

ANALISIS PENGARUH EFEK KUAT MEDAN LISTRIK SALURAN TEGANGAN TINGGI TRANSMISI 70 KV - 150 KV PADA LINGKUNGAN PERUMAHAN

DOHARNI VINNIKE NAINGGOLAN, HINDARDI DAN BEKTI YULIANTI

Program Studi Teknik Elektro Universitas Dirgantara Marsekal Suryadarma, Jakarta.

ABSTRAK

Pembangkit tenaga listrik untuk memenuhi kebutuhan tenaga listrik bagi suatu wilayah (pusat beban/load center), biasanya terletak jauh dari pusat beban. Jarak antara sumber tenaga listrik dengan pusat beban biasanya mencapai puluhan bahkan sampai ratusan Kilometer, yang disalurkan lewat jaringan atau saluran transmisi. Namun jaringan transmisi tegangan tinggi sebesar 150 KV tersebut dapat menimbulkan medan listrik yang akan berpengaruh terhadap muatan-muatan disekitarnya termasuk terhadap lingkungan perumahan dan manusia yang berada disepanjang jaringan tersebut.

Atas dasar pertimbangan ini maka perlu ada kegiatan analisa pengaruh kuat medan listrik mengacu pada rumus dasar Hukum Coulomb dan mengukur objek penelitian dilingkungan perumahan yang dilalui saluran transmisi. Dari penelitian yang sudah dilakukan ditemukan kuat medan listrik masih standar aman untuk manusia, dengan mengacu pada standar WHO yang menjelaskan bahwa medan listrik akan berpengaruh pada manusia dengan standar 5 KV/m.

Sehingga dapat disimpulkan bahwa salah satu upaya untuk mengurangi dampak medan listrik dan medan magnet terhadap lingkungan perumahan adalah dengan menanam pohon sebanyak mungkin disekitar lingkungan perumahan. Dalam penanaman pohon disarankan agar puncak pohon berjarak minimum 15 meter dari kabel SUTET/SUTT terbawah. Hal tersebut bertujuan untuk menghindari bersentuhannya bagian pohon dengan kabel SUTET/SUTT yang dapat berakibat putusnya kabel SUTET/SUTT.

Kata-kata kunci: Medan listrik, pengaruh medan listrik.

PENDAHULUAN

Sistem tenaga listrik adalah kumpulan dari peralatan – peralatan tenaga listrik yang terdiri dari pembangkit tenaga listrik, gardu induk penaik tegangan 7 KV - 150 KV saluran transmisi dan sampai ke beban dari gardu induk penurun tegangan. Alasan penggunaan tegangan tinggi pada saluran transmisi 150 KV adalah karena jauhnya pembangkit dari konsumen maka diperlukan tegangan tinggi 150 KV, karena tegangan jatuh (voltage drop) yang diakibatkan oleh tegangan tinggi dengan tahanan dalam kabel akan lebih kecil dibandingkan dengan menggunakan tegangan yang lebih rendah.

Seperti yang kita ketahui bahwa pembangkit tenaga listrik itu sampai saat ini masih menggunakan generator yang pada prinsipnya adalah mesin berputar,

sehingga masalah pembangkitan akan sangat ditentukan oleh isolasi dari generator tersebut. Menaikan tegangan secara bertingkat itu dengan menggunakan transformator kemudian hal tersebut harus aman terhadap manusia dan lingkungan sehingga mudah dioperasikan dan ekonomis.

Prinsip dari sebuah saluran hantaran udara akan menimbulkan medan listrik yang melingkar disepanjang saluran, begitu juga halnya dengan saluran transmisi 150 KV efek medan listrik dan medan magnet yang ditimbulkan akan berpengaruh terhadap lingkungan disekitar terutama bagi makhluk hidup disekitarnya. Inilah yang melatar belakangi pengangkatan masalah tugas akhir ini bagaimana pengaruh kuat medan listrik

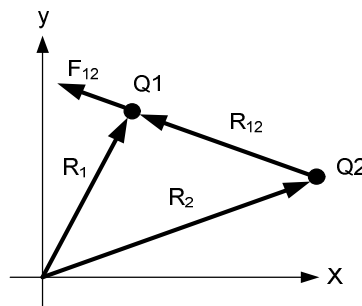
tegangan 150 KV, terhadap lingkungan perumahan dan manusia disekitarnya.

METODE

Dari eksperimen yang dilakukan pada tahun 1786 Coulomb mendapatkan hal berikut gaya interaksi antara dua benda titik bermuatan listrik sebanding dengan muatan masing-masing, dan berbanding terbalik dengan kuadrat jarak antara kedua muatan tersebut.

Gaya interaksi tarik menarik, bila muatan berbeda tanda dan tolak menolak bila bertanda sama. Peristiwa tersebut di kenal dengan hukum Coulomb.

Secara matematika kita dapat menuliskan hukum Coulomb seperti dibawah (Persamaan 1). Perhatikan Gambar 2.1 sebuah benda bermuatan Q_1 ada pada vector posisi R_1 , dan benda titik bermuatan Q_2 pada vector posisi R_2 . Vector posisi Q_1 relatif terhadap Q_2 adalah $R_{12} = r_1 - r_2$



Gambar 1 : Gaya Pada Q_1 Disebabkan Oleh Q_2

Secara kuantitatif gaya F_{12} pada Q_1 yang disebabkan oleh Q_2 dapat dituliskan sebagai berikut :

$$F_{12} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{R_{12}^2} \dots\dots\dots(1)$$

Dengan $\frac{1}{4\pi\epsilon_0}$ sebagai tetapan perbandingan. Persamaan diatas dikatakan dengan hukum coulomb.

Medan Listrik

Dalam membahas interaksi Coulomb, kita dapat memandangnya dari segi medan. Medan adalah suatu besaran yang mempunyai harga pada tiap titik dalam ruang. Secara matematik dapat kita katakan medan adalah suatu yang merupakan fungsi kontinu dari posisi dalam ruang. Temperatur dalam ruang adalah suatu medan yaitu, medan temperatur, karena mempunyai harga pada tiap titik dalam ruang. Besaran medan dalam hal ini adalah suatu saklar, sehingga medan temperatur adalah medan saklar.

Gaya Coulomb disekitar suatu muatan listrik juga membentuk medan,

yaitu medan gaya listrik, atau kita sebut sebagai medan listrik. Dimanapun kita tempatkan suatu muatan lain yang kita sebut muatan uji, muatan uji tersebut akan mendapat gaya interaksi. Muatan uji haruslah cukup kecil sehingga tak mempengaruhi muatan sumber.

Besaran medan gaya coulomb adalah gaya, yaitu suatu vector karena itu medan gaya Coulomb adalah suatu medan vector. Dalam membahas suatu medan, orang menggunakan pengertian kuat medan. Untuk medan gaya Coulomb, kuat medan listrik adalah vector gaya Coulomb yang bekerja pada satu satuan muatan yang kita letakan pada satu titik dalam medan gaya ini. Kuat medan listrik ini kita nyatakan dengan $E (r)$.

