

## STUDI PERHITUNGAN PENGARUH INTENSITAS MEDAN LISTRIK KABEL 150 kV YANG BERADA DALAM TEROWONGAN TERHADAP MANUSIA

Oleh :

**Sepannur Bandri**

Dosen Jurusan Teknik Elektro

Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Padang

Email: [sepannurbandria@yahoo.com](mailto:sepannurbandria@yahoo.com)

---

### **Abstrak**

Penelitian ini dimaksudkan untuk menganalisa pengaruh besarnya intensitas medan listrik terhadap manusia. Pertimbangan IRPA/INIRC dalam penentuan ambang batas intensitas medan listrik adalah didasarkan atas adanya kemungkinan efek langsung dari arus induksi pada tubuh akibat intensitas medan listrik tersebut. Batas arus induksi diambil sedikit lebih besar ataupun sama dengan arus yang terjadi secara normal didalam tubuh, yaitu dinyatakan dalam harga kerapatan arus ( $\times \text{mA/m}^2$ ). Pengaruh medan listrik terhadap manusia juga tergantung dari jarak dan besar kuat medan listrik itu sendiri dan berapa lama seseorang berada dalam jangkauan medan listrik. Dalam hal penentuan batas exposure pada tubuh apabila nilai rapat arusnya telah lebih dari  $10 \text{ mA/m}^2$  akan menimbulkan efek-efek yang dapat merusak sistem syaraf tubuh dan stimulasi jaringan sel-sel tubuh manusia bahkan menimbulkan vibrasi pada jantung. Dilihat dari populasi lingkungan kerja (PLTA Singkarak), exposure dibatasi hanya sepanjang jam kerja dalam jangka waktu satu shift per 24 jam. Exposure medan listrik terus menerus sepanjang hari kerja dilingkungan itu sebaiknya dibatasi sampai  $10 \text{ kV/m}$ . Apabila lebih  $10 \text{ kV/m}$  atau nilai intensitas medan listriknya mencapai hingga  $20 \text{ kV/m}$  sampai  $30 \text{ kV/m}$  sebaiknya pekerja menghindari pengaruh medan listrik dengan cara mempersingkat waktu pekerja tersebut pada saat melakukan perawatan (maintenance) dalam jangkauan kuat intensitas medan listrik tersebut.

*Kata-kata kunci: Medan listrik, kerapatan arus, pengaruh medan listrik*

### **Abstract**

This research is proposed to determine the effect of electric fields to human being. Consideration of IRPA/INIRC in determination of electric fields boundary still based on to the existence of possibility of direct effect of current induce on body. Current induction boundary taken more and equal to current that happened normally in body, that is expressed in current intensity ( $\text{mA/m}^2$ ). Influence of electric fields to human being also depend from distance and value of electric fields. In the case of determination of boundary of exposure on body if the current intensity value more than  $10 \text{ mA/m}^2$  will be effect to body nervous system dan stimulation human being body cells networks even generate vibration at heart. It seen from environmental population in PLTA singkarak, exposure only limited as long as working activity within one shift per 24 hours. Continous electric fields exposure in the working activity is limited until  $10 \text{ kV/m}$ . if electric fields reaching  $20 \text{ kV/m}$  until  $30 \text{ kV/m}$ , worker must be avoid from effect electric fields by cut the time of working in conducting maintenance within range of electric fields.

*Key words: Electric field, current intensity, effect of electric field*

---

## 1. Latar Belakang

Pada umumnya pusat tenaga listrik terletak jauh dari pusat beban. Oleh karena itu tenaga listrik yang dibangkitkan harus disalurkan melalui saluran transmisi. Dalam rangka mengimbangi laju pertumbuhan permintaan akan tenaga listrik, maka harus ditingkatkan pula mutu penyediaan tenaga listrik, antara lain pelayanan yang baik, baik segi keandalan, tegangan maupun frekuensi. Disamping itu perlu dilakukan penyuluhan dan pengawasan terhadap pemakaian tenaga listrik, supaya tercapai faktor beban yang tinggi serta penghematan dan keamanan yang baik.

