

STUDI PENENTUAN KAPASITAS PEMUTUS TENAGA SISI 20 KV PADA GARDU INDUK SEKAYU

Hendra^{1*}, Edy Lazuardi¹, M. Suparlan¹

¹ Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya, *Email : hendraelektro89@gmail.com

Abstrak-Dalam sistem tenaga listrik khususnya jaringan 20 kV, merupakan jaringan yang menyalurkan listrik dari Gardu Induk ke konsumen. Namun, dalam operasinya kerjanya, sering terjadi gangguan terutama gangguan hubung singkat. Salah satu alat proteksi jaringan listrik adalah Pemutus Tenaga (CB). Dalam keadaan gangguan, pemutus tenaga harus mampu melokalisasi titik gangguan sehingga tidak merusak peralatan listrik yang lain. Dalam hal ini penentuan kapasitas pemutus tenaga, arus gangguan yang dihitung adalah gangguan hubung singkat tiga fasa, hal ini dilakukan karena arus gangguan tersebut merupakan yang terbesar. Salah satu faktor yang menyebabkan besar arus gangguan hubung singkat adalah jarak titik gangguan dari sumber, sehingga titik gangguan disimulasikan sejauh 0%, 5%, 25%, 50%, 75%, dan 100%. Setelah dilakukan perhitungan, nilai arus pemutusan PMT untuk setiap penyulang 20 kV adalah 12,5 kA, untuk arus pemutusan PMT Busbar 20 kV adalah 25 kA dan Transformator sisi 150 kV adalah 40 kA.

Kata Kunci: PMT, Gangguan Hubung Singkat Tiga Fasa, Rating PMT.

Abstract-In the electric power system, network of 20kV is a network that transmits electricity from the substation to the consumer. However, in its operations, there are problems occur especially short circuit. One of the tool is the electrical network protection is a Circuit breaker (CB). In a state of disturbance, the circuit breaker must be able to localize the point of disturbances as not to damage the electrical equipment. In this case the determination of the capacity of the circuit breaker, the fault current is calculated is a three-phase short circuit, this is done because the fault current is the largest. One of the major factors that cause a short circuit fault current disturbance point is the distance from the source, so the point showed disturbance 0%, 5%, 25%, 50%, 75% ,and 100%. After calculation, the current value of the termination of the CB for each feeder 20 kV is 12,5 kA, for the termination of the current CB Busbar 20kV is 25 kA and 150 kV side of the transformer is 40 kA.

Keyword : CB, Short-circuit disturbance ThreePhasa, Rating CB.

I. PENDAHULUAN

Dalam penyaluran tenaga listrik dari pusat pembangkit ke beban, harus berlangsung secara *continue*. Tetapi, terkadang sistem tenaga listrik dapat mengalami gangguan yang dapat mempengaruhi penyaluran tenaga listrik ke beban. Untuk itu diperlukan peralatan pengaman yang dapat memproteksi jaringan dan peralatan tenaga listrik terutama di Gardu Induk. Setiap sistem proteksi minimum terdiri dari transformator instrumen, relay dan pemutus tenaga (*Circuit Breaker*). *Circuit Breaker* (CB) atau Pemutus Tenaga (PMT) merupakan peralatan saklar (*switching*) mekanis, yang mampu menutup, mengalirkan dan memutus arus beban dalam kondisi normal serta mampu menutup, mengalirkan (dalam periode waktu tertentu) dan memutus arus beban dalam spesifik kondisi abnormal / gangguan seperti kondisi hubung singkat (*short circuit*). Fungsi utamanya adalah sebagai alat pembuka atau penutup suatu rangkaian listrik dalam kondisi berbeban, serta mampu membuka atau menutup saat terjadi arus gangguan (hubung singkat) pada jaringan atau peralatan lain. Penentuan kapasitas Pemutus Tenaga (PMT) dapat ditentukan dengan cara menghitung nilai arus gangguan maksimum pada jaringan tersebut, Pada jaringan distribusi 20 kV pada Gardu Induk Sekayu, arus gangguan

yang dihitung yaitu pada gangguan hubung singkat tiga fasa. Berdasarkan hal tersebut, penulis memilih untuk menulis skripsi yang berjudul Studi Penentuan Kapasitas Pemutus Tenaga Sisi 20 KV Pada Gardu Induk Sekayu.

