

ANALISIS EFFISIENSI PENYALURAN KABEL LAUT 150 kV GILIMANUK 3 dan 4 YANG MENGHUBUNGKAN INTERKONEKSI JAWA-BALI DENGAN METODE ROCK DUMPING

Ruwah Joto¹

Abstrak

Transmisi tenaga listrik dari pembangkit listrik ke pusat beban atau konsumen memegang peranan yang sangat penting. Oleh karena itu memerhatikan rugi daya dan drop tegangan. Daya yang hilang mengacu pada panas yang dihasilkan pada bagian konduktor kabel (konduktor, selubung, dan armour) dan sebagian isolasi kabel. Nilai daya yang hilang dalam konduktor, selubung, dan armour terutama tergantung pada nilai arus. Penelitian ini mengenai metode penggelaran kabel bawah laut dan perhitungan rugi daya dan jatuh tegangan kabel listrik bawah laut dengan isolasi XLPE, tegangan kerja 150 kV, sirkuit Gilimanuk 3 dan 4 interkoneksi Jawa-Bali. Kabel memiliki penampang konduktor (300 mm²) kabel 3-core, dengan konduktor tembaga.

Metode yang digunakan untuk penggelaran kabel bawah laut adalah metode rock dumping. Nilai daya yang hilang di konduktor kabel adalah 738566,87 W. Rugi Dielektrik pada kabel listrik bawah laut berisolasi XLPE adalah 7992,5 W. Nilai total kerugian sebesar 746846,62 W. Persentase drop tegangan mencapai 0,02% dan nilai jatuh tegangannya adalah 30 volt / km.

Kata-kata kunci: kabel laut, rugi daya, drop tegangan

Abstract

Transmission of electric power from power plants to the load center or customer hold very important part. It is necessary to calculate power loss and voltage drop. Power loss refer to the heat generated in cable conducting parts (phase conductors, sheath, and armour) and in cable insulating part. The value of power loss in conductors, sheath, and armour mainly depend on current values. This paper discussed about

¹ *Ruwah Joto. Dosen Program Studi Teknik Listrik Politeknik Negeri Malang*

submarine cable laying method and the calculation of power losses and voltage drop in XLPE insulated submarine power cables of 150 kV rated voltage, circuit Gilimanuk 3 and 4 Java-Bali interconnection. The cable had a cross section of conductor (300 mm²) 3-core cable, with copper conductor.

The methods used to laying the submarine cable is rock dumping method. Value of power loss in cable conducting parts is 738566,87 W. Dielectric losses in XLPE insulated submarine power cable is 7992,5 W. Total losses value is 746846,62 W. The percentage voltage drop reaches 0,02% and voltage drop value is 30 volt/.

Keywords: *submarine power cable, power loss, voltage drop.*

1. PENDAHULUAN

Beban puncak (penggunaan maksimal) pada saat ini di sub sistem Bali sebesar 493 MW, di mana kebutuhan beban puncak ini disuplai oleh kabel laut sebesar 220 MW, pembangkit BBM (PLTD/PLTG sebesar 376 MW). Dengan proyeksi pertumbuhan kebutuhan listrik rata-rata 9,21 % per tahun, jika tanpa adanya tambahan pasokan tenaga listrik baru, maka diprediksi akan terjadi defisit daya sebesar rata-rata 600 MW. Oleh karena itu PT. PLN (Persero) berusaha untuk meningkatkan sistem kelistrikan interkoneksi Jawa – Bali yang sudah tersedia menjadi sebesar 400 MW dengan penambahan Submarine Cable.

Saluran kabel ini akan menambah pasokan energi listrik ke Bali sekitar 200 megawatt. Namun kenyataannya pada saluran transmisi tegangan tinggi terdapat rugi – rugi yang disebabkan oleh beberapa faktor sehingga mengakibatkan tegangan mengalami penurunan atau biasa disebut dengan jatuh tegangan.