Pusat-pusat listrik atau sistem pembangkit tenaga listrik, dimana letaknya jauh dari tempat-tempat tenaga listrik itu digunakan, maka dalam penyaluran tenaga listrik ada dua kategori saluran yaitu saluran udara (*overhead lines*) dan saluran bawah tanah (*underground cable*). Yang pertama menyalurkan tenaga listrik melalui kawat-kawat transmisi, sedangkan kategori kedua menyalurkan tenaga listrik melalui kabel dalam sebuah terowongan dikenal juga saluran kabel bawah tanah.

Penggunaan energi listrik yang semakin meningkat, yang berarti ekspansi jaringan sistem tenaga listrik, menyebabkan timbulnya kekhawatiran di masyarakat akan efek biologis dari induksi medan elektrik dan magnetik, yang dibangkitkan oleh saluran transmisi. Kecemasan masyarakat menjadi semakin besar setelah pada beberapa dekade terakhir muncul publikasi hasil-hasil riset yang mengisyaratkan adanya gangguan kesehatan, seperti sakit kepala, hilang nafsu makan, susah tidur dan lain sebagainya, dan bahkan hubungan penyakit kanker leukemia pada anak-anak dengan induksi medan yang berasal dari jaringan sistem tenaga listrik.

Kabel beraliran 150 kV tersebut memiliki medan elektrostatik disekitarnya. Nilai medan elektrostatik tersebut dapat mengganggu lingkungan disekitar kabel tersebut. Apabila suatu saluran bawah tanah dalam terowongan diberi tegangan listrik, maka pada saluran tersebut akan timbul medan listrik dan medan magnetik. Berdasarkan hal tersebut diatas penulis membahas intensitas medan listrik kabel 150 kV dalam terowongan terhadap lingkungan disekitar terowongan.

## 2. Landasan Teori

### 2.1 Kabel Bawah Tanah

Penggunaan saluran kabel bawah tanah/kabel terowongan sebagai saluran transmisi listrik dirasakan sangat perlu, terutama pada daerah perkotaan daerah yang penduduknya padat, dan juga untuk memperhatikan faktor keindahan kota.

Pemasangan kabel bawah tanah, jika

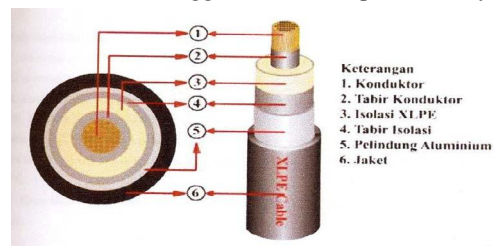
ditinjau dari segi ekonomisnya saja, akan mahal dibandingkan dengan saluran udara. Pemasangan kabel bawah tanah direncanakan dengan pertimbangan untuk menjaga kontinuitas penyaluran tenaga listrik, menjaga agar tidak terjadi gangguan seperti sering terjadi pada saluran udara.

Pada saluran transmisi bawah tanah dalam terowongan dengan tegangan 150 kV kabel yang digunakan adalah XLPE (*Crosslinked Polyethylene*). XLPE merupakan bahan termoset yang dihasilkan dari campuran bahan copolymer yaitu *ethylene vinyl acetate* (EVA) dengan bahan penghubung silang. Kabel terisolasi XLPE (*Croos-Linked Polyethylene*) secara luas mempunyai kegunaan untuk pendistribusian tenaga listrik pada tegangan naik 30 kV meningkatkan kualitas semenjak dibuat tahun 1960 yang menggantikan kabel berisolasi kertas dan kabel berisolasi thermoplastik lainnya.

XLPE merupakan bahan plastik termoset yang mempunyai sifat fisis yang sangat berbeda dengan isolasi kertas. Karena perbedaan ini, kabel berisolasi XLPE dibuat dengan disain dan cara proses yang sangat berbeda dengan kabel berisolasi kertas. Proses kabel XLPE dilakukan dengan ekstrusi dan penghantar berisolasi tersebut langsung dilewatkan melalui tabung vulkanisasi sebelum didinginkan.

Kabel ini mempunyai banyak karakteristik yang sangat baik, khususnya digunakan dalam pengoperasian temperatur yang cukup tinggi. Kabel berisolasi PE umumnya dapat digunakan dalam pengoperasian temperatur maksimal 70°C dan kabel berisolasi kertas dalam 85°C, tetapi kabel berisolasi XLPE, yang mempunyai banyak kepadatan kristalisasi dari pada PE melalui proses *cross-linking*, dapat juga digunakan menaikkan ke 90°C dalam kondisi normal. Isolasi XLPE dapat juga digunakan pada kabel tegangan menengah.