A. Tujuan Penulisan

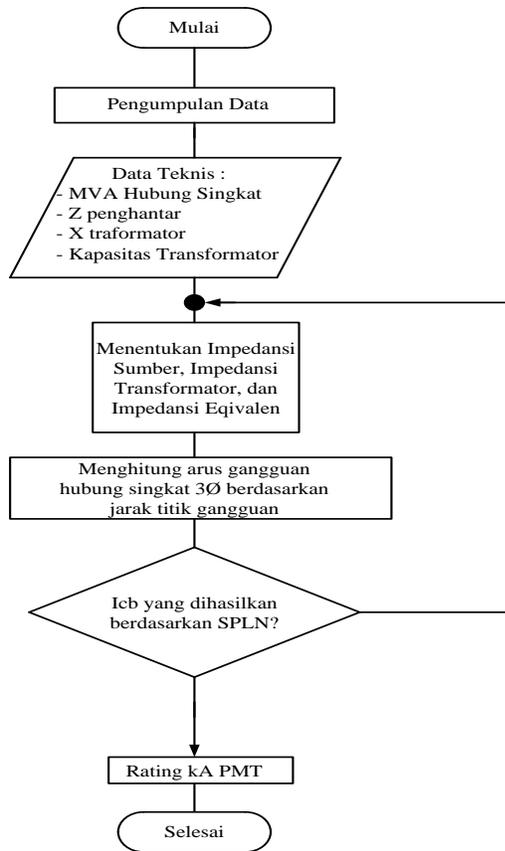
Tujuan yang ingin dicapai dalam penulisan jurnal ini adalah untuk mengetahui kapasitas pemutusan PMT pada jaringan distribusi 20 kV Gardu Induk Sekayu.

B. Perumusan Masalah

Permasalahan yang akan dibahas pada jurnal ini yaitu menentukan kapasitas pemutus tenaga yang akan dipasang pada Gardu Induk Sekayu dengan menghitung arus hubung singkat tiga fasa pada jaringan 20 kV Gardu Induk Sekayu.

II. METODOLOGI PENELITIAN

Dalam penulisan jurnal ini, metode-metode yang digunakan adalah sebagai berikut :



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

III. PERHITUNGAN DAN ANALISA

A. Perhitungan

Pembangunan Gardu Induk Sekayu 150 kV Sekayu ini direncanakan berkapasitas (1 × 30 MVA), lokasi pembangunan Gardu Induk ini terletak di desa Teladan, kecamatan Sekayu. Dalam ha proteksi peralatan pada penyulang 20 kV pada Gardu Induk, Pemutus Tenaga yang digunakan adalah tipe SF6.

Data teknik yang ada pada Gardu Induk adalah sebagai berikut :

1. TransformatorDaya
Merk/Type : PT. SHANDONG TAIKAI
Kapasitas : 30 MVA
Impedansi urutan positif :12,43 %
Tegangan Nominal : 150/20 kV
Arus Nominal sisi 150 kV : 115,5 A
Arus Nominal sisi 20 kV : 866 A
2. Penghantar kawat 150 mm²
Bahan penghantar : AAAC
Jumlah kawat : 37
Diameter tiap kawat : 2,25 mm
Impedansi urutan positif : 0,225 + j 0,321 Ω/km
Kapasitas arus : 425 A
3. Penghantar kawat 70 mm²
Bahan penghantar : AAAC
Jumlah kawat : 19