Muatan yang menghasilkan suatu medan gaya Coulomb atau medan listrik kita sebut muatan sumber. Misalkan kita mempunyai muatan sumber berupa

muatan titik seharga q. kuat medan listrik yang kita nyatakan dengan E pada suatu vector posisi r terhadap muatan sumber tersebut, adalah gaya medan pada satu satuan muatan uji.

$$E(r) = \frac{F(r, q')}{q'} \dots\dots\dots(2)$$

Bila muatan sumber berupa titik maka,

$$E(r) = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{r^2} \dots\dots\dots(3)$$

Di mana r adalah vector satuan arah radial ke luar.

Dalam menggunakan persamaan (3) haruslah diingat akan hal berikut:

Hubungan ini hanya berlaku bila muatan sumber berupa titik, pusat sistem kordinat ada pada muatan sumber, besaran yang digunakan harus dalam sistem satuan mks, hubungan diatas hanya berlaku dalam vakum atau di udara.

Dari persamaan (2) nyata satuan untuk kuat medan adalah N.C⁻¹. Bila di ingat kembali akan medan gaya gravitasi, percepatan gravitasi g adalah gaya berat

per satuan massa, atau $g = \frac{w}{m}$ jadi

$$E(r) = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{|r-r'|^2} \frac{(r-r')}{|r-r'|} \text{ atau}$$

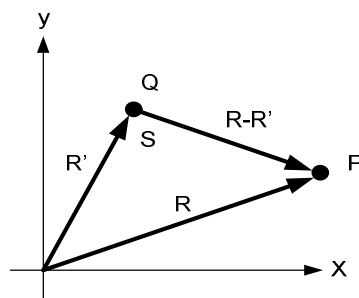
$$E(r) = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q(r-r')}{|r-r'|^3} \dots\dots\dots(4)$$

Bila kita gunakan muatan uji sebesar q' → 0 pada vector posisi r relatif terhadap muatan sumber, kuat medan E (r) haruslah sama dengan

percepatan gravitasi g tak lain adalah kuat medan gravitasi. Bagaimana bentuk kuat medan listrik bila muatan sumber tidak berada pada pusat sistem kordinat, Perhatikan Gambar 2 muatan sumber q berupa muatan titik seharga q dan terletak pada vector posisi r. Titik P berada pada posisi relatif P terhadap muatan sumber adalah (r-r'). Vector satuan arah SP

haruslah sama dengan. $\frac{(r-r')}{|r-r'|}$

Jadi kuat medan listrik E pada titik r oleh muatan titik q pada r', haruslah sama dengan

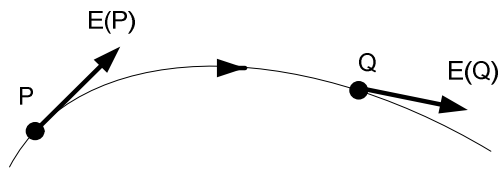


Gambar 2 : Muatan sumber Q berada pada posisi R'

Garis Gaya

Garis gaya listrik dilukiskan sehingga arah medan listrik menyinggung garis gaya

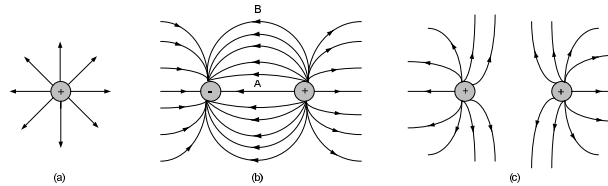
tersebut. Ini dilukiskan pada Gambar 3. haruslah di ingat, panjang panah vektor E tidak menyatakan kuat medan listrik.



Gambar 3 Arah Medan Menyinggung Garis Gaya

Di tempat yang bermedan kuat, garis gaya dilukiskan rapat. Bila medan lemah,

garis gaya dilukiskan renggang. Ini dapat dilihat pada Gambar 4 dibawah :



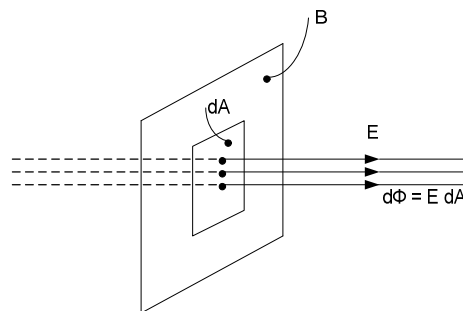
Gambar 4 : Garis Gaya Oleh Gaya Pasangan Dengan Muatan Positif

Pada Gambar 4 b titik A medan kuat karena garis gaya itu rapat, sedang pada titik B medan listrik lemah karena garis gaya renggang. Perhatikan pula arah garis gaya keluar dari muatan positif dan masuk ke muatan negative.

satuan luas, tegak lurus pada kuat medan E, bila kuat medan itu E, maka jumlah garis gaya $d\Phi$ yang menembus suatu elemen seluas dA tegak lurus pada E adalah $d\Phi = E dA$, Ini ditunjukkan pada Gambar 5.

Dari uraian di atas maka, dalam lukisan garis gaya medan kuat medan dinyatakan oleh rapat garis gaya, yaitu banyak garis gaya yang menembus suatu

Bila permukaan dA tidak tegak lurus pada E, jumlah garis gaya yang keluar dari dA haruslah $d\Phi = E dA \cos \theta = E_{\perp} dA$



Gambar 5 Bidang tegak lurus E banyaknya garis gaya adalah $d\Phi = E dA$

Dengan vector $dA = n dA$, dan n vector satuan tegak lurus pada bidang dA dan θ adalah sudut antara bidang dA dengan bidang tegak lurus pada E.

Dalam mengambil integral pada persamaan 5, elemen seluas dA terletak pada permukaan S, dan harga medan listrik E diambil untuk semua. Pada permukaan S, integral seperti pada persamaan 5 disebut integral permukaan.

Elemen seluas dA terletak pada permukaan S, bila kuat medan pada elemen seluas dA adalah E, maka jumlah garis gaya yang keluar dari seluruh permukaan S adalah :

Pengertian Transmisi

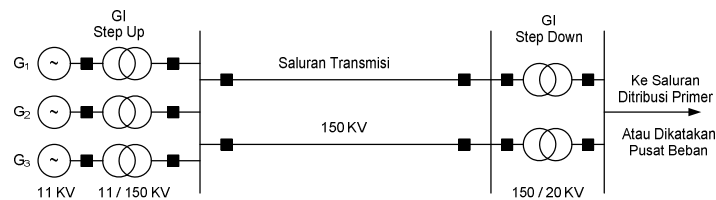
$$\Phi = \int d\Phi = \int E \cdot dA \dots \dots \dots (5)$$

Pusat pembangkit listrik biasanya terletak jauh dari pemukiman atau pelanggan. Sehingga listrik yang

dihasilkan pusat pembangkit listrik perlu ditransmisikan dengan jarak yang cukup jauh. Transmisi energi listrik jarak jauh dilakukan dengan menggunakan tegangan tinggi, dengan alasan sebagai berikut:

1. Bila tegangan dibuat tinggi maka arus listriknya menjadi kecil.

2. Dengan arus listrik yang kecil maka energi yang hilang pada kawat transmisi (energi disipasi) juga kecil.
3. Juga dengan arus kecil cukup digunakan kawat berpenampang relatif lebih kecil, sehingga lebih ekonomis.



