdot (0,373 + j0,289) = 0,093 + j0,072$ |
| 50 | 50% $\cdot (0,373 + j0,289) = 0,186 + j0,144$ |
| 75 | 75% $\cdot (0,373 + j0,289) = 0,280 + j0,217$ |
| 100 | 100% $\cdot (0,373 + j0,289) = 0,373 + j0,289$ |

Urutan Nol

Tabel 6 Impedansi Penyulang Urutan Nol

| Panjang (%) | Impedansi Penyulang (Z_0) |
|-------------|--|
| 0 | 0% $\cdot (0,820 + j0,086) = 0$ |
| 25 | 25% $\cdot (0,820 + j0,086) = 0,205 + j0,021$ |
| 50 | 50% $\cdot (0,820 + j0,086) = 0,410 + j0,043$ |
| 75 | 75% $\cdot (0,820 + j0,086) = 0,615 + j0,064$ |
| 100 | 100% $\cdot (0,820 + j0,086) = 0,820 + j0,086$ |

- Menghitung Impedansi Ekuivalen Jaringan
Menghitung Z_{1eq} dan Z_{2eq} yang merupakan impedansi ekuivalen jaringan pada urutan positif dan negatif:
 $Z_{1eq} = Z_{2eq} = Z_s(\text{sisi } 6,9 \text{ kV}) + Z_{t1} + Z_1$ penyulang
 $= j0,01047 + j0,244 + Z_1$ penyulang
 $= j0,254 + Z_1$ penyulang
Karena lokasi gangguan diasumsikan terjadi pada 0%, 25%, 50%, 75%, dan 100

% panjang penyulang, maka impedansi ekivalen ($Z_{1eq} = Z_{2eq}$) yang didapat adalah:

Tabel 7 Impedansi Ekivalen ($Z_{1eq} = Z_{2eq}$)

| Panjang (%) | Impedansi ($Z_{1eq} = Z_{2eq}$) |
|-------------|--|
| 0 | $j0,254$ |
| 25 | $j0,254 + 0,093 + j0,072 = 0,093 + j0,326$ |
| 50 | $j0,254 + 0,186 + j0,144 = 0,186 + j0,398$ |
| 75 | $j0,254 + 0,280 + j0,217 = 0,280 + j0,471$ |
| 100 | $j0,254 + 0,373 + j0,289 = 0,373 + j0,543$ |

Sedangkan perhitungan impedansi ekivalen Z_{0eq} yaitu:

$$\begin{aligned} Z_{0eq} &= Z_{t0} + 3 RN + Z_0 \text{ penyulang} \\ &= j0,244 + 3.12 + Z_0 \text{ penyulang} \\ &= j0,244 + 36 + Z_0 \text{ penyulang} \end{aligned}$$

Lokasi gangguan diasumsikan terjadi pada 0%, 25%, 50%, 75%, dan 100% panjang penyulang, maka perhitungan impedansi ekivalen Z_{0eq} yaitu:

Tabel 8 Impedansi Ekivalen Z_{0eq}

| Panjang (%) | Impedansi (Z_{0eq}) |
|-------------|--|
| 0 | $36 + j0,244$ |
| 25 | $36 + j0,244 + 0,205 + j0,021 = 36,205 + j0,265$ |
| 50 | $36 + j0,244 + 0,410 + j0,043 = 36,410 + j0,287$ |
| 75 | $36 + j0,244 + 0,615 + j0,064 = 36,615 + j0,308$ |
| 100 | $36 + j0,244 + 0,820 + j0,086 = 36,820 + j0,330$ |

Menghitung Arus Gangguan Hubung Singkat

Dalam menghitung arus gangguan hubung singkat dapat dihitung menggunakan rumus yang dijelaskan sebelumnya, namun untuk impedansi ekivalen yang dimasukkan pada rumus tersebut, tergantung pada jenis gangguan hubung singkat yang dihitung, dimana gangguan hubung singkat tersebut bisa gangguan hubung singkat 3 fasa, 2 fasa, atau 1 fasa ke tanah.

➤ Gangguan Hubung Singkat 3 Fasa

Rumus yang digunakan untuk menghitung gangguan hubung singkat 3 fasa berdasarkan persamaan 2.3 yaitu:

$$I_{sc} (3\text{fasa}) = \frac{V_{ph}}{Z_{1e}} = \frac{\frac{6}{\sqrt{3}}}{Z_{1e}} = \frac{3}{Z_{1e}}$$

