

PENENTUAN KAPASITAS PEMUTUS TENAGA SISI 20 KV PADA GARDU INDUK SEI. RAYA

Chandra FireraLubis

Program Studi Teknik Elektro Jurusan Teknik Elektro
Fakultas Teknik Universitas Tanjungpura
chandra.firera@gmail.com

Abstrak – Dalam penyaluran daya listrik sering kali sistem distribusi mengalami berbagai gangguan seperti hubung – singkat, sambaran petir, kawat putus dan sebagainya. Besarnya arus gangguan hubung singkat yang mungkin terjadi didalam suatu sistem kelistrikan perlu diketahui sebelum gangguan sesungguhnya terjadi. Hal ini biasanya digunakan untuk perencanaan peralatan proteksi tenaga. Penentuan kapasitas pemutus tenaga sisi 20 kV, dapat ditentukan dengan cara menghitung nilai arus gangguan maksimum pada jaringan sistem distribusi tersebut. Arus gangguan yang dihitung yaitu pada gangguan hubung – singkat 3 fasa. Berdasarkan arus gangguan hubung singkat 3 fasa maksimum pada busbar 20 kV, kapasitas pemutus tenaga PMT 20 kV pada transformator 1 sebesar 9.658193 kA dengan pemilihan PMT yang tersedia dipasaran sebesar 12,5 kA, kapasitas pemutus tenaga PMT 20 kV pada transformator 2 sebesar 17,126147 kA dengan pemilihan PMT yang tersedia dipasaran sebesar 20 kA, dan kapasitas pemutus tenaga PMT 20 kV pada transformator 3 sebesar 9.658193 kA dengan pemilihan PMT yang tersedia dipasaran sebesar 12,5 kA. Perbandingan rating pemutus tenaga (PMT) yang terpasang (existing) lebih besar terhadap hasil pemilihan rating pemutus tenaga (PMT) berdasarkan perhitungan, sehingga dapat disimpulkan pemutus tenaga penyulang Gardu Induk Sei. Raya (Existing) masih layak digunakan sebagai pemutus tenaga.

Kata kunci : Gardu Induk, , MVA hubung Singkat 3 fasa, rating PMT

1. Pendahuluan

Suatu sistem tenaga secara umum terdiri dari : sistem pembangkit, sistem transmisi, dan sistem distribusi. Sistem distribusi merupakan bagian sistem tenaga listrik yang mempunyai peran penting karena berhubungan langsung dengan pemakai energi listrik, terutama pemakai energi listrik tegangan menengah dan tegangan rendah. Sistem distribusi dapat disuplai melalui Gardu Induk (GI) dengan terlebih dahulu menurunkan tegangannya dan Gardu Hubung (GH).

Dalam keadaan operasi, suatu system dalam Gardu Induk sering mengalami gangguan yang dapat mengakibatkan terhentinya pelayanan daya kekonsumen. Gangguan penyediaan tenaga listrik tidak dikehendaki oleh siapapun, tetapi merupakan kenyataan yang tidak

dapat dihindarkan. Untuk itu diperlukan peralatan pengamanan yang dapat memproteksi jaringan dan peralatan tenaga listrik terutama di Gardu Induk.

Penentuan kapasitas pemutus tenaga sisi 20 kV, dapat ditentukan dengan cara menghitung nilai arus gangguan maksimum pada jaringan sistem distribusi tersebut, arus gangguan yang dihitung yaitu pada gangguan hubung singkat tiga fasa. Khususnya Gardu Induk Sei. Raya terjadi penambahan 1 (satu) unit transformator daya yang baru dengan kapasitas 60 MVA sehingga total transformator menjadi 3 (tiga) unit yaitu : transformator 1 berkapasitas 30 MVA, transformator 2 berkapasitas 60 MVA (baru), dan transformator 3 berkapasitas 30 MVA. Oleh karena itu perlu dilakukan perhitungan arus hubung singkat maksimum yaitu arus hubung singkat tiga fasa untuk menentukan besarnya kapasitas pemutus tenaga (PMT) pada penyulang-penyulang Gardu Induk (GI) Sei. Raya.

2. Dasar Teori

2.1. Perhitungan Arus Gangguan Hubung Singkat

2.1.1. Menentukan Impedansi Sumber

Untuk menghitung impedansi sumber di sisi Busbar 20 KV, maka harus di hitung dulu impedansi sumber di Busbar 150 kV.

Menurut Kersting (2002 : 291), dengan menggunakan MVA hubung – singkat tiga fasa, impedansi ekivalen sistem urutan positif dan negatif dalam ohm ditentukan dengan :

$$X_{S1} = X_{S2} = \frac{KV^2}{MVA_{sc3\phi}} \quad \text{Ohm} \dots \dots \dots (1)$$

Karena resistansi pada sumber diabaikan sehingga :

$$Z_{S1} = 0 + jX_{S1} \quad \text{Ohm} \dots \dots \dots (2)$$

$$X_{S1} = X_{S2} = j \frac{KV_{base}^2}{MVA_{sc3\phi}} \quad \text{Ohm} \dots \dots \dots (3)$$

Di asumsikan impedansi dasar :

$$Z_{base} = \frac{KV_{base}^2}{MVA_{base}} \quad \text{Ohm} \dots \dots \dots (4)$$

Diasumsikan tegangan dasar KV_{base} sama dengan tegangan sumber, dan resistansi sumber diabaikan sehingga impedansi ekivalen sumber urutan positif dan negatif dalam pu menjadi : (Hendra, dkk, 2015)

$$X_{S1} = X_{S2} = j \frac{MVA_{base}}{MVA_{sc3\phi}} \text{ pu} \dots\dots\dots (5)$$

Dimana :

X_{S1} = Reaktansi sumber urutan positif [pu]

X_{S2} = Reaktansi sumber urutan negatif [pu]

MVA_{base} = Daya dasar [MVA]

$MVA_{sc3\phi}$ = MVA hubung singkat tiga fasa [MVA]

KV_{base} = Tegangan dasar [kV]

2.1.2. Menentukan Impedansi Transformator

Pada perhitungan impedansi suatu transformator yang di ambil adalah harga reaktansinya, sedangkan tahananannya diabaikan karena harganya kecil.

