Studi penempatan *circuit breaker outgoing* (CBO) pada penyulang puma berdasarkan pembacaan arus maksimal pada PT PLN unit pelaksanaan pelayanan pelanggan (UP3) bintaro

*Agusutrisno*a*,*1, *Wahyu Prabowo*b, *Bayu Bagoes Wicaksono*a,

a *Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Sultang Ageng Tirtayasa,*

*Jl. Jendral Sudirman KM. 3 Cilegon-Banten Kode Pos : 42435.* *Indonesia*

1*E-mail: Agusutrisno@untirta.ac.id*

b*PT PLN Unit Pelaksanaan Pelayanan Pelanggan (UP3) Bintaro,*

 *Bintaro, Tangerang Selatan dan Kodepos, Indonesia*

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| I N F O A R T I K E LRiwayat artikel: Diajukan pada 30 Maret 2020Direvisi pada 00 Januari 00Disetujui pada 00 Februari 00Tersedia daring pada 00 Maret 00*Kata kunci:**Circuit Breaker Outgoing*, Arus Gangguan Hubung Singkat, Penyulang Puma.*Keywords:**Circuit Breaker Outgoing, the short-circuit fault current, Puma feeder* . |  | A B S T R A K |
| 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 meminimalisir gangguan tersebut. Telah berhasil dilakukan studi tentang tentang optimalisasi peran Circuit Breaker Outgoing (CBO) sebagai system proteksi pada penyulang puma gardu induk new bintaro PLN. Untuk memaksimalkan kinerja CBO perlu dilakukan perhitungan arus gangguan hubung singkat di sepanjang penyulang sesuai dengan arus gangguan hubung singkat yang harus diterima. Dari hasil perhitungan arus gangguan hubung singkat, maka CBO harus ditempatkan yaitu 50 % dari panjang penyulang puma. Hasil perhitungan waktu kerja relay untuk CBO yang dipasang pada 50% panjang penyulang Puma yaitu Iset primer OCR = 157,5 A, TMS = 0,143, dan t = 0,297 detik. Untuk Iset primer GFR = 41,506 A, TMS = 0,136, dan t = 0,273. 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. |
| A B S T R A C T |
| In the distribution of electricity often experience interference or short circuit current caused by many things. From 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. To maximize CBO performance, it is necessary to calculate the short-circuit fault current along the feeder according to the short-circuit fault current that must be received. From the results of the calculation of the short circuit fault current, then the CBO must be placed ie 50% of the length of the puma feeder. The results of the calculation of the working time of the relay for CBO mounted at 50% of the length of the Puma feeder are OCR primary primer = 157.5 A, TMS = 0.143, and t = 0.297 seconds. For primary Iset GFR = 41.506 A, TMS = 0.136, and t = 0.273. 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. |

1. Pendahuluan

Dalam penyaluran listrik, baik pada transmisi maupun distribusi seringkali mengalami gangguan atau arus hubung singkat yang diakibatkan oleh banyak hal. Dari arus gangguan hubung singkat tersebut akan berdampak pada penurunan kualitas peralatan listrik yang ada di gardu induk dan gardu distribusi. Untuk itu diperlukannya alat proteksi untuk mengamankan atau meminimalisir gangguan tersebut. Peralatan yang digunakan pada sistem tenaga listrik antara lain *relay*, Pemutus Tenaga Listrik (PMT), Pemisah Tenaga Listrik (PMS), *arrester*, dan lain-lain. *Circuit Breaker* merupakan alat dengan prinsip kerja yang sama seperti saklar pemutus yang dapat memutus jika ada arus gangguan, dan dapat mengalirkan arus jika dalam keadaan normal.

 *Circuit Breaker* memiliki peran yang sangat penting sebagai sistem proteksi pada penyulang Puma Gardu Induk New Bintaro. Tidak optimal 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, dari situ semua peralatan listrik tegangan tinggi yang ada di gardu distribusi tidak akan rusak. Dari prinsip kerja tersebut CBO memerlukan nilai *setting* yang diatur pada *relay* dengan cara menentukan nilai arus gangguan hubung singkat tiga fasa dan satu fasa ke tanah secara langsung. Nilai *setting* yang diatur yaitu OCR (*Over Curent Relay*) dan GFR (*Ground Fault Relay*).

