



Studi penempatan *circuit breaker outgoing* (CBO) dan perhitungan *relay* pada Penyulang Puma berdasarkan pembacaan arus maksimal di Gardu Induk PLN *New Bintaro*

Agusutrisno Agusutrisno^{a,1}, Wahyu Prabowo^b, Bayu Bagoes Wicaksono^a

^aJurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Sultang Ageng Tirtayasa, Jl. Jenderal Sudirman KM. 3 Cilegon Banten 42435, Indonesia

¹E-mail: Agusutrisno@untirta.ac.id

^bPT PLN Unit Pelaksanaan Pelayanan Pelanggan (UP3) Bintaro, Tangerang-Banten 15524, Indonesia

INFO ARTIKEL

Riwayat artikel:

Diajukan pada 30 Maret 2020
Direview pada 25 April 2020
Direvisi pada 14 Mei 2020
Disetujui pada 11 Juni 2020
Tersedia daring pada 30 Juni 2020

Kata kunci:

Circuit breaker outgoing, arus gangguan
hubung singkat, penyulang Puma.

Keywords:

*Circuit Breaker Outgoing, the short-circuit
fault current, Puma feeder*

ABSTRAK

Dalam penyaluran listrik seringkali mengalami gangguan atau arus hubung singkat yang disebabkan oleh banyak hal. Dari arus gangguan hubung singkat tersebut akan berdampak pada penurunan kualitas peralatan listrik yang ada di gardu induk maupun gardu distribusi. Untuk itu diperlukannya studi proteksi untuk mengamankan atau melindungi dari gangguan tersebut. Telah berhasil dilakukan studi tentang optimalisasi fungsi *circuit breaker outgoing* (CBO) sebagai sistem perlindungan pada Penyulang Puma Gardu Induk *New Bintaro* PLN. Metode yang digunakan adalah metode perhitungan berdasarkan data yang bersumber dari spesifikasi Gardu Induk *New Bintaro* PLN. Berdasarkan hasil perhitungan arus gangguan hubung singkat, maka CBO harus ditempatkan yaitu 50 % dari panjang Penyulang Puma. Hasil perhitungan pada OCR didapat arus *setting* primer 157,5 A, nilai konstanta *setting* 0,143, dan waktu kerja *relay* 0,297 detik. Sedangkan perhitungan pada *ground fault relay* (GFR) didapat arus *setting* primer 41, 506 A, nilai konstanta *setting* 0,136 dan waktu kerja *relay* 0,273 detik. Sehingga waktu yang dibutuhkan CBO untuk memutus arus gangguan hubung singkat sangat cepat yaitu untuk arus gangguan hubung singkat 3 *phasa* sebesar 0,297 detik dan arus gangguan hubung singkat 1 *phasa* sebesar 0,273 detik.

ABSTRACT

In the distribution of electricity often experience interference or short circuit current caused by many things. The short-circuit fault current will have an impact on the decline in the quality of electrical equipment in substations and distribution substations. For this reason, protection studies are needed to secure or minimize these disturbances. A successful study has been carried out on optimizing the role of circuit breaker outgoing (CBO) as a protection system for the New PLN Bintaro Substations. The method used is a calculation method based on data sourced from PLN New Bintaro Substations. Based on the calculation of the short circuit fault current, then the CBO must be placed at 50% of the length of the puma feeder. The calculation results obtained on the OCR primary setting current 157.5 A, the value of the constant setting 0.143, and the working time of the relay 0.297 seconds. For the calculation on the ground fault relay (GFR), the primary setting current is 41, 506 A, the value of the setting constant is 0.136 and the relay working time is 0.273 seconds. So the time needed for CBO to break the short circuit fault current is very fast, namely for the 3 phase short circuit fault current of 0.297 seconds and the 1 phase short circuit fault current of 0.273 seconds.

Tersedia pada: <http://dx.doi.org/10.36055/tjst.v16i1.7704>.

