

ANALISIS PERENCANAAN PEMUTUS TENAGA *BAY SHUNT CAPACITOR* DI GARDU INDUK (GI) SUMENEP

**Muhammad Fahmi Hakim¹, Sigi Syah Wibowo², Fiqri Dwi Novari
Bakhtiar³**

^{1,2,3}Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Malang

Abstrak

Dalam rangka menanggulangi jatuh tegangan di Gardu Induk (GI) Sumenep maka PT. PLN telah melakukan kajian tentang pemasangan *shunt capacitor*. Kajian tersebut menghasilkan ketetapan perlu dilakukan pemasangan *shunt capacitor* dengan kapasitas 25 MVAR. Agar *shunt capacitor* dan jaringan yang terhubung dapat beroperasi dengan aman maka diperlukan pemasangan peralatan Pemutus Tenaga (PMT)/*Circuit Breaker* (CB). PMT ini harus dapat memutuskan arus hubung singkat dan arus gangguan lain jika terjadi gangguan pada saluran yang diproteksinya. Dengan mempertimbangkan pentingnya adanya perencanaan yang seksama terhadap PMT, maka perlu diadakan penelitian mengenai analisis perencanaan spesifikasi PMT yang terhubung dengan *bay shunt capacitor* di GI Sumenep. Berdasarkan hasil perhitungan dan analisis yang telah dilakukan maka jenis PMT yang dipilih berdasarkan media pemadam busur listrik adalah PMT dengan Gas SF₆ karena memiliki beberapa kelebihan jika dibandingkan dengan PMT dengan media pemadam busur listrik lainnya. PMT merk AREVA dengan tipe GL 313 F3 karena telah memenuhi spesifikasi yang direncanakan.

Kata-kata kunci: GI Sumenep, *shunt capacitor*, PMT.

Abstract

In order to overcome the voltage drop at Sumenep substation, PT. PLN has conducted a study of the installation of shunt capacitors. The study resulted in the determination of the need to install a shunt capacitor with a capacity of 25 MVAR. For the safety of shunt capacitor and the connected network, it is necessary to install the Circuit Breaker (CB) equipment. This CB must be able to clear the short circuit current and other fault currents if there is fault. Considering the importance of planning CB, a research on the analysis of PMT specification planning

that is connected to the bay shunt capacitor needs to be conducted at Sumenep Substation. Based on the results of calculations and analyzes that have been carried out, the type of PMT chosen based on electric arc extinguishing media is PMT with SF₆ Gas because it has several advantages compared to PMT with other electric busbar extinguishing media. PMT AREVA brand with type GL 313 F3 has been chosen because it meets the planned specifications.

Keywords: *Sumenep Substation, shunt capacitor, CB.*

1. PENDAHULUAN

Tegangan nominal di GI Sumenep adalah sebesar 150 kV. Akan tetapi pada saat terjadi beban puncak, nilai tegangan hanya mencapai 138 kV. Hal ini berarti bahwa nilai tegangan pada GI Sumenep tersebut mengalami penurunan dengan besaran yang hampir mencapai batas paling rendah yang ditetapkan Peraturan Menteri ESDM No. 03 Tahun 2007. Dalam rangka menanggulangi jatuh tegangan di GI Sumenep maka PT. PLN telah melakukan kajian tentang pemasangan *shunt capacitor*. Kajian tersebut menghasilkan ketetapan perlu dilakukan pemasangan *shunt capacitor* dengan kapasitas 25 MVAR. Agar *shunt capacitor* dan jaringan yang terhubung dapat beroperasi dengan aman maka diperlukan pemasangan peralatan Pemutus Tenaga (PMT)/*Circuit Breaker* (CB). PMT ini harus dapat memutuskan arus hubung singkat dan arus gangguan lain jika terjadi gangguan pada saluran yang diproteksinya Dengan mempertimbangkan pentingnya adanya perencanaan yang seksama terhadap PMT, maka perlu diadakan penelitian mengenai analisis perencanaan spesifikasi PMT yang terhubung dengan *bay shunt capacitor* di GI Sumenep.

