

Analisa Perhitungan Andongan Kawat Saluran Pada Jaringan Transmisi 150 KV Jalur Lopana – GIS Teling

I Komang Agus Indra Prayoga ¹⁾, Lily Stiowaty Patras ²⁾, Novi Margritje Tulung ³⁾ Jurusan Teknik Elektro, Universitas Sam Ratulangi Manado, Jl. Kampus Bahu, 95115, Indonesia
Email: komangagus515@gmail.com, patraslilys48@gmail.com, noviunrsrat@gmail.com

Abstract _The transmission line is part of the electric power system to distribute electrical power from generating centers to substations which are then distributed to consumers. In the distribution of electricity from generating centers to the load (consumers), where the distance is quite far, it is carried out through high voltage transmission lines.

of the transmission lines in the Minahasa system is a 150 kV transmission line from Tragi Lopana to GIS Teling with a network length of 45 km. The Lopana-GIS Teling transmission line passes through highland areas, one of which is in Ranowanko village where there are two towers from one hill to another. The length reaches 596.89 m so that it will form an arch or zag. Based on the results of the field review, the current value of andongan is 29 m with a span length of 596.89 m while the value of andongan obtained from your calculations is 28.21 m. it can be seen that the calculation results with the results of the review are different because the factors that influence these differences are load factors and environmental factors.

Keywords: *Andongan, Transmission Line, Tower T068-T069, Lopana – GIS Teling*

Abstrak _Saluran transmisi adalah merupakan bagian dari sistem tenaga listrik untuk menyalurkan daya listrik dari pusat-pusat pembangkit ke gardu induk yang selanjutnya di-distribusikan ke konsumen. Dalam penyaluran tenaga listrik dari pusat-pusat pembangkit ke beban (konsumen), di mana jaraknya cukup jauh maka dilakukan lewat saluran transmisi tegangan tinggi.

Salah satu saluran transmisi yang berada di sistem Minahasa adalah saluran transmisi 150 kV dari Tragi Lopana ke GIS Teling dengan panjang jaringan 45 km. Saluran transmisi jalur Lopana - GIS Teling yang melewati daerah-daerah dataran tinggi, salah satunya yang berada di desa Ranowanko dimana dua buah tower/ menara dari bukit satu ke bukit lainnya . Untuk panjangnya mencapai 596,89 m sehingga akan membentuk lengkungan atau andongan (zag). Berdasarkan hasil tinjauan di lapangan nilai andongan sekarang adalah 29 m dengan panjang span 596,89 m sedangkan nilai andongan yang di dapat dari hasil perhitungan adalah 28,21 m . dapat dilihat bahwa hasil perhitungan dengan hasil tinjauan berbeda dikarenakan factor –

factor yang mempengaruhi perbedaan tersebut adalah factor beban dan factor lingkungan.

Kata kunci: *Andongan, Saluran Transmisi, Tower T068-T069, Lopana – GIS Teling*

I. PENDAHULUAN

Saluran transmisi adalah merupakan bagian dari sistem tenaga listrik untuk menyalurkan daya listrik dari pusat-pusat pembangkit ke gardu induk yang selanjutnya di-distribusikan ke konsumen. Dalam penyaluran tenaga listrik dari pusat-pusat pembangkit ke beban (konsumen), di mana jaraknya cukup jauh maka dilakukan lewat saluran transmisi tegangan tinggi. Pada saluran transmisi 150 kV, Untuk lebih mengoptimalkan hasil yang akan diperoleh dalam membangun suatu saluran transmisi, di sini penulis mencoba membahas kriteria mekanis dalam perencanaan saluran transmisi khususnya dalam Menghitung Andongan Kawat Saluran Transmisi 150 kV " serta beberapa aspek yang mendukungnya, seperti jarak antara penghantar, kuat tarik penghantar dan keadaan geografis. Sehingga nantinya akan diperoleh hasil yang lebih optimal untuk membangun saluran transmisi yang sesuai dengan kondisi geografisnya guna memenuhi kebutuhan akan tenaga listrik yang semakin meningkat.

Pada daerah-daerah dimana permukaan bumi tidak rata, misalnya pada daerah pegunungan dimanan andongan kawat dapat mendekati permukaan bumi pada bagian bagian yang ketinggiannya tidak sama tinggi antara dua menara.[1] Oleh sebab itu di perlukan perhitungan yang optimal agar pada pemasangan kawat pada suatu rentangan diperoleh andongan dengan jarak bebas dari permukaan bumi.