1. Reaktansi Transformator Urutan Positif dan Negatif

Untuk mencari nilai reaktansi urutan positif dan negatif transformator dalam Ohm dihitung dengan persamaan sebagai berikut : (Hendra, dkk, 2015).

$$X_{T1} = X_{T2} = j \frac{KV^2}{MVA} \text{ Ohm} \dots\dots\dots (6)$$

Dimana :

X_T = Impedansi transformator [Ohm]

KV = Tegangan sisi sekunder transformator [kV]

MVA = Kapasitas transformator [MVA]

Pada transformator daya pada umumnya informasi nilai reaktansi menggunakan nilai persentase.

Reaktansi transformator daya dengan daya dasar baru :

$$X_{T_{new}} = X_{T_{old}} \times \frac{MVA_{new}}{MVA_{old}} \times \frac{KV_{old}^2}{KV_{new}^2} \text{ pu} \dots\dots\dots (7)$$

Dimana :

$X_{T_{new}}$ = Reaktansi transformator baru [pu]

$X_{T_{old}}$ = Reaktansi transformator lama [pu]

MVA_{new} = Daya dasar baru [MVA]

MVA_{old} = Daya dasar lama [MVA]

KV_{new}^2 = Tegangan dasar baru [kV]

KV_{old}^2 = Tegangan dasar lama [kV]

2. Reaktansi Transformator Urutan Nol

Sebelum menghitung reaktansi urutan nol (X_{T0}) terlebih dahulu harus diketahui data transformator daya itu sendiri yaitu data dari kapasitas belitan delta yang ada dalam transformator :

- Untuk transformator daya dengan hubungan belitan ΔY dimana kapasitas belitan delta sama besar dengan kapasitas belitan Y, maka $X_{T0} = X_{T1}$.
- Untuk transformator daya dengan hubungan belitan Yyd dimana kapasitas belitan delta (d) biasanya adalah sepertiga dari kapasitas belitan Y (belitan yang

dipakai untuk menyalurkan daya, sedangkan belitan delta tetap ada didalam tetapi tidak dikeluarkan kecuali satu terminal delta untuk ditanahkan), maka nilai. $X_{T0} = 3 \times X_{T1}$

- Untuk transformator daya dengan hubungan belitan YY dan tidak mempunyai belitan delta di dalamnya, maka untuk menghitung besarnya (X_{T0}) berkisar antara 9 s/d 14 x (X_{T1}).

2.1.3. Menentukan Impedansi Penyulang

Untuk perhitungan impedansi penyulang, perhitungannya tergantung dari besarnya impedansi per km dari penyulang yang akan dihitung, dimana besar nilainya tergantung pada jenis penghantarnya, yaitu dari bahan apa penghantar tersebut dibuat dan juga tergantung dari besar-kecilnya penampang dan panjang penghantarnya.

Impedansi penyulang dalam satuan per unit adalah :

$$Z = \frac{Z_{penyulang}}{Z_{base}} \text{ pu} \dots\dots\dots (8)$$

Dimana :

Z_{base} = Impedansi dasar [ohm]

$Z_{penyulang}$ = Impedansi penyulang [ohm]

Z = Impedansi penyulang [pu]

2.1.4. Menentukan Impedansi Ekuivalen Penyulang

Perhitungan yang akan dilakukan disini adalah perhitungan besarnya nilai impedansi ekuivalen urutan positif. Karena dari sejak sumber ketitik gangguan impedansi yang terbentuk adalah tersambung seri maka perhitungan impedansi ekuivalen urutan positif (Z_1) dapat langsung dengan cara menjumlahkan impedansi tersebut.

Sehingga untuk impedansi ekuivalen urutan positif dan negatif penyulang dapat dihitung dengan menggunakan rumus : (Hendra, dkk, 2015).

$$Z_{eq1} = Z_{eq2} = X_{S1} + X_{T1} + Z_1 \text{ pu} \dots\dots\dots (9)$$

Impedansi ekuivalen urutan nol penyulang harus diketahui dulu hubungan belitannya dan netral yang dihubungkan ke tanah, sehingga persamaannya adalah sebagai berikut : (Hendra, dkk, 2015).

$$Z_{eq0} = X_{T0} + 3.R_N + Z_0 \text{ pu} \dots\dots\dots (10)$$

Dimana :

Z_{eq1} = Impedansi ekuivalen urutan positif [pu]

Z_{eq2} = Impedansi ekuivalen urutan negatif [pu]

Z_{eq0} = Impedansi ekuivalen urutan nol [pu]

R_N = Resistansi pentanahan netral [pu]

X_{S1} = Reaktansi sumber urutan positif [pu]

X_{T1} = Reaktansi transformator urutan positif [pu]

X_{T0} = Reaktansi transformator urutan nol [pu]

Z_1 = Impedansi penyulang urutan positif [pu]

Z_0 = Impedansi penyulang urutan nol [pu]

2.1.5. Arus Gangguan

Setelah memperoleh impedansi ekuivalen dan di asumsi tegangan sumber (E_a) sebesar 1,0 pu, sehingga arus gangguan hubung – singkat dapat dihitung dalam satuan per unit (pu) dengan uraian sebagai berikut :

