



## Penentuan Kapasitas PMT SF6 Pada Bus 70 KV Menggunakan Simulasi Program ETAP

Jeri Widiyanto<sup>1</sup>, Rahmat Hidayat<sup>2</sup>, Arief Budi Laksono<sup>3</sup>

<sup>1,2</sup>Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Singaperbangsa Karawang.

<sup>3</sup> Prodi Teknik Elektro Universitas Islam Lamongan

Email : jerrywidiyanto45@gmail.com

### ABSTRAK

*Received* : 09-6-2021

*Accepted* : 15 -8-2021

*Published* : 20-9-2021

Sistem tenaga listrik terdiri dari beberapa komponen yaitu pembangkit, distribusi transmisi dan beban. Seiring dengan pesatnya perkembangan teknologi dalam bidang kelistrikan dewasa ini dipasang sebuah sistem proteksi pada gardu induk salah satunya yaitu pemutus tenaga (PMT) di setiap Gardu Induk. Pada saat terjadi gangguan maka relay proteksi akan mendeteksi dan memerintahkan pemutus tenaga untuk membuka atau memutuskan rangkaian dari gangguan tersebut, maka suatu pemutus tenaga akan menerima sinyal dari relay tersebut dan pada akhirnya akan memutuskan rangkaian sesuai rating arusnya. Berdasarkan tipe media isolasi PMT, PMT terbagi menjadi 4 jenis yang salah satunya terdapat tipe PMT media isolasi gas SF6. PMT jenis ini dapat digunakan untuk memutus arus sampai 40 KA dan pada rangkaian bertegangan 765 KV. Hal ini harus diperhatikan bahwa jika arus sangat besar pada saat hubung singkat, maka hal yang harus diperhatikan adalah kapasitas dari pemutus tenaga itu sendiri. Untuk menentukan kapasitas pemutus tenaga dicari dari arus hubung singkat terbesar yaitu hubung singkat tiga fasa. Dalam mencari arus hubung singkat tiga fasa dapat disimulasikan menggunakan program ETAP (Electric Transient Analysis Program). ETAP dapat mensimulasikan aliran daya dan arus hubung singkat. Hasil perhitungan kapasitas PMT pada bus 70 KV yaitu sebesar 0,324 KA dan dari hasil perhitungan dan analisis PMT tersebut masuk kedalam rating 12,5KA yang mana PMT dengan nilai rating tersebut dapat memutuskan arus gangguan dari 0,9 KA -7,74 KA.

**Kata Kunci** : Gardu Induk, Pemutus Tegangan (PMT) SF6, Bus 70KV Arus Hubung Singkat, program ETAP.

### ABSTRACT

The electric power system consists of several components, namely generation, distribution, transmission and load. Along with the rapid development of technology in the field of electricity today, a protection system is installed at substations, one of which is a power breaker (PMT) at each substation. In the event of a disturbance, the protection relay will detect and instruct the breaker to open or disconnect the circuit from the disturbance, then a circuit breaker will receive a signal from the relay and in the end will decide the circuit according to its current rating. Based on the type of PMT isolation media, PMT is divided into 4 types, one of which is the SF6 gas isolation media type. This type of PMT can be used to cut currents up to 40 KA and in circuits with a voltage of 765 KV. It must be noted that if the current is very large at the time of short circuit, then the thing that must be considered is the capacity of the breaker itself. To determine the breaker capacity, it is sought from the largest short-circuit current, namely a three-phase short circuit. In finding a three-phase short circuit current can be simulated using the ETAP (Electric Transient Analysis Program) program. ETAP can simulate power flow and short circuit current. The results of the calculation of the PMT capacity on the 70 KV bus are 0.324 KA and from the results of the calculation and analysis of the PMT it is included in the rating of 12.5 KA where the PMT with the rating value can decide the fault current from 0.9 KA -7.74 KA.

**Keywords**: Substation, Voltage Breaker (PMT) SF6, Bus 70KV Short Circuit Current, ETAP program.

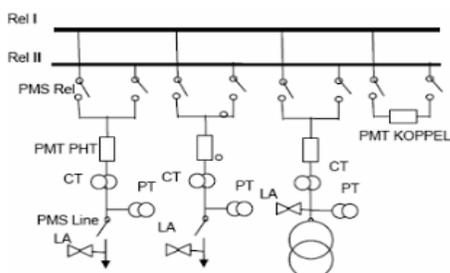
## I. PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Sistem tenaga listrik terdiri dari beberapa komponen yaitu pembangkit, distribusi transmisi dan beban. Dalam sistem distribusi diperlukannya suatu gardu induk yang berfungsi sebagai pengatur tegangan yang dihasilkan dari pembangkit dan disalurkan ke beban. Akan tetapi pada penyaluran sering terjadi beberapa masalah yang menyebabkan terganggunya pendistribusian ke beban. Seiring dengan pesatnya perkembangan teknologi dalam bidang kelistrikan dewasa ini dipasang sebuah sistem proteksi pada gardu induk salah satunya yaitu pemutus tenaga (PMT) di setiap Gardu Induk.