Agar kinerja CBO optimal, maka CBO harus ditempatkan sesuai dengan arus gangguan hubung singkat yang diterimanya agar dapat bekerja dengan optimal. Maka pada penelitian ini dilakukan perhitungan arus gangguan hubung singkat di sepanjang penyulang sesuai dengan arus gangguan hubung singkat yang diterima sehingga dari hasil dari perhitungan tersebut dapat menentukan penempatan CBO yang paling optimal dan menentukan waktu yang dibutuhkan CBO untuk memutus arus gangguan hubung singkat baik untuk arus gangguan hubung singkat 3 phasa maupun 1 phasa.

1. Metode Penelitian

Pada metode penelitian ini dilakukan perhitungan arus gangguan hubung singkat di sepanjang penyulang puma sesuai dengan arus gangguan hubung singkat yang diterima berdasarkan data spesifikasi pada gardu induk new bintaro PLN. Data awal yang diperlukan untuk menunjang penelitian ini diantaranya adalah data trafo gardu induk, data penyulang puma, dan data trafo arus CBO.

**2.1** **Data Trafo Tenaga Gardu Induk *New* Bintaro**

Data pada trafo tenaga Gardu Induk Bintaro akan digunakan sebagai acuan dalam perhitungan impedansi sumber disisi 150 kV, impedansi hubung singkat disisi 150 kV, impedansi hubung singkat disisi 20 kV, reaktansi trafo urutan positif dan negatif, dan urutan nol. Data trafo tenaga Gardu Induk *New* Bintaro dapat dilihat pada tabel dibawah ini.

Tabel 2.1 Data Trafo Gardu Induk *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 % |
| Ratio | 2000/5 A |
| NGR | 12 |
|  |  |

**2.2 Data Penyulang Puma**

Berikut tabel data penyulang Puma yang akan digunakan sebagai perhitungan mencari impedansi urutan positif, negatif, dan urutan nol dengan jarak per km dengan arus beban maksimal rata-rata pada bulan Desember sebesar 150A.

Tabel 2.2 Data Spesifikasi Penyulang Puma

|  |  |
| --- | --- |
| Nama Penyulang | Puma |
| Jenis Kabel | XLPE |
| Luas Penampang | 3 x 240 mm² |
| 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 dibawah ini merupakan data yang didapat dari hasil pengukuran yang sebelumnya telah dilakukan oleh PT. PLN (Persero) UP3 Bintaro. Data jarak pada tabel dibawah akan digunakan sebagai perhitungan impedansi setiap jarak dalam satuan kilometer.

Tabel 2.3 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 |

* 1. **Data Trafo Arus *Outgoing* CBO**

Data berikut berdasarkan data yang diambil pada *nameplate* CBO. Ratio CT sebesar 300/5, maksudnya adalah arus yang mengalir pada sisi primer sebesar 300A dan arus yang mengalir pada sisi sekunder sebesar 5A. 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 2.4 Data Trafo Arus CBO

|  |  |
| --- | --- |
| Ratio 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 hubung singkat pada arus gangguan 1 phasa dan 3 phasa. Perhitungan yang dilakukan diantaranya perhitungan impedansi sumber, impedansi hubung singkat di sisi 150kV, impedansi hubung singkat di sisi 20kV, reaktansi transformator tenaga, impedansi sumber jarak (setiap kilometer), impedansi ekuivalen, arus gangguan hubung singkat, dan *Setting Over Curent Relay* dan *Ground Fault Relay*.

**2.4. Perhitungan Impedansi Sumber**

 Diperoleh dari arus hubung singkat yang mengalir dari sitem interkoneksi menju Gardu Induk dengan persamaan berikut.

$MVA\_{SC}= \sqrt{3}.V\_{150 kV}.I\_{sc}$ (1)

Dimana :

V = Tegangan transformator tenaga sisi primer (kV)

Isc= Arus hubung singkat di sistem 150 kV (kA)

* 1. **Impedansi Hubung Singkat di Sisi 150kV**

Setelah nilai impedansi sumber didapat, selanjutnya mencari nilai impedansi hubung singkat 150kV dengan persamaan dibawah ini.

 $ Z\_{SC 150kV}= \frac{kV^{2}}{MVA\_{SC}}$ (2)

Dimana

kV2 = Tegangan transformtor di sisi primer (kV)

MVASC = Daya hubung singkat di sistem 150kV (MVA)

**2.6 Impedansi Hubung Singkat di Sisi 20kV**

Karena arus gangguan hubung singkat yang akan dihitung adalah arus gangguan hubung singkat di sisi 20 kV (sebagai dasar perhitungan dalam perhitungan satuan listrik pada tegangan 20 Kv, sehingga perhitungan arus gangguan hubung singkatnya nanti sudah mempergunakan tegangan 20 kV), karena semua impedansi sudah dikonversikan ke sistem tegangan 20 kV maka persamaanny sebagai berikut.