Kabel bawah tanah 150 kV yang akan diteliti adalah kabel XLPE untuk tegangan tinggi berinti tunggal jenis N(A) 2XS (FL)2Y 300 mm<sup>2</sup>. Pada dasarnya saluran kabel bawah tanah terdiri dari dua komponen utama, yaitu: penghantar dan isolator. Disamping itu masih dilengkapi dengan beberapa komponen lainnya. Dibawah ini adalah gambar konstruksi kabel XLPE berinti tunggal beserta komponen lainnya.



Gambar 1. Kabel XLPE

Pengaruh medan terhadap manusia dengan sendirinya juga tergantung dari besar kuat medan itu sendiri. Pada tingkat rendah, yaitu kuat medan kurang dari 8 kV/m, mulai terasa seolah-olah ada yang merayap pada kulit, karena bulu badan mulai berdiri. Pada kuat medan lebih besar, rambut kepala pun mulai berdiri. Tabel dibawah memberikan suatu ikhtisari dari kuat medan listrik dan berapa lama manusia dapat berada didalamnya tanpa bahaya.

Tabel 1 : Kuat Medan Listrik Dan Batas Waktu Aman bagi Manusia

Kuat Medan Listrik (kV/m)	Batas Waktu Aman (per 24 jam)
Hingga 5	Tidak terbatas
5 – 10	3 jam
10 – 15	1,5 jam
15 – 20	10 menit
20 – 25	5 menit

## 2.2 Pedoman Teknis Pengurangan Dampak Medan listrik

Medan listrik dibawah jaringan dapat menimbulkan beberapa hal, antara lain :

1. Menimbulkan suara/ bunyi mendesis akibat ionisasi pada permukaan penghantar (konduktor) yang kadang disertai cahaya keunggulan.
2. Bulu/rambut berdiri pada bagian badan yang terpajan akibat gaya tarik medan listrik yang kecil.
3. Lampu neon dan tessen dapat menyala tetapi redup akibat mudahnya gas neon didalam tabung lampu dan tessen terisolasi.
4. Kejutan lemah pada sentuhan pertama terhadap benda-benda yang mudah menghantarkan listrik (seperti atap seng, pagar besi, kawat jemuran dan badan mobil).

Pengamanan terhadap arus elektrostatik perlu dilakukan untuk menghindari adanya pengkutuban muatan yang akan terjadi pada benda terbuat dari bahan logam. Caranya yaitu dengan mentanahkan akan terjadi penetralan kembali semua benda terbuat dari logam dengan ukuran cukup besar (contohnya kawat jemuran, kabel interkom, mobil dan sepeda motor), yang terletak dibawah Jaringan Tegangan Tinggi.

Akibat adanya arus peluahan ini pengamanan yang harus dilakukan oleh penduduk adalah :

1. Disarankan tidak membuat jemuran yang atasnya bebas sama sekali dari pepohonan

disarankan membuat jemuran yang bukan berasal dari kawat dan tiang besi.

2. Saluran interkom harus jauh dari Jaringan SUTET.
3. Bila atap bukan dari bahan logam (genteng, asbes, sirap) maka usahakan atap tersebut tidak terdapat bahan logam (misalnya : antena TV, talang seng).
4. Jangan memasang antena TV atau radio (ORARI) diatap rumah.
5. Usahakan kendaraan bermotor (mobil,sepeda motor dll) ditanahkan untuk menghilangkan medan elektrostatik akibat induksi jaringan SUTET.
6. Usahakan tidak terdapat bahan-bahan yang bersifat konduktor berada diteras rumah yang bertingkat dibawah jaringan SUTET.
7. Sesering mungkin melakukan pengukuran tegangan dengan tessen pada objek yang dicurigai bertegangan.

