

STUDI PEMASANGAN KUBIKEL TIPE *CIRCUIT BREAKER OUTGOING* DI GARDU DISTRIBUSI PS16 SEBAGAI PROTEKSI *MIDDLE POINT* PENYULANG DISTRIBUSI MOCI

Nizar Rosyidi A.S dan Muhammad Rijal Cahyadi
Prodi Teknik Elektro FTI ISTN Jakarta

ABSTRAK: Pada jurnal ini akan dibahas tentang skema pemasangan sistem proteksi titik tengah penyulang distribusi pada seksi tegangan tengah 20 kV. Ini akan disimulasikan dengan menggunakan aplikasi software ETAP (Electrical Power System Analysis). Itu membuat salinan jaringan distribusi berdasarkan data situs. Koordinasi proteksi merupakan poin penting dalam pembuatan skema pemasangan sistem proteksi untuk titik tengah penyulang distribusi, karena jaringan distribusi mempunyai sistem proteksi di gardu induk.

Kata Kunci: Sistem Proteksi, Titik Tengah, Koordinasi Proteksi, dan Simulasi

ABSTRACT: In this Journal will discusses about scheme of installation of protection system for middle point of distribution feeder on middle voltage 20 kV section. It will be simulated by using software ETAP (Electrical Power System Analysis) application. It makes copy of distribution network based on site data. Protection coordination is important point for making scheme installation of protection system for middle point of distribution feeder, because distribution network has protection system in main substasion.

Keywords: Protection System, Middle Point, Protection Coordination, and Simulation

1. PENDAHULUAN

Salah satu usaha untuk meningkatkan keandalan tenaga listrik ialah memperhatikan permasalahan proteksi tenaga listrik. Proteksi yang dituntut oleh PLN adalah harus yang bersifat andal, sensitif, cepat, dan selektif, guna untuk membatasi jaringan yang sehat dengan jaringan yang megalami gangguan, sehingga gangguan tidak meluas sampai ke sumber utama yaitu Pembangkit.

Sistem Proteksi Distribusi sisi Tegangan Menengah (TM) 20 kV PLN antara lain adalah *Circuit Breaker* dan *Relay* Proteksi yang terpasang pada *Metal Clad (Incoming Transformer Gardu Induk, Outgoing/Feeder)* dan Kubikel CBOG (*Circuit Breaker Outgoing*), juga ada *Fuse*/Pelebur yang terpasang pada Kubikel TP (*Transformer Protection*) sebagai pengaman Transformator Distribusi.

Adanya gangguan pada sistem tenaga listrik dapat menimbulkan dua hal, yaitu pemadaman dan kerusakan perangkat tenaga listrik. Oleh karena itu perlu dilakukan sebuah langkah *improvement* untuk meningkatkan sistem proteksi pada penyulang distribusi dengan memperhitungkan nilai arus gangguan yang dapat terjadi agar dapat diketahui nilai pembatas pada sistem proteksinya sebagai tindakan pencegahan meluasnya kerusakan perangkat, juga perlu mempertimbangkan skema sistem proteksi yang akan digunakan agar titik jaringan padam yang memang tidak berdampak

gangguan tidak perlu ada pemadaman, sehingga keandalan jaringan tenaga listrik semakin meningkat dan minimnya keluhan pelanggan PLN akan terjadinya pemadaman.

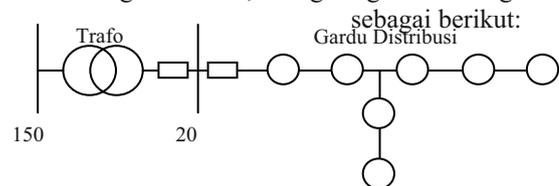
2. LANDASAN TEORI

2.1 Jaringan Distribusi Primer

Jaringan distribusi primer merupakan awal penyaluran tenaga listrik dari Gardu Induk (GI) ke konsumen untuk sistem pendistribusian langsung. Sedangkan untuk sistem pendistribusian tak langsung merupakan tahap berikutnya dari jaringan transmisi dalam upaya menyalurkan tenaga listrik ke konsumen. Jaringan distribusi primer atau jaringan distribusi tegangan menengah memiliki tegangan sistem sebesar 20 kV.

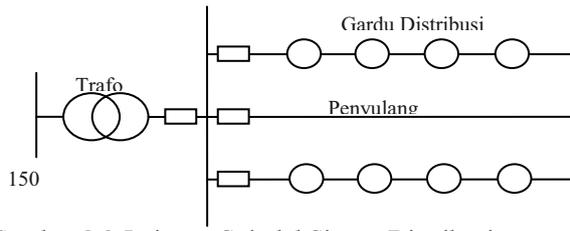
2.2 Macam-macam Jaringan Distribusi Primer

1. Jaringan Radial, dengan gambar rangkaian



Gambar 2.1 Jaringan Radial sebagai berikut: Sistem Distribusi

2. Jaringan Spindel, dengan gambar rangkaian sebagai berikut:



Gambar 2.2 Jaringan Spindel Sistem Distribusi Gardu

2.3 Kubikel Circuit Breaker Outgoing (CBOG)

Berfungsi sebagai pemutus dan penghubung arus listrik dengan cepat dalam keadaan normal maupun gangguan. Kubikel ini disebut juga istilah kubikel pmt (pemutus tenaga) kubikel ini dilengkapi dengan relay proteksi dan *circuit breaker* (PMT, CB). Kubikel ini bisa di pasang sebagai alat pembatas, pengukuran dan pengaman pada pelanggan tegangan menengah. *Current transformer* yang terpasang untuk menyuplai arus untuk menggerakkan relai proteksi pada saat terjadi gangguan

2.4 Sistem Proteksi Distribusi

Keberhasilan suatu sistem distribusi dapat diperhatikan dari kontinuitas pelayanannya. Komunitas pelayanannya baik jika adanya gangguan dapat diatasi sebaik mungkin dan tidak merusak peralatan pada sistem distribusi. Daerah gangguan dapat dilokalisir sekecil mungkin, sehingga pemutusan dapat ditekan sesedikit mungkin. Oleh karena itu diperlukan sistem pengaman untuk sistem distribusi.