2. KAJIAN PUSTAKA

2.1 DEFINISI DAN FUNGSI PMT

Definisi PMT menurut IEC (*International Electrotechnical Vocabulary*) 441-14-20 adalah peralatan saklar atau *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* atau gangguan seperti kondisi *short*

circuit atau hubung singkat. PMT ini bisa berfungsi sebagai penghubung arus beban nominal agar sistem dapat beroperasi ataupun sebagai pemutus arus beban nominal dan arus hubung singkat maupun arus gangguan lainnya jika terjadi gangguan. Dalam perencanaan kapasitas PMT harus disesuaikan dengan rating yang ada di pasaran dan standar yang ada. Pada umumnya kapasitas PMT yang digunakan di GI bernilai lebih dari 1000 A. Dalam bekerja, PMT ini memerlukan relay yang mampu mendeteksi arus gangguan dan memberi perintah ke PMT.

2.2 SPESIFIKASI PMT

Perencanaan PMT bisa diawali dengan memilih media pemadam busur api. Tabel I berikut menunjukkan jenis-jenis media pemadam busur api, tipe pemutusan, dan rating dari PMT.

TABEL 1 KLASIFIKASI MEDIA PEMADAMAN BUSUR API PMT

Type	Klasifikasi Tipe Pemutusan	Rating PMT	
		Tegangan (kV)	Arus Breaking (kA)
Oil CB	Plain break type	3,6 - 7,2	4 - 8
	Are extinguish Chamber type	3,6 - 36	12,5 - 63
		72 - 420	25 - 50
Air CB	Air-filled-at-Interruption type	12 - 36	12,5 - 120
	Air-filled-at-all-Times type	72 - 800	12,5 - 63
Gas CB	Double pressure type	3,6 - 36	12,5 - 100
	Single pressure type	72 - 800	20 - 100
Vacuum CB	Magnetic driving type	3,6 - 36	8 - 100
	Axial direct Magnetic field type	72 - 168	12,5 - 40
Magnetic CB	Blow-out <i>coil</i> scheme Loop are scheme	3,6 - 15	12,5 - 60

Dalam merencanakan spesifikasi PMT, parameter yang perlu diperhatikan antara lain, rating frekuensi, rating tegangan, rating arus hubung singkat, rating arus nominal, *insulation level*, rating *short circuit making current*, rating *short time current*, *First-pole-to-clear-factor*, *crepage distance*, *line charging breaking current*, *operating sequence*.

Rating tegangan standar IEC yang dapat digunakan terbagi menjadi dua kelompok, antara lain:

- Kelompok I, yaitu rating tegangan dengan nilai di bawah 245 kV, terdiri dari seri I yang digunakan pada frekuensi 50 Hz dan seri II untuk frekuensi 60 Hz. Nilai standar tegangan seri I yaitu 3,6 kV – 7,2 kV – 12 kV – 17,5 kV – 24 kV – 36 kV – 52 kV – 72,5 kV – 100 kV – 123 kV – 145 kV – 170 kV – 245 kV serta nilai standar tegangan seri II: 4,76 kV – 8,25 kV – 15 kV – 15,5 kV – 25,8 kV – 27 kV – 38 kV – 48,3 kV – 72,5 kV – 123 kV – 145 kV – 170 kV – 245 kV
- Kelompok II, yaitu kelompok tegangan standar dengan nilai di atas 245 kV, antara lain 300 kV – 362 kV – 420 kV – 550 kV – 800 kV.

Berdasarkan standar SPLN 9B: 1978 tentang rating PMT untuk tegangan tinggi, besar rating *making current* minimal sebesar 2,5 kali dari rating arus hubung singkat. Rating *insulation level* berkaitan dengan *Basic Insulation Level* (BIL). BIL itu sendiri terdiri dari *lightning impulse withstand voltage* dan *power frequency withstand voltage*. Standar IEC 60694 tentang BIL dapat dilihat pada Tabel 2.