Andongan (sag) adalah jarak proyeksi yang diukur dari tinggi menara saluran transmisi terhadap jarak lingkungan penghantar yang terendah. Hal ini terjadi karena beratnya penghantar yang direntangkan antara dua tiang transmisi. Karena kondisi permukaan tanah yang tidak rata akan menyebabkan tiang menara mempunyai perbedaan tinggi antara satu dengan yang lainnya. Faktorfaktor yang mempengaruhi andongan pada suatu rentang kawat penghantar antar menara dalam saluran udara adalah sebagai berikut: Berat kawat per satuan panjang, Modulus elastisitas, Koefisien perubahan panjang, Ultimate strength, Diameter kawat, Jarak antara dua menara (span), Kondisi lingkungan sekitar yang mungkin berpengaruh, misalnya angin, es, debu dan suhu .[3]

Salah satu saluran transmisi yang berada di sistem Minahasa adalah saluran transmisi 150 kV dari Tragi Lopana ke GIS Teling dengan panjang jaringan 45 km. Saluran transmisi jalur Lopana - GIS Teling yang melewati daerah-daerah dataran tinggi, salah satunya yang berada di desa Ranowanko dimana dua buah tower/ menara dari bukit satu ke bukit lainnya . Untuk panjangnya mencapai 596,89 m

sehingga akan membentuk lengkungan atau andongan (zag). Dalam jaringan transmisi untuk panjang maksimum dari tower satu ke tower lainnya adalah 400 m, namun demikian jaringan transmisi harus menyesuaikan dengan lingkungan atau kondisi daerah yang banyak memiliki dataran tinggi.

A. Landasar Teori

1) Sistem Saluran Transmisi

Secara umum, saluran transmisi merupakan bagian dari sistem pembangkit. Dimana digunakan sebagai salah satu media untuk penyaluran energi listrik dalam jumlah besar atau tegangan tinggi, jaringan transmisi dari pembangkit ke pusat-pusat beban/ gardu induk. Dalam perencanaan saluran transmisi perlu di perhatikan beberapa hal, antara lain: kebutuhan aliran daya, stabilitas sistem, pemilihan level tegangan, dan aliran daya reaktif, pemilihan jenis konduktor, masalah korona, pengaruh medan elektromagnetik, tegangan lebih, sistem isolasi, peralatan switching dan peralatan proteksinya.

Hal-hal lain yang sangat perlu diperhatikan dalam pembangunan sebuah menara untuk saluran transmisi adalah : lokasi jalur transmisi, lokasi tapak penyangga menara/tower, pembesaran tanah tapak tower dan tanam tumbuh profile/permukaan tanah sepanjang jalur, kondisi tanah dan keadaan geografisnya.

2) Gangguan Pada Saluran Transmisi

Gangguan yang terjadi pada sistem tenaga listrik sangat beragam besaran dan jenisnya. Gangguan dalam sistem tenaga listrik adalah keadaan tidak normal dimana keadaan ini dapat mengakibatkan terganggunya kontinuitas pelayanan tenaga listrik. Secara umum klasifikasi gangguan pada sistem tenaga listrik disebabkan oleh 2 faktor, yaitu:

1. Gangguan yang berasal dari dalam sistem
2. Gangguan yang berasal dari luar system

Penyebab gangguan yang berasal dari dalam sistem antara lain :

1. Tegangan dan arus abnormal
2. Pemasangan yang kurang baik
3. Kesalahan mekanis karena proses penuaan
4. Beban lebih
5. Kerusakan material seperti isolator pecah, kawat putus, atau kabel cacat isolasi.

Sedangkan untuk gangguan yang berasal dari luar sistem antara lain :

1. Gangguan – gangguan mekanis karena pekerjaan galian saluran lain. Gangguan ini terjadi untuk sistem kelistrikan bawah tanah
2. Pengaruh cuaca seperti hujan, angin, serta surja petir. Pada gangguan surja petir dapat mengakibatkan gangguan tegangan lebih dan dapat menyebabkan gangguan hubung singkat karena tembus isolasi peralatan (*breakdown*)

3. Pengaruh lingkungan seperti pohon, binatang dan benda – benda lainnya serta akibat kecerobohan manusia.[10]

3) Jarak Antar Penghantar

Dalam saluran transmisi, jarak antar penghantar harus di perhitungkan dengan kemungkinan penghantar saling mendekat terutama di tengah rentangan dimana andongan maksimum. Lompatan api tidak boleh terjadi bila penghantar saling mendekat. Untuk itu harus ditentukan jarak minimal antar kawat sehingga terhindar dari kemungkinan adanya loncaca api.[6]

Karena andongan kawat tergantung dari beberapa factor misalnya akurasi dan jenis penghantar, rentangan, cuaca dan lain sebagainya, maka sulit diadakan standar untuk jarak tersebut. Untuk jarak antar Fasa SUTT 70 kV = 3 meter. Hal ini karena untuk menghindari terjadinya efek ayunan yang dapat menimbulkan flashover antar fasa. Karena itu faktor pengalaman sangat penting artinya dalam menentukan jarak antar penghantar

Ada beberapa rumus empiris yang digunakan untuk menghitung jarak minimum antar kawat konduktor yang telah berhasil dalam pengujian, salah satu di antaranya adalah perhitungan menurut *Mecomb's formula*. Rumusnya sebagai berikut:[12]

$$a = 0,3048V + 4,010 \frac{S}{W} \sqrt{5} cm \quad (1)$$

Perhitungan menurut *VDE (Verbandes Deutscher Electrotechnischer)* adalah sebagai berikut:

$$a = 7,5\sqrt{5} + \frac{V^2}{200} cm \quad (2)$$

Metode perhitungan menurut *Swedish formula* adalah sebagai berikut

$$a = 6,5\sqrt{S} + V cm \quad (3)$$

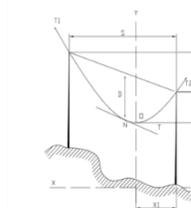
Metode perhitungan menurut *French formula* adalah sebagai berikut

$$a = 8\sqrt{S + L} + \frac{V}{1,5} cm \quad (4)$$

Dimana

- a = jarak antar kawat dalam cm
- V = tegangan dalam kV
- S = andongan dalam cm
- L = panjang rentang isolator dalam cm
- D = diameter konduktor dalam cm
- w = berat konduktor dalam kg/m

