Kajian Saluran Kabel Tegangan Menengah (SKTM) Studi Kasus Kawasan Megamass Kota Manado

Ananda Rizky R. Suryanto, Lily Patras, Hans Tumaliang,
Jurusan Teknik Elektro, Universitas Sam Ratulangi Manado, Jl. Kampus Bahu, 95115, Indonesia
ananda.suryanto01@gmail.com, patraslily48@gmail.com, hans.tumaliang@gmail.com

Abstrac - One of the factors that can cause an underground cable to experience interference is the temperature increase in the cable. The hot temperature in the cable can cause a partial discharge which will later be the beginning of the failure of the cable. At the research location, ground cables were planted on the shores of the Kawasan Megamas of Manado City. The temperature of the surrounding area where the cables are planted is classified as hot, resulting m in lesser lifetime of the cables.

The results of the calculations showed that the value of the current carrying capacity in the cable planted in the research location is 214.41 A, which value is still below the standart current carrying capacity of the NA2XSEYBY 3 x 150mm2 cable, which is 272 A. The high value temperature will reduce the current carrying capacity of the cable.

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

Abstrak - Salah satu faktor yang dapat menyebabkan kabel bawah tanah mengalami gangguan yaitu kenaikan temperatur pada kabel tersebut. Temperatur yang panas pada kabel jika dibiarkan terus-menerus maka akan menimbulkan *partial discharge* yang nantinya akan menjadi awal-mula dari kegagalan pada kabel. Di lokasi penelitian, kabel tanah di tanam ditepi pantai Kawasan Megamass Kota Manado. Temperatur yang ada di sekitar lokasi penanaman kabel tergolong panas sehingga mengakibatkan kabel yang harusnya memiliki *lifetime* yang lama menjadi cepat mengalami kerusakan.

Pada hasil perhitungan yang dilakukan, nilai dari kuat hantar arus (KHA) pada kabel yang ditanam dilokasi penelitian adalah 214,41 A yang mana nilai tersebut masih dibawah standar kuat hantar arus (KHA) kabel NA2XSEYBY 3 x 150mm^2 yaitu sebesar 272 A. Tingginya nilai temperatur akan mengurangi kemampuan hantar arus (KHA) dari kabel tersebut.

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 terlebih khusus bagi sektor perkotaan, perkantoran, maupun pemerintahan dikarenakan pemasangannya dapat menambah keindahan, terbebas dari ancaman akibat cuaca, serta menambah keamanan bagi orang-orang disekitar. Namun kabel bawah tanah tergolong besar pada biaya pemasangannya, biaya perawatan, juga biaya ketika kabel mengalami gangguan.

Salah satu penyebab gangguan pada kabel tanah yaitu lingkungan disekitar. Di lokasi penelitian, kabel tanah ditanam di tepi pantai Kawasan Megamass Kota Manado yang mana temperatur disekitar lokasi penanaman tergolong sangat panas.

Panas pada kabel selain berasal dari arus yang mengalir juga berasal dari temperatur lingkungan disekitar. Media penanaman kabel harus andal dalam menurunkan panas yang terdapat pada kabel. .

A. Landasan Teori

1) 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.

2) Gangguan Pada SKTM

Gangguan pada 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 :

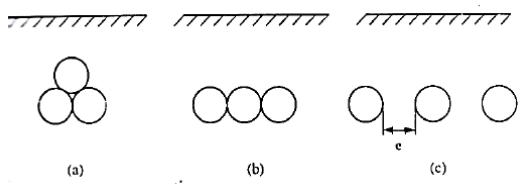
1. Gangguan mekanis karena pekerjaan saluran lain
2. Surja petir lewat saluran udara
3. Binatang
4. Faktor lingkungan

3) 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

4) Peletakkan 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. Tipikal Kabel Tanam Langsung

5) Perhitungan Pada Kabel Bawah Tanah

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

A. Rugi Konduktor

Untuk menghitung resistansi DC konduktor saat beroperasi pada suhu maksimum dapat menggunakan persamaan

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

Dimana :

R' = Resistansi DC Konduktor saat operasi pada temperature maksimum (Ω/m)

a_{20} = Koefisien temperatur bahan konduktor per ºC

θ = Temperatur actual konduktor, [ºC], (untuk kabel berisolasi XLPE θ = 90ºC berdasarkan PUIL 2000)

R_{20} = Resistansi DC konduktor pada 20ºC (Ω/m)

Untuk menghitung faktor efek kulit digunakan persamaan :

$$Fk = \frac{8\pi f}{R'}.10^{-7} \quad (2)$$

$$Xs = \sqrt{Fk.Ks} \quad (3)$$

$$ys = \frac{Xs^4}{192+0{,}8Xs^4} \quad (4)$$

Dimana :

Xs = Menyatakan fungsi untuk perhitungan efek kulit (fungsi Bessel)

Fk = Fungsi perhitungan efek kulit

Ks = Konstanta efek kulit

F = Frekuensi system (Hz)

Faktor efek permukaan dapat dihitung menggunakan persamaan :

$$Xp = \sqrt{Fk.Kp} \quad (5)$$

$$a = \frac{Xp^4}{192+0{,}8Xs^4} \quad (6)$$

$$y = \frac{dc}{s} \quad (7)$$

$$yp = ay^2\left(0{,}312y^2 + \frac{1{,}18}{\alpha+0{,}27}\right) \quad (8)$$

Dimana :

