

Analysis Of Underground Cable Faults At 150kV Paniki Switchyard

Analisa Gangguan Kabel Bawah Tanah Pada Gardu Induk Paniki 150 kV

Jeremia A C. Kawengian, Lily S. Patras, Sartje Silimang

Dept. of Electrical Engineering, Sam Ratulangi University Manado, Kampus Bahu St., 95115, Indonesia

e-mails : Jerekawengian15@gmail.com , lily_spatras@unsrat.ac.id, sartjesilimang@unsrat.ac.id

Abstract - Underground cables are one of the most important parts in the electrical power system, especially at switchyard. As one of the most important components, in underground cables, disturbances can also occur where disturbances are partial discharge at the cable connection and excessive heat or affect cable temperature which has a direct impact on equipment performance, especially in transformer cubicles. In this research project, an analysis of underground cable faults is carried out which aims to find out what things can cause interference, then to prevent interference, a cable temperature measurement or thermovision is carried out to determine the appropriate temperature value, then calculate the thermal resistance to analyze the strength value. current conduction or proper KHA. The results of thermovision measurements on the R phase cable are 30.30C, S phase 30.00C, and T phase 30.6°C. Thermovision measurement is influenced by several parameters, namely Emission = 1, Distance = 1, Ambient Temperature = 25°C, and Humidity = 50%. The results of the calculation of thermal resistance are divided into 4 parts with the value of each parameter, namely between conductors and sheaths T1 = 0.43 km/W, between sheaths and shields T2 = 0.18 km/W, outer sheath T3 = 1.04 km /W, and the external resistance or surface of the cable T4 = 4.9 km/W. So in this measurement the cable installed is still in normal or good condition. Based on the results of the analysis of the CRC calculation as an important parameter in the reliability of the underground cable, it shows that the CRC value for the cable is 941,20 A where this value is above the N2XSY 1x360mm2 cable CRC standard, which is 272 A

Keywords : Underground cable, current carrying capacity, thermal resistance, thermal calculation of underground cable

Abstrak – Kabel bawah tanah merupakan salah satu bagian terpenting dalam sistem tenaga listrik, khususnya pada gardu induk. Sebagai salah satu komponen inti, pada kabel bawah tanah juga dapat terjadi gangguan dimana gangguan yaitu partial discharge pada sambungan kabel serta panas yang berlebihan atau mempengaruhi temperature kabel yang berdampak langsung pada kinerja peralatan terutama pada kubikel transformator. Pada tugas akhir ini dilakukan analisa gangguan kabel bawah tanah yang bertujuan untuk mengetahui hal apa

saja yang dapat menyebabkan terjadinya gangguan, kemudian untuk mencegah terjadinya gangguan dilakukan pengukuran suhu kabel atau thermovisi untuk menentukan nilai suhu yang sesuai, lalu dilakukan perhitungan resistansi thermal untuk menganalisa nilai kuat hantar arus atau KHA yang tepat. Hasil pengukuran thermovisi pada kabel Fasa R yaitu 30,30C, fasa S 30,00C, dan fasa T 30,6°C. Pengukuran thermovisi dipengaruhi beberapa parameter yaitu Emission = 1, Distance = 1, Ambient Temperature = 25°C, dan Humidity = 50%. Hasil perhitungan resistansi thermal dibagi menjadi 4 bagian dengan nilai masing-masing parameter yaitu antar konduktor dan selubung T1 = 0,43 km/W, antar selubung dan perisai T2 = 0,18 km/W, lapisan selubung luar T3 = 1,04 km/W, dan resistansi external atau permukaan kabel T4 = 4,9 km/W. Jadi dalam pengukuran ini kabel yang terpasang masih dalam keadaan normal atau bagus. Berdasarkan hasil analisa perhitungan KHA sebagai parameter penting dalam keandalan kabel bawah tanah menunjukkan bahwa nilai KHA kabel adalah 941,20 A dimana nilai tersebut sudah di atas standar KHA kabel N2XSY 1x360mm2 yaitu sebesar 272 A.

Kata kunci : Kabel bawah tanah, kenaikan temperatur, kuat hantar arus (KHA), resistansi thermal, perhitungan termis kabel bawah tanah

I. PENDAHULUAN

Saluran Kabel Tegangan Menengah (SKTM) merupakan salah satu bentuk dari sistem distribusi tenaga listrik. Kabel yang ditanam di dalam tanah merupakan salah satu ciri khas dari SKTM. Kabel bawah tanah didesain sedemikian rupa sehingga tahan terhadap berbagai gangguan yang ada di dalam tanah. Kabel bawah tanah sangat diminati bagi banyak kalangan kabel bawah tanah tergolong besar pada biaya pemasangannya, biaya perawatan, juga biaya ketika kabel mengalami gangguan. penyebab gangguan pada kabel tanah Di lokasi penelitian, kabel yang terpasang pada peralatan Kubikel Incoming ke Transformator, kabel ini sering di ganti. Yang mana temperatur di sekitar penanaman kabel tergolong panas.

1. Landasan Teori

A. Saluran Kabel Tegangan Menengah (SKTM)

Saluran Kabel Tegangan Menengah (SKTM)

SKTM merupakan saluran distribusi yang menyalurkan energi listrik melalui kabel yang ditanam didalam tanah. Kategori saluran distribusi seperti ini adalah yang favorit untuk pemasangan didalam kota. Karena berada didalam tanah maka tidak mengganggu keindahan kota dan juga tidak mudah terjadi gangguan akibat kondisi cuaca atau kondisi alam. Namun juga SKTM memiliki kekurangan yaitu mahalnya biaya investasi dan sulitnya menentukan titik gangguan dan perbaikannya

