

Analisis *Setting Over Current Relay* Satu Fasa Ke Tanah Sistem 20 Kv Pada *Recloser B 21* Penyulang Salju Gardu Induk Teluk Betung Berbasis ETAP

Jeckson¹, Yenni Afrida², Sri Suryani³, Angga Wahyu Elfinnugroho⁴

Program Studi Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Lampung, Bandar Lampung
Jl. Zainal Abidin Pagar Alam No.14 Bandar Lampung 35142

¹jeckson@uml.ac.id

²yenniafrida@uml.ac.id

³Srisuryani@mail.uml.ac.id

⁴anggawahyuelfinnugroho@gmail.com

Intisari — Gangguan jaringan sistem 20 kV selalu berpotensi terjadi dan penyebab yang paling sering menyebabkan gangguan adalah gangguan hubung singkat 3 fasa, 2 fasa, 2 fasa ke tanah dan 1 fasa ketanah. Dalam mengamankan jaringan dari gangguan-gangguan tersebut maka dibutuhkan peralatan proteksi pada jaringan sistem 20 kV yang sensitif, selektif, cepat, andal dan sederhana. Relai yang paling sering bekerja pada recloser B 21 adalah Over Current Relay (OCR) satu fasa ke tanah. Perhitungan dan Analisa waktu kerja OCR satu fasa ke tanah pada recloser B 21 penyulang Salju dilakukan pada outgoing dan incoming serta waktu kerja recloser. Setelah data-data tersebut didapatkan, dilanjutkan dengan menganalisa koordinasi setting OCR satu fasa ketanah antara recloser B 21 dengan outgoing penyulang Salju menggunakan software Etap. Teknik pengambilan data dilakukan dengan metode studi pustaka, literatur, wawancara, dan pemodelan sistem. Hasil perhitungan arus gangguan hubung singkat satu fasa tanah pada 1% jaringan atau 1.88 km sebesar 288.396 A, sedangkan arus gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah yang mempunyai nilai minimum terletak pada 100% jaringan atau 18.8 km sebesar 202.65 A. Hasil perhitungan pada OCR satu fasa ke tanah incoming tms = 0.26, t = 0.7 detik, outgoing tms = 0.1, t = 0.3 detik dan recloser tms = 0.062, t = 0.2 detik dan setting eksisting dari PLN adalah incoming tms = 0.37, t = 1 detik, outgoing tms = 0.047, t = 0.15 detik dan recloser tms = 0.03, t = 0.09 detik. Dari hasil pengamatan data yang diperoleh, direkomendasikan untuk mempertimbangkan resetting pada recloser B 21, outgoing penyulang Salju dan incoming agar menaikkan setting relai sehingga ketika merasakan arus pick up relai tidak langsung trip.

Kata kunci — OCR, Recloser, Outgoing, TMS

Abstract — 20 kV system network disturbances always have the potential to occur and the most frequent causes of disturbances are 3 phase, 2 phase, 2 phase to ground and 1 phase to ground short circuit faults. In order to secure the network from these disturbances, protection equipment is needed on the 20 kV network system that is sensitive, selective, fast, reliable and simple. The relay that most often works on the B 21 recloser is the single-phase to ground Over Current Relay (OCR). Calculation and analysis of single phase OCR working time to ground on recloser B 21 Snow feeder is carried out on outgoing and incoming as well as recloser working time. After these data were obtained, we continued by analyzing the coordination of the one-phase ground OCR settings between recloser B 21 and the outgoing Snow feeder using Etap software. Data collection techniques were carried out using literature study methods, literature, interviews and system modeling. The calculation results of the single-phase ground short circuit fault current at 1% of the network or 1.88 km is 288,396 A, while the single-phase short circuit fault current to ground which has a minimum value located at 100% of the network or 18.8 km is 202.65 A. The calculation results for OCR one phase to ground incoming tms = 0.26, t = 0.7 seconds, outgoing tms = 0.1, t = 0.3 seconds and recloser tms = 0.062, t = 0.2 seconds and the existing settings from PLN are incoming tms = 0.37, t = 1 second, outgoing tms = 0.047, t = 0.15 seconds and recloser tms = 0.03, t = 0.09 seconds. From the results of observing the data obtained, it is recommended to consider resetting the B 21 recloser, outgoing Snow feeder and incoming to increase the relay setting so that when it senses the pick up current the relay does not immediately trip.

Keywords — OCR, Recloser, Outgoing, TMS.

I. PENDAHULUAN

Gangguan pada jaringan SKTM atau SUTM selalu berpotensi terjadi, contoh gangguan yang permanen misalnya hubung singkat pada kabel, tembusnya isolasi padat pada belitan trafo, isolator, *lightning arrester* dan lain sebagainya. Peralatan tersebut baru bisa dioperasikan kembali setelah bagian yang rusak diperbaiki atau diganti. Pada gangguan temporer, tidak ada kerusakan yang permanen pada titik gangguan, contoh gangguan ini misalnya: andongan penghantar yang terlalu jatuh, sambaran petir, atau spark over antara penghantar dengan pohon-pohon yang tertiuip angin dan lain sebagainya. Disebut gangguan temporer karena setelah arus gangguannya terputus karena terbukanya circuit breaker oleh relai pengaman, maka peralatan atau saluran yang terganggu tersebut siap dioperasikan kembali.

Mengetahui besarnya arus gangguan hubung singkat ditiap titik pada jaringan distribusi 20 kV sangat diperlukan, antara lain untuk menghitung koordinasi relai antara penyulang masuk (*incoming feeder*), penyulang keluar (*outgoing feeder*), Gardu Hubung (GH), *Recloser* dan *Sectionalizer* yang mempunyai peralatan proteksi.

