

Analisis Koordinasi Setting Relay Proteksi Pada Jaringan Distribusi 20KV Penyulang Brenggolo Di PT.PLN UP3 Kediri Gardu Induk Pare

Ganesha Ardha Ibrahimusa

S1 Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya
Email: ganesha.18077@mhs.unesa.ac.id

Joko, Tri Wrahatnolo, Achmad Imam Agung

S1 Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya
Email: joko@unesa.ac.id, achmadimam@unesa.ac.id, wrahatnolo@yahoo.co.id

Abstrak

Sistem proteksi sangat penting guna menjaga kelangsungan sistem distribusi. Selain itu, dengan adanya sistem proteksi dapat melindungi peralatan di sekitarnya, sehingga melindunginya dari gangguan yang sewaktu-waktu dapat terjadi. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis koordinasi *setting relay* proteksi pada penyulang Brenggolo apakah sudah benar dan tepat sesuai dengan standar IEC dan SPLN. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode matematis dan simulasi dengan *software ETAP 12.6*. Analisis dilakukan dengan perhitungan arus hubung singkat sebagai dasar dalam menentukan *setting relay* kemudian mensimulasikan hasil perhitungan dengan *software ETAP 12.6* untuk mengetahui koordinasi *recloser, fuse, Overcurrent Relay (OCR)* dan *Groundfault Relay (GFR)* pada penyulang Brenggolo. Berdasarkan analisis ini, didapatkan hasil perhitungan *setting OCR outgoing* yaitu $I_p = 0,825$ A dan $TMS = 0,44$, *Setting GFR OCR outgoing* yaitu $I_p = 0,181$ A dan $TMS = 0,259$, *Setting OCR recloser* yaitu $I_p = 0,07$ A dan $TMS = 0,18$, *Setting GFR recloser* yaitu $I_p = 0,0481$ A dan $TMS = 0,1$. Hasil penelitian ini dapat disimpulkan bahwa koordinasi proteksi pada penyulang Brenggolo telah sesuai dengan *standard IEC 60255* dengan selisih waktu *recloser* dan *OCR outgoing* sebesar 0,4 detik dan tidak terdapat perpotongan kurva atau peralatan proteksi yang saling mendahului. Penelitian ini dapat digunakan sebagai PT. PLN UP3 Kediri untuk melakukan *resetting* OCR dan GFR di penyulang Brenggolo agar tetap terus terciptanya keandalan pada sistem jaringan distribusi.

Kata Kunci: Koordinasi Proteksi, *OCR outgoing, Recloser, Setting Relay*.

Abstract

Protection system is very important in order to maintain continuity of distribution system. In addition, existence of a protection system can protect the surrounding equipment, thus protecting it from interference that can occur at any time. This study aims to analyze coordination of protection relay settings in Brenggolo refineries whether they are correct and appropriate in accordance with IEC and SPLN standards. The methods used in this study are mathematical and simulation with ETAP 12.6. Analysis was carried out with calculation of short circuit current as a basis in determining relay setting then simulating calculation results with ETAP 12.6 software to determine coordination of recloser, fuse, Overcurrent Relay (OCR) and Groundfault Relay (GFR) at Brenggolo. Based on this analysis, the calculation results of outgoing OCR setting were obtained, $I_p = 0.825$ A and $TMS = 0.44$, outgoing OCR GFR Setting $I_p = 0.181$ A and $TMS = 0.259$, OCR recloser Setting $I_p = 0.07$ A and $TMS = 0.18$, recloser GFR Setting $I_p = 0.0481$ A and $TMS = 0.1$. Protection coordination at Brenggolo refineries is in accordance with standards that recloser time difference and outgoing OCR of 0.4 seconds and there is no intersection of curves or protection equipment that precedes each other. This research can be used as a PT. PLN UP3 Kediri to reset OCR and GFR at brenggolo refinery in order to continue to create reliability in the distribution network system.

Keywords: Outgoing OCR, Protection Coordination, Recloser, Relay Settings.

PENDAHULUAN

Sistem energi listrik kini menjadi bagian penting dari aktivitas sehari-hari baik di bidang industri, pendidikan, dan ekonomi. Ada tiga sistem dalam penyaluran tenaga listrik yaitu sistem pembangkit, sistem transmisi, dan sistem distribusi. Optimalisasi penyaluran tenaga listrik ke konsumen memerlukan

sistem proteksi yang baik untuk melindungi sistem distribusi dari gangguan (Charbonnier, dkk, 2022).

Gangguan yang umum pada jalur distribusi menurut SPLN 52-3:1983 yaitu arus dan tegangan yang tidak normal, *setting* yang tidak tepat, peralatan yang sudah usang dan kelebihan beban. Sistem proteksi sangat penting guna menjaga

kelangsungan sistem distribusi. Selain itu, dengan adanya sistem proteksi dapat melindungi peralatan di sekitarnya, sehingga melindunginya dari gangguan yang sewaktu-waktu dapat terjadi. Akibat yang ditimbulkan oleh gangguan tersebut menyebabkan terputusnya penyaluran tenaga listrik kepada konsumen dan bahkan merusak peralatan listrik yang terpasang (Motta, dkk, 2022).

Untuk menghindari terjadinya pemadaman yang cukup luas, Maka perlu dilakukan *setting* koordinasi *relay* proteksi guna memperkecil daerah pemadaman dan sebagai pengaman terhadap gangguan sementara. Gangguan yang bersifat sementara tersebut apabila tidak dihilangkan menyebabkan pemadaman cukup lama. Oleh karena itu dengan pemasangan *recloser* tersebut diharapkan gangguan sementara tersebut dapat dihilangkan (Aly M, 2016). Proteksi yang digunakan di penyulang Brenggolo yaitu *recloser*, *fuse cutouts* (FCO), sakelar pemutus beban listrik (LBSM), *OCR*, dan *GFR*.