$\frac{kV\_{1}^{2}}{Z\_{1}}=\frac{kV\_{2}^{2}}{Z\_{2}}$ (3)

kV1 = Tegangan transformator tenaga sisi primer (kV)

kV = Tegangan transformator tenaga sisi sekunder (kV)

Z1 = Impedansi transformator tegangan sisi primer (ohm)

Z2 = Impedansi transformator tegangan sisi sekunder (ohm)

 **2.7 Reaktansi Transformator Tenaga**

Setelah didapat semua perhitungan di atas, maka dapat dihitung reaktansi trafo tenaga yang terdiri dari reaktansi trafo pada 100%, reaktansi trafo urutan positif dan negatif, reaktansi urutan nol.

 $X\_{T}\left(pada 100\%\right)=\frac{kV^{2}}{MVA}$ (4)

Dimana:

$X\_{T}$ = Reaktansi trafo pada 100% (Ω)

kV = Tegangan di sistem 20 kV(kV)

MVA = Kapasitas trafo yang terpasang (MVA)

 **2.8 Perhitungan Impedansi Sumber Jarak**

Perhitungan yang akan dihitung tergantung dari besarnya impedansi jarak setiap kilometer (ohm/km) dari penyulang yang dihitung, dimana nilainya ditentukan dari jenis penghantar, luas penampang dan panjang jaringan SUTM atau jaringan SKTM

1. Urutan Positif dan Urutan Negatif

$Z\_{1 penyulang}=Z\_{2 penyulang}=$ Panjang penyulang x $Z\_{1 }/km$ (5)

Dimana :

 *Z*1 Penyulang = Impedansi urutan positif dan negatif (Ω)

 *Z*1 /Km = Impedansi ururan positif /jarak (Ω/km)

1. Urutan Nol

Z0 Penyulang = Panjang penyulang x $Z\_{0}/km$ (6)

Dimana:

Z0 Penyulang = Impedansi urutan nol (Ω)

Z0/km = Impedansi ururan nol penyulang/jarak (Ω/km)

**2.9 Perhitungan Impedansi Ekivalen**

Perhitungan yang akan dilakukan adalah perhitungan besarnya nilai impedansi ekivalen urutan positif (Z1eq) impedansi ekivalen urutan negatif (Z2eq) dan impedansi ekivalen urutan nol (Z0eq) dari titik gangguan sampai ke sumber jaringan ekivalen [4]

1. Urutan Positif dan Urutan Negatif

$Z\_{1eq}=Z\_{2eq }= Z\_{sc 20kV} +x\_{T1}+ Z\_{1penyulang Ω /km} $ (7)

Dimana:

$Z\_{1eq}$ = Impedansi ekivalen urutan positif dan negatif (Ω)

$Z\_{sc 20kV}$ = Impedansi hubung singkat 20 kV (Ω)

$x\_{T1}$ = Reaktansi trafo urutan postif dan negatif (Ω)

$Z\_{1 }/km$ = Impedansi ururan positif /jarak (Ω/km)[4]

1. Urutan Nol

$Z\_{0 eq }= X\_{T0}+3R\_{NGR}+Z\_{0penyulang Ω /km}$ (8)

Dimana:

$Z\_{0eq}$ = Impedansi ekivalen urutan positif dan negatif (Ω)

$Z\_{sc 20kV}$ = Impedansi hubung singkat 20 kV (Ω)

$x\_{T1}$ = Reaktansi trafo urutan postif dan negatif (Ω)

$Z\_{0}/km$ = Impedansi ururan positif /jarak (Ω/km) [10]

**2.10 Perhitungan Arus Gangguan Hubung Singkat**

Perhitungan arus gangguan hubung singkat dapat dihitung setelah dicari nilai dari impedansi ekivalen penyulang. Perhitungan arus gangguan hubung singkat yang dilakukan yaitu gangguan hubung singkat 3 fasa dan gangguan hubung singkat 1 fasa ke tanah [4]