Sistem pengaman yang terpasang di sistem distribusi tenaga listrik, bertujuan untuk mencegah atau membatasi kerusakan pada jaringan dan peralatannya serta untuk keselamatan umum akibat adanya gangguan hubung singkat dan gangguan petir.

2.5 Relay Proteksi

Alat yang peka terhadap perubahan pada rangkaian yang dapat mempengaruhi bekerjanya alat lain. berfungsi sebagai pembaca arus hubung singkat baik *overcurrent* maupun *ground fault*, dan sebagai pemberi perintah kepada *circuit breaker* (CB) untuk memutus tenaga.

2.6 Gangguan 3 Fasa

Dalam sistem tiga fasa dikenal dengan adanya Impedansi Urutan Positif (Z1), Urutan Negatif (Z2) dan Urutan Nol (Z0). Dalam pembahasan gangguan 3 fasa, arus gangguannya dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$I_{HS3f} = E_{1f} / Z1 \dots \dots \dots 2.1$$

Dimana:

I_{HS3f} = Arus Hubung Singkat yang mengalir pada setiap fasa sewaktu terjadi gangguan hubung singkat di suatu titik di dalam sistem (Amper).

E_{1f} = Tegangan tiap fasa terhadap netral sistem (volt).

Z1 = Impedansi ekivalen urutan positif. Dikatakan ekivalen karena mewakili seluruh impedansi didalam sistem yang terhubung seri atau paralel dari sejak sumber sampai dengan titik gangguan.

2.7 Gangguan 2 Fasa

Bila pada sistem tiga fasa, dua fasanya dibebani suatu impedansi Z pada masing-masing fasanya kemudian dihubungkan pada ujung yang lain sehingga membentuk sambungan beban dua fasa.

Misalkan impedansi Z dimaksud terhubung pada fasa A dan B. Jelas bahwa arus yang mengalir pada rangkaian tertutup adalah di fasa A mengalir arus I_A , di fasa B mengalir arus I_B dimana:

$$I_A = I_B = I \dots \dots \dots 2.2$$

Dengan sumber tegangan fasa A-B yang besarnya:

$$E_{AB} = \sqrt{3} \times E_A \dots \dots \dots 2.3$$

Kalau impedansi Z1 yang tersambung di fasa A dan Z2 yang tersambung di fasa B merupakan impedansi didalam jaringan dan diujung impedansi itu dihubungkan langsung, maka terbentuklah suatu sistem tiga fasa yang sedang mengalami gangguan hubung singkat dua fasa. Dengan berpedoman seperti uraian diatas, maka arus gangguan dua fasa dapat dihitung dengan menggunakan rumus tersebut yaitu:

$$I_{HS2f} = (\sqrt{3} \times E_A) / (Z1 + Z2) \dots \dots \dots 2.4$$

2.8 Gangguan 1 Fasa Ke Tanah

Seperti diketahui, di fasa yang tidak dibebani (missal B dan C) pada kenyataannya tidak ada arus yang keluar daripadanya karena tidak dibebani. Oleh sebab itu ada arus lain yang mengkompensasi arus urutan negatif itu di fasa B dan C sehingga jumlahnya sama dengan nol. Akibatnya di fasa tersebut arus yang mengalir seolah melalui hambatan Impedansi lain yang biasa disebut dengan Impedansi urutan nol, yang hubungannya terseri juga. Arus-arus ini pada fasa B dan fasa C akan membentuk vektor sama sisi, yang saling menghilangkan, sehingga arus urutan positif, negatif dan Nol hanya mengalir pada fasa A yaitu: $I_1, I_2,$ dan I_0 . Arus di fasa yang dibebani (fasa A), semua arus itu searah, sehingga arus yang mengalir pada impedansi adalah $I_A = I_1 + I_2 + I_0$. Karena $I_A = I_0 = I_1 = I_2$, maka $I_A = 3 \times I_0$ dan masing-masing urutan itu dapat dihitung dengan dengan rumus:

$$I_0 = I_1 = I_2 = E_A / (Z1 + Z2 + Z0) \dots \dots \dots 2.5$$

$$I_{HS1f} = I_1 + I_2 + I_0$$

$$= 3E_A / (Z_1 + Z_2 + Z_0) \dots \dots \dots 2.6$$

2.9 Reaktansi Transformator Tenaga Urutan Positif (X_{T1})

Reaktansi urutan positif tercantum pada papan nama (*nameplate*) transformator, besarnya tergantung dari kapasitas transformator tenaga, dimana:

$$X_{T1} = \%X \times (E_S^2 / S) \dots \dots \dots 2.7$$

2.10 Reaktansi Transformator Tenaga Urutan Nol (X_{T0})

Untuk Transformator tenaga dengan hubungan belitan ΔY, maka:

$$X_{T0} = X_{T1} \dots \dots \dots 2.8$$

Untuk Transformator tenaga dengan hubungan belitan YyΔ, maka:

$$X_{T0} = 3 \times X_{T1} \dots \dots \dots 2.9$$

Untuk Transformator tenaga dengan hubungan belitan YY, maka:

$$X_{T0} = (9 \text{ s/d } 14) \times X_{T1} \dots \dots \dots 2.10$$

2.11 Impedansi Jaringan Distribusi

Reaktansi Sumber, $X_S = E^2 / S_{HS}$.
E = Tegangan sumber 20 kV

$$S_{HS} = \text{Daya hubung singkat sumber (MVA)}$$

Impedansi equivalen urutan positif, $Z1_{eq} = X_S + X_{T1} + Z1$

$$Z1 = \text{Impedansi pada penyulang (tergantung dari panjang, luas penampang, dan tahanan jenisnya)}$$