B. Gangguan Pada SKTM

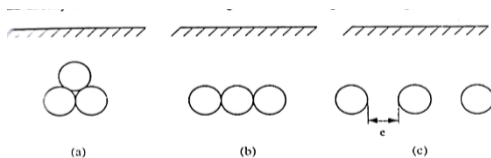
Gangguan pada kabel SKTM bersifat permanen, artinya untuk membebaskannya diperlukan tindakan perbaikan ataupun menyingkirkan gangguan tersebut yang mengakibatkan pemutusan tertutup. Penyebab gangguan pada SKTM terdiri dari 2 faktor yaitu faktor luar dan faktor dalam. Adapun faktor gangguan dari dalam yaitu : 1. Tegangan lebih dan arus tak normal 2. Pemasangan tidak baik 3. Penuaan 4. Beban lebih 5. Kegagalan kerja peralatan keamanan Sedangkan faktor gangguan dari luar yaitu : 1. Gangguan mekanis karena pekerjaan saluran lain 2. Surja petir lewat saluran udara 3. Binatang 4. Faktor lingkungan

C. Pengaruh Lingkungan

Pada konstruksi SKTM, pengaruh lingkungan juga menjadi salah satu perhatian penting yang perlu diperhatikan. Hal ini perlu diperhatikan guna mempertahankan material konstruksi SKTM agar terhindar dari gangguan akibat iklim atau lingkungan serta menjaga kualitas pendistribusian tenaga listrik

D. Peletakan Kabel SKTM

Metode yang paling umum untuk penggelaran kabel SKTM yaitu meletakkannya langsung di tanah pada kedalaman sekitar 1m. Selain penguburan langsung dalam tanah, ada juga yang melalui saluran atau pipa selubung beton serta terowongan



Gambar 1. Tipe Pemasangan Kabel Secara Langsung dalam Tanah

E. Perhitungan Pada Kabel Bawah Tanah

Untuk dapat melakukan kajian terhadap kabel tanah yang ditanam, maka diperlukan beberapa perhitungan dengan persamaan-persamaan berikut:

1) Resistansi DC, dimana hubungan antara tahanan per satuan panjang pada temperature 20°C dengan mengasumsikan panjang kabel 1m maka persamaannya sebagai berikut:

$$R' = R_{20} [1 + \alpha_{20} (\theta - 20)] \quad (2.1)$$

Dimana:

R_{20} = Resistansi DC pada temperature 20°C [Ω/m]

α_{20} = koefisien temperature bahan konduktor °C

θ = temperature actual konduktor [°C] (berdasarkan PUIL 2000), untuk kabel XLPE $\theta = 90$

2) Efek Kulit (*Skin effect*) menyebabkan meningkatkan resistansi AC konduktor, pada arus ac arus akan cenderung mengalir mendekati bagian permukaan konduktor. Berikut persamaan yang dapat digunakan untuk mendapatkan nilai efek kulit :

$$Fk = \frac{8\pi f}{R} \cdot 10^{-7} \quad (2.2)$$

$$Xs = \sqrt{Fk \cdot Ks} \quad (2.3)$$

$$ys = \frac{Xs^4}{192 + 0.8Xs^4} \quad (2.4)$$

3) Efek Permukaan (*Proximity Effect*) disebabkan oleh fluks magnetic antara dua konduktor dan menyebabkan meningkatnya resistansi AC konduktor. Dibawah ini merupakan persamaan yang data digunakan untuk mendapatkan nilai efek permukaan.

$$Xp = \sqrt{Fk \cdot Kp} \quad (2.5)$$

$$y = \frac{dc}{s} \quad (2.6)$$

$$a = \frac{Xp^4}{192 + 0.8Xs^4} \quad (2.7)$$

$$yp = ay^2 \left(0,312y^2 + \frac{1,18}{a+0,27} \right) \quad (2.8)$$

Dimana:

a = Fungsi Perhitungan untuk efek permukaan

Xp = Menyatakan fungsi untuk perhitungan efek permukaan (fungsi Bessel)

dc = Diameter luar konduktor [m]

s = Jarak antar konduktor dalam satu rangkaian [m]

a. Untuk menghitung resistansi AC konduktor saat pengoprasian pada temperature maksimum setelah melakukan perhitungan resistansi DC konduktor, resistansi AC konduktor juga dipengaruhi oleh efek kulit dan efek permukaan maka dilakukan perhitungan:

$$R = R'(1 + ys + yp) \quad (2.9)$$

Dimana :

R = Resistansi AC konduktor saat operasi pada temperatur maksimum [Ω/m]

R' = Resistansi DC konduktor saat operasi pada temperatur maksimum [Ω/m]

ys = Faktor efek kulit (*skin effect*)

yp = Faktor efek permukaan (*proximity effect*)

b. Rugi – rugi karena tegangan

Rugi tegangan disebabkan oleh rugi-rugi dielektrik, rugi ini muncul ketika kabel dialiri arus. Sebelum menghitung nilai rugi dielektrik kita harus mencari nilai kapasitansi terlebih

dahulu berikut persamaannya:

$$C = \frac{\epsilon}{18 \ln \left(\frac{D_i}{dc} \right)} \cdot 10^{-9} \quad (2.10)$$

Dimana:

C = Kapasitansi isolasi [F/m]

ϵ = Permittivitas bahan isolasi atau konstanta dielektrik bahan

D_i = Diameter dalam lapisan isolasi [m]

Berikut persamaan rugi dielektrik:

$$W_d = 2\pi f C V_0 \tan \delta \quad (2.11)$$

Dimana:

W_d = Rugi dielektrik bahan [W/m]

V_0 = Tegangan kerja antar penghantar fase dengan tanah atau lapisan logam (konduktor dan selubung logam), [Volt]

$\omega = 2\pi f$, f = Frekuensi sistem [Hz]

$\tan \delta$ = Faktor rugi isolasi

c. Faktor Rugi Selubung Logam

Bagian logam dari kabel bisa juga merupakan sumber rugi-rugi konduktor yang disebabkan oleh terinduksi arus yang mengalir. Untuk mendapatkan nilai rugi selubung logam maka digunakan rumus dibawah ini :

Resistansi selubung logam berupa kawat tembaga (R_s)

$$R_s = \frac{\rho_{20} \cdot 10^6}{\pi \cdot d \cdot t_s} [1 - \alpha_{20}(\theta_s - 20^\circ C)] \quad (2.12)$$

Dimana :

ρ = Resitivitas *thermal* bahan isolasi [K.m/W]

t_1 = Tebal lapisan isolasi [m]

dc = Diameter luar konduktor, termasuk lapisan pelindung konduktor [m]