1. Pendahuluan

Dalam penyaluran listrik, baik pada transmisi maupun distribusi seringkali mengalami gangguan berupa arus hubung singkat yang diakibatkan oleh banyak hal yang akan berdampak pada penurunan kualitas peralatan listrik yang ada di gardu induk dan gardu distribusi [1-4]. Untuk itu diperlukannya suatu proteksi untuk mengamankan atau meminimalisir gangguan tersebut. Beberapa sistem proteksi yang digunakan pada sistem tenaga listrik antara lain *relay*, pemutus

tenaga listrik (PMT), pemisah tenaga listrik (PMS), *arrester*, dan lain-lain [5]. Salah satu alat dengan prinsip kerja sebagai sistem saklar pemutus yang dapat memutus jika ada arus gangguan dan dapat mengalirkan arus jika dalam keadaan normal adalah *circuit breaker*.

Circuit breaker memiliki peran yang sangat penting sebagai sistem perlindungan pada penyulang Puma Gardu Induk PLN [2, 4, 6]. Tidak optimalnya kinerja dari CBO dapat menyebabkan pemadaman pada sisi beban semakin meluas dan tentunya merugikan PT. PLN (Persero). Prinsip kerja CBO mirip dengan *switch* otomatis yang dapat membuka dan menutup. *Switch* pada CBO akan membuka saluran tegangan listrik ketika ada arus gangguan hubung singkat, sehingga semua peralatan listrik tegangan tinggi yang ada di gardu distribusi tidak akan rusak [7]. Dari prinsip kerja tersebut, CBO memerlukan nilai *setting* yang diatur pada *relay* dengan cara menentukan besar arus gangguan hubung singkat tiga *phasa* dan satu *phasa* ke tanah secara langsung. Nilai *setting* tersebut yang diatur yaitu OCR (*over current relay*) dan GFR (*ground fault relay*) [8-10].

Agar kinerja CBO lebih optimal, CBO harus ditempatkan sesuai dengan arus gangguan hubung singkat yang diterimanya [7-8]. Pada penelitian ini dilakukan studi literatur dari data spesifikasi Gardu Induk New Bintaro PLN dan dilanjutkan dengan proses perhitungan arus gangguan hubung singkat di sepanjang penyulang berdasarkan arus gangguan hubung singkat yang diterima. Dari perhitungan tersebut selanjutnya dapat ditentukan penempatan CBO yang paling optimal dan waktu definitif yang dibutuhkan CBO untuk memutus arus gangguan hubung singkat baik untuk arus gangguan hubung singkat 3 *phasa* maupun 1 *phasa*. Dengan penempatan yang tepat, CBO sebagai salah satu peralatan proteksi pada Penyulang Puma dapat bekerja dengan baik bila terjadi gangguan [5].

2. Metodologi Penelitian

Pada studi ini menggunakan metode penelitian berupa perhitungan berdasarkan data spesifikasi pada Gardu Induk New Bintaro PLN. Perhitungan yang dilakukan adalah perhitungan arus gangguan hubung singkat di sepanjang Penyulang Puma, perhitungan waktu kerja *relay* dan waktu yang dibutuhkan untuk memutus arus gangguan hubung singkat baik pada 1 *phasa* maupun 3 *phasa* [10]. Data spesifikasi awal yang diperlukan untuk menunjang penelitian ini diantaranya adalah data trafo gardu induk, data penyulang puma, dan data trafo arus CBO [2, 5].

2.1. Data trafo tenaga Gardu Induk New Bintaro

Data pada trafo tenaga Gardu Induk (GI) New Bintaro digunakan sebagai acuan dalam perhitungan impedansi sumber disisi 150 kV, besar impedansi hubung singkat disisi 150 kV, impedansi hubung singkat disisi 20 kV, besar reaktansi trafo urutan positif, negatif, dan urutan nol. Tabel 1 berikut adalah data trafo tenaga GI New Bintaro [5].

Tabel 1. Data trafo GI New Bintaro.

Merk	Unindo
Kapasitas	60 MVA
Tegangan primer	150 KV
Tegangan sekunder	20 Kv
Arus pengenal sekunder	230,9 A
Arus pengenal primer	1732 A
Belitan	Ynyn0(d1)
Impedansi	12,42 %
Rasio	2000/5 A
NGR	12

2.2. Data Penyulang Puma

Tabel 2 adalah tabel data spesifikasi Penyulang Puma yang digunakan sebagai perhitungan mencari *impedance* urutan positif, negatif, dan urutan nol dengan jarak per Km dengan arus beban maksimal rata-rata pada bulan Desember sebesar 150 A [11].

Tabel 2. Data spesifikasi Penyulang Puma.