1. Arus Gangguan Hubung Singkat 3 Fasa :

$$I_{hs3\phi} = \frac{E_a}{Z_{eq1}} pu \dots\dots\dots (11)$$

2. Arus Gangguan Hubung Singkat Fasa-Fasa :

$$I_{hs\phi-\phi} = \frac{\sqrt{3}.E_a}{Z_{eq1} + Z_{eq2}} pu \dots\dots\dots (12)$$

3. Arus Gangguan Hubung Singkat Fasa ke Tanah :

$$I_{hs1\phi} = \frac{3.E_a}{Z_{eq1} + Z_{eq2} + Z_{eq0}} pu \dots\dots\dots (13)$$

2.2. Rating Arus (Rated Interrupting Current) PMT

Yang di maksudkan dengan rating arus yang dapat di putuskan adalah arus total terbesar (AC dan DC) yang dapat di putuskan dengan baik. Besar arus ini tergantung dari waktu membukanya alat pemutus daya itu. Pada umum nya komponen DC tersebut sulit dihitung, jadi untuk mengikut sertakan komponen DC, arus simetris yang diperoleh dikalikan dengan factor pengali. Faktor pengali tersebut besarnya tergantung dari waktu membukanya alat pemutus tenaga.

Faktor pengali dan lamanya waktu membuka alat pemutus tenaga (PMT) ditunjukkan pada tabel dibawah ini :

Tabel1.FaktorPengali Pemutus Tenaga

Waktumembukanya Alatpemutustenaga (CB)	FaktorPengali
8 cycle (0,16 Second)	1,0
5 cycle (0,1 Second)	1,1
3 cycle (0,06 Second)	1,2
2 cycle (0,04 Second)	1,4
sesaat	1,6

Sumber : Sirait, (2012)

Menurut Gonen (1988 : 159), untuk penentuan kapasitas pemutus tenaga PMT dengan persamaan :

$$MVA_{rating} = \sqrt{3} \times V \times I_{hs3\phi} \times \zeta MVA \dots\dots\dots (14)$$

Dimana :

MVA_{rating} = Kapasitas pemutus tenaga [MVA]

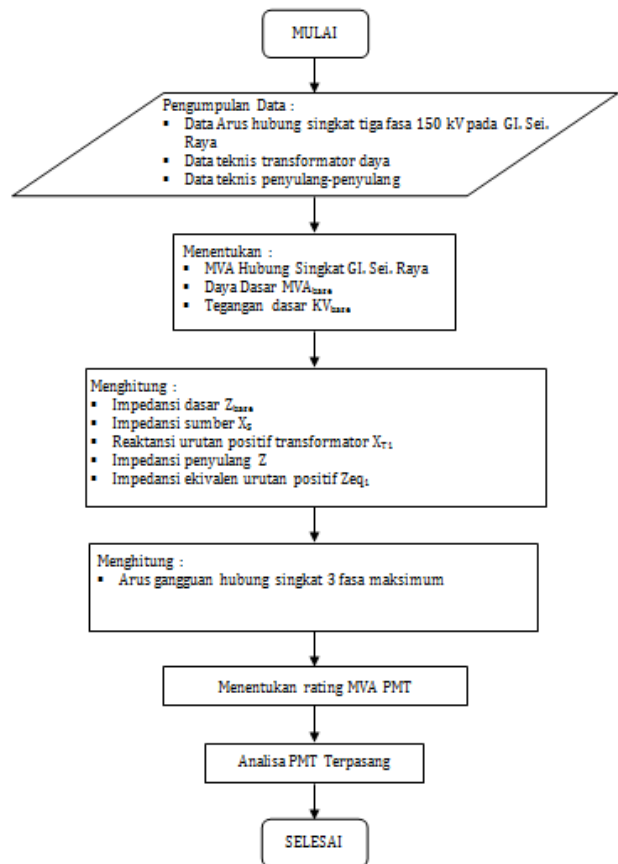
V = Tegangan [kV]

$I_{hs3\phi}$ = Arus hubung singkat tiga fasa [kA]

ζ = Faktor pengali (1,6 untuk waktu sesaat)

2.3. Diagram Alir Penelitian

Diagram alir perhitungan penentuan kapasitas pemutus tenaga (PMT) sisi 20 KV pada Gardu Induk Sei. Raya ditunjukkan pada gambar berikut ini :



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

3. Perhitungan dan Analisis

3.1. Data Penyulang 20 kV Gardu Induk Sei. Raya

Pada saat ini Gardu Induk Sei. Raya sebagai sumber tenaga listrik melayani 16 penyulang 20 kV yang di distribusikan oleh ketiga unit transformator daya. Pada transformator 1 terhubung dengan 5 (lima) buah penyulang, transformator 2 terhubung dengan 5 (lima) buah penyulang, dan transformator 3 terhubung dengan 6 (enam), yang secara rinci ditunjukkan pada tabel dibawah ini :

Tabel 2. Data Penyulang 20 kV Gardu Induk Sei. Raya

TRAFO	NO	PENYULANG	JENIS PENGHANTAR SALURAN	PANJANG (Km)
1	1	RAYA 2	AAAC 150 mm ²	10,37
	2	RAYA 4	AAAC 150 mm ²	10,37
	3	RAYA 8	AAAC 150 mm ²	14,02
	4	RAYA 17	AAAC 150 mm ²	117,26
	5	RAYA 18	AAAC 150 mm ²	23,78

(lanjutan)

TRAFO	NO	PENYULANG	JENIS PENGHANTAR SALURAN	PANJANG (Km)
2	6	RAYA 23	AAAC 150 mm ²	27,00
	7	RAYA 24	AAAC 150 mm ²	20,24
	8	RAYA 25	AAAC 150 mm ²	7,91
	9	RAYA 26	AAAC 150 mm ²	7,91
	10	RAYA 30	AAAC 150 mm ²	11,05
3	11	RAYA 7	AAAC 150 mm ²	20,85
	12	RAYA 10	AAAC 150 mm ²	34,87
	13	RAYA 11	AAAC 150 mm ²	8,50
	14	RAYA 13	AAAC 150 mm ²	7,59
	15	RAYA 14	AAAC 150 mm ²	21,30
	16	RAYA 15	AAAC 150 mm ²	23,88

