

Menghitung Andongan Kawat Saluran Transmisi 150 Kv

Abdul Halim¹⁾, Yusmartato²⁾, Akhiruddin³⁾

¹⁾Alumni Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik UISU

^{2, 3)}Dosen Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik UISU
yusmartato@ft.uisu.ac.id; Akhiruddinudin40@yahoo.co.id

Abstrak

Saluran transmisi adalah merupakan bagian dari sistem tenaga listrik untuk menyalurkan daya listrik dari pusat-pusat listrik 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, tegangan dinaikkan dari pusat pembangkit melalui transformator ke harga tegangan yang diinginkan. 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.

Kata Kunci : Saluran Transmisi, Jarak Penghantar, Kuat Tarik, Andongan

I. PENDAHULUAN

Perencanaan transmisi yang terdiri atas kriteria listrik dan kriteria mekanis mempunyai tujuan untuk mencari kemungkinan-kemungkinan pengadaan saluran transmisi seoptimal mungkin guna memenuhi kebutuhan akan tenaga listrik baik di kota besar maupun daerah pedesaan. Kebutuhan akan tenaga listrik yang terus-menerus meningkat membuat perusahaan listrik yang ada lebih memaksimalkan potensi yang ada, antara lain dengan mengurangi rugi-rugi daya yang timbul pada saat penyaluran tenaga listrik. Salah satu cara adalah dengan memperhatikan sistem transmisi yang merupakan bagian dari sistem tenaga listrik untuk menyalurkan daya listrik dari pusat-pusat listrik ke gardu induk yang selanjutnya di-distribusikan ke konsumen.

Pada perencanaan mekanis, adanya tekanan angin yang merupakan gaya-gaya mekanis pada menara dan penghantar perlu diperhitungkan. Penghantar yang digunakan harus memiliki kekuatan mekanis yang baik. Pemakaian kawat penghantar dibatasi oleh karakteristik mekanis serta beratnya sendiri yang dapat menyebabkan andongan yang berlebihan pada suatu rentangan. Disamping itu penghantar dapat berayun melebihi batas-batas yang telah ditetapkan bila ditiup angin dan mengganggu jarak bebas.

Pada daerah-daerah dimana permukaan bumi tidak rata, misalnya daerah pegunungan, andongan kawat dapat mendekati permukaan bumi pada bagian-bagian yang tinggi diantara dua menara. Untuk mencegah hal ini, diperlukan penampang peta lokasi saluran udara dan penempatan menara agar pada pemasangan kawat pada suatu rentangan diperoleh andongan dengan jarak bebas dari permukaan bumi.

Untuk memperoleh hasil yang optimal dari saluran transmisi maka perlu diperhatikan beberapa hal yang erat kaitannya dengan pembangunan saluran transmisi itu sendiri. Dalam tulisan ini menguraikan jarak antara penghantar, perhitungan andongan kawat penghantar dan kondisi menara, yang nantinya dapat digunakan sebagai acuan atau bahan pertimbangan dalam membangun saluran transmisi, sehingga akan diperoleh hasil yang lebih optimal.

II. TINJAUAN PUSTAKA

Saluran transmisi berfungsi sebagai media untuk menyalurkan energi listrik dalam jumlah besar dalam tegangan transmisi dari pembangkit ke pusat-pusat beban/gardu induk. Dalam merencanakan saluran transmisi perlu diperhatikan beberapa hal, antara lain : kebutuhan aliran daya, stabilitas sistem, pemilihan level tegangan, pengendalian tegangan dan aliran daya reaktif, pemilihan jenis konduktor, masalah korona, pengaruh medan elektromagnetik, tegangan lebih, sistem isolasi, peralatan switching dan sistem proteksinya.

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

Tenaga listrik dapat dibangkitkan dengan mudah dan ekonomis hanya pada tempat-tempat dimana sumber dari pembangkit tenaga seperti batubara atau air tersedia. Ini jelas bahwa sumber dari tenaga listrik tersebut tidak tersedia pada seluruh tempat, karena itu lokasi pembangkitan dibangun pada tempat yang benar-benar tersedia

kebutuhan-kebutuhan untuk pembangkitan itu sendiri. Dan melalui saluran transmisi inilah penyaluran tenaga listrik bisa sampai pada konsumen.

