

Studi Pengaman Busbar pada Gardu Induk Amlapura

I Made Dian Purnawan¹, I Gede Dyana Arjana², I Wayan Rinas³

Abstract— Busbar safety is a protection system that plays an important role in securing the disruption of the busbar itself. This protection system should work in a sensitive, selective, rapid, and must be stable to disturbance outside the region busbar protection. At the substation Amlapura, if one busbar impaired or absence of the busbar securing safety as on the other substation, will lead to an imbalance perceived by the system and can lead to continuity of power flow can be disrupted. Based on the calculations that have been done shows that for short circuit simulation results busbar A and B obtained Amlapura substation fault current that occurs in the amount of 5.538 kA. For the calculation of the impedance zone 1 (80%) primer is 1.9721 + 5.715 Ω A Zsekunder with a time delay of 0 seconds or work instantly, Zone 2 (120%) primer is 5.55 Ω Z + J 16.0836 primary, Zone 2 (120%) the secondary is 2.958 + J 8.5726 Ω Zsekunder with a time delay of 0.4 seconds.

Intisari— Pengaman busbar adalah suatu sistem proteksi yang berperanan penting dalam mengamankan gangguan yang terjadi pada busbar itu sendiri. Sistem proteksi ini harus bekerja secara sensitif, selektif, cepat, dan harus stabil untuk gangguan yang terjadi diluar daerah proteksi busbar. Pada Gardu Induk Amlapura, jika salah satu busbar mengalami gangguan atau tidak adanya pengaman yang mengamankan busbar tersebut seperti yang ada pada Gardu Induk lain, akan mengakibatkan adanya ketidakseimbangan yang dirasakan oleh sistem dan dapat mengakibatkan kontinuitas aliran daya dapat terganggu. Berdasarkan perhitungan yang telah dilakukan diperoleh hasil yaitu untuk hasil simulasi short circuit busbar A dan B Gardu Induk Amlapura didapatkan arus gangguan yang terjadi yaitu sebesar 5,538 kA. Untuk hasil perhitungan impedansi Zona 1 (80%) primer adalah 1,9721 + J 5,715 Ω Zsekunder dengan time delay sebesar 0 detik atau bekerja seketika, Zona 2 (120%) primer adalah 5,55 + J 16,0836 Ω Z primer, Zona 2 (120%) sekunder adalah 2,958 + J 8,5726 Ω Zsekunder dengan time delay sebesar 0,4 detik.

Kata Kunci— Busbar, Rele, Short Circuit Analysis, impedansi

I. PENDAHULUAN

Busbar merupakan bagian utama dari suatu gardu induk yang berfungsi sebagai tempat terhubungnya semua bay [1]. Umumnya gardu induk didesain dengan konfigurasi dua busbar (*double busbar*), namun juga masih terdapat gardu induk yang memiliki satu busbar (*single busbar*).

¹Mahasiswa, Jurusan Teknik Elektro dan Komputer Fakultas Teknik Universitas Udayana, Jalan Bedugul Selatan Asri, By Pas Ir. Soekarno Tabanan 82113 (telp: 082247374105; e-mail: dianpurnawan9@gmail.com)

²Dosen, Jurusan Teknik Elektro dan Komputer Fakultas Teknik Universitas Udayana, Jalan Sutoyo No. 11A Denpasar (telp : 081338342001; e-mail: dyanaarjana@ee.unud.ac.id)

³Dosen, Jurusan Teknik Elektro dan Komputer Fakultas Teknik Universitas Udayana, Br. Tengah Manggis Karangasem (telp : 08123664588; e-mail: rinas@unud.ac.id)