## 2. METODE PENELITIAN

Gardu induk di Bendungan Curug Kosambi yang merupakan unit Pembangkitan cabang PLTA IR. H. Djuanda ini memiliki sistem double busbar dalam proses pentransmisiannya. Gardu induk sistem double busbar adalah gardu induk yang mempunyai dua (double) busbar. Gardu induk double busbar sangat efektif untuk mengurangi terjadinya pemadaman beban, khususnya pada saat melakukan perubahan sistem (pada saat pemeliharaan busbar).



**Gambar 1. Diagram Gardu Induk Sistem Double Busbar**

Gardu induk ini mentransmisikan energi listrik ke beban sesuai dengan rating yang telah ditentukan. Pada proses pentransmisi dan pendistribusian energi listrik dari pembangkit menuju beban. Tegangan yang dihasilkan oleh generator unit 1 sebesar 6,3 KV lalu dinaikan menggunakan transformator unit 1 menjadi 150 KV kemudian ditransmisikan menuju bus 70 KV pada area Curug Kosambi. Penulis mengangkat pembahasan pada jalur pendistribusian Curug Kosambi dari generator sampai PMT BUS 70 KV.

Proyek sistem tenaga listrik memiliki

masing-masing elemen rangkaian yang dapat diedit langsung dari diagram satu garis dan atau jalur sistem pentanahan. Untuk kemudahan hasil perhitungan analisis dapat ditampilkan pada diagram satu garis. Berbagai bentuk analisis antara lain : *Load flow analysis* dan *Short-Circuit Analysis*.

#### a. *Load flow analysis*

Program *Load flow analysis* pada software ETAP dapat menghitung tegangan pada tiap-tiap cabang, aliran arus pada sistem tenaga listrik, dan aliran daya yang mengalir pada sistem tenaga listrik. Metode perhitungan aliran daya dapat dipilih untuk efisiensi perhitungan yang lebih baik. Metode perhitungan aliran daya pada software ETAP ada tiga, yaitu: Newton Raphson, Fast-Decouple dan Gauss Seidel .

#### b. *Short-Circuit Analysis*

*Short-Circuit Analysis* pada Etap Power Station menganalisa gangguan hubung singkat tiga fasa, satu fasa ke tanah, antar fasa dan dua fasa ke tanah pada sistem tenaga listrik. Program *Short-Circuit Analysis* Etap *PowerStation* menghitung arus total hubung singkat yang terjadi. Etap *Power Station* menggunakan standar ANSI/IEEE (seri C37) dan IEC (IEC 909 dan lainnya) dalam menganalisa gangguan hubung singkat yang bisa dipilih sesuai dengan keperluan.

Saat memulai *Short-Circuit Analysis* maka single line diagram (SLD) sistem tenaga listrik digambarkan terlebih dahulu dengan memperhatikan komponen serta peralatan yang digunakan. Etap *PowerStation* dirancang sesuai dengan tiga konsep utama:

#### 1) *Virtual Reality* Operasi

Sistem operational yang ada pada program sangat mirip dengan sistem operasi pada kondisi real nya. Misalnya, ketika membuka atau menutup sebuah sirkuit breaker, menempatkan suatu elemen pada sistem, mengubah status operasi suatu motor, dan untuk kondisi de-energized pada suatu elemen dan sub-elemen sistem ditunjukkan pada gambar single line diagram dengan warna abu-abu.

#### 2) *Total Integration Data*

Etap *Power Station* menggabungkan

informasi sistem elektrikal, sistem logika, sistem mekanik, dan data fisik dari suatu elemen yang dimasukkan dalam sistem database yang sama. Misalnya, untuk elemen subuah kabel, tidak hanya berisikan data kelistrikan dan tentang dimensi fisiknya, tapi juga memberikan informasi melalui *raceways* yang di lewati oleh kabel tersebut. Dengan demikian, data untuk satu kabel dapat digunakan untuk dalam menganalisa aliran beban (*load flow analysis*) dan analisa hubung singkat (*short-circuit analysis*) yang membutuhkan parameter listrik dan parameter koneksi- serta perhitungan *ampacity* derating suatu kabel yang memerlukan data fisik routing.