4) Resistansi Thermal

Resistansi *thermal* adalah kemampuan material untuk menghalangi aliran panas. Resistansi *thermal* terdiri dari beberapa bagian, dimana T_2 dianggap 0. Berikut beberapa jenis resistansi *thermal* :

a). Resistansi Thermal Lapisan diantara Konduktor dan Selubung Logam (T_1) merupakan resistansi isolasi. Untuk menghitung resistansi thermal digunakan persamaan berikut:

$$T_1 = \frac{\rho_{isolasi}}{2\pi} \ln \left(1 + \frac{2t_1}{dc} \right) \quad (2.13)$$

Dimana:

ρ = Resitivitas *thermal* bahan isolasi [K.m/W]

t_1 = Tebal lapisan isolasi [m]

dc = Diameter luar konduktor, termasuk lapisan pelindung konduktor [m]

b.) Perhitungan Resistansi *Thermal* Lapisan Selubung luar (T_3), untuk menghitung resistansi *thermal* lapisan selubung luar digunakan persamaan sebagai berikut:

$$T_3 = \frac{\rho_{selubung \text{ luar untuk PVC}}}{2\pi} \ln \left(1 + \frac{2t_3}{D'a} \right) \quad (2.14)$$

c.) Resistansi *Thermal* Permukaan Kabel / Sekeliling Kabel (T_4)

Untuk menghitung nilai thermal permukaan kabel pada formasi mendatar kita dapat menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$T_4 = \rho_s \tan h / 2\pi [\ln (2u) + 2 \ln (u)] \quad (2.15)$$

Dimana:

ρ_s = Resistivitas *thermal* tanah

$u = 2L/De$

L = Kedalaman penanaman kabel [m]

De = Diameter luar kabel [m]

d.) Kuat Hantar Arus

Nilai kuat hantar arus berfungsi untuk mengetahui maksimum arus yang dapat dihantar oleh kabel. Berikut persamaan kuat hantar arus:

$$I = \left[\frac{(\theta - \theta_{amb}) - W_d [0.5T_1 + n(T_2 + T_3 + T_4)]}{R T_1 + nR(1 + \lambda_1)T_2 + nR((1 + \lambda_1 + \lambda_2)(T_3 + T_4))} \right]^{0.5} \quad (2.22)$$

Dimana :

T_1 = Nilai resistansi thermal per satuan panjang antara konduktor dan selubung logam (K.m/W)

T_2 = Nilai resistansi thermal per satuan panjang antara lapisan selubung logam dan perisai (K.m/W)

T_3 = Nilai resistansi thermal per satuan Panjang selubung luar kabel (K.m/W)

T_4 = Nilai resistansi thermal per satuan panjang antara permukaan kabel dengan media sekeliling kabel (K.m/W)

R = Resistansi AC pada temperatur operasi konduktor per satuan panjang (Ω/m)

n = Jumlah konduktor

θ = Temperatur actual koduktor maksimum untuk batas kerja isolasi ($^\circ C$)

θ_{amb} = Temperatur lingkungan dalam tanah ($^\circ C$)

λ_1, λ_2 = Perbandingan faktor rugi-rugi sheath dan armour

5) Kenaikan Temperatur

Kenaikan temperature terjadi pada beberapa bagian, untuk membedakan perpindahan panas didalam dan diluar kabel digunakan persamaan berikut ini :

Untuk Resistansi Thermal Kabel, digunakan persamaan:

$$T = \frac{T_1}{n} + (1 + \lambda_1)T_2 + (1 + \lambda_1 + \lambda_2) T_3 \quad (2.23)$$

Untuk Resistansi thermal dialektrik, digunakan persamaan:

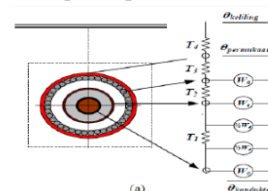
$$T_d = \frac{T_1}{2n} + T_2 + T_3 \quad (2.24)$$

Untuk Rugi Total, digunakan persamaan:

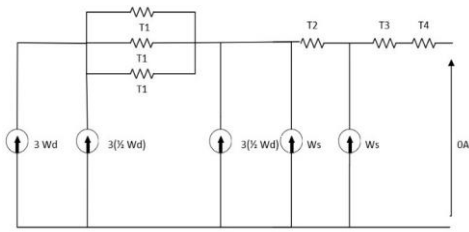
$$W_T = W_1 + W_d = W_c (1 + \lambda_1 + \lambda_2) + W_d \quad (2.25)$$

W_c = Rugi joule pada konduktor [W/m]

W_d = Rugi dielektrik [W/m]



Gambar 2. Rangkaian Ekvivalen Thermal Listrik



Gambar 3. Rangkaian Ekuivalen Thermal Listrik berinti tiga
 Dari gambar kita dapat menghitung kenaikan temperature dengan menggunakan rumus di bawah ini:

$$\Delta\theta = n(W_C T + W_T T_4 + W_d T_d) \quad (2.26)$$

Dimana:

T = Resistansi *thermal* kabel [K.m/W]

T_d = Resistansi *thermal* dielektrik [K.m/W]

W_T = Rugi total [W/m]

Kenaikan temperature pada selubung logam:

$$\Delta\theta_s = \theta_{amb} + n \{ [W_c (1 + \lambda_1 + \lambda_2) + W_d] (T_3 + T_4) \} \quad (2.27)$$

Kenaikan temperature pada konduktor:

$$\Delta\theta_c = \Delta\theta_s + (W_c + 0,5W_d) T_1 \quad (2.28)$$

Kenaikan temperature akibat rugi dielektrik

$$\Delta\theta_d = W_d T_d \quad (2.29)$$

TABEL 1
 RESISTIVITAS THERMAL DAN KOEFISIEN TEMPERATUR BAHAN LOGAM

| Material | Resistivitas <i>Thermal</i> (ρ_{20}). $10^{-8} \Omega.m$ | Koefisien Temperatur (α_{20}). 10^{-3} per °C |
|----------|--|---|
| Tembaga | 1,7241 | 3,93 |
| Almunium | 2,8264 | 4,03 |