1. Arus Gangguan Tiga Fasa

 $I\_{f3φ}=\frac{3 x \frac{20000}{\sqrt{3}}}{Zeqi\_{1}}$Amp (9)

Dimana:

 $I\_{f3φ}$ = Arus gangguan 3 fasa (Amp)

Zeqi1 = Impedansi ekivalen urutan positif dan negatif (Ω)

1. Arus Gangguan Satu Fasa

$I\_{f1φ}=\frac{3 x \frac{20000}{\sqrt{3}}}{\left(Zeqi\_{1}+Zeqi\_{2}\right)+(Zeqi\_{0})}$Amp (10)

Dimana:

$I\_{f1φ}$ = Arus gangguan 1 fasa-tanah (Amp)

Zeqi1 = Impedans ekivalen urutan positif dan negatif (Ω)

Zeqi2 = Impedansi ekivalen urutan negatif (Ω)

Zeqi0 = Impedansi ekivalen urutan nol (Ω)

 **2.11. Perhitungan *Setting Over Curent Relay* dan *Ground Fault Relay***

 Perhitungan ini dilakukan untung menghitung nilai *setting* pada CBO agar bekerja dengan optimal.

1. *Setting Over Curent Relay*

*Setting Over Curent Relay* (OCR) adalah menentukan nilai arus berlebih yang diterima oleh CBO melalui pembacaan *relay.* Setting menggunakan *standard inverse* dengan persamaan dibawah.

 $I\_{set primer}=1,05 s/d 1,3 ×I\_{beban} $ (11)

Dimana:

Iset primer = Arus setting primer OCR yang dimasukkan ke relay (A)

IBeban = Arus beban puncak pada suatu penyulang (A)

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

 $I\_{set sekunder}=$ $\frac{Iset primer}{Ratio CT}$ (12)

Dimana:

Iset sekunder = Arus *setting* sekunder OCR (A)

Iset primer = Arus *setting* primer OCR (A)

Ratio CT = Ratio CT yang terpasang pada CBO

1. *Setting Ground Fault Relay*

*Setting* menggunakan *standard inverse.*

$I\_{set primer}$ = $6\% s/d 12\% x Isc 1fasa$ (13)

Dimana:

I*set primer* = Arus setting primer GFR yang dimasukkan ke *relay* (A)

Isc 1fasa = Arus hubung singkat 1 fasa terkecil (A)

6% s/d 8% = Karakteristik Inverse

$ I\_{set sekunder}=\frac{Iset primer}{Ratio CT}$ (14) Dimana:

Iset sekunder  = Arus setting sekunder GFR (A)

Iset primer = Arus setting primer GFR (A)

Ratio CT = Ratio CT yang terpasang pada CBO

1. *Setting Time Multiple Setting* (TMS)

Untuk mencari waktu kerja *relay,* maka dibutuhkan beberapa variabel diantaranya *Time Multiple Setting* (TMS) tanpa satuan. Maka persamaannya sebagai berikut.

$TMS=\frac{t×\left(\left(\frac{I\_{f}}{I\_{set}}\right)^{α}-1\right)}{β}$ (15)

Dimana:

TMS = *Time Multiple Setting*. Nilai yang di-*setting* ke *relay* sebagai konstanta (tanpa satuan)

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

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

Iset = Arus *setting* primer atau sekunder (A)

$α dan β$ = Karakteristik *standard inverse*

1. *Waktu Kerja Relay*

$t=\frac{β×TMS}{\left(\left(\frac{I\_{f}}{I\_{set}}\right)^{α}-1\right)} $ *(16)*

*Dimana:*

*t = waktu kerja (s)*

*TMS = Time Multiple Setting. Nilai yang di-setting ke relay sebagai konstanta (tanpa satuan)*

$α danβ$ *= Karakteristik standard inverse.*

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

*Iset  = Arus setting primer atau sekunder (A)*

1. Pembahasan

Berdasarkan data spesifikasi yang sudah ada mulai dari data trafo, data penyulang puma, hingga data trafo arus CBO maka dilakukan proses perhitungan menggunakan persamaan satu hingga persamaan duabelas 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 yang pertama adalah melakukan perhitungan impedansi sumber yang diperoleh dari arus hubung singkat yang mengalir dari sistem interkoneksi menuju gardu induk. Data arus hubung singkat gardu induk new bintaro yaitu 12,5 kA, dengan menggunakan persamaan (1) maka impedansi sumber di sisi 150 kV adalah 3247,6 MVA. Setelah impedansi sumber didapat, maka nilai tersebut digunakan untuk mendapatkan nilai impedansi hubung singkat 150 kV dengan melakukan proses perhitungan menggunakan persamaan (2) sehingga didapatlah nilai 6,92 Ω. Hasil tersebut lanjut digunakan untuk mencari arus gangguan hubung singkat disisi 20 kV dengan menggunakan persamaan (3) dan didapat nilai 0,851 Ω. Hasil tersebut nantinya akan digunakan untuk mencari impedansi ekuivalen urutan positif, urutan negative dan urutan nol,