Impedansi equivalen urutan nol, $Z0_{eq} = X_{T0} + 3R_{NGR} + Z0$

$$Z0 = \text{Impedansi urutan nol pada penyulang (tergantung dari panjang, penampang, dan tahanan jenisnya)}$$

2.12 Arus Hubung Singkat

Arus Hubung Singkat 3 Fasa
 $I_{HS3f} = E_{1f} / Z1_{eq}$

$$2.14$$

Arus Hubung Singkat 2 Fasa
 $I_{HS2f} = E_{3f} / (Z1_{eq} + Z2_{eq})$

$$2.15$$

Arus Hubung Singkat 1 fasa ke tanah
 $I_{HS1f} = 3E_{1f} / (Z1_{eq} + Z2_{eq} + Z0)$...

$$2.16$$

2.13 Penyetelan Over Current Relay (OCR)

Setelan arus dari Relay Arus Lebih dihitung berdasarkan arus beban, yang mengalir di penyulang atau incoming feeder, artinya:

Untuk Relay arus lebih yang terpasang di Penyulang keluar (*outgoing feeder*), dihitung berdasarkan arus beban maksimum (beban puncak) yang mengalir di penyulang tersebut.

Untuk Relay arus lebih yang terpasang di penyulang masuk (*Incoming feeder*), dihitung berdasarkan arus nominal Transformator tenaga.

Sesuai British standard untuk:

Relay Inverse biasa diset sebesar:

$$I_{Inv} = (1,05 \text{ s/d } 1,3) \times I \text{ Beban} \dots \dots \dots 2.17$$

Relay Definite diset sebesar:

$$I_{Def} = (1,2 \text{ s/d } 1,3) \times I \text{ Beban} \dots \dots \dots 2.18$$

2.14 Penyetelan Ground Fault Relay (GFR)

Dapat di setel mulai 6% s/d 12% x arus gangguan hubung singkat 1 fase terjauh/terkecil atau

$$I_{GFR} = (6\% \text{ s/d } 12\%) \times (I_{Fif} \text{ terkecil}) \dots \dots \dots 2.19$$

Nilai ini untuk mengantisipasi jika penghantar tersentuh benda lain yang bersifat resistif yang dapat memperkecil besarnya arus gangguan hubung singkat 1 fase ketanah.

2.15 Setelan Time Multiple Setting (TMS)

Setelan time multiple setting (Tms) dan setelan waktu Relai pada jaringan distribusi mempergunakan standard Invers, yang dihitung mempergunakan rumus kurva waktu dengan arus, dalam hal ini juga diambil persamaan kurva arus waktu dari Standard British, sebagai berikut:

$$t = Tms \times \beta / [(I_f / I_{set})^\alpha - 1] 2.20$$

$$Tms = t \times [(I_f / I_{set})^\alpha - 1] / \beta 2.21$$

Dimana:

t = Waktu trip (detik).

Tms = *Time multiple setting* (tanpa satuan)

I_f = Besarnya arus gangguan hubung singkat (A)

I_{SET} = Besarnya arus setting sisi primer (A)

Tabel 2.1 Faktor α dan β tergantung pada kurva arus terhadap waktu

| Nama Kurva | α | β |
|------------------|------|------|
| Standard Inverse | 0,02 | 0,14 |
| Very Inverse | 1 | 13,2 |
| Extremly Invers | 2 | 80 |
| Long Inverse | 1 | 120 |

Pada tabel 2.1 menunjukkan hubungan antara α dengan β yang berupa nilai konstanta tergantung dengan karakteristik kurva *inverse*-nya.

3. ATA JARINGAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilakukan di PT PLN (Persero) UP3 Cempaka Putih yang terletak di Jalan Jend. A. Yani Kav. 60 by pass, Cempaka Putih, Jakarta Pusat. Dengan rentang waktu penelitian dimulai dari bulan Juli 2019 hingga Agustus 2019.

3.2 Kebutuhan Data

Data yang diperlukan dalam merencanakan sistem proteksi pada middle point penyulang distribusi di PT PLN (Persero) UP3 Cempaka Putih adalah:

1. Diagram satu garis penyulang distribusi
2. Spesifikasi transformator GI
 - Kapasitas Transformator
 - Impedansi Transformator dan NGR
 - Arus hubung singkat (I_{HS})
 - Setelan Relay
3. Data jaringan
 - Jenis kabel
 - Panjang kabel per segmen
 - Impedansi jaringan
 - Arus Beban
 - Data gangguan penyulang

3.3 Aset Jaringan Distribusi Primer PLN UP3 Cempaka Putih

Jaringan distribusi primer pada wilayah operasi PLN UP3 Cempaka Putih disuplai tenaga listrik rating tegangan menengah 20 kV dari sembilan gardu induk berupa jaringan Spindel yang berujung pada gardu hubung. Adapun aset distribusi primer PLN UP3 Cempaka Putih antara lain:

- 154 Penyulang Distribusi, berupa SKTM diantaranya 50 penyulang ekspres dan 104 penyulang berbeban
- 775 Gardu Distribusi, dengan tipe beton, portal, dan kios
- 12 Gardu Hubung, dengan tipe beton
- 2335 Kubikel, dengan tipe LBS, TP, dan CBOG
- 974 Transformator Distribusi, dengan rating daya 400, 630, dan 1000 Kva