Teknik analisis pada penelitian ini adalah penjelasan mengenai koordinasi dan setting antara *recloser* dan *OCR* dengan menggunakan metode matematis dan perhitungan manual. Kemudian disimulasikan menggunakan *software* ETAP 12.6. Sehingga didapatkan rumusan masalah yaitu, (1) Berapa arus gangguan hubung singkat pada jaringan distribusi 20 kV penyulang Brenggolo dan bagaimana cara menentukan titik lokasi gangguan yang terjadi apabila terjadinya pemadaman di jaringan distribusi 20 kV. (2) Bagaimana koordinasi kerja peralatan proteksi *recloser*, *fuse*, dan *OCR outgoing* apakah terdapat tumpang tindih waktu kerja yang menyebabkan ketidakandalan yang terdapat di penyulang Brenggolo (3) Apakah koordinasi sudah sesuai dengan kaidah kerja peralatan proteksi yang benar dan tepat agar peralatan proteksi di Jaringan distribusi bekerja secara andal, efektif, cepat, dan selektif. Setelah didapatkan rumusan masalah diperoleh tujuan penelitian yaitu sebagai berikut, (1) Mengetahui arus gangguan hubung singkat dan mengetahui titik gangguan yang terjadi apabila terjadi gangguan (2) Mengkoordinasikan dan mensetting sesuai prinsip peralatan proteksi *OCR*, *recloser*, serta *fuse* yang terpasang pada penyulang Brenggolo. (3) Mengetahui koordinasi proteksi pada sistem jaringan distribusi 20 kV pada penyulang Brenggolo apakah sudah benar dan tepat menurut SPLN 52-3: 1983 dan IEC 60225.

KAJIAN PUSTAKA

Sistem Jaringan Distribusi

Sistem distribusi adalah penyalur tenaga listrik dari sumber ke konsumen. Pembangkit listrik terdiri dari pembangkit listrik yang mengubah energi mekanik menjadi energi listrik dan menghasilkan energi listrik untuk kebutuhan konsumen. Sistem transmisi bertanggungjawab untuk mentransmisikan energi listrik dari pembangkit ke sistem distribusi yang bertanggung jawab untuk memasok energi listrik ke pelanggan (Daneshvar, dkk, 2018).

Hubung Singkat

Hubung singkat merupakan gangguan yang disebabkan oleh berkurangnya kekuatan isolasi dasar antara saluran fasa atau antara saluran fasa dan bumi, yang juga dikenal sebagai lonjakan arus lebih atau gangguan arus lebih (Kim, 2021).

Sistem Proteksi

Sistem proteksi adalah seperangkat alat pengaman yang terdiri dari komponen utama dan komponen lainnya untuk menjalankan fungsi tertentu sesuai dengan prinsip proteksi. Sistem proteksi dirancang untuk melindungi dari gangguan dan menghilangkan kondisi abnormal pada sistem tenaga. Perlindungan berfungsi ketika terjadi kegagalan di area yang ingin dilindungi (Yoosefian dan Chabanloo, 2020).

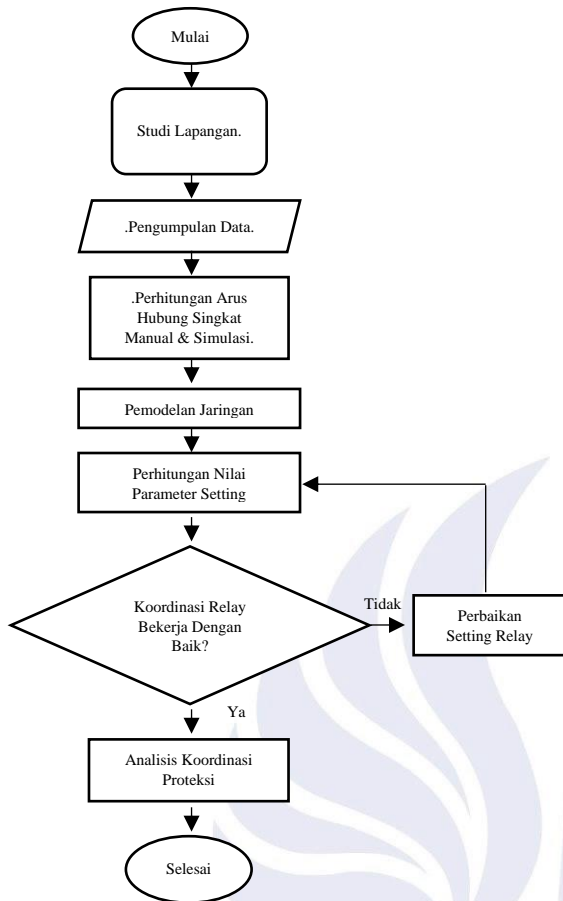
Syarat Sistem Proteksi

Sistem proteksi memiliki persyaratan yang harus dipenuhi agar dapat mengamankan alat yang dilindungi. Berikut adalah beberapa persyaratan sistem proteksi (Saputro, dkk, 2018):

1. Kepekaan
2. Keandalan
3. Selektifitas
4. Kecepatan

METODOLOGI PENELITIAN

Pada penelitian ini, menggunakan metode perhitungan manual dan simulasi yang digunakan untuk menentukan koordinasi *fuse cutout* dan *recloser* dengan memperhatikan *OCR* dan *GFR outgoing* sebagai pengaman *backup*. Kemudian dilakukan analisis koordinasi proteksi pada penyulang Brenggolo setelah *setting* yang disimulasikan dengan *software* ETAP 12.6.0. dan perhitungan manual dilakukan menggunakan *software* Excel. Diagram penelitian dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram penelitian

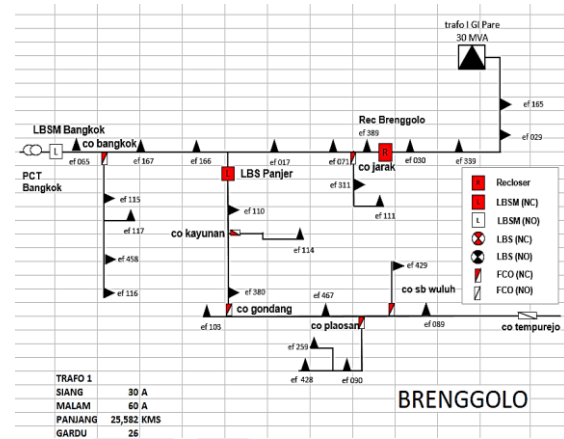
Data Sistem Pembangkit

Gardu Induk Pare 70 kV trafo yang memiliki kapasitas sebesar 30 MVA. Gardu Induk Pare memiliki 10 (sepuluh) penyulang (*feeder*). Transformator pertama memiliki 5 (lima) penyulang (*feeder*) yaitu (penyulang Kepung, penyulang Bendo, penyulang Brenggolo, penyulang BC I, dan penyulang Bogo) sedangkan transformator yang kedua memiliki 5 (lima) penyulang (*feeder*) yaitu (penyulang Karangnongko, penyulang Ngancar, penyulang Sambirejo, penyulang Pare, dan penyulang BC II). Penyulang (*feeder*) yang dianalisis berada pada transformator pertama yaitu pada penyulang Brenggolo.