2. KAJIAN PUSTAKA

2.1 Konstruksi Kabel Laut

Kabel tenaga jenis isolasi plastik, khususnya kabel yang menggunakan cross-linking polyethylene sedang dikembangkan teknik pembuatannya. Kecenderungan baru ini pengembangan secara cepat kabel dengan dielektrik padat menyatakan secara tidak langsung bahwa kabel minyak sampai tegangan 275 kV segera diganti dengan kabel dengan isolasi cross-linked polyethylene. (Aslimeri, 2008:3)



Gambar 1. Konstruksi Kabel Laut

2.2 Rugi-rugi Daya Pada Saluran Kabel Laut

Pada saluran transmisi, rugi daya dipengaruhi oleh tahanan pada saluran, tahanan pelindungnya, bahan dielektrik kabel dan oleh adanya arus pemuatan. Kerugian pada saluran bawah laut tersebut secara garis besar disebabkan oleh arus beban dan non arus beban, dapat dituliskan dalam rumus:

$$P_{\text{loss}} = P_1 + P_{\text{nl}} \quad (1)$$

Dimana:

P_{loss} = kerugian total (W)

P_1 = kerugian karena arus beban (W)

P_{nl} = kerugian non arus beban (W)

3. METODE

a. Waktu dan Tempat Penelitian

Untuk pengambilan data dan penyelesaian penelitian di PT. PLN (Persero) Penyaluran dan Pusat Pengaturan Beban Jawa-Bali, APP Probolinggo, Gardu Induk Banyuwangi dan APP Bali, Gardu Induk Gilimanuk.

b. Metode Pengambilan Data

-Studi Literatur

Studi Literatur adalah jenis – jenis referensi yang diambil penulis sebagai acuan penulisan yang berupa Buku / E-book, jurnal penelitian yang sudah ada, atau artikel yang kebenarannya bisa dipertanggung jawabkan.

-Observasi Observasi adalah pengamatan penulis pada kondisi lapangan yang dilakukan, agar lebih mengetahui masalah yang sebenarnya terjadi dan untuk mendapatkan informasi tentang data beban dan peralatan beserta spesifikasinya.

-Wawancara

Wawancara dilakukan penulis untuk mendapatkan informasi dari operator tempat yang bersangkutan u, sehingga informasi yang di dapat lebih akurat.

c.Data Kabel Laut

Tegangan Operasi Nominal	150/87 kV
Tegangan Sistem Maksimum	170 kV
Kapasitas Nominal Transmisi	≥ 130 MVA
Arus Nominal, In	≥ 500 A
Luas Penampang Nominal	≥ 300 mm ²
Faktor Beban Harian	100 %
Arus Short Circuit Maksimum, 3 fasa per 1 detik	40 kA
Arus Gangguan ke Tanah Maksimum, per 1 detik	40 kA
Level isolasi (BIL) 1,2/50 us	750 kV
Frekuensi	50 z

4. PEMBAHASAN DAN ANALISIS

4.1 Rugi Daya Yang Tergantung Arus Beban

4.1.1Tahanan Arus Searah Konduktor Pada Temperatur Maksimum

Parameter y menghitung tahanan arus searah (R_{DC}) pada saluran transmisi kabel laut 150 kV sirkuit Gilimanuk 3 dan 4 Jawa-Bali adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \text{Suhu Konduktor Awal } (T_0) &= 20^\circ\text{C} \\
 \text{Suhu Konduktor Maksimum } (T_1) &= 85^\circ\text{C} \\
 \text{Koefisien Suhu } (\alpha) &= 0,00393/^\circ\text{C} \\
 \text{Tahanan DC Pada Suhu Awal} &= 6,01 \times 10^{-5} \Omega/\text{m} \\
 R_{DC1} = R_{DC0} (1 + \alpha (T_1 - T_0)) \\
 &= 6,01 \times 10^{-5} (1 + 0,00393 (85 - 20)) \\
 &= 7,545 \times 10^{-5} = \Omega/\text{m}
 \end{aligned}$$

4.1.2 Faktor Efek Mengulit

Gejala kerapatan arus dalam penampang konduktor tersebut makin besar ke arah permukaan kawat disebut efek mengulit (*skin effect*).