Diameter tiap kawat : 2,25 mm

Impedansi urutan positif dan negatif : 0,438 + j 0,342 Ω/km

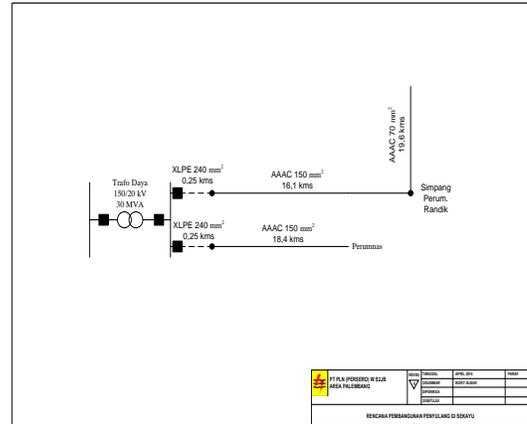
Kapasitas arus : 255 A

4. Penghantar SKTM kawat 240 mm²

Bahan penghantar : XLPE

Impedansi urutan positif : 0,125 + j 0,097 Ω/km

Kapasitas arus : 358 A



Gambar 2. Perencanaan Jaringan 20 kV Gardu Induk Sekayu

B. Impedansi Sumber

Perhitungan Impedansi dapat ditentukan dengan menggunakan data MVA Hubung singkat tiga fasa yang didapat dari PT. PLN (Persero) P3B Sumatera. MVA Hubung singkat tiga fasa pada Gardu Induk Sekayu yaitu 989,8 MVA dengan MVA_{dasar} sebesar 100 MVA, sehingga impedansi sumber sisi 150 kV menjadi :

$$X_1 = \frac{MVA_{dasar}}{MVA_{hs3-100}} \quad (1)$$

$$X_1 = \frac{100}{989,8}$$

$$X_1 = j 0,101 pu$$

Untuk I_{base} Sisi 150 kV,

$$I_{base} = \frac{MVA_{dasar} \times 1000}{\sqrt{3} \times kV_{dasar}} \quad (2)$$

$$= \frac{100 \times 1000}{\sqrt{3} \times 150}$$

$$= 384,9 A$$

Untuk I_{base} sisi 20 kV,

$$I_{base} = \frac{MVA_{dasar} \times 1000}{\sqrt{3} \times kV_{dasar}} \quad (3)$$

$$= \frac{100 \times 1000}{\sqrt{3} \times 20}$$

$$= 2886,751 A$$

C. Reaktansi Transformator

Sesuai dengan data teknis yang terpasang, maka nilai reaktansi urutan positif (X_{1T}) adalah :

$$X_{1T} = j 0,1243 pu$$

$$X_{1T} = X_T \times \frac{MVA_2}{MVA_1} \times \frac{kV_1^2}{kV_2^2} \quad (4)$$

$$X_{1T} = j 0,1243 \times \frac{100}{30} \times \frac{150^2}{150^2}$$

$$X_{1T} = j 0,417 \text{ pu}$$

D. Impedansi Penyulang

Data Impedansi penghantar yang didapat dari PT. PLN (Persero) Wilayah S2JB dapat dilihat dari tabel 1 dibawah ini :

TABEL 1
IMPEDANSI PENGHANTAR

Jenis Penghantar Kawat	Impedansi Positif
A3C 150 mm2	0,225 + j 0,321 Ω/km
A3C 70 mm2	0,438 + j 0,342Ω/km
XLPE 240 mm2	0,125 + j 0,097 Ω/km

1. Impedansi Penyulang 1

Untuk Impedansi penyulang, diambil hanya Impedansi Kabel XLPE karena titik gangguan diasumsikan terjadi pada sekitar sambungan kabel XLPE. Untuk mempermudah dalam perhitungan, semua nilai impedansi total saluran pada tiap penyulang diubah dalam satuan per unit (pu).

$$Z_{base} = \frac{kV^2}{MVA_{base}} \tag{5}$$

$$= \frac{(20)^2}{100}$$

$$= 4 \Omega$$

Maka,

$$Z_{pu} = \frac{Z_{penyulang}}{Z_{base}} \tag{6}$$

$$= \frac{0,125 + j 0,097 \Omega/km}{4}$$

$$= 0,031 + J 0,024 \text{ pu}$$

2. Impedansi Penyulang 2

Untuk impedansi penyulang, diambil hanya Impedansi Kabel XLPE karena titik gangguan diasumsikan terjadi pada sekitar sambungan kabel XLPE. Untuk mempermudah dalam perhitungan, semua nilai impedansi total saluran pada tiap penyulang diubah dalam satuan per unit (pu).