Jaringan penyulang Salju di GI Teluk Betung mempunyai satu *recloser* (*recloser* B 21) dan tiga *sectionalizer* (*sectionalizer* B 210, B 44, dan MGM). Relai proteksi yang dipasang pada *recloser* B 21 antara lain relai penutup balik, relai arus lebih dan relai gangguan hubung tanah. Gangguan hubung singkat yang berpotensi terjadi pada sistem 3 fasa ialah gangguan 3 fasa, gangguan 2 fasa, gangguan 2 fasa ke tanah serta gangguan 1 fasa ketanah dan gangguan hubung singkat yang paling sering terjadi ialah gangguan hubung singkat arus lebih satu fasa ketanah. *Recloser* B 21 ini sering bekerja dengan indikasi gangguan hubung singkat arus lebih satu fasa ketanah dengan penyebab gangguan yang berbeda-beda dan beberapa ada yang tidak ditemukan atau diketahui.

Berdasarkan masalah tersebut maka diperlukan untuk pengecekan kembali pada *setting* relai OCR satu fasa ke tanah apakah *setting* masih relevan atau tidak, jika tidak maka diperlukan *resetting* OCR satu fasa ke

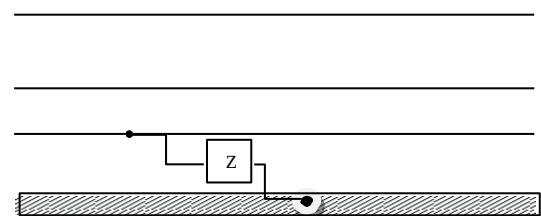
tanah pada *recloser* B 21 agar penyaluran tenaga listrik tetap optimal.

Berdasarkan ANSI/IEEE Std. 100-1992 gangguan didefinisikan suatu kondisi fisis yang disebabkan kegagalan suatu perangkat, komponen, atau suatu elemen untuk bekerja sesuai dengan fungsinya. Gangguan hampir selalu ditimbulkan oleh hubung singkat antar fasa atau hubung singkat fasa ke tanah. Istilah gangguan identik dengan hubung singkat, sesuai standar ANSI/IEEE Std. 100-1992. Pada gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah ada yang bersifat temporer dan permanen, penyebab gangguan yang bersifat permanen ialah :

1. Batang / ranting pohon menempel pada salah satu fasa di jaringan 20 kV
2. Binatang yang menempel pada salah satu fasa dengan isolator jaringan 20 kV
3. Tembusnya basic impulse insulation level (BIL) isolator pada salah satu fasa
4. Tembusnya basic impulse insulation level (BIL) arrester pada salah satu fasa, dan lain sebagainya.
5. Terjadi flash over akibat polutan yang menempel pada insulator lightning arrester.

Penyebab gangguan yang bersifat temporer ialah:

1. Spark over antara jaringan 20 kV dengan pohon yang jaraknya melampaui safety clearance
2. Jaringan terkena sambaran petir
3. Andongan penghantar yang melampaui ambang batas standar



Gbr.1 Hubung Singkat Satu Fasa Ketanah

II. METODE PENELITIAN

Pelaksanaan penelitian ini dilakukan perhitungan terlebih dahulu secara manual menggunakan rumus-rumus yang ada lalu dilanjutkan dengan pemodelan kondisi sistem tenaga listrik tegangan menengah 20

kV yang sesuai dengan kondisi sebenarnya dalam keadaan steady state. Berdasarkan hasil perhitungan dan simulasi tersebut kemudian dilakukan evaluasi terhadap setting OCR satu fasa tanah pada recloser B 21 dan outgoing penyulang Salju.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Perhitungan Arus Hubung Singkat

1) Perhitungan impedansi sumber

Arus gangguan hubung singkat pada (Ihs) pada sisi 150 kV sebesar 25 kA yang didapat dari nameplate trafo III GI Teluk Betung. Dari (Ihs) tersebut dapat diperoleh kapasitas daya hubung singkat (MVASC) pada sisi 150 kV sebagai berikut:

$$\begin{aligned} MVASC &= \sqrt{3} \times V \times I \\ &= 1,732 \times 150 \text{ kV} \times 25 \text{ kA} \\ &= 6495 \text{ MVA} \end{aligned} \quad (1)$$

Dari nilai diatas dapat dihitung besarnya impedansi sumber adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} X_{SC1} &= \frac{(kV_1)^2}{MVA_{(SC)}} \\ &= \frac{(150)^2}{1662.72} \\ &= 3,46\Omega \end{aligned} \quad (2)$$

Karena yang dibutuhkan adalah nilai dari sisi 20 kV maka hasil impedansi sumber tersebut dikonversikan ke sisi 20 kV dengan rumus:

$$\begin{aligned} X_{SC2} &= \frac{(kV_2)^2}{(kV_1)^2} \times X_{SC1} \\ &= \frac{20^2}{150^2} \times 3,46 \\ &= 0,061 \Omega \end{aligned} \quad (3)$$

2) Perhitungan impedansi transformator

Besarnya reaktansi transformator tenaga 60 MVA di Gardu Induk Teluk Betung berdasarkan name plate transformator 12,084 %, dengan menggunakan rumus berikut maka di dapat nilai sebagai berikut:

$$\begin{aligned} X_T (\text{pada } 100 \%) &= \frac{kV_2^2}{MVA_{trafo}} \\ &= \frac{(20)^2}{60} \end{aligned} \quad (4)$$

$$\begin{aligned} &\frac{400}{60} \\ &= 6,67\Omega \end{aligned}$$

- Reaktansi transformator urutan positif dan negative

Karena $X_{T1} = X_{T2}$, dengan menggunakan persamaan, di dapat nilai:

$$\begin{aligned} X &= \text{Impedansi transformator (\%)} \times X \\ &\quad \text{Transformator (100 \%)} \\ &= 12,084 \% \times 6,67 \\ &= 0.806 \Omega \end{aligned}$$