4) Tegangan Tarik Pada Penghantar



Gambar 1 :Kedua menara yang ketinggiannya tidak sama tinggi

Penghantar yang digunakan harus cukup aman dalam menyalurkan tenaga listrik. Untuk itu daya kerja maksimum pada kawat harus ditambah kan dengan factor keamanan untuk kawat tembaga tarikan keras (hard drawn) serta kawat-kawat lainnya. Bila tarika sehari-hari pada kawat besar, maka penghantar mudah mejadi letih karena getaran. Hal ini perlu diperhatikan dalam mempertimbangkan besarnya kekuatan kerja maksimum.

Apabila tegangan kerja maksimum telah ditetapkan, maka andongan dan tegangan tarik kawat dalam berbagai kondisi dapat dihitung. Untuk mencari tegangan tarik terhadap andongan dapat dipergunakan rumus sebagai berikut:[6]

$$f_2^2 \{ f_1^2 + (K - a \cdot tE) \} = M \quad (5)$$

Dimana

- f_1 = Tegangan kerja kawat penghantar [kg/mm²]
- t = Suhu maksimum pada andongan tertentu [°C]
- E = Koefisien elastisitas penghantar [kg/mm²]
- α = Koefisien pemulaan linier [°C]
- K = Koefisien tegangan tarik [kg/mm²]
- M = Tegangan tarik kawat [kg/mm²]

Untuk mencari berat konduktor perluas penampang(δ)

$$\delta = \frac{W}{A} \quad (6)$$

Dimana

- W = Berat penghantar persatuan panjang [kg/mm²]
- A = Luas penampang penghantar [mm²]

Untuk mencari tegangan kerja kawat penghantar (f_1) dipergunakan rumus:

$$f_1 = \frac{T}{A} \quad (7)$$

Dimana

- T = Tegangan tarik kerja [kg]
- A = Luas penampang penghantar [mm²]

Sehingga berdasarkan rumus-rumus diatas didapat rumus untuk mencari tegangan tarik penghantar (M) yaitu:

$$M = \frac{(\delta q_2)^2 S^2 E}{f_1^2} \quad (8)$$

Dimana

- M = Tegangan tarik penghantar [kg / mm]
- δ = Berat konduktor perluas penampang [kg/m/mm²]
- q_1 = 1 (untuk ketegangan maksimum)
- S = Rentangan [m]
- E = Koefisien elastisitas penghantar [kg/mm²]

f_1 = tegangan kerja kawat penghantar [kg/mm²]

Untuk mencari gaya tarik penghantar (K) dipergunakan rumus:

$$K = f_1 \frac{(\delta q_1)^2 S^2 E}{f_1^2} \quad (9)$$

Dimana

- K = Gaya tarik penghantar [kg / mm²]
- f_1 = tegangan kerja kawat penghantar [kg/mm²]
- δ = Berat konduktor perluas penampang [kg/m/mm²]
- q_1 = 1 (untuk ketegangan maksimum)
- S = Rentangan [m]
- E = Koefisien elastisitas penghantar [kg/mm²]

Untuk mencari andongan (D) di pergunakan rumus

$$D = \frac{\delta q_2 S^2}{8 f_2} \quad (10)$$

Dimana

- D = Andongan [m]
- δ = Berat konduktor perluas penampang [kg/mm²]
- q_2 = 1,37 untuk ketegangan maksimum
- q_2 = 1 untuk menghitung andongan
- S = Rentangan [m]

5) Kedua Menara Yang ketinggiannya Tidak Sama Tinggi

Bila kedua menara tidak sama tinggi, maka andongan yang di hitung adalah jarak antar garis yang di tarik diantara kedua ujung menara. Karena cukup besar pergeseran titik terendah ke titik singgung N pada Gambar (1) dapat diabaikan.[6]

$$T_A = T + W \times D \quad (11)$$

$$T_B = T + W (D + H) \quad (12)$$

Dimana

- T_A = tegangan tarik pada tower A (kg/m²)
- T_B = tegangan tarik pada tower B (kg/m²)
- T = kuat tarik minimum (kg)
- W = berat konduktor (kg/m)
- H = tinggi tower (m)

Untuk menghitung tinggi menara saluran transmisi, maka yang harus di perhitungkan adalah jarak bebas terhadap permukaan bumi, jarak antar penghantar , dan jarak penghantar dengan kawat tanah.[6]

Secara matematis dapat dituliskan:

$$T_m = j_b + j + j_t + D_{max} \quad (13)$$

Dimana

- T_m = tinggi minimum (m)
- J_b = jarak bebas terhadap permukaan bumi (m)

- J= jarak antar penghantar (m)
- Jt= jarak penghantar dengan kawat tanah (m)
- D_{max}= andongan maksimum (m)

6) Tekanan Angin

Dalam perencanaan transmisi cenderung dipakai tegangan yang lebih dengan pemakaian penghantar yang memiliki diameter lebih kecil sehingga tekanan angin pada kawat penghantar dapat di kurangi, karena tekanan angin ini dapat mempengaruhi tegangan dan andonagn kawat.