$$Z_{base} = \frac{kV^2}{MVA_{base}}$$

$$= \frac{(20)^2}{100}$$

$$= 4 \Omega$$

Maka,

$$Z_{pu} = \frac{Z_{penyulang}}{Z_{base}}$$

$$= \frac{0,125 + j 0,097 \Omega/km}{4}$$

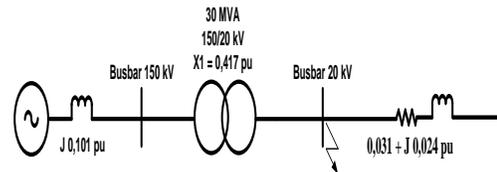
$$= 0,031 + J 0,024 \text{ pu}$$

E. Perhitungan Arus Hubung Singkat

Arus hubung singkat yang dihitung adalah arus hubung singkat tiga fasa yang titik gangguannya diperkirakan sebagai berikut :

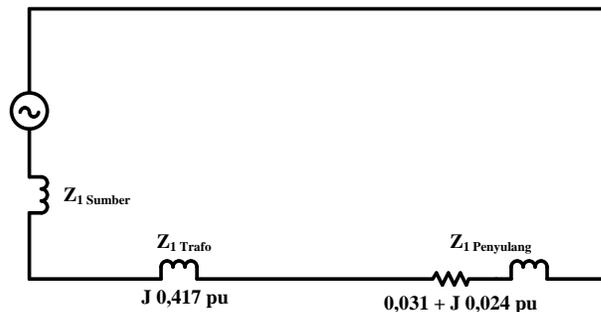
- Untuk PMT proteksi jaringan 20 kV, titik gangguan diambil pada sekitar sambungan kabel XLPE 20 kV.
- Untuk PMT proteksi Busbar 20 kV, titik gangguan diambil pada Busbar 20 kV.
- Untuk PMT proteksi Transformator 150/20 kV, titik gangguan diperkirakan terjadi didalam Transformator 1% dari Impedansi Transformator tersebut.

1. Arus Hubung Singkat Tiga Fasa Pada Penyulang 1
Untuk diagram satu garis dari penyulang 1, dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



Gambar 3. Diagram Satu Garis Penyulang 1

Dari gambar diagram satu garis diatas, maka dapat dibuat gambar urutan positif dari penyulang tersebut.



Gambar 4. Diagram Urutan Positif Penyulang 1

$$I_{3\phi} = \frac{V_f}{Z_1} \tag{7}$$

$$= \frac{1 \angle 0^\circ}{Z_{Sumber} + Z_{Trafo} + Z_{Penyulang}}$$

$$= \frac{1 \angle 0^\circ}{(j 0,101 \text{ pu}) + (j 0,417 \text{ pu}) + (0,031 + J 0,024 \text{ pu})}$$

$$= \frac{1 \angle 0^\circ}{0,031 + J 0,542 \text{ pu}}$$

$$= \frac{1 \angle 0^\circ}{0,542 \angle 86,72^\circ}$$

$$= 1,845 \angle -86,72^\circ \text{ pu}$$

$$I_{hs \ 3\phi} = I_{base} \times I_{3\phi} \tag{8}$$

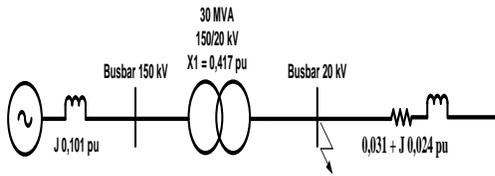
$$= 2886,751 \text{ A} \times 1,845 \text{ pu}$$

