



PENGARUH ANDONGAN TERHADAP KAPASITANSI KE TANAH PADA SALURAN TRANSMISI 150 KV DARI GARDU INDUK KERAMASAN KE GARDU INDUK MARIANA

Abdul Azis^{1*}, Alimin Nurdin²

^{1,2} Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas PGRI Palembang

*Corresponding author, e-mail: azis@univpgri-palembang.ac.id

Abstrak—Kawat penghantar saluran transmisi yang dipasang antara dua menara transmisi, tidak akan berbentuk suatu garis lurus horizontal, melainkan akan membentuk suatu lengkungan atau andongan. Karena tegangan saluran transmisi merupakan tegangan tinggi, maka kawat penghantar yang bertegangan dapat menimbulkan kapasitansi. Kapasitansi suatu saluran transmisi diakibatkan oleh adanya beda potensial antara penghantar, dan bumi dapat mempengaruhi kapasitansi saluran transmisi karena kehadiran bumi itu akan mengubah medan listrik saluran tersebut. Apabila andongan kawat penghantar yang terlalu besar akan mempengaruhi nilai kapasitansi ke tanah yang akan semakin besar pula. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui tinggi andongan saluran transmisi, dan besar kapasitansi ke tanah pada saluran transmisi dengan andongan, kemudian menganalisis pengaruh andongan terhadap kapasitansi ke tanah pada Saluran Transmisi 150 kV dari Gardu Induk Keramasan Palembang ke Gardu Induk Mariana. Dari hasil penelitian diperoleh hasil bahwa gawang 38-39 dan gawang (*span*) 01-02 mempunyai andongan paling kecil dan mempunyai kapasitansi ke tanah yang paling kecil. Kemudian gawang (*span*) 39-40 dan gawang (*span*) 05-06 mempunyai andongan yang paling besar dan mempunyai kapasitansi ke tanah yang paling besar. Dapat disimpulkan bahwa kapasitansi ke tanah pada saluran transmisi dipengaruhi oleh andongan, dimana apabila andongan semakin besar maka kapasitansi ke tanah akan semakin besar pula.

Kata Kunci : Andongan, Kapasitansi, Transmisi

Abstract—Transmission line wire that is installed between two transmission towers, will not be in the form of a horizontal straight line, but will form an arch or an arc. Because the transmission line voltage is a high voltage, the voltage conducting wire can cause capacitance. The capacitance of a transmission line is caused by the presence of a potential difference between the conductors, and the earth can affect the capacitance of the transmission line because the presence of the earth will change the electric field of the channel. If you carry a wire that is too large it will affect the value of capacitance to the ground which will be even greater. This study aims to determine the height of transmission lines, and the amount of capacitance to the ground in the transmission line with sag, then analyze the effect of sag on capacitance to the ground on the 150 kV Transmission Line from Keramasan Palembang Substation to Mariana Substation. From the results of the study it was found that the 38-39 goal and 01-02 span had the smallest number and had the smallest capacitance to the ground. Then the goal (*span*) 39-40 and the span 05-06 have the largest number and have the greatest capacitance to the ground. It can be concluded that the capacitance to the ground in the transmission line is influenced by the caravan, where if the vehicle becomes larger, the capacitance to the ground will be even greater.

Keywords: Sag, Capacitance, Transmission

PENDAHULUAN

Saluran transmisi merupakan komponen yang sangat penting dalam sebuah sistem tenaga listrik, karena saluran transmisi merupakan penghubung antara pusat pembangkit dan beban. Sehingga saluran transmisi harus dapat menjamin ketersediaan energi listrik secara kontinu pada setiap beban yang terhubung dalam sebuah sistem. Karena permukaan tanah yang tidak selalu dalam kondisi datar dan terkadang saluran transmisi harus melewati bukit-bukit, maka saluran transmisi

udara lebih dipilih dibandingkan saluran bawah tanah [2]. Saluran transmisi udara menyalurkan energi listrik melalui konduktor telanjang atau kawat dan konduktor berisolasi atau kabel [8].

Saluran transmisi berfungsi untuk menyalurkan energi listrik dari pusat pembangkit ke pusat-pusat beban, dan untuk mengurangi rugi-rugi daya di sepanjang saluran transmisi, maka dalam penyaluran energi listrik digunakan tegangan tinggi [1]. Apabila saluran transmisi tersebut menyalurkan energi listrik, maka akan menimbulkan mengatakan kapasitansi pada saluran transmisi. Kapasitansi suatu saluran transmisi adalah akibat beda potensial antara penghantar, baik antara penghantar-penghantar maupun antara penghantar-tanah [7]. Bumi mempengaruhi kapasitansi saluran transmisi karena kehadiran bumi itu akan mengubah medan listrik saluran tersebut. Kawat penghantar yang dipasang antara dua menara transmisi, tidak akan berbentuk suatu garis lurus (*horizontal*), melainkan akan membuat suatu lengkungan atau andongan (*sag*) [7]. Andongan (*sag*) merupakan jarak lenturan-jarak lenturan dari suatu bentangan kawat penghantar antara dua tiang penyangga jaringan atau lebih, yang diperhitungkan berdasarkan garis lurus (*horizontal*) kedua tiang tersebut [4].

Salah satu saluran transmisi 150 kV di Kota Palembang adalah Saluran Transmisi 150 kV dari Gardu Induk Keramasan Palembang ke Gardu Induk Mariana dengan panjang saluran 24,074 km, terdiri dari 75 menara transmisi dengan jarak rata-rata antara menara transmisi 325 meter. Adapun tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisis pengaruh andongan terhadap kapasitansi ke tanah pada saluran transmisi.

TINJAUAN PUSTAKA

Saluran Transmisi

Saluran Transmisi merupakan penyaluran tenaga listrik dari tempat pembangkit tenaga hingga saluran distribusi listrik sehingga dapat disalurkan sampai pada konsumen pengguna listrik [6]. Saluran Transmisi berupa kawat-kawat yang di pasang pada menara atau tiang dan bisa juga melalui kabel yang di pendam di bawah permukaan tanah. Sistem transmisi tegangan tinggi adalah sistem penyaluran yang terdiri dari konduktor yang direntangkan antara tiang-tiang (*tower*) melalui isolator-isolator, dengan sistem tegangan tinggi [8]. Standar tegangan tinggi yang berlaku di Indonesia adalah 70 kV dan 150 kV [5].