α = Fungsi perhitungan efek permukaan

Xp = Menyataka fungsi perhitungan efek permukaan (fungsi Bessel)

dc = Diameter luar konduktor

s = Jarak antar konduktor dalam satu rangkaian (m)

Sehingga resistansi AC konduktor adalah

$$R = R'(1 + ys + yp)$$

Dimana :

ys = Faktor efek kulit (*skin effect*)

yp = Faktor efek permukaan (*proximity effect*)

B. Rugi Dielektrik

Rugi dielektrik muncul ketika kabel dialiri arus. Namun sebelum menghitung nilai rugi dielektrik terebih dahulu mencari nilai kapasitansi isolasi. Persamaannya adalah,

$$C = \frac{\varepsilon}{18ln\left(\frac{D}{d}\right)}.10^{-9} \quad (9)$$

Dimana :
C = Kapasitasi isolasi (F/m)
Ɛ = Permitivitas bahan isolasi atau konstanta dielektrik bahan
Di = Diameter dalam lapisan isolasi (m)

Selanjutnya menghitung nilai rugi dielektrik dengan persamaan berikut

$$Wd = \frac{{U_0}^2}{R_i} = \omega C {U_0}^2 tan\delta \quad (10)$$

Dimana :
W_d = Rugi dielektrik bahan (W/m)
U_0 = Tegangan kerja antar penghantar fase dengan tanah atau lapisan logam (konduktor dan selubung logam), (Volt)
ω = $2\pi f$
f = Frekuensi system
$tan\delta$ = Faktor rugi isolasi

Nilai Ɛ dan $tan\delta$ dapat dilihat pada tabel 1

Tabel 1. Permitivitas Bahan Isolasi dan Faktor Rugi Isolasi

Tipe Kabel	Ɛ	$tan\delta$
XLPE	2,5	0,004

C. Rugi Selubung dan Perisai

Rugi selubung logam terdiri dari rugi-rugi yang disebabkan oleh arus sirkulasi λ_1' dan arus eddy λ_2'. Persamaannya sebagai berikut:

$$\lambda_1 = \lambda_1' + \lambda_2'$$

Selubung dibumikan sehingga arus sirkulasi (λ_1') diabaikan

Faktor arus eddy dapat dilihat pada persamaan dibawah

$$\lambda_1'' = \frac{3{,}2\omega^2}{RR_s}\left(\frac{2c}{d}\right)^2 10^{-14}\left[1 + \left(\frac{d}{d_A}\right)^2 \frac{1}{1+\frac{d_A}{\mu\delta_0}}\right]^2 \quad (11)$$

$$R_s = R_{s0}[1 + a_{20}(\theta - 20)] \quad (12)$$

Dimana :
c = Jarak antar sumbu konduktor dengan sumbu kabel (mm)
R_S = Resistansi selubung Ω/m
a_{20} = Koefisien temperatur bahan konduktor per °C
δ_0 = Ketebalan ekivalen perisai (mm)
d_A = Diameter rata-rata perisai (mm)

Jika kabel berinti dua atau tiga memiliki perisai pita baja, rugi arus eddy λ_2' maupun rugi histeris λ_2'' maka harus dipertimbangkan, sehingga

$$\lambda_2 = \lambda_2' + \lambda_2''$$

Untuk kabel berinti tiga dengan perisai pita baja faktor rugi arus histeris λ_2' ditentukan sebagai berikut

$$\lambda_2' = \frac{s^2k^2 10^{-7}}{Rd_A\delta_0} \quad (13)$$

Kabel berinti tiga dengan perisai pita baja faktor arus eddy λ_2'' ditentukan dengan persamaan

$$\lambda_2'' = \frac{2{,}25 s^2k^2\delta_0 10^{-8}}{Rd_A} \quad (14)$$

Dimana :

k = $\frac{1}{1+\frac{d_A}{\mu\delta_0}}\left(\frac{f}{50}\right)$
s = Jarak antar sumbu konduktor (mm)

D. Resistansi Thermal

Resistansi thermal merupakan kemampuan suatu material untuk menghalangi aliran panas. Resistansi thermal terbagi menjadi beberapa bagian sebagai berikut :

1. Resistansi *thermal* antara konduktor dengan selubung (T_1)
   Untuk menghitung nilai T_1 maka digunakan persamaan :
   $$T_1 = \frac{\rho_i}{2\pi} ln\left(1 + \frac{2t_1}{dc}\right) \quad (15)$$
   Dimana :
   ρ_i = Resistivitas thermal bahan isolasi (K.m/W)
   t_1 = Tebal lapisan isolasi (m)
   dc = Diameter luar konduktor (m)
2. Resistansi *thermal* antara selubung dan perisai (T_2)
   Untuk menghitung nilai T_2 maka digunakan pesamaan :
   $$T_2 = \frac{\rho_b}{2\pi} ln\left(1 + \frac{2t_2}{ds}\right) \quad (16)$$
   Dimana :
   ρ_b= Resistivitas thermal bantalan (K.m/W)
   t_2 = Tebal bantalan (m)
   ds = Diameter luar selubung (m)
3. Resistansi Thermal antara selubung luar (T_3)
   Untuk menghitung nilai T_3 maka digunakan persamaan :
   $$T_3 = \frac{\rho_s}{2\pi} ln\left(1 + \frac{2t_3}{d'a}\right) \quad (17)$$
   Dimana :
   ρ_s = Resistivitas thermal selubung luar (K.m/W)
   t3 = Tebal selubung luar (m)
   $d'a$ = Diameter luar perisai (m)
4. Resistansi Thermal Permukaan Kabel /Sekeliling Kabel (T_4)
   Untuk menghitung nilai T_4 maka digunakan persamaan :
   $$T_4 = \frac{\rho_e}{2\pi} ln\left(u + \sqrt{u^2 - 1}\right) \quad (18)$$