Gardu induk Amlapura memiliki dua buah transformator tenaga dengan kapasitas 20 MVA dan 30 MVA yang

digunakan untuk mensuplai beban di wilayah GI Amlapura dengan menggunakan konfigurasi *double busbar*. Untuk menyalurkan daya dari Gardu Induk Gianyar menuju Gardu Induk Amlapura menggunakan saluran *double circuit* dengan panjang 33,76 km dan jenis dari salurannya adalah ACSR HAWK 240 mm². Pada busbar tidak terdapat pengaman yang memproteksi sedangkan hanya pada saluran transmisi GI Gianyar – GI Amlapura yang terdapat pengaman. Pada Gardu Induk Amlapura, jika salah satu busbar mengalami gangguan atau tidak adanya pengaman yang mengamankan busbar tersebut seperti yang ada pada Gardu Induk lain, akan mengakibatkan adanya ketidakseimbangan yang dirasakan oleh sistem dan dapat mengakibatkan kontinuitas aliran daya dapat terganggu. Tidak adanya pengaman yang memproteksi busbar tidak akan dapat menghilangkan gangguan tersebut dan mengakibatkan terjadinya pemadaman, karena Gardu Induk Amlapura tidak terdapat *backup* pengaman untuk mengamankan busbar. Untuk menghilangkan gangguan tersebut yaitu dengan cara memutus aliran daya yang berasal dari GI Gianyar.

II. IMPEDANSI SALURAN TRANSMISI

Cara saluran transmisi terdiri dari impedansi urutan positif, impedansi urutan negatif, dan impedansi urutan nol.[2]

Perhitungan impedansi dapat dituliskan dalam rumus sebagai berikut :

$$Z = R + j(X_L + X_C) \quad (1)$$

dengan :

Z = Impedansi (Ω)

R = Resistansi (Ω)

X_L = Reaktansi induktif (Ω)

X_C = Reaktansi kapasitif (Ω)

Sedangkan untuk mencari total impedansi suatu saluran transmisi dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$Z = R + j(X_L - X_C) \times L \quad (2)$$

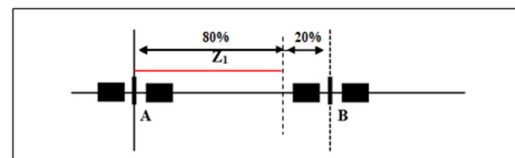
dengan :

L = Panjang saluran (km)

a) *Time actual* dan *setting* pada zone 1

Zone 1 reach = 0,8 x panjang saluran pertama (Z_{AB}) (3)

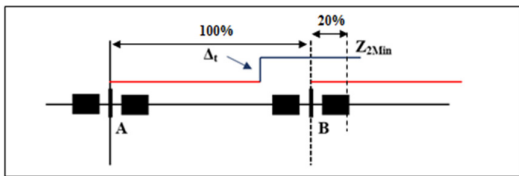
$T_1 = 0$ detik (tanpa perlambatan waktu)



Gambar 1: Skema Proteksi Zone 1 Pada Rele Jarak

b) *Time actual* dan *setting* pada zone 2

Zone 2 min = 1,2 x panjang saluran pertama (Z_{AB}) (4)

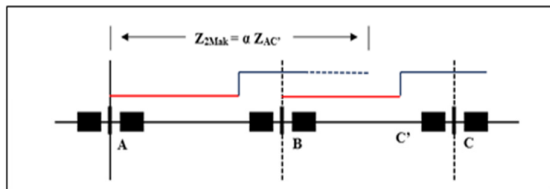


Gambar 2: Skema Proteksi Zone 2 Min Pada Rele Jarak

$$Zone\ 2\ maks = 0,8 \times (Z_{AB} + 0,8 \cdot Z_{BC}) \quad (5)$$

Zone 2 maks ini diusahakan memberikan pengamanan cadangan sejauh mungkin setelah Z1.

$$T_2 = 0,4\ \text{sampai dengan}\ 0,8\ \text{detik}$$



Gambar 3: Skema Proteksi Zone 2 Maks Pada Rele Jarak

c) Reaktansi Transformator

Untuk mencari nilai reaktansi transformator dalam ohm dihitung dengan cara sebagai berikut.

$$X_t\ (\text{pada}\ 100\%) = \frac{kV^2}{MVA} \quad (6)$$

Dimana :

X_t = Reaktansi Trafo (ohm)

kV^2 = Tegangan sisi sekunder trafo tenaga (kV)

MVA = Kapasitas daya trafo tenaga (MVA)

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Data Impedansi Penghantar Sistem Bali

Berikut merupakan data impedansi penghantar sistem bali yang digunakan sebagai acuan dalam menghitung impedansi zona pengamanan busbar.