$$\text{Frekuensi sistem } (f) = 50 \text{ Hz}$$

$$\text{Konstanta efek mengulit } (k_s) = 1$$

$$x_s = \sqrt{\frac{8\pi f}{R_{DC1}} \times 10^{-7} \times k_s}$$

$$= \sqrt{\frac{8 \times 3,14 \times 50}{7,545 \times 10^{-5}} \times 10^{-7} \times 1}$$

$$= 1,2902 y_s = \frac{x_s^4}{(192 + 0,8 \cdot x_s^4)}$$

$$= 1,427 \times 10^{-2} = \frac{(1,2902)^4}{192 + 0,8 \cdot 1,2902^4}$$

4.1.3 Faktor Efek Pendekatan

Efek pendekatan ialah pengaruh dari kawat lain yang berada di samping kawat yang pertama (yang ditinjau) sehingga distribusi fluks tidak simetris lagi.

$$\text{Diameter Konduktor } (dc) = 20,9 \text{ mm}$$

$$\text{Jarak Axial Konduktor } (S) = 57 \text{ mm}$$

$$\text{Konstanta Efek Pend. } (kp) = 1$$

$$\begin{aligned}
 x_p &= \sqrt{\frac{8\pi f}{R_{DC1}} \times 10^{-7} \times k_p} \\
 &= \sqrt{\frac{8 \times 3,14 \times 50}{7,545 \times 10^{-5}} \times 10^{-7} \times 1} \\
 &= 1,2902
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 y_p &= \frac{x_p^4}{(192 + 0,8 \cdot x_p^4)} \cdot \left(\frac{dc}{S}\right)^2 \cdot \left[0,312 \cdot \left(\frac{dc}{S}\right)^2 \right. \\
 &\quad \left. + \frac{1,18}{\left\{ \frac{x_p^4}{192 + 0,8 \cdot x_p^4} + 0,27 \right\}} \right] \\
 &= 8,0174 \times 10^{-3}
 \end{aligned}$$

4.1.4 Tahanan AC Konduktor Pada Temperatur Maksimum

Faktor efek mengulit (y_s) = $1,427 \times 10^{-2}$

Faktor efek pend. (y_p) = $8,0174 \times 10^{-3}$

$$\begin{aligned}
 R_{AC} &= R_{DC} (1 + y_s + y_p) = [7,713 \times 10]^{(-5)} \\
 &= [7,545 \times 10]^{(-5)} (1 + [1,427 \times 10]^{(-2)} \\
 &\quad + [8,0174 \times 10]^{(-3)}) R_{AC} \\
 &= R_{DC} (1 + y_s + y_p) \Omega/m
 \end{aligned}$$

4.1.5 Tahanan Selubung Logam (*Metallic Sheath*)

Parameter yang diperlukan untuk menghitung besarnya tahanan selubung logam (metallic sheath) pada saluran transmisi kabel laut antara lain sebagai berikut:

Koefisien Temperatur (α) = $0,004 / ^\circ\text{C}$

$$\text{Resistivitas Bahan (rs)} = 21,4 \times 10^{-5} \Omega/\text{m}$$

$$\text{Temperatur Metallic Sheath (Ts)} = 50^\circ\text{C}$$

$$\text{Diameter Luar Sel. Logam (D)} = 77,5 \text{ mm}$$

$$\text{Ketebalan Selubung Logam (ts)} = 2,9 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} R_s &= \frac{40 \cdot rs (1 + \alpha (T_s - 20))}{\pi((D + ts)^2 - (D - ts)^2)} \cdot 10^5 \\ &= \frac{40 \cdot 21,4 \times 10^{-8} (1 + 0,004 (50 - 20))}{3,14 ((77,5 + 2,9)^2 - (77,5 - 2,9)^2)} \cdot 10^5 \\ &= 3,396 \times 10^{-4} \Omega/\text{m} \end{aligned}$$