## 2.3 Hukum Coloumb

Coulomb menyatakan bahwa gaya yang terdapat di antara dua buah objek yang sangat kecil, berada di dalam ruang hampa dan saling dipisahkan oleh jarak yang relative besar dibandingkan ukurannya sebanding dengan muatan pada masing-masing objek dan berbanding terbalik dengan kuadrat jarak antara keduanya bentuk persamaan :

$$F = k \frac{Q_1 Q_2}{R^2} \quad (1)$$

Di mana  $Q_1$  dan  $Q_2$  adalah nilai-nilai positif atau negatif muatan listrik pada kedua objek R adalah jarak antara kedua objek, dan k adalah sebuah konstanta kesebandingan. Apabila kita menggunakan Sistem Satuan Internasional (SI), maka Q dinyatakan dalam coulomb (C ), R dalam meter (m) dan gaya diukur dalam Newton (N). Konsistensi satuan ini dapat dicapai jika konstanta kesebandingan k adalah

$$k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \quad (2)$$

Hukum Coulomb menjabarkan bahwa gaya yang bekerja pada dua benda yang bermuatan sebesar satu coulomb yang dipisahkan oleh jarak sejauh satu meter di dalam ruang hampa adalah  $9 \times 10^9$  N, atau sekitar satu juta ton. Elektron memiliki massa diam sebesar  $9,109 \times 10^{-31}$  kg dan memiliki jari-jari dalam kisaran  $3,8 \times 10^{-16}$  m. Hal ini bukan secara pasti menyatakan bahwa sebuah elektron berbentuk bulat melainkan sekedar mengindikasikan besarnya wilayah ruang yang memiliki kemungkinan terbesar memuat sebuah elektron didalamnya.

## 2.4 Medan Listrik

Jika sekarang kita meninjau suatu muatan

dalam kedudukan tetap misalnya  $Q_1$ , dan menggerakkan muatan kedua dengan lambat mengelilinginya, kita mendapatkan bahwa dimanapun muatan kedua ini ditetapkan, selalu ada gaya yang bertumpu (beraksi) pada muatan tersebut. Dengan perkataan lain, muatan kedua ini menunjukkan adanya *medan gaya*.

Sebutlah muatan kedua ini muatan uji  $Q_t$ , gaya yang bertumpu padanya dapat dinyatakan dengan hukum Coulomb,

Bila kita tulis gaya yang bertumpu pada satu satuan muatan maka :

$$\frac{\overline{F}_t}{Q_t} = \frac{Q_1}{4\pi\epsilon_0 R^2} \overline{a}_r \quad (3)$$

Kita defenisikan intensitas medan listrik sebagai gaya vektor yang tertumpu pada satu satuan muatan uji yang positif. Intensitas medan listrik didefenisikan:

$$E = \frac{F}{Q_t} \quad (4)$$

$$E = \frac{Q_1}{4\pi\epsilon_0 R^2} \overline{a}_r \quad (5)$$

Persamaan diatas mendefenisikan intensitas medan listrik yang ditimbulkan oleh muatan titik tunggal  $Q_1$  dalam vakum.

Karena gaya Coulomb adalah linear, intensitas medan listrik yang disebabkan oleh dua muatan titik  $Q_1$  di  $r_1$  dan  $Q_2$  di  $r_2$  adalah jumlah gaya pada muatan  $Q_t$ .

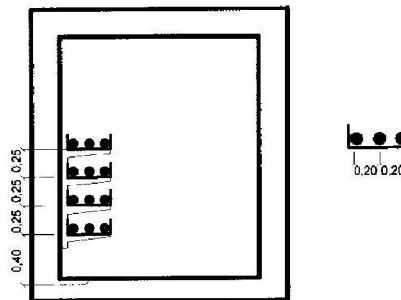
$$E(r) = \frac{Q_1}{4\pi\epsilon_0 |r-r_1|^2} \overline{a}_1 + \frac{Q_2}{4\pi\epsilon_0 |r-r_2|^2} \overline{a}_2 \quad (6)$$

Dengan  $a_1$  dan  $a_2$  menyatakan vector masing-masing dalam arah  $|r-r_1|^2$  dan  $|r-r_2|^2$ . Jika kita tambahkan lebih banyak muatan pada kedudukan lain, medan yang disebabkan oleh n muatan adalah:

$$E(r) = \frac{Q_1}{4\pi\epsilon_0 |r-r_1|^2} \overline{a}_1 + \frac{Q_2}{4\pi\epsilon_0 |r-r_2|^2} \overline{a}_2 + \dots + \frac{Q_n}{4\pi\epsilon_0 |r-r_n|^2} \overline{a}_n$$

**2.5 Medan listrik Pada Kabel Tanah Dalam Terowongan**

Saluran transmisi dengan tegangan tinggi 150 kV pada saat ini sudah banyak menggunakan sistem terowongan. Gambar dibawah ini memperlihatkan bentuk pemasangan kabel saluran tegangan 150 kV didalam terowongan.