- Reaktansi transformator urutan nol. Transformator III memiliki vector group YNyn0+d yang artinya transformator III memiliki belitan delta didalamnya sehingga diambil nilai sebesar 3 x X_{T1} . Maka X_{T0} :

$$\begin{aligned} X_{T0} &= 3 \times 0.806 \\ &= 2,418 \Omega \end{aligned}$$

3) Perhitungan impedansi penyulang Salju

- Zona 1

Impedansi urutan positif dan negatif konduktor jenis AAAC 150 mm², dengan panjang = 1,88 km

$$\begin{aligned} Z1 = Z2 &= (R + jX) \times \text{panjang jaringan} \\ &= (0,216 + j 0,338) \times 1,88 \text{ km} \\ &= 0,406 + j 0,635 \Omega/\text{km} \end{aligned}$$

Tabel 1. Impedansi penyulang urutan positif dan negatif

Panjang Jaringan (%)	Jarak (km)	Perhitungan	Impedansi Penyulang Z1 dan Z2
1	0,019	1% x (0,406 + j 0,635)	0,00406 + j 0,00635 Ω
25	0,47	25% x (0,406 + j 0,635)	0,1015 + j 0,1588 Ω
50	0,94	50% x (0,406 + j 0,635)	0,203 + j 0,3177 Ω
75	1,41	75% x (0,406 + j 0,635)	0,3045 + j 0,4765 Ω
100	1,88	100% x (0,406 + j 0,635)	0,406 + j 0,635 Ω

Impedansi urutan nol, AAAC 150 mm², panjang = 1,88 km.

$$\begin{aligned} Z0 &= (R + jX) \times \text{Panjang Jaringan} \\ &= (0,363 + j 1.618) \times 1,88 \text{ km} \\ &= 0,6824 + j 3,0418 \Omega/\text{km} \end{aligned}$$

Tabel 2. Impedansi Penyulang Urutan Nol

Panjang Jaringan (%)	Jarak (Km)	Perhitungan	Impedansi Penyulang Z0
1	0,019	1% X (0,6824 + j 3,0418)	0,00682 + j 0,03041 Ω
25	0,47	25% X (0,6824 + j 3,0418)	0,1706 + j 0,76045 Ω
50	0,94	50% X (0,6824 + j 3,0418)	0,3412 + j 1,5209 Ω
75	1,41	75% X (0,6824 + j 3,0418)	0,5118 + j 2,28135 Ω
100	1,88	100% X (0,6824 + j 3,0418)	0,6824 + j 3,0418 Ω

- Zona 2

Impedansi urutan positif dan negatif konduktor jenis AAAC 150 mm², dengan panjang = 16.92 km dan total panjang penyulang Salju adalah Zona 1 + Zona 2:

Zona 1 + Zona 2 = 1,88 + 16,92 = 18,8 km.

$Z1 = Z2 = (R + jX) \times \text{panjang total jaringan}$
 $= 0,216 + j 0,338 \times 18,8 \text{ km}$
 $= 4,06 + j 6,35 \Omega/\text{km}$

-Jarak dari *outgoing* penyulang ke *recloser* B 21 = 1,88 km

-Jarak dari *recloser* B 21 s/d ujung jaringan = 16,9 km

-Panjang jaringan 1 % dari *recloser* B 21 adalah 1,88 km + 1 % panjang jaringan *recloser* B 21 s/d ujung jaringan. Maka didapatkan 1 % panjang jaringan *recloser* B 21 adalah:

$= 1,88 + (1 \% \times 16,9)$
 $= 1,88 + 0,169$
 $= 2,049 \text{ km}$

4) Perhitungan impedansi ekuivalen penyulang Salju

- Zona 1

Impedansi ekuivalen urutan positif diketahui:

-Impedansi sumber sisi 20 kV

$(X_{sc2}) = j 0,061 \Omega$

- Impedansi transformator

$(X_{T1}) = j 0,804 \Omega$

- Impedansi Penyulang

$(Z1) = 0,406 + j 0,635 \Omega/\text{km}$

Impedansi ekuivalen urutan positif dan negatif di jaringan Penyulang Salju, di dapat nilai:

$$\begin{aligned} Z1_{eq} &= (X_{SC2} + X_{T1} + Z1F) \times 10\% \text{ total} \\ &\text{panjang jaringan} \\ &= j 0,061 + j 0,804 + (4,06 + j 6,354) \times 0,1 \\ &= 4,06 + j 7,215 \times 0,1 \\ &= 0,406 + j 0,7215 \Omega/\text{km} \end{aligned}$$

Dikali 10 % karena panjang jaringan zona 1 sebesar 10 % dari total panjang jaringan.

Impedansi ekuivalen urutan negatif karena $Z1 = Z2$, maka $Z1_{eq} = Z2_{eq}$

$$Z1_{eq} = Z2_{eq} = 0,406 + j 0,7215 \Omega/\text{km}$$

Impedansi urutan nol dengan penghantar AAAC 150 mm² dengan panjang jaringan = 18,8 km

$$\begin{aligned} Z0 &= (R + jX) \times \text{Panjang Jaringan} \\ &= (0,363 + j 1,618) \times 18,8 \text{ km} \\ &= 6,824 + j 30,418 \Omega/\text{km} \end{aligned}$$

Tabel 3. Impedansi *recloser* urutan positif dan negatif.