Diagram satu garis (*Single Line Diagram*) Penyulang Brenggolo

Pada penyulang Brenggolo terdapat 26 Trafo Distribusi. Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2, trafo distribusi disimbolkan dengan menggunakan bentuk delta. Masing-masing memiliki kapasitas daya yang berbeda beda untuk memenuhi kebutuhan beban yang diinginkan. Terdapat pula pengamanan proteksi pada penyulang Pare yaitu 1 (satu) Recloser

dan 6 (enam) proteksi pelebur (Fuse Cut Out). Adapula LBSM (Load Break Switch Motorized) yang merupakan alat pengaman sistem jaringan yang berfungsi untuk melokalisir gangguan agar pemadaman tidak meluas.



Gambar 2. *Single line diagram* penyulang Brenggolo

(Sumber: Tim PT. PLN UP3 Kediri, 2022)

Hubung singkat di Gardu Induk Pare 70 kV dapat dilihat pada Tabel 1, dimana data ini diambil dari perhitungan Tim UP3 Kediri yang besarnya untuk arus hubung singkat maks sebesar 4,36 kA dan arus hubung singkat min sebesar 0,07 kA.

Tabel 1. Data Gardu Induk Pare

| Hubung Singkat Gardu Induk Pare 70 kV | |
|---------------------------------------|---------|
| <i>I</i> _{hs} 3φ | 4,36 kA |
| <i>I</i> _{hs} 1φ | 0,07 kA |

Trafosformator yang digunakan untuk menyuplai kebutuhan/beban pada penyulang Brenggolo memiliki kapasitas sebesar 30 MVA dengan tegangan primer 70 kV dan tegangan sekunder 20 kV yang akan disalurkan ke jaringan distribusi. Trafo bermerk B&D Transformer ini memiliki arus nominal sebesar 247,44 A dengan belitan YNyn0. Adapun spesifikasi lengkap trafo tenaga yang digunakan di Gardu Induk Pare yang ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Data Transformator 2 Gardu Induk Pare

| Trafo 2 GI Pare | |
|--------------------------|-----------------|
| Merek | B&D Transformer |
| Standard | IEC |
| Jenis | Pasang luar |
| Daya | 30 MVA |
| Tegangan | 70/20 KV |
| Arus Nominal | 247,44 A |
| Impedansi | 12.08% |
| <i>Connection Symbol</i> | YNyn0 |
| Frekuensi | 50 Hz |

Untuk data *existing setting OCR* dan *Recloser* yang terpasang ditunjukkan pada Tabel 3, dimana data ini diperoleh dari PT. PLN UP3 Kediri.

Tabel 3. Data OCR

| Daerah proteksi | Rasio CT | Spesifikasi | Arus Pickup (Ampere) | TMS |
|-------------------|----------|----------------|----------------------|---------|
| OCR sisi outgoing | 400/5 | Alstom P127 | 320 | 0,15 SI |
| Recloser | 1000/1 | Jungwoon R200C | 250 | 0,08 SI |

Setiap trafo yang terpasang pada jaringan distribusi ini menyuplai langsung ke konsumen dan memiliki beban dengan kebutuhan bervariasi. Untuk lebih rincinya dapat dilihat pada Tabel 4 yaitu data pembebanan tiap trafo distribusi yang didapatkan dari PT. PLN UP3 Kediri.

Tabel 4. Data Pembebanan Trafo Distribusi

| Nama | Kapasitas Daya (KVA) | Beban (KW) | Nama | Kapasitas Daya (KVA) | Beban (KW) |
|-------|----------------------|------------|-------|----------------------|------------|
| EF165 | 100 | 51,958 | EF467 | 100 | 22,626 |
| EF029 | 160 | 25,188 | EF429 | 160 | 6,383 |
| EF339 | 160 | 30,828 | EF089 | 160 | 80,994 |
| EF030 | 160 | 37,759 | EF090 | 160 | 53,946 |
| EF389 | 100 | 21,989 | EF428 | 100 | 37,692 |
| EF111 | 100 | 50,504 | EF259 | 50 | 30,17 |
| EF311 | 160 | 42,908 | EF116 | 160 | 65,944 |
| EF071 | 160 | 56,273 | EF458 | 100 | 12,357 |
| EF017 | 160 | 50,649 | EF117 | 160 | 86,907 |
| EF110 | 160 | 52,672 | EF115 | 160 | 58,072 |
| EF114 | 160 | 66,852 | EF065 | 160 | 66,981 |
| EF380 | 100 | 38,22 | EF167 | 100 | 52,119 |
| EF103 | 160 | 37,364 | EF166 | 100 | 41,068 |

Penghantar yang digunakan pada penyulang Brenggolo menggunakan jenis konduktor A3C 3x150 mm dengan panjang sejauh 25,582 km. Data penghantar penyulang Brenggolo didapatkan di PT. PLN UP3 Kediri yang ditunjukkan pada Tabel 5.

Tabel 5. Data Penghantar Penyulang Brenggolo

| Penyulang | Jenis Konduktor | Panjang Penyulang | Bahan |
|-----------|-----------------|-------------------|-----------|
| Brenggolo | A3C 3x150 mm | 25,582 kms | Aluminium |

Pada penyulang Brenggolo menggunakan jenis kabel AAAC (A3C) dengan luas penampang 150 mm² dan memiliki panjang sejauh 25,852 km. Menurut SPLN 64 : 1985 data teknis impedansi penghantar dapat ditunjukkan pada Tabel 6.