$$= 5326,055 \text{ A}$$

$$= 5,326 \text{ kA}$$

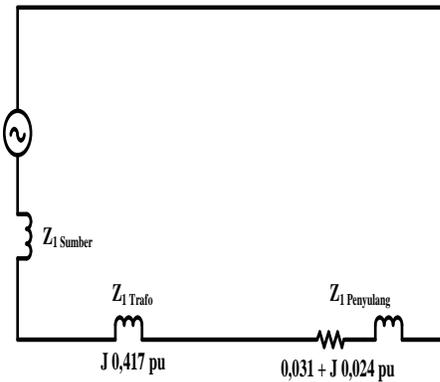
2. Arus Hubung Singkat Tiga Fasa Pada Penyulang 2

Untuk diagram satu garis dari penyulang 2, dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



Gambar 5. Diagram Satu Garis Penyulang 2

Dari gambar diagram satu garis diatas, maka dapat dibuat gambar urutan positif dari penyulang tersebut.

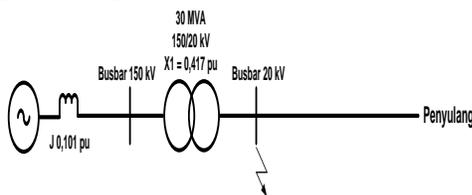


Gambar 6. Diagram Urutan Positif Penyulang 2

$$\begin{aligned}
 I_{3\phi} &= \frac{V_f}{Z_1} \\
 &= \frac{1 \angle 0^\circ}{Z_{Sumber} + Z_{Trafo} + Z_{Penyulang}} \\
 &= \frac{1 \angle 0^\circ}{(j 0,101 \text{ pu}) + (j 0,417 \text{ pu}) + (0,031 + j 0,024 \text{ pu})} \\
 &= \frac{1 \angle 0^\circ}{0,031 + j 0,542 \text{ pu}} \\
 &= \frac{1 \angle 0^\circ}{0,542 \angle 86,72^\circ} \\
 &= 1,845 \angle -86,72^\circ \text{ pu}
 \end{aligned}$$

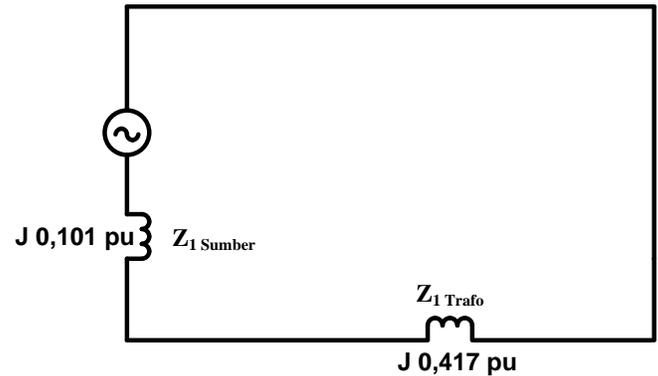
$$\begin{aligned}
 I_{hs \ 3\phi} &= I_{base} \times I_{3\phi} \\
 &= 2886,751 \text{ A} \times 1,845 \text{ pu} \\
 &= 5326,055 \text{ A} \\
 &= 5,326 \text{ kA}
 \end{aligned}$$

3. Arus Hubung Singkat Tiga Fasa Pada Busbar 20 kV
 Untuk diagram satu garis titik gangguan Busbar 20 kV, dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



Gambar 7. Diagram Satu Garis Gangguan Pada Busbar 20 kV

Dari gambar diagram satu garis diatas, maka dapat dibuat gambar urutan positif dari gangguan tersebut.