Panjang Jaringan (%)	Jarak (km)	Perhitungan	Impedansi Penyulang Z1 dan Z2
1	2	1% x (4,06 + j 6,35)	0,442 + j 0,691 Ω
25	6,1	25% x (4,06 + j 6,35)	1,318 + j 2,061 Ω
50	10,33	50% x (4,06 + j 6,35)	2,23 + j 3,488 Ω
75	14,55	75% x 4,06 + j 6,35)	3,142 + j 4,912 Ω
100	18,8	100% x (4,06 + j 6,35)	0,406 + j 0,635 Ω

Tabel 4. Impedansi *recloser* urutan nol

Panjang Jaringan (%)	Jarak (km)	Perhitungan	Impedansi Penyulang Z0
1	2	1% x (6,824 + j 30,418)	0,743 + j 3,312 Ω
25	6,1	25% x (6,824 + j 30,418)	2,215 + j 9,876 Ω
50	10,33	50% x (6,824 + j 30,418)	3,749 + j 16,711 Ω
75	14,55	75% x (6,824 + j 30,418)	5,281 + j 23,54 Ω
100	18,8	100% x (6,824 + j 30,418)	6,824 + j 30,418 Ω

Tabel 5. Impedansi ekuivalen zona 1 urutan positif dan negatif

Panjang Jaringan (%)	Jarak (km)	Perhitungan	Impedansi eq Penyulang Z1 dan Z2
1	0,19	1% x (0,406 + j 0,7215)	0,00406 + j 0,072 Ω
25	0,47	25% x (0,406 + j 0,7215)	0,1015 + j 0,18 Ω
50	0,94	50% x (0,406 + j 0,7215)	0,203 + j 0,36 Ω
75	1,41	75% x (0,406 + j 0,7215)	0,3045 + j 0,541 Ω
100	1,88	100% x (0,406 + j 0,7215)	0,406 + j 0,7215 Ω

Impedansi ekuivalen urutan nol diketahui:

-Impedansi transformator (XT0) = j 2,418 Ω

- Impedansi penyulang

$$(Z0) = 0,6824 + j 3,0418 \Omega/\text{km}$$

- RN trafo daya 60 MVA = 40 Ω

Dengan persamaan Impedansi ekuivalen urutan nol di jaringan penyulang Salju, di dapat nilai:

$$\begin{aligned} Z0_{eq} &= ((XT0 + Z0 \text{ total}) \times 10\%) + 3 \text{ RN} \\ &= ((j 2,418 + 6,824 + j 30,418) \times 0,1) + 3 \times 40 \\ &= (6,824 + j 32,836 \times 0,1) + 120 \\ &= 120,6824 + j 3,2836 \Omega/\text{km} \end{aligned}$$

Tabel 6 Impedansi ekuivalen zona 1 urutan nol

Panjang Jaringan (%)	Jarak (km)	Perhitungan	Impedansi eq Penyulang Z0
1	0,19	1% x (0,6824 + j 3,2836) + 120	120,0068 + j 0,03283Ω
25	0,47	25% x (0,6824 + j 3,2836) + 120	120,17 + j 0,82 Ω
50	0,94	50% x (0,6824 + j 3,2836) + 120	120,341 + j 1,641 Ω
75	1,41	75% x (0,6824 + j 3,2836) + 120	120,511 + j 2,462 Ω
100	1,88	100% x (0,6824 + j 3,2836) + 120	120,6824 + j 3,2836 Ω

• Zona 2

Impedansi ekuivalen urutan positif diketahui:

-Impedansi sumber sisi 20 kV (Xsc2) = j 0,061 Ω

-Impedansi transformator (XT1) = j 0.804 Ω

-Impedansi Penyulang (Z1) = 4,06 + j 6,35 Ω/km

Impedansi ekuivalen urutan positif dan negatif di jaringan penyulang Salju, di dapat nilai:

$$\begin{aligned} Z_{1eq} &= X_{SC2} + X_{T1} + Z_{1F} \\ &= j 0,061 + j 0,804 + (4,06 + j 6,35) \\ &= 4,06 + j 7,215 \Omega/\text{km} \end{aligned}$$

-Impedansi ekuivalen urutan negatif karena $Z_1 = Z_2$, maka $Z_{1eq} = Z_{2eq}$ $Z_{1eq} = Z_{2eq} = 4,06 + j 7,215 \Omega/\text{km}$

Tabel 7. Impedansi ekuivalen zona 2 urutan positif dan negative

Panjang Jaringan (%)	Jarak (km)	Perhitungan	Impedansi eq Penyulang Z1 dan Z2
1	2	1% x (4,06 + j 7,215)	0,442 + j 0,785 Ω
25	6,1	25% x (4,06 + j 7,215)	1,318 + j 2,342 Ω
50	10,33	50% x (4,06 + j 7,215)	2,23 + j 3,963 Ω
75	14,55	75% x (4,06 + j 7,215)	3,142 + j 5,583 Ω
100	18,8	100% x (4,06 + j 7,215)	4,06 + j 7,215 Ω

Impedansi ekuivalen urutan nol diketahui:

-Impedansi transformator (XT0) = j 2,418 Ω

-Impedansi penyulang (Z0) = 6,824 + j 30,418 Ω/km.

-RN trafo daya 60 MVA = 40 Ω

Dengan persamaan Impedansi ekuivalen urutan nol di jaringan penyulang Salju, di dapat nilai:

$$\begin{aligned} Z0_{eq} &= XT0 + 3 \text{ RN} + Z0 \text{ total} \\ &= j 2,418 + 3 \times 40 + (6,824 + j 30,418) \\ &= j 2,418 + 120 + 6,824 + j 30,418 \\ &= 126,824 + j 32,836 \Omega/\text{km} \end{aligned}$$

Tabel 8. Impedansi ekuivalen zona 2 urutan nol

Panjang Jaringan (%)	Jarak (km)	Perhitungan	Impedansi eq Penyulang Z0
1	2	1% x (6,824 + j 32,836) + 120	120,743 + j 3,575 Ω
25	6,1	25% x (6,824 + j 32,836) + 120	122,215 + j 10,661 Ω
50	10,33	50% x (6,824 + j 32,836) + 120	123,749 + j 18,04 Ω
75	14,55	75% x (6,824 + j 32,836) + 120	125,281 + j 25,411 Ω
100	18,8	100% x (6,824 + j 32,836) + 120	126,824 + j 32,836 Ω

5) Perhitungan gangguan arus hubung singkat.