Dimana :

ρ_e = Resistivitas thermal tanah (K.m/W)

U $= \frac{2L}{De}$

L = Kedalaman penanaman kabel (m)

De = Diameter luar kabel (m)

Jika nilai u melebihi 10, maka pendekatan sebagai berikut dapat dilakukan :

$$T_4 = \frac{\rho_e}{2\pi} ln\left(\frac{4L}{De}\right) \quad (19)$$

E. Kuat Hantar Arus (KHA)

Untuk mengetahui nilai arus maksimum yang dapat dihantarkan oleh suatu kabel maka diperlukan perhitungan kuat hantar arus (Ampacity). Persamaan kuat hantar arus sebagai berikut

$$I = \left[\frac{(\theta-\theta_{amb})-W_d[0{,}5T_1+n(T_2+T_3+T_4)]}{RT_1+nR(1+\lambda_1)T_2+nR(1+\lambda_1+\lambda_2)(T_3+T_4)}\right]^{0,5} \quad (20)$$

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 (°C)

θ_{amb} = Temperatur lingkungan dalam tanah (°C)

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

F. Kenaikan Temperatur

Membedakan antara perpindahan panas di dalam dan diluar kabel menggunakan persamaan berikut

Untuk resistansi *thermal* kabel :

$$T = \frac{T_1}{n} + (1+\lambda_1)T_2 + (1+\lambda_1+\lambda_2)T_3 \quad (21)$$

Untuk resistansi *thermal* dielektrik :

$$T_d = \frac{T_1}{2n} + T_2 + T_3 \quad (22)$$

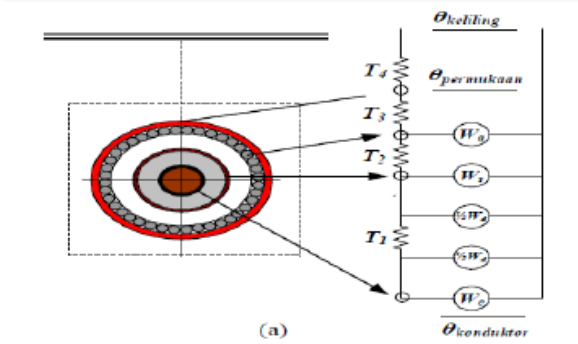
Untuk perhitungan rugi total :

$$W_T = W_1 + W_d = W_c(1+\lambda_1+\lambda_2) + W_d \quad (23)$$

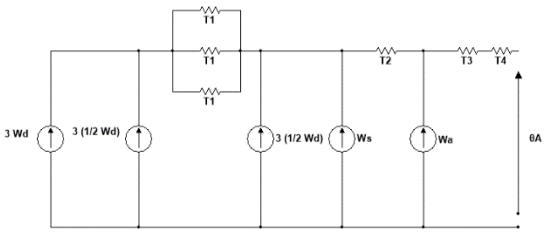
Dimana :

Wc = Rugi Joule pada konduktor (W/m)

Wd = Rugi dielektrik [W/m]



Gambar 1. Rangkaian ekivalen *thermal* listrik



Gambar 2. Rangkaian ekivalen *thermal* listrik berinti tiga

Dari gambar kita dapat menghitung kenaikan temperatur dengan menggunakan

$$\Delta\theta = \left(W_c + \frac{1}{2}W_d\right)T_1 + [W_c(1+\lambda_1) + W_d]nT_2 + [W_c(1+\lambda_1+\lambda_2)W_d]n(T_3+T_4) \quad (24)$$

Sehingga untuk menghitung kenaikan temperatur dapat menggunakan persamaan

$$\Delta\theta = n(W_cT + W_TT_4 + W_dT_d) \quad (25)$$

Dimana :

T = Resistansi *thermal* kabel (K.m/W)

T_d = Resistansi *thermal* dielektrik (K.m/W)

W_T = Rugi Total (W/m)

Untuk kenaikan temperatur pada selubung logam :

$$\Delta\theta_s = \theta_{amb} + n\{[W_c(1+\lambda_1+\lambda_2) + W_d](T_3+T_4)\} \quad (26)$$