Gambar 6 : Diagram Satu Garis Sistem Saluran Transmisi

Perhitungan kuat medan listrik di bawah saluran transmisi ditentukan oleh beberapa variabel antara lain :

1. Tegangan phasa pada saluran.
2. Jarak phasa terhadap bumi.
3. Objek pelindung yang berada di bawah saluran.

Pada ketentuan yang ketiga diatas, objek pelindungnya adalah pepohonan, objek pelindung tersebut mempunyai faktor pelindung yang dapat mengurangi intensitas medan listrik di bawah saluran transmisi, seperti yang sudah dibahas pada bab ini akan diperhitungkan faktor – faktor pelindung dari objek pelindung yang berada di bawah saluran transmisi perhitungan kuat medan listrik ini juga menggunakan analisa dua dimensi dengan asumsi :

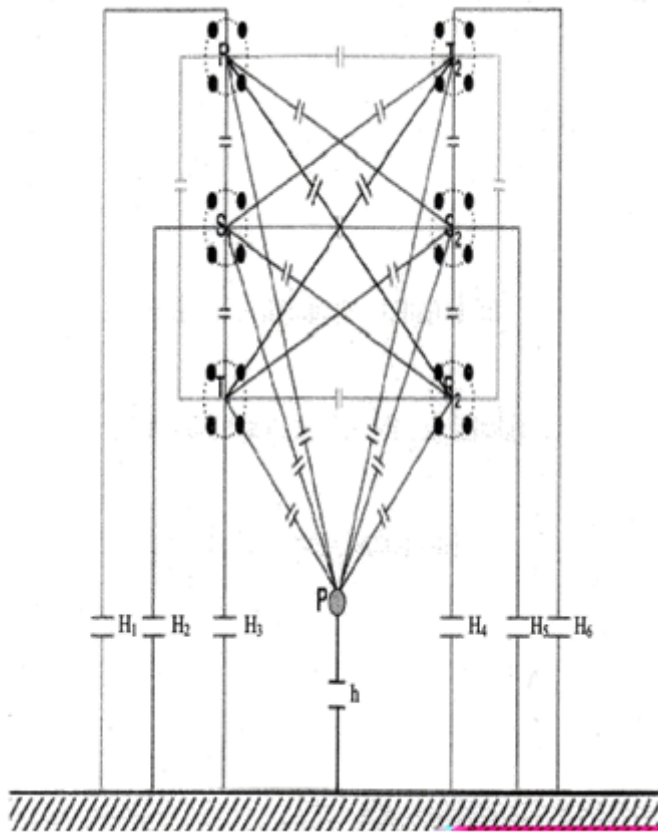
1. Semua penghantar dianggap sebagai muatan garis yang sejajar antara penghantar-penghantar muatan dengan permukaan tanah.

2. Tanah dianggap sebagai penghantar listrik yang baik dan permukaan tanah merupakan bidang equipotensial sama dengan nol.
3. Permittivitas udara tergantung pada keadaan cuaca dan harga diambil sama dengan ruang hampa.

Kapasitansi Saluran Transmisi

Kapasitansi antara penghantar sejajar adalah suatu konstanta yang tergantung pada ukuran dan jarak pemisah antara penghantar. Untuk saluran daya yang panjangnya kurang dari 80 km, pengaruh kapasitansinya kecil dan biasanya dapat diabaikan. Untuk saluran yang lebih panjang dengan tegangan yang lebih tinggi, kapasitansi menjadi lebih tinggi.

Kapasitansi saluran secara keseluruhan dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Kapasitansi Pada Saluran Transmisi

Jika objek di bawah saluran transmisi tersebut merupakan sebuah rumah, maka antara rumah tersebut dengan tanah terdapat juga suatu nilai kapasitansi.

Kapasitas Antar Penghantar

Untuk menghitung Kapasitansi antara penghantar, maka dapat digunakan Persamaan 2.6 berikut ini:

$$C = \frac{\pi \cdot k}{\ln\left(\frac{D}{r_{eq}}\right)} \dots\dots\dots(6)$$

- Dimana :
- C = Kapasitansi Antar Penghantar (F/m)
 - D = Jarak Antar Penghantar (m)
 - r_{eq} = Jari – jari ekuivalen penghantar (m)
 - k = 8,85 . 10⁻¹² F/m

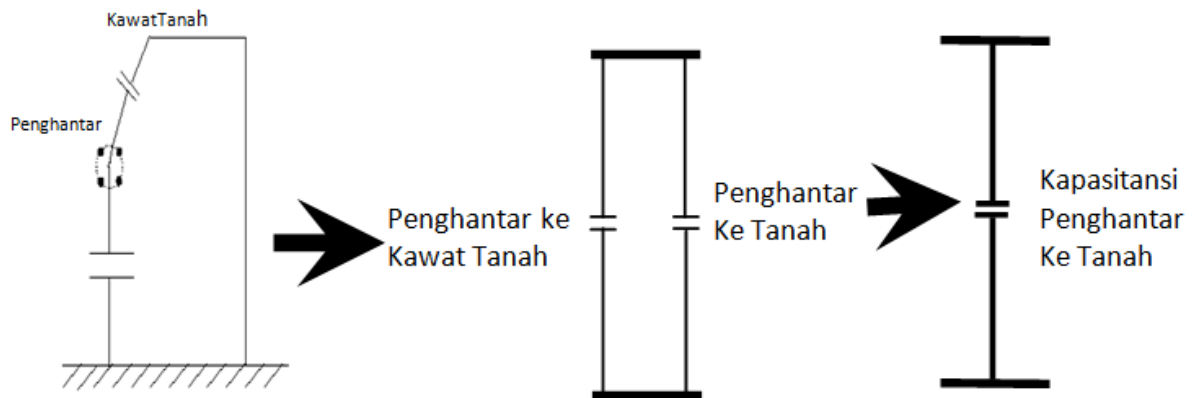
Perhitungan kapasitansi tanah diberikan pada persamaan 2.7 berikut ini. Hasil kapasitansi ini dapat dianggap merupakan nilai ekuivalen dari nilai kapasitansi dari penghantar tanah dan juga penghantar kawat tanah (Stevenson, 1996)

Kapasitansi Penghantar Tanah

$$C = \frac{2\pi \cdot k}{\ln\left(\frac{D}{r_{eq}}\right)} \dots\dots\dots(7)$$

- Dimana :
- C = Kapasitansi penghantar tanah

D = Jarak antara penghantar dengan tanah (m)
 r_{eq} = Jari – jari ekivalen penghantar (m)



Gambar 8. Kapasitansi Penghantar Tanah

Kapasitansi Penghantar Atap Rumah.