Perhitungan arus gangguan hubung singkat 1 fasa ke tanah dilakukan mulai titik 1%, 25%, 50%, 75%, dan 100% jaringan pada zona 1 dan 2 dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$I_{f1\phi} = \frac{3 \times V_{p\phi}}{Z_{1eq} + Z_{2eq} + Z_{0eq}} \quad (5)$$

$$I_{f1\phi} = \frac{3 \times \frac{20000}{\sqrt{3}}}{2 \times Z_{1eq} + Z_c}$$

• Zona 1

Maka nilai arus gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 9. Perhitungan Arus gangguan pada Zona 1

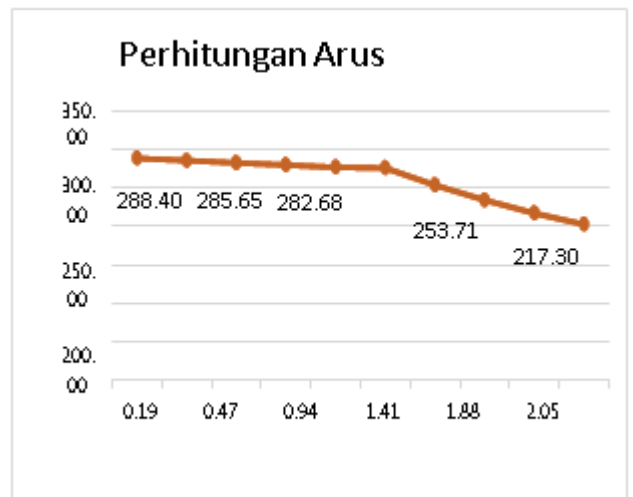
Panjang Jaringan (%)	Perhitungan	Arus Gangguan (A)
1	$\frac{34641}{2 \times (0,442 + j 0,785) + (120,743 + j 3,575)}$	275,924
25	$\frac{34641}{2 \times (1,318 + j 2,342) + (122,215 + j 10,661)}$	253,713
50	$\frac{34641}{2 \times (2,23 + j 3,963) + (123,749 + j 18,04)}$	234,089
75	$\frac{34641}{2 \times (3,142 + j 5,583) + (125,281 + j 25,411)}$	217,298
100	$\frac{34641}{2 \times (4,06 + j 7,215) + (126,824 + j 32,836)}$	202,655

• Zona 2

Maka nilai arus gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 10. Perhitungan Arus gangguan pada Zona 2

Zona 1			Zona 2		
Panjang Jaringan (%)	Jarak (km)	Arus gangguan (A)	Panjang Jaringan (%)	Jarak (km)	Arus gangguan (A)
1	0,19	288,396	1	2	275,924
25	0,47	285,648	25	6,1	253,713
50	0,94	282,679	50	10,33	234,089
75	1,41	279,772	75	14,55	217,298
100	1,88	276,921	100	18,8	202,655



Gbr.2 Kurva arus gangguan 1 fasa – tanah Penyulang Salju

Tabel 11. Hasil Perhitungan Arus Hubung Singkat di Penyulang Salju

Panjang Jaringan (%)	Perhitungan	Arus Gangguan (A)
1	$\frac{34641}{2 \times (0,00406 + j 0,072) + (120,0068 + j 0,03283)}$	288,396
25	$\frac{34641}{2 \times (0,1015 + j 0,18) + (120,17 + j 0,82)}$	285,648
50	$\frac{34641}{2 \times (0,203 + j 0,36) + (120,341 + j 1,641)}$	282,679
75	$\frac{34641}{2 \times (0,3045 + j 0,541) + (120,511 + j 2,462)}$	279,772
100	$\frac{34641}{2 \times (0,406 + j 0,7215) + (120,6824 + j 3,2836)}$	276,921

6) Penyetelan Waktu Kerja Relai Arus Lebih

- Perhitungan tms dan setting waktu OCR satu fasa tanah Recloser B 21

a) Tms

$$0,2 \times \left(\left(\frac{202,655}{24,3} \right)^{0,02} - 1 \right) = \frac{0,14}{0,14} = 0.062$$

b) Setting waktu

Menggunakan $t = 0,2$ karena t pada outgoing sebesar 0,3 dan incoming 0,7.

Tabel 12. Perhitungan waktu kerja relai OCR 1 fasa tanah recloser B 21 (Zona 2)

Pemeriksaan waktu kerja relai pada gangguan 1 fasa ketanah Zona 2			
P. Jar (%)	Jarak (km)	Perhitungan Recloser B 21	Hasil (detik)
1	2	$\frac{t_{ms} \times \beta}{\left(\frac{I_f \text{ 1 fasa}}{I_{set \text{ primer}}}\right)^{\alpha-1}} = \frac{0,062 \times 0,14}{\left(\frac{275,924}{24,3}\right)^{0,02-1}}$	0,174
25	6,1	$\frac{t_{ms} \times \beta}{\left(\frac{I_f \text{ 1 fasa}}{I_{set \text{ primer}}}\right)^{\alpha-1}} = \frac{0,062 \times 0,14}{\left(\frac{253,713}{24,3}\right)^{0,02-1}}$	0,18
50	10,3	$\frac{t_{ms} \times \beta}{\left(\frac{I_f \text{ 1 fasa}}{I_{set \text{ primer}}}\right)^{\alpha-1}} = \frac{0,062 \times 0,14}{\left(\frac{234,089}{24,3}\right)^{0,02-1}}$	0,187
75	14,5	$\frac{t_{ms} \times \beta}{\left(\frac{I_f \text{ 1 fasa}}{I_{set \text{ primer}}}\right)^{\alpha-1}} = \frac{0,062 \times 0,14}{\left(\frac{217,298}{24,3}\right)^{0,02-1}}$	0,194
100	18,8	$\frac{t_{ms} \times \beta}{\left(\frac{I_f \text{ 1 fasa}}{I_{set \text{ primer}}}\right)^{\alpha-1}} = \frac{0,062 \times 0,14}{\left(\frac{202,655}{24,3}\right)^{0,02-1}}$	0,2