TABEL 1 DATA IMPEDANSI PENGHANTAR GARDU INDUK AMLAPURA

No	Penghantar ACSR 240 mm ²	X	R	Panjang (km)	Impedansi Urutan		Angle
					Total Positive	Total Nol	
1	Gianyar - Amlapura 1	0,397	0,137	33,76	4,625 + J 13,403	9,689 + J 40,174	71
2	Gianyar - Amlapura 2	0,397	0,137	33,76	4,625 + J 13,403	9,689 + J 40,174	71

B. Data Beban di Gardu Induk Amlapura

Data beban ini digunakan untuk melengkapi parameter yang terdapat dalam simulasi ETAP dalam menghitung short circuit. Berikut merupakan data transformator pada Gardu Induk Amlapura.

TABEL 2 DATA BEBAN DI GARDU INDUK AMLAPURA

No.	Gardu Induk	No. Trafo	Daya Terpasang	Rasio Teg. (kV)	Arus Nom. (A)
1.	Amlapura	1	20 MVA	150/20	76,979
2.	Amlapura	2	30 MVA	150/20	115,465
3.	Capasitor	1	25 MVAR	150/20	116,66
4.	Capasitor	2	25 MVAR	150/20	116,66

C. Data Busbar 150 kV Gardu Induk Amlapura

Data busbar 150 kV pada Gardu Induk Amlapura dapat dilihat pada tabel dibawah ini:

TABEL 3 DATA BUSBAR 150 KV GARDU INDUK AMLAPURA

No.	Busbar 150 kV	Data Penghantar	
		Teg (kV)	Q(mm ²)
1.	Busbar A	150	2 x 410
2.	Busbar B	150	410

D. Perhitungan Arus Hubung Singkat Pada Busbar GI Amlapura

Berdasarkan data – data yang dijelaskan diatas, akan dilakukan simulasi perhitungan arus hubung singkat pada Gardu Induk Amlapura dengan menggunakan software ETAP 12.6.

TABEL 4. TAMPILAN REPORT SHORT CIRCUIT PADA BUSBAR A GI AMLAPURA

Contribution		1/2 Cycle			
From Bus ID	To Bus ID	kA Real	kA Imaginary	Imag./Real	kA Symm. Magnitude
BUS A Amlapura	Total	1,069	-5,25	4,9	5,358
Bus 25	Bus 15	0,535	-2,625	4,9	2,679
Bus 26	Bus 14	0,535	-2,625	4,9	2,679
BUS B Amlapura	BUS A Amlapura	0,535	-2,625	4,9	2,679
Bus 1	BUS A Amlapura	0,535	-2,625	4,9	2,679

TABEL 5. TAMPILAN REPORT SHORT CIRCUIT PADA BUSBAR B GI AMLAPURA

Contribution		1/2 Cycle			
From Bus ID	To Bus ID	kA Real	kA Imaginary	Imag./Real	kA Symm. Magnitude
BUS A Amlapura	Total	1,069	-5,25	4,9	5,358
Bus 26	Bus 14	0,535	-2,625	4,9	2,679
Bus 25	Bus 15	0,535	-2,625	4,9	2,679
BUS A Amlapura	BUS B Amlapura	0,535	-2,625	4,9	2,679
Bus 1	BUS A Amlapura	0,535	-2,625	4,9	2,679



Berdasarkan hasil report pada gambar 1 dapat diketahui besarnya arus gangguan yang terjadi pada busbar B Gardu Induk Amlapura. Dengan menggunakan *Short-Circuit Analysis* pada *software* ETAP 12.6 dan menempatkan *fault* atau menemukannya gangguan pada busbar B maka didapat besarnya arus gangguan atau *short circuit* yang terjadi pada busbar A adalah sebesar 5,538 kA.