Sumber : PT PLN (Persero) APDP KalBar (2016)

3.2. Data Arus Hubung Singkat

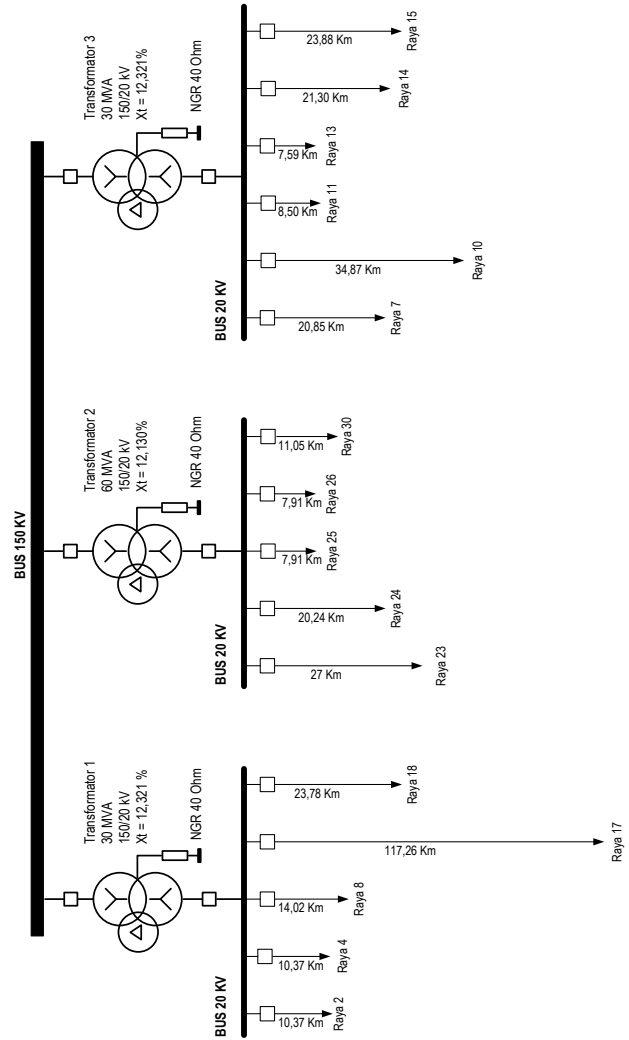
Adapun data arus hubung singkat pada sisi 150 kV Gardu Induk Sei. Raya diperoleh dari PT PLN (Persero) APDP Kalimantan Barat ditunjukkan pada tabel dibawah ini :

Tabel 3. Data Arus Hubung Singkat Gardu Induk

GARDU INDUK	SHORT CIRCUIT 150 kV		
	L-L-L (kA)	L-L (kA)	L-G (kA)
SEI RAYA	5,7	5	2,3
SIANTAN	6,2	5,3	2,5
KOTA BARU	4,8	4,2	2,2
PARIT BARU	6	5,1	2,6
SENGGIRING	5,5	4,7	2,7
SINGKAWANG	6,4	5,5	3,8
SAMBAS	3,5	3	2
BENGKAYANG	9	7,7	7,5

Sumber : PT PLN (Persero) APDP KalBar (2016)

Diagram satu garis Gardu Induk Sei. Raya mencakup transformator daya dan penyulang 20 kV yang terdapat pada Gardu Induk Sei. Raya ditunjukkan pada gambar berikut ini :



Gambar 2. Diagram Satu Garis Gardu Induk Sei. Raya

3.3. Perhitungan Impedansi Sumber

Perhitungan impedansi sumber pada sisi primer (150kV) di Gardu Induk Sei. Raya di uraikan sebagai berikut :

Diketahui :

$$MVA_{base} = 100 \text{ MVA}$$

$$KV_{base} = 150 \text{ kV}$$

$$Z_{base} = \frac{KV_{base}^2}{MVA_{base}} \text{ Ohm}$$

$$= \frac{150^2}{100} = 225 \text{ Ohm}$$

Diperoleh data arus hubung singkat 3 fasa pada sisi primer Gardu Induk Sei. Raya adalah :

$$I_{sc3\phi} = 5,7 \text{ kA}$$

MVA hubung singkat 3 fasa pada sisi primer Gardu Induk Sei. Raya adalah :

$$MVA_{sc3\phi} = \sqrt{3} \times I_{sc3\phi} \times KV_{primer}$$

$$MVA_{sc3\phi} = \sqrt{3} \times 5,7 \times 150$$

$$MVA_{sc3\phi} = 1480,903 \text{ MVA}$$

Impedansi sumber urutan positif dan negatif pada sisi primer Gardu Induk Sei. Raya adalah :

$$X_{S1} = X_{S2} = j \frac{KV_{base}^2}{MVA_{sc3\phi}} \text{ Ohm}$$

$$X_{S1} = X_{S2} = j \frac{150^2}{1480,903} \text{ Ohm}$$

$$X_{S1} = X_{S2} = j 15,193 \text{ Ohm}$$

$$X_{S1} = X_{S2} = \frac{j 15,193}{225} = j 0,0675 \text{ pu}$$

3.4. Perhitungan Reaktansi Transformator

3.4.1. Reaktansi Transformator 1

Besarnya reaktansi urutan positif transformator daya 1 di Gardu Induk Sei. Raya adalah $j 0,12321$ pu pada daya 30 MVA. Dengan menggunakan persamaan (2.80), nilai reaktansi urutan positif transformator daya 1 pada daya dasar 100 MVA adalah :