TABEL 2 RATING *INSULATION LEVEL* UNTUK RATING TEGANGAN PADA KELOMPOK I, SERIES I [Sumber: IEC 60694]

Rated voltage kV (r.m.s value)	Rated power-frequency withstand voltage kV (r.m.s. value)		Rated lightning impulse withstand voltage kV (peak value)	
	Common value	Across the isolating distance	Common value	Across the isolating distance
3,6	10	12	20	23
			40	46
7,2	20	23	40	46
			60	70
12	28	32	60	70
			75	85

17,5	38	45	75	85
			95	110
24	50	60	95	110
			125	145
36	70	80	145	165
			170	195
52	95	110	250	290
72,5	140	160	325	375
100	150	175	380	440
	185	210	450	520
123	185	210	450	520
	230	265	550	630
145	230	265	550	630
	275	315	650	750
170	275	315	650	750
	325	375	750	860
245	360	415	850	950
	395	460	950	1050
	460	530	1050	1200

First-pole-to-clear-factor pada PMT yaitu faktor yang dipengaruhi oleh kenaikan tegangan sampai ke nilai maksimum ketika kutub yang pertama terbuka saat terjadinya gangguan.

TABEL 3 KLASIFIKASI *FIRST-POLE-TO-CLEAR-FACTOR*

[Sumber: IEC 62271]

Rated voltage (U)	First-pole-to-clear-factor (<i>kpp</i>)
$U \leq 72,5$ kV	1,5
$72,5 \leq U \leq 245$ kV	1,3 atau 1,5
$U \geq 245$ kV	1,3

Nilai *Short-time Withstand Current* ditentukan minimal sebesar dua belas kali dari arus nominal atau kecuali jika ada persyaratan khusus dari produsen. Rating *peak withstand current* disesuaikan dengan frekuensi yang digunakan pada sistem. Apabila sistem menggunakan nilai frekuensi sebesar 50 Hz maka rating *peak withstand current* nilai sama dengan 2,5 kali rating *short-time withstand current*, sedangkan untuk nilai frekuensi 60

Hz itu sama dengan 2,6 kali rating *short-time withstand current* (IEC 60694: 2001). *Creepage distance* merupakan jarak terpendek yang harus dimiliki oleh isolator. Panjang isolator diukur dari permukaan satu ke permukaan lainnya. Besar *creepage distance* menurut standar IEC 60815 tergantung pada tingkat polusi pada daerah tersebut, untuk tingkat polusi yang sangat berat dipilih *creepage distance* dengan spesifikasi minimal 31 mm/kV. Untuk PMT dengan tegangan pengenalan 72,5 kV ke atas harus dirancang agar mampu digunakan untuk proses *switching* saluran udara yang kosong tanpa beban. Rating *line-charging breaking current* dapat dilihat pada Tabel 4.

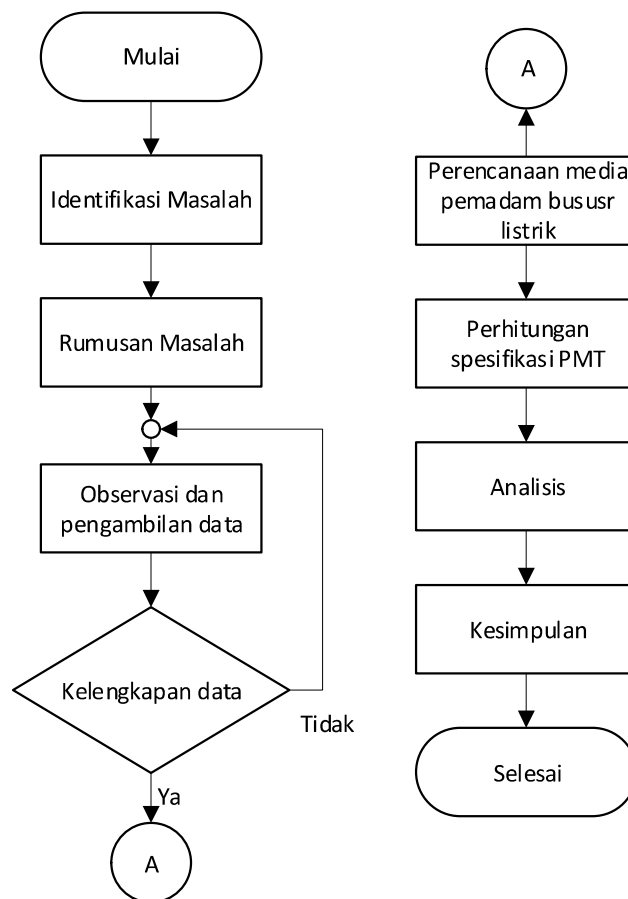
TABEL 4 RATED LINE-CHARGING BREAKING CURRENT [Sumber IEC 62271]