Berdasarkan hasil report gangguan pada gambar 2 dapat diketahui besarnya arus gangguan yang terjadi pada busbar B Gardu Induk Amlapura. Dengan menggunakan *Short-Circuit Analysis* pada *software* ETAP 12.6 maka dapat diketahui besarnya arus gangguan atau *short circuit* yang terjadi pada busbar B adalah sebesar 5,538 kA. Besarnya arus gangguan yang terjadi pada busbar B sama dengan arus gangguan yang terjadi pada busbar A Gardu Induk Amlapura, hal itu dikarenakan baik panjang penghantar, besar impedansi, dan parameter – parameter lain yang terdapat pada busbar tersebut sama.

E. Perhitungan Impedansi

Saluran transmisi antara GI Gianyar – GI Amlapura memiliki panjang saluran sekitar 33,76 km. Dengan penghantar yang digunakan adalah penghantar ACSR HAWK 240 mm². Berikut ini perhitungan impedansi urutan positif (Z1) dan impedansi urutan negatif (Z2) sesuai dengan persamaan 2.5, impedansi urutan nol (Z0), dan impedansi total (Ztotal) berdasarkan pada persamaan dibawah ini :

- Penghantar ACSR HAWK 240 mm², L = 33,76 km
 $R = 0,137 \Omega/\text{km}$, $X = 0,397 \Omega/\text{km}$ berdasarkan data pada tabel 4.1
 $Z = R + jX$
 $Z = 0,137 + j 0,397 \Omega/\text{km}$
- Impedansi urutan positif (Z1) dan negatif (Z2) :
 $Z1 = Z2$
 $Z1 = (R + jX) \cdot L$
 $Z1 = (0,137 + j 0,397) \Omega/\text{km} \cdot 33,76 \text{ km}$
 $Z1 = 4,625 + j 13,403 \Omega$
- Impedansi urutan nol (Z0) :
 $Z0 = ((0,15 + R) + j (3 \cdot X)) \cdot L$
 $Z0 = ((0,15 + 0,137) + j (3 \cdot 0,397)) \Omega/\text{km} \cdot 33,76 \text{ km}$
 $Z0 = ((0,287 + j 1,191)) \Omega/\text{km} \cdot 33,76 \text{ km}$
 $Z0 = 9,689 + j 40,208 \Omega$
- Impedansi total (Ztotal) :
 $Z_{total} = Z1 + Z2 + Z0$
 $Z_{total} = (4,625 + j 13,403) + (4,625 + j 13,403) + (9,689 + j 40,208)$
 $Z_{total} = 18,939 + j 67,014 \Omega$

Untuk perhitungan impedansi pada zona 1 80% dan zona 2 120% berdasarkan persamaan dibawah ini, data – data yang diperoleh adalah sebagai berikut:

- Penghantar GI Gianyar – GI Amlapura : ACSR HAWK 240 mm²
- Panjang Saluran GI Gianyar – GI Amlapura : 33,76 km
- Impedansi Positif GI Gianyar – GI Amlapura 1 (Z_{L1}) : 4,625 + J 13,403Ω
- Impedansi Positif GI Gianyar – GI Amlapura 2 (Z_{L2}) : 4,625 + J 13,403Ω
- Rasio *Current Transformer* (CT) : 800/1A
- Rasio *Potential Transformer* (PT) : 150000/100 V

1. Impedansi Zone 1 (80%)

Berdasarkan persamaan 3 untuk melakukan perhitungan pada *zone* 1 (80%) adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned} Z_1 \text{ primer} &= 0,8 \times Z_1 \\ &= 0,8 \times (4,625 + J 13,403) \\ &= 3,7 + J 10,7224 \Omega \\ &= \sqrt{3,7^2 + 10,7224^2} \tan^{-1} \frac{10,7224}{3,7} \\ &= \sqrt{13,69 + 114,969} \tan^{-1} 2,898 \\ &= \sqrt{128,659} \angle 70,96^0 \Omega \\ &= 11,343 \angle 70,96^0 \Omega \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Z_{sec} &= Z_{pri} \times CT/PT \\ &= (3,7 + J 10,7224 \Omega) \times 0,533 \\ &= 1,9721 + J 5,715 \Omega \text{ Zsekunder} \\ &= 6,046 \angle 70,96^0 \Omega \text{ Zsekunder} \end{aligned}$$