Andongan

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. Faktor-faktor 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 [1].

Kapasitansi

Kapasitansi suatu saluran transmisi adalah akibat beda potensial antara penghantar (konduktor). Kapasitansi menyebabkan penghantar tersebut bermuatan seperti yang terjadi pada pelat kapasitor bila terjadi beda potensial diantaranya. Kapasitansi antara penghantar adalah muatan per unit beda potensial. Kapasitansi antara penghantar sejajar adalah suatu konstanta yang tergantung pada ukuran dan jarak pemisah antara penghantar [7]. Suatu tegangan bolak balik yang terpasang pada saluran transmisi akan menyebabkan muatan pada penghantar-penghantarnya disetiap titik bertambah atau berkurang sesuai dengan kenaikan dan penurunan nilai sesaat tegangan antara penghantar-penghantar pada titik tersebut. Hal ini mempengaruhi jatuh tegangan sepanjang saluran, efisiensi, faktor daya saluran dan kestabilan sistem dimana saluran tersebut merupakan salah satu bagiannya. Hal ini dapat dinyatakan dengan persamaan sebagai berikut [7]:

$$C = \frac{q}{v} \quad (1)$$

Dimana:

C = Kapasitansi rangkaian (F)

q = Muatan pada saluran (C)

v = Beda potensial antara penghantar (V)

Pengaruh Bumi Terhadap Kapasitansi Saluran Transmisi Tiga Fasa

Bumi mempengaruhi kapasitansi saluran transmisi karena kehadiran bumi itu akan mengubah medan listrik saluran tersebut. Jika diandaikan bumi merupakan suatu penghantar sempurna dalam bentuk bidang mendatar dengan luas tak terhingga, disadari bahwa medan listrik pada penghantar-penghantar di atas bumi tidak akan sama jika permukaan sepotensial bumi tersebut tidak ada. Medan listrik penghantar bermuatan itu dipaksa untuk menyesuaikan diri dengan hadirnya permukaan bumi tersebut [7]. Apabila ditinjau suatu rangkaian yang terdiri dari sebuah penghantar atas-tiang tunggal dengan jalur kembali melalui bumi. Dalam pengisian muatan pada penghantar, muatan datang dari bumi dan menetap pada penghantar, sehingga beda potensial terjadi antara penghantar dan tanah. Bumi mempunyai muatan yang sama besarnya dengan yang terdapat pada penghantar tetapi berlawanan tandanya. Fluks listrik dari muatan pada penghantar ke muatan-muatan pada bumi adalah tegak-lurus pada permukaan sepotensial bumi, karena permukaan itu dianggap sebagai suatu penghantar sempurna. Sekarang bayangkan suatu penghantar khayal dengan ukuran dan bentuk yang sama dengan penghantar atas tiang tersebut dan terletak tepat dibawah

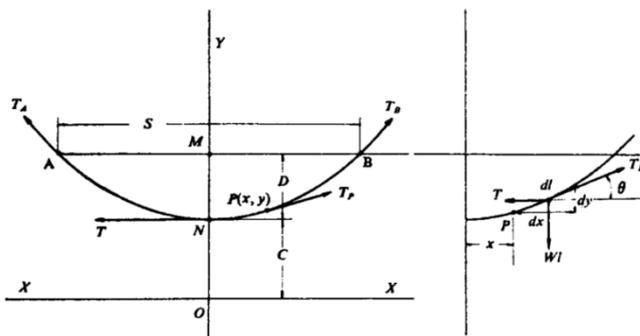
penghantar yang asli pada jarak dua kali jarak penghantar di atas permukaan tanah. Jadi penghantar khayal itu berada dibawah permukaan tanah dengan jarak yang sama dengan jarak penghantar atas tiang diatas tanah. Jika sekarang bumi dihilangkan dan suatu muatan yang sama besar dan berlawanan tanda dengan yang ada pada penghantar atas tiang dimisalkan terletak pada penghantar khayal, bidang tengah antara penghantar asli dan penghantar khayal adalah suatu permukaan sepotensial dan menempati posisi yang sama seperti permukaan sepotensial bumi. Fluks listrik antara penghantar atas tiang dan permukaan sepotensial ini sama seperti yang ada antara penghantar itu dengan bumi. Jadi untuk keperluan perhitungan kapasitansi, bumi dapat digantikan dengan suatu penghantar khayal yang bermuatan dibawah permukaan bumi pada jarak yang sama dengan penghantar asli diatas bumi. Penghantar semacam itu mempunyai muatan yang sama tetapi berlawanan tanda dengan penghantar aslinya dan disebut penghantar bayangan [7].

METODE PENELITIAN

Andongan Penghantar

Andongan adalah jarak proyeksi yang diukur dari tinggi menara saluran transmisi terhadap jarak lingkungan penghantar yang terendah [1]. Andongan penghantar saluran transmisi ditinjau dari dua keadaan yaitu penghantar ditunjang oleh menara atau tiang yang sama tingginya, dan penghantar ditunjang oleh menara atau tiang yang tidak sama tingginya [2].