Untuk kenaikan temperatur pada koduktor :

$$\Delta\theta_c = \Delta\theta_s + (W_c + 0{,}5W_d)T_1 \quad (27)$$

Serta kenaikan temperature akibat rugi dieletrik :

$$\Delta\theta_d = nW_dT_d \quad (28)$$

II. METODE PENELITIAN

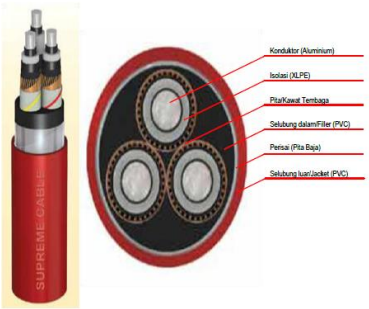
A. Prosedur Penelitian

1. Mengumpulkan dan mempelajari literatur-literatur yang berhubungan dengan Saluran Kabel Tegangan Menengah (SKTM) 20 kV
2. Menentukan parameter yang diperlukan untuk perhitungan serta pengkajian kabel tanah
3. Mengumpulkan data langsung dari instansi terkait serta literatur yang ada
4. Melakukan pengelompokkan dan pengolahan data yang diperoleh
5. Melakukan penulisan tugas akhir sesuai hasil penelitian yang telah dilakukan

B. Data Teknis

Adapun data-data yang telah dikumpulkan pada penelitian ini yaitu :

1. Jenis kabel yang digunakan dilokasi penelitian yaitu kabel bertipe NA2XSEYBY 3 x 150mm^2 (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. Kabel ini dipasang di lokasi penelitian dengan panjang sekitar 555m



Gambar 3. Penampang Kabel SKTM

2. Data konstruksi kabel, dapat dilihat pada lampiran
3. Data resistansi konduktor kabel, dapat dilihat pada tabel 2
4. Data resistivitas *thermal* dan koefisien temperatur bahan logam, dapat dilihat pada tabel 3
5. Data permitivitas bahan isolasi dan faktor rugi isolasi, dapat dilihat pada tabel 4

Tabel 2. Resistansi konduktor kabel

Luas Penampang	Resistansi DC Maksimum 20°C (R_{20})	
	Tembaga Polos	Aluminium
mm^2	Ohm/km	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

Tabel 3. *thermal* dan koefisien temperatur bahan logam

Material	Resistivitas *Thermal* (ρ_{20}).10^{-8} Ω.m	Koefisien Temperatur (α_{20}).10^{-3} per °C
Tembaga	1,7241	3,93
Aluminium	2,8264	4,03

Tabel 4. Tabel perimitivitas dan faktor rugi isolasi

Material	Resistivitas Thermal (ρ) [K.m/W]
XLPE (*Cross-linked Polyethylen*)	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

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

$$R' = 0{,}206\ x\ 10^{-3}[1 + 4{,}03\ x\ 10^{-3}(90 - 20)]$$
$$= 2{,}64\ x\ 10^{-4}\Omega/m$$

   Faktor efek kulit (ys)

$$Fk = \frac{8\ x\ 3{,}14\ x\ 50}{2{,}64\ x\ 10^{-4}}\ 10^{-7}\ x\ 1$$
$$= 0{,}475$$
$$Xs^2 = 0{,}475 \text{ x } 1 = \sqrt{0{,}475} = 0{,}689$$
$$ys = \frac{0{,}689^4}{192 + 0{,}8\ x\ 0{,}689^4}$$
$$= 0{,}0012$$

   Faktor efek permukaan (yp)

$$Xp^2 = 0{,}475\ x\ 1 = \sqrt{0{,}475\ .\ 1} = 0{,}69$$
$$y = \frac{0{,}014}{0{,}029} = 0{,}48$$
$$a = \frac{0{,}69^4}{192 + 0{,}8\ x\ 0{,}69^4} = 0{,}0012$$
$$y = 0{,}0012\ x\ 0{,}48^2$$
$$x\ \left(0{,}312\ x\ 0{,}48^2 \frac{1{,}18}{0{,}0012 + 0{,}27}\right)$$
$$= 8{,}6\ x\ 10^{-5}$$

   Sehingga nilai resistansi AC konduktor adalah

$$R = R'(1 + ys + yp)$$
$$= 2{,}64\ x\ 10^{-4}(1 + 0{,}0012 + 8{,}6\ x\ 10^{-5})$$
$$= 2{,}64\ x\ 10^{-4}\ \Omega/\text{m}$$

2. Rugi Dielektrik

   Nilai kapasitansi bahan isolasi yaitu :

$$C = \frac{2{,}5}{18 \ln\left(\frac{0{,}026}{0{,}014}\right)} 10^{-9} = 2{,}24\ x\ 10^{-10} F/m$$

   Nilai rugi dielektrik adalah :

$$W = 2\ x\ 3{,}14\ x\ 50\ x\ 2{,}24\ x\ 10^{-10}\ x\ \left(\frac{20000}{\sqrt{3}}\right)^2$$
$$x\ 0{,}004$$
$$= 0{,}0375\ W/m$$

3. Faktor rugi selubung

   Temperatur maksimum selubung diasumsikan sebesar 70 °C

$$R_s = 7{,}34\ x\ 10^{-4}[1 + 4{,}3\ x\ 10^{-3}(70 - 20)]$$
$$= 8{,}9\ x\ 10^{-4}\Omega/\text{m}$$

   Faktor rugi arus eddy :

$$\lambda_1'' = \frac{3{,}2\omega^2}{RR_s}\left(\frac{2c}{d}\right)^2 10^{-14}\left[1 + \left(\frac{d}{d_A}\right)^2 \frac{1}{1 + \frac{d_A}{\mu\delta_0}}\right]^2$$
$$= 3{,}4\ x\ 10^{-8}$$