Rated voltage (kV)	Rated line-charging breaking current (A)
72,5	10
100	20
123	31,5
145	50
170	63
245	125
300	200
362	315
420	400
525	500

3. METODE

Langkah-langkah penyelesaian permasalahan adalah sebagai berikut. Langkah pertama adalah mengidentifikasi permasalahan yang ada di GI Sumenep yaitu perlu adanya perencanaan PMT yang memproteksi *bay shunt capacitor* yang akan direncanakan PT. PLN. Setelah itu dilakukan perumusan masalah dan menentukan tujuan yang ingin dicapai di penelitian yaitu untuk menganalisis perencanaan spesifikasi PMT yang sesuai di pasaran untuk memproteksi *bay shunt capacitor* di GI Sumenep. Langkah selanjutnya yaitu pengambilan data gangguan dengan wawancara

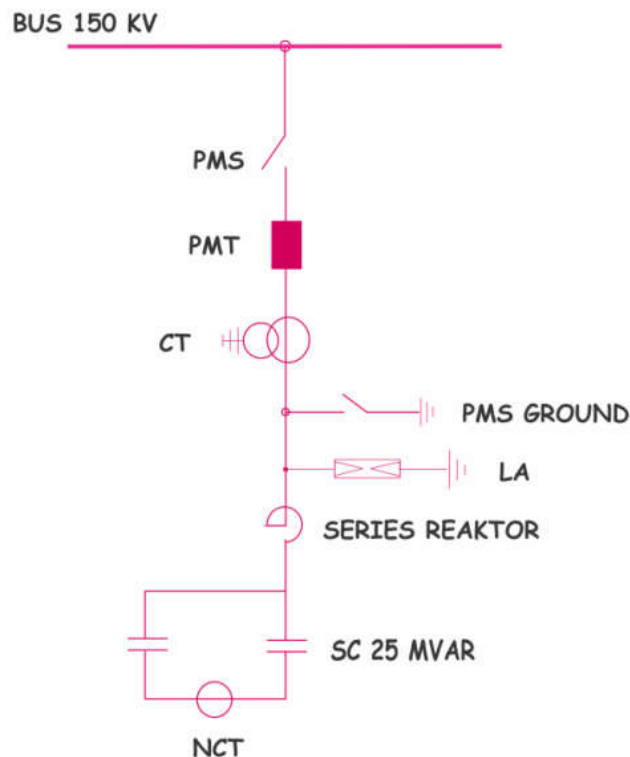
maupun observasi langsung di lapangan tentang diagram segaris Sub Sistem Krian-Gresik, data tegangan tiap bus, kapasitas *shunt capacitor* yang telah ditetapkan oleh PLN, dan data PMT yang ada di pasaran. Data yang didapat kemudian dikumpulkan dan ditulis ulang di komputer. Pengecekan kembali terhadap data – data yang diperlukan untuk analisis lebih lanjut, jika ada data yang kurang lengkap maka kembali ke langkah sebelumnya. Setelah mendapatkan data yang dibutuhkan, dilakukan pemilihan media pemadam busur listrik di PMT. Tahap berikutnya adalah melakukan perhitungan spesifikasi PMT sesuai kebutuhan. Selanjutnya dilakukan analisis berupa perbandingan dan pemilihan PMT yang ada di pasaran sesuai desain yang telah direncanakan. Langkah berikutnya yaitu menyimpulkan hasil analisis.



GAMBAR 1 DIAGRAM ALIR PENELITIAN

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pemilihan Media Pemadam Busur Listrik



GAMBAR 2 DIAGRAM GARIS TUNGGAL PENEMPATAN PMT DI BAY SHUNT CAPACITOR

Pada Gambar 2 dapat dilihat bahwa PMT ditempatkan sebelum *Shunt Capacitor* 25 MVAR karena digunakan untuk memproteksi kapasitor tersebut. Pemilihan media pemadam busur listrik PMT tergantung pada rating tegangan sistem yang akan diamankan. Berdasarkan Tabel I dapat diketahui bahwa *Oil* CB, *Air* CB, *Gas* CB, dan *Vacuum* CB adalah media pemadam busur listrik yang dapat digunakan pada rating tegangan tinggi (150 kV). Dari keempat jenis media pemadaman busur listrik, dipilih PMT dengan gas SF₆ karena ukuran tidak terlalu besar dan tidak memakan banyak tempat, harga material yang lebih murah, konstruksi tidak begitu rumit, tidak rawan terhadap kebocoran gas.