) Gangguan pada 0% panjang saluran di feeder A

$$I_{sc} (3\text{fasa}) = \frac{3}{Z_{1e}}$$

$$I_{sc} (3\text{fasa}) = \frac{3}{j0,2}$$

$$I_{sc} (3\text{fasa}) = \frac{3}{\sqrt{0^2 + j0,2^2}}$$

$$I_{sc} (3\text{fasa}) = \frac{3}{0,2}$$

$$I_{sc} (3\text{fasa}) = 15685,040 \text{ A}$$

) Gangguan pada 25% panjang saluran di feeder A

$$I_{sc} (3\text{fasa}) = \frac{3}{Z_{1e}}$$

$$I_{sc} (3\text{fasa}) = \frac{3}{0,0 + j0,3}$$

$$I_{sc} (3\text{fasa}) = \frac{3}{\sqrt{0,0^2 + j0,3^2}}$$

$$I_{sc} (3\text{fasa}) = \frac{3}{0,3}$$

$$I_{sc} (3\text{fasa}) = 11752,212 \text{ A}$$

) Gangguan pada 50% panjang saluran di feeder A

$$I_{sc} (3\text{fasa}) = \frac{3}{Z_{1e}}$$

$$I_{sc} (3\text{fasa}) = \frac{3}{0,1 + j0,3}$$

$$I_{sc} (3\text{fasa}) = \frac{3}{\sqrt{0,1^2 + j0,3^2}}$$

$$I_{sc} (3\text{fasa}) = \frac{3}{0,4}$$

$$I_{sc} (3\text{fasa}) = 9075,171 \text{ A}$$

) Gangguan pada 75% panjang saluran di feeder A

$$I_{sc} (3\text{fasa}) = \frac{3}{Z_{1e}}$$

$$I_{sc} (3\text{fasa}) = \frac{3}{0,2 + j0,4}$$

$$I_{sc} (3\text{fasa}) = \frac{3}{\sqrt{0,2^2 + j0,4^2}}$$

$$I_{sc} (3\text{fasa}) = \frac{3}{0,5}$$

$$I_{sc} (3\text{fasa}) = 7270,073 \text{ A}$$

) Gangguan pada 100% panjang saluran di feeder A

$$I_{sc} (3\text{fasa}) = \frac{3}{Z_{1e}}$$

$$I_{sc} (3\text{fasa}) = \frac{3}{0,3 + j0,5}$$

$$I_{sc} (3\text{fasa}) = \frac{3}{\sqrt{0,3^2 + j0,5^2}}$$

$$I_{sc} (3\text{fasa}) = \frac{3}{0,6}$$

$$I_{sc} (3\text{fasa}) = 6045,523 \text{ A}$$

SIMPULAN

1. Arus gangguan yang paling besar baik untuk gangguan 3 fasa, 2 fasa, atau 1 fasa ke tanah terjadi di 0% dari panjang penyulang yaitu 15685 A; 13582,7 A; dan 331,898 A.

Sedangkan yang paling kecil terjadi di 100% panjang penyulang yaitu 6045,52 A; 5239,18 A; 317,905 A.

2. Berdasarkan evaluasi yang dilakukan untuk data setting rele arus lebih di feeder 'A' dari SS#14 sampai SS#15 tidak terkoordinasi dengan baik. Rele arus lebih tersebut tidak bekerja berurutan berdasarkan titik gangguan. Waktu kerja rele di incoming SS#14 sisi 12 kV = 0,88 detik, lebih cepat dibandingkan rele arus lebih yang lebih dekat dengan titik gangguan yaitu Incoming SS#14 sisi 6,9 kV = 1,36 detik dan Outgoing SS#14 to SS#15 = 14,6 detik.
3. Dari hasil perhitungan setting rele arus lebih maka didapatkan waktu kerja rele di Incoming SS#15 (paling dekat dengan titik gangguan) adalah 0,3 detik dengan Iset = 0,84 A dan untuk Incoming SS#14 sisi 12 kV mempunyai waktu kerja sebesar 1,5 detik dengan Iset = 3,68 A. Dari hasil perhitungan setting rele tersebut menunjukkan bahwa rele arus lebih pada feeder 'A' bekerja sesuai dengan urutannya, sehingga rele terkoordinasi dengan baik.

DAFTAR PUSTAKA

- Affandi, Irfan. 2009. *Analisa Setting Relai Arus Lebih dan Relai Gangguan Tanah Pada Penyulang Sadewa di GI Cawang*. Jurusan Teknik Elektro, Universitas Indonesia.
- Davies, T. 1996. *Protection of Industrial Power Systems*. Oxford: Newnes Publications.
- Kesuma, J. Hendra. 2014. *Studi Perhitungan Setting Rele Arus Lebih Pada Penyulang Walet di Gardu Induk Seduduk Putih Palembang*. Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Sriwijaya Palembang.
- Madrealsyah, Adrial. 2008. *Studi Perencanaan Koordinasi Rele Proteksi Pada Saluran Udara Tegangan Tinggi Gardu Induk Gambir Lama-Pulomas*. Jurusan Teknik Elektro, Universitas Indonesia.
- Samaulah, Hazairin. 2004. *Dasar-Dasar Sistem Proteksi Tenaga Listrik*. Penerbit Universitas Sriwijaya.
- Sarimun, Wahyudi. 2016. *Proteksi Sistem Distribusi Tenaga Listrik*. Depok: Garamond.
- Supanggah, Yugi. 2017. *Analisis Kelayakan Koordinasi Rele OCR Pada Sistem Kelistrikan Plant 8 PT.Indocement Tunggal Prakarsa Tbk Citereup*. Jurusan Teknik Elektro, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.
- Ulfa. 2012. *Analisa Kegagalan Koordinasi Kerja Rele Proteksi MC 30 GH Pagar Alam dan Rele SEPAM S20 GI Pagar Alam*. Jurusan Teknik Elektro, Universitas Tridianti Palembang.