### 3) *Simplicity in Data Entry*

Etap *Power Station* memiliki data yang detail untuk setiap elemen yang digunakan. Dengan menggunakan editor data, dapat mempercepat proses entri data suatu elemen. Data-data yang ada pada program ini telah di masukkan sesuai dengan data-data yang ada di lapangan untuk berbagai jenis analisa atau desain.

## 2.1. Hasil Pengamatan

Perhitungan Arus Gangguan Hubung Singkat Dalam mencari arus hubung singkat tiga fasa yang terjadi pada sistem maka dapat menggunakan persamaan-persamaan dibawah ini :

### ✚ Menentukan MVA hubung singkat

$$MVASC3\phi = ISC3\phi \times \sqrt{3} \times Vbase \quad (3-1)$$

Dimana :

$MVASC3\phi$  = Daya hubung singkat (MVA)

$ISC3\phi$  = Aus hubung singkat (Amper)

$Vbase$  = Tegangan dasar (KV)

### ✚ Menentukan Impedansi Sumber

$$ZS = \frac{MVAbase}{MVAsc3\phi} \quad (3-2)$$

Dimana :

$Zbase$  = Impedansi dasar (ohm)

$ZS$  = Impedansi sumber (pu)

$KVbase$  = Tegangan dasar (KV)

$MVAbase$  = Daya dasar (MVA)

$MVASC3\phi$  = MVA hubung singkat tiga fasa (MVA)

### ✚ Menentukan Impedansi Transformator

$$ZTnew = ZTold \times \frac{MVAnew}{MVAold} \times \frac{KVold^2}{KVnew^2} \quad (3-3)$$

Dimana :

$ZTnew$  = Impedansi transformator baru (pu)

$ZTold$  = Impedansi transformator lama (pu)

$MVAnew$  = Daya dasar baru (MVA)

$MVAold$  = Daya dasar lama (MVA)

$KVold$  = Tegangan dasar lama (KV)

$KVnew$  = Tegangan dasar lama (KV)

### ✚ Menentukan Impedansi Penyulang

$$Zbase = \frac{KVbase^2}{MVAbase} \quad (3-4)$$

$$ZL = \frac{Zpenyulang}{Zbase} \quad (3-5)$$

Dimana :

$ZL$  = Impedansi penyulang (pu)

$KVbase$  = Tegangan dasar (KV)

$MVAbase$  = Daya dasar (MVA)

$Zpenyulang$  = Impedansi penyulang (ohm)

$Zbase$  = Impedansi dasar (ohm)

### ✚ Menentukan Arus Hubung Singkat Tiga Fasa Untuk mencari arus hubung singkat tiga fasa dalam ampere sebelumnya harus dicari terlebih dahulu nilai $Ibase$ dengan rumus :

$$Ibase = \frac{MVAbase \times 1000}{\sqrt{3} \times KVbase} \quad (3-6)$$

$$Ihs3\phi = \frac{V(pu)}{Ztotal(pu)} \quad (3-7)$$

$$Ihs3\phi = Ihs3\phi(pu) \times Ibase \text{ Ampere} \quad (3-8)$$

Dimana :

$Ibase$  = Arus dasar (Ampere)

$KVbase$  = Tegangan dasar (KV)

$MVAbase$  = Daya dasar (MVA)

$Ihs3\phi$  = Arus hubung singkat tiga fasa

$Vpu$  = Sistem per unit (pu)

$Ztotal$  = Impedansi total (pu)

### Rating Arus Pemutus Tenaga (PMT)

Rating arus adalah arus total terbesar yang dapat diputuskan dengan baik. Besar arus ini tergantung dari waktunya membukanya alat pemutus daya itu. Faktor pengali dan lamanya waktu membuka alat pemutus tenaga (PMT) ditunjukkan pada table dibawah ini :

Tabel 3.1. Faktor pengali PMT

Waktu membukanya PMT	Faktor pengali
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

✚ Menghitung kapasitas pemutus tenaga (PMT) dapat menggunakan rumus :

$$ICB = I_h s3\phi \times \text{Faktor pengali} \quad (3-9)$$

Dimana :