Nama penyulang	Puma
Jenis kabel	XLPE
Luas penampang	3 x 240 mm ²
Panjang saluran	18,418 Km
Arus beban	150 A
Impedansi urutan positif	0,125 + j0,097 (Ω /Km)
Impedansi urutan nol	0,275 + j0,029 (Ω /Km)

Selanjutnya tabel di bawah ini merupakan data yang didapat dari data pengukuran yang sebelumnya telah dimiliki oleh PT. PLN Bintaro. Data jarak pada tabel ini digunakan sebagai perhitungan impedansi setiap jarak dalam satuan kilometer [2].

Tabel 3. Data jarak dan spesifikasi Penyulang Puma.

Segmen gardu	Panjang jaringan (km)	Jenis kabel
SKTM Puma-BT344	0.00 - 0.52	XLPE
SKTM BT344-CD58A	0.52 – 1,395	XLPE
SKTM CD58A-BT351	1,395 – 2,115	XLPE
SKTM BT351-BT154	2,115 – 2,511	XLPE
SKTM BT154-BT51	2,511 – 3,765	XLPE
SKTM BT51-BT57	3,765 – 4,884	XLPE
SKTM BT57-BT58	4,884 - 6.469	XLPE
SKTM BT58-BT175	6.649 – 7,43	XLPE
SKTM BT175-CP158	7.43 – 7,963	XLPE
SKTM CP158-CP66B	7,963 – 9,191	XLPE
SKTM CP66B –BT63	9,191 – 10,181	XLPE
SKTM BT63-CP44B	10,181 – 10,602	XLPE
SKTM CP44B-BT228	10,602 – 11,227	XLPE
SKTM BT228-BT385	11,227 – 11,43	XLPE
SKTM BT385-BT82	11,43 – 12,533	XLPE
SKTM BT82-CP44G	12,533 – 14,148	XLPE
SKTM CP44G-BT213	14,148 – 15,971	XLPE
SKTM BT213-BT55	15,971 – 17,485	XLPE
SKTM BT55-GH271	17,485 – 18,418	XLPE

2.3. Data trafo arus outgoing CBO

Data berikut ini berdasarkan data yang diambil pada *nameplate* CBO [2]. Ratio CT sebesar 300/5, yang memiliki arti besar arus pada sisi primer sebesar 300 A dan besar arus pada sisi sekunder sebesar 5 A. Sedangkan Kelas CT sebesar 5P15 maksudnya adalah penguatan maksimal arus yang dapat terbaca pada CBO sebesar 300 arus primer dikalikan dengan 15, artinya arus yang dapat terbaca dapat dikuatkan sebesar 15 kali lipat.

Tabel 4. Data trafo arus CBO.

Rasio CT	300/5
Kelas CT	5P15
RCT	0,2 Ω
Burden CT	5 VA

Setelah itu dilakukan perhitungan untuk menentukan waktu yang dibutuhkan untuk memutus arus gangguan pada arus gangguan baik pada 1 *phasa* maupun 3 *phasa*. Perhitungan yang dilakukan diantaranya perhitungan impedansi sumber, impedansi hubung singkat disisi 150 kV, impedansi hubung singkat disisi 20 kV, reaktansi transformator tenaga, impedansi sumber jarak (setiap kilometer), impedansi ekuivalen, arus gangguan hubung singkat, *setting over current relay* (OCR) dan *ground fault relay* (GFR).

2.4. Perhitungan impedansi sumber jarak

Perhitungan bergantung dari nilai impedansi jarak setiap kilometer (Ohm/Km) dari penyulang yang dihitung. Nilainya ditentukan berdasarkan dari luas penampang, jenis penghantar, dan panjang jaringan kabel tanah tegangan menengah atau jaringan udara tegangan menengah. Berikut persamaan yang digunakan pada impedansi penyulang untuk urutan positif-negatif dan urutan nol untuk lokasi titik tertentu secara berurutan [12].

$$Z_{1\text{penyulang}} = Z_{2\text{penyulang}} = \text{Panjang Penyulang} \times Z_1/\text{Km}, \quad (1)$$

$$Z_{0\text{penyulang}} = \text{Panjang Penyulang} \times Z_0/\text{Km}, \quad (2)$$

dengan:

$$Z_{1\text{penyulang}} = \text{Impedansi urutan positif dan negatif } (\Omega)$$

$$Z_1/\text{Km} = \text{Impedansi urutan positif /jarak } (\Omega/\text{km})$$

$$Z_{0\text{penyulang}} = \text{Impedansi urutan nol } (\Omega)$$

$$Z_0/\text{Km} = \text{Impedansi urutan nol penyulang/jarak } (\Omega/\text{km}).$$