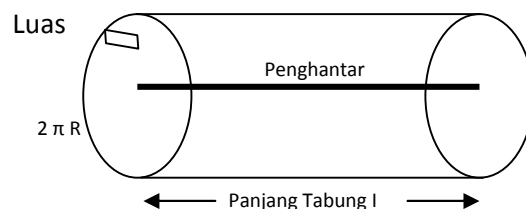
Pada perhitungan ini (Persamaan 8), rumah dianggap sebagai bagian kecil

dari suatu luas selimut tabung, dimana titik tabung merupakan penghantar (Gambar 9).

$$C = \frac{2\pi.k}{\ln\left(\frac{D}{r_{eq}}\right)} \dots\dots\dots(8)$$

Dimana :

- C = Kapasitansi penghantar rumah (F/m)
- D = Jarak antara penghantar dengan rumah (m)
- R = Jarak penghantar rumah (m)



Gambar 9. Rumah sebagai bagian dari selimut tabung

Dengan menganggap atap rumah bagian selimut tabung, maka nilai kapasitansi

yang telah diperoleh pada (persamaan 9) menjadi :

$$C = \frac{2\pi.k}{\ln\left(\frac{D}{R}\right)} \times \frac{\text{luas atap}}{\text{luas selimut tabung}} \dots\dots(9)$$

Dimana panjang tabung l merupakan panjang rumah searah dengan penghantar.

sebagai dua keping plat sejajar. Oleh sebab itu, jarak antara atap dan rumah dengan tanah diambil nilai rata – rata rumah dengan tanah, yaitu seperti pada Gambar (10)

Untuk menghitung nilai kapasitansi pada rumah dengan Persamaan (2.10), maka atap rumah dan tanah dianggap

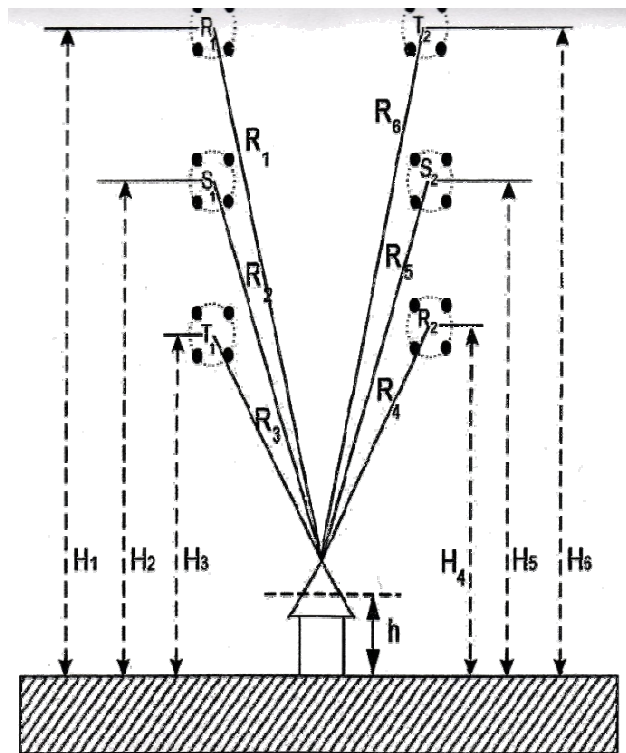
$$C = k \frac{A}{h} \dots\dots\dots(10)$$

Dimana :

C = Kapasitansi atap rumah ke tanah (F/m)

A = Luas atap rumah (m²)

h = Jarak atap rumah ke tanah (m)



Keterangan Gambar

R = Jarak antara Konduktor dengan Objek

H = Jarak antara Konduktor dengan tanah

h = Jarak atap rumah ke tanah

Gambar 10. Rumah Yang Berada di Bawah Saluran Transmisi

Jarak Aman Pemukiman Penduduk dari Radiasi SUTET/SUTT

Standar WHO pun menyebutkan bahwa medan magnet tidak melebihi 5 mili Tesla maka radiasi medan magnet yang ditimbulkan oleh SUTET/SUTT tidak berbahaya dan pembangunan SUTET/SUTT tidak perlu dirisaukan.

Sedangkan untuk medan listrik, aturan WHO menjelaskan bahwa medan listrik akan berpengaruh pada tubuh manusia dengan standard 5000 volt permeter.

Untuk tidak mendapatkan bahaya SUTET/SUTT maka ada ketentuan-ketentuan didalamnya supaya radiasi tidak dirasakan makhluk hidup. Untuk ketentuan

jarak aman SUTET/SUTT (150 KV - 500 KV) terhadap perumahan.

1. Lampiran V Keputusan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral No. 1457 K/28/MEM/2000 tanggal 3 November 2000 tentang "Kriteria Tata Ruang Aspek Pertambangan dan Energi". Disana disebutkan jarak minimum bangunan tidak tahan api dengan saluran SUTET/SUTT minimal 14 meter (sirkuit ganda) dan 15 meter (sirkuit tunggal).
2. SNI 04-6918-2002 tentang "Ruang Bebas dan Jarak Bebas Minimum pada SUTET/SUTT." SNI mempunyai pendapat yang berbeda dengan kepmen ESDM di atas mengenai jarak runag aman, yang dapat kita lihat dibawah ini:
 - a. Jarak minimum titik tertinggi bangunan tahan api terhadap titik terendah kawat penghantar SUTET/SUTT 150 - 500 KV adalah 8,5 m.
 - b. Jarak minimum titik tertinggi jembatan besi titik terendah kawat penghantar SUTET/SUTT 150 - 500 KV adalah 8,5 m.
 - c. Jarak minimum jalan kereta api terhadap titik terendah kawat penghantar SUTET/SUTT 150 - 500 KV adalah 15 m.
 - d. Jarak minimum lapangan terbuka terhadap titik terendah kawat penghantar SUTET/SUTT 150 - 500 KV adalah 11 m.
 - e. Jarak minimum titik tertinggi bangunan tidak tahan api terhadap titik terendah kawat penghantar SUTET/SUTT 150 - 500 KV adalah 15 m.
 - f. Jarak minimum jalan raya terhadap titik terendah kawat penghantar SUTET/SUTT 150 - 500 KV adalah 15 m.

Cara Mengurangi Dampak Negatif SUTET /SUTT

Dalam menanggulangi dampak medan listrik dan medan magnetik yang dihasilkan oleh SUTET/SUTT berikut diantaranya:

- a. Mengusahakan agar rumah berlangit-langit.