Untuk perencanaan nilai factor keefektifan angina (*a*) diambil 0,6 untuk kecepatan angina sekitar 30 m/det. Dalam penerapan di Indonesia perlu diadakan koreksi terhadap nilai yang di peroleh bila digunakan nilai factor keefektifan angina = 0,6 karena kecepatan angin rata-rata di Indonesia adalah 20 m/det.

Untuk kecepatan angin 20 – 40 m/det, koefisien tahanan dapat dianggap konstan. Dalam perhitungan tekanan angin untuk menara dan tiang baja daerah proyeksi dari satu permukaan konstruksi adalah daerah yang terkena angin, dengan mengabaikan kemiringan (inclination) bagian-bagian komponennya. Daerah proyeksi (projected area) untuk tiang kayu dan tiang beton bertulang dimana gandengan isolator adalah daerah konstruksi yang terkena angin.[13]

7) Jarak Bebas

Untuk mendapatkan jarak bebas yang baik antara penghantar dengan permukaan bumi. Pada daerah-daerah dengan permukaan bumi yang tidak rata, misalnya daerah pegunungan, bisa terjadi bahwa jarak antar lengkungan penghantar terlalu dekat dengan permukaan bumi.

Bukan hanya jarak bebas penghantar terhadap permukaan bumi, namun juga jarak bebas terhadap lingkungan sekitar, misalkan pepohonan, rumput liar yang bisa merambat pada menara saluran transmisi.

8) Kontur Tanah

Pada daerah-daerah tertentu tidak semua memiliki kontur tanah yang rata, misalnya pada daerah pegunungan. Dilihat dari beberapa tempat yang memiliki daerah pegunungan, dimana pada saat penempatan atau penentuan jalur untuk menara transmisi, ini merupakan salah satu hal paling penting agar jarak lengkunagn atau andongan tidak terlalu dekat dengan permukaan bumi.

9) Pentanahan (Grounding)

Dalam dunia listrik tidak terlepas dari keamana baik itu keamanan peralatan-peralatan listrik maupun manusia yang berada di sekitarnya. Saluran transmisi merupakan bagian yang sering mendapat gangguan, gangguan-gangguan tersebut selain gangguann dari dalam atau pada peralatan itu sendiri juga terdapat gangguan dari luar atau gangguan alam (salah satunya gangguan sambaran petir).

10) Damper Vibration

Adalah alat yang di pasang pada kawat konduktor yang berada di dekat tower, berfungsi untuk meredam getaran agar kawat tidak mengalami kelebihan beban. Bentuk damper menyerupai dua buah bandul yang dapat membuang getaran kawat akibat tekanan angin.

II. METODE PENELITIAN

A. Data Teknis

Data yang di kumpulkan dalam penelitian ini, adalah sebagai berikut:

- 1) Data teknis tower jurusan Lopana – GIS Teling Tower T068 – T069
- 2) Data sudut kawat tanah / *Shielding angel maksimum*
- 3) Data teknis konduktor jurusan Lopana – GIS Teling Tower T068 – T069
- 4) Data sifat – sifat fisik kawat tanpa isolasi
- 5) Data kabel ACSR (Aluminium Steel Reinforced)
- 6) Data jarak bebas minimum Horisontal dari sumbu Vertikal menara/tiang pada SUTT, SUTET, dan SUTTAS
- 7) Data kecepatan angin Tahun 2019 – 2020
- 8) Data perlengkapan kawat penghantar
- 9) Data standar jarak bebas pada saluran transmisi

TABEL I
DATA TOWER JURUSAN LOPANA – GIS TELING
(TOWER T068-T069)

No Urut	Nomor	Type	Tinggi tower / menara (m)	Lokasi			Keterangan
				Desa	Kecamatan	Kabupaten	
68	68	Cc+6	41,95	Ranowangko	Tombariri	Minahasa Induk	Tension
69	69	Bb-3	41,95	Ranowangko	Tombariri	Minahasa Induk	Tension

TABEL II
DATA SUDUT KAWAT TANAH / SHIELDING ANGEL MAKSIMUM

No	Shielding angle	66 kV	150 kV	275 kV	500 kV
1.	Tower gantung (derajat)	15	15	5	0
2.	Tower sudut dan ujung (derajat)	15	15	5	0

TABEL III
DATA KONDUKTOR JURUSAN LOPANA – GIS
TELING (TOWER T068-T069)

Type Konduktor	Jenis Konduktor	Negara Asal	Standar yang digunakan	Data Konduktor				Current Capacity (ccc) (Amp)	Keterangan
				Luas Penampang (mm ²)	Diameter (mm)	R D C 20°C (Ohm/Km)	Berat (Kg/Km)		
ACSR	HAWK	USA	ASTM B 232-64 T ASTM B 232-69	281,03	21,79	0,1199	455	455	150 kV