2.5. Perhitungan impedansi ekivalen

Perhitungan besarnya impedansi ekivalen dilakukan dengan urutan positif (Z_{1eq}), urutan negatif (Z_{2eq}) dan urutan nol (Z_{0eq}) dari lokasi gangguan sampai ke sumber jaringan ekivalen. Perhitungan dilakukan dengan cara menjumlahkan seluruh impedansi yang ada. Penjumlahan dilakukan karena impedansi-impedansi terangkai secara seri [12].

$$Z_{1eq} = Z_{2eq} = Z_{SC\ 20kV} + X_{T1} + Z_{1penyulang\Omega/Km} \quad (3)$$

$$Z_{0eq} = X_{T0} + 3R_{NGR} + Z_{0penyulang\Omega/Km} \quad (4)$$

dengan:

Z_{1eq} = Impedansi ekivalen urutan positif-negatif (Ω)

$Z_{SC\ 20kV}$ = Impedansi hubung singkat 20 kV (Ω)

Z_1/Km = Impedansi ururan positif/jarak (Ω/km)

Z_{0eq} = Impedansi ekivalen urutan positif-negatif (Ω)

X_{T1} = Reaktansi trafo urutan positif-negatif (Ω)

Z_0/Km = Impedansi ururan positif/jarak (Ω/km).

2.6. Perhitungan arus gangguan hubung singkat

Tujuan perhitungan gangguan arus hubung singkat adalah untuk menganalisis besaran arus gangguan yang muncul pada suatu jaringan, sehingga dapat ditentukan tingkat ketahanan dari suatu sistem peralatan. Perhitungan arus gangguan hubung singkat dapat dihitung setelah didapat nilai dari impedansi ekivalen penyulang. Perhitungan yang dilakukan yaitu gangguan hubung singkat 3 *phasa* dan gangguan hubung singkat 1 *phasa* ke tanah dengan persamaan sebagai berikut [4].

$$I_{B\phi} = \frac{3 \times \frac{2000}{\sqrt{3}}}{Z_{eqi_1}} \text{ Amp.} \quad (5)$$

$$I_{n\phi} = \frac{3 \times \frac{2000}{\sqrt{3}}}{(Z_{eqi_1} + Z_{eqi_2}) + Z_{eqi_0}} \text{ Amp.} \quad (6)$$

dengan:

$I_{B\phi}$ = Arus gangguan 3 fasa (Amp)

Z_{eqi_1} = Impedansi ekivalen urutan positif dan negatif (Ω)

$I_{n\phi}$ = Arus gangguan 1 fasa-tanah (Amp)

Z_{eqi_1} = Impedansi ekivalen urutan positif dan negatif (Ω)

Z_{eqi_2} = Impedansi ekivalen urutan negatif (Ω)

Z_{eqi_0} = Impedansi ekivalen urutan nol (Ω).

2.7. Perhitungan setting OCR dan GFR

Perhitungan ini dilakukan untuk menghitung nilai pengaturan (*setting*) pada CBO agar bekerja dengan optimal.

2.7.1. Pengaturan over current relay (OCR)

Setting over current relay (OCR) merupakan bagian peralatan sistem proteksi yang memiliki fungsi kerja untuk menentukan nilai arus berlebih yang diterima oleh CBO melalui pembacaan *relay* yang diakibatkan oleh gangguan arus hubung singkat. *Setting* menggunakan *standard inverse* dengan persamaan berikut [4].

$$I_{set\ primer} = 1,05 \text{ s/d } 1,3 \times I_{Beban} \quad (7)$$

$$I_{set\ sekunder} = \frac{I_{set\ primer}}{RatioCT} \quad (8)$$

dengan:

$I_{set\ primer}$ = Arus setting primer OCR yang dimasukkan ke relay (A)

I_{Beban} = Arus beban puncak pada suatu penyulang (A)

1,05 s/d 1,3 = Karakteristik *inverse*

$I_{set\ sekunder}$ = Arus *setting* sekunder OCR (A)

Rasio CT = Rasio CT yang terpasang pada CBO.