Tabel 3.1 Gangguan Penyulang Tahun 2019 (Sampai Dengan Tanggal 27 Juli)

| GARDU INDUK | PENYULANG | LAMA PADAM | TITIK GANGGUAN | TGL |
|-------------|-----------|------------|----------------|-----------|
| PULOMAS | KASWARI | 0.58 jam | K148 | 1-Jan-19 |
| PULOGADUNG | AMBON | 0.24 jam | PG353-PG225 | 3-Feb-19 |
| MANGGARAI | RESEP | 0.40 jam | K13 | 13-Feb-19 |
| PULOMAS | PAM 1 | 0.40 jam | KM14-GI | 16-Feb-19 |
| PULOMAS | DURNA | 0.27 jam | RM71P-RM66P | 23-Feb-19 |
| KEMAYORAN | TENAR | 0.41 jam | S121-S21G | 27-Feb-19 |
| GAMBIR BARU | DONGKER | 0.36 jam | TP74 | 4-Mar-19 |

| | | | | |
|--------------|----------------|----------|--------------|-----------|
| PULOGADUNG | MERAUKE | 0.31 jam | PG364-PG191 | 9-Mar-19 |
| PULOMAS | NANDI | 0.15 jam | KCP5-K376 | 20-Mar-19 |
| TANAH TINGGI | MOCI | 0.46 jam | PS35-GH18 | 27-Mar-19 |
| PULOGADUNG | SEKOP | 0.25 jam | GI-PG394 | 30-Mar-19 |
| PULOGADUNG | ORGEN | 0.28 jam | PG104-PG85 | 7-Apr-19 |
| PULOGADUNG | GITAR | 0.41 jam | GH17-GI | 22-Apr-19 |
| PULOGADUNG | SEKOP | 4.15 jam | PG347-PG108 | 22-Apr-19 |
| PULO GADUNG | AMBON | 0.46 jam | PG266-GI | 2-May-19 |
| GAMBIR BARU | BIRU | 0.11 jam | K36A - K47A | 14-May-19 |
| PULO GADUNG | BOGOR | 0.34 jam | PG59 - PG205 | 21-May-19 |
| PULOMAS | RAMAYANA | 0.25 jam | RM49-RM53P | 13-Jun-19 |
| PULO GADUNG | AMBON | 0.26 jam | PG266 - GI | 25-Jun-19 |
| PULO GADUNG | BASS | 0.56 jam | PG400 - GI | 25-Jun-19 |
| PULO GADUNG | BIOLA | 0.15 jam | PG6A - PG165 | 25-Jun-19 |
| PULOMAS | SUBALI | 0.12 jam | PG1N - GH6 | 27-Jun-19 |
| PULO GADUNG | JATIM | 0.11 jam | PG320 - PG79 | 3-Jul-19 |
| GAMBIR BARU | DUTA PERTIWI 2 | 0.28 jam | TP88 - TP77 | 8-Jul-19 |
| TANAH TINGGI | CAKWE | 0.15 jam | PS26 - PS46 | 14-Jul-19 |
| TANAH TINGGI | MOCI | 0.34 jam | PS16 - PS27 | 15-Jul-19 |
| PULOGADUNG | PADANG | 0.10 jam | PG34N - PG84 | 16-Jul-19 |
| GAMBIR BARU | PHOSFOR | 0.38 jam | PS12A - PS72 | 21-Jul-19 |
| PULOMAS | DURNA | 0.27 jam | RM51 - GH6 | 23-Jul-19 |
| PEGANGSAAN | UBIN | 0.24 jam | PS159 - PS24 | 27-Jun-19 |

Dari Tabel 3.1 ditemukan bahwa ada beberapa titik gangguan penyulang berada pada segmen bawah (antara gardu distribusi tengah sampai gardu hubung), salah satunya adalah gangguan Penyulang Moci tanggal 27 Maret 2019.

3.4 Gardu Induk Tanah Tinggi

Tabel 3.2 Data Jaringan GI Tanah Tinggi

| Data Jaringan | Keterangan |
|---------------------------------|------------|
| Daya Transformator | 60 MVA |
| Tegangan Primer | 150 kV |
| Tegangan Sekunder | 20 kV |
| Belitan Transformator | YY |
| Arus Hubung Singkat Sisi 150 kV | 39,419 kA |
| Impedansi Transformator | 12,5 % |
| Impedansi NGR | 12 Ω |

Pada tabel diatas adalah berupa data jaringan pada gardu induk tanah tinggi yang dibutuhkan untuk perhitungan arus hubung singkat sisi tegangan menengah 20 kV.

3.5 Penyulang Moci

Tabel 3.3 Data Jaringan Penyulang Moci

| Data Kabel | Keterangan |
|--------------------------|-----------------------|
| Bahan Penghantar | Aluminium |
| Luas Penampang | 240 mm ² |
| Impedansi Urutan Positif | (0,125 + j0,097) Ω/km |
| Impedansi Urutan Nol | (0,275 + j0,290) Ω/km |
| Segmen GI – PS59 | 2,851 km |
| Segmen PS59 – PS53 | 0,055 km |
| Segmen PS53 – PS27 | 0,169 km |
| Segmen PS27 – PS16 | 0,597 km |
| Segmen PS16 – PS45 | 0,388 km |
| Segmen PS45 – PS38 | 0,396 km |
| Segmen PS38 – PS35 | 0,833 km |
| Segmen PS35 – GH18 | 0,790 km |

Jaringan penyulang moci berupa Saluran Kabel Tegangan Menengah (SKTM) tipe isolasi XLPE (NA2XSEYBY) dengan data jaringannya sesuai tabel 3.3.