4.1.6 Faktor Kerugian Selubung Logam (*Metallic Sheath*)

Faktor kerugian metallic sheath terdiri dari dua faktor yaitu faktor rugi-rugi karena arus sirkulasi (λ_1') dan faktor kerugian karena arus eddy (λ_1''). Maka faktor kerugian metallic sheath dapat ditulis sebagai berikut:

$$\lambda_1 = \lambda_1' + \lambda_1''$$

1. Faktor Rugi Karena Arus Sirkulasi

Besarnya faktor rugi karena adanya arus sirkulasi adalah sebagai berikut:

$$\lambda_1' = 0.03$$

2. Faktor Rugi Karena Arus Eddy

Parameter yang digunakan untuk menghitung besarnya faktor rugi karena adanya arus eddy adalah sebagai berikut:

$$R_{AC} = 7,713 \times 10^{-5} \Omega/\text{m}$$

$$R_s = 3,396 \times 10^{-4} \Omega/\text{m}$$

$$\text{Jarak Axial Kabel (s)} = 57 \text{ mm}$$

$$\text{Diameter Luar Sel. Logam (D)} = 77,5 \text{ mm}$$

$$m = \frac{2 \cdot \pi \cdot f}{R_s} \cdot 10^{-7}$$

$$= \frac{2.3,14.50}{3,396 \times 10^{-4}} \cdot 10^{-7}$$

$$\lambda_0 = 6 \left(\frac{m^2}{1 + m^2} \right) \left(\frac{D}{2s} \right)^2 = 0,0925$$

$$= 6 \left(\frac{0,0925^2}{1 + 0,0925^2} \right) \left(\frac{77,5}{2.57} \right)^2$$

$$= 0,0235 D_1 = 0,86 m^{3,08} \left(\frac{D}{2s} \right)^{(1,4m+0,7)}$$

$$= 0,86 \times 0,0925^{3,08} \left(\frac{77,5}{2 \times 57} \right)^{(1,4 \times 0,0925 + 0,7)}$$

$$= 4,088 \times 10^{-4}$$

$$\lambda_1'' = \frac{R_s}{R_{AC}} (\lambda_0 (1 + D_1))$$

$$= \frac{3,396 \times 10^{-4}}{7,713 \times 10^{-5}} (0,0345 (1 + 4,088 \times 10^{-4}))$$

$$= 0.1519$$

Dari beberapa perhitungan di atas dapat dihitung besarnya faktor kerugian selubung logam (*metallic sheath*) menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \lambda_1 &= \lambda_1' + \lambda_1'' \\ &= 0.03 + 0.1519 \\ &= 0.1819 \end{aligned}$$

4.1.7 Rugi-rugi Perisai (*Armour*)

Parameter yang diperlukan untuk menghitung besarnya tahanan selubung perisai (*armour*) pada saluran transmisi kabel laut antara lain sebagai berikut:

$$\text{Resistivitas armour } (\rho) = 0,2 \Omega \text{ mm}^2/\text{m}$$

Diameter armour (d_A) = 8 mm
 Luas penampang armour (A) = 50,24 mm²
 Koefisien Temperatur (α) = 0,004 /°C
 Temperatur Armour (T_a) = 50°C
 Panjang saluran kabel laut (l) = 5000 m

$$R_A = \frac{\rho \sqrt{\left(\frac{\pi \cdot d_A}{l}\right)^2 + 1}}{A} [1 + \alpha(T_a - 20)]$$

$$= \frac{0,2 \sqrt{\left(\frac{3,14 \cdot 8}{5000}\right)^2 + 1}}{50,24} [1 + 0,004 (50 - 20)]$$

$$= 2,228 \times 10^{-2} \quad \Omega/m$$

Parameter yang digunakan untuk menghitung faktor rugi-rugi *armour* (perisai) adalah sebagai berikut:

Resistansi armour (R_A) = 2,228x10⁻² Ω/m
 Resistansi kond. (R_{AC}) = 7,713x10⁻⁵ Ω/m
 Resistansi sel. metal (R_S) = 3,396x10⁻⁴ Ω/m
 Jarak axial kabel (c) = 48,95 mm
 Diameter armour (d_A) = 8 mm
 Faktor rugi arus sirkulasi (λ_1') = 0,03

$$\lambda_2 = 1,23 \cdot \frac{R_A}{R_{AC}} \cdot \left(\frac{2c}{d_A}\right)^2 \cdot \frac{1 - \frac{R_{AC}}{R_S} \cdot \lambda_1'}{\left(\frac{2,77 \cdot R_A \cdot 10^6}{\omega}\right)^2 + 1}$$