2.7.2. Pengaturan ground fault relay (GFR)

Ground fault relay (GFR) adalah bagian peralatan sistem proteksi utama pada jaringan distribusi tegangan menengah. GFR berfungsi untuk melindungi saluran udara tegangan menengah atau saluran kabel tanah tegangan menengah dari gangguan tanah. *Setting* yang digunakan adalah *standard inverse* [10].

$$I_{set\ primer}^* = 6\% \text{ s/d } 12\% \times I_{SC\ 1\ fasa}, \quad (9)$$

$$I_{set\ sekunder}^* = \frac{I_{set\ primer}^*}{Ratio\ CT^*}, \quad (10)$$

dengan:

$I_{set\ primer}^*$ = Arus *setting* primer GFR yang dimasukkan ke *relay* (A)

$I_{SC\ 1\ fasa}$ = Arus hubung singkat 1 fasa terkecil (A)

6% s/d 12 % = Karakteristik *inverse*

$I_{set\ sekunder}^*$ = Arus *setting* sekunder GFR (A)

Rasio CT^* = Rasio CT yang terpasang pada CBO.

2.7.3. Waktu kerja relay

Untuk mencari waktu kerja *relay*, maka dibutuhkan beberapa variabel diantaranya *time multiple setting* (TMS) tanpa satuan. Karena OCR dan GFR menggunakan pengaturan *standard inverse*, maka persamaan-persamaan yang digunakan untuk menentukan waktu kerja *relay* sebagai berikut [13].

$$TMS = \frac{t \times \left(\left(\frac{I_f}{I_{set}} \right)^\alpha - 1 \right)}{\beta}, \quad (11)$$

dengan:

TMS = *Time multiple setting* (nilai yang di-*setting* ke *relay*)

t = 0,3 s (minimum), bila terdapat *recloser* atau gardu hubung, maka terdapat waktu tunda (Δt) *relay*: 0,3 s/d 0,4 s.

I_f = Arus gangguan hubung singkat (1 fasa atau 3 fasa) (A)

I_{set} = Arus *setting* primer atau sekunder (A)

dan

$$t_r = \frac{\beta \times TMS}{\left(\left(\frac{I_f}{I_{set}} \right)^\alpha - 1 \right)} \quad (12)$$

dengan:

t_r = Waktu kerja (s)

α dan β = Karakteristik standar *inverse*

I_f = Arus gangguan hubung singkat (1 fasa atau 3 fasa) (A)

I_{set} = Arus *setting* primer atau sekunder (A).

3. Pembahasan

Berdasarkan data spesifikasi Gardu Induk *New Bintaro* mulai dari data trafo, data Penyulang Puma, hingga data trafo arus CBO, maka dilakukan proses perhitungan menggunakan persamaan (1) hingga persamaan (12) untuk menentukan penempatan CBO agar berfungsi optimal dengan panjang jaringan penyulang puma 18,418 Km dan dilanjutkan dengan perhitungan waktu kerja *relay* untuk CBO yang dipasang serta perhitungan untuk mengetahui waktu yang dibutuhkan CBO untuk memutus arus gangguan hubung singkat baik hubung singkat pada 3 *phasa* maupun 1 *phasa*.

Proses perhitungan dengan melakukan perhitungan impedansi sumber, impedansi hubung singkat 150 kV, arus gangguan hubung singkat disisi 20 kV, reaktansi urutan positif-negatif dan urutan nol dengan data arus hubung singkat Gardu Induk *New Bintaro* 12,5 kA [13]. Hasil perhitungan ini selanjutnya digunakan untuk mencari impedansi ekuivalen urutan nol dan mencari arus gangguan hubung singkat setiap kelipatan 10% dari panjang Penyulang Puma.

Impedansi Penyulang Puma diperoleh berdasarkan besarnya impedansi jarak setiap satuan kilometer (Ohm/Km) dari panjang penyulang yang dihitung. Nilai ini ditentukan dari jenis penghantar, luas penampang kabel, dan panjang penyulang. Berdasarkan Tabel 2 dan Tabel 3, Penyulang Puma menggunakan penghantar 20 kV SKTM dan menggunakan kabel bawah tanah jenis XLPE 3 x 240 mm² dengan panjang saluran 18,418 Km. Selanjutnya dengan memanfaatkan persamaan (1) dan (2), maka didapatkan nilai impedansi panjang jaringan yang disajikan pada Tabel 5 dengan menetapkan panjang jaringan setiap 10% agar lebih mudah dalam proses perhitungan.