   Karena selubung dibumikan sehingga nilai dari rugi arus sirkulasi λ_1' diabaikan. Sehingga total rugi selubung sebesar :

$$\lambda_1 = \lambda_1' + \lambda_2' = 0 + 3{,}4\ x\ 10^{-8} = 3{,}4\ x\ 10^{-8}$$

4. Faktor Rugi Perisai

   Rugi arus histeris :

$$k = \frac{1}{1 + \frac{0{,}0674}{0{,}3\ x\ 0{,}496}}\left(\frac{50}{50}\right) = 0{,}688$$
$$\lambda_2' = \frac{0{,}029^2\ x\ 0{,}688^2\ x\ 10^{-7}}{2{,}64\ x\ 10^{-4}\ x\ 0{,}0675\ x\ 4{,}96\ x\ 10^{-4}}$$
$$= 4{,}5\ x\ 10^{-3}$$

   rugi arus eddy :

$$\lambda_2'' = \frac{2{,}25\ x\ 0{,}029^2\ x\ 0{,}688^2 x\ 4{,}9x10^{-4}\ x\ 10^{-7}}{2{,}64\ x\ 10^{-4}\ x\ 0{,}00675}$$
$$= 2{,}46\ x\ 10^{-8}$$

   Dengan hasil perhitungan diatas sehingga total faktor rugi perisai adalah :

$$\lambda_2 = \lambda_2' + \lambda_2'' = 4{,}5\ x\ 10^{-3} + 2{,}46\ x\ 10^{-8}$$
$$= 4{,}5\ x\ 10^{-3}$$

5. Resistansi *thermal*

   a. Resistansi *thermal* antar konduktor dan selubung

      Resistansi *thermal* antar konduktor dan selubung dapat dikatakan juga sebagai resistansi isolasi. Untuk mengetahui nilai dari T_1 maka diperlukan perhitungan seperti berikut :

$$T_1 = \frac{3{,}5}{2\ x\ 3{,}14} \ln\left(1 + \frac{2\ x\ 0{,}0055}{0{,}0143}\right)$$
$$= 0{,}31 \frac{Km}{W}$$

   b. Antar selubung dan perisai

      Resistansi thermal antar selubung dan perisai adalah

$$T_2 = \frac{6,0}{2\ x\ 3,14} \ln\left(1 + \frac{2\ x\ 0,003}{0,029}\right)$$

$$= 0,18\ Km/W$$

c. Lapisan selubung luar
Menentukan nilai resistansi selubung luar :

$$T_3 = \frac{6,0}{2\ x\ 3,14} \ln\left(1 + \frac{2\ x\ 0,033}{0,067}\right)$$

$$= 0,65\ Km/W$$

d. Resistansi thermal eksternal / permukaan kabel
Kabel yang digunakan pada penelitian ini yaitu kabel bertype NA2XSEYBY 3 x 150mm^2 yang mempunyai diameter luar kabel sebesar 0,074m. Kabel ditanam pada kedalaman sekitar 30cm sehingga :

$$u = \frac{2L}{De} = \frac{2\ x\ 0,3}{0,074} = 8,1$$

Perhitungan resistansi thermal eksternal dapat dihitung sebagai berikut

$$T_4 = \frac{1}{2\ x\ 3,14} \ln\left(8,1 + \left(\sqrt{8,1^2 - 1}\right)\right)$$

$$= 0,44\ K.m/W$$

6. Kemampuan Hantar Arus (KHA)
Temperatur maksimum pada konduktor yaitu 90°C (PUIL 2000) dan temperatur tanah yang dalam hal ini kabel di cor dalam beton dengan temperatur sebesar 38,8^{o}C. KHA kabel yang ada di lokasi penelitian adalah :

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

$$I = 217,41\ A$$

7. Rugi Konduktor

Perhitungan rugi pada konduktor dapat dilihat pada perhtungan berikut

$$W_c = I^2 R$$

$$= 217,41^2\ x\ 2,64\ x\ 10^{-4}$$

$$= 12,48\ W/m$$

8. Kenaikan Temperatur
Menghitung kenaikan temperatur pada kabel sebagai berikut :
Resistansi *thermal* kabel :

$$T = \frac{0,31}{3} + (1 + 3,4\ x\ 10^{-8})0,18 + (1 + 3,4\ x\ 10^{-8} + 4,5\ x\ 10^{-3})0,65$$

$$= 0,93\ K.m/W$$

Resistansi thermal dielektrik :

$$T_d = \frac{0,31}{2\ x\ 3} + 0,18 + 0,65$$

$$= 0,88\ K.m/W$$

Kenaikan temperatur

$$\Delta\theta = 3(12,48\ x\ 0,93 + 12,57\ x\ 0,44 + 0,0375\ x\ 0,88)$$

$$= 51,5°C$$

Kenaikan temperatur pada selubung logam

$$\Delta\theta_s = 38,8 + 3\{[12,48(1 + 3,4\ x\ 10^{-8} + 4,5\ x\ 10^{-3}) + 0,0375](0,65 + 0,44)\}$$

$$= 79,91°C$$

Kenaikan temperatur pada konduktor

$$\Delta\theta_c = 79,91 + (12,48 + 0,5\ x\ 0,0375\ )0,31$$

$$= 83,78°C$$

Kenaikan temperatur akibat rugi dielektrik

$$\Delta\theta_d = 3\ x\ 0,0375\ x\ 0,88$$

$$= 0,099°C$$

9. Kuat Medan Listrik
Nilai dari kuat medan listrik pada tiap lapisan sebagai berikut
1. Kuat Medan Maximum
Emax lapisan pelindung konduktor

$$Emax = \frac{v}{r_1 \ln\frac{r_2}{r_1}} = \frac{20}{0,75 \ln\frac{1,25}{0,75}} = 52,2\ kV$$