Tabel 6. Data Teknis Penghantar A3C mm²

| Kabel AAAC (150 mm ²) | (Ohm) | |
|-----------------------------------|--------|--------|
| | R | jX |
| Z1/km | 0,2162 | 0,3305 |
| Z2/km | 0,2162 | 0,3305 |
| Z0/km | 0,3631 | 1,6180 |

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pemodelan Single Line Diagram Penyulang Brenggolo

Berdasarkan pada data yang didapat di PT. PLN UP3 Kediri maka dapat dibuat *single line diagram* dengan alat bantu perangkat lunak ETAP 12.6 yang ditunjukkan pada Gambar 3.

Perhitungan Impedansi Sumber

Untuk menghitung impedansi sumber diperoleh menggunakan persamaan 1 :

$$X_s = \frac{KV^2}{MVA_{3\phi}} \quad (1)$$

Dimana:

X_s = Impedansi sumber (ohm)

KV^2 = Tegangan dasar (kV)

$MVA_{3\phi}$ = Hubung singkat (MVA)

Hubung singkat di bus 70 kV di Gardu Induk Pare sebesar 4,36 kA, dari persamaan 1 maka diperoleh rumus persamaan 2 :

$$MVA_{sc} = \sqrt{3} \times I_{sc} \times V_{sc} \quad (2)$$

Dimana:

$MVA_{3\phi}$ = Hubung singkat (MVA)

I_{sc} = Arus dasar (kA)

V_{sc} = Tegangan dasar (kV)

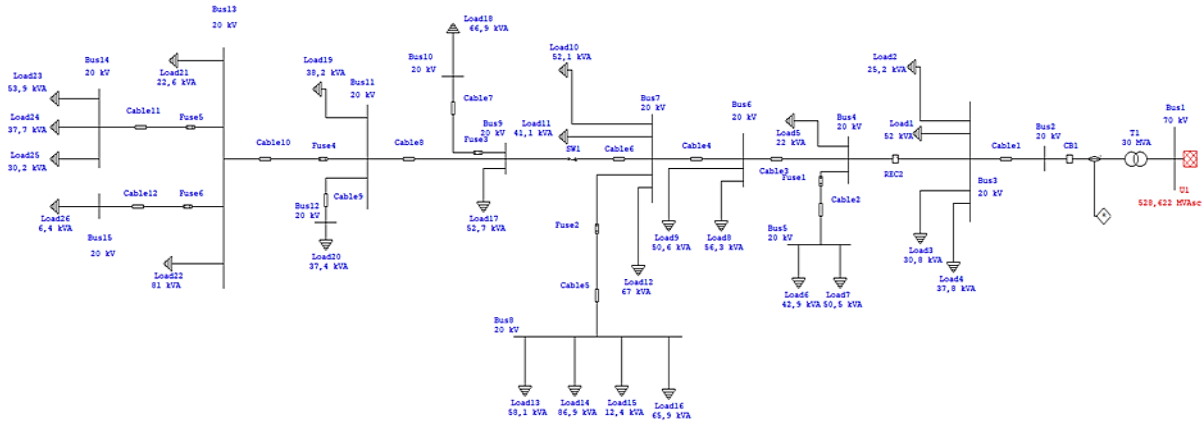
Perhitungan dilakukan dengan mengambil arus dasar sebesar 4,36 kA dan Tegangan dasar sebesar 70kV. Sehingga digunakan persamaan 2 maka diperoleh nilai hubung singkat sebesar 528,622 MVA.

Perhitungan Impedansi Dasar Sisi Primer 70kV dan Sekunder 20kV.

Untuk menentukan Impedansi sumber sisi 20kV perlu terlebih dahulu mengetahui Impedansi sisi 70kV. Setelah didapatkan nilai hubung singkat maka dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 3.

$$X_{S(70kV)} = \frac{kv^2}{MVA_{3\phi}} \quad (3)$$

Sehingga dengan menggunakan persamaan 3 didapatkan Impedansi sumber sisi primer sebesar 9,269 ohm. Kemudian untuk mengkonversikan Impedansi sumber dari sisi 70kV menjadi 20kV digunakan rumus persamaan 4.



Gambar 3. Pemodelan single line diagram pada ETAP 12.6

$$X_s(20kV) = \frac{kV(20)^2}{kV(70)^2} \times X_s(70kV) \quad (4)$$

Dengan menggunakan persamaan 4 diperoleh hasil impedansi sumber sisi 20 kV sebesar 0,7567 ohm.

Perhitungan Impedansi Jaringan

Pada penyulang Brenggolo memiliki panjang penyulang sejauh 25,852 km (Tim PLN UP3, 2022). Menurut SPLN 64 : 1985 impedansi kabel urutan positif dan negatif yaitu $Z_1 \text{ dan } Z_2 = 0,2162 + j0,3305$ dan impedansi urutan nol $Z_0 = 0,3631 + j1,6180$. Maka dapat dihitung titik lokasi gangguan yang ditunjukkan pada Tabel 7.

Tabel 7. Hasil perhitungan impedansi jaringan

| Jarak (km) | $Z_1 = Z_2$ (Ohm) | | Z_0 (Ohm) | |
|------------|-------------------|-----------|-------------|-----------|
| | R | jX | R | jX |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 1,27 | 1,27 | 0,274574 | 0,419735 | 0,461137 |
| 2,55 | 2,55 | 0,551131 | 0,842775 | 0,925905 |
| 3,83 | 3,83 | 0,828046 | 1,265815 | 1,390673 |
| 5,12 | 5,12 | 1,106944 | 1,69216 | 1,859072 |
| 6,39 | 6,39 | 1,381518 | 2,111895 | 2,320209 |
| 7,67 | 7,67 | 1,658254 | 2,534935 | 2,784977 |
| 10,23 | 10,23 | 2,211726 | 3,381015 | 3,714513 |
| 12,79 | 12,79 | 2,765198 | 4,227095 | 4,644049 |
| 15,34 | 15,34 | 3,316508 | 5,06987 | 5,569954 |
| 17,9 | 17,9 | 3,86998 | 5,91595 | 6,49949 |
| 20,46 | 20,46 | 4,423452 | 6,76203 | 7,429026 |
| 23,02 | 23,02 | 4,976924 | 7,60811 | 8,358562 |
| 25,582 | 25,582 | 5,5308284 | 8,454851 | 9,2888242 |