$ICB$  = Rating arus PMT

$I_h s3\phi$  = Arus hubung singkat tiga fasa

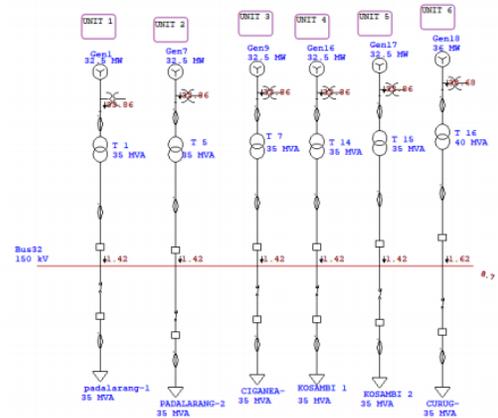
Dalam menentukan kapasitas rating PMT dilihat terlebih dahulu  $I_h s3\phi$  dan sesuaikan dengan rating yang telah ada seperti tabel dibawah ini :

Tabel 3.2. seleksi rating PMT

kA Hubung singkat	Seleksi rating kA PMT
0,97 kA – 7,74 kA	12,5 kA
7,75 kA – 15,38 kA	25 kA
15,39 kA – 27,33 kA	31,5 kA
27,34 kA – 35,37 kA	50 kA
35,38 kA – 51,68 kA	65 kA

### 3. ANALISA DAN PEMBAHASAN

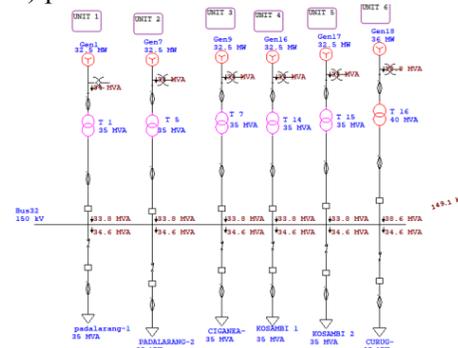
Data teknis yang digunakan dalam simulasi menentukan arus hubung singkat, aliran daya dan daya hubung singkat sesuai dengan data teknis yang ada :



Gambar 4.3 Simulasi arus hubung singkat menggunakan ETAP

( $ISC3\phi$ ) Arus hubung singkat yang didapatkan yaitu sebesar : 8.7 Ka secara keseluruhan namun arus hubung singkat pada bus 70 kV curug adalah sebesar 1.62 kA

Daya yang akan dicari yaitu daya semu (MVA) pada trafo dan beban :



Gambar 4.4 Simulasi Load flow analysis menggunakan ETAP

( $MVA_{new}$ ) daya semu yang didapatkan pada beban yaitu : 34.6 MVA ( $MVA_{old}$ ) daya semu yang didapatkan pada trafo yaitu : 38.6 MVA

Interrupting Duty Summary Report

3-Phase Fault Current: (Prefault Voltage = 100% of the Bus Nominal Voltage)

Bus	LV	Device	Interrupting Duty	
			Symmetrical	Adjusted Symmetrical
ID		Type	kA rms	MVA
Bus02	150.000		8.744	2271.638

Method: IEEE - 318 is calculated from separate R & X network  
 MV CB interrupting capability is adjusted based on bus nominal voltage  
 Generator protective device duty is calculated based on maximum through fault current. Other protective device duty is calculated based on real fault current.

Gambar 4.5 Hasil report manager MVA hubung singkat

( $ISC3\phi$ ) Arus hubung singkat yang didapatkan dari report manager yaitu sebesar : 8.744 KA ( $MVASC3\phi$ ) daya hubung singkat yang didapatkan dari report manager sebesar : 2.271,638 MVA

Dalam menghitung kapasitas PMT data

yang digunakan adalah data teknik yang sudah ada dan hasil simulasi menggunakan ETAP .

#### ✚ Menentukan MVA Hubung singkat

$$\begin{aligned} V_{Asc3\phi} &= ISC3\phi \times \sqrt{3} \times KV_{base} \\ &= 8,7 \times \sqrt{3} \times 150 \\ &= 2.260,32 \text{ MVA} \end{aligned}$$

#### ✚ Menentukan Impedansi Sumber

$$\begin{aligned} Z_S &= \frac{MVA_{base}}{MVA_{sc3\phi}} \\ &= \frac{2.260,32}{34,6} \\ &= 0,013 \text{ pu} \end{aligned}$$

#### ✚ Menentukan Reaktansi Transformator

$$\begin{aligned} Z_{Tnew} &= Z_{Told} \times \frac{MVA_{new}}{MVA_{old}} \times \frac{KV_{old}^2}{KV_{new}^2} \\ &= j0,125 \times \frac{34,6}{38,6} \times \frac{70^2}{70^2} \\ &= j0,125 \times \frac{34,6}{38,6} \times \frac{4900}{4900} \\ &= j0,125 \times 0,896 \times 1 = j0,112 \text{ pu} \end{aligned}$$