$$T1 = 0 \text{ detik (Seketika)}$$

2. Impedansi Zone 2 (120%)

Berdasarkan persamaan 3 untuk melakukan perhitungan pada *zone* 2 (120%) adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} Z_2 \text{ p} &= 1,2 \times Z_1 \\ &= 1,2 \times (4,625 + J 13,403) \\ &= 5,55 + J 16,0836 \Omega \\ &= \sqrt{5,55^2 + 16,0836^2} \tan^{-1} \frac{16,0836}{5,55} \\ &= \sqrt{30,8025 + 258,682} \tan^{-1} 2,898 \\ &= \sqrt{289,485} \angle 70,96^0 \Omega \\ &= 17,014 \angle 70,96^0 \Omega \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Z_{sec} &= Z_{pri} \times 0,533 \\ &= (5,55 + J 16,0836 \Omega) \times 0,533 \\ &= 2,958 + J 8,5726 \Omega \\ &= 9,0689 \angle 70,96^0 \Omega \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Z2 \text{ max} &= 0,8 \times (Z_{L1} + 0,8 \cdot Z_{L2}) \\ &= 0,8 \times (4,625 + J 13,403 \Omega + 0,8 \cdot 4,625 + J 13,403 \Omega) \\ &= 0,8 \times (4,625 + J 13,403 \Omega + 3,7 + J 10,7224 \Omega) \\ &= 0,8 \times (8,325 + J 24,125 \Omega) \\ &= 6,66 + J 19,3 \Omega \end{aligned}$$

Impedansi Trafo GI Amlapura 150/20 kV 12,82% , sesuai dengan persamaan 6 maka nilai reaktansi trafo yaitu :

$$XT = \frac{Z \times kV^2}{MVA}$$

$$XT = \frac{0,1282 \cdot 150^2}{30}$$

$$XT = 96,15 \Omega$$

$$\begin{aligned} Ztrafo &= 0,8 \times (Z_{1L1} + 0,5 \cdot J \cdot XT) \\ &= 0,8 \times (4,625 + J 13,403\Omega + 0,5 \cdot J 96,15 \Omega) \\ &= 0,8 \times (4,625 + J 13,403\Omega + J 48,075 \Omega) \\ &= 0,8 \times (4,625 + J 61,478 \Omega) \\ &= 3,7 + J 49,182 \Omega \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Z2b &= Z_{1L1} + 0,8 \cdot Z_{1L2} \\ &= 4,625 + J 13,403\Omega + 0,8 \cdot (4,625 + J 13,403\Omega) \\ &= 4,625 + J 13,403\Omega + 3,7 + J 10,7224 \Omega \\ &= 8,325 + J 24,1254 \Omega \end{aligned}$$

Selanjutnya dipilih *zone 2* terbesar, tetapi tidak lebih daripada *zone 2* trafo :

$$Z21 \max = Z2 \max \cdot (|Z2 \max| > |Zone 2 \text{ reach}|) + |Zone 2 \text{ reach}| \cdot (|Zone 2 \text{ reach}| > |Z2 \max|)$$

$$Z22 \max = Z21 \max \cdot (|Z21 \max| < |Ztrafo|) + Ztrafo \cdot (|Ztrafo| < |Z21 \max|)$$

$$Z2P = Z22 \max \cdot (|Z22 \max| < |Z2b|)$$

$$Z21 \max = \mathbf{19,3} \quad (19,3 > 16,08 + 16,08 \cdot (16,08 > 19,3))$$

$$Z22 \max = \mathbf{19,3} \quad (19,3 < 49,182) + 49,182 \cdot (49,182 < 19,3)$$