$$X_{T1} = X_T \times \frac{MVA_{new}}{MVA_{old}} \times \frac{KV_{old}^2}{KV_{new}^2}$$

$$X_{T1} = j 0,12321 \times \frac{100}{30} \times \frac{150^2}{150^2}$$

$$X_{T1} = j 0,4107 \text{ pu}$$

3.4.2. Reaktansi Transformator 2

Besarnya reaktansi urutan positif transformator 2 di Gardu Induk Sei. Raya adalah $j 0,1213$ pu pada daya 60 MVA. Dengan menggunakan persamaan (2.80), nilai reaktansi urutan positif transformator 2 pada daya dasar 100 MVA adalah :

$$X_{T2} = X_T \times \frac{MVA_{new}}{MVA_{old}} \times \frac{KV_{old}^2}{KV_{new}^2}$$

$$X_{T2} = j 0,1213 \times \frac{100}{60} \times \frac{150^2}{150^2}$$

$$X_{T2} = j 0,2022 \text{ pu}$$

3.4.3. Reaktansi Transformator 3

Besarnya reaktansi urutan positif dan negatif transformator daya 3 di Gardu Induk Sei. Raya adalah $j 0,12321$ pu pada daya 30 MVA. Dengan menggunakan persamaan (2.80), nilai reaktansi urutan positif dan negatif transformator daya 3 pada daya dasar 100 MVA adalah :

$$X_{T3} = X_T \times \frac{MVA_{new}}{MVA_{old}} \times \frac{KV_{old}^2}{KV_{new}^2}$$

$$X_{T3} = j 0,12321 \times \frac{100}{30} \times \frac{150^2}{150^2}$$

$$X_{T3} = j 0,4107 \text{ pu}$$

3.5. Impedansi Penyulang Pada Gardu Induk Sei. Raya

Dari data yang diperoleh bahwa jenis penghantar yang di gunakan pada penyulang menggunakan penghantar AAAC150 mm² dengan impedansi urutan positif (Z_1) dan negatif (Z_2) sebesar $0,2160 + j 0,3300$ Ohm/Km dan impedansi urutan nol (Z_0) sebesar $0,3630 + j 1,6180$ Ohm/Km. Dengan impedansi dasar pada sisi sekunder (20 kV) adalah :

$$Z_{base} = \frac{KV_{base}^2}{MVA_{base}} \text{ Ohm}$$

$$\frac{20^2}{100} = 4 \text{ Ohm}$$

Maka diperoleh impedansi total penyulang pada Gardu Induk Sei. Raya dengan uraian sebagai berikut :

1. Impedansi Penyulang Raya 2 :

$$Z_1 = Z_2 = (0,2160 + j 0,3300) \times 10,37$$

$$= 2,2399 + j 3,4221 \text{ Ohm}$$

$$Z_1 = Z_2 = \frac{2,2399 + j 3,4221}{4} = 0,5600 + j 0,8555 \text{ pu}$$

$$Z_0 = (0,3630 + j 1,6180) \times 10,37$$

$$= 3,7643 + j 16,7787 \text{ Ohm}$$

$$Z_0 = \frac{3,7643 + j 16,7787}{4} = 0,9411 + j 4,1947 \text{ pu}$$

3.6. Arus Gangguan Hubung Singkat Penyulang Pada Gardu Induk Sei. Raya

Dalam menentukan kapasitas pemutus tenaga PMT pada sisi 20 kV harus memperhatikan kemungkinan besarnya arus gangguan hubung singkat maksimum yang terjadi pada setiap penyulang 20 kV. Pada penelitian ini besarnya arus maksimum terjadi pada penyulang 20 kV diasumsikan nilai arus gangguan hubung singkat 3 fasa dengan lokasi gangguan 0% (di busbar 20 kV) sehingga impedansi ekivalen penyulang merupakan penjumlahan nilai impedansi sumber urutan positif dan reaktansi transformator urutan positif pada masing-masing penyulang Gardu Induk Sei. Setelah memperoleh impedansi ekivalen sesuai dengan lokasi gangguan, dan diasumsi tegangan sumber (E_a) sebesar 1,0 pu, sehingga arus gangguan hubung – singkat 3 fasa dapat dihitung dalam satuan per unit (pu) dengan uraian sebagai berikut :

1. Arus gangguan hubung singkat maksimum Penyulang Raya 2 :

$$Z_{eq1} = X_{S1} + X_{T1}$$

$$Z_{eq1} = j 0,0675 + j 0,4107$$

$$Z_{eq1} = j 0,4782$$

$$I_{hs3\phi} = \frac{E_a}{Z_{eq1}} pu$$

$$I_{hs3\phi} = \frac{1}{0,0000 + j0,4782} = \frac{1}{\sqrt{0,0000^2 + j0,4782^2}} = 2,091 pu$$

2. Arus gangguan hubung singkat maksimum Penyulang Raya 23 :

$$Z_{eq1} = X_{S1} + X_{T1}$$

$$Z_{eq1} = j 0,0675 + j 0,2022$$

$$Z_{eq1} = j 0,2697$$

$$I_{hs3\phi} = \frac{E_a}{Z_{eq1}} pu$$

$$I_{hs3\phi} = \frac{1}{0,0000 + j0,2697} = \frac{1}{\sqrt{0,0000^2 + j0,2697^2}} = 3,708 pu$$

3. Arus gangguan hubung singkat maksimum Penyulang Raya 7 :

$$Z_{eq1} = X_{S1} + X_{T1}$$

$$Z_{eq1} = j 0,0675 + j 0,4107$$

$$Z_{eq1} = j 0,4782$$

$$I_{hs3\phi} = \frac{E_a}{Z_{eq1}} pu$$

$$I_{hs3\phi} = \frac{1}{0,0000 + j0,4782} = \frac{1}{\sqrt{0,0000^2 + j0,4782^2}} = 2,091 pu$$