- Outgoing Penyulang Salju

- a) Tms

$$= \frac{0,3 \times \left(\left(\frac{202,65}{20,265} \right)^{0,02} - 1 \right)}{0,14} = 0,1$$

- b) Setting waktu

- Incoming 20 kV

- a) Tms

$$= \frac{0,7 \times \left(\left(\frac{1667}{133,36} \right)^{0,02} - 1 \right)}{0,14} = 0,26$$

- b) Setting waktu

$$= \frac{0,26 \times 0,14}{\left(\frac{1667}{133,36} \right)^{0,02} - 1} = 0,7 \text{ detik}$$

Tabel 13. Perhitungan waktu kerja relai OCR 1 fasa Penyulang Salju

Pemeriksaan waktu kerja relai pada gangguan 1 fasa ketanah			
P. Jar Total (%)	Jarak (km)	Perhitungan Penyulang Salju	Waktu (detik)
11	0,19	$\frac{t_{ms} \times \beta}{\left(\frac{I_f \text{ 1 fasa}}{I_{set \text{ primer}}}\right)^{\alpha-1}} = \frac{0,1 \times 0,14}{\left(\frac{288,896}{20,265}\right)^{0,02-1}}$	0,256
3	0,47	$\frac{t_{ms} \times \beta}{\left(\frac{I_f \text{ 1 fasa}}{I_{set \text{ primer}}}\right)^{\alpha-1}} = \frac{0,1 \times 0,14}{\left(\frac{285,648}{20,265}\right)^{0,02-1}}$	0,257
5	0,94	$\frac{t_{ms} \times \beta}{\left(\frac{I_f \text{ 1 fasa}}{I_{set \text{ primer}}}\right)^{\alpha-1}} = \frac{0,1 \times 0,14}{\left(\frac{282,679}{20,265}\right)^{0,02-1}}$	0,258
8	1,41	$\frac{t_{ms} \times \beta}{\left(\frac{I_f \text{ 1 fasa}}{I_{set \text{ primer}}}\right)^{\alpha-1}} = \frac{0,1 \times 0,14}{\left(\frac{279,772}{20,265}\right)^{0,02-1}}$	0,259
10	1,88	$\frac{t_{ms} \times \beta}{\left(\frac{I_f \text{ 1 fasa}}{I_{set \text{ primer}}}\right)^{\alpha-1}} = \frac{0,1 \times 0,14}{\left(\frac{276,921}{20,265}\right)^{0,02-1}}$	0,26
11	2	$\frac{t_{ms} \times \beta}{\left(\frac{I_f \text{ 1 fasa}}{I_{set \text{ primer}}}\right)^{\alpha-1}} = \frac{0,1 \times 0,14}{\left(\frac{275,924}{20,265}\right)^{0,02-1}}$	0,261
32	6,1	$\frac{t_{ms} \times \beta}{\left(\frac{I_f \text{ 1 fasa}}{I_{set \text{ primer}}}\right)^{\alpha-1}} = \frac{0,1 \times 0,14}{\left(\frac{253,713}{20,265}\right)^{0,02-1}}$	0,27
55	10,33	$\frac{t_{ms} \times \beta}{\left(\frac{I_f \text{ 1 fasa}}{I_{set \text{ primer}}}\right)^{\alpha-1}} = \frac{0,1 \times 0,14}{\left(\frac{234,089}{20,265}\right)^{0,02-1}}$	0,28
77	14,55	$\frac{t_{ms} \times \beta}{\left(\frac{I_f \text{ 1 fasa}}{I_{set \text{ primer}}}\right)^{\alpha-1}} = \frac{0,1 \times 0,14}{\left(\frac{217,298}{20,265}\right)^{0,02-1}}$	0,29
100	18,8	$\frac{t_{ms} \times \beta}{\left(\frac{I_f \text{ 1 fasa}}{I_{set \text{ primer}}}\right)^{\alpha-1}} = \frac{0,1 \times 0,14}{\left(\frac{202,655}{20,265}\right)^{0,02-1}}$	0,3

Dari hasil perhitungan diatas didapat waktu kerja relai OCR satu fasa ke tanah baik pada sisi outgoing (penyulang) maupun recloser B 21 dan secara spesifik waktu kerja relai tersebut ditampilkan pada tabel dibawah ini:

Standard Inverse	Incoming (Bus 20 kV)	Outgoing Penyulang	Recloser B 21
OCR satu fasa tanah	Iset pri = 133,36 A Iset sek = 0,33 A tms= 0,26 t = 0,70 detik	Iset pri = 20,265 A Iset sek = 0,168 A tms= 0,1 t = 0,3 detik	Iset pri = 24,3 A Iset sek = 0,0243 A tms= 0,062 t = 0,2 detik

Project:	ETAP	Page:	1
Location:	12.6.0H	Date:	11-09-2019
Contract:		SN:	
Engineer:		Revision:	Base
Filename:	Penutupan Salju setting PLN	Config:	Normal