- b. Menanam popohonan sebanyak mungkin disekitar rumah pada lahan yang kosong.
- c. Bagian atap rumah yang terbuat dari atap logam sebaiknya ditanahkan (digroundkan).
- d. Penduduk disarankan tidak berada diluar rumah terutama pada malam hari terutama antara jam 17-22 karena pada saat itu arus yang mengalir pada kawat penghantar berada pada titik puncak beban puncak.
- e. Sesering mungkin melakukan pengukuran tegangan pada peralatan rumah yang terbuat dari logam jika ternyata tegangannya cukup tinggi maka diusahakan peralatan tersebut dijauhkan dari rumah atau lebih jarang dipakai.
- f. Penduduk disarankan untuk tidak memasuki daerah sekitar pentanahan kaki menara yang telah diberi pagar oleh PLN.

Metodologi Penelitian

Jenis Studi Kasus

Adapun jenis studi kasusnya adalah melakukan perhitungan kuat medan listrik dibawah saluran transmisi 150 KV tanpa dipengaruhi oleh objek di sekitarnya pada titik koordinat manusia, maka yang pertama kali dilakukan adalah menghitung masing-masing penghantar dan antara penghantar menggunakan koefisien Maxwell P. Setelah itu kita hitung muatannya (Q). Setelah nilai muatan didapat maka kita dapat menghitung nilai kuat medan listrik E dibawah menara saluran transmisi 150 KV, pada objek manusia

Tempat Penelitian

Saluran transmisi yang dijadikan sebagai objek penelitian adalah salah satu daerah yang dilalui transmisi Belawan Sei Rotan di Labuhan Deli. Tepatnya di jalan Panah Hijau Gang Tambak.

Data-data yang dibutuhkan

Data-data yang dibutuhkan dalam penelitian ini adalah terdiri dari data:

- a. Pengaruh pohon terhadap tegangan atap rumah yang dilalui saluran transmisi 150 KV.
- b. Pengaruh kuat medanlistrik terhadap tubuh manusia.

Metode Pengambilan Data

Metode pengambilan data adalah:

- a. Pengambilan data di lokasi dengan melakukan survey kelapangan.
- b. Studi literatur dan pustaka.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Data Yang Diperoleh Dan Dipergunakan Untuk Analisa

Perhitungan kuat medan listrik dibawah saluran transmisi 150 KV tanpa dipengaruhi oleh objek di sekitarnya pada

$$\varepsilon_0 = 8,854 \times 10^{-12} = \frac{1}{36\pi} 10^{-9} F / m$$

$$\begin{aligned} \text{Maka : } & \frac{1}{2\pi\varepsilon_0} \\ &= \frac{1}{2\pi 8,554 \times 10^{-12}} \\ &= 18.10^9 \end{aligned}$$

titik koordinat manusia ($x_n=10$ Meter dan $y_n=1,8$ Meter)

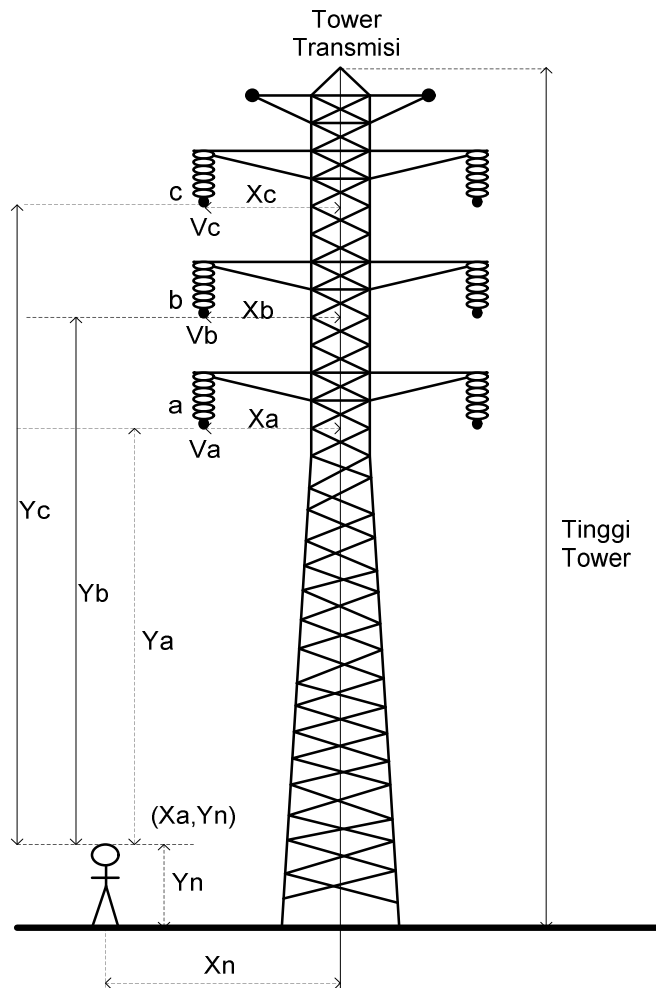
Dengan berpedoman pada gambar 11 diasumsikan bahwa :

- Jenis Tower : A+3
- $Y_a = 25$ m
- $Y_b = 29$ m
- $Y_c = 33$ m
- $X_a = X_b = X_c = 4$ m
- $d = 0,03$ m

Dengan penggunaan koefisien Maxwell P dapat ditentukan muatan q pada masing – masing penghantar sebagai berikut :

Ketetapan :

$\varepsilon_0 =$ Permittivitas ruang hampa



Gambar 11: Parameter Saluran Transmisi Tiga Fasa 150 KV Tanpa Dipengaruhi Oleh Objek Disekitarnya Dengan Titik Koordinat Manusia (X_n & Y_n)

$$P_{aa} = \frac{1}{2\pi\epsilon_0} \ln \left[\frac{4Y_a}{d} \right] = 146.10^9$$

$$P_{bb} = \frac{1}{2\pi\epsilon_0} \ln \left[\frac{4y_b}{d} \right] = 148,7.10^9$$

$$P_{cc} = \frac{1}{2\pi\epsilon_0} \ln \left[\frac{4y_c}{d} \right] = 151 .10^9$$