4.2 Pemilihan Rating PMT

Hal pertama yang harus diperhatikan adalah besaran frekuensi antara CB yang akan dipilih dengan frekuensi pada sistem. Di Indonesia frekuensi yang digunakan adalah 50 Hz, sehingga semua pemilihan peralatan harus memiliki rating frekuensi sebesar 50 Hz. Kapasitor yang dipasang mengikuti sistem tegangan 150 kV pada GI Sumenep, maka PMT yang digunakan untuk proses *switching* kapasitor dipilih dengan rating tegangan sebesar 170 kV sesuai dengan standar IEC di kajian pustaka. Rating arus hubung singkat PMT disesuaikan dengan nilai arus hubung singkat akibat gangguan yang terjadi pada GI Sumenep, yaitu sebesar 2,431 kA sesuai data yang diperoleh dari PT. PLN.

Arus nominal *shunt capacitor* pada GI Sumenep sebesar:

$$I_n = \frac{Q_c}{\sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{25000 \text{ kVAR}}{\sqrt{3} \cdot 150 \text{ kV}} = 96,256 \text{ A}$$

Dengan arus nominal yang mengalir sebesar 96,256 A maka rating arus nominal untuk kapasitor GI Sumenep harus lebih besar dari nilai tersebut. Sedangkan rating *making current* minimal sebesar $2,5 \times 2,431 \text{ kA} = 6,0775 \text{ kA}$. Berdasarkan Table II pada rating tegangan 170 kV, BIL yang direkomendasikan sebesar 750 kV untuk *lightning impulse withstand voltage* dan sebesar 325 kV untuk *power frequency withstand voltage*. Nilai *first-pole-to-clear-factor* atau yang disebut *kpp* ditentukan berdasarkan Tabel III. Untuk PMT dengan rating tegangan 170 kV memiliki *kpp* antara 1,3 atau 1,5. Besar *creepage distance* menurut standar IEC 60815 tergantung pada tingkat polusi pada daerah tersebut. GI Sumenep berada di wilayah dengan tingkat polusi masih tergolong rendah karena masih belum terlalu banyak industri yang berdiri di daerah tersebut. Maka dari itu pemilihan *creepage distance* dipilih level polusi medium sehingga jarak isolatornya adalah 20 mm/kV.

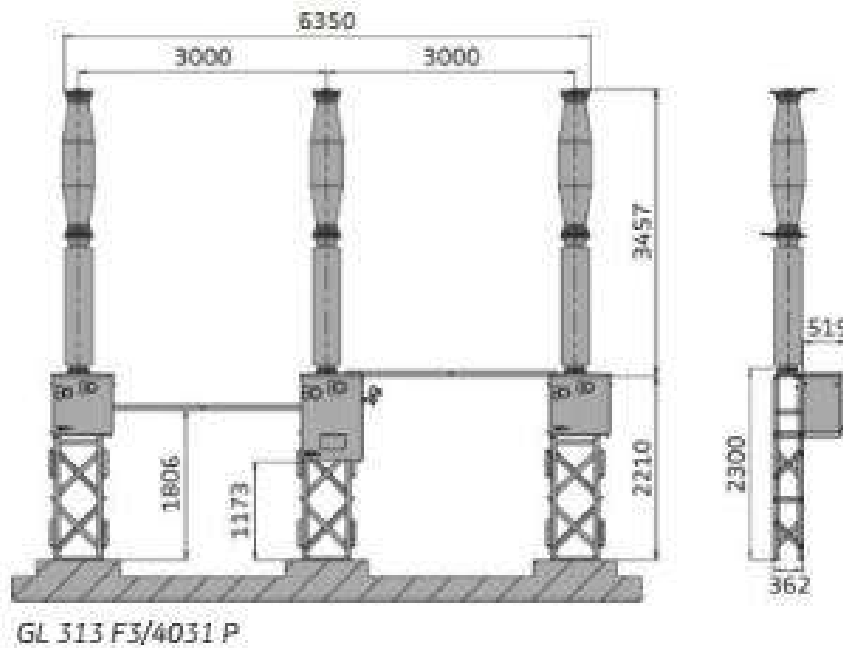
Berdasarkan Tabel IV, rating *line-charging breaking current* untuk rating tegangan 170 kV adalah 63 A.