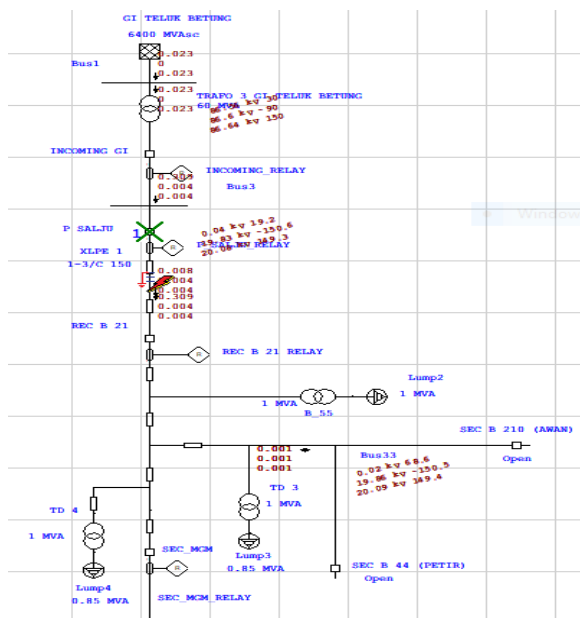
Sequence of Operation Event Summary Report

Symmetrical Line-to-Ground Fault at Bus12.

Time (ms)	ID	I (kA)	T1 (ms)	T2 (ms)	Condition
90.0	REC B 21 RELAY	0.305	90.0		Ground - OC1 - S0
100	REC B 21		10.0		Tripped by REC B 21 RELAY Ground - OC1 - S0
150	P_SALJU_RELAY	0.305	150		Ground - OC1 - ST
160	P_SALJU		10.0		Tripped by P_SALJU_RELAY Ground - OC1 - ST
269	REC B 21 RELAY	0.305	269		Ground - OC1 - S1
279	REC B 21		10.0		Tripped by REC B 21 RELAY Ground - OC1 - S1
744	P_SALJU_RELAY	0.305	744		Ground - OC1 - S1
754	P_SALJU		10.0		Tripped by P_SALJU_RELAY Ground - OC1 - S1
3616	INCOMING_RELAY	0.305	3616		Ground - OC1 - S1
3626	INCOMING_GI		10.0		Tripped by INCOMING_RELAY Ground - OC1 - S1

Gbr.6 Sequence viewer via Microsoft Word

Berdasarkan simulasi diatas dapat dilihat ketika terjadi gangguan pada jaringan setelah recloser B 21, maka relai recloser B 21 akan merasakan dan membaca arus gangguan, jika arus gangguan melebihi batas setting, maka relai recloser B 21 akan memerintahkan CB recloser B 21 untuk bekerja dari kondisi tertutup (close) menjadi terbuka (open) dengan setting waktu 90 ms atau 0,09 detik.

Gbr.7 Simulasi koordiansi sisi *outgoing* P. Salju

Berdasarkan simulasi diatas dapat dilihat ketika terjadi gangguan pada jaringan setelah outgoing penyulang Salju, maka relai outgoing penyulang Salju akan merasakan dan membaca arus gangguan, jika arus gangguan melebihi batas setting, maka relai outgoing penyulang Salju akan memerintahkan CB outgoing penyulang

Salju untuk bekerja dari kondisi tertutup (close) menjadi terbuka (open) dengan setting waktu 150 ms atau 0,15 detik.

Project:	ETAP	Page:	1
Location:	12.6.0H	Date:	11-09-2019
Contract:		SN:	
Engineer:		Revision:	Base
Filename:	Penutupan Salju	Config:	Normal

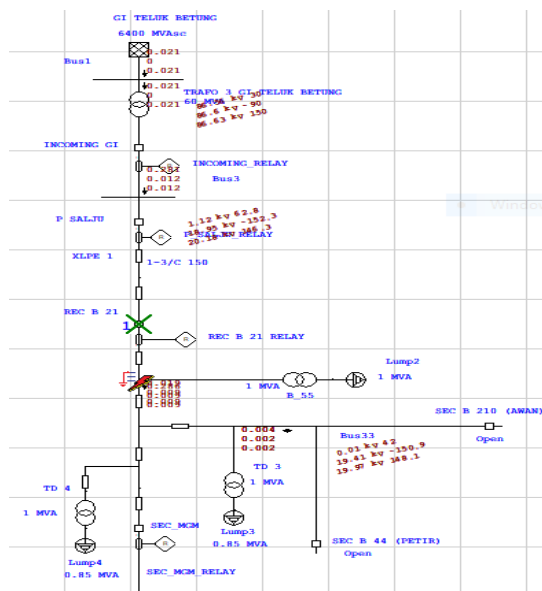
Sequence of Operation Event Summary Report

Symmetrical Line-to-Ground Fault at Bus1.

Time (ms)	ID	I (kA)	T1 (ms)	T2 (ms)	Condition
150	P_SALJU_RELAY	0.316	150		Ground - OC1 - ST
160	P_SALJU		10.0		Tripped by P_SALJU_RELAY Ground - OC1 - ST
729	P_SALJU_RELAY	0.316	729		Ground - OC1 - S1
739	P_SALJU		10.0		Tripped by P_SALJU_RELAY Ground - OC1 - S1
3516	INCOMING_RELAY	0.316	3516		Ground - OC1 - S1
3526	INCOMING_GI		10.0		Tripped by INCOMING_RELAY Ground - OC1 - S1

Gbr.8 Sequence viewer via Microsoft Word

- Simulasi gangguan menggunakan hasil perhitungan adalah sebagai berikut:

Gbr.9 Simulasi koordiansi sisi *outgoing* Penyulang Salju

Project:	ETAP	Page:	1
Contract:	12.6.0H	Date:	04-09-2019
Engineer:		SN:	
Filename:	Recloser B 21 dengan Perhitungan	Revision:	Base
	Study Case: Pengujian Recloser B 21 dengan Perhitungan	Config:	Normal

Sequence of Operation Event Summary Report

Symmetrical Line-to-Ground Fault between Bus12 and Line5, Adjacent to Bus12.