Tabel 3.4 Beban Sisi Tegangan Menengah Gardu Distribusi Pada Penyulang Moci bulan Maret 2019

| Gardu | Daya | Beban Amper | Beban Amper Max | Keterangan |
|-------|------|-------------|-----------------|---------------|
| PS59 | 400 | 1,272 | 9,248 | Beban Max 80% |
| PS53 | 400 | 0,087 | 9,248 | Beban Max 80% |
| PS27 | 2285 | 66,04 | 66,04 | Pelanggan TM |
| PS16 | 1210 | 34,971 | 34,971 | Pelanggan TM |
| PS45 | 1000 | 6,185 | 23,121 | Beban Max 80% |
| PS38 | 630 | 6,243 | 14,566 | Beban Max 80% |
| PS35 | 1000 | 17,312 | 23,121 | Beban Max 80% |

3.6 Setelan Relay Proteksi Gardu Induk Tanah Tinggi

Relay Proteksi pada Gardu Induk Tanah Tinggi sisi 20 kV terletak pada *Metal Clad Incoming Transformer* dan *Metal Clad Outgoing Feeder*. Setelan proteksi berupa Over Current Relay dan Ground Fault Relay dengan data dibawah ini:

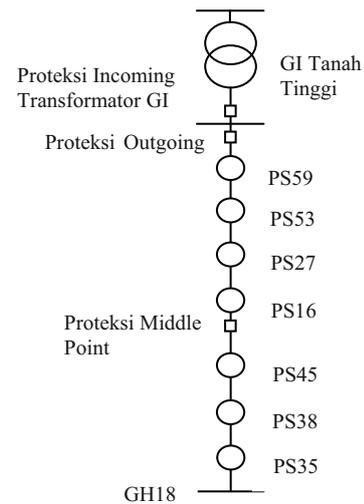
Tabel 3.5 Setelan Relay Proteksi GI Tanah Tinggi

| Setting | Incoming Transformer GI | Outgoing P. Moci |
|----------|-------------------------|------------------|
| Arus OC | 2.000 A | 320 A |
| TMS OC | 0,25 | 0,15 |
| Arus MOC | 7.000 A | 4.400 A |
| t MOC | 0,5 s | 0,3 s |
| Arus GF | 340 A | 120 A |
| TMS GF | 0,15 | 0,12 |
| Arus MGF | - | 880 A |
| t MGF | - | 0,4 s |

3.7 Skema Pemasangan Proteksi Kubikel CBOG

Perancangan pemasangan sistem proteksi middle point penyulang moci dipasang pada gardu distribusi PS16. Proteksi yang digunakan berupa Kubikel tipe *Circuit Breaker Outgoing*, yang terdiri dari Relay, *Current Transformer* (CT), dan *Circuit Breaker* (CB). Langkah-langkah pelaksanaannya adalah:

- a) Penentuan gardu distribusi PS16 sebagai titik tengah penyulang moci
- b) Penentuan setelan arus hubung singkat baik over current maupun ground fault dengan batas arus gangguan terkecil pada jaringan antara Gardu Distribusi PS16 sampai Gardu Hubung GH18
- c) Penentuan setelan waktu yang berkoordinasi dengan setelan waktu relay proteksi pada Gardu Induk Tanah Tinggi
- d) Penggantian Kubikel *Outgoing* Gardu Distribusi PS16 (arah Gardu Distribusi PS45) yang sebelumnya tipe LBS menjadi tipe CBOG dengan Relay Proteksi yang mampu difungsikan sebagai *Over Current Relay* dan *Ground Fault Relay*



Gambar 3.1 SLD Penyulang Moci dengan proteksi *middle point*

Gambar 3.1 merupakan diagram satu garis penyulang moci setelah dipasang proteksi pada middle point berupa kubikel CBOG yang terdiri dari *circuit breaker* dan relay proteksi arah Gardu Distribusi PS45.

4. PERHITUNGAN DAN ANALISA

4.1 Perhitungan Arus Hubung Singkat *Middle Point* Penyulang Moci

Perhitungan arus hubung singkat yang akan dihitung meliputi gangguan 3 fasa, 2 fasa, dan 1 fasa ke tanah pada segmen bawah penyulang moci yaitu antara

Gardu Distribusi PS16 sampai dengan Gardu Hubung GH18

4.1.1 Impedansi Sisi 20 kV pada Gardu Induk Tanah Tinggi

- Daya hubung singkat sumber

$$S_{HS} = \sqrt{3} \times E_p \times I_{HS}$$

$$= \sqrt{3} \times 150 \times 39,419$$

$$= 10.241,357 \text{ MVA}$$

$$E_p : \text{Tegangan primer (lihat tabel 3.2)}$$

$$I_{HS} : \text{Arus hubung singkat sisi 150 kV (lihat tabel 3.2)}$$
- Reaktansi sumber sisi 20 kV

$$X_S = E_S^2 / S_{HS}$$

$$= 20^2 / 10.241,357$$

$$= 0,039 \Omega$$

$$E_S : \text{Tegangan sekunder (lihat tabel 3.2)}$$
- Reaktansi transformator urutan positif

$$X_{T1} = \%X_T \times X_{T100\%}$$

$$= \%X_T \times (E_S^2 / S)$$

$$= 12,5\% \times (20^2 / 60)$$

$$= 0,833 \Omega$$

Besaran %XT adalah impedansi transformator sesuai nameplate dapat dilihat pada tabel 3.2

$$S : \text{Daya transformator (lihat tabel 3.2)}$$
- Reaktansi transformator urutan negatif

$$X_{T0} = 10 \times X_{T1}$$

$$= 10 \times 0,833$$

$$= 8,33 \Omega$$

Rumus X_{T0} berdasarkan belitan transformator (lihat tabel 3.2)