Saluran transmisi merupakan rantai penghubung antara pusat pembangkit listrik dan sistem distribusi. Melalui hubungan-hubungan antar-sistem dapat pula menuju ke sistem-sistem tenaga yang lain. Suatu sistem distribusi menghubungkan semua beban yang terpisah satu dengan yang lain kepada saluran transmisi.

2.1 Kawat Penghantar

Kawat penghantar adalah kawat untuk menghantarkan arus listrik dan mempunyai sifat-sifat daya hantar listrik yang baik dan tahan panas serta mempunyai daya mekanis yang baik.

Kawat penghantar merupakan salah satu komponen utama saluran udara khususnya untuk saluran transmisi.

2.1.1 Jenis Kawat Penghantar

Jenis kawat penghantar yang biasa digunakan pada saluran transmisi adalah kawat tembaga dengan konduktivitas 100% (CU 100%), kawat tembaga yang konduktivitasnya 97,5% atau kawat aluminium dengan konduktivitasnya 61% (AL 61%). Kawat penghantar aluminium terdiri dari berbagai jenis dengan lambang sebagai berikut :

- AAC = “ *All-Aluminium Conductor* “, yaitu kawat penghantar yang seluruhnya terbuat dari aluminium.
- AAAC = “ *All-Aluminium Alloy Conductor* “, yaitu kawat penghantar yang seluruhnya terbuat dari campuran aluminium.
- ACSR = “ *Aluminium Conductor Steel Reinforced* “, yaitu kawat penghantar aluminium berinti kawat baja.
- ACAR = “ *Aluminium Conductor Alloy Reinforced* “, yaitu kawat penghantar aluminium yang diperkuat dengan logam campuran.

Kawat tembaga mempunyai beberapa kelebihan dibandingkan dengan kawat aluminium karena konduktivitas dan kuat tariknya lebih tinggi. Tetapi kelemahannya ialah untuk besar tahanan yang sama, kawat tembaga lebih berat dari kawat aluminium dan juga lebih mahal. Oleh karena itu kawat aluminium telah menggantikan kedudukan kawat tembaga. Untuk memperbesar kuat tarik dari kawat aluminium digunakan campuran aluminium (*Aluminium Alloy*). Untuk saluran transmisi tegangan tinggi, dimana jarak antara dua tiang (menara) jauh (ratusan meter), dibutuhkan kuat tarik yang lebih tinggi, untuk itu digunakan kawat ACSR.

2.1.2 Tegangan Tarik Penghantar

Penghantar yang digunakan harus cukup aman dalam menyalurkan tenaga listrik. Untuk itu daya

kerja maksimum pada kawat harus ditambah dengan faktor keamanan 2,2 untuk tembaga tarikan keras (*Hard Drawn*) dan untuk kawat ACSR serta kawat-kawat lainnya. Bila tarikan sehari-hari pada kawat besar, maka penghantar mudah menjadi 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 kawat yang membentuk lengkung parabolis andongan dan tarikannya adalah :

$$f_2^2 \{f^2 + (K - \alpha t E)\} = M \quad (1)$$

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

$$K = f_1 - \frac{(q_1 \delta)^2 S^2 E}{f_1^2} \quad (3)$$

$$M = \frac{(q_2 \delta)^2 S^2 E}{24} \quad (4)$$

$$\delta = \frac{W}{A} \quad (5)$$

$$f_1 = \frac{T}{A} \quad (6)$$

Di mana :

- f_1 = Tegangan kerja kawat penghantar (kg/mm²)
 f_2 = Tegangan tarik terhadap andongan (kg/mm²)
 D = Andongan (m)
 α = Koefisien pemuaian linier (/°C)
 δ = Berat konduktor per-luas penampang (kg/mm²)
 t = Suhu maksimum pada andongan tertentu (/°C)
 E = Koefisien elastisitas penghantar (kg/mm²)
 q_1 = 1 untuk ketegangan kerja maksimum
 q_1 = 1,37 untuk menghitung andongan
 q_2 = 1,37 untuk ketegangan maksimum
 q_2 = 1 untuk menghitung andongan
 S = Rentangan (m)
 W = Berat penghantar per-satuan panjang (kg/m)
 T = Gaya tarik penghantar (kg)
 A = Luas penampang penghantar (mm²)
 K = Koefisien tegangan tarik (kg/mm²)
 M = Tegangan tarik kawat (kg/mm⁶)

2.2 Jarak Antar Penghantar

Dalam perencanaan saluran transmisi, jarak antar penghantar harus diperhitungkan 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 loncatan api.