TABEL IV
SIFAT SIFAT FISIK KAWAT TANPA ISOLASI

Sifat Fisik Jenis Kawat	Konduktivitas (%)	Resistivitas pada 20 ° c		Koefisien suhu tahanan pada 20 ° c	Berat jenis (g/cm ³)	Tegangan tarik (tensile stress) (kg/mm ²)	Batas Elastis (kg/mm ²)	Koefisien Elastisitas (kg/mm ²)	Tingkat Lebur (°c)	Koefisien Pemuaian Linier (deg)	Panas Spesifik
		Resistivitas (μΩ cm)	Resistivitas massa (Ω mg)								
Aluminium Hard-drawn	61	2,8265	0,76462	0,0040	2,70	15-17	kl. 9,8	kl. 6.300	658,7	0,000023	0,212
Aluminium alloy Thermal resistant	52	3,3156	0,89519	0,0036	2,70	31,5 min.	kl. 20	kl. 7.000	--	0,000023	--
Aluminium alloy	58	2,9726	0,80415	0,0039	2,70	15-18	kl. 9,8	kl. 6.500	--	0,000023	--

TABEL V
KABEL ACSR (ALUMINIUM STEEL REINFORCED)

Ukuran Nominal (mm ²)	Kontruksi (Jumlah/Diameter Dalam mm)		Luas Penampang Terhitung mm ²		Kuat Tarik Minim kg	Diameter Luar (mm)		Berat kg/km	Tahanan Listrik Ω/km
	Aluminium	Baja	Aluminium	Baja		Aluminium	Baja		
240	30/3,2	/3,2	241,3	56,29	10.210	22,4	9,6	1.110	0,120
210	26/3,2	7/2,49	209,1	34,09	7.260	20,27	7,47	847,0	0,139
200	30/2,9	7/2,9	198,2	46,24	8.620	20,3	8,7	911,7	0,147
170	26/2,9	7/2,26	171,7	28,08	6.010	18,38	6,78	696,2	0,169
160	30/2,6	7/2,6	159,3	37,16	6.990	18,2	7,8	732,8	0,182
140	26/2,6	7/2,02	138,0	22,44	4.860	16,46	6,06	558,1	0,210
120	30/2,3	7/2,3	124,7	29,09	5.550	16,1	6,0	573,7	0,233
120	12/3,5	7/3,5	115,5	67,35	9.590	17,5	10,5	848,1	0,251
110	29/2,3	7/1,79	108,0	17,61	3.960	14,57	5,37	437,0	0,269
97	12/3,2	7/3,2	96,50	56,29	8.050	16,0	9,6	708,9	0,301
95	6/4,5	1/4,5	95,40	15,90	3.180	13,5	4,5	385,2	0,304
90	6/4,3	1/4,3	87,12	14,52	2.910	12,9	4,3	351,8	0,329
80	6/4,2	1/4,2	83,10	13,85	8.770	12,6	4,2	335,5	0,345

TABEL VI
DATA HASIL PERHITUNGAN DENGAN HASIL TINJAUAN

Andongan (m)	Tegangan Tarik pada menara/tower (kg/m ²)		Tinggi Menara (m)	Jarak Antar Kawat Penghantar (cm)
	A	B		
28,21	22,90	41,78	40,61	343,35

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Untuk Analisa Perhitungan andongan kawat saluran jalur Lopana GIS Teling tower T068 – T069, maka akan dilakukan beberapa perhitungan untuk mendapatkan parameter-parameter yang akan digunakan untuk menentukan andongan, jarak antar penghantar, dan tegangan tarik kawat penghantar, perhitungan tersebut antara lain.

A. Perhitungan Andongan Saluran Transmisi 150 kV pada (Tower T068 – T069)

Pada perhitungan ini adalah untuk menentukan andongan, jarak antar penghantar, dan tegangan tarik kawat dengan memperhitungkan tekanan angin dan pengaruh panas. Untuk jalur Lopana – GIS Teling terkhususnya pada tower T068 – T069 menggunakan konduktor type ACSR dengan luas penampang 240 mm² sesuai standar PLN. Data-data yang diambil dari saluran transmisi 150 kV tower T068 – T069 diambil dari PT.PLN (Persero) Wilayah Suluttenggo AP2B Sistem Minahasa.

Adapun nilai-nilai yang akan digunakan dalam perhitungan diantaranya sebagai berikut :

- Luas penampang : 240 mm²
- Type kawat penghantar : ACSR
- Luas penampang terhitung : 281,3 Aluminium (Aa)
- Diameter konduktor : 21,79 Aluminium (Aa)
- Berat konduktor : 0,45 kg/m
- Koefisien ekspansi linier : 23 x 10⁻⁶ Aluminium (α_a)
- Koefisien elastisitas konduktor : 6300 Aluminium (α_e)
- Panjang span saluran transmisi tower T068-T069 : S = 596,89 m
- Faktor Keamanan : Maksimum = 75°C
Minimum = 15°C
Sehari-hari = 50°C
- Tegangan tarik kerja maksimum : 10,210 kg
- Kecepatan angina : 4,0 km/jam

a) Perhitungan andongan pada tower (T068 – T069) yang ketinggiannya tidak sama tinggi

Untuk menghitung andongan pada menara yang ketinggiannya tidak sama tinggi di lakukan perhitungan dengan panjang (span) 596,89 m. Rumus-rumus pendekatan yang di pergunakan untuk menghitung kuat tarik maksimum sama dengan rumus yang ada pada persamaan (5) sampai dengan (10). Dapat di cari nilai dari berat konduktor perluas penampang (δ) dengan menggunakan rumus (6).