1. Andongan penghantar ditunjang oleh menara yang sama tinggi



Gambar 1. Andongan dengan tiang penunjang sama tinggi

Gambar 1 memperlihatkan andongan yang ditunjang menara sama tinggi. Bila penghantar ditunjang oleh tiang-tiang sama tingginya. Pada umumnya bentuk lengkungan penghantar dianggap parabolis, sehingga apabila gawang adalah S (m), maka andongan (sag) D dan panjang penghantar sebenarnya L_o [2] maka persamaannya adalah

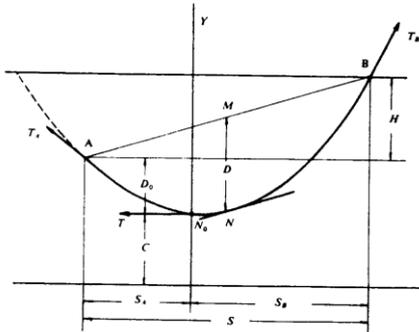
$$D = \frac{W S^2}{8 T} \quad (m) \quad (1)$$

$$L_o = S + \frac{W S^2}{24 T} = S + \frac{8 D^2}{3 S} \quad (m) \quad (2)$$

Dimana:

- T = tegangan mendatar dari penghantar (kg)
- W = berat penghantar per satuan panjang (kg/m)
- l = panjang penghantar sebenarnya dari titik terendah sampai dengan titik koordinat (x, y) (m)
- d = andongan (sag) pada titik (x, y) (m)

2. Andongan penghantar ditunjang oleh menara yang tidak sama tinggi



Gambar 2. Andongan dengan tiang penunjang tidak sama tinggi

Gambar 2 memperlihatkan andongan yang ditunjang menara sama tinggi. Menurut Arismunandar dan Kuwahara (2004) apabila tiang-tiang penunjang tidak sama tingginya maka yang dihitung adalah andongan yang miring (*oblique*), yang dinyatakan oleh rumus [2]:

$$D = \frac{W s^2}{8 T} \text{ (m)} \tag{3}$$

yakni jarak D antara garis AB (gambar 2) dan garis singgung pada lengkungan kawat yang sejajar dengan garis AB tersebut. Hubungan antara andongan miring dan andongan pada titik-titik penunjang dinyatakan oleh [2]:

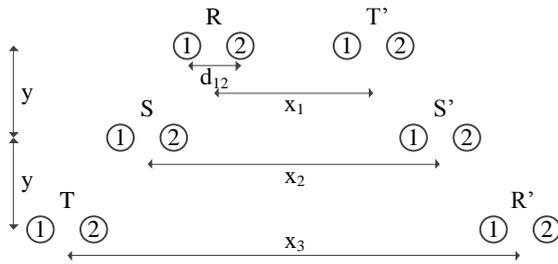
$$D_0 = D \left(1 - \frac{H}{4D}\right)^2 \quad \text{atau} \quad D_0 + H = D \left(1 + \frac{H}{4D}\right) \tag{4}$$

Dimana :

- D = andongan (sag) dengan tiang penunjang sama tinggi (m)
- D_0 = andongan (sag) dengan tiang penunjang tidak sama tinggi (m)
- H = perbedaan tinggi menara (m)

GMR dan GMD Konduktor Berkas

Untuk menganalisis penyaluran daya listrik saluran transmisi 150 kV tiga fase dengan konstruksi sirkit ganda dengan dua konduktor berkas, maka harus ditentukan terlebih dahulu nilai *GMR* (*Geometric Mean Radius*) dan *GMD* (*Geometric Mean Distance*) dari konduktor berkas [4].



Gambar 3. Representasi saluran transmisi sirkit ganda dengan dua konduktor berkas

1. *GMR* Konduktor Berkas

GMR merupakan jari-jari rata-rata geometris konduktor berkas. Dalam menentukan *GMR* dari suatu saluran transmisi yang ditinjau adalah satu fase, karena dalam sistem tiga fase *GMR* tiap fase dianggap sama jika fase ditransposisi agar reaktansi induktif tiap fase seimbang. Untuk mendapatkan nilai *GMR* konduktor berkas per fase, maka terlebih dahulu harus ditentukan *GMR* dalam tiga kedudukan, yaitu $R - R'$, $S - S'$, $T - T'$. Berdasarkan gambar 3, maka nilai *GMR* dapat ditentukan, yaitu [7]:

$$r' = r \varepsilon^{-1/4} \tag{5}$$

D_{sb} = *GMR* dari konduktor berkas (m) dan $d_{12} = d_{21}$ = jarak antar sub konduktor berkas (m)

$$D_{sb} = \sqrt[4]{r' \cdot d_{12} \cdot r' \cdot d_{12}} = \sqrt[4]{(r')^2 \cdot (d_{12})^2} = \sqrt{r' \cdot d_{12}} \tag{6}$$

Selanjutnya dapat ditentukan *GMR* dari konduktor berkas per fase adalah:

$$GMR = \sqrt[3]{GMR_{R-R'} \cdot GMR_{S-S'} \cdot GMR_{T-T'}} \tag{7}$$

Dimana:

r' = *GMR* dari sub-konduktor berkas (m)

r = Jari-jari dari sub-konduktor berkas (m)

2. *GMD* Konduktor Berkas

GMD merupakan jarak rata-rata geometris dari ketiga jarak konduktor. Untuk mendapatkan nilai *GMD*, maka terlebih dahulu harus ditentukan *GMD* antara tiap kelompok fase, yaitu $R - S$, $S - T$, $T - R$. Berdasarkan gambar 3, maka nilai *GMD* dapat ditentukan, yaitu [7]:

Maka *GMD* dari konduktor berkas per fase adalah:

$$GMD = \sqrt[3]{GMD_{R-S} \cdot GMD_{S-T} \cdot GMD_{T-R}} \tag{8}$$

Kapasitansi Ke Tanah

Gambar 4 menunjukkan saluran transmisi tiga fase dengan bayangannya, dimana besar kapasitansi dipengaruhi oleh Radius Rata-rata Geometri atau *GMR* dan Jarak Rata-rata Geometris atau *GMD*. Dengan demikian nilai kapasitansi (*C*) per fase untuk saluran transmisi sirkit ganda dengan dua konduktor berkas dapat ditentukan dengan persamaan sebagai berikut [7]:

$$C_n = \frac{2\pi k}{\ln\left(\frac{GMD}{GMR}\right)} F/m \text{ ke netral} \quad (8)$$