Karena andongan kawat tergantung dari beberapa faktor misalnya ukuran dan jenis penghantar, rentangan, cuaca dan lain sebagainya, maka sulit diadakan standar untuk jarak tersebut. Karena itu faktor pengalaman sangat penting artinya dalam menentukan jarak antar penghantar. Dibawah ini diterangkan beberapa jarak antar penghantar.

2.2.1 Jarak Horizontal

a. Rentangan Standar

- Rangkaian tunggal (Konfigurasi horizontal)

$$C_h = 0,4 + \frac{v}{1,1k_1} \quad (7)$$

Di mana :

- C_h = Jarak horizontal (m)
- v = Rentangan nominal (m)
- k_1 = Konstanta (20~30)

- Rangkaian Ganda (Konfigurasi Vertikal)

$$C_h = 1,5 + \frac{v}{1,1k_2} \quad (8)$$

Di mana :

- C_h = Jarak horizontal (m)
- v = Rentangan nominal (m)
- k_2 = Konstanta (20~30)

b. Rentangan Besar

$$C_h = 0,0625 D + 0,021 v \quad (9)$$

Di mana :

- C_h = Jarak horizontal (m)
- v = Rentangan nominal (m)
- D = Andongan (m)

2.2.2 Jarak Vertikal

a. Rentangan Standar

$$C_v = 1,0 + \frac{v}{1,1k_3} \quad (10)$$

Di mana :

- C_v = Jarak horizontal (m)
- v = Rentangan nominal (m)
- k_3 = Konstanta (40~50)

b. Rentangan Besar

$$C_v = 2,0 + \frac{v}{1,1k_4} \quad (11)$$

Di mana :

- C_v = Jarak horizontal (m)
- v = Rentangan nominal (m)
- k_4 = Konstanta (50~60)

2.3 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 dikurangi, karena tekanan angin ini dapat mempengaruhi tegangan dan andongan kawat. Besarnya tekanan angin tersebut dapat dinyatakan dengan persamaan berikut :

$$P = 0,25 v^2 \alpha \quad (12)$$

Di mana :

- P = Tekanan angin (kg/m²)
- v = Kecepatan angin (m/det)
- α = Faktor ke-efektifan angin ($\alpha < 1$)

Tekanan angin standar ini digunakan untuk perencanaan jenis konstruksi penampang dan jenis kawat yang direntang. Untuk perencanaan saluran transmisi, nilai faktor efektif angin (α) diambil 0,6 untuk kecepatan angin (v) sekitar 30 m/det.

Kecepatan angin untuk perencanaan di Jepang adalah 40 m/det untuk masa April sampai November dan di ukur pada ketinggian 15 meter di atas tanah. Nilai ini didapat dari penyelidikan diseluruh Negara dengan mengukur kecepatan angin maksimum rata-rata selama 10 menit. Sedangkan dalam penerapan di Indonesia perlu diadakan koreksi terhadap nilai yang diperoleh bila digunakan nilai faktor efektif angin ($\alpha = 0,6$), 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 gandingan isolator adalah daerah konstruksi yang terkena angin.

2.4 Jarak antar tiang

Penentuan jarak antar tiang (*span*) sangat penting dalam perencanaan saluran transmisi secara keseluruhan. Oleh sebab itu, hal ini harus ditetapkan karena ditinjau dari segi tegangan,

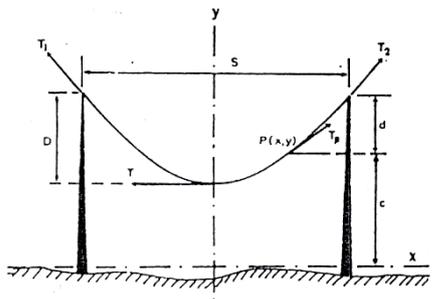
konstruksi penghantar, tinggi menara transmisi, keadaan udara serta keadaan tanah.