$$= 1,23 \cdot \frac{2,228 \times 10^{-2}}{7,713 \times 10^{-5}} \cdot \left(\frac{2 \cdot 48,95}{8}\right)^2 \cdot \frac{1 - \frac{7,713 \times 10^{-5}}{3,396 \times 10^{-4}} \cdot 0,03}{\left(\frac{2,77 \cdot 2,228 \times 10^{-2} \cdot 10^6}{2 \cdot 3,14 \cdot 50}\right)^2 + 1}$$

$$= 1,368$$

Selain adanya pengaruh rugi-rugi selubung logam (metallic sheath) terdapat juga rugi-rugi perisai (armour) pada saluran kabel laut, maka besarnya kerugian arus bolak-balik (R_{AC}) meningkat

menjadi R_{eff} dan dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} &= 7,713 \times 10^{-5} (1 + 0,1819 + 1,368) R_{\text{eff}} = R_{\text{AC}} (1 + \lambda_1 + \lambda_2) \\ &= 1,967 \times 10^{-4} \Omega/\text{m} \end{aligned}$$

Kabel laut 150 kV sirkuit Gilimanuk 3 dan 4 Jawa-Bali mempunyai panjang 5 km maka besar tahanan efektifnya menjadi:

$$\begin{aligned} R_{\text{eff total}} &= R_{\text{eff}} \times \text{panjang saluran} \\ &= 1,967 \times 10^{-4} \times 5000 \\ &= 0.9833 \end{aligned}$$

4.2 Rugi Daya Yang Tidak Tergantung Arus Beban

4.2.1 Kerugian Dielektrik

Data-data yang diperlukan untuk menghitung besarnya kerugian dielektrik adalah sebagai berikut:

$$\text{Konstanta Relatif Dielektrik } (\epsilon) = 2,35$$

$$\text{Diameter Isolasi Tanpa Screen } (D_i) = 68,1 \text{ mm}$$

$$\text{Diameter Konduktor Dengan Screen } (D_{\text{cx}}) = 24,1 \text{ mm}$$

$$\text{Power Faktor } (\tan \delta) = 2 \times 10^{-4}$$

$$\text{Tegangan Line to Netral } (V_n) = 150000 / \sqrt{3} \text{ V}$$

$$\begin{aligned} C &= \frac{\epsilon}{18 \times \ln \left(\frac{D_i}{D_{\text{cx}}} \right)} \times 10^{-9} \\ &= \frac{2,35}{18 \times \ln \left(\frac{68,1}{24,1} \right)} \times 10^{-9} \\ &= 1,257 \times 10^{-10} \text{ F/m} \end{aligned}$$

$$P_d = 2\pi f \cdot C \cdot V_n^2 \cdot \tan \delta =$$

$$2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 1,257 \times 10^{-10} \cdot (150000 / \sqrt{3})^2 \cdot 2 \times 10^{-4}$$

$$= 0,5328 \text{ W/m}$$

Maka besarnya kerugian dielektrik sistem tiga fasa adalah:

$$P_d = 3 \times 0,5328$$

$$= 1,5985 \text{ W/m}$$

P_d total = P_d x panjang saluran Karena saluran kabel laut 150 kV sirkuit Gilimanuk 3 dan 4 yang menghubungkan Jawa-Bali mempunyai panjang 5000 m maka besar rugi dielektriknya menjadi:

$$= 7992,5 \text{ W} = 1,5985 \times 5000$$

4.2.2 Rugi-Rugi Yang Disebabkan Arus Pemuat

Data-data yang diperlukan untuk menghitung besarnya kerugian yang disebabkan oleh arus pemuat pada saluran transmisi kabel laut yang menghubungkan Jawa-Bali antara lain sebagai berikut:

$$\text{Kapacitansi kabel (C)} = 1,257 \times 10^{-10} \text{ F/m}$$

$$\text{Frekuensi (f)} = 50 \text{ Hz}$$

$$\text{Tegangan Line to Netral (Vn)} = 150000 / \sqrt{3} \text{ Volt}$$

$$\begin{aligned} I_c &= 2 \cdot \pi \cdot f \cdot C \cdot V_n \\ &= 3,418 \times 10^{-3} \text{ A/m} \\ &= 2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 1,257 \times 10^{-10} \cdot 150000 / \sqrt{3} \end{aligned}$$