Untuk mengkonversi nilai arus gangguan tersebut dalam nilai aktual, harus dikalikan dengan nilai arus dasarnya (I_{base}). Arus dasar pada sisi sekunder 20kV ($I_{base20kV}$) adalah :

$$I_{base20kV} = \frac{MVA_{base}}{\sqrt{3}KV_{base20kV}} Ampere$$

$$I_{base20kV} = \frac{100 \times 1000}{\sqrt{3} \times 20} = 2886,751 Ampere$$

Maka arus gangguan hubung singkat 3 fasa penyulang pada Gardu Induk Sei. Raya secara lengkap dapat ditunjukkan pada tabel di bawah ini :

Tabel 4. Arus Gangguan Hubung Singkat 3 Fasa Penyulang Pada Gardu Induk Sei. Raya

No	Penyulang	Lokasi	Impedansi Ekuivalen Zeq1 (pu)	Arus Gangguan Hubung Singkat 3 Fasa	
				pu	Ampere
1	RAYA 2	0%	0,0000 + j 0,4782	2,091	6036,370
2	RAYA 4	0%	0,0000 + j 0,4782	2,091	6036,370
3	RAYA 8	0%	0,0000 + j 0,4782	2,091	6036,370
4	RAYA 17	0%	0,0000 + j 0,4782	2,091	6036,370
5	RAYA 18	0%	0,0000 + j 0,4782	2,091	6036,370
6	RAYA 23	0%	0,0000 + j 0,2697	3,708	10703,842

(lanjutan)

No	Penyulang	Lokasi	Impedansi Ekuivalen Zeq1 (pu)	Arus Gangguan Hubung Singkat 3 Fasa	
				pu	Ampere
7	RAYA 24	0%	0,0000 + j 0,2697	3,708	10703,842
8	RAYA 25	0%	0,0000 + j 0,2697	3,708	10703,842
9	RAYA 26	0%	0,0000 + j 0,2697	3,708	10703,842
10	RAYA 30	0%	0,0000 + j 0,2697	3,708	10703,842
11	RAYA 7	0%	0,0000 + j 0,4782	2,091	6036,370
12	RAYA 10	0%	0,0000 + j 0,4782	2,091	6036,370
13	RAYA 11	0%	0,0000 + j 0,4782	2,091	6036,370
14	RAYA 13	0%	0,0000 + j 0,4782	2,091	6036,370
15	RAYA 14	0%	0,0000 + j 0,4782	2,091	6036,370
16	RAYA 15	0%	0,0000 + j 0,4782	2,091	6036,370

Sumber : Hasil Perhitungan

3.7. Kapasitas Pemutus Tenaga PMT

Dengan diperolehnya nilai arus hubung singkat maksimum yang terjadi pada masing-masing penyulang, kapasitas pemutus tenaga PMT sisi 20 kV masing-masing penyulang dapat ditentukan dengan perhitungan sebagai berikut :

1. Kapasitas Pemutus Tenaga PMT Penyulang Raya 2 :

$$MVA_{rating} = \sqrt{3} \times V \times I_{hs3\phi} \times \zeta$$

$$MVA_{rating} = \sqrt{3} \times 20 \times 6,036370 \times 1,6$$

$$MVA_{rating} = 334,569603 MVA$$

2. Kapasitas Pemutus Tenaga PMT Penyulang Raya 23 :

$$MVA_{rating} = \sqrt{3} \times V \times I_{hs3\phi} \times \zeta$$

$$MVA_{rating} = \sqrt{3} \times 20 \times 10,703842 \times 1,6$$

$$MVA_{rating} = 593,267125 MVA$$

3. Kapasitas Pemutus Tenaga PMT Penyulang Raya 7 :

$$MVA_{rating} = \sqrt{3} \times V \times I_{hs3\phi} \times \zeta$$

$$MVA_{rating} = \sqrt{3} \times 20 \times 6,036370 \times 1,6$$

$$MVA_{rating} = 334,569603 MVA$$

Berdasarkan perhitungan diatas, kapasitas pemutus tenaga PMT sisi 20 kV masing-masing penyulang secara lengkap ditunjukkan pada tabel dibawah ini :

Tabel 5. Kapasitas Pemutus Tenaga PMT 20 kV Pada Penyulang Gardu Induk Sei. Raya

Penyulang	Tegangan Sistem (kV)	Arus Gangguan Maksimum (kA)	Kapasitas Pemutus Tenaga (MVA)
RAYA 2	20	6,036370	334,569603
RAYA 4	20	6,036370	334,569603
RAYA 8	20	6,036370	334,569603
RAYA 17	20	6,036370	334,569603
RAYA 18	20	6,036370	334,569603
RAYA 23	20	10,703842	593,267125
RAYA 24	20	10,703842	593,267125

(lanjutan)

Penyulang	Tegangan Sistem (kV)	Arus Gangguan Maksimum (kA)	Kapasitas Pemutus Tenaga (MVA)
RAYA 25	20	10,703842	593,267125
RAYA 26	20	10,703842	593,267125
RAYA 30	20	10,703842	593,267125
RAYA 7	20	6,036370	334,569603
RAYA 10	20	6,036370	334,569603
RAYA 11	20	6,036370	334,569603
RAYA 13	20	6,036370	334,569603
RAYA 14	20	6,036370	334,569603
RAYA 15	20	6,036370	334,569603

Sumber : Hasil Perhitungan

3.8. Analisa Hasil Perhitungan

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 di pasang dapat ditentukan. Untuk PMT 20 kV dipasaran, tersedia dengan rating 12,5 kA, 16 kA, 20 kA dan 25 kA. Dengan memperhatikan kapasitas pemutus sehingga PMT penyulang dipilih dengan rating 12,5 kA dan 20 kA yang menggunakan media pemutus tenaga yang menggunakan gas SF₆. Ini dilakukan karena gas SF₆ mempunyai kekuatan dielektrik yang tinggi di bandingkan 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.