Untuk menghitung kapasitansi saluran kabel ke tanah menggunakan metode muatan bayangan (gambar 4). Pada metode ini bumi dapat diumpamakan dengan suatu penghantar khayal yang bermuatan di bawah permukaan bumi pada jarak yang sama dengan penghantar asli di atas bumi. Penghantar semacam itu mempunyai muatan yang sama tetapi berlawanan tanda dengan penghantar aslinya dan disebut penghantar bayangan. Jika ditempatkan satu penghantar bayangan untuk setiap penghantar atas-tiang, fluks antara penghantar asli dengan bayangannya adalah tegak lurus pada bidang yang menggantikan bumi, dan bidang itu adalah suatu permukaan ekipotensial. Fluks di atas bidang itu adalah sama seperti bila bumi ada tanpa adanya penghantar bayangan [7]. Untuk menentukan pengaruh bumi terhadap kapasitansi saluran transmisi sirkit ganda dengan dua konduktor berkas adalah

$$C_n = \frac{2\pi \xi_0}{\ln\left(\frac{GMD}{GMR}\right) - \ln\left(\frac{\sqrt[3]{H_{12}H_{23}H_{31}}}{\sqrt[3]{H_{11}H_{22}H_{33}}}\right)} F/m \text{ ke netral} \quad (9)$$

Dimana:

C_n = kapasitansi ke tanah (F/m)

ξ_0 = permitivitas ruang hampa = $8,854 \cdot 10^{-12} F/m$

H_{11} = jarak konduktor berkas 1 ke konduktor berkas bayangan 1 (m)

H_{22} = jarak konduktor berkas 2 ke konduktor berkas bayangan 2 (m)

H_{33} = jarak konduktor berkas 3 ke konduktor berkas bayangan 3 (m)

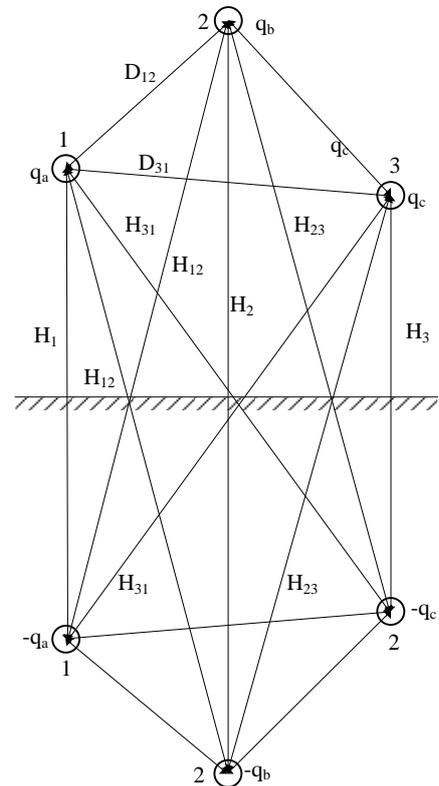
H_{12} = jarak konduktor berkas 1 ke konduktor berkas bayangan 2 (m)

H_{23} = jarak konduktor berkas 2 ke konduktor berkas bayangan 3 (m)

H_{31} = jarak konduktor berkas 3 ke konduktor berkas bayangan 1 (m)

HASIL DAN PEMBAHASAN

Saluran Transmisi atau Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT) 150 kV dari Gardu Induk Keramasan ke Gardu Induk Mariana memiliki tegangan operasi 150 kV. SUTT 150 kV ini menggunakan jenis/type kawat ACSR/Hawk dan ditopang oleh menara sirkit ganda yang



Gambar 4. Saluran tiga fase dengan bayangannya

menggunakan dua konduktor berkas per fase (*Twin Conductor*). Panjang SUTT adalah 24,074 km dengan 75 menara transmisi, dan mempunyai jarak rata-rata antara menara transmisi adalah 325 meter. Tipe menara yang digunakan pada SUTT 150 kV dari Gardu Induk Keramasan ke Gardu Induk Mariana adalah tipe AA+6 dengan tinggi 41 meter, tipe AA+9 dengan tinggi 44 meter, tipe BB+6 dengan tinggi 41 meter, tipe BB+9 dengan tinggi 44 meter, tipe DD+5 dengan tinggi 40 meter, tipe DD+9 dengan tinggi 44 meter.

Data Menara Transmisi

SUTT 150 kV dari Gardu Induk Keramasan ke Gardu Induk Mariana mempunyai panjang saluran transmisi 24,074 km dengan 75 menara transmisi. Tipe menara yang digunakan adalah tipe AA+6, tipe AA+9, tipe BB+6, tipe BB+9, tipe DD+5, dan tipe DD+9.

1. Tipe AA+6 dan Tipe AA+9

- Tinggi menara Tipe AA+6 (h_m) : 41 m
- Tinggi menara Tipe AA+9 (h_m) : 44 m
- Panjang *upper cross arm* (x_1) : 7,8 m
- Panjang *middle cross arm* (x_2) : 8,2 m
- Panjang *bottom cross arm* (x_3) : 8,6 m
- *Earthing cross arm* (y_E) : 2,9 m
- Jarak antara *cross arm* (y) : 4,7 m
- Tinggi *upper cross arm* dari tanah Tipe AA+6 (h_{x_1}) : 38,1 m
- Tinggi *middle cross arm* dari tanah Tipe AA+6 (h_{x_2}) : 33,4 m
- Tinggi *bottom cross arm* dari tanah Tipe AA+6 (h_{x_3}) : 28,7 m
- Tinggi *upper cross arm* dari tanah Tipe AA+9 (h_{x_1}) : 41,1 m
- Tinggi *middle cross arm* dari tanah Tipe AA+9 (h_{x_2}) : 36,4 m
- Tinggi *bottom cross arm* dari tanah Tipe AA+9 (h_{x_3}) : 31,7 m