Gambar 2. Kabel di dalam Terowongan

**2.6 Medan Listrik Kabel Berisolasi**

Medan listrik pada radius x dari kabel bertegangan adalah:

$$E = \frac{Q}{2\pi\epsilon x} \quad (7)$$

Jika perubahan tegangan pada jari-jari x adalah  $dv/dx$ , dengan perbandingan tegangan V antara konduktor dan isolator adalah:

$$V = \int_r^R E dx$$

Sehingga didapatkan kuat medan listrik:

$$E = V \left[ \frac{1}{x \ln \frac{R}{x}} \right] \quad (8)$$

**2.7 Perhitungan Muatan pada Kabel**

Harga muatan pada Fasa R:

$$V_R = \frac{1}{2\pi\epsilon_0} \left[ Q_R \left( \frac{\ln \frac{1}{r}}{K_R} \right) + Q_S \left( \frac{\ln \frac{R_{SR}}{r}}{K_{SR}} \right) + Q_T \left( \frac{\ln \frac{R_{TR}}{r}}{K_{TR}} \right) \right]$$

Harga muatan pada Fasa S:

$$V_S = \frac{1}{2\pi\epsilon_0} \left[ Q_R \left( \frac{\ln \frac{R_{RS}}{r}}{K_{RS}} \right) + Q_S \left( \frac{\ln \frac{1}{r}}{K_S} \right) + Q_T \left( \frac{\ln \frac{R_{TS}}{r}}{K_{TS}} \right) \right]$$

Harga muatan pada fasa T:

$$V_T = \frac{1}{2\pi\epsilon_0} \left[ Q_R \left( \frac{\ln \frac{1}{r}}{K_T} \right) + Q_S \left( \frac{\ln \frac{R_{ST}}{r}}{K_{ST}} \right) + Q_T \left( \frac{\ln \frac{R_{RT}}{r}}{K_{RT}} \right) \right]$$

**2.8 Perhitungan Intensitas Medan Listrik terhadap Muatan**

Intensitas medan listrik untuk kabel 3 fasa yang dipasang seperti pada gambar pada jarak x adalah:

$$E_{tot}x = V_{RX} \left[ \frac{1}{R_{RX} \ln \frac{R_{RX}}{r_R}} \right] + V_{SX} \left[ \frac{1}{R_{SX} \ln \frac{R_{SX}}{r_S}} \right] + V_{TX} \left[ \frac{1}{R_{TX} \ln \frac{R_{TX}}{r_T}} \right]$$

Maka intensitas medan listrik pada titik x adalah:

$$E_{Rx} = \frac{1}{2\pi\epsilon_{Rx}} \left( \frac{Q_R}{R_{Rx}} \right) \text{ untuk fasa R}$$

$$E_{Sx} = \frac{1}{2\pi\epsilon_{Sx}} \left( \frac{Q_S}{R_{Sx}} \right) \text{ untuk fasa S}$$

$$E_{Tx} = \frac{1}{2\pi\epsilon_{Tx}} \left( \frac{Q_T}{R_{Tx}} \right) \text{ untuk fasa T}$$

Sehingga nilai intensitas medan listrik total:

$$E_{tot} = E_{Rx} + E_{Sx} + E_{Tx}$$

## 2.9 Menghitung rapat arus

Hubungan antara J dan E dalam konduktor logam juga ditentukan oleh konduktivitas  $\sigma$  (sigma). Sigma ( $\sigma$ ) diukur dalam mho per meter ( $\Omega/m$ ). mho adalah 1 ampere per volt, dan satuan ini (ohm) dipakai untuk menghormati George Simon Ohm, seorang fisikawan Jerman yang pertama kali menerangkan hubungan arus dengan tegangan yang dicakup oleh persamaan dibawah ini.

$$J = \sigma \times E$$

Konduktor logam memenuhi hukum ohm dengan seksama dan hubungan tersebut merupakan hubungan linier, konduktivitasnya tetap dalam daerah kerapatan arus dan intensitas medan listrik yang cukup besar. Hukum ohm dan konduktor logam digambarkan sebagai isotropik atau bersifat sama dalam segala arah. Harga tetap konduktivitas dari beberapa konduktor logam (dalam mho per meter) ialah  $3,82 \times 10^{-7}$  untuk aluminium,  $5,80 \times 10^{-7}$  untuk tembaga, dan  $6,17 \times 10^{-7}$  untuk perak.