Time (ms)	ID	I (kA)	T1 (ms)	T2 (ms)	Condition
200	REC B 21 RELAY	0.305	200		Ground - OC1 - S0
210	REC B 21		10.0		Tripped by REC B 21 RELAY Ground - OC1 - S0
300	P_SALJU_RELAY	0.305	300		Ground - OC1 - ST
310	P_SALJU		10.0		Tripped by P_SALJU_RELAY Ground - OC1 - ST
537	REC B 21 RELAY	0.305	537		Ground - OC1 - S1
547	REC B 21		10.0		Tripped by REC B 21 RELAY Ground - OC1 - S1
1116	P_SALJU_RELAY	0.305	1116		Ground - OC1 - S1
1126	P_SALJU		10.0		Tripped by P_SALJU_RELAY Ground - OC1 - S1
3616	INCOMING_RELAY	0.305	3616		Ground - OC1 - S1
3626	INCOMING_GI		10.0		Tripped by INCOMING_RELAY Ground - OC1 - S1

Gbr.10 Sequence viewer via Microsoft Word

Berdasarkan simulasi diatas dapat dilihat ketika terjadi gangguan pada jaringan setelah outgoing penyulang Salju, maka relai outgoing penyulang Salju akan merasakan dan membaca arus gangguan, jika arus gangguan melebihi batas setting, maka relai outgoing penyulang Salju akan memerintahkan CB outgoing penyulang Salju untuk bekerja dari kondisi tertutup (close) menjadi terbuka (open) dengan setting waktu 300 ms atau 0,3 detik.

Berdasarkan hasil analisis, direkomendasikan untuk melakukan evaluasi dan reseting pada relai OCR satu fasa tanah, untuk recloser di reseting dari 0,09 detik menjadi 0,2 detik dan outgoing penyulang Salju dari 0,15 detik menjadi 0,3 detik, diharapkan dari reseting tersebut dapat meningkatkan keandalan penyaluran tenaga listrik pada penyulang Salju.

IV. KESIMPULAN

Dengan perhitungan, Waktu kerja relai OCR satu fasa tanah disisi Recloser B 21 lebih cepat dibandingkan waktu kerja disisi Outgoing penyulang Salju, dengan jaringan 1% setting waktu OCR satu fasa tanah disisi Recloser B 21 0,174 detik sedangkan disisi outgoingpenyulang Salju 0,259 detik. Untuk jaringan 100% seting waktu OCR satu fasa tanah disisi Recloser B 21 0,2 detik dan disisi outgoing penyulang Salju 0,3 detik.

Hal ini bertujuan agar relai pada recloser dapat bekerja lebih awal dibanding di outgoing. Dengan setting PLN, Waktu kerja relai OCR satu fasa tanah disisi Recloser B 21 lebih cepat dibandingkan waktu kerja disisi Outgoing penyulang Salju, dengan jaringan 1% setting waktu OCR satu fasa tanah disisi Recloser B 21 0,079 detik sedangkan disisi outgoing penyulang Salju 0,128 detik. Untuk jaringan 100% seting waktu OCR satu fasa tanah disisi Recloser B 21 0,09 detik dan disisi outgoing penyulang Salju 0,149 detik.

Hal ini bertujuan agar relai pada recloser dapat bekerja lebih awal

disbanding di outgoing penyulang Salju. Sehingga semakin dekat jarak gangguan maka semakin cepat waktu relai bekerja dan sebaliknya.

REFERENSI

- [1] Abdul Multi dan Thufail Addaus, Analisa Proteksi Over Current Relay (OCR) dan Ground Fault Relay (GFR) pada Transformator Daya Gardu Induk; Sainstech Vol. 32 No.1 (Maret 2022)
- [2] Affandi, Irfan. 2009. Analisa Setting Relai Arus Lebih dan Relai Gangguan Tanah pada Penyulang Sadewa di GI Cawang. Depok : Universitas Indonesia.
- [3] Alfian Syafi'i. 2016. Analisa Koordinasi Recloser Dan OCR (Over Current Relay) Untuk Gangguan Hubung Singkat Pada Penyulang 3 Distribusi 20 Kv GI Jajar. Surakarta : Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- [4] Elvi Idriana, Analisa setting koordinasi proteksi over current relay pada jaringan distribusi di PT. PLN (persero) ULP pangkalan brandan, Jurnal Energi Elektrik Volume 10 Nomor 1 Tahun 2021, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Malikussaleh, Aceh Utara
- [5] Fattahurrahman. 2016. Studi Penyetelan Relai OCR dan GFR pada Perubahan Kapasitas Trafo Daya dari 30MVA menjadi 60MVA akibat Penambahan Beban di Gardu Induk Gumawang. Palembang : Universitas Tridinanti Palembang.
- [6] Jeckson, Yenni Afrida, Ubaidah, 2023, Mobile Substation 150/20 kV Simulasi Perbaikan Tegangan menggunakan Aplikasi ETAP pada Mobile Substation 150/20 KV Sistem Kelistrikan PLN (Persero) Rayon Menggala, Electrician: Jurnal Rekayasa dan Teknologi Elektro
- [7] K. Pribadi dan Wahyudi S. N. 2005. Buku Koordinasi Rele, PT. PLN Pusdiklat. Semarang
- [8] PT. PLN. 2007. Pengenalan Proteksi Sistem Tenaga Listrik, PT. PLN Pusdiklat. Semarang
- [9] PT. PLN. 2019. Automatic Fault Point Information, Bandar Lampung : PT. PLN UP2D Lampung.