Rekapitulasi dari hasil perhitungan dan analisis yang telah dilakukan dapat dilihat pada Tabel 5 berikut ini.

TABEL 5 PENYESUAIAN HASIL PERHITUNGAN DENGAN RATING YANG ADA DI PASARAN

Jenis Rating	Hasil Perhitungan	Nilai di Pasaran
Frekuensi	-	50 Hz
Tegangan	150 kV	170 kV
Insulation Level :	-	750
- <i>Lightning Impulse</i>	-	325
- <i>Power Frequency</i>		
Arus Nominal	96,256 A	
<i>Short Circuit Making Current</i>	6,0775 kA	
Rating Arus Hubung Singkat	2,431 kA	
Rating <i>Short Time Current</i>	1 s	1 s
<i>First-pole-to-clear-factor</i> (kpp)		1,3
<i>Creepage distance</i>		20 mm/kV
<i>Line Charging Breaking Current</i>		63 A
<i>Operating Sequence</i>		O-0,3 s-CO-3 min-CO

Dari Tabel V dipilih PMT dengan merk AREVA dengan tipe GL 313 F3 karena telah memenuhi kriteria sebagaimana hasil perhitungan.



GAMBAR 3 BENTUK FISIK PMT AREVA TIPE GL 313 F3

5. PENUTUP

Kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian ini antara lain:

- 1) jenis PMT yang dipilih berdasarkan media pemadam busur listrik adalah PMT dengan Gas SF₆ karena memiliki kelebihan dibandingkan dengan PMT dengan media pemadam busur listrik lainnya;
- 2) setelah melakukan perhitungan dan analisis maka dipilih PMT merk AREVA dengan tipe GL 313 F3 karena telah memenuhi spesifikasi yang direncanakan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] International Electrotechnical Commission. 2001. IEC 60694. *IEC Common Specification for High Voltage Switchgear and Controlgear Standard*. Switzerland: International Electrotechnical Commission.
- [2] International Electrotechnical Commission. 2007. IEC 62271. *High - Voltage Switchgear and Controlgear Part 1: Common Specification*. Switzerland: International Electrotechnical Commission.

- [3] International Electrotechnical Commission. 2009. IEC 60815. *Selection and Dimensioning of High Voltage Insulators Intended for Use in Polluted Conditions – Part: 2 Ceramic and Glass Insulators for a.c. Systems*. Switzerland: International Electrotechnical Commission.
- [4] IEC 60050(441). 1984. *International Electrotechnical Vocabulary (IEV) – Chapter 441: Switchgear, controlgear and fuses*. Switzerland: International Electrotechnical Commission.
- [5] Peraturan Menteri Energi Dan Sumber Daya Mineral Nomor 3 Tahun 2007 tentang Aturan Sistem Jaringan Tenaga Listrik Jawa-Madura-Bali. 2007. Jakarta: Kementrian Energi Dan Sumber Daya Mineral
- [6] Pusdiklat PT. PLN (Persero). 2014. *Buku Pedoman Pemutus Tenaga*. Jakarta: Pusdiklat PT. PLN (Persero).
- [7] SPLN 9B: 1978 tentang High Voltage Alternating Current Circuit Breakers Part 2. 1978. Jakarta: PT PLN.
- [8] Grid-AIS-L3-GL_313-0105-2017_02-EN. 2017. GEGridSolutions.com. Retrieved January 4, 2018, from https://www.gegridsolutions.com/products/brochures/Grid-AIS-L3-GL_313-0105-2017_02-EN.pdf
- [9] JEC 2390 Standard. *General Requirements for High-voltage Switchgear and Controlgear*
- [10] Karyana. 2013. *Buku Pedoman dan Petunjuk Sistem Proteksi Transmisi dan Gardu Induk Jawa Bali*. Jakarta : PT. PLN (Persero).
- [11] Stephen, O. O; Yanli, L; Hui, S. 2011. International Journal of Electrical & Sciences IJECS – IJENS Vol : 11 No : 06. Nigeria : IJECS – IJENS.
- [12] Stevenson, W. D. Jr. 1984. Analisis Sistem Tenaga Listrik. Jakarta: Erlangga.