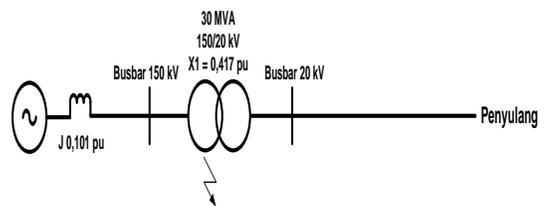
Gambar 8. Diagram Urutan Positif Gangguan Pada Busbar 20 kV

$$\begin{aligned}
 I_{3\phi} &= \frac{V_f}{Z_1} \\
 &= \frac{1 \angle 0^\circ}{Z_{Sumber} + Z_{Trafo}} \\
 &= \frac{1 \angle 0^\circ}{j 0,101 \text{ pu} + j 0,417 \text{ pu}} \\
 &= \frac{1 \angle 0^\circ}{j 0,518} \\
 &= \frac{1 \angle 0^\circ}{0,518 \angle 90^\circ} \\
 &= 1,932 \angle -90^\circ \text{ pu}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 I_{hs \ 3\phi} &= I_{base} \times I_{3\phi} \\
 &= 2886,751 \text{ A} \times 1,932 \text{ pu} \\
 &= 5577,202 \text{ A} \\
 &= 5,577 \text{ kA}
 \end{aligned}$$

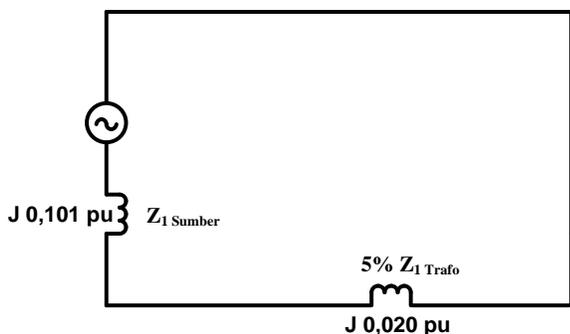
4. Arus Hubung Singkat Gangguan Dalam Transformator 150/20 kV.

Karena jarak trafo dan bus 20 kV yang sangat dekat, penulis mengasumsikan gangguan terjadi di dalam trafo tepatnya 5% dari impedansi total trafo.



Gambar 9. Diagram Satu Garis Gangguan Dalam Transformator

Dari gambar diagram satu garis diatas, maka dapat dibuat gambar urutan positif dari gangguan tersebut.



Gambar 10. Diagram Urutan Positif Gangguan Pada Transformator 150/20 kV

$$\begin{aligned}
 I_{3\phi} &= \frac{V_f}{Z_1} \\
 &= \frac{1 \angle 0^\circ}{Z_{\text{Sumber}} + Z_{\text{Trafo}}} \\
 &= \frac{1 \angle 0^\circ}{j 0,101 \text{ pu} + j 0,020 \text{ pu}} \\
 &= \frac{1 \angle 0^\circ}{j 0,121} \\
 &= \frac{0,121 \angle -90^\circ}{1 \angle 0^\circ} \\
 &= 8,264 \angle -90^\circ \text{ pu}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 I_{hs \ 3\phi} &= I_{\text{base}} \times I_{3\phi} \\
 &= 384,9 \text{ A} \times 8,264 \text{ pu} \\
 &= 3180,813 \text{ A} \\
 &= 3,180 \text{ kA}
 \end{aligned}$$

F. Kapasitas Pemutusan

Untuk penentuan kapasitas pemutusan PMT, nilai hubung singkat dikalikan dengan 1,6.

1. Kapasitas Pemutusan Untuk Transformator 150/20 kV

$$\begin{aligned}
 I_{CB} &= I_{hs \ 3\phi} \times 1,6 \\
 &= 3,180 \times 1,6 \\
 &= 5,088 \text{ kA}
 \end{aligned} \tag{9}$$

2. Kapasitas Pemutusan Untuk Proteksi Busbar

$$\begin{aligned}
 I_{CB} &= I_{hs \ 3\phi} \times 1,6 \\
 &= 5,577 \times 1,6 \\
 &= 8,923 \text{ kA}
 \end{aligned}$$

3. Kapasitas Pemutusan Untuk Proteksi Penyulang 1

$$\begin{aligned}
 I_{CB} &= I_{hs \ 3\phi} \times 1,6 \\
 &= 5,326 \text{ kA} \times 1,6 \\
 &= 8,521 \text{ kA}
 \end{aligned}$$