4.1.2 Impedansi Jaringan Penyulang Moci

Sesuai dengan tabel 3.3, impedansi penghantar per segmen antara PS16 sampai dengan GH18 dengan satuan Ω/km dapat ditentukan pada tabel dibawah ini: Tabel 4.1 Impedansi Urutan Positif dan Nol Segmen Bawah Penyulang Moci

| Titik Gangguan | L (km) | R1 (Ω) | X1 (Ω) | R0 (Ω) | X0 (Ω) |
|----------------|--------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| PS16 | 3,672 | 0,459 | 0,356 | 1,010 | 1,065 |
| PS45 | 4,060 | 0,508 | 0,394 | 1,117 | 1,177 |
| PS38 | 4,456 | 0,557 | 0,432 | 1,225 | 1,292 |
| PS35 | 5,289 | 0,661 | 0,513 | 1,454 | 1,534 |
| GH18 | 6,079 | 0,760 | 0,590 | 1,672 | 1,763 |

Setelah diketahui impedansi penyulang moci per titik gangguannya, maka dapat ditentukan Z1 ekivalen dan Z0 ekivalen dengan hasil pada tabel dibawah ini:

Tabel 4.2 Z1 Ekivalen dan Z2 Ekivalen Segmen Bawah Penyulang Moci

| Titik Gangguan | Z1EQ (Ω) | Z0EQ (Ω) |
|----------------|-------------------|-------------------|
| PS16 | 1,311 | 38,184 |
| PS45 | 1,364 | 38,316 |
| PS38 | 1,418 | 38,45 |
| PS35 | 1,535 | 38,732 |
| GH18 | 1,647 | 39,001 |

Setelah diketahui Z1 ekivalen dan Z0 ekivalen, maka

dapat dihitung arus hubung singkat 3 fasa, 2 fasa, dan 1 fasa ke tanah dengan hasil pada tabel dibawah ini:

Tabel 4.3 Arus Hubung Singkat Segmen Bawah Penyulang Moci

| Titik Gangguan | I _{HS} 3F (kA) | I _{HS} 2F (kA) | I _{HS} F-N (kA) |
|----------------|-------------------------|-------------------------|--------------------------|
| PS16 | 8,807 | 7,627 | 0,849 |
| PS45 | 8,467 | 7,333 | 0,844 |
| PS38 | 8,142 | 7,051 | 0,839 |
| PS35 | 7,524 | 6,516 | 0,829 |
| GH18 | 7,009 | 6,07 | 0,819 |

4.2 Setelan Relay Proteksi Middle Point Penyulang Moci

Setelan relay proteksi *middle point* Penyulang Moci baik OCR maupun GFR harus lebih kecil setelan arus dan waktunya dari setelan relay proteksi Gardu Induk Tanah Tinggi. Hal ini dilakukan agar relay proteksi *middle point* Penyulang Moci dapat bekerja lebih cepat dan tidak boleh sampai lolos ke proteksi Gardu Induk Tanah Tinggi.

4.2.1 Setelan OCR

Beban yang ditampung pada titik middle point penyulang moci ialah beban dari Gardu Distribusi PS45, PS38, dan PS35. Rumus untuk setelan OCR dengan karakteristik relay *inverse*. Setelan TMS berdasarkan pada selisih dari setelan TMS *Incoming Transformer* dan *Outgoing* Penyulang Moci.

$$OC = 1,3 \times I \text{ Beban Max}$$

$$= 1,3 \times (23,121 + 14,566 + 23,121)$$

$$= 79,05 \text{ A}$$

$$TMS = 0,15 - (0,25 - 0,15) = 0,05$$

$$t = Tms \times \beta / [(I_f / I_{set})^\alpha - 1]$$

$$= 0,05 \times 0,14 / [(8.807/79,05)^{0,02} - 1]$$

$$= 0,071 \text{ s}$$

Karena nilai arus hubung singkat 3 fasa terkecil pada middle point Penyulang Moci masih lebih besar dari setelan Moment Over Current Penyulang Moci di Gardu Induk Tanah Tinggi, maka setelan momentnya adalah:

$$\%L_{MP} = 100\% \times (0,388 + 0,396 + 0,833 + 0,79) / 6,079$$

$$= 39\%$$

L_{MP} : Total panjang penyulang dari middle point (PS16) sampai Gardu Hubung GH18

$$\text{Moment} = \%LMP \times I_{SET} \text{ MOC Outgoing P. Moci}$$

$$= 39\% \times 4.400$$

$$= 1742,4 \text{ A}$$

Setelan waktu *moment over current* berdasarkan pada selisih waktu dari setelan *moment over current Incoming Transformer* dan *Outgoing* Penyulang Moci.

$$t_M = 0,3 - (0,5 - 0,3) = 0,1 \text{ s}$$

4.2.2 Setelan GFR

Rumus untuk setelan GFR dengan karakteristik relay *inverse*. Setelan TMS berdasarkan pada selisih waktu dari setelan TMS *Incoming Transformer* dan *Outgoing* Penyulang Moci.

$$GF = 12\% \times I_{Fif} \text{ terkecil} \\ = 12\% \times 819 \\ = 98,28 \text{ A}$$