Tabel 5. Impedansi urutan positif, negatif, dan nol

% Panjang jaringan	Impedansi $Z_1 = Z_2$ penyulang	Impedansi Z_0 penyulang
1%	0,023 + j0,0178	0,050 + j0,053
10%	0,230 + j0,178	0,506 + j0,533
20%	0,460 + j0,356	1,012 + j1,066
30%	0,690 + j0,534	1,518 + j1,599
40%	0,920 + j0,712	2,024 + j1,132
50%	1,150 + j0,890	2,530 + j2,665
60%	1,380 + j1,068	3,036 + j3,198
70%	1,610 + j1,246	3,542 + j3,731
80%	1,840 + j1,424	4,048 + j4,264
90%	2,070 + j1,602	4,572 + j4,797
100%	2,30 + j1,780	5,060 + j5,33

Setelah nilai urutan positif, negatif, dan nol didapat, maka nilai tersebut digunakan untuk proses perhitungan nilai impedansi ekuivalen dengan menggunakan persamaan (3) yang hasilnya disajikan pada Tabel 6.

Tabel 6. Impedansi ekivalen urutan positif, negatif, dan nol.

% Panjang jaringan	Impedansi $Z_1 = Z_2$ penyulang	Impedansi Z_0 penyulang
1%	0,023 + j1,675	36,05 + j8,236
10%	0,230 + j1,857	36,506 + j8,813
20%	0,460 + j2,035	37,012 + j9,346
30%	0,690 + j2,213	37,518 + j9,879
40%	0,920 + j2,391	38,024 + j10,671
50%	1,150 + j2,569	38,530 + j10,945
60%	1,380 + j2,747	39,036 + j11,478
70%	1,610 + j2,925	39,542 + j12,011
80%	1,840 + j3,103	40,048 + j12,544
90%	2,070 + j3,281	40,572 + j13,077
100%	2,30 + j3,459	41,060 + j13,61

Dari data impedansi ekivalen di atas, maka selanjutnya dapat menentukan arus gangguan hubung singkat 3 fasa dan 1 fasa ke tanah. Perhitungan ini dilakukan setiap kelipatan 10% dari panjang penyulang agar sesuai dengan perhitungan sebelumnya. Proses perhitungan hubung singkat 3 fasa menggunakan persamaan (5) dan untuk perhitungan 1 fasa menggunakan persamaan (6), sehingga didapatkan nilai yang disajikan pada Tabel 7.

Tabel 7. Hasil perhitungan arus gangguan hubung singkat.

Panjang jaringan (%)	Panjang jaringan (Km)	Arus gangguan (Ampere)	
		3 fasa	1 fasa
1%	0,018	6754,88	910,24
10%	1,841	6170,94	887,52
20%	3,683	5534,56	860,97
30%	5,524	4981,29	835,83
40%	7,367	4818,04	818,63
50%	9,209	4102,46	789,38
60%	11,05	3756,15	767,91
70%	12,89	3458,40	747,50
80%	14,734	3200,81	728,08
90%	16,576	2976,48	709,34
100%	18,418	2779,81	691,78

Hasil dari Tabel 7 menunjukkan bahwa arus gangguan hubung singkat pada 3 *phasa* semakin jauh jarak penyulang menyebabkan arus gangguan hubung singkat di ujung penyulang semakin rendah. Sebaliknya, pada panjang awal penyulang diperoleh arus gangguan hubung singkat pada 3 *phasa* sebesar 6754,88 A dan pada jarak di kelipatan 100%, besar arus gangguan hubung singkat sebesar 2779,81 A. Hasil ini berlaku pula untuk arus gangguan hubung singkat 1 *phasa*, diperoleh hasil pada kelipatan 1% sebesar 910,24 A dan kelipatan 100% sebesar 691,78 A. Hal ini terjadi karena jika suatu gardu distribusi semakin dekat dengan sumber atau GI, maka gardu distribusi tersebut akan semakin tinggi menerima arus gangguan hubung singkat. Sebaliknya, jika gardu distribusi terletak jauh dari sumber atau GI, maka arus gangguannya semakin rendah. Sehingga jarak suatu penyulang memiliki pengaruh yang sangat besar. Berdasarkan data kubikel CBO yang menerima batas arus maksimal 4500 A, maka data arus yang bisa dibaca oleh CBO tersebut berada pada jarak 50% dari jarak penyulang dengan arus gangguan hubung singkat 3 *phasa* maksimal 4102,46 A dan arus gangguan hubung singkat 1 *phasa* 789,38 A yang letaknya 9,209 Km dari Penyulang Puma sesuai dengan Tabel 7. Selanjutnya CBO dapat dipasang pada jarak tersebut tepatnya bisa dipasang pada gardu dengan kode BT 134.