Emax lapisan isolasi

$$Emax = \frac{v}{r_2 \ln\frac{r_3}{r_2}} = \frac{20}{1,25 \ln\frac{1,75}{1,25}} = 47,5\ kV$$

Emax lapisan pelindung isolasi

$$Emax = \frac{v}{r_3 \ln \frac{r_4}{r_3}} = \frac{20}{1{,}75 \ln \frac{2{,}25}{1{,}75}} = 45{,}4\ kV$$

Emax lapisan selubung logam

$$Emax = \frac{v}{r_4 \ln \frac{r_5}{r_4}} = \frac{20}{2{,}25 \ln \frac{2{,}75}{2{,}25}} = 44{,}3\ kV$$

Emax lapisan selubung luar

$$Emax = \frac{v}{r_5 \ln \frac{r_6}{r_5}} = \frac{20}{2{,}75 \ln \frac{3{,}25}{2{,}75}} = 43{,}5\ kV$$

2. Kuat medan minimum

Emin lapisan pelindung konduktor

$$Emin = \frac{v}{R_1 \ln \frac{R_2}{R_1}} = \frac{20}{1{,}4 \ln \frac{1{,}9}{1{,}4}} = 46{,}7\ kV$$

Emin lapisan isolasi

$$Emin = \frac{v}{R_2 \ln \frac{R_3}{R_2}} = \frac{20}{1{,}9 \ln \frac{2{,}4}{1{,}9}} = 45\ kV$$

Emin lapisan pelindung isolasi

$$Emin = \frac{v}{R_3 \ln \frac{R_4}{R_3}} = \frac{20}{2{,}4 \ln \frac{2{,}9}{2{,}4}} = 44\ kV$$

Emin lapisan selubung logam

$$Emin = \frac{v}{R_4 \ln \frac{R_5}{R_4}} = \frac{20}{2{,}9 \ln \frac{3{,}4}{2{,}9}} = 43{,}3\ kV$$

Emin lapisan selubung luar

$$Emin = \frac{v}{R_5 \ln \frac{R_6}{R_5}} = \frac{20}{3{,}4 \ln \frac{3{,}9}{3{,}4}} = 42{,}8\ kV$$

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 ditanam di tepi pantai Kawasan Megamass tehitung masih di bawah standart resistansi AC Konduktor maksimal dari kabel NA2XSEYBY 3 x 150mm^2.

Tabel 5. Resistansi AC Konduktor

Parameter	Simbol	Nilai	Satuan
Resistansi AC	R	$2{,}64\ x\ 10^{-4}$	Ω/m

Pada standart spesifikasi kabel NA2XSEYBY 3 x 150mm^2 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 Resistivitas *thermal*

Parameter	Simbol	Nilai	Satuan
Resistansi thermal antara konduktor dan selubung	T_1	0,31	Km/W
Resistansi thermal antara selubung dengan perisai	T_2	0,18	Km/W
Resistansi thermal selubung luar	T_3	0,65	Km/W
Resistansi thermal eksternal / permukaan kabel	T_4	0,44	Km/W

Pada resistivitas *thermal* eksternal atau permukaan kabel dapat dilihat bahwa nilai resistivitas *thermal* permukaan kabel bernilai kecil. Nilai ini menjadi kecil disebabkan media peletakan kabel menggunakan beton yang berada di tepi pantai Kawasan Megamass Kota Manado.

3. Kemampuan Hantar Arus (KHA)

   Sesuai hasil dari perhitungan kuat hantar arus pada kabel yang ditanam di tepi pantai Kawasan Megamass Kota Manado, didapati bahwasanya nilai kuat hantar arus sebesar 214,41 A.

Tabel 7. Nilai KHA

Parameter	Simbol	Nilai	Satuan
Kemampuan Hantar Arus (KHA)	I	217,41	A

Dalam standar KHA yang ditetapkan oleh PUIL 2000, KHA untuk kabel NA2XSEYBY dengan diameter 150mm^2 nilainya sebesar 272 A. Dengan hasil ini dapat disimpulkan bahwa nilai KHA di lokasi penelitian terhitung kecil.

4. Kenaikan Temperatur
   Kenaikan temperatur pada konduktor tergolong besar. Hal ini akibatkan oleh konstruksi kabel yang tidak handal. Temperatur permukaan tempat kabel ditanam mempunyai suhu sebesar 40,8^{o}C. Suhu yang tercipta pada sekitar kabel sebesar 38,8^{o}C yang mana mengakibatkan nilai dari kuat hantar arus menjadi kecil.