Maka besarnya rugi-rugi akibat adanya arus pemuat pada saluran transmisi kabel laut yang menghubungkan Jawa-Bali dengan panjang saluran 5000 meter adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} P_{Ic} &= 3 \cdot \frac{1}{3} \cdot I_c^2 \cdot l^3 \cdot R_{\text{eff}} \\ &= 3 \cdot \frac{1}{3} \cdot (3,418 \times 10^{-3})^2 \cdot (5000)^3 \cdot 1,967 \times 10^{-4} \\ &= 287,25 \text{ Watt} \end{aligned}$$

4.3 Perhitungan Kerugian Total Saluran Kabel Laut

4.3.1 Rugi-rugi Yang Tergantung Arus Beban

Rugi-rugi pada saluran kabel laut tergantung arus yang mengalir. Pada saluran kabel laut sirkuit Gilimanuk 3 dan 4 daya yang dikirimkan dari Jawa ke Bali sebesar 130 MVA. Arus yang melewati kabel adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} I &= \frac{S}{\sqrt{3} \cdot V_{L-L}} \\ &= \frac{130000000}{\sqrt{3} \cdot 150000} \\ &= 500,37 \text{ A} \end{aligned}$$

Daya yang hilang pada saluran kabel laut sirkuit Gilimanuk 3 dan 4 sebagai berikut : $P_{\text{eff}} = P_I$

$$\begin{aligned}
 &= 3.500,37^2 \cdot 0,9833P_{eff} \\
 &= 3 \cdot I^2 \cdot R_{eff} \\
 &= 738566,87 \text{ W} \quad P_1
 \end{aligned}$$

4.3.2 Rugi-rugi Yang Tidak Tergantung Arus Beban

Besarnya rugi-rugi yang tidak tergantung arus beban pada saluran kabel laut sirkuit Gilimanuk 3 dan 4 adalah sebagai berikut:

- Kerugian dielektrik (P_d) = 7992,5 W
 - Kerugian arus pemuat (P_{IC}) = 287,25 W
- $$\begin{aligned}
 P_{tot} &= 7992,5 + 287,25 \\
 &= 8279,75 \text{ W}
 \end{aligned}$$

4.3.3 Kerugian Total Saluran Kabel Laut Sirkuit Gilimanuk 3 dan 4

Jadi besarnya rugi-rugi keseluruhan pada saluran transmisi kabel laut sirkuit gilimanuk 3 dan 4 yang menghubungkan Jawa-Bali dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 P_{loss} &= P_1 + P_{nl} \\
 &= 738566,87 + 8279,75 \\
 &= 746846,62 \text{ W}
 \end{aligned}$$

4.4 Drop Tegangan Pada Saluran Kabel Laut

Data-data yang diperlukan untuk menghitung besarnya drop tegangan sebagai berikut:

- Frekuensi (f) = 50 Hz
- Tegangan (V) = 150 kV
- Arus (I) = 500,37 A
- Resistansi konduktor (R) = $6,01 \times 10^{-5} \Omega/\text{m}$
- Jarak antar konduktor (D) = $77,9 \times 10^{-3} \text{ m}$
- Diameter konduktor (d) = $20,9 \times 10^{-3} \text{ m}$

$$1. L = 2 \times 10^{-7} \cdot \ln \frac{D_{eq}}{r} \text{ Induktansi}$$

$$\begin{aligned}
 &= \sqrt[3]{(77,9 \times 10^{-3})^3} D_{eq} = \sqrt[3]{D_{ab} D_{bc} D_{ca}} \\
 &= 77,9 \times 10^{-3} \\
 &= 2 \times 10^{-7} \cdot \ln \frac{77,9 \times 10^{-3}}{10,45 \times 10^{-3}}
 \end{aligned}$$

$$= 4,017648 \times 10^{-7} \quad \text{H/m per fasa}$$

$$2. X_L = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L \text{Reaktansi Induktif}$$

$$= 1,261 \times 10^{-4} = 2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 4,017648 \times 10^{-7}$$