2. Tipe BB+6 dan Tipe BB+9

- Tinggi menara Tipe BB+6 (h_m) : 41 m
- Tinggi menara Tipe BB+9 (h_m) : 44 m
- Panjang *upper cross arm* (x_1) : 7,6 m
- Panjang *middle cross arm* (x_2) : 8,0 m
- Panjang *bottom cross arm* (x_3) : 8,4 m
- *Earthing cross arm* (y_E) : 4,1 m
- Jarak antara *cross arm* (y) : 4,3 m
- Tinggi *upper cross arm* dari tanah Tipe BB+6 (h_{x_1}) : 36,9 m
- Tinggi *middle cross arm* dari tanah Tipe BB+6 (h_{x_2}) : 32,6 m

- Tinggi *bottom cross arm* dari tanah Tipe BB+6 (h_{x_3}) : 28,3 m
 - Tinggi *upper cross arm* dari tanah Tipe BB+9 (h_{x_1}) : 39,9 m
 - Tinggi *middle cross arm* dari tanah Tipe BB+9 (h_{x_2}) : 35,6 m
 - Tinggi *bottom cross arm* dari tanah Tipe BB+9 (h_{x_3}) : 31,3 m
3. Tipe DD+5 dan Tipe DD+9
- Tinggi menara Tipe DD+6 (h_m) : 40 m
 - Tinggi menara Tipe DD+9 (h_m) : 44 m
 - Panjang *upper cross arm* (x_1) : 7,6 m
 - Panjang *middle cross arm* (x_2) : 8,0 m
 - Panjang *bottom cross arm* (x_3) : 8,4 m
 - *Earthing cross arm* (y_E) : 4,1 m
 - Jarak antara *cross arm* (y) : 4,3 m
 - Tinggi *upper cross arm* dari tanah Tipe DD+5 (h_{x_1}) : 35,9 m
 - Tinggi *middle cross arm* dari tanah Tipe DD+5 (h_{x_2}) : 31,6 m
 - Tinggi *bottom cross arm* dari tanah Tipe DD+5 (h_{x_3}) : 27,3 m
 - Tinggi *upper cross arm* dari tanah Tipe DD+9 (h_{x_1}) : 39,9 m
 - Tinggi *middle cross arm* dari tanah Tipe DD+9 (h_{x_2}) : 35,6 m
 - Tinggi *bottom cross arm* dari tanah Tipe DD+9 (h_{x_3}) : 31,3 m

SUTT 150 kV dari Gardu Induk Keramasan ke Gardu Induk Mariana mempunyai 75 menara transmisi dan 74 gawang (*span*). Data tipe menara, tinggi menara dan gawang (*span*) saluran transmisi dapat dilihat pada Tabel 1 di bawah ini.

Tabel 1. Data Tipe dan Tinggi Menara serta Gawang (*Span*) Saluran Transmisi

No	Tipe	Tinggi (m)	No	Tipe	Tinggi (m)	Gawang (m)	Tinggi
01	DD+9	44	02	AA+9	44	79	Tidak Sama
02	AA+9	44	03	AA+9	44	228	Sama
03	AA+9	44	04	DD+9	44	270	Tidak Sama
04	DD+9	44	05	AA+9	44	301	Tidak Sama
05	AA+9	44	06	DD+9	44	480	Tidak Sama
06	DD+9	44	07	AA+9	44	402	Tidak Sama
07	AA+9	44	08	AA+9	44	288	Sama
08	AA+9	44	09	AA+9	44	375	Sama
09	AA+9	44	10	AA+9	44	332	Sama
10	AA+9	44	11	AA+9	44	330	Sama
11	AA+9	44	12	AA+9	44	332	Sama
12	AA+9	44	13	AA+9	44	330	Sama
13	AA+9	44	14	DD+9	44	333	Tidak Sama
14	DD+9	44	15	AA+9	44	334	Tidak Sama
15	AA+9	44	16	BB+9	44	268	Tidak Sama
16	BB+9	44	17	AA+9	44	281	Tidak Sama
17	AA+9	44	18	BB+9	44	313	Tidak Sama
18	BB+9	44	19	AA+9	44	274	Tidak Sama
19	AA+9	44	20	AA+9	44	401	Sama
20	AA+9	44	21	AA+9	44	370	Sama

21	AA+9	44	22	AA+9	44	357	Sama
22	AA+9	44	23	AA+9	44	374	Sama
23	AA+9	44	24	AA+9	44	382	Sama
24	AA+9	44	25	AA+9	44	352	Sama
25	AA+9	44	26	AA+9	44	352	Sama
26	AA+9	44	27	BB+9	44	344	Tidak Sama
27	BB+9	44	28	DD+9	44	382	Sama
28	DD+9	44	29	AA+9	44	413	Tidak Sama
29	AA+9	44	30	AA+9	44	348	Sama
30	AA+9	44	31	AA+9	44	346	Sama
31	AA+9	44	32	AA+9	44	348	Sama
32	AA+9	44	33	AA+9	44	352	Sama
33	AA+9	44	34	AA+9	44	348	Sama
34	AA+9	44	35	AA+9	44	346	Sama
35	AA+9	44	36	DD+5	40	352	Tidak Sama
36	DD+5	40	37	DD+5	40	273	Sama
37	DD+5	40	38	DD+5	40	418	Sama
38	DD+5	40	39	DD+5	40	67	Sama
39	DD+5	40	40	DD+5	40	424	Sama
40	DD+5	40	41	AA+6	41	233	Tidak Sama
41	AA+6	41	42	AA+6	41	341	Sama
42	AA+6	41	43	AA+6	41	337	Sama
43	AA+6	41	44	AA+6	41	339	Sama
44	AA+6	41	45	AA+9	44	336	Tidak Sama
45	AA+9	44	46	AA+9	44	308	Sama
46	AA+9	44	47	AA+6	41	318	Tidak Sama
47	AA+6	41	48	AA+6	41	320	Sama
48	AA+6	41	49	AA+6	41	316	Sama
49	AA+6	41	50	AA+6	41	319	Sama
50	AA+6	41	51	AA+6	41	320	Sama
51	AA+6	41	52	AA+6	41	319	Sama
52	AA+6	41	53	DD+5	40	319	Tidak Sama
53	DD+5	40	54	AA+6	41	318	Tidak Sama
54	AA+6	41	55	AA+6	41	335	Sama
55	AA+6	41	56	AA+6	41	335	Sama
56	AA+6	41	57	AA+6	41	336	Sama
57	AA+6	41	58	AA+6	41	336	Sama
58	AA+6	41	59	AA+6	41	334	Sama
59	AA+6	41	60	AA+6	41	334	Sama
60	AA+6	41	61	AA+6	41	334	Sama
61	AA+6	41	62	AA+6	41	335	Sama
62	AA+6	41	63	AA+6	41	333	Sama
63	AA+6	41	64	AA+6	41	333	Sama
64	AA+6	41	65	BB+6	41	333	Tidak Sama
65	BB+6	41	66	AA+6	41	333	Tidak Sama
66	AA+6	41	67	AA+6	41	335	Sama
67	AA+6	41	68	AA+6	41	334	Sama
68	AA+6	41	69	AA+6	41	335	Sama
69	AA+6	41	70	AA+6	41	337	Sama
70	AA+6	41	71	DD+5	40	340	Tidak Sama
71	DD+5	40	72	AA+6	41	328	Tidak Sama
72	AA+6	41	73	AA+6	41	255	Sama
73	AA+6	41	74	DD+5	40	246	Tidak Sama
74	DD+5	40	75	DD+5	40	211	Sama