Koefisien potensial Maxwell untuk antara penghantar a,b dan c adalah :

$$P_{ab} = P_{ba} = \frac{1}{2\pi\epsilon_0} \cdot \ln \left[\frac{(X_a - X_b)^2 + (y_a + y_b)^2}{(X_a - X_b)^2 + (y_a - y_b)^2} \right]^{\frac{1}{2}} = 46,8 \cdot 10^9$$

$$P_{ac} = P_{ca} = \frac{1}{2\pi\epsilon_0} \cdot \ln \left[\frac{(X_a - X_c)^2 + (y_a + y_c)^2}{(X_a - X_c)^2 + (y_a - y_c)^2} \right]^{\frac{1}{2}} = 35,7 \cdot 10^9$$

$$P_{bc} = P_{cb} = \frac{1}{2\pi\epsilon_0} \cdot \ln \left[\frac{(X_c - X_b)^2 + (y_c + y_b)^2}{(X_c - X_b)^2 + (y_c - y_b)^2} \right]^{\frac{1}{2}} = 49,3 \cdot 10^9$$

$$[P] = \begin{bmatrix} P_{aa} & P_{ab} & P_{ac} \\ P_{ba} & P_{bb} & P_{bc} \\ P_{ca} & P_{cb} & P_{cc} \end{bmatrix}$$

$$[P]^{-1} = \frac{1}{[P]} C^T$$

$$C^T = \begin{bmatrix} C_{11} & C_{12} & C_{13} \\ C_{21} & C_{22} & C_{23} \\ C_{31} & C_{32} & C_{33} \end{bmatrix}$$

Dimana :

$$C_{11} = \begin{bmatrix} P_{bb} & P_{bc} \\ P_{cb} & P_{cc} \end{bmatrix} = +20023 \cdot 10^{18}$$

$$C_{12} = \begin{bmatrix} P_{ba} & P_{bc} \\ P_{ca} & P_{cc} \end{bmatrix} = +5307 \cdot 10^{18}$$

$$C_{13} = \begin{bmatrix} P_{ba} & P_{bb} \\ P_{ca} & P_{cb} \end{bmatrix} = -3001,4 \cdot 10^{18}$$

$$C_{21} = \begin{bmatrix} P_{ab} & P_{ac} \\ P_{cb} & P_{cc} \end{bmatrix} = +5307 \cdot 10^{18}$$

$$C_{22} = \begin{bmatrix} P_{aa} & P_{ac} \\ P_{ca} & P_{cc} \end{bmatrix} = +20772 \cdot 10^{18}$$

$$C_{23} = \begin{bmatrix} P_{aa} & P_{ab} \\ P_{ca} & P_{cb} \end{bmatrix} = +5527 \cdot 10^{18}$$

$$C_{31} = \begin{bmatrix} P_{ab} & P_{ac} \\ P_{bb} & P_{bc} \end{bmatrix} = -3001,4 \cdot 10^{18}$$

$$C_{32} = \begin{bmatrix} P_{aa} & P_{ac} \\ P_{ba} & P_{bc} \end{bmatrix} = +5527 \cdot 10^{18}$$

$$C_{33} = \begin{bmatrix} P_{aa} & P_{ab} \\ P_{ba} & P_{bb} \end{bmatrix} = +19520.10^{18}$$

Maka:

$$[P] = \begin{bmatrix} 146.10^9 & 46,8.10^9 & 35,7.10^9 \\ 46,8.10^9 & 148,7.10^9 & 49,3.10^9 \\ 35,7.10^9 & 49,3.10^9 & 151.10^9 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 146.10^9 & 46,8.10^9 \\ 46,8.10^9 & 148,7.10^9 \\ 35,7.10^9 & 49,3.10^9 \end{bmatrix} = 2567883.10^{27}$$

Maka :

$$[P]^{-1} = \frac{1}{[P]} C^T$$

$$= \frac{1}{2567883 \times 10^{27}} \begin{bmatrix} 20023.10^{18} & 5307.10^{18} & -3001,4.10^{18} \\ 5307.10^{18} & 20772.10^{18} & 5527.10^{18} \\ -3001,4.10^{18} & 5527.10^{18} & 19520.10^{18} \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} 0,008.10^{-9} & 0,002.10^{-9} & -0,001.10^{-9} \\ 0,002.10^{-9} & 0,008.10^{-9} & 0,002.10^{-9} \\ -0,001.10^{-9} & 0,002.10^{-9} & 0,008.10^{-9} \end{bmatrix}$$

Karena beda sudut antara fasa pada saluran transmisi tiga fasa adalah

120^0 , maka tegangan antara fasa – netral untuk (V_1 , V_2 , dan V_3) adalah :

$$V_1 = \frac{150}{\sqrt{3}} = 86,6, \angle 0^0 = 86,6 + j0 \text{ KV}$$

$$V_2 = \frac{150}{\sqrt{3}} = 86,6 \angle 120^0 = -43,3 + j75 \text{ KV}$$

$$V_3 = \frac{150}{\sqrt{3}} = 86,6 \angle 240^0 = -43,3 - j75 \text{ KV}$$

Muatan untuk masing – masing penghantar (Q_a , Q_b , dan Q_c) adalah :

$$\begin{bmatrix} Q_a \\ Q_b \\ Q_c \end{bmatrix} = [P]^{-1} \begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \\ V_3 \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} 0,7.10^{-9} + j0,23.10^{-9} \\ -0,24.10^{-9} + j0,45.10^{-9} \\ -0,53.10^{-9} - j0,45.10^{-9} \end{bmatrix}$$

Jadi muatan pada masing-masing penghantar (a,b dan c) , untuk muatan ril dan imajiner adalah:

Untuk muatan ril :

$$Q_{ra} = 0,7 \times 10^{-9} \quad \text{Coulomb}$$

$$Q_{rb} = -0,24 \times 10^{-9} \quad \text{Coulomb}$$

$$Q_{rc} = -0,53 \times 10^{-9} \quad \text{Coulomb}$$

Untuk muatan imajiner :

$$Q_{ia} = j0,23 \times 10^{-9} \quad \text{Coulomb}$$

$$Q_{ib} = j0,45 \times 10^{-9} \quad \text{Coulomb}$$

$$Q_{ic} = -j0,45 \times 10^{-9} \quad \text{Coulomb}$$

Kuat medan listrik E dibawah menara saluran transmisi 150 KV, pada

objek manusiapada titik koordinat (5,2) adalah :

$$X_a = X_b = X_c = 4 \text{ Meter}$$

$$X_n = 10 \text{ Meter}$$

$$Y_n = 1,8 \text{ Meter}$$

Kuat medan listrik dibawah menara saluran transmisi 150 KV, terdiri dari kuat

medan listrik terhadap arah horizontal dan vertical sehingga besarnya E adalah :

$$E = E_x + E_y$$

Dimana :

$$E_x = E_{xa} + E_{xb} + E_{xc}$$

$$E_y = E_{ya} + E_{yb} + E_{yc}$$

$$E_{xa} = \frac{(Q_{ra} + jQ_{ia})(x_n - x_a)}{2\pi\epsilon_0[(x_a - x_n)^2 + (y_a - y_n)^2]} - \frac{(Q_{ra} - jQ_{ia})(x_n - x_a)}{2\pi\epsilon_0[(x_a - x_n)^2 + (y_a - y_n)^2]} = 0,087 \text{ KV/m}$$

$$E_{xb} = \frac{(Q_{rb} + jQ_{ib})(x_n - x_b)}{2\pi\epsilon_0[(x_b - x_n)^2 + (y_b - y_n)^2]} - \frac{(Q_{rb} - jQ_{ib})(x_n - x_b)}{2\pi\epsilon_0[(x_b - x_n)^2 + (y_b - y_n)^2]} = 0,13 \text{ KV/m}$$

$$E_{xc} = \frac{(Q_{rc} + jQ_{ic})(x_n - x_c)}{2\pi\epsilon_0[(x_c - x_n)^2 + (y_c - y_n)^2]} - \frac{(Q_{rc} - jQ_{ic})(x_n - x_c)}{2\pi\epsilon_0[(x_c - x_n)^2 + (y_c - y_n)^2]} = 0,1 \text{ KV/m}$$