4. Kapasitas Pemutusan Untuk Proteksi Penyulang 2

$$\begin{aligned}
 I_{CB} &= I_{hs \ 3\phi} \times 1,6 \\
 &= 5,326 \text{ kA} \times 1,6 \\
 &= 8,521 \text{ kA}
 \end{aligned}$$

IV. PEMBAHASAN

Berdasarkan hasil perhitungan besar arus gangguan tiga fasa, maka pemilihan jenis PMT harus disesuaikan dengan rating kA hubung singkat PMT yang ada di pasaran sesuai dengan standar PLN dan rating tegangan. Maka dari itu PMT yang akan dipasang dapat ditentukan.

TABEL 2
HASIL PEMILIHAN PEMUTUS TENAGA

Lokasi PMT	I _{hs 3φ} (PU)	I _{CB} (kA)	Rating PMT
Transformator 150/20 kV	8,264 ∠ -90°	5,088	40 kA
Busbar 20 kV	1,932 ∠ -90°	8,923	12,5 kA
Penyulang 1	1,845 ∠ -86,72°	8,521	12,5 kA
Penyulang 2	1,845 ∠ -86,72°	8,521	12,5 kA

Untuk PMT transformator 150/20 kV, dipilih 40 kA karena pada spesifikasi di pasaran, hanya tersedia rating terendah 40 kA untuk PMT tegangan 150 kV. Sedangkan PMT Busbar 20 kV, penyulang 1 dan penyulang 2, dipilih PMT dengan rating 12,5 kA.

Tipe PMT, dipilih PMT yang menggunakan media pemutus tenaga yang menggunakan gas SF6. Ini dilakukan karena gas SF6 mempunyai kekuatan dielektrik yang tinggi dibandingkan media lainnya serta dapat mengembalikan kekuatan dielektrik dengan cepat dan tidak menimbulkan karbon selama pemutusan kontak, dalam hal ini berpengaruh terhadap biaya perawatan yang dibutuhkan.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Dari hasil perhitungan dan analisa dapat diperoleh kesimpulan sebagai berikut.

1. Besar kapasitas pemutusan untuk PMT Transformator 150/20 kV adalah 5,088 kA dengan perkiraan gangguan terjadi didalam Transformator pada 5% dari total Impedansi Transformator.
2. Besar kapasitas pemutusan PMT Busbar 20 kV adalah 8,923 kA dengan perkiraan gangguan terjadi pada Busbar 20 kV, besar kapasitas pemutusan PMT Penyulang 1 dan Penyulang 2 adalah 8,923 kA dengan perkiraan terjadinya gangguan pada sambungan kabel XLPE atau 0% dari total Impedansi Penyulang.
3. Untuk rating PMT Transformator dan diambil 40 kA dan Busbar 20 kV, Penyulang 1 dan Penyulang 2 adalah 12,5 kA.

B. Saran

1. Untuk perhitungan kapasitas pemutus tenaga, sebaiknya digunakan arus gangguan terbesar yang mungkin terjadi pada jaringan distribusi sehingga PMT dapat menutup jaringan dalam keadaan terburuk bila terjadi gangguan hubung singkat.
2. Bila terjadi penggantian transformator 150/20 kV dan panjang jaringan, maka perhitungan kapasitas PMT harus ditinjau ulang, karena dapat mempengaruhi besar arus gangguan yang terjadi.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Hutauruk T.S, "Transmisi Daya Listrik", Erlangga, Jakarta, 1996.
- [2] Hamdadi Antonius, Diktat "Analisa Sistem Tenaga Listrik", Universitas Sriwijaya, Palembang, 2002.
- [3] PLN Pusat Jakarta, "Operasi dan Pemeliharaan Peralatan Penyaluran Tenaga Listrik", Jakarta, 1984.
- [4] A. Arismunandar & S. Kuwahara, "*Buku Pegangan Teknik Tenaga Listrik, Jilid II Saluran Transmisi*", PT Pradnya Paramita, Jakarta.