Gambar 4. Penampang Kabel SKTM

I. Konduktor : merupakan bagian utama dari kabel yang berfungsi untuk menghantarkan arus listrik.

II. Isolasi : merupakan bagian utama kabel yang berfungsi mencegah terjadinya hubung singkat pada kabel. Bahan isolasi

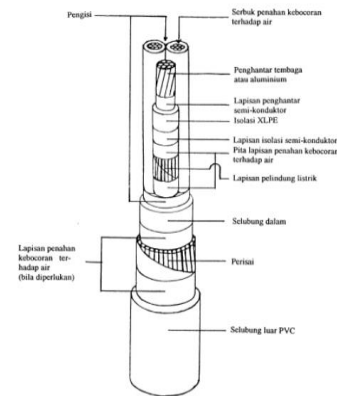
disesuaikan dengan kemampuan kabel, sehingga dalam instalasi suatu kabel, harus disesuaikan penggunaannya. Isolasi harus mampu menahan tegangan listrik yang dihasilkan oleh tegangan bolak balik dan tegangan-tegangan transien.

III. Pita/Kawat Tembaga : melindungi bahan isolasi dari kerusakan mekanis

IV. Selubung dalam (PVC) : sebagai pelapis pelindung listrik pada kabel

V. Perisai Pita Baja : Lapisan penahan kebocoran terhadap air

VI. Selubung Luar Kabel (PVC) : merupakan bahan pelindung kabel dari kerusakan mekanis, pengaruh bahan kimia atau api atau pengaruh pengaruh luar lainnya yang merugikan



Gambar 5. Kontruksi Kabel XLPE init tunggal

TABEL 2
 RESISTANSI KONDUKTOR KABEL

| Luas Penampang mm ² | Resistansi DC Maksimum 20°C (R ₂₀) | |
|-----------------------------------|--|---------------------|
| | Tembaga Polos Ohm/km | Aluminium Ohm/km |
| 35 | 0,524 | 0,868 |
| 50 | 0,387 | 0,641 |
| 70 | 0,268 | 0,443 |
| 95 | 0,193 | 0,320 |
| 120 | 0,153 | 0,253 |
| 150 | 0,124 | 0,206 |
| 185 | 0,0991 | 0,164 |
| 240 | 0,0754 | 0,125 |
| 300 | 0,0601 | 0,100 |
| 400 | 0,0470 | 0,0778 |
| 500 | 0,0366 | 0,0605 |
| 630 | 0,0283 | 0,0469 |
| 800 | 0,0221 | 0,0367 |
| 1000 | 0,0176 | 0,0291 |

II. METODE PENELITIAN

A..DataTeknis

Adapun data – data yang telah dikumpulkan pada penelitian ini:

1. Jenis kabel SKTM yang terpasang di Gardu Induk Paniki Kabel ini dipasang di lokasi penelitian dengan panjang sekitar 5m dari peralatan incoming kubikel ke Transformator menggunakan kabel bertipe N2XY5 1 x 630mm/35 (AL/ XLPE/ CWS/ PVC/ DSTA/ PVC) yang mana dapat dijelaskan dengan sebutan kabel tanah berinti 3 (tiga) dengan menggunakan aluminium sebagai konduktor, terisolasi menggunakan XLPE, pita/kawat tembaga, selubung dalam menggunakan PVC, armor pita baja ganda, dan berselubung luar PVC.
2. kontruksi kabel, dapat dilihat pada gambar 5
3. Data resistansi konduktor kabel, dapat dilihat pada tabel
4. Data Resistivitas thermal dan koefisien temperature bahan logam, dapat dilihat pada tabel
5. Data permitivitas bahan isolasi dan factor rugi selubung,dapat dilihat pada tabel

TABEL 3
RESISTANSI KONDUKTOR KABEL

| Material | Resistivitas Thermal (ρ) [K.m/W] |
|----------------------------------|---|
| XLPE (Cross-linked Polyethhtlen) | 3,5 |

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Untuk melakukan pengkajian terhadap kabel tanah maka telah dilakukan beberapa tahap perhitungan untuk mendapatkan parameter-parameter yang akan dijadikan acuan untuk pengkajian kabel tanah.

A. Perhitungan Kabel Tanah

Perhitungan – perhitungan yang dilakukan yaitu :

1. Resistansi AC konduktor

a. Resistansi DC konduktor saat beroperasi pada temperatur maksimum (R')

$$R_{20}[1 + \alpha_{20}(\theta - 20)]$$

$$\text{Dik. } R_{20} = 0,0469$$

$$\alpha_{20} = 4,03 \times 10^{-3} = 90$$

$$\text{Dit} = R_{20} ?$$

Penyelesaian :

$$= 0,0469 \times 10^{-3} [1 + 4,03 \times 10^{-3} (90 - 20)]$$

$$= 0,0469 \times 10^{-3} [5,03 \times 10^{-3} (70)]$$

$$= 4,70 [0,3521]$$

$$= 1,65 \times 10^{-4} \Omega/\text{m}$$

b. Faktor Efek Kulit (y_s)

Faktor efek kulit (y_s)

Faktor efek kulit mempengaruhi nilai resistansi AC yang ada maka untuk menghitung nilai efek kulit dari kabel maka digunakan rumus sebagai berikut:

$$Fk = \frac{8\pi f}{R'} \cdot 10^{-7}$$

$$\text{Dik. } \pi = 3,14$$

$$f = 50$$

$$R = 1,65$$

$$\text{Dit} = Fk ?$$

Penyelesaian :

$$= \frac{8,314,50}{1,65} \cdot 1$$

$$= 761,2$$

$$Xs = \sqrt{Fk \cdot Ks}$$

$$\text{Dik. } Fk = 761,2$$

$$Ks = 1$$

$$\text{Dit} = Xs ?$$

Penyelesaian :

$$= \sqrt{761,2 \times 1}$$

$$= \sqrt{761,2}$$

$$= 27,5$$

$$y_s = \frac{Xs^4}{192 + 0,8Xs^4}$$

$$\text{Dik. } Xs^4 = 27,5^4$$

$$\text{Dit} = y_s ?$$

Penyelesaian :

$$= \frac{27,5^4}{192 + 0,8(27,5)^4}$$

$$= \frac{57,06}{457,25}$$

$$= 0,124 \times 10^{-4}$$

c. Faktor Efek permukaan (y_p)