Perhitungan Reaktansi Transformator

Dalam menghitung impedansi transformator, hanya diambil nilai reaktansinya, sedangkan untuk nilai resistansinya diabaikan karena nilainya terlalu kecil (SPLN 52-3: 1983). Dimulai dari mencari nilai 100% nya untuk transformator pada 20 kV dengan menggunakan persamaan 5 dan 6 :

$$X_{T1} = X_{T2} = \frac{kV^2}{MVA} \times \% \quad (5)$$

$$X_{T0} = Rn \times X_{T1} \quad (6)$$

Dimana:

- X_{T1} = Reaktansi trafo urutan positif (ohm)
- X_{T2} = Reaktansi trafo urutan negatif (ohm)
- X_{T0} = Reaktansi trafo urutan nol (ohm)
- MVA = Kapasitas daya (MVA)
- Rn = Tahanan netral trafo (ohm)
- % = Presentase impedansi (%)

Nilai reaktansi trafo daya yang didapat di Gardu Induk Pare sebesar 12,87%, untuk mengetahui besarnya reaktansi urutan positif/negative dan reaktansi urutan nol maka perlu dilakukan perhitungan nilai ohm sebesar 100% (Barlett Jonathan, 2020), yaitu menggunakan persamaan 5, sehingga diperoleh Urutan positif/negative sebesar 1,716 ohm.

Reaktansi urutan nol (X_{T0}) trafo daya dengan belitan YNyn0 tidak memiliki belitan delta, maka besaran X_{T0} berkisar 9 - 14 x X_{T1} , perhitungan diperoleh nilai X_{T0} kurang lebih $10 \times X_{T1}$. Dari perhitungan sebelumnya nilai X_{T1} diperoleh sebesar 1,716 ohm, sehingga dengan menggunakan persamaan 6 nilai X_{T0} diperoleh sebesar 17,16 ohm.

Impedansi ekuivalen urutan positif/negatif dan nol

Dengan menggunakan persamaan 7 dan 8 maka didapatkan impedansi ekuivalen, Z_{1eq} , Z_{2eq} , dan Z_0 dan dapat dilakukan perhitungan sesuai dengan titik lokasi gangguan sebagai berikut (SPLN 52-3, 1983):

$$Z_{1eq} = Z_{2eq} = Z_1 + Z_{Xs} + Z_{T1} \quad (7)$$

$$Z_{0eq} = Z_0 + 3R_n + Z_{T0} \quad (8)$$

Dimana:

- Z_{1eq} = Impedansi ekuivalen urutan positif (ohm)
- Z_{2eq} = Impedansi ekuivalen urutan negative (ohm)
- Z_{0eq} = Impedansi ekuivalen urutan nol (ohm)
- Z_1 = Impedansi penghantar urutan positif/negative (ohm)
- Z_0 = Impedansi penghantar urutan nol (ohm)
- Z_{Xs} = Impedansi sumber sisi 20kV (ohm)
- Z_{T1} = Reaktansi trafo urutan positif/negative (ohm)
- Z_{T0} = Reaktansi trafo urutan nol (ohm)
- R_n = Tahanan netral (ohm)

Dari persamaan 7 dan 8, didapatkan impedansi ekuivalen urutan positif/negative dan urutan nol dengan jarak yang telah ditentukan yang dapat ditunjukkan pada Tabel 8 dengan menggunakan satuan per unit.

Tabel 8. Impedansi Ekuivalen urutan positif/negative dan urutan nol

| Jarak (km) | $Z_{1eq} = Z_{2eq}$ (pu) | | Z_{0eq} (pu) | |
|------------|--------------------------|----------|----------------|----------|
| | r | jx | r | jx |
| 0 | 0 | 0,618175 | 35 | 4,29 |
| 1,27 | 0,06864 | 0,723108 | 35,115284 | 4,803715 |
| 2,55 | 0,13782 | 0,828868 | 35,231476 | 5,321475 |
| 3,83 | 0,20701 | 0,934628 | 35,347668 | 5,839235 |
| 5,12 | 0,27673 | 1,041215 | 35,464768 | 6,36104 |
| 6,39 | 0,34537 | 1,146148 | 35,580052 | 6,874755 |
| 7,67 | 0,41456 | 1,251908 | 35,696244 | 7,392515 |
| 10,23 | 0,55293 | 1,463428 | 35,928628 | 8,428035 |
| 12,79 | 0,69129 | 1,674948 | 36,161012 | 9,463555 |
| 15,34 | 0,82912 | 1,885642 | 36,392488 | 10,49503 |
| 17,9 | 0,96749 | 2,097162 | 36,624872 | 11,53055 |
| 20,46 | 1,10586 | 2,308682 | 36,857256 | 12,56607 |
| 23,02 | 1,24423 | 2,520202 | 37,089640 | 13,60159 |
| 25,582 | 1,38270 | 2,731887 | 37,322206 | 14,6379 |

Perhitungan Arus Hubung Singkat

Menghitung gangguan hubung singkat 3 fasa dan 1 fasa pada penyulang Brenggolo.

$$I_{hs3\phi} = \frac{E}{Z_{1eq} + Z_f} \quad (9)$$

$$I_{hs1\phi-N} = \frac{3 \times E}{Z_{1eq} + Z_{2eq} + Z_{0eq} + 3Z_f} \quad (10)$$

Dimana:

- E = Tegangan fasa-netral (volt)
- Z_{1eq} = Impedansi ekuivalen urutan positif (ohm)
- Z_f = Impedansi gangguan (ohm)
- $I_{hs3\phi}$ = Arus gangguan 3 fasa (amp)
- $I_{hs1\phi-N}$ = Arus gangguan 1 fasa-netral (amp)

Sehingga dapat diperoleh gangguan hubung singkat 3 fasa dan 1 fase dengan perhitungan manual menggunakan *software EXCEL* dan simulasi ETAP yang dapat dilihat pada Tabel 9.