$$\delta = \frac{W}{A}$$

$$\delta = \frac{0,45 \text{ kg/m}}{240 \text{ mm}^2}$$

$$\delta = 0,001875 \text{ kg/m/mm}^2$$

Begitu juga untuk mencari tegangan kerja kawat penghantar (f_i) dapat di cari menggunakan rumus (7) ,

$$f_i = \frac{T}{A}$$

$$f_i = \frac{10,210 \text{ kg}}{240 \text{ mm}^2}$$

$$f_i = 42,541 \text{ kg/m/mm}^2$$

Setelah didapatkan hasil nilai dari menentukan berat konduktor (δ), dan nilai tegangan kerja kawat penghantar (f_i). Maka dapat dicari gaya tarik (K) menggunakan rumus (8)

$$K = f_i \frac{(\delta q_1)^2 S^2 E}{f_i^2}$$

$$K = 42,54 \text{ kg/mm}^2 \frac{(0,001875 \text{ kg/m/mm}^2 \times 1)^2 \times (596,89 \text{ m})^2 \times 6300 \text{ kg/mm}^2}{(42,54 \text{ kg/mm}^2)^2}$$

$$K = 42,54 \text{ kg/mm}^2 \frac{0,000003515 \text{ kg}^2/\text{m}^2/\text{mm}^4 \times 356277,6721 \text{ m}^2 \times 6300 \text{ kg/mm}^2}{1809,6516 \text{ kg}^2/\text{mm}^2}$$

$$K = 42,54 \text{ kg/mm}^2 \frac{7889,5909 \text{ kg}^3/\text{mm}^6}{1809,6516 \text{ kg}^2/\text{mm}^4}$$

$$K = 42,54 \text{ kg/mm}^2 - 4,359 \text{ kg/mm}^2$$

$$K = 38,18 \text{ kg/mm}^2$$

Begitu juga untuk menentukan tegangan tarik penghantar (M) menggunakan rumus (9)

$$M = \frac{(\delta q_2)^2 S^2 E}{24}$$

$$M = \frac{(0,001875 \text{ kg/m/mm}^2 \times 1,37)^2 \times (596,89 \text{ m})^2 \times 6300 \text{ kg/mm}^2}{24}$$

$$M = \frac{0,0000065946 \text{ kg}^2/\text{m}^2/\text{mm}^4 \times 356277,6721 \text{ m}^2 \times 6300 \text{ kg/mm}^2}{24}$$

$$M = \frac{14801,905 \text{ kg}^3/\text{mm}^6}{24}$$

$$M = 616,746 \text{ kg}^3/\text{mm}^6$$

Kemudian dapat ditentukan tegangan tarik terhadap andongan (f_2) menggunakan rumus (5)

$$f_2^2 \{f_i + (K - \alpha t E)\} = M$$

$$f_2^2 \{42,54 \text{ kg/mm}^2 + (38,18 \text{ kg/mm}^2 - 23 \times 10^{-6} \times 75^\circ \text{C} \times 6300 \text{ kg/mm}^2)\} = 616,746 \text{ kg}^3/\text{mm}^6$$

$$f_2^2 \{42,54 \text{ kg/mm}^2 + (38,18 \text{ kg/mm}^2 - 10,8675)\} = 616,746 \text{ kg}^3/\text{mm}^6$$

$$f_2^2 \{42,54 \text{ kg/mm}^2 + 27,31 \text{ kg/mm}^2\} = 616,746 \text{ kg}^3/\text{mm}^6$$

$$f_2^2 \{69,85\} = 616,746 \text{ kg}^3/\text{mm}^6$$

$$f_2^2 = \frac{616,746 \text{ kg}^3/\text{mm}^6}{69,85 \text{ kg/mm}^2}$$

$$f_2^2 = 8,82 \text{ kg}^2/\text{mm}^4$$

$$f_2 = \sqrt{8,82 \text{ kg}^2/\text{mm}^4}$$

$$f_2 = 2,96 \text{ kg/mm}^2$$

Dengan demikian nilai andongan maksimum (D) dapat ditentukan menggunakan rumus (10)

$$D = \frac{\delta q_2 S^2}{8 f_2}$$

$$D = \frac{0,001875 \text{ kg/m/mm}^2 \times (596,89 \text{ m})^2}{8 (2,96 \text{ kg/mm}^2)}$$

$$D = \frac{0,001875 \text{ kg/m/mm}^2 \times 356277,67 \text{ m}^2}{23,68 \text{ kg/mm}^2}$$

$$D = \frac{668,020 \text{ kg/mm}^2 \text{ m}}{23,68 \text{ kg/mm}^2}$$

$$D = 28,21 \text{ m}$$

Dari perhitungan – perhitungan di atas nilai maksimum andongan untuk tower yang ketinggiannya tidak sama tinggi khususnya di tower T068 – T069 dengan panjang saluran (span) 596,89 m yang menggunakan kawat penghantar ACSR ukuran 240/40 mm adalah 28,21 meter. Temperatur yang digunakan adalah temperature maksimumnya sebagai factor safety untukantisipasi jika temperature mencapai nilai maksimum, sehingga saluran transmisi bisa bekerja dengan normal dan juga tidak membahayakan bagi saluran itu sendiri.