Efek permukaan disebabkan karena adanya fluks magnet. Sama halnya dengan efek kulit, efek permukaan juga mempengaruhi nilai resistansi AC kabel. Untuk menghitung nilai efek permukaan maka digunakan rumus sebagai berikut:

$$Xp = \sqrt{Fk \cdot Kp}$$

$$= \sqrt{761,2 \cdot 1}$$

$$= \sqrt{761,2}$$

$$= 27,5$$

$$y = \frac{dc}{s}$$

$$= \frac{0,02933 \text{ m}}{0,0012 \text{ m}}$$

$$= 24,44$$

$$a = \frac{Xp^4}{192 + 0,8Xs^4}$$

$$= \frac{27,5^4}{192 + 0,8(27,5)^4}$$

$$= \frac{57,06}{45,25}$$

$$= 1,26 \times 10^{-4}$$

$$yp = ay^2 \left(0,312y^2 + \frac{1,18}{a+0,27} \right)$$

$$\begin{aligned}
 &= 1,26 \times 10^{-4} \cdot 24,44^2 \left(0,312 \cdot 24,44^2 + \frac{1,18}{1,26+0,27} \right) \\
 &= 752,61 \times 10^{-7} (186,36 + 0,77) \\
 &= 14,90 \times 10^{-6}
 \end{aligned}$$

B. Perhitungan Rugi dielektrik

Kemampuan suatu bahan atau material isolasi untuk menyimpan tegangan mengakibatkan timbulnya rugi dielektrik. Untuk dapat menghitung rugi dielektrik terlebih dahulu kita harus menghitung kapasitansi bahan isolasi. Untuk perhitungannya digunakan data sebagai berikut:

perhitungan kapasitansi bahan isolasi sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 C &= \frac{\epsilon}{18 \ln \left(\frac{D_i}{d_c} \right)} \cdot 10^{-9} \\
 &= \frac{2,5}{18 \ln \left(\frac{0,040}{0,029} \right)} \cdot 10^{-9} \\
 &= \frac{2,5}{18 \ln(1,37)} \cdot 10^{-9} \\
 &= 1,013 \times 10^{-10} \text{ [F/m]}
 \end{aligned}$$

Perhitungan rugi dielektrik bahan atau material isolasi adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 W_d &= 2\pi f C V_0 \tan \delta \\
 &= 2,3,14,50 (1,013)(5000)^2 \cdot 0,004 \\
 &= 314 (101380) \\
 &= 31,808 \text{ [W/m]}
 \end{aligned}$$

Perhitungan Perbandingan Faktor Rugi pada Selubung Logam:

$$\begin{aligned}
 R_s &= R_{s0} [1 - \alpha_{20}(\theta_s - 20^\circ\text{C})] \\
 &= 7,34 [1 - 4,03 \times 10^{-3} (90 - 20)] \\
 &= 7,34 [5,03 (70)] \\
 &= 25,41 \text{ [\Omega/m]}
 \end{aligned}$$

Untuk perhitungan resistansi *thermal* data yang digunakan sebagai berikut:

A. Resistansi *Thermal* Lapisan diantara Konduktor dan Selubung Logam (T_1)

Perhitungan resistansi *thermal* sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 T_1 &= \frac{\rho_{isolasi}}{2\pi} \ln \left(1 + \frac{2t_1}{d_c} \right) \\
 &= \frac{4,4}{2 \times 3,14} \ln \left(1 + \frac{2 \times 0,0055}{0,02933} \right) \\
 &= 0,43 \text{ K.m/W}
 \end{aligned}$$

B. Perhitungan Resistansi Thermal Selubung dan Perisai (T_2)

$$\begin{aligned}
 T_1 &= \frac{\rho_b}{2\pi} \ln \left(1 + \frac{2t_2}{d_s} \right) \\
 &= \frac{6,0}{2 \times 3,14} \ln \left(1 + \frac{2 \times 0,0012}{0,0012} \right) \\
 &= 0,18 \text{ K.m/W}
 \end{aligned}$$

C. Perhitungan Resistansi Thermal Lapisan Selubung Luar (T_3)

$$\begin{aligned}
 T_3 &= \frac{\rho_{selubung \text{ luar untuk PVC}}}{2\pi} \ln \left(1 + \frac{2t_3}{D'a} \right) \\
 &= \frac{6,0}{2,3,14} \ln \left(1 + \frac{2,0,003}{0,067} \right) \\
 &= 1,04 \text{ [K.m/W]}
 \end{aligned}$$

D. Perhitungan Resistansi Thermal Permukaan Kabel / Sekeliling Kabel (T_4)

untuk formasi mendarat kita dapat menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 T_1 &= \frac{2L}{\frac{De}{2 \times 0,43}} \\
 &= \frac{2L}{0,0283} \\
 &= 30,8 \\
 T_4 &= \frac{Pe}{2\pi} \ln (4 + \sqrt{4 - 1^2}) \\
 &= \frac{1}{2 \times 3,14} (30,8 + \sqrt{30,8 - 1^2}) \\
 &= \frac{1}{6,28} (30,8) \\
 &= 4,9
 \end{aligned}$$

E. Perhitungan Kuat Hantar Arus

Perhitungan ini digunakan untuk mengetahui nilai arus yang dapat melewati kabel, pada isolasi yang memiliki batas kerja temperature. Perhitungan kuat hantar arus sebagai berikut:

$$I = \left[\frac{(\theta - \theta_{amb}) - W_d [0,5T_1 + n(T_2 + T_3 + T_4)]}{RT_1 + nR(1 + \lambda_1)T_2 + nR((1 + \lambda_1 + \lambda_2)(T_3 + T_4))} \right]^{0,5}$$