Sumber: PT PLN GI Keramasan

Data Kawat Penghantar

Data spesifikasi kawat penghantar tersebut adalah sebagai berikut [3]:

- Jenis/tipe kawat penghantar : ACSR (Hawk)

- Jumlah kawat per fase : 2 (*Twin Conductor*)
- Luas penampang nominal : 340/30 mm²
- Pemilinan dan diameter kawat : Aluminium 48/3 mm, Baja 7/2,33 mm
- Luas penampang terhitung : Aluminium 339,29 mm², Baja 29,8 mm², Total 369,1 mm²
- Diameter kawat penghantar : 25 mm = 0,025 m
- Jari-jari kawat penghantar (*r*) : 12,5 mm = 0,0125 m
- Berat kawat penghantar (*W*) : 1.180 kg/km = 1,18 kg/m
- Tegangan tarik kerja maksimum (*T*) : 9.474 kg
- Temperatur : Maksimum = 95°C, Sehari-hari = 30°C
- Kecepatan angin : 0,5 m/s
- Jarak antar kawat penghantar (*s*) : 40 cm = 0,4 m
- Resistansi kawat penghantar 20°C : 0,09513 Ω/km

Data Isolator

Isolator yang digunakan pada SUTT 150 kV dari Gardu Induk Keramasan ke Gardu Induk Mariana adalah isolator gelas. Adapun data spesifikasi isolator tersebut adalah sebagai berikut:

- Jenis isolator : Gelas
- Jenis piringan : Standar (146 x 254 mm)
- Jumlah piringan isolator : 12 buah
- Panjang isolator 12 buah (*l*) : 1,6 m

PEMBAHASAN

Tabel 2. Hasil Perhitungan Andongan, Jarak Penghantar Ke Tanah dan Kapasitansi Ke Tanah Saluran Transmisi

Menara		Gawang (m)	Andongan				Jarak Penghantar Ke Tanah (m)			Kapasitansi Ke Tanah
			$D_{x_1} = D_{x_2} = D_{x_3}$ (m)	D_0 (m)			h_{x_1}	h_{x_2}	h_{x_3}	
Nomor	Tinggi (m)	<i>S</i>		x_1	x_2	x_3				C_n (pF/m)
01-02	44-44	79	0,0972	0,4234	0,1088	0,0001	37,8766	33,8912	29,6999	25,674736
02-03	44-44	228	0,8093	-	-	-	38,6907	33,9907	29,2907	25,458511
03-04	44-44	270	1,1350	0,6143	0,7702	0,9438	37,6857	33,2298	28,7562	25,674764
04-05	44-44	301	1,4106	0,8744	1,0389	1,2176	37,4256	32,9611	28,4824	25,674773
05-06	44-44	480	3,5871	3,0122	3,1982	3,3899	35,2878	30,8018	26,3101	25,674858
06-07	44-44	402	2,5160	-	-	-	36,3482	31,8681	27,3800	25,674813
07-08	44-44	288	1,2913	-	-	-	38,2087	33,5087	28,8087	25,458527
08-09	44-44	375	2,1894	-	-	-	37,3106	32,6106	27,9106	25,458558
09-10	44-44	332	1,7161	-	-	-	37,7839	33,0839	28,3839	25,458541
10-11	44-44	330	1,6955	-	-	-	37,8045	33,1045	28,4045	25,458541
11-12	44-44	332	1,7161	-	-	-	37,7839	33,0839	28,3839	25,458541
12-13	44-44	330	1,6955	-	-	-	37,8045	33,1045	28,4045	25,458541