2.5 Andongan Penghantar

Kawat penghantar yang direntangkan antara dua menara transmisi tidak akan mengikuti garis lurus, akan tetapi karena beratnya sendiri akan melengkung kebawah disebut dengan andongan. Besar lengkungan ini tergantung dari berat dan panjang dari kawat penghantar itu sendiri. Secara matematis, lengkungan kawat tersebut dapat dinyatakan dengan persamaan-persamaan tertentu sesuai keadaan dan kondisi menara.

2.5.1 Kedua Menara Sama Tinggi

Dari Gambar 4.1 dapat dilihat kondisi kedua menara sama tinggi.



Gambar 1. Kedua Menara Sama Tinggi

Dengan menganggap bahwa penghantar adalah satu jenis (*homogen*), maka kurva yang terbentuk merupakan logam lengkungan sempurna sehingga pada setiap titik yang terletak pada kurva berlaku persamaan-persamaan berikut :

$$y = c \cosh \frac{x}{c} \tag{4.2}$$

$$l = c \cosh \frac{x}{c} \tag{13}$$

$$d = y - c = c \left(\cosh \frac{x}{c} - 1 \right) \tag{14}$$

Di mana :

l = Panjang garis lengkung dan titik terendah sampai suatu titik koordinat (x,y)

d = Andongan pada titik dengan koordinat (x,y)

Dimensi c memberi nilai yang nyata pada kurva terhadap gaya tarik pada penghantar, maka :

$$c = \frac{T}{W} \text{ (m)} \tag{15}$$

Di mana :

T = gaya tarik horizontal pada penghantar (kg)

W = berat penghantar per-satuan panjang (kg/m)

c = dimensi (m)

Pada umumnya lengkungan penghantar dapat dinyatakan sebagai suatu lengkung parabola dan persamaan-persamaan berikut dapat diterapkan, yaitu :

$$D = \frac{WS^2}{8T} \text{ (m)} \tag{16}$$

$$L = S \left(1 + \frac{8 D^2}{3 S^2} \right) \text{ (m)} \tag{17}$$

$$T_1 = T_2 = T + WD \text{ (kg)} \tag{18}$$

Di mana :

S = rentangan menara (m)

L = panjang penghantar sebenarnya (m)

T₁ = T₂ = gaya tarik pada penghantar (kg)

III. ANALISA DAN PEMBAHASAN

3.1 Karakteristik Mekanik Kawat Penghantar

Berdasarkan data yang diperoleh dari Unit Transmisi Gardu Induk Glugur Segment Titi Kuning – Sei Rotan, untuk pemakaian tower sebanyak 54 tower dengan 2 sirkit serta panjang sirkit 34,4 km dan rute 17,2 km. Pada perhitungan ini yang dicari adalah menentukan andongan dan tegangan kawat dengan memperhitungkan pengaruh tekanan angin dan pengaruh panas.

Data-data konduktor tipe ACSR Standarisasi PLN adalah sebagai berikut :

Luas penampang nominal : 240 mm²

Luas penampang terhitung : Aluminium (Aa) = 241,3 mm²

Diameter konduktor: Aluminium (da) = 22,4 mm²

Berat konduktor : 1,11 kg/m

Koefisien ekspansi linier : Aluminium (αa) = 23x10⁻⁶

Koefisien elastisitas konduktor : Aluminium (Ea) = 6300 kg/mm²

Panjang span saluran transmisi 150 kv:

S = 300 m

Faktor keamanan : 2,5 untuk ketegangan maksimum

Temperatur (suhu): maksimum = 75° C

: minimum = 15° C

: sehari-hari = 50° C

Tegangan tarik kerja maksimum: 10.210 kg

Kecepatan angin : 40 m/det

3.2 Perhitungan Andongan Untuk Menara Sama Tinggi

Untuk menara yang sama tinggi, perhitungan dilakukan dengan panjang saluran (*span*) 300 m. Rumus-rumus pendekatan yang dipergunakan untuk menghitung kuat-tarik maksimum sama dengan rumus yang ada pada persamaan.