$$Z2P = \mathbf{19,3} \cdot (19,3 < 24,13)$$

$$Z2P = Z2 \max$$

$$= 6,66 + J 19,3 \Omega$$

$$Z2S = Z2P \times CT/PT$$

$$= (6,66 + J 19,3 \Omega) \times 0,533$$

$$= 3,55 + J 4,957 \Omega$$

$$T2 = 0,4 (|Z2b| > |Z22 \max|) + 0,8 (|Z22 \max| > |Z2b|)$$

$$= \mathbf{0,4} \quad (24,13 > 19,3) + 0,8 \quad (19,3 > 24,13)$$

$$= 0,4 \text{ detik}$$

Dari hasil simulasi *short circuit* dengan menggunakan *software* ETAP dan hasil perhitungan impedansi busbar Gardu Induk Amlapura, untuk hasil simulasi *short circuit* busbar A dan B Gardu Induk Amlapura didapatkan arus gangguan yang terjadi yaitu sebesar 5,538 kA. Untuk hasil perhitungan impedansi Zona 1 (80%) primer adalah 3,7 + J 10,7224 Ω Z primer, Zona 1 (80%) sekunder adalah 1,9721 + J 5,715 Ω Zsekunder dengan *time delay* sebesar 0 detik atau bekerja seketika, Zona 2 (120%) primer adalah 5,55 + J 16,0836 Ω Z

primer, Zona 2 (120%) sekunder adalah 2,958 + J 8,5726 Ω Zsekunder dengan *time delay* sebesar 0,4 detik.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis dan pembahasan yang telah dilakukan, maka dapat ditarik simpulan yaitu, untuk hasil simulasi *short circuit* busbar A dan B Gardu Induk Amlapura didapatkan arus gangguan yang terjadi yaitu sebesar 5,538 kA. Untuk hasil perhitungan impedansi Zona 1 (80%) primer adalah 1,9721 + J 5,715 Ω Zsekunder dengan *time delay* sebesar 0 detik atau bekerja seketika, Zona 2 (120%) primer adalah 5,55 + J 16,0836 Ω Z primer, Zona 2 (120%) sekunder adalah 2,958 + J 8,5726 Ω Zsekunder dengan *time delay* sebesar 0,4 detik.

Pada busbar Gardu Induk Amlapura, besar arus hubung singkat (I_{HS}) pada busbar tersebut adalah 5,538 kA yang masih berada dibawah arus maksimum yang dapat dihantarkan oleh suatu busbar yaitu sebesar 20 kA/detik. Dengan tidak adanya pengamanan yang mengamankan busbar pada Gardu Induk Amlapura, pada saat busbar mengalami suatu gangguan, maka akan menyebabkan terganggunya kontinuitas aliran daya yang berasal dari Gardu Induk Gianyar dan jika gangguan tersebut tidak dihilangkan akan terjadi *black out* pada sistem Gardu Induk Amlapura. Salah satu cara untuk menghilangkan gangguan tersebut jika tidak terdapatnya pengamanan adalah memutus aliran daya yang berasal dari Gardu Induk Gianyar.

REFERENSI

- [1] Manurung, J.M.T. 2012. "Studi Pengaman Busbar 150 kV Pada Gardu Induk Siantan": Universitas Tanjungpura.
- [2] Mason, C.R. 1956. *The Art and Science of Protective Relaying*. New York : John Wiley & Sons.
- [3] Tobing, C.N.H. 2008. Rele Jarak Sebagai Proteksi Saluran Transmisi. Depok : Departemen Elektro Fakultas Teknik Universitas Indonesia.
- [4] Arismunandar, A., Kuwahara, S. 2004. Buku Pegangan Teknik Tenaga Listrik II. Jakarta : Pradnya Paramita.
- [5] Erydita, D. K. 2013. "Studi Gangguan Hubung Singkat Pada Jaringan Transmisi 150 kV di Bali.
- [6] Pramono, J, dkk. 2010. Makalah Teknik Tenaga Listrik : "Transmisi Tenaga Listrik", Depok : Departemen Teknik Elektro UI.
- [7] Ridwan, A. 2015. Studi pengaruh Mutual Inductance terhadap Setting Rele Jarak Pada Saluran Transmisi Double Circuit 150 kV Antara GI Kapal – GI Pemecutan Kelod.