Total kuat medan listrik pada sumbu X (arah vertical) adalah :

$$E_x = E_{xa} + E_{xb} + E_{xc} = 0,12 \text{ KV/m}$$

Total kuat medan listrik pada sumbu Y (arah horizontal) adalah :

$$E_{ya} = \frac{(Q_{ra} + jQ_{ia})(x_n - y_a)}{2\pi\epsilon_0[(x_a - x_n)^2 + (y_a - y_n)^2]} - \frac{(Q_{ra} - jQ_{ia})(y_n - y_a)}{2\pi\epsilon_0[(x_a - x_n)^2 + (y_a - y_n)^2]} = 0,33 \angle -57^\circ \text{ KV/m}$$

$$E_{yb} = \frac{(Q_{rb} + jQ_{ib})(x_n - y_b)}{2\pi\epsilon_0[(x_b - x_n)^2 + (y_b - y_n)^2]} - \frac{(Q_{rb} - jQ_{ib})(y_n - y_b)}{2\pi\epsilon_0[(x_b - x_n)^2 + (y_b - y_n)^2]} = 0,44 \angle 84,1^\circ \text{ KV/m}$$

$$E_{yc} = \frac{(Q_{rc} + jQ_{ic})(x_n - y_c)}{2\pi\epsilon_0[(x_c - x_n)^2 + (y_c - y_n)^2]} - \frac{(Q_{rc} - jQ_{ic})(y_n - y_c)}{2\pi\epsilon_0[(x_c - x_n)^2 + (y_c - y_n)^2]} = 0,44 \angle -80^\circ \text{ KV/m}$$

Total kuat medan listrik E pada sumbu Y (arah horizontal) adalah :

$$E_y = E_{ya} + E_{yb} + E_{yc}$$

$$= (0,33 \angle -57^\circ + 0,44 \angle 84,1^\circ + 0,44 \angle -80^\circ) \text{ KV/m}$$

$$= [(0,18 - j0,28) + (-0,05 - j0,44) + (-0,08 + j0,43)] \text{ KV/m} = 0,05 - j0,29$$

$$= \sqrt{(0,05)^2 + (-0,29)^2} \tan^{-1} \frac{-0,29}{0,05}$$

$$= 0,3 \angle -80,2^\circ \text{ KV/m}$$

Dengan demikian total kuat medan listrik dibawah menara saluran transmisi 150 KV pada koordinat objek (10 ; 1,8) Meter adalah :

$$E = E_x + E_y$$

$$= (0,12 + (0,3 \angle -80,2^\circ)) \text{ KV/m}$$

$$= [0,06 + (0,05 - j0,29)] \text{ KV/m}$$

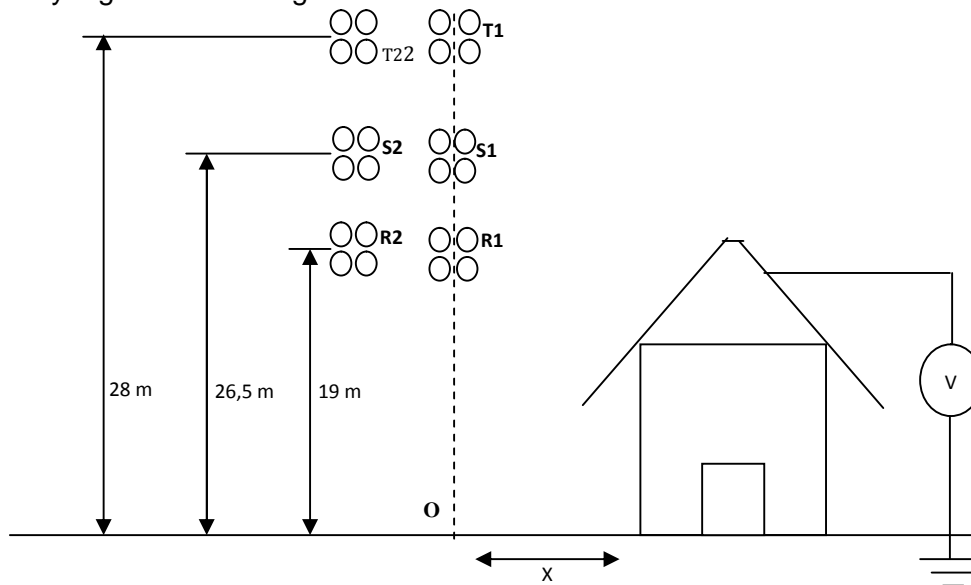
$$= (0,17 - j0,29) \text{ KV/m}$$

$$= \sqrt{(0,17)^2 + (-0,29)^2} \tan^{-1} \frac{-0,29}{0,17}$$

$$= 0,34 \angle -60^\circ \text{ KV/m}$$

Rangkaian Pengukuran Tegangan Induksi

Susunan rangkaian pengukuran tegangan induksi pada atap rumah adalah seperti Gambar 12 Terminal positif Voltmeter dihubungkan ke atap rumah dan terminal yang lain dihubungkan ke tanah



Gambar 12. Rangkaian Pengukuran Tegangan Induksi

Prosedur Pengukuran Tegangan Induksi

Dalam melakukan pengukuran tegangan induksi ada beberapa langkah yang dilakukan diantaranya sebagai berikut :

- Peralatan disusun seperti Gambar 4.2.
- Set Voltmeter ke tegangan AC. Nilai tegangan induksi terbaca pada Voltmeter.
- Dicatat tegangan induksi pada atap rumah yang terbaca di voltmeter.
- Pengukuran dilakukan 5 kali agar didapat data pengukuran yang lebih akurat.

melalui suatu elektroda. Kabel yang menghubungkan atap rumah dengan voltmeter dapat dihubungkan ke sembarang titik pada atap rumah dengan tegangan induksi adalah sama pada setiap bagian atap.

- Prosedur di atas diulang pada semua atap rumah objek penelitian.