Berikut perhitungan untuk arus pada formasi mendarat :

$$\begin{aligned}
 I &= \left[\frac{(90 - 33,6) - 0,628 [0,5 \cdot 0,43 + 3(0,18 + 1,04 + 4,9)]}{1,65 \times 10^{-4} \times 0,43 + 3 \times 1,65 \times 10^{-8} (1 + 3,4) \cdot 0,18 + 0,43 + 3(1 + 3,4 + 4,5)(1,04 + 4,9)} \right]^{0,5} \\
 &= \left[\frac{44,73}{5,6595(4,4)3,61(8,9)(5,94)} \right]^{0,5} \\
 &= 44,73/4752,41 \\
 &= 941,20 \text{ [A]}
 \end{aligned}$$

F. Perhitungan Rugi Konduktor

$$\begin{aligned}
 W_c &= I^2 R \\
 &= 9,41^2 \times 1,65 \times 10^{-4} \\
 &= 0,014 \text{ W/m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 W_t &= 0,014(1 + 3,4 \times 10^{-8} + 4,5 \times 10^{-3}) + 31,808 \\
 &= 0,459 \text{ W/m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 T &= \frac{0,43}{3} + (1 + 3,4 \times 10^{-8}) \cdot 0,18 (1 + 3,4 \times 10^{-8} + 4,5 \times 10^{-3}) \cdot 1,04 \\
 &= 1,367
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 T_d &= \frac{0,43}{2 \times 3} + 0,18 + 1,04 \\
 &= 1,306 \text{ K,m/W}
 \end{aligned}$$

G. Perhitungan Kenaikan Temperatur

$$\begin{aligned}
 \Delta\theta &= 3(0,14 \times 1,367 + 0,459 \times 4,9 + 31,808 \times 1,306) \\
 &= 131,945 \text{ }^\circ\text{C}
 \end{aligned}$$

1) Kenaikan temperature pada selubung logam

$$\begin{aligned}
 \Delta\theta_s &= 33,6 + 3 \{ [0,014(1 + 3,4 \times 10^{-8} + 4,5 \times 10^{-3}) + 31,808] + 1,04 + 4,9 \} \\
 &= 36,6 (0,459) + 5,94 \\
 &= 22,739 \text{ }^\circ\text{C}
 \end{aligned}$$

2) Kenaikan temperature pada konduktor

$$\begin{aligned}
 \Delta\theta_c &= 22,73 + (0,014 + 0,5 \times 31,808) \cdot 0,43 \\
 &= 29,574 \text{ }^\circ\text{C}
 \end{aligned}$$

3) Kenaikan Temperatur akibat rugi dielektrik

$$\Delta\theta_d = 3 \times 31,808 \times 1,306$$

$$= 124,623 \text{ C}$$

H. Pengujian tahanan isolasi

Pengujian tahanan isolasi kabel yaitu metode penilaian melalui alat ukur agar mendapatkan nilai tahanan isolasi kabel yang ditanahkan dengan terminal utama tiap fasa. Pengujian tahanan isolasi dilaksanakan agar dapat mendeteksi dan menyadari secara dini nilai tahanan isolasi maupun kondisi isolasi/isolator pada kabel. Alat ukur yang dipakai saat melaksanakan pengukuran tahanan isolasi:

$$R = \frac{1000 \times U}{Q} \times U \times 2,5$$

$$= \frac{1000 \times 150.000kV}{5000 kV} \times 150 kV \times 2,5$$

$$= 30 kV \times 150 \times 2,5$$

$$= 11,250$$

B. Kajian Hasil Perhitungan

Setelah melakukan penghitungan, rekapitulasi dari tiap perhitungan dapat dilihat pada tabel berikut:

1. Resistansi AC Konduktor Nilai resistansi AC Konduktor pada kabel bawah tanah yang di pasang pada peralatan di lokasi Penelitian di Garud induk tehitung masih di bawah standart resistansi AC Konduktor maksimal dari kabel N2XSY 1 x 360mm²/35

TABEL 4
RESISTANSI AC KONDUKTOR

| Parameter | Nilai |
|-------------------------|-----------------------------|
| Resistansi AC Konduktor | 1,65 x 10 ⁻⁴ Ω/m |

Pada standart spesifikasi kabel N2XSY 1 x 360mm²/35 nilai maksimum resistansi AC Konduktor yaitu 0,129 Ω/km atau 129 Ω/m. Sehingga nilai resistansi AC Konduktor masih terhitung layak digunakan.

2. Resistivitas thermal Nilai dari resistivitas thermal sangat mempengaruhi kualitas dari penyaluran tenaga listrik.

TABEL 6
NILAI RESISTIVITASI THERMAL

| Parameter | Nilai |
|------------------------------|-----------|
| Antar Konduktor dan Selubung | 0,43 Km/W |
| Antar Selubung dan Perisai | 0,18 Km/W |
| Lapisan Selubung Luar | 1,04 Km/W |
| Permukaan Kabel | 4,9 Km/W |

3. Kenaikan Temperatur

TABEL 5
NILAI TEMPERATUR

| Parameter | Simbol | Nilai | Satuan |
|---|-----------------|---------|--------|
| Kenaikan Temperatur | Δθ | 131,945 | °C |
| Kenaikan Temperatur pada selubung logam | Δθ _s | 22,739 | °C |
| Kenaikan temperature pada konduktor | Δθ _c | 29,574 | °C |
| Kenaikan temperature akibat rugi dielektrik | Δθ _d | 124,623 | W/m |

Temperatur yang berada pada lingkungan di sekitar Gardu induk sekitar sangat berpengaruh kepada kelangsungan distribusi tenaga listrik juga pada daya tahan kabelnya. Penanaman kabel terbilang panas.