Tabel 6. Hasil Pemilihan Pemutus Tenaga Penyulang Pada Gardu Induk Sei. Raya

Penyulang	Arus Gangguan Maksimum ($I_{hs3\phi}$) (kA)	Kapasitas Pemutus ($I_{hs3\phi} \times 1,6$) (kA)	PMT Rating (kA)	Media Pemutus
RAYA 2	6,036370	9,658193	12,5	SF ₆
RAYA 4	6,036370	9,658193	12,5	SF ₆
RAYA 8	6,036370	9,658193	12,5	SF ₆
RAYA 17	6,036370	9,658193	12,5	SF ₆
RAYA 18	6,036370	9,658193	12,5	SF ₆
RAYA 23	10,703842	17,126147	20	SF ₆
RAYA 24	10,703842	17,126147	20	SF ₆
RAYA 25	10,703842	17,126147	20	SF ₆
RAYA 26	10,703842	17,126147	20	SF ₆
RAYA 30	10,703842	17,126147	20	SF ₆
RAYA 7	6,036370	9,658193	12,5	SF ₆
RAYA 10	6,036370	9,658193	12,5	SF ₆
RAYA 11	6,036370	9,658193	12,5	SF ₆
RAYA 13	6,036370	9,658193	12,5	SF ₆
RAYA 14	6,036370	9,658193	12,5	SF ₆
RAYA 15	6,036370	9,658193	12,5	SF ₆

Sedangkan Pemutus Tenaga (PMT) 20 kV Penyulang Gardu Induk Sei. Raya yang terpasang (*existing*) ditunjukkan pada tabel di bawah ini :

Tabel 7. Pemutus Tenaga Penyulang GI. Sei. Raya (*Existing*)

NAMA PEMUTUS	MERK	RATING RUS (A)	RATING PEMUTUS (kA)
CB 20 KV Raya 2	MODALEK	800	20
CB 20 KV Raya 4	MODALEK	800	20
CB 20 KV Raya 8	MODALEK	800	20
CB 20 KV Raya 17	MERLIN GERIN	630	20
CB 20 KV Raya 18	MERLIN GERIN	630	20
CB 20 KV Raya 23	SIEMENS	1250	25
CB 20 KV Raya 24	SIEMENS	1250	25
CB 20 KV Raya 25	SIEMENS	1250	25
CB 20 KV Raya 26	SIEMENS	1250	25
CB 20 KV Raya 30	SCHNEIDER	630	25
CB 20 KV Raya 7	SIEMENS	1100	20
CB 20 KV Raya 10	SIEMENS	1100	20
CB 20 KV Raya 11	SIEMENS	630	20
CB 20 KV Raya 13	SIEMENS	800	20
CB 20 KV Raya 14	SIEMENS	800	20
CB 20 KV Raya 15	MERLIN GERIN	630	20

Sumber : PT PLN (Persero) APDP Kalbar (2017)

Dengan mengamati perbandingan rating pemutus tenaga (PMT) yang terpasang (*existing*) yang terdapat pada (tabel 4.4) terhadap hasil pemilihan rating pemutus tenaga (PMT) berdasarkan hasil perhitungan (tabel 4.5), diperoleh rating pemutus tenaga (PMT) yang terpasang (*existing*) lebih besar dari rating pemutus tenaga (PMT) berdasarkan hasil perhitungan sehingga dapat disimpulkan pemutus tenaga penyulang Gardu Induk Sei. Raya (*Existing*) masih layak digunakan sebagai pemutus tenaga.

4. Kesimpulan

Dari perhitungan arus gangguan hubung singkat yang telah dilakukan pada penyulang-penyulang Gardu Induk Sei. Raya, dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut :

- Berdasarkan data arus hubung singkat 3 fasa pada sisi 150 kV Gardu Induk Sei. Raya sebesar 5,7 kA yang diperoleh dari PT. PLN (Persero) APDP Kalimantan Barat, diperoleh MVA hubung singkat 3 fasa pada sisi primer Gardu Induk Sei. Raya sebesar 1480,903 MVA.
- Berdasarkan MVA Hubung Singkat Gardu Induk Sei. Raya sebesar 1480,903 MVA dan daya dasar (MVA_{base}) 100 MVA, diperoleh nilai ekivalen impedansi sumber pada Gardu Induk Sei. Raya sebesar 0,0675 pu.
- Gardu Induk Sei. Raya terdiri dari 3 (tiga) unit transformator daya. Berdasarkan hasil perhitungan, arus gangguan hubung singkat 3 fasa maksimum pada busbar 20 kV transformator 2 sebesar 10703,842 Ampere, dan pada busbar 20 kV transformator 1 dan 3 sebesar 6036,370 Ampere.
- Berdasarkan arus gangguan hubung singkat 3 fasa maksimum pada busbar 20 kV, kapasitas pemutus tenaga PMT 20 kV pada transformator 1 sebesar 9.658193 kA dengan pemilihan PMT yang tersedia

dipasaran sebesar 12,5 kA, kapasitas pemutus tenaga PMT 20 kV pada transformator 2 sebesar 17,126147 kA dengan pemilihan PMT yang tersedia dipasaran sebesar 20 kA, dan kapasitas pemutus tenaga PMT 20 kV pada transformator 3 sebesar 9.658193 kA dengan pemilihan PMT yang tersedia dipasaran sebesar 12,5 kA.