b) Perhitungan tegangan tarik penghantar pada tower (T068 – T969)

Untuk perhitungan tegangan tarik penghantar pada tower yang ketinggiannya tidak sama tinggi .Rumus yang digunakan untuk menghitung tegangan tarik sama dengan rumus yang ada pada persamaan (11) .

$$T_A = T + W \times D$$

$$T_A = 10,210 \text{ kg} + 0,45 \text{ kg/m} \times 28,21 \text{ m}$$

$$T_A = 22,90 \text{ kg/m}^2$$

$$T_B = T + W (D + H)$$

$$T_B = 10,210 \text{ kg} + 0,45 \text{ kg/m} (28,21 \text{ m} + 41,95 \text{ m})$$

$$T_B = 10,210 \text{ kg} + 0,45 \text{ kg/m} \times 70,16 \text{ m}$$

$$T_B = 10,210 \text{ kg} + 31,57 \text{ kg/m}^2$$

$$T_B = 41,78 \text{ kg/m}^2$$

Dari perhitungan di atas nilai tegangan tarik pada tower A adalah 22,90 kg/m² di bandingkan dengan tower B yang nilainya lebih besar adalah 41,78 kg/m².

c) Perhitungan tinggi menara transmisi pada tower (T068 – T069)

Dalam saluran transmisi sangatlah penting dalam memperhitungkan tinggi tower yang akan di bangun, dikarenakan tower juga harus menyesuaikan dengan kondisi medan atau lingkungan sekitar agar mendapatkan jarak bebas yang baik antara penghantar dengan permukaan bumi. Maka tinggi tower dapat ditentukan dengan rumus (13).

$$T_m = j_b + j + j_t + D_{\max}$$

$$T_m = 5,0 \text{ m} + 3,7 \text{ m} + 3,7 \text{ m} + 28,21 \text{ m}$$

$$T_m = 40,61 \text{ m}$$

Jadi untuk tinggi tower jalur Lopana – GIS Teling tower T068 – T069 adalah 41,95 m, dengan memperhitungkan jarak bebas terhadap permukaan bumi.

d) Perhitungan jarak antar kawat penghantar pada tower T068 – T069

Berdasarkan tinggi tower jarak antar kawat penghantar dapat ditentukan menggunakan rumus(3).

$$a = 6,5\sqrt{S + V} \text{ cm}$$

$$a = 6,5\sqrt{2821 + 150} \text{ cm}$$

$$a = 6,5 \times 54,5 \text{ cm}$$

$$a = 343,35 \text{ cm}$$

B. Perbandingan kondisi damper vibration pada tower (T068 – T069)

Pada saluran transmisi sangatlah penting dalam memperhatikan kualitas dari perlengkapan kawat konduktor, terutama untuk mengatasi getaran – getaran yang diakibatkan oleh tekanan angin, salah satunya adalah damper vibration. Pada saluran transmisi 150 kV pada jalur Lopana – GIS Teling terkhususnya pada tower T068 – T069 menggunakan damper vibration stockbridge seperti pada Gambar dibawah ini.



Gambar 2: Kondisi awal damper vibration



Gambar 3: Kondisi damper vibrasi terpasang

Untuk perbandingan bisa di lihat pada gambar (1) sampai (2), damper vibration pada gambar (1) merupakan kondisi awal dari damper vibration terlihat tidak ada perubahan baik dari bentuk dan kondisinya. Sedangkan pada gambar (2) merupakan damper vibration yang terpasang pada saluran transmisi jalur Lopana – GIS Teling tower T068 – T069 untuk kondisi damper vibration sebelah kanan terlihat sudah mulai menjauh dari konduktor sehingga untuk perlindungan dari damper vibration itu sendiri sudah mulai berkurang.

C. Analisa perhitungan andongan kawat saluran pada jaringan transmisi 150 kV jalur Lopana –GIS Teling

Berdasarkan parameter – parameter yang telah di dapatkan maka hasil dari perhitungan andongan, tegangan tarik, tinggi menara, dan jarak antar penghantar seperti pada tabel (VI)

Untuk mengantisipasi andongan pada saluran transmisi tower T068 - T069 yang diakibatkan oleh tekanan angin sehingga perlu ditambahkan damper vibration, agar perlindungan dari damper vibration lebih optimal.

IV. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Berdasarkan dari hasil analisa dan pembahasan dapat di peroleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Jika jarak span semakin panjang maka nilai andongan maksimum akan semakin tinggi, begitu juga sebaliknya jika jarak span semakin kecil maka nilai andongan maksimum akan semakin kecil.
2. Hasil hitung untuk perbandingan tegangan tarik pada tower yang ketinggiannya tidak sama tinggi, untuk tower yang ketinggiannya lebih tinggi maka tegangan tarik yang di hasilkan akan semakin besar
3. Keadaan suhu pada daerah kawat penghantar mempengaruhi andongan kawat penghantar. Semakin tinggi suhunya, maka andongan akan semakin besar, begitu juga sebaliknya.
4. Jika jarak damper vibration semakin menjauh dari konduktor maka perlindungan dari damper vibrasi akan semakin kecil

B. Saran

1. Pembahasan dan hasil analisa perhitungan andongan kawat saluran pada jaringan transmisi 150 kV jalur Lopana – GIS Teling kiranya dapat menjadi acuan dalam memperkirakan andongan maksimum, jarak bebas, tinggi tower, perlengkapan pada kawat penghantar dan lingkungan sekitar sehingga saluran transmisi bisa sesuai dengan standard yang telah ditetapkan.
2. Pada saat pemeliharaan agar lebih di tingkatkan agar peralatan – peralatan pendukung pada konduktor bekerja lebih optimal terutama peralatan damper vibration yaitu mengatasi getaran – getaran yang di akibatkan oleh tekanan angin.