Pengaruh Pohon Terhadap Tegangan Atap Rumah

Untuk melihat pengaruh dari keberadaan pohon dapat kita bandingkan hasil pengukuran yang diperoleh antara rumah yang tidak memiliki pohon dengan rumah yang memiliki pohon dan dapat ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Tegangan Induksi Rata– Rata Pada Rumah Beratap Seng dengan Tanpa Pohon dan Adanya Pohon

| Tanpa Pohon | | | | Dengan Pohon | | | |
|----------------|------------------------------|--------------------|------------------------------------|----------------|------------------------------|--------------------|--|
| Sampel | Nilai Tegangan Induksi (V) | Tinggi Rumah (m) | Jarak Rumah dari saluran Transmisi | Sampel | Nilai Tegangan Induksi (V) | Tinggi rumah (m) | Jarak Rumah dari saluran Transmisi (m) |
| S ₅ | 186,3 | 4,15 | 1,6 | P ₂ | 135 | 4 | 0 |
| S ₂ | 103 | 3,5 | 1,2 | P ₁ | 113 | 3,8 | 0 |
| S ₁ | 99,2 | 3 | 0 | P ₃ | 81 | 3,5 | 0 |

Pengaruh Kuat Medan Listrik Terhadap Tubuh Manusia

Jika suatu tegangan menyentuh tubuh manusia maka mengalir arus listrik dalam tubuh baik sengaja maupun tidak sengaja, maka arus I_k akan mengalir melalui tangan, badan dan kedua kaki ketanah dan kembali kesumbernya melalui tahanan R_e . Tegangan tersebut dapat dikatakan V_s yang besarnya sama

$$I_k = \frac{V_s}{R_e + R_u} \dots\dots\dots(11)$$

Di mana :

- I_k = Arus sangat kecil bahkan tidak ada yang mengalir pada tubuh manusia kebumi.
- R_e = Tahanan tubuh manusia 800 Ohm pada frekwensi 50 Hz (penelitian AIEE Comite Report 1985)
- R_u = Besar tahanan dielektrik udara (sampai MegaOhm), tergantung udara sekitar.

dengan tegangan fasa V_{ph} maka $V_s = V_{ph}$, dalam hal ini adalah medan listrik, yang menjadi beda potensial.

Dalam keadaan normal apabila orang berada dibawah saluran transmisi akan mempengaruhi manusia, arus yang sangat kecil akan mengalir melalui tubuh manusia dimana besar arus tersebut adalah :

Tabel 2. Besar Arus Litrik Dan Pengaruh Terhadap Tubuh Manusia Menurut IEC, Ditunjukkan Pada Tabel Dibawah Ini

| Kolom | Besar Arus (mA) | Lamanya Arus | Pengaruh Psikologis Pada Manusia |
|-------|-----------------|---|---|
| 0 | 0-1 | Tidak Kritis | Batas arus yang disebut perception current, arus hanya menstimulir syaraf perasa sehingga terasa suatu getaran atau rangsangan pada syaraf tersebut. |
| A1 | 1-15 | Tidak Kritis | Batas arus yang disebut lets go current syaraf terasa sakit tangan seperti kejang, tangan manusia dengan menggunakan otot masih dapat melepaskan penghantar yang dipegang. |
| A2 | 15-30 | Kritis | Kejang akan menjalar kemulut, sulit untuk ditutup kan, tekanan darah naik ini adalah batas arus yang diperbolehkan. |
| A3 | 30-50 | Kritis | Kenaikan tekanan darah, kejang otot sangat kuat, jika arus mengalir cukup lama kemungkinan akan terjadi gejala fibrilasi. |
| B1 | 50-100 | Kurang dari 1 Cardinal Cycle Lebih dari 1 Cardinal Cycle | Tidak terjadi fibrilasi akan terjadi shock yang hebat. Kemungkinan akan fibrilasi besar mungkin akan timbul kerusakan pada susunan syaraf pusat. |
| B2 | >100 | Kurang dari 1 Cardinal Cycle Lebih dari 1 Cardinal Cycle | Fibrilasi terjadi, pengaruh arus kejantung terasa, langsung mensinyalir otot – otot yang disekeliling jantung. Akan timbul bahaya phatophysikologis antara cardial arret, kerusakan sistem syaraf kebakaran pada bagian kulit. |

Dengan demikian kuat medan listrik pada saluran transmisi mempengaruhi tubuh manusia tergolong pada kolom 0. dikarenakan I_k kecil akibat R_e ada dan R_u yang mencapai Mega Ohm atau lebih.

KESIMPULAN

- a. Dari hasil perhitungan analisa maka kuat medan listrik sebesar 0,34 KV/m dengan objek manusia, masih standar aman sedangkan aturan WHO menjelaskan bahwa medan listrik akan berpengaruh pada tubuh manusia dengan standar 5KV/m.
- b. Pada rumah beratap seng dengan kehadiran pohon disekitar rumah, nilai tegangan induksi yang tertinggi terdapat pada rumah yaitu sebesar 135 Volt yang juga terletak ditengah gawang transmisi. Sehingga dapat ditarik kesimpulan bahwa pohon dapat mengurangi nilai tegangan induksi pada atap rumah.
- c. Dalam penanaman pohon disarankan agar puncak pohon berjarak minimum 15 meter dari kabel SUTET/SUTT terbawah. Hal tersebut bertujuan untuk menghindari bersentuhnya bagian pohon dengan kabel SUTET/SUTT yang dapat berakibat putusnya kabel SUTET/SUTT.
- d. Dari hasil penelitian, WHO yang diwakili oleh berbagai ahli menyatakan

bahwa medan magnet dan medan listrik SUTET/SUTT tidak berdampak terhadap kesehatan karena medan listrik dan medan magnet yang ditimbulkan masih jauh dari batas kekuatan tubuh manusia dalam menerima radiasi elektromagnetik.

DAFTAR PUSTAKA

- Abduh, Syamsir “**Teknik Tegangan Tinggi**”, Salemba Teknika 2001.
- Hutahuruk, T.S. “**Transmisi Daya Listrik**”, Erlangga 1995.
- Naidu, M.S, Kamaraju, V “**High Voltage Engineering**”, Mc. Graw Hill, 1982.
- Tobing, Bonggas L., “**Teknik Pengujian Tegangan Tinggi**”, Gramedia 2001.
- William D. Stevenson, Jr “**Analisa Sistem Tenaga**” Edisi Keempat, Erlangga 2000.
- Vincent Del Toro, “**Electric Power System**”, Prentice Hall, Inc 1992.
- Zuhal, “**Dasar Tenaga Listrik dan ELDA**”, Gramedia 2001
- PT PLN (Persero) Wilayah Sumatra Utara, “**Materi Mengenai Saluran Transmisi**” 2004.
- <http://vinovia.wordpress.com/teknik-elektro/radiasi-tegangan-tinggi/>, Jakarta 5 Desember 2013.
- <http://electricalsolutionindonesia.wordpress.com/tegangan-tinggi/>, Jakarta, 21 Maret 2011.