5. Perbandingan rating pemutus tenaga (PMT) yang terpasang (existing) lebih besar terdapat terhadap hasil pemilihan rating pemutus tenaga (PMT) berdasarkan perhitungan, sehingga dapat disimpulkan pemutus tenaga penyulang Gardu Induk Sei. Raya (Existing) masih layak digunakan sebagai pemutus tenaga.

Referensi

- [1] Hendra, dkk, 2015, "*Studi Penentuan Kapasitas Pemutus Tenaga Sisi 20 KV Pada Gardu Induk Sekayu*", Mikrotiga Vol 2, No. 1, Januari 2015.
- [2] Masykur, SJ, 2005, "Analisa Gangguan Hubung Singkat Tiga Fasa Pada Sistem Tenaga Listrik Dengan Metode Thevenin", Jurnal Sistem Teknik Industri Vol. 6, No. 3, Juli 2005.
- [3] Furqan, Harry, 2015, "Untuk Kerja Sistem Proteksi Arus Lebih Gardu Induk 150 KV Sei. Raya Pontianak", Jurnal Mahasiswa Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Tanjungpura, Pontianak, 2015.
- [4] Gonen, Turan, 1988, "Modern Power System Analysis", John Wiley & Sons Inc, USA, 1988.
- [5] Saadat, Hadi, 1999, "Power System Analysis", New York : McGraw-Hill Book Company.
- [6] Sirait, Bonar, 2012, "Diktat Kuliah Sistem Distribusi", Pontianak : Fakultas Teknik Universitas Tanjungpura.
- [7] Stevenson, Jr, W.D, 1983, "Analisis Sistem Tenaga Listrik", Edisi ke (4) empat, Erlangga, Jakarta, 1983.
- [8] Kersting H, William, 2002, "Distribution System Modelling and Analysis", CRC Press, New Mexico, 2002.
- [9] PLN, 2014, "Buku Pedoman Pemeliharaan Pemutus Tenaga", Jakarta : PT. PLN (Persero).
- [10] SPLN 59, 1985, "*Keandalan Pada Sistem Distribusi 20kV dan 6kV*". Jakarta : Perusahaan Umum Listrik Negara.

Biography

Chandra Firera Lubis, lahir di Jakarta pada tanggal 26 Maret 1988. Menempuh Pendidikan Program Strata I (S1) di Fakultas Teknik Universitas Tanjungpura sejak tahun 2012. Penelitian ini di ajukan sebagai syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik Elektro konsentrasi Teknik Tenaga Listrik Fakultas Teknik Universitas Tanjungpura.

Menyetujui :
Pembimbing Utama,

Dr. Ir. Rudy Gianto, MT
NIP. 196703271992031004

dipasaran sebesar 12,5 kA, kapasitas pemutus tenaga PMT 20 kV pada transformator 2 sebesar 17,126147 kA dengan pemilihan PMT yang tersedia dipasaran sebesar 20 kA, dan kapasitas pemutus tenaga PMT 20 kV pada transformator 3 sebesar 9.658193 kA dengan pemilihan PMT yang tersedia dipasaran sebesar 12,5 kA.

5. Perbandingan rating pemutus tenaga (PMT) yang terpasang (existing) lebih besar terdapat terhadap hasil pemilihan rating pemutus tenaga (PMT) berdasarkan perhitungan, sehingga dapat disimpulkan pemutus tenaga penyulang Gardu Induk Sei Raya (Existing) masih layak digunakan sebagai pemutus tenaga.

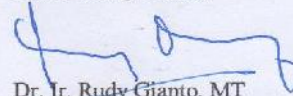
Referensi

- [1] Hendra, dkk, 2015, "*Studi Penentuan Kapasitas Pemutus Tenaga Sisi 20 KV Pada Gardu Induk Sekayu*", Mikrotiga Vol 2, No. 1, Januari 2015.
- [2] Masykur, SJ, 2005, "Analisa Gangguan Hubung Singkat Tiga Fasa Pada Sistem Tenaga Listrik Dengan Metode Thevenin", Jurnal Sistem Teknik Industri Vol. 6, No. 3, Juli 2005.
- [3] Furqan, Harry, 2015, "Untuk Kerja Sistem Proteksi Arus Lebih Gardu Induk 150 KV Sei. Raya Pontianak", Jurnal Mahasiswa Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Tanjungpura, Pontianak, 2015.
- [4] Gonen, Turan, 1988, "Modern Power System Analysis", John Wiley & Sons Inc, USA, 1988.
- [5] Saadat, Hadi, 1999, "Power System Analysis", New York : McGraw-Hill Book Company.
- [6] Sirait, Bonar, 2012, "Diktat Kuliah Sistem Distribusi", Pontianak : Fakultas Teknik Universitas Tanjungpura.
- [7] Stevenson, Jr, W.D, 1983, "Analisis Sistem Tenaga Listrik", Edisi ke (4) empat, Erlangga, Jakarta, 1983.
- [8] Kersting H, William, 2002, "Distribution System Modelling and Analysis", CRC Press, New Mexico, 2002.
- [9] PLN, 2014, "Buku Pedoman Pemeliharaan Pemutus Tenaga", Jakarta : PT. PLN (Persero).
- [10] SPLN 59, 1985, "*Keandalan Pada Sistem Distribusi 20kV dan 6kV*". Jakarta : Perusahaan Umum Listrik Negara.

Biography

Chandra Firera Lubis, lahir di Jakarta pada tanggal 26 Maret 1988. Menempuh Pendidikan Program Strata I (S1) di Fakultas Teknik Universitas Tanjungpura sejak tahun 2012. Penelitian ini di ajukan sebagai syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik Elektro konsentrasi Teknik Tenaga Listrik Fakultas Teknik Universitas Tanjungpura.

Menyetujui :
Pembimbing Utama,



Dr. Ir. Rudy Gianto, MT
NIP. 196703271992031004