Tabel 9. Perhitungan manual dan simulasi

| Bus | Titik Gangguan (Km) | Manual | | Simulasi | |
|-----|---------------------|------------|------------|------------|------------|
| | | 3 fasa (A) | 1 fasa (A) | 3 fasa (A) | 1 fasa (A) |
| 2 | 0 | 4670,2 | 237,3 | 4672 | 236 |
| 3 | 1,27 | 3974,6 | 234,7 | 3965 | 231 |
| 4 | 2,55 | 3435,9 | 232,1 | 3686 | 230 |
| 5 | 3,83 | 3015,8 | 229,5 | 3201 | 224 |
| 6 | 5,12 | 2679,7 | 226,8 | 3198 | 224 |
| 7 | 6,39 | 2411,7 | 224,2 | 2825 | 219 |
| 8 | 7,67 | 2189,2 | 221,6 | 2526 | 214 |
| 9 | 10,23 | 1845,4 | 216,3 | 2283 | 209 |
| 10 | 12,79 | 1593,3 | 211,2 | 1913 | 199 |
| 11 | 15,34 | 1401,5 | 206,2 | 1914 | 199 |
| 12 | 17,9 | 1250,0 | 201,3 | 1645 | 190 |
| 13 | 20,46 | 1127,8 | 196,6 | 1645 | 190 |
| 14 | 23,02 | 1027,2 | 191,9 | 1442 | 181 |
| 15 | 25,582 | 942,9 | 187,4 | 1442 | 181 |

Dari Tabel 9 dapat ditunjukkan bahwa besar arus gangguan hubung singkat dipengaruhi oleh jarak titik lokasi gangguan, semakin jauh titik lokasi gangguan, semakin kecil arus gangguan, dan sebaliknya semakin dekat lokasi gangguan. titik, semakin besar arus gangguan. Hal ini dipengaruhi oleh konfigurasi belitan transformator daya yang mempengaruhi resistansi gangguan (Romaniuk, dkk, 2018).

Setting Recloser, OCR dan GFR Outgoing

Untuk mensetting peralatan proteksi perhitungan dimulai dari peralatan proteksi utama hingga akhir. Sesuai dari data PLN peralatan yang terpasang adalah *fuse cut out*, *recloser*, dan *OCR Outgoing Setting* waktu kerja ditentukan berdasarkan selisih waktu antar alat proteksi menurut IEC 60255, yaitu

0,3 – 0,5 detik. Persamaan 11 dan persamaan 12 adalah rumus untuk menghitung *setting relay recloser*, OCR, dan GFR untuk *feeder* Trafo 30 MVA GI Pare Brenggolo dengan karakteristik *standard inverse*.

$$TMS_{OCR} = \frac{\left(\frac{I_{hs3\phi}}{I_{set}}\right)^{0,02} - 1}{0,14} \times t_{op} \quad (11)$$

$$TMS_{OCR} = \frac{\left(\frac{I_{hs1\phi-tanah}}{I_{set}}\right)^{0,02} - 1}{0,14} \times t_{op} \quad (12)$$

Dimana:

TMS = Time Multiplier Setting, nilai yang disetkan ke relai (0,05-1)

t_{op} = Waktu kerja relai (s)

I_{hs3φ} = Arus hubung singkat 3 fasa (amp)

I_{hs1φ} = Arus hubung singkat 1 fasa (amp)

Setting Arus OCR dan GFR

Untuk menghitung arus pickup dapat digunakan rumus persamaan 13 dan persamaan 14.

Relai Arus Lebih

$$I_{set} = 1,05 - 1,2 \times I_{hs3\phi} \quad (13)$$

Relai gangguan tanah

$$I_{set} = 0,12 - 0,4 \times I_{hs1\phi - tanah} \quad (14)$$

Untuk mendapatkan nilai setting sekunder yang dapat diatur pada relai arus lebih (OCR) dan relai gangguan tanah (GFR), dihitung menggunakan data Current Transformer Ratio yang terpasang pada relai. (Aftab Mohd Asim, dkk, 2020). yaitu dengan menggunakan persamaan 15.

$$I_{sekunder} = I_{primer} \times \frac{1}{rasio CT} \quad (15)$$

Dimana:

I_{set} = Arus setelan setting sisi sekunder (amp)

Rasio CT = Ratio trafo arus yang tertera pada trafo (CT)

Hasil Perhitungan Setting OCR

Setting relay OCR (Outgoing) dan *recloser* dihitung menurut arus pengenal yang ditetapkan oleh PLN UP3 Kediri sebesar 60 A. *Delay* waktu peralatan proteksi dimulai dari *recloser* yang diatur dengan waktu kerja pada 0,3-0,4 detik (Aly, 2019). Kemudian *OCR outgoing* diatur sebesar 0,7 detik dan untuk *recloser* diatur dengan waktu kerja sebesar 0,3 detik. Puncak setiap perangkat pelindung disesuaikan dengan peningkatan 0,4 - 0,5detik sesuai dengan *standar IEC 60225*. Sehingga diperoleh nilai TMS masing masing OCR dan Recloser dengan menggunakan persamaan 11 dan 12 ditunjukkan pada Tabel 11.

Tabel 10. *Setting* koordinasi proteksi

| Nama | Existing | | Perhitungan | |
|----------------|----------|-----|-------------|-------|
| | OCR | GFR | OCR | GFR |
| OCR (Outgoing) | 0,15 | - | 0,44 | 0,259 |
| Recloser | 0,08 | - | 0,18 | 0,1 |

Perhitungan Pelebur (Fuse Cut Out)

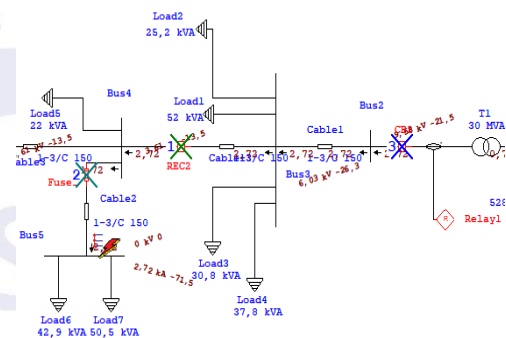
Setiap cabang jaringan ini memiliki *rating* arus kurang dari 100 A. *Rating fuse* yang digunakan pada penyulang Brenggolo dapat dilihat pada Tabel 12.