$$\Omega/\text{m}$$

$$Z = R + jX_L$$

$$= 6,01 \times 10^{-5} + j(1,261 \times 10^{-4})$$

$$V_r = V_s - I \cdot Z$$

V_r = tegangan sisi terima

V_s = tegangan sisi kirim

$$V_r = 150 - [500,37 \cdot (6,01 \times 10^{-5} + j1,261 \times 10^{-4})] \text{Maka:}$$

$$= 150 - 0,0300 - j0,0631$$

$$= 150 - (0,0300 + j0,0631)$$

$$= 149,97 - j0,0631$$

$$= 149,97 \angle -0,0241^\circ \quad \text{kV}$$

$$V_r = 149,97 \text{ kV}$$

$$\cos \phi = \cos (-0,0241^\circ) = 0,99$$

$$VR (\%) = \frac{V_s - V_r}{V_r} \cdot 100\%$$

$$= \frac{150 - 149,97}{149,97} \cdot 100\%$$

$$= 0,02 \%$$

Drop tegangan saluran kabel laut sirkuit Gilimanuk 3 dan 4 adalah sebagai berikut:

$$V_d = 150 - 149,97$$

$$= 0,03 \text{ kV/km}$$

4.5 Efisiensi Pada Saluran Kabel Laut

Besarnya efisiensi saluran transmisi kabel laut sirkuit gilimanuk 3 dan 4 yang menghubungkan Jawa-Bali dapat dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$P_r = \sqrt{3} \cdot V_r \cdot I \cdot \cos \phi$$

$$= \sqrt{3} \cdot (149,97 \times 10^3) \cdot 500,37 \cdot 0,99$$

$$\eta = \frac{P_r}{P_r + P_{loss}} \cdot 100\% = 128674200 \text{ W}$$

$$= \frac{128674200}{128674200 + 746846,62} \cdot 100\%$$

$$= 99,42 \%$$

5. PENUTUP

Hasil perhitungan rugi daya dan drop tegangan pada saluran transmisi kabel laut 150 kV sirkuit Gilimanuk 3 dan 4 yang Jawa-Bali bahwa:

1. Tahanan efektif konduktor kabel laut adalah $R_{eff} = 0,9833 \Omega$ dengan rugi daya efektif = 738566,87 watt serta nilai rugi dielektrik $P_d = 7992,5$ watt.
2. Drop tegangan pada saluran kabel laut sebesar 0,03 kV/km dengan nilai regulasi tegangannya sebesar 0,02 %. Kerugian daya total 746846,62 watt

6. DAFTAR PUSTAKA

- AC Resistance, Skin & Proximity Effect. General Cable New Zealand Ltd.
- Arismunandar, A dan Kuwahara, S. 1993. Buku Pegangan Teknik Tenaga Listrik Jilid II. Pradnya Paramita. Jakarta.
- Aslimeri,dkk. 2008. Teknik Tenaga Listrik Jilid 2. Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan. Jakarta.
- Ervan. 12 Septembar 2012. Java Bali Submarine Cable 150 kV. <http://uipjbbvan.wordpress.com/2012/09/12/>.
- Jennifer, Snyder and Randorf, Neil. 2011. About Submarine Power Cables. International Cable Protection Committee.
- Mulyono, Marjono. Pekerjaan Penyambungan Flexibel Joint Kabel Laut 150 kV Jawa-Madura Sirkuit 2. UPT Surabaya.
- Ngapuli. 2007. Kabel Daya Bawah Laut. Institut Teknologi Bandung. Bandung.
- Palmgren, D., Karlstrand, J., & Henning, G. 2011. Armour Loss In Three-Core Submarine XLPE Cables. International Conference On Insulated Power Cables. France.
- PT. PLN (Persero) Unit Induk Pembangunan Jaringan Jawa Bali. 2011. Contract Dokument Java Bali Submarine Cables 150 kV Circuit 3&4 Project Book 3 of 4 (Replacement And Reinforcement). PT. PLN (Persero). Semarang.
- Submarine Cable Review. Appendix 8. 8 Januari 2008.
- Thalib, Ir. Pasaribu. 1997. Pengaruh Temperatur Terhadap Rugi-Rugi Dielektrik ($\tan \delta$) Minyak Isolasi. Jurusan Elektro Fakultas Teknik Universitas Sumatra.