Diketahui :

- W = 1,11 kg/m
- S = 300 m
- A = 240 mm²
- E = 6300 kg/mm²
- T = 10.210 kg
- t = 75° C

Maka untuk mencari andongan maksimum dari kawat penghantar adalah :

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

Berat konduktor per-luas penampang adalah :

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

$$\delta = 4,625 \times 10^{-3} \text{ kg / m / mm}^2$$

$$\delta = \frac{1,11 \text{ kg / m}}{240 \text{ mm}^2}$$

Tegangan kerja kawat penghantar :

$$f_1 = \frac{T}{A}$$

$$f_1 = \frac{10210 \text{ kg}}{240 \text{ mm}^2}$$

$$f_1 = 42,54 \text{ kg / mm}^2$$

Untuk mencari gaya tarik penghantar (K)

digunakan $q_1 = 1$, maka:

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

$$K = 42,54 \text{ kg / mm}^2 - \frac{\left(\frac{1,11 \text{ kg / m}}{240 \text{ mm}^2} \times 1,37\right)^2 \times (300 \text{ m})^2 \times 6300 \text{ kg / mm}^2}{(42,54 \text{ kg / mm}^2)^2}$$

$$K = 42,54 \text{ kg / mm}^2 - \frac{0,00002139 \text{ kg}^2 / \text{m}^2 / \text{mm}^4 \times 90000 \text{ m}^2 \times 6300 \text{ kg / mm}^2}{1809,6516 \text{ kg}^2 / \text{mm}^4}$$

$$K = 42,54 \text{ kg / mm}^2 - \frac{12128,48438 \text{ kg}^3 / \text{mm}^6}{1809,6516 \text{ kg}^2 / \text{mm}^4}$$

$$K = 42,54 \text{ kg / mm}^2 - 6,7 \text{ kg / mm}^2$$

$$K = 35,84 \text{ kg / mm}^2$$

Untuk mencari tegangan tarik penghantar (M)

digunakan $q_2 = 1,37$, maka :

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

$$M = \frac{\left(\frac{1,11 \text{ kg / m}}{240 \text{ mm}^2} \times 1,37\right)^2 \times (300 \text{ m})^2 \times 6300 \text{ kg / mm}^2}{24}$$

$$M = \frac{0,000040148 \text{ kg}^2 / \text{m}^2 / \text{mm}^4 \times 90000 \text{ m}^2 \times 6300 \text{ kg / mm}^2}{24}$$

$$M = \frac{22763,95 \text{ kg}^3 / \text{mm}^6}{24}$$

$$M = 948,5 \text{ kg}^3 / \text{mm}^6$$

Dan tegangan tarik terhadap andongan adalah:

$$f_2^2 \{f_1 + (K - \alpha t E)\} = M$$

$$f_2^2 \{42,54 \text{ kg / mm}^2 + (35,84 \text{ kg / mm}^2 - 23 \times 10^{-6} \times 75^\circ \times 6300 \text{ kg / mm}^2)\} = 948,5 \text{ kg}^3 / \text{mm}^6$$

$$f_2^2 \{42,54 \text{ kg / mm}^2 + (35,84 \text{ kg / mm}^2 - 10,8675 \text{ kg / mm}^2)\} = 948,5 \text{ kg}^3 / \text{mm}^6$$

$$f_2^2 \{42,54 \text{ kg / mm}^2 + 24,973 \text{ kg / mm}^2\} = 948,5 \text{ kg}^3 / \text{mm}^6$$

$$f_2^2 \{67,5 \text{ kg / mm}^2\} = 948,5 \text{ kg}^3 / \text{mm}^6$$

$$f_2^2 = \frac{948,5 \text{ kg}^3 / \text{mm}^6}{67,5 \text{ kg / mm}^2}$$

$$f_2 = \sqrt{14,05 \text{ kg}^2 \text{ mm}^4}$$

$$f_2 = 3,75 \text{ kg / mm}^2$$

Dengan demikian harga andongan maksimum dapat ditentukan dengan $q_2 = 1$:

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

$$D = \frac{1,11 \text{ kg / m}}{240 \text{ mm}^2} \times \frac{(300 \text{ m})^2}{8(3,75 \text{ kg / mm}^2)}$$

$$D = \frac{0,004625 \text{ kg / m / mm}^2 \times 90000 \text{ m}^2}{30 \text{ kg / mm}^2}$$

$$D = \frac{416,25 \text{ kg / mm}^2 \text{ m}}{30,2 \text{ kg / mm}^2}$$

$$D = 13,783 \text{ m}$$

IV. KESIMPULAN

Sebagai penutupan, sesuai dengan masalah-masalah yang telah diuraikan sebelumnya, maka dapat diambil beberapa kesimpulan berikut :

1. Pertambahan panjang rentangan pada saluran transmisi mengakibatkan bertambah besarnya andongan kawat penghantar maksimum.

2. Jika tegangan tarik penghantar semakin kecil akan mengakibatkan andongan kawat penghantar yang makin besar, demikian juga sebaliknya, semakin besar tegangan tarik penghantar akan mengurangi besarnya andongan kawat penghantar maksimum.
3. Template pada perencanaan saluran transmisi berguna untuk menentukan andongan kawat penghantar serta mencegah andongan kawat penghantar tersebut terlalu dekat dengan permukaan bumi. Terutama pada daerah-daerah dimana permukaan bumi tidak rata.
4. Perhitungan andongan untuk jarak antar tiang (*span*) 50 meter dan 100 meter, biasanya dilakukan karena ada permukaan bumi yang tidak rata atau transmisi melewati gunung.
5. Keadaan suhu pada daerah kawat penghantar mempengaruhi andongan kawat penghantar. Semakin tinggi suhunya, maka andongan akan semakin rendah, begitu juga sebaliknya.
6. Batas jarak bebas (*clearance*) andongan kawat terhadap tanah pada saluran transmisi 150 KV adalah 6 meter. Jadi dari hasil perhitungan diketahui bahwa jarak bebas terhadap tanah masih memenuhi syarat.
7. Jarak bebas kawat penghantar tidak boleh melewati jarak yang telah ditentukan, karena hal tersebut dapat menimbulkan gangguan dari segi mekanis maupun segi elektrik.
8. Dari perhitungan andongan diperoleh hasil untuk saluran transmisi 150 KV pada jarak antar tiang 300 meter adalah 13,873 meter untuk menara sama tinggi.

DAFTAR PUSTAKA

- [1.] Arismunandar. DR dan S. Kuwahara, 1975, *Tenaga Listrik, Jilid II dan III, Saluran Transmisi*, PT. Pradnya Paramita, Jakarta.
- [2.] Arismunandar, A. 1984, *Teknik Tegangan Tinggi*, Penerbit Pradnya paramita Jakarta
- [3.] B.M. Weedy, 1987, *Electric Power Systems*, Third Edition Revised, Jhon Wiley and Sons, Singapore New York, Toronto.
- [4.] Bonggas L. T, 2003, *Peralatan Tegangan Tinggi*, PT. Gramedia Pustaka Utama, Jakarta
- [5.] M. Abdel S, 2000, *High Voltage Engineering. Theory dan Practice*
- [6.] *Peraturan Umum Instalasi Listrik Indonesia (PUIL) 2000*.
- [7.] Robert. D. Evans. 1950. *Electrical Transmisi ad Distribusi*, Oxford & IBH Publishing
- [8.] Sudeshi Uppal B.A., *Electrical Power*, Khanna Publisher New Delhi.
- [9.] Sunil S. Rao. M.E. (Electical). M.I.E., 1973, *SwicthgearAnd Protection*, Khanna Publisher 2 – B. Nath Market Nai Sarak – New Delhi.
- [10.] S. L. Uppal. DR, Khanna Publisher, 1979, *Electrical Power*, Delhi.
- [11.] T.S. Hutahuruk, 1985, *Transmisi Daya Listrik*, Institut Teknologi Bandung dan Universitas Trisakti, Erlangga, Jakarta
- [12.] Turan Gonen, 1985, *Electrical Power Transmision System Engineering*, California State University