Tabel 8. Nilai Kenaikan Temperatur

Parameter	Simbol	Nilai	Satuan
Kenaikan temperature	$\Delta\theta$	51,5	^{o}C
Kenaikan temperature pada selubung logam	$\Delta\theta_s$	79,91	^{o}C
Kenaikan temperature pada konduktor	$\Delta\theta_c$	83,78	^{o}C
Kenaikan temperatur akibat rugi dielektrik	$\Delta\theta_d$	0,099	W/m

Temperatur yang berada pada lingkungan sekitar sangat berpengaruh kepada kelangsungan distribusi tenaga listrik juga pada daya tahan kabelnya. Diketahui bahwa lokasi penanaman kabel berada di tepi pantai yang mana temperatur sekitar lokasi penanaman terbilang panas. Dikarenakan kabel ditanam dalam beton maka panas yang tercipta pada permukaan kabel akan lebih cepat berdampak pada sekitar kabel serta kemampuan untuk menghilangkan panas pada sekitar kabel tergolong lama.

5. Kuat Medan Listrik
   Hasil dari perhitungan kuat medan listrik dapat kita simpulkan bahwa nilai kuat medan listrik terbesar berada di lapisan terdalam pada kabel dan kuat medan listrik terkecil berada pada lapisan terluar dari kabel. Semakin banyak lapisan pada kabel maka nilai kuat hantar arus semakin menurun, begitupula sebaliknya.
6. Analisa Kegagalan Kabel Tanah
   Setelah mendapati hasil-hasil dari tiap perhitungan dan kajian-kajian yang telah dilakukan pada tiap perhitungan maka kita dapat menganalisa penyebab terjadinya kegagalan pada kabel yang ditanam di tepi pantai Kawasan Megamass Kota Manado.
   Secara keseluruhan penyebab dari kegagalan yang terjadi pada kabel SKTM yang tertanam di lokasi penelitian disebabkan oleh temperatur yang ada di lokasi penelitian terhitung sangat panas. Temperatur yang ada pada lokasi penanaman kabel sangat mempengaruhi kualitas dari pendistribusian tenaga listrik. Hal ini dapat kita lihat dari hasil perhitungan dari kuat hantar arus (KHA) yang mana nilai dari KHA hanya sebesar 214,41 A sedangkan nilai standart yang ditetapkan oleh PUIL 2000 yaitu KHA kabel NA2XSEYBY sebesar 272 A. Dengan hasil demikian maka dapat kita simpulkan bahwa nilai dari Kuat Hantar Arus (KHA) kabel NA2XSEYBY 3 x 150mm2 terhitung masih dibawah standar yang ditetapkan sehingga pendistribusian tenaga listrik dinilai tidak optimal.
   Panas yang tercipta pada sekitar lokasi penanaman kabel akan sangat berpengaruh pada *lifetime* dari kabel. Jika temperatur di lokasi penelitian terhitung tinggi, maka akan berpengaruh kepada kabel yang ditanam dimana kabel di cor dalam beton sehingga panas yang tercipta pada sekitar kabel akan sangat sulit untuk dikeluarkan. Jika panas pada kabel ini terus-menerus bertumpuk pada sekitar kabel maka ini akan menjadi *partial discharge* dan menjadi awal mula dari kegagalan pada kabel yang ditanam.
   Jika dikaitkan dengan teoritis maupun pada praktisnya maka panas yang berada di sekitar kabel harus cepat dikeluarkan. Kecepatan untuk menghilangkan panas harus handal dalam menghilangkan panas. Pada kenyataannya di lokasi penelitian, keandalan untuk menghilangkan panas tidak handal dikarenakan konstruksi yang digunakan adalah konstruksi beton yang mana diketahui bahwa konstruksi beton dinilai tidak

handal dalam menghilangkan panas. Sedangkan panas pada kabel bersifat continue sehingga panas ini harus cepat untuk dikeluarkan agar panas pada kabel tidak menumpuk dan dapat bertahan sesuai lifetime kabel yang dipasang.

Tabel 9. Rekapitulasi Hasil Perhitungan

Parameter	Simbol	Nilai	Satuan
Resistansi AC	R	$2{,}64\ x\ 10^{-4}$	Ω/m
Rugi Dielektrik	W_d	0,0375	W/m
Total faktor rugi selubung	λ_1	$3{,}4\ x\ 10^{-8}$	
Total faktor rugi perisai	λ_2	$4{,}5\ x\ 10^{-3}$	
Resistansi thermal antara konduktor dan selubung	T_1	0,31	Km/W
Resistansi thermal antara selubung dengan perisai	T_2	0,18	Km/W
Resistansi thermal selubung luar	T_3	0,65	Km/W
Resistansi thermal eksternal / permukaan kabel	T_4	0,44	Km/W
Kemampuan Hantar Arus (KHA)	I	217,41	A
Resistansi thermal kabel	T	0,93	K.m/W
Resistansi thermal dielektrik	T_d	0,88	K.m/W
Kenaikan temperature	$\Delta\theta$	51,5	°C
Kenaikan temperature pada selubung logam	$\Delta\theta_s$	79,91	°C
Kenaikan temperature pada konduktor	$\Delta\theta_c$	83,78	°C
Kenaikan temperatur akibat rugi dielektrik	$\Delta\theta_d$	0,099	W/m