Tabel 11. *Rating fuse*

| Fuse | Rating |
|--------|--------|
| FCO 1 | 200K |
| FCO 2 | 100K |
| FCO 3 | 50K |
| FCO 4 | 30K |
| FCO 5 | 25K |
| Fuse 6 | 25K |

Hasil Simulasi Koordinasi Proteksi

Pada gambar di bawah ini merupakan koordinasi *relay* dari penyulang Brenggolo menggunakan perangkat lunak ETAP 12.6.0. Dengan menggunakan data peralatan proteksi pada penyulang Brenggolo, kemudian dilakukan simulasi untuk koordinasi *recloser*, *fuse*, *OCR* dan *GFR* dengan gangguan hubung singkat 3 fasa yang ditunjukkan pada Gambar 4 dan Gambar 5.



Gambar 4. Urutan kerja proteksi *recloser*, *fuse*, dan OCR *outgoing*

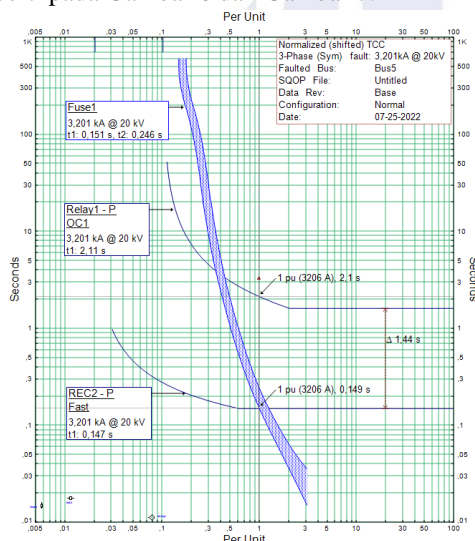
| Time (s) | ID | I (kA) | T1 (ms) | T2 (ms) | Condition |
|----------|--------|--------|---------|---------|------------------------------------|
| 147 | REC2 | 3.201 | 107 | 147 | 1st Operation - Phase - Fast - TOC |
| 246 | Fuse1 | 3.201 | 151 | 246 | |
| 647 | REC2 | | 500 | | 1st Recloser |
| 795 | REC2 | 3.201 | 107 | 147 | 2nd Operation - Phase - Fast - TOC |
| 2108 | Relay1 | 3.201 | 2108 | | Phase - OC1 - S1 |
| 2118 | CB1 | | 10.0 | | Tripped by Relay1 Phase - OC1 - S1 |

Gambar 5. *Sequence Viewer* koordinasi proteksi

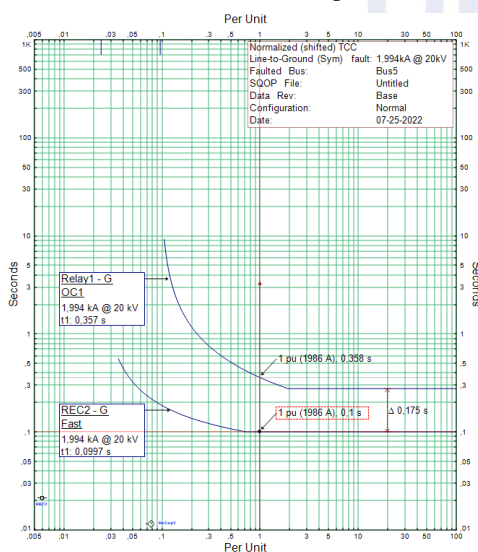
Hasil simulasi yang ditunjukkan pada Gambar 4 dan Gambar 5 dapat dilihat bahwa koordinasi *OCR* dan *recloser* telah sesuai dengan syarat peralatan proteksi yaitu *recloser* bekerja terlebih dahulu kemudian *fuse* dan setelah itu *OCR* sisi penyulang yang bekerja sebagai *backup* pengamanan apabila *recloser* dan *fuse* gagal bekerja untuk menghilangkan gangguan hubung singkat 3 fasa dan 1 fasa.

Kurva Koordinasi Proteksi

Setelah dilakukannya perhitungan arus hubung singkat maka dapat dihasilkan setting TMS dan Iset *recloser* dan *OCR outgoing*. Kemudian, dilakukan simulasi pada ETAP 12.6 untuk mengetahui koordinasi proteksi yang dipasang pada penyulang Brenggolo. Hasil urutan kerja pada simulasi ETAP 12.6 dapat dilihat melalui grafik kurva koordinasi seperti pada Gambar 6 dan Gambar 7.



Gambar 6. Kurva koordinasi proteksi OCR



Gambar 7. Kurva koordinasi proteksi GFR

Pada Gambar 6 menunjukkan kurva koordinasi antara *recloser*, *OCR outgoing*, dan *fuse* ketika terjadi gangguan hubung singkat 3 fasa sebesar 3206 ampere. Seperti yang terlihat pada kurva urutan kerja, *recloser* bekerja terlebih dahulu dengan *setting* waktu kerja minimum 0,3 detik, lalu kemudian *fuse* dengan *rating* 200K, lalu kembali ke *recloser*, kemudian *OCR outgoing* dengan *setting* waktu kerja minimum 0,7 detik sebagai pengamanan *back up*. *Recloser* diatur dengan tiga operasi buka tutup. Hal ini dimaksudkan jika gangguan yang terjadi pada bus 5 hanya bersifat sementara, sehingga *recloser* dapat menghilangkan gangguan hanya dengan operasi buka tutup. Kemudian untuk menormalkan kembali, gangguan harus dihilangkan terlebih dahulu dan kemudian *recloser* ditutup kembali secara manual. Durasi penutupan diatur selama 30 detik.