Selanjutnya dilakukan proses perhitungan reaktansi urutan positif – negatif dan urutan nol untuk mengetahui nilai reaktansi trafo tenaga. Dengan menggunakan persamaan (4) maka didapat nilai 0,828 Ω sedangkan pada reaktansi urutan nol adalah 8,28 Ω. Hasil perhitungan ini akan 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 4.2 dan tabel 4.3, 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 (5) dan (6) maka didapat nilai impedansi panjang jaringan seperti pada tabel 3.1 dengan menetapkan panjang jaringan setiap 10% agar lebih mudah dalam proses perhitungan.

Tabel 3.1 Impedansi Urutan Positif, Urutan Negatif, dan Urutan Nol

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| % Panjang Jaringan | Impedansi Z1 = Z2 penyulang | Impedansi Z0penyulang |
| 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 (7) yang hasilnya disajikan pada tabel 3.2.

Tabel 3.2 Impedansi Ekivalen Urutan Positif, Urutan Negatif, dan Urutan Nol

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| % Panjang Jaringan | Impedansi Z1 = Z2 penyulang | Impedansi Z0penyulang |
| 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 (9) dan untuk perhitungan 1 fasa menggunakan persamaan (10) sehingga didapat nilai yang disajikan pada tabel 3.3.

Tabel 3.3 Hasil Perhitungan Arus Gangguan Hubung Singkat

|  |  |
| --- | --- |
|  Panjang Jaringan (%) | Panjang Jaringan (Km) |
| Arus Gangguan (Ampere) |
| 3 phasa | 1 phasa |
| 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 3.3 diatas menunjukkan bahwa arus gangguan hubung singkat 3 phasa semakin jauh jarak penyulang maka arus gangguan hubung singkat di ujung penyulang semakin kecil. Sebaliknya, pada panjang awal penyulang diperoleh arus gangguan hubung singkat 3 phasa sebesar 6754,88A dan pada jarak di kelipatan 100%, besar arus gangguan hubung singkat sebesar 2779,81A. Hasil ini pun berlaku untuk arus gangguan hubung singkat 1 phasa, diperoleh hasil pada kelipatan 1% sebesar 910,24A dan kelipatan 100% sebesar 691,78A. Hal ini terjadi karena jika suatu Gardu Distribusi semakin dekat dengan sumber atau Gardu Induk, maka Gardu Distribusi tersebut akan semakin besar menerima arus gangguan hubung singkat. Sebaliknya, jika Gardu Distribusi terletak jauh dari sumber atau Gardu Induk, maka arus gangguannya sema%kin kecil. 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 panjang penyulang dengan arus gangguan hubung singkat 3 fasa maksimal 4102,46 A dan arus gangguan hubung singkat 1 fasa 789,38 A yang letaknya 9,209 km dari penyulang Puma. Selanjutnya CBO dapat dipasang pada jarak tersebut tepatnya bisa dipasang pada gardu BT 134.

Agar CBO dapat bekerja untuk memproteksi peralatan listrik tegangan tinggi, maka perlu adanya *setting* OCR dan GFR. Dengan diketahuinya CBO dapat membaca arus gangguan hubung singkat sekitar 4500 A yang berada 50% dari panjang penyulang, maka *setting* penentuan nilai OCR menggunakan Standard Invers Time dengan nilai setting-an dengan menggunakan persamaan (11) untuk arus primer, persamaan (12) arus sekunder, dan persamaan (13) untuk TMS OCR. Arus sekunder menunjukkan nilai sebesar 157,5A artinya arus yang di *setting* pada CBO sebesar 157,5A. Kemudian arus sekunder sebesar 0,984A, maka arus yang harus di *setting* pada CBO sebesar 0,984A. Setelah itu mencari TMS dan diperoleh hasil 0,143 tanpa satuan. Dari nilai TMS bisa diperoleh nilai *relay* yang harus di *setting* pada CBO.