13-14	44-44	333	1,7264	1,1786	1,3496	1,5322	37,1214	32,6504	28,1678	25,674784
14-15	44-44	334	1,7368	1,1886	1,3598	1,5426	37,1114	32,6402	28,1574	25,674784
15-16	44-44	268	1,1182	0,5987	0,7540	0,9272	37,7013	33,2460	28,7728	25,674763
16-17	44-44	281	1,2293	0,7025	0,8619	1,0375	37,5975	33,1381	28,6625	25,674767
17-18	44-44	313	1,5253	0,9843	1,1515	1,3318	37,3157	32,8485	28,3682	25,674777
18-19	44-44	274	1,1689	0,6459	0,8031	0,9774	37,6541	33,1969	28,7226	25,674765
19-20	44-44	401	2,5035	-	-	-	36,9965	32,2965	27,5965	25,458569
20-21	44-44	370	2,1314	-	-	-	37,3686	32,6686	27,9686	25,458556
21-22	44-44	357	1,9842	-	-	-	37,5158	32,8158	28,1158	25,458551
22-23	44-44	374	2,1777	-	-	-	37,3223	32,6223	27,9223	25,458557
23-24	44-44	382	2,2719	-	-	-	37,2281	32,5281	27,8281	25,458561
24-25	44-44	352	1,9291	-	-	-	37,5709	32,8709	28,1709	25,458549
25-26	44-44	352	1,9291	-	-	-	37,5709	32,8709	28,1709	25,458549
26-27	44-44	344	1,8424	1,2912	1,4641	1,6478	37,0088	32,5359	28,0522	25,674788
27-28	44-44	382	2,2719				36,0281	31,7281	27,4281	25,904848
28-29	44-44	413	2,6556	2,0895	2,2706	2,4593	36,2105	31,7294	27,2407	25,674819
29-30	44-44	348	1,8855	-	-	-	37,6145	32,9145	28,2145	25,458547
30-31	44-44	346	1,8638	-	-	-	37,6362	32,9362	28,2362	25,458546
31-32	44-44	348	1,8855	-	-	-	37,6145	32,9145	28,2145	25,458547
32-33	44-44	352	1,9291	-	-	-	37,5709	32,8709	28,1709	25,458549
33-34	44-44	348	1,8855	-	-	-	37,6145	32,9145	28,2145	25,458547
34-35	44-44	346	1,8638	-	-	-	37,6362	32,9362	28,2362	25,458546
35-36	44-40	352	1,9291	0,2051	0,2755	0,3563	38,0949	33,7245	29,3437	25,674745
36-37	40-40	273	1,1603	-	-	-	33,1397	28,8397	24,5397	25,904983
37-38	40-40	418	2,7203	-	-	-	31,5797	27,2797	22,9797	25,905077
38-39	40-40	67	0,0699	-	-	-	34,2301	29,9301	25,6301	25,904927
39-40	40-40	424	2,7989	-	-	-	31,5011	27,2011	22,9011	25,905082
40-41	40-41	233	0,8452	0,1031	0,1848	0,2902	35,1969	30,8152	26,4098	25,674854
41-42	41-41	341	1,8104	-	-	-	34,6896	29,9896	25,2896	25,458667
42-43	41-41	337	1,7681	-	-	-	34,7319	30,0319	25,3319	25,458665
43-44	41-41	339	1,7892	-	-	-	34,7108	30,0108	25,3108	25,458666
44-45	41-44	336	1,7577	0,5777	0,5777	0,5777	38,9223	34,2223	29,5223	25,458504
45-46	44-44	308	1,4769	-	-	-	38,0231	33,3231	28,6231	25,458533
46-47	44-41	318	1,5744	0,4317	0,4317	0,4317	39,0683	34,3683	29,6683	25,458500
47-48	41-41	320	1,5943	-	-	-	34,9057	30,2057	25,5057	25,458657
48-49	41-41	316	1,5547	-	-	-	34,9453	30,2453	25,5453	25,458655
49-50	41-41	319	1,5843	-	-	-	34,9157	30,2157	25,5157	25,458656
50-51	41-41	320	1,5943	-	-	-	34,9057	30,2057	25,5057	25,458657
51-52	41-41	319	1,5843	-	-	-	34,9157	30,2157	25,5157	25,458656
52-53	41-40	319	1,5843	0,6752	0,8121	0,9616	34,6248	30,1879	25,7384	25,674884
53-54	40-41	318	1,5744	0,6665	0,8030	0,9522	34,6335	30,1970	25,7478	25,674884
54-55	41-41	335	1,7472	-	-	-	34,7528	30,0528	25,3528	25,458664
55-56	41-41	335	1,7472	-	-	-	34,7528	30,0528	25,3528	25,458664
56-57	41-41	336	1,7577	-	-	-	34,7423	30,0423	25,3423	25,458664
57-58	41-41	336	1,7577	-	-	-	34,7423	30,0423	25,3423	25,458664
58-59	41-41	334	1,7368	-	-	-	34,7632	30,0632	25,3632	25,458663
59-60	41-41	334	1,7368	-	-	-	34,7632	30,0632	25,3632	25,458663
60-61	41-41	334	1,7368	-	-	-	34,7632	30,0632	25,3632	25,458663
61-62	41-41	335	1,7472	-	-	-	34,7528	30,0528	25,3528	25,458664
62-63	41-41	333	1,7264	-	-	-	34,7736	30,0736	25,3736	25,458663
63-64	41-41	333	1,7264	-	-	-	34,7736	30,0736	25,3736	25,458663
64-65	41-41	333	1,7264	1,1786	1,3496	1,5322	34,1214	29,6504	25,1678	25,674911
65-66	41-41	333	1,7264	1,1786	1,3496	1,5322	34,1214	29,6504	25,1678	25,674911

66-67	41-41	335	1,7472	-	-	-	34,7528	30,0528	25,3528	25,458664
67-68	41-41	334	1,7368	-	-	-	34,7632	30,0632	25,3632	25,458663
68-69	41-41	335	1,7472	-	-	-	34,7528	30,0528	25,3528	25,458664
69-70	41-41	337	1,7681	-	-	-	34,7319	30,0319	25,3319	25,458665
70-71	41-40	340	1,7998	0,8678	1,0123	1,1678	34,4322	29,9877	25,5322	25,674894
71-72	40-41	328	1,6750	0,7556	0,8959	1,0481	34,5444	30,1041	25,6519	25,674888
72-73	41-41	255	1,0124	-	-	-	35,4876	30,7876	26,0876	25,458630
73-74	41-40	246	0,9422	0,1632	0,2571	0,3722	35,1368	30,7429	26,3278	25,674858
74-75	40-40	211	0,6931	-	-	-	33,6069	29,3069	25,0069	25,904958

Sumber: Hasil Perhitungan

Tabel 2 menunjukkan hasil perhitungan andongan dan kapasitansi ke tanah saluran transmisi per fase untuk gawang (*span*) 01-02 sampai dengan gawang (*span*) 74-75. Dari hasil perhitungan tersebut dapat dianalisa bahwa:

1. Pengaruh andongan terhadap kapasitansi ke tanah pada saluran transmisi ditunjang oleh menara yang sama tinggi
 - a. Gawang (*span*) 38-39 mempunyai jarak yang paling pendek yaitu 67 m, yang ditunjang menara tipe DD+5 dan tipe DD+5 dengan tinggi 40 m, sehingga andongan pada gawang ini adalah 0,0699 m. Andongan pada gawang (*span*) 38-39 menyebabkan jarak konduktor berkas per fase semakin mendekati tanah. Dimana jarak konduktor berkas fase R ke tanah dari 35,9 m menjadi 34,2301 m, fase S ke tanah dari 31,6 m menjadi 29,9301 m, dan fase T ke tanah dari 27,3 m menjadi 25,6301 m, sehingga menyebabkan dengan kapasitansi ke tanah menjadi 25,904927 *pF/m*.
 - b. Gawang (*span*) 39-40 mempunyai jarak yang paling panjang yaitu 424 m, yang ditunjang menara tipe DD+5 dan tipe DD+5 dengan tinggi 40 m, sehingga andongan pada gawang ini adalah 2,7989 m. Andongan pada gawang (*span*) 39-40 menyebabkan jarak konduktor berkas per fase semakin mendekati tanah. Dimana jarak konduktor berkas fase R ke tanah dari 35,9 m menjadi 31,5011 m, fase S ke tanah dari 31,6 m menjadi 27,2011 m, dan fase T ke tanah dari 27,3 m menjadi 22,9011 m, sehingga menyebabkan dengan kapasitansi ke tanah menjadi 25,904958 *pF/m*.
2. Pengaruh andongan terhadap kapasitansi ke tanah pada saluran transmisi ditunjang oleh menara yang tidak sama tinggi
 - a. Gawang (*span*) 01-02 mempunyai jarak yang paling pendek yaitu 79 m, yang ditunjang menara tipe DD+9 dan tipe AA+9 dengan tinggi 44 m, sehingga andongan fase R adalah 1,6234 m, fase S adalah 0,9088 m, dan fase T adalah 0,4001 m. Andongan pada gawang (*span*) 01-02 menyebabkan jarak konduktor berkas per fase semakin mendekati tanah. Dimana jarak konduktor berkas fase R ke tanah dari 39,9 m-41,1 m menjadi 37,8766 m, fase S ke tanah dari 35,6 m-36,4 m menjadi 33,8912 m, dan fase T ke tanah dari 31,3 m-

31,7 m menjadi 29,6999 m, sehingga menyebabkan dengan kapasitansi ke tanah menjadi 25,674736 m.

- b. Gawang (*span*) 05-06 mempunyai jarak yang paling panjang yaitu 480 m, yang ditunjang menara tipe tipe AA+9 dan DD+9 dengan tinggi 44 m, sehingga andongan fase R adalah 4,2122 m, fase S adalah 3,9982 m, dan fase T adalah 3,7899 m. Andongan pada gawang (*span*) 05-06 menyebabkan jarak konduktor berkas per fase semakin mendekati tanah. Dimana jarak konduktor berkas fase R ke tanah dari 39,9 m-41,1 m menjadi 35,2878 m, fase S ke tanah dari 35,6 m-36,4 m menjadi 30,8018 m, dan fase T ke tanah dari 31,3 m-31,7 m menjadi 26,3101 m, sehingga menyebabkan dengan kapasitansi ke tanah menjadi 25,674858 pF/m.

KESIMPULAN

1. Gawang (*span*) yang mempunyai jarak yang paling panjang akan mempunyai andongan yang paling besar. Jadi besar andongan pada saluran transmisi dipengaruhi oleh jarak atau panjang gawang (*span*), karena berat penghantar yang direntangkan antara dua tiang transmisi mempunyai bentuk lengkung tertentu (*catenary curve*) yaitu jarak antara titik terendah dan tertinggi dari penghantar.
2. Besar kapasitansi ke tanah pada saluran transmisi dipengaruhi oleh jarak atau panjang gawang (*span*). Bumi mempengaruhi kapasitansi saluran transmisi karena bumi akan mengubah medan listrik saluran tersebut, sehingga apabila gawang (*span*) semakin panjang maka kapasitansi ke tanah akan semakin besar.
3. Gawang (*span*) 38-39 dan gawang (*span*) 01-02 mempunyai andongan paling kecil dan mempunyai kapasitansi ke tanah yang paling kecil. Kemudian gawang (*span*) 39-40 dan gawang (*span*) 05-06 mempunyai andongan yang paling besar dan mempunyai kapasitansi ke tanah yang paling besar. Hasil perhitungan tersebut menunjukkan bahwa kapasitansi ke tanah pada saluran transmisi dipengaruhi oleh andongan, dimana apabila andongan semakin besar maka kapasitansi ke tanah akan semakin besar pula.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Arismunandar, Artono 2001. *Teknik Tegangan Tinggi*. Indonesia. Jakarta: Pradnya Paramita.
- [2] Arismunandar, Artono dan Kuwahara, Susumu. 2004. *Buku Pegangan Teknik Tenaga Listrik: Saluran Transmisi*, Jilid II, Cetakan Ke 7. Jakarta: Pradnya Paramita.
- [3] Badan Standarisasi Nasional. 2002. SNI 04-0205-1987. *Konduktor Aluminium Berpenguatan Baja (ACSR)*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- [4] Hutaeruk, T.S. 1985. *Transmisi Daya Listrik*. Jakarta: Erlangga.
- [5] Kadir, Abdul. 1998. *Transmisi Tenaga Listrik*. Jakarta: Universitas Indonesia (UI Press).

- [6] PT PLN. 2014. *Saluran Udara Tegangan Tinggi Dan Ekstra Tinggi (SUTT/SUTET)*. Jakarta: PT Perusahaan Listrik Negara (Persero).
- [7] Stevenson, William D. 2000. *Analisa Sistem Tenaga Listrik*. Diterjemahkan Oleh: Kamal Idris. Jakarta: Erlangga.
- [8] Tobing, Bonggas L. 2003. *Peralatan Tegangan Tinggi*. Indonesia, Jakarta: PT. Gramedia Pustaka Utama.