#### ✚ Menentukan Impedansi Penyulang

$$\begin{aligned} Z_{base} &= \frac{KV_{base}^2}{MVA_{base}} \\ &= \frac{34,6}{4900} \\ &= \frac{34,6}{4900} \\ &= 141,618 \Omega \\ Z_L &= \frac{Z_{penyulang}}{Z_{base}} \\ &= \frac{0,430 + j0,82}{141,618} \\ &= 0,003 + j0,00579 \text{ pu} \end{aligned}$$

#### ✚ Menentukan Arus Hubung Singkat 3 Fasa

$$\begin{aligned} I_{base} &= \frac{MVA_{base} \times 1000}{\sqrt{3} \times KV_{base}} \\ &= \frac{34,6 \times 1000}{\sqrt{3} \times 70} \\ &= 28,538 \text{ A} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_{hs3\phi} &= \frac{V_{pu}}{Z_{total} (pu)} \\ &= \frac{1}{j0,013 + j0,112 + j0,00579 + 0,003} \\ &= \frac{1}{43,586} < 88,686^0 \\ &= 7,092 < 88,686^0 \text{ pu} \\ I_{hs3\phi} &= I_{hs3\phi} (pu) \times I_{base} \\ &= 7,092 \times 28,538 \\ &= 202,391496 \text{ A} \\ ICB &= I_{hs3\phi} \times 1,6 \\ &= 0,202 \times 1,6 \\ &= 0,324 \text{ KA} \end{aligned}$$

Dalam proses simulasi short-circuit analysis, load flow analysis dan MVA hubung singkat pada report manager menggunakan program ETAP menghasilkan data pada tabel dibawah ini :

Tabel 4.2. Hasil simulasi software ETAP

Satuan	Nilai
$I_{sc3\phi}$	8.7 KA
MVA pada trafo	38,6 MVA
MVA pada beban	34,6 MVA
$MVA_{sc3\phi}$	2.271,638 MVA

Hasil perhitungan kapasitas PMT pada bus 70 kv yaitu sebesar 0,324 KA dan dari hasil perhitungan dan analisis PMT tersebut masuk kedalam rating 12,5 KA (sesuai dengan Tabel 3.2) yang mana PMT dengan nilai rating tersebut dapat memutuskan arus gangguan dari 0,9 KA -7,74 KA.

## 4. PENUTUP

### 4.1. Kesimpulan

Kesimpulan dari penelitian ini adalah :

1. ETAP dapat mensimulasikan aliran daya dan arus hubung singkat
2. Analisis hubung singkat dapat digunakan untuk memperoleh besarnya arus gangguan hubung singkat sehingga dapat ditentukan proteksi yang tepat pada

- Sistem Tenaga Listrik.
3. Berdasarkan hasil perhitungan dan simulasi, PMT bus 70 kv Bendungan Curug memiliki rating sebesar 12,5 KA
  4. Dengan mencari nilai arus hubung singkat, kita dapat menentukan berapa kapasitas PMT.

## DAFTAR PUSTAKA

- Bonggas L. Tobing. 2003. *Peralatan Tegangan Tinggi*. Jakarta : PT Gramedia Pustaka Utama
- Hendra, E. Lazuardi, M. Suparlan. 2015. *Studi Penentuan Kapasitas Pemutus Tenaga Sisi 20 KV Pada Gardu Induk Sekayu, Mikrotiga Vol 2, No. 1, Januari 2015*.
- LSTDE UNAND. 2013. *Tentang ETAP (Electric Transient and Analysis Program) Power Station*. Padang : <http://stdelaboratory.blogspot.com/2013/11/tentang-etap-electric-transient-and.html> (diakses 24 Maret 2020).
- PERUM JASA TIRTA II. 2002. *PEDOMAN OPERASI DAN PEMELIHARAAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA AIR Ir.H.DJUANDA*. Purwakarta : PERUM JASA TIRTA II
- PT PLN. 2014. *Buku Pedoman Pemeliharaan PEMUTUS TENAGA*. Jakarta : PT PLN
- Stevenson William D, 1994. *Analisa Sistem Tenaga Listrik*. Jakarta: Gelora Aksara Pratama. PT PLN. Proteksi Sistem Penyaluran. Bogor : PT PLN