IV. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

1. Kemampuan hantar arus kabel NA2XSEYBY 3 x 150mm2 yang dipasang di lokasi tepi pantai Kawasan Kota Manado terhitung masih dibawah standar kemampuan hantar arus yang telah ditetapkan oleh PUIL 2000
2. Media penanaman kabel yang dalam hal ini menggunakan konstruksi beton mengakibatkan panas yang ada pada kabel menjadi lambat untuk dikeluarkan
3. Kecepatan untuk menghilangkan panas pada kabel tanah harus menjadi perhatian khusus sehingga tidak terjadinya penumpukan panas pada sekitar kabel
4. Lokasi penanaman yang hanya berada di tepi pantai membuat temperatur permukaan menjadi tinggi sehingga menyebabkan temperatur sekitar kabel juga menjadi tinggi
5. Temperatur yang tinggi disekitar lokasi penanaman kabel mengakibatkan timbulnya partial discharge yang mana hal tersebut menjadi awal kegagalan pada kabel bawah tanah

B. Saran

1. Penelitian ini dapat menjadi acuan untuk pemasangan kabel bawah tanah yang berlokasikan di tepi pantai
2. Dengan hasil penelitian yang telah dilakukan, peneliti berharap semoga kedepannya untuk penanaman saluran kabel tengangan menegah 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 Eletric Power Cable: Ampacity Computations or Transmission, Distribution, and Industrial Applications. New York: Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc.

[2] *BAB II Kabel dan perpindahan panas*, Universitas Sumatra Utara

[3] Buku 5: Standar Konstruksi Jaringan Tegangan Menengah Tenaga Listrik. PT. PLN (Persero). 2010

[4] BMKG Stasiun Klimatologi Minahasa Utara, Paniki

[5] Handayani, Oktaria. 2015. Analisa Kuat Hantar Arus Kabel Tanah 150 kV Yang Melintasi Jembatan, *Jurnal Energi & Kelistrikan Vol. 7 No.2, Juni*, Teknik Elektro STT PLN

[6] IEC 60287-1-1. 2014. *Final Version*

[7] Lutfi, A. M. Perhitungan Termis dan Kemampuan Hantar Arus Kabel Bawah Tanah 20kV pada PT.PLN (PERSERO) AREA PONTIANAK

[8] Mogot, O. T. L. 2019. Analisa Pengaruh Temperatur Terhadap Peletakan Kabel Tanah 20kV, *e-Jurnal Teknik Elektro dan Komputer Vol.8 No. (2)*. Universitas Sam Ratulangi

[9] Patras, Lily. 2020. Bahan Ajar Matakuliah Teknik Tegangan Tinggi

[10] Persyaratan Umum Instalasi Listrik, 2000. Badan Standarisasi Nasional

[11] PT. Jembo Cable. "Medium Voltage NA2XSEYBY", https://jembo.co.id/id/detail/alumunium-medium-voltage-cables/na2xseyby, diakses pada 12 September 2021 pukul 20.09 WITA

[12] SPLN 41-1:1991, Persyaratan Penghantar Tembaga dan Aluminium untuk Kabel Listrik Berisolasi, Departemen Pertambangan dan Energi, Jakarta, 1991

[13] 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.

[14] Thoe, William. 2012. Electric Power Cable Engineering: Third Edition. NortWest

[15] Walangare, F. A. Y. 2013. Pemrograman Perhitungan Termis Kabel Bawah Tanah 20 kV Menggunakan Program *Visual Basic* 6.0, *e-Jurnal Teknik Elektro dan Komputer*. Universitas Sam Ratulangi

TENTANG PENULIS

Penulis bernama lengkap Ananda Rizky R. Suryanto, anak kedua dari dua bersaudara Qalby R. Suryanto, S.H (kakak) dari pasangan suami istri Ir. Suryanto (Ayah) dan Murni Rasyid, BAC (Ibu), Lahir di Manado, 1 Agustus 1999.

Sebelum menempuh jenjang pendidikan di Fakultas Teknik Universitas Sam Ratulangi, penulis telah menempuh pendidikan secara berturut-turut di SD Negeri Malalayang (2005-2011), SMP Negeri 8 Manado (2011 - 2014), SMA Negeri 9 Binsus Manado (2014-2017).

Pada tahun 2017, penulis memulai pendidikan di Fakultas Teknik Universitas Sam Ratulangi Manado di Jurusan Teknik Elektro, dengan mengambil konsentrasi minat Teknik Tenaga Listrik. Pada 2020 penulis melaksanakan Kerja Praktek di PT. Jago Elfah Anugerah, Sulawesi Utara.

Selama menempuh pendidikan penulis aktif dalam beberapa kegiatan di dalam dan luar lingkungan kampus terutama dalam kegiatan di Laboratorium Teknik Tenaga Listrik UNSRAT, Majelis Permusyawaratan Mahasiswa (Div. LITBANG Periode 2019/2020), UPK BTFT UNSRAT (Koord. Pengembangan Anggota periode 2019/2020 serta Badan Pengawas Organisasi periode 2020-2021).

Penulis selesai melaksanakan pendidikan di Fakultas Teknik Universitas Sam Ratulangi Manado pada Bulan November 2021, dengan judul tugas akhir Kajian Saluran Kabel Tegangan Menengah (SKTM) Studi Kasus Kawasan Megamass Kota Manado.