 Untuk t = 0,3 detik, di ambil sebagai nilai setting awal agar relay tidak sampai trip akibat *inrush current* (arus naik) dari trafo tenaga yang memang sudah tersambung dijaringan distribusi sewaktu PMT penyulang di operasikan. Selanjutnya dihitung waktu kerja relay dengan asumsi gangguan 3 fasa di titik 50% jaringan dengan menggunakan persamaan (16). 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 *Standadr Inverse Time* dengan arus gangguan 1 fasa ke tanah yang terjauh atau terkecil pada penyulang yaitu 691,78 A. Untuk perhitungan arus primer menggunakan persamaan (13), arus sekunder menggunakan persamaan (14) dan TMS menggunakan persamaan (15). Dari perhitungan tersebut diperoleh nilai arus primer sebesar 41,506A, hasil tersebut merupakan nilai yang harus di *setting* pada CBO dan arus sekunder sebesar 0,691A. Kemudian diperoleh TMS sebesar 0,136 tanpa satuan. Kemudian TMS akan digunakan untuk menentukan waktu kerja *relay* dengan persamaan (16), Maka diperoleh nilai waktu kerja *relay* yang dibutuhkan 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 meindungi 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* agar CBO dapat bekerja dengan optimal.

1. Kesimpulan

Dari penelitian yang telah dilakukan di PT. PLN (Persero) UP3 Bintaro mengenai *“Studi Penempatan Circuit Breaker Outgoing (CBO) Pada Penyulang Puma Berdasarkan Arus Maksimal Dibaca”* diperoleh kesimpulan bahwa CBO merupakan alat proteksi yang dipasang disisi *outgoing* kubikel pada gardu distribusi. Dengan penyulang puma 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 karena pada panjang penyulang tersebut terhitung arus sebesar 4102,46 A. Hasil perhitungan waktu kerja *relay* untuk CBO yang dipasang pada 50% panjang penyulang Puma yaitu Iset primer OCR = 157,5 A, TMS = 0,143, dan t = 0,297 detik. Untuk Iset primer GFR = 41,506 A, TMS = 0,136, dan t = 0,273. Waktu yang dibutuhkan CBO untuk memutus arus gangguan hubung singkat sangat singkat sekali yaitu untuk arus gangguan hubung singkat 3 phasa sebesar 0,297 detik dan arus gangguan hubung singkat 1 phasa sebesar 0,273 detik.

Daftar Pustaka

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| [1]  |

|  |
| --- |
| P. P. (Persero), Standar Kosnstruksi Jaringan Tegangan Menengah, Jakarta Selatan: PT. PLN (Persero), 2010 |

 |
| [2]  | S. S. Wibowo, Analisa Sistem Tenaga, Malang: POLINEMA PRESS, 2018. |
| [3]  | A. B. Anang Supriandi Saleh, BUKU AJAR ENERGI DAN ELEKTRIFIKASI PERTANIAN, Yogyakarta: CV BUDI UTAMA, 2018.  |
| [4]  | P. P. (Persero), KRITERIA DISAIN ENJINERING KONSTRUKSI JARINGAN DISTRIBUSI TENAGA LISTRIK, Jakarta Selatan: PT. PLN (Persero), 2010. |
| [5]  | "www.polsri.ac.id"[Online].Available:http://eprints.polsri.ac.id/1706/3/BAB%20II. [Accessed 24 Januari 2020]. |
| [6]  | Bayu Bagoes Wicaksono, pemasangan CBO *(Circuit Breaker Outgoing)* pada PT PLN Bintaro, Laporan Kerja Praktik, Cilegon ; Banten 2020 |
| [7]  | N. K. A, Analisa Koordinasi Rele Arus Lebih dan Rele Gangguan Tanah Pada SIstem Proteksi, Jakarta, 2014. |
| [8]  | H. Matalata, Gui Pemrograman Windows, Ponorogo: Uwais Inspirasi Indonesia, 2018. |
| [9]  | "Sistem Proteksi Jaringan Distribusi," 18 Januari 2014. [Online]. Available: https://docplayer.info/3654127-Bab-iii-sistem-proteksi-jaringan-distribusi.html. [Accessed 15 Januari 2020]. |
| [10]  | W. Sarimun, PROTEKSI SISTEM DISTRIBUSI TENAGA LISTRIK, Depok: GARAMOND, 2014. |