$$TMS = 0,12 - (0,15 - 0,12) = 0,09$$

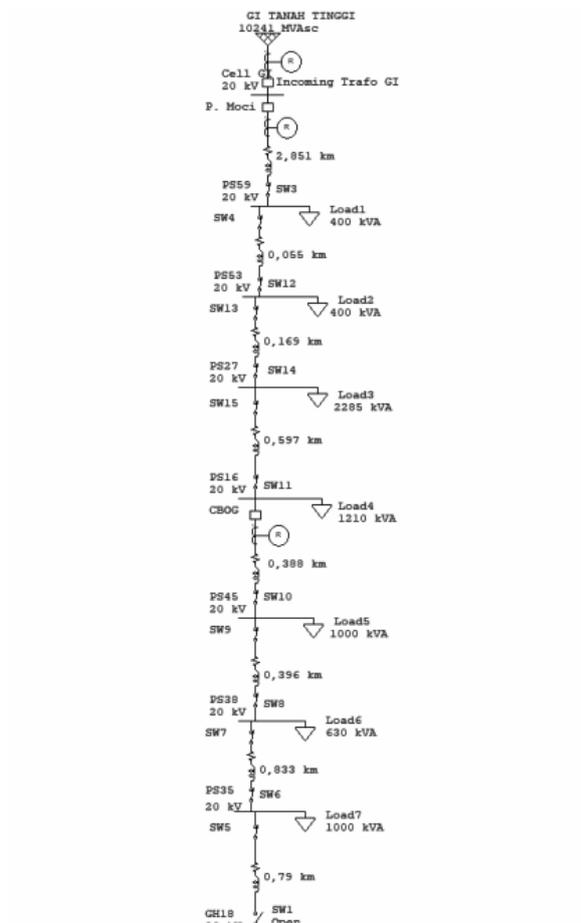
$$t = Tms \times \beta / [(I_f / I_{set})^\alpha - 1] \\ = 0,09 \times 0,14 / [(849/98,28)^{0,02} - 1] \\ = 0,286 \text{ s}$$

$$\text{Moment} = I_{HS} \text{ 1 fasa ke tanah terkecil} \\ = 819 \text{ A}$$

Setelan waktu *moment ground fault* berdasarkan pada selisih waktu dari setelan *moment over current Incoming Transformer* dan *Outgoing* Penyulang Moci, dikarenakan setelan *moment ground fault Incoming Transformer* tidak disetel.

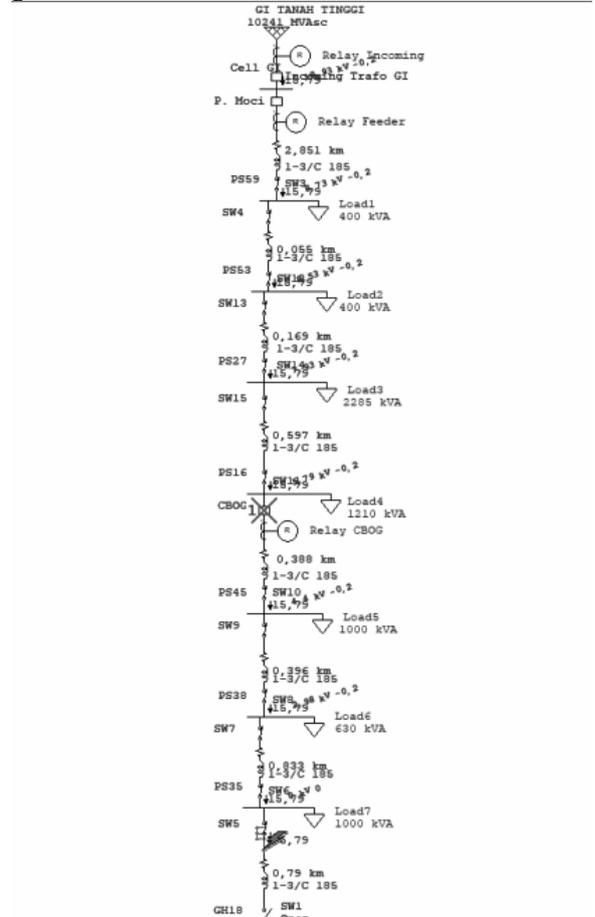
$$t_M = 0,4 - (0,5 - 0,3) = 0,2 \text{ s}$$

4.3 Simulasi Jaringan



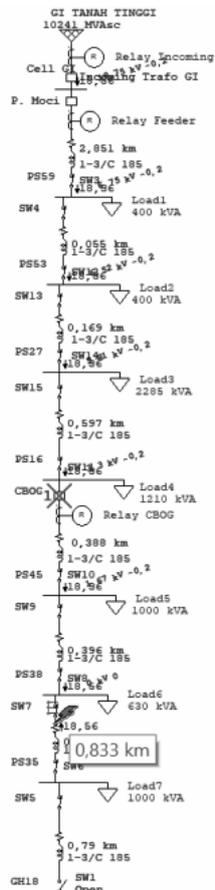
Gambar 4.1 Singel Line Diagram Penyulang Moci Setelah Pemasangan Proteksi *Middle Point* pada Software ETAP 12.6.0

Proteksi *middle point* Penyulang Moci dipasang pada Gardu Distribusi PS16 dengan menggunakan Kubikel CBOG yang terdiri dari relay dan *circuit breaker* sebagai alat proteksinya, dipasang pada outgoing arah gardu distribusi PS45.



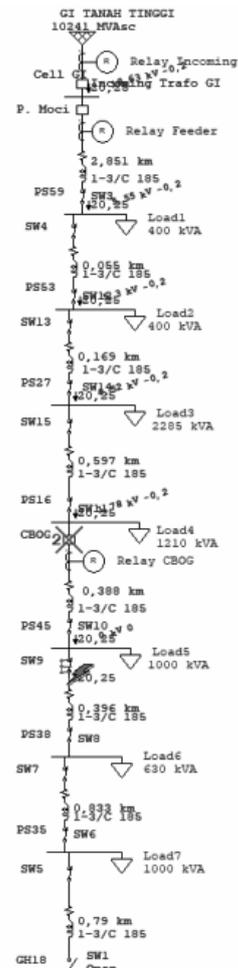
Gambar 4.2 Simulasi Gangguan Penyulang Segmen PS35 – GH18 Setelah Dipasang Proteksi *Middle Point* Penyulang Moci

Saat dilakukan simulasi gangguan pada segmen PS35 – GH18, proteksi yang bekerja ialah Kubikel CBOG di Gardu Distribusi PS16.