Waktu pemutusan *recloser* ketika gangguan berada di bus 5 yaitu 0,149 s kemudian apabila *recloser* gagal mendeteksi gangguan yang terjadi pada bus 5 maka *OCR* bekerja dengan waktu 2,1 s sebagai pengamanan *backup recloser*. Kemudian pada Gambar 7 menunjukkan kurva koordinasi *recloser* dan *GFR* Ketika terjadi gangguan hubung singkat 1 fasa sebesar 1986 A, waktu pemutusan *GFR recloser* yaitu 0,1 s dan *GFR OCR* 0,358 s. Hasil perhitungan peralatan proteksi pada penyulang Brenggolo memiliki selisih waktu kerja 0,4 detik yang sesuai dengan *standard IEC 60255* yang menyatakan bahwa koordinasi proteksi antar peralatan harus memiliki selisih waktu kerja sebesar 0,3-0,5 detik, dan dapat dikatakan *setting* koordinasi proteksi pada penyulang Brenggolo sudah baik dan tepat serta memenuhi syarat andal, selektif, cepat, dan efektif.

KESIMPULAN

Dari hasil analisis pada penelitian ini, didapatkan kesimpulan koordinasi OCR pada penyulang Brenggolo yaitu:

Gangguan arus hubung singkat terbesar terjadi pada bus 2 dengan arus gangguan sebesar 4670,2 A dan gangguan arus hubung singkat terkecil terjadi pada bus 15 dengan arus gangguan sebesar 942,9 A. Perhitungan arus gangguan hubung singkat ini menjadi acuan dasar untuk men-*setting* koordinasi proteksi *relay* pada penyulang Brenggolo. Pada Tabel 10 didapatkan bahwa *setting relay* sudah sesuai dengan kaidah peralatan proteksi dengan standar yang telah ditentukan. Perbedaan nilai TMS dalam perhitungan dikarenakan waktu kerja

ditentukan secara berbeda. Dalam pengaturan proteksi, hasil *setting* waktu *OCR* dan *recloser* ditentukan berdasarkan standar *IEC 60255*, dan dikoordinasikan dengan peralatan sebelumnya yaitu mulai dari *recloser* = 0,3 detik dan *OCR Outgoing* = 0,7 detik.

Pada grafik koordinasi yang ditunjukkan pada gambar 6 dan 7 didapatkan kurva koordinasi *setting recloser* dan *OCR* tidak saling bersinggungan dan mendahului. Penentuan selisih waktu kerja antar peralatan *recloser* dan *OCR outgoing* sudah sesuai *standard IEC 60255* dan *SPLN 52-3: 1983* dengan selisih waktu kerja *recloser* dan *OCR outgoing* sebesar 0,4 detik. Dan dari hasil penelitian ini dapat dikatakan bahwa pada penyulang Brenggolo koordinasi proteksi sudah memenuhi persyaratan andal, selektif, efektif, dan cepat.

SARAN

Saran yang dapat diambil dari penelitian ini yaitu perlunya adanya *resetting recloser* secara terus menerus untuk menjaga sistem proteksi selalu memenuhi persyaratan yang efektif, cepat, andal, dan selektif. Kemudian perlunya tambahan peralatan proteksi pada jarak 60-70% agar proteksi pada jaringan distribusi bekerja secara maksimal dan efektif demi menghindari pemadaman yang cukup luas.

DAFTAR PUSTAKA

- Aftab. Mohd Asim, Husain. S., Ali. Iqbal, dan Ustun. Taha Selim. 2020. *Dynamic Protection Of Power Systems With High Penetration Of Renewables: A Review Of The Traveling Wave Based Fault Location Techniques*. International Journal of Electrical Power and Energy Systems.
- Aly. M. M. 2019. *Recloser-Fuse Coordination Of Radial Distribution Systems With Different Technologies Of Distributed Generation*. International Conference on Innovative Trends in Computer Engineering (ITCE) IEEE.
- Bartlett. Jonathan. 2020. *Reactance and Impedance*. Berkeley, California. Apress.
- Charbonnier. F., Morstyn. T., dan McCulloch. M.D. 2022. *Coordination of resources at the edge of the electricity grid: Systematic review and taxonomy*. Applied Energy, Volume 318.
- Daneshvar. Mohammadreza, Behnam. M., Zare. Kazem. 2018. *Integration Of Distributed Energy Resources Under The Transactive Energy Structure In The Future Smart Distribution Networks*. Academic Press, Elsevier Inc.
- Gardu Induk 70 kV Pare. 2022. *Data single line diagram, data transformator tenaga, data hubung singkat*. Kediri.
- IEC 60255. 2009. *Overcurrent protection for phase and earth faults*. International Standard.
- Kim. Insu. 2021. *A Calculation Method For The Short-Circuit Current Contribution Of Current-Control Inverter-Based Distributed Generation Sources At Balanced Conditions*. Electric Power Systems Research 190.
- Motta. Sergio, Ihonen. Jari, dan Kiviluoma. Juha. 2022. *Financial Damages Caused by Grid Faults on Individual Customers*. Electric Power Systems Research, Volume 207.
- Romaniuk. F. A., Bulochyck. E. V., dan Shevaldin. M. A. 2018. *Determination Of The Fault Zone By The Level Of Short-Circuit Currents*. Proceedings of CIS higher education institutions and power engineering associations 61. Belarusian National Technical University.
- Saputro. Jonathan M.W., Windardi. Bambang, dan Handoko. Susatyo. 2018. *Analisis Koordinasi Proteksi Relay Ocr Dan Recloser Pada Penyulang SGN 04 Sanggrahan Menggunakan ETAP 12.6.0*. Jurnal Transient. Vol. 7, No. 2. Universitas Diponegoro Semarang.
- Tim Pembakuan Bidang Distribusi dan Tim Kerja Tiang Baja. 1983. *Pola Pengamanan Sistem, Bagian Tiga: Sistem Distribusi 6 Kv Dan 20 Kv*. SPLN 52-3: 1983. Indonesia.
- Tim PLN UP3. 2022. *Data Single Line Diagram, Data Panjang Jaringan, Data Beban, Data Setting Recloser, Data Setting Ocr Dan Gfr Outgoing*. PT PLN UP3 Kediri.
- Yoosefian. Davood dan Chabanloo. Reza Mohammadi. 2020. *Protection Of Distribution Network Considering Fault Ride Through Requirements Of Wind Parks*. Electric Power Systems Research 178, ISSN 0378-7796. Elsevier.