4. Kemampuan Hantar Arus (KHA)

Sesuai hasil dari perhitungan kuat hantar arus pada kabel yang terpasang pada peralatan Incoming kubikel – transformator di Gardu Induk 150kV didapati bahwasanya nilai kuat hantar arus sebesar 941,20 A

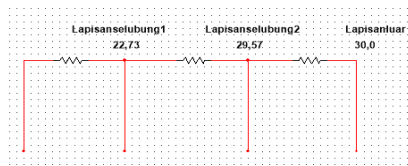
TABEL 7
NILAI KUAT HANTAR ARUS KABEL

| Parameter | Simbol | Nilai | Satuan |
|-----------------------------|--------|--------|--------|
| Kemampuan Hantar Arus (KHA) | 1 | 941,20 | A |

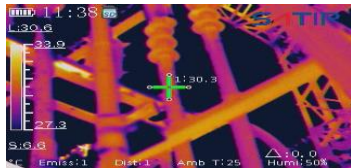
PEMBAHASAN

Dari hasil Analisa perhitungan Termis kabel N2XSY 1x 630 mm/35 pada gardu induk paniki 150kV diperoleh nilai resistansi 1,65 x 10⁻⁴. Dimana nilai resistansi thermal antara konduktor dan selubung bernilai 0,43km, pada lapisan kedua atau selubung dan perisai dengan nilai 0,18km, dan pada lapisan selubung luar dengan nilai 1,04km dan pada permukaan kabel 4,9km. Nilai kuat Hantar Arus menjadi salah satu nilai yang terpenting dalam penyaluran tenaga listrik, dengan memperhatikan standart KHA untuk kabel N2XSY 1x 630 cm/35 dengan diameter 160cm, sehingga diperoleh kuat Hantar Arus dengan hasil 941,206A dan dapat disimpulkan bahwa nilai KHA pada Gardu Induk Paniki 150kV tergolong besar. Untuk memperoleh hasil Analisa kabel bawah tanah pada Gardu induk Paniki 150kV diperlukan nilai temperature

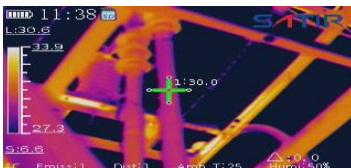
pada kabel N2XSY 1× 630 mm/35 dengan memperhatikan beberapa aspek tertentu seperti nilai Resistansi Thermal kabel sebesar 0,43km/w, kenaikan temperatur 131,945^oC, kenaikan temperatur pada selubung logam 22,739^oC, kenaikan temperature pada konduktor 29,574^oC, Resistansi Thermal Dielektrik dengan nilai $1,013 \times 10^{-10}$, kenaikan Temperatur akibat rugi dielektrik 124,623^oC, sehingga diperoleh tahanan isolasi dengan nilai 11,250. Dimana rugi – rugi pada tiap lapisan kabel N2XSY dengan rugi dielektrik dengan nilai 1,013W/m, Rugi Selubung 25,41W/m, Rugi Konduktor 0,43 Km/W, dan dapat diperoleh Rugi – rugi total kabel N2XSY pada Gardu induk paniki 150kV dengan nilai 0,014W/m



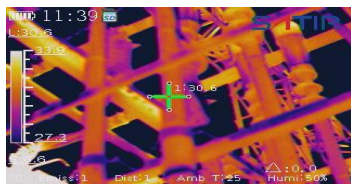
Gambar 6. Rangkaian Tiap Lapisan Kabel



Gambar 7. Hasil Pengukuran Pada Fasa R



Gambar 8. Hasil Pengukuran Pada Fasa S



Gambar 9. Hasil Pengukuran Pada Fasa T

Dalam hal ini terdapat rangkaian tiga tiap lapisan Selubung Pada Kabel N2XSY 1 × 630 mm/35 yang dimana terdiri dari selubung lapisan pertama disebut dengan selubung logam, selubung lapisan kedua disebut dengan selubung konduktor dan selubung terluar yang di ukur dengan alat Thermovisi. Pada lapisan selubung pertama dengan temperatur 22,73^oC, yang diperoleh dari perhitungan yang ada tiap selubung dengan memperhatikan standart yang ada sebesar 33^oC. Selubung kedua atau selubung konduktor dari hasil perhitungan diperoleh rugi – rugi berupa panas dengan nilai temperature 29,57^oC, dan pada selubung terluar yang diukur dengan alat thermovisi diperoleh rugi – rugi berupa panas dengan temperature 30,0^oC. Hasil pengukuran Thermovisi ini dipengaruhi oleh beberapa parameter dengan nilai yang sama

disetiap fasanya yaitu Emission = 1. Distance =1. Ambient Temperatur = 25^oC. dan Humidity = 50%. Pada kebel N2XSY selubung logam ,selubung konduktor, selubung luar diperoleh nilai rugi – rugi yang masih dibawah batas standart sebesar 33^oC dan dapat disimpulkan bahwa kabel N2XSY 1× 630 mm/35 pada GarduInduk Paniki 150kV. Jadi dalam pengukuran ini kabel yang terpasang masih dalam keadaan normal atau bagus. maka dapat ditemukan perbedaan, jika nilai hasil pengukuran kurang dari standart yang ada, maka kabel tersebut masih dalam kondisi yang normal atau kondisi yang bagus. Sedangkan jika nilai hasil pengukuran lebih besar dari standart yang ada maka pada kabel akan terjadi memproses panas yang berlebih maka perlu dilakukan pemeliharaan berskala.

TABEL 8
REKAPITULASI HASIL PERHITUNGAN

| Parameter | Simbol | Nilai | Satuan |
|---|------------------|-------------------------|----------------|
| Resistansi AC | R | $1,65 \times 10^{-4}$ | Ω/m |
| Rugi dielektrik | W_d | 1,013 | W/m |
| Resistansi thermal antara konduktor dan selubung | T_1 | 0,43 | Km/W |
| Resistansi thermal antara selubung dengan perisai | T_2 | 0,18 | Km/W |
| Resistansi thermal selubung luar | T_3 | 1,04 | Km/W |
| Resistansi thermal eksternal / permukaan kabel | T_4 | 4,9 | Km/W |
| Kemampuan Hantar Arus (KHA) | I | 941,20 | A |
| Resistansi thermal kabel | T | 0,43 | K.m/W |
| Resistansi thermal dielektrik | T_d | $1,013 \times 10^{-10}$ | K.m/W |
| Kenaikan temperature | $\Delta\theta_s$ | 131,945 | ^o C |
| Kenaikan temperature pada selubung logam | $\Delta\theta_c$ | 22,739 | ^o C |
| Kenaikan temperature pada konduktor | $\Delta\theta_e$ | 29,574 | ^o C |
| Kenaikan temperature akibat rugi dielektrik | $\Delta\theta_d$ | 124,623 | W/m |

IV. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Kemampuan hantar arus kabel N2XSY 1x 360mm² yang di pasang pada peralatan kubikel ke transformator pada Gardu Induk 150kV terhitung besar.