V. KUTIPAN

- [1] Abdul, Halim. (2019). Menghitung Andongan Kawat Saluran Transmisi 150 kV. Jurnal Teknik Elektro. Fakultas Teknik UISU
- [2] Artono, Arismunandar Teknik Tegangan Tinggi, Penerbit Pradaya Paramita, Jakarta, 1990
- [3] Abdul, Azis. Alimin, Nurdin. “Pengaruh Andongan terhadap Kapasitas Ke Tanah Pada Saluran Transmisi 150 kV Dari Gardu Induk Keramasan Ke Gardu Induk Mariana”. Jurnal Ampere Volume 4 No 1, Juni 2019 Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas PGRI Palembang.
- [4] BMKG Stasiun Klimatologi Kelas II Minahasa Utara
- [5] Gonen, T. 1988. “Electric Power Transmission System Engineering: Analysis and Design”. California State University Sacramento: A Wiley- Interscience publication, California.
- [6] Harmain, Sahid. (2007). “Menghitung Andongan Kawat Penghantar Pada Saluran Transmisi 150 kV”. Jurnal Teknik Elektro. Universitas Mercu Buana
- [7] Lily S. Patras. Materi Pembelajaran Transmisi Tenaga Listrik. Manado. 2020
- [8] Menteri Energi Dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia, Peraturan Menteri Energi Dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia No 2 Tahun 2019 Tentang, Perubahan Atas Peraturan Menteri Energi Dan Sumber Daya Mineral No 18 Tahun 2015 Tentang Ruang Bebas Dan Jarak Bebas Minimum Pada Saluran Udara Tegangan Tinggi, Saluran Udara Tegangan Ekstra Tinggi Dan Saluran Udara Tegangan Tinggi Arus Searah Untuk Penyaluran Tenaga Listrik
- [9] PT. PLN (Persero) UPT Manado, Daftar Konduktor yang digunakan untuk SUTT/SUTET
- [10] S, Rao., 1988. *EHV – AC, HVDC: Transmission and Distribution Engineering*, Bombai, India
- [11] SPLN T5.014-1:2020 Kriteria Desain saluran Udara Tegangan Tinggi dan saluran Udara Tegangan Ekstra Tinggi.
- [12] Sumarsono, Heru. (2009). “Analisa Perhitungan Jarak Antar Kawat dan Clearance Saluran Transmisi Udara”. *Jurnal Teknik Elektro Undip*.
- [13] Suprihadi, Prasetyono. Pengaruh Kecepatan Angin pada Karakteristik Performansi Konduktor SUTET. elektronik Jurnal Arus Elektro Indonesia (eJAEI). Universitas Jember.
- [14] Widen, Lukmantono. (2006). “Studi Perancangan Saluran Transmisi 150 kV Bambe Incomer”. Jurnal Teknik Elektro-FTI Institute Teknologi Sepuluh November ITS.
- [15] Yosan, Ageng, Nugroho. 2021 “Investigasi Sagging Metode Parabola pada Saluran Transmisi Terhadap Parameter Temperatur pada Saluran 150 kV pada Gardu Induk Cigereleng”. Jurnal Teknik Elektro Institut Teknologi Nasional Bandung, Indonesia

TENTANG PENULIS



Penulis bernama lengkap **I Komang Agus Indra Prayoga**, Anak ketiga dari tiga bersaudara Ni Luh Sityanawati (kakak pertama) dan Ni kadek Widyaastuti (kakak kedua) dari pasangan suami istri I Wayan Karsa (Ayah) dan Ni Nengah Mudiasni (Ibu). Lahir di Mopugad Selatan 04 Agustus 1999. Sebelum menempuh jenjang pendidikan di Fakultas Teknik Universitas Sam

Ratulangi penulis telah menempuh pendidikan secara berturut-turut di SDN 1 Mopugad Kec. Dumoga Utara (2005-2011), SMP Swadharma Mopugad (2011-2014), SMA Swadharma Mopugad (2014-2017).

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

Selama menempuh pendidikan penulis aktif dalam kegiatan dan organisasi di dalam dan di luar kampus, terutama dalam kegiatan di Laboratorium Tenaga Listrik UNSRAT, anggota Himpunan Mahasiswa Elektro Fakultas Teknik UNSRAT, dan pengurus (KMHDI) Kesatuan Mahasiswa Hindu Dharma Indonesia Tahun (2018-2020). Penulis selesai menempuh pendidikan di Fakultas Teknik Universitas Sam Ratulangi Manado pada Bulan November 2021, dengan judul Analisa Perhitungan Andongan Kawat Saluran pada Jaringan Transmisi 150 kV Jalur Lopana – GIS Teling.