Agar CBO dapat bekerja secara optimal untuk memproteksi peralatan listrik tegangan tinggi, maka perlu adanya *setting* OCR dan GFR. Dengan diketahuinya CBO mampu membaca arus gangguan hubung singkat sekitar 4500 A yang berada 50% dari panjang penyulang, maka *setting* penentuan nilai OCR menggunakan *standard inverse time* dengan nilai *setting*-an dengan menggunakan persamaan (7) untuk arus primer, persamaan (8) arus sekunder, dan persamaan (9) untuk TMS OCR. Arus sekunder menunjukkan nilai sebesar 157,5 A artinya arus yang di-*setting* pada CBO sebesar 157,5 A. Kemudian arus sekunder sebesar 0,984 A, maka arus yang harus di-*setting* pada CBO sebesar 0,984 A. Setelah itu mencari TMS dan diperoleh hasil 0,143 tanpa satuan. Dari nilai TMS bisa diperoleh nilai *relay* yang harus di-*setting* pada CBO.

Agar *relay* aman dari *trip* akibat arus naik yang berasal dari transformator tenaga yang sudah tersambung di jaringan, maka rentang waktu kerja 0,3 detik digunakan sebagai nilai *setting* awal. Selanjutnya dihitung waktu kerja *relay* dengan asumsi gangguan 3 fasa di titik 50% jaringan dengan menggunakan persamaan (12). Hasil waktu kerja *relay* diperoleh sebesar 0,297 detik, artinya nilai *setting* kerja *relay* yang harus diatur sebesar 0,297 detik untuk memutuskan arus gangguan hubung singkat 3 *phasa*.

Setelah menentukan nilai OCR maka selanjutnya adalah menentukan nilai dari GFR dengan menggunakan *standard inverse time* dengan arus gangguan 1 *phasa* ke tanah yang terjauh atau terendah pada penyulang yaitu 691,78 A. Untuk perhitungan arus primer menggunakan persamaan (9), arus sekunder menggunakan persamaan (10) dan TMS menggunakan persamaan (11). Dari perhitungan tersebut diperoleh nilai arus primer sebesar 41,506 A. Hasil tersebut merupakan nilai yang harus di-*setting* pada CBO dan arus sekunder sebesar 0,691 A. Kemudian diperoleh TMS sebesar 0,136 tanpa satuan. Selanjutnya nilai TMS akan digunakan untuk menentukan waktu kerja *relay* pada persamaan (12), sehingga diperoleh nilai waktu kerja *relay* yang ditempuh untuk memutuskan arus gangguan hubung singkat 1 *phasa* ke tanah sebesar 0,273 detik. Saat terjadinya gangguan, CBO dengan cepat memutuskan arus gangguan hubung singkat agar dapat melindungi peralatan listrik tegangan tinggi yang ada dan juga membatasi area pemadaman listrik di masyarakat. Oleh karena itu perlu adanya penyetelan OCR, GFR, dan waktu kerja *relay* secara tepat agar CBO dapat bekerja dengan optimal.