Semakin besar luas penampang kabel tanah maka akan mempengaruhi nilai resistansi thermal dari kabel, dan nilai resistansi thermal akan berpengaruh pada konduktor dan selubung kabel.

Panas yang dihasilkan pada pengukuran menggunakan alat Thermovisi lebih stabil di bandingkan dengan perhitungan pada tiap lapisan kabel suhu pada kabel mengalami penurunan

Setelah melakukan pengukuran suhu dari kabel menggunakan alat Thermovisi mendapatkan hasil yang telah memenuhi standar, maka dari itu kinerja dan pengujian keandalan dari kabel yang terpasang di Gardu Induk 150kV dapat melaksanakan atau melakukan pengoprasian dengan normal atau dikatakan masi layak di pakai.

Oleh Karena Kabel tanah beroperasi di dalam tanah, maka kabel tanah harus memiliki persyaratan isolasi yang khusus untuk melindunginya dari segala bentuk kelembaban serta pengaruh-pengaruh lain yang terdapat di dalam tanah. Isolasi merupakan hal yang sangat penting pada sistem tenaga listrik dalam penyaluran tenaga listrik dengan mempergunakan kabel dan fungsi isolasi di sini sangat penting yaitu:

Untuk mendapatkan distribusi medan listrik yang lebih baik, untuk melindungi atau mengamankan manusia terhadap bahaya listrik, dan mencegah Interprensi gelombang elektromagnetis dengan kabel lain yang berada di dekatnya.

B. Saran

1. Setelah diketahui kondisi kabel yang terpasang pada peralatan kubikel ke transformator tersebut maka sebaiknya dilakukan pemeliharaan sesuai dengan rekomendasi pemeliharaan pada kabel tersebut.
2. Sebaiknya pengujian pada kabel bawah tanah harus tetap rutin dilakukan untuk menjaga keandalan sistem kabel tersebut.
3. Dengan hasil penelitian yang telah dilakukan, peneliti berharap semoga kedepannya untuk penanaman saluran kabel tegangan menengah dapat mengikuti standar peraturan penanaman kabel yang telah ditetapkan serta memperhatikan potensi-potensi kerusakan yang akan membuat lifetime dari kabel menjadi berkurang agar pendistribusian tenaga listrik dapat optimal

DAFTAR PUSTAKA

1. Anders, G. J. 1997. Rating of Electric Power Cable: Ampacity Computations for Transmission, Distribution, and Industrial Applications. New York: Institute of Electrical and Electronics
2. Buller, F.H.(1951).”Thermal transient on buried cables,” Trans.Amer.Inst.Elect.Eng.,vol 70,pp. IEC Standard 60287: “Electric cables: Calculation of the current rating-100% load factor”, Geneva, 2014
3. Engineers Inc. Buku 5: Standar Konstruksi Jaringan Tegangan Menengah Tenaga Listrik. PT. PLN (Persero). 2010.
4. IEC Standard 60287: “Electric cables: Calculation of the current rating-100% load factor”, Geneva, 2014
5. Klasifikasi Kabel Tenaga Listrik Bawah Tanah - EDUKASIKINI.COM
6. Lutfi, A. M. Perhitungan Termis dan Kemampuan Hantar Arus Kabel Bawah Tanah 20kV pada PT.PLN (PERSERO) AREA PONTIANAK
7. Mogot, O. T. L. 2019. Analisa Pengaruh Temperatur Hantar Arus Kabel Bawah Tanah 20kV pada PT.PLN (PERSERO) AREA PONTIANAK
- 8.PT. Jembo Cable. “Medium Voltage NA2XSEYBY”, <https://jembo.co.id/id/detail/aluminium-medium-voltage-cables/na2xseyby>,
9. SPLN 43-5-4:1995, Kabel Tanah Inti Tiga Berisolasi XLPE dan Berselubung PE/PVC Dengan atau Tanpa Perisai Tegangan Pengenal 3,6/6 (7.2) kV s/d 12/20 (24) kV, Departemen Pertambangan dan Energi, Jakarta, 1995
10. Thoe, William, 2012, Electric Power Cable Engineering: Third Edition,NortWest
11. Underground Systems Reference Book, National Electric Light Association, Publication # 050, New York, New York, 1931.outhwire Company Power Cable Manual, Second Edition, 1997, Carrollton, GA, USA
12. SPLN 43-5-4:1995, Kabel Tanah Inti Tiga Berisolasi XLPE dan Berselubung PE/PVC Dengan atau Tanpa Perisai Tegangan Pengenal 3,6/6 (7.2) kV s/d 12/20 (24) kV, Departemen Pertambangan dan Energi, Jakarta, 1995.

TENTANG PENULIS



Penulis bernama lengkap Jeremia A C. Kawengian anak ketiga dari tiga bersaudara Jessy Kawengian (kakak pertama), Nikita Kawengian (kakak kedua) dari pasangan Maxi Kawengian (ayah, Geerda Tangka (Ibu), Lahir di Manado 15 September 2000. Sebelum menempu jenjang

Pendidikan di Fakultas Teknik Universitas Sam Ratulangi, penulis telah menempuh Pendidikan secara berturut-turut di SD Advent Unklab Airmadidi (2006-2012), SMP Advent Unklab Airmadidi (2012-2015), SMA Advent Unklab Airmadidi (2015-2018). Pada Tahun 2018, Penulis memulai Pendidikan di Fakultas Teknik Universitas Sam Ratulangi Manado di Jurusan Teknik Elektro, dengan mengambil konsentrasi minat Teknik Tenaga Listrik. Pada Tahun 2021 penulis melaksanakan Kerja Praktek di PT.Jago Elfah Anugerah, Sulawesi Utara. Penulis selesai melaksanakan Pendidikan di Fakultas Teknik Universitas Sam Ratulangi Manado dengan judul tugas akhir Analisa Gangguan Kabel Bawah tanah pada Gardu Induk 150kV.