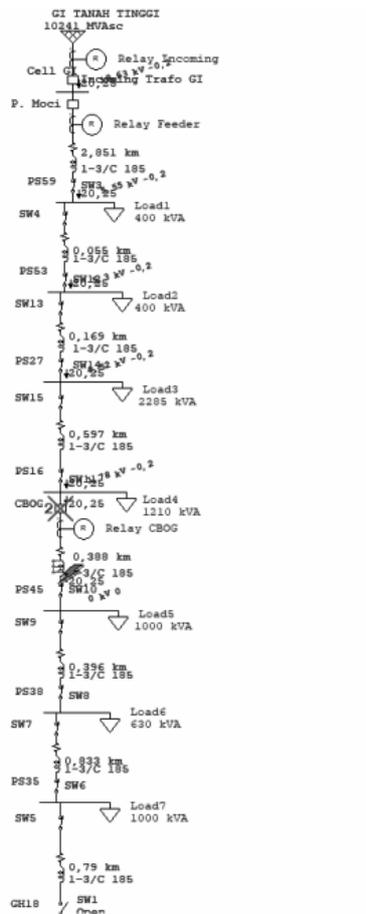
Gambar 4.3 Simulasi Gangguan Penyulang Segmen PS38 – PS35 Setelah Dipasang Proteksi Middle Point Penyulang Moci

Saat dilakukan simulasi gangguan pada segmen PS38 – PS35, proteksi yang bekerja ialah Kubikel CBOG di Gardu Distribusi PS16.



Gambar 4.4 Simulasi Gangguan Penyulang Segmen PS45 – PS38 Setelah Dipasang Proteksi Middle Point Penyulang Moci

Saat dilakukan simulasi gangguan pada segmen PS45 – PS38, proteksi yang bekerja ialah Kubikel CBOG di Gardu Distribusi PS16.



Gambar 4.5 Simulasi Gangguan Penyulang Segmen PS16 – PS45 Setelah Dipasang Proteksi Middle Point Penyulang Moci

Saat dilakukan simulasi gangguan pada segmen PS16 – PS45, proteksi yang bekerja ialah Kubikel CBOG di Gardu Distribusi PS16.

5. SIMPULAN

Hasil simulasi dan analisa yang dilakukan, maka dapat disimpulkan bahwa:

1. Sistem Proteksi berupa Kubikel CBOG yang dipasang pada *middle point* penyulang moci yaitu pada Gardu Distribusi PS16, dapat bekerja untuk mengamankan segmen bawah penyulang moci (antara Gardu PS16 sampai GH18)
2. Mengacu pada *event* gangguan penyulang moci tanggal 27 Maret 2019 (lihat tabel 3.1), 8 gardu distribusi (seluruhnya) yang disuplai oleh Penyulang Moci mengalami pemadaman, maka dengan perancangan pemasangan sistem proteksi *middle point* penyulang moci dapat memperkecil jumlah gardu yang padam

sebanyak 3 gardu distribusi dengan rincian tabel dibawah ini:

Tabel 5.1 Rincian Beban Amper dan Kva Gardu Distribusi Pada Segmen Bawah Penyulang Moci

| Gardu | Daya | Beban Amper | Beban kVA | kVA Padam |
|-----------------|------|-------------|-----------|-----------|
| PS59 | 400 | 1,272 | 44,011 | - |
| PS53 | 400 | 0,087 | 3,01 | - |
| PS27 | 2285 | 66,04 | 2.284,984 | - |
| PS16 | 1210 | 34,971 | 1.209,997 | - |
| PS45 | 1000 | 6,185 | 214,001 | 214,001 |
| PS38 | 630 | 6,243 | 216,008 | 216,008 |
| PS35 | 1000 | 17,312 | 598,995 | 598,995 |
| Total Beban kVA | | | 4.571,006 | 1.029,004 |

Tabel 5.1 adalah beban gardu distribusi pada bulan Maret 2019 (lihat tabel 3.4), dengan memperhitungkan kVA padam pada beban 3 fasa sisi tegangan menengah di masing-masing gardu distribusi dengan rumus

$$S = \sqrt{3} \times V \times I$$

3. Prosentase penurunan kVA padam sebesar:

$$[(4.571,006 - 1.029,004) / 4.571,006] \times 100\% = 77,488 \%$$

DAFTAR PUSTAKA

1. Dasman., & Handayani, Huria. (2017). *Evaluasi Keandalan Sistem Distribusi 20 kV Menggunakan Metode SAIDI dan SAIFI Di PT PLN (Persero) Rayon Lubuk Alung Tahun 2015*, Jurnal Teknik Elektro ITP
2. Erliwati., & Syafii, M. Nurdin. *Koordinasi Sistem Proteksi Arus Lebih pada Penyulang Distribusi 20 kV GI Pauh Limo*. Jurnal Nasional Teknik Elektro
3. Kadarisman, Pribadi., & Sarimun, Wahyudi. (2009). *Proteksi Sistem Distribusi Tegangan Menengah*, Jakarta: PT PLN (Persero)
4. Multa, Lesnanto., & Aridani, Restu Prima. (2013). *Modul Pelatihan ETAP*, Yogyakarta: Universitas Gadjah Mada
5. Pandjaitan, Bonar. (2012). *Praktik-praktik Proteksi Sistem Tenaga Listrik*, Yogyakarta:
6. *Pengenalan Kubikel*, (2006). Jakarta: PT

PLN (Persero) Jasa Pendidikan dan Pelatihan

7. Sarimun, Wahyudi. (2014). *Buku Saku Pelayanan Teknik*, Depok: Garamond
8. Sarimun, Wahyudi. (2016). *Proteksi Sistem Distribusi Tenaga Listrik*, Depok: Garamond
9. Sujito. (2005). *Koordinasi Proteksi Arus Lebih Pada Jaringan Distribusi Menggunakan Software EDSA 2005*, Jurnal Teknik Elektro UM