4. Kesimpulan

Berdasarkan studi penempatan *circuit breaker outgoing* (CBO) dan perhitungan *relay* pada Penyulang Puma yang telah dilakukan di Gardu Induk New Bintaro, maka diperoleh kesimpulan diantaranya dengan Penyulang Puma yang memiliki CBO dengan CT sebesar 300/5 atau dapat membaca arus maksimal sebesar 4500 A, maka CBO dapat bekerja maksimal pada posisi 50% dari total panjang Penyulang Puma. Hal ini karena pada panjang penyulang tersebut arus yang terhitung sebesar 4102,46 A. Hasil perhitungan waktu kerja *relay* untuk CBO yang dipasang pada 50% panjang Penyulang Puma yaitu pada arus *setting* primer 157,5 A, nilai konstanta *setting* 0,143, dan waktu kerja *relay* 0,297 detik. Untuk perhitungan pada GFR didapat arus *setting* primer 41,506 A, nilai konstanta *setting* 0,136 dan waktu kerja *relay* 0,273 detik. Dari hasil tersebut menunjukkan bahwa waktu yang dibutuhkan CBO untuk memutuskan arus gangguan hubung singkat sangat cepat yaitu untuk arus gangguan hubung singkat 3 *phasa* sebesar 0,297 detik dan arus gangguan hubung singkat 1 *phasa* sebesar 0,273 detik. Dengan waktu yang singkat tersebut maka CBO akan memiliki fungsi yang optimal sebagai salah satu peralatan sistem proteksi.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Harjunang, H., Satriani, S., & Agus, S. (2018). Analisis gangguan hubung singkat simetri dan tidak simetri pada jaringan distribusi 20 KV di Gardu Induk Panakkukang. *Seminar Nasional Teknik Elektro dan Informatika (SNTEI)*, 978-602-18168-7-5.
- [2] PT. PLN. (Persero). (2010). *Standar Konstruksi Jaringan Tegangan Menengah, Handbook*, Jakarta Selatan.
- [3] Thoriq, A. A. Q., Penangsang, O., & Aryani, N. K. (2017). Penentuan lokasi gangguan hubung singkat pada jaringan distribusi 20 KV Penyulang Tegalsari Surabaya dengan metode impedansi berbasis GIS. *Jurnal Teknik ITS*, vol. 6, no. 1, pp. B66-B71.
- [4] Mantara, I. G. K. J., I. A., Giriantari, I. A. D. & Sukerayasa, I. W. (2018). Analisis hubung singkat pada jaringan tegangan menengah 20 KV Penyulang Kedonganan. *Majalah Ilmiah Teknologi Elektro*, vol. 17, no. 2, pp. 213-220.
- [5] PT. PLN. (Persero). (2010). *Kriteria Disain Engineering Konstruksi Jaringan Distribusi Tenaga Listrik, Handbook*. Jakarta Selatan.
- [6] Qalibun, N. A., & Koerniawan, T. (2019). Optimalisasi penggunaan *circuit breaker outgoing* (CBO) guna meminimalisir resiko gardu padam pada Penyulang Renda GI Bintaro Di PT. PLN UP3 Bintaro. [Tugas Akhir]. STT PLN.
- [7] Mawardah, R. N., & Tambunan, J. M. (2019). Optimalisasi penempatan *circuit breaker outgoing* untuk meminimalisir saidi di PT. PLN UP3 Bandengan. [Tugas Akhir]. STT PLN.
- [8] Rofi'ul, J. (2018). Analisa perhitungan dan pengaturan relai arus lebih dan relai gangguan tanah pada Trafo III 60MVA 150/20 KV di Gardu Induk 150 Kv Palur. [Tugas Akhir]. Surakarta: Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- [9] Prayoga, S., Juningtyastuti, & Susatyo, H. (2015). Evaluasi *setting relay* arus lebih dan *setting relay* gangguan tanah pada Gardu Induk Spondol. *Jurnal Transient*, vol.4, no. 2, pp. 236-243.
- [10] Daru, T. N., Arief, W. W., & Aida, W. (2020). Analisis koordinasi sistem proteksi penyulang Dieng-2 (dng02) terhadap gangguan arus hubung singkat Gardu Induk Dieng PT PLN (Persero) UP3 Purwokerto. *Jurnal Dinamika Rekayasa*, vol. 16, no. 1, pp. 69-82.
- [11] Wicaksono, B. B. (2020). Pemasangan CBO (*circuit breaker outgoing*) di PT PLN Bintaro. [Laporan Kerja Praktik]. Cilegon: Jurusan Teknik Elektro, Untirta.

- [12] Julda, F. D. (2016). Analisis perencanaan koordinasi sistem proteksi *relay* arus lebih pada jaringan distribusi tenaga listrik di Pusdiklat Migas Cepu. [Tugas Akhir]. Surakarta: Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- [13] Akmal., A. & Ketut., A., (2017). Studi pengaturan *relay* arus lebih dan *relay* hubung tanah Penyulang Timor 4 pada Gardu Induk Bawean. *Jurnal Infotronik*, vol 2, no.1, pp. 34-43.