## 3 Metodologi Penelitian

### 3.1 Jenis Studi Kasus

Adapun jenis studi kasusnya adalah melakukan perhitungan medan elektrostatik dengan melakukan pengambilan titik uji sejauh x dari data-data kabel saluran yang diperoleh. Perhitungan medan listrik ini dilakukan untuk mengetahui berapa besarnya perubahan intensitas medan elektrik dalam terowongan. Maka yang pertama kali perlu dilakukan adalah menghitung besar masing-masing jarak (r) yang telah ditentukan. Setelah itu kita hitung muatannya (Q). Setelah nilai muatan didapat maka kita dapat menghitung nilai intensitas medan listriknya (E) dengan mengabaikan pengaruh kuat tanah dan medan magnet.

### Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian adalah kabel bawah tanah terowongan PLTA Singkarak Kecamatan Lubuk Alung Kabupaten padang Pariman.

### 3.2 Data-data yang Dibutuhkan

Data-data yang dibutuhkan dalam penelitian ini adalah terdiri dari data kabel bawah tanah terowongan PLTA Singkarak Kecamatan Lubuk Alung Kabupaten padang Pariman berupa:

- Jenis kawat fasa yang digunakan
- Luas penampang konduktor
- Diameter dan jari-jari konduktor
- Jarak antar konduktor fasa
- Tegangan dan jarak antar saluran
- Tinggi objek titik uji pada kabel konduktor saluran terowongan
- Tegangan saluran

### 3.3 Metode Pengambilan Data

Metode pengambilan data adalah:

- Pengambilan data di PLTA Singkarak dengan melakukan survey kelapangan
- Studi literatur dan pustaka

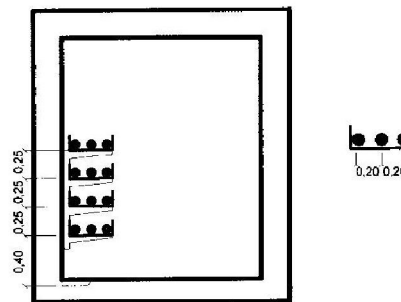
## 4. Perhitungan dan Pembahasan

### 4.1 Data Kabel

PLTA Singkarak mempunyai pembangkit sebanyak 4 unit dengan kapasitas  $4 \times 43,75$  MW. Tegangan yang dihasilkan pembangkit sebesar 10,5 dan dinaikkan dengan menggunakan transformator daya  $4 \times 52$  MVA dari tegangan 10,5 kV menjadi 150 kV.

Kabel bawah tanah 150 kV yang diteliti adalah jenis N(A) 2XS (FL)2Y dengan luas penampang  $300 \text{ mm}^2$ . Kabel ini dipasang dari transformator daya ke pemutus tenaga dengan jarak  $\pm 200$  m yang dipasang didalam terowongan dalam tanah.

Ukuran penempatan kabel dapat dilihat pada gambar dibawah ini:



Gambar 3. Penempatan Kabel Dalam Terowongan Data saluran yang diperoleh digunakan untuk menghitung intensitas medan listrik didalam terowongan antara kabel terhadap manusia

sewaktu inspeksi, perawatan maintenance.

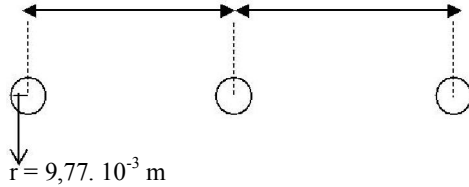
**4.2 Perhitungan Muatan Konduktor**

Berdasarkan persamaan potensial listrik maka diperoleh:

$$V = \frac{q}{2\pi\epsilon} \ln \frac{R}{r}$$

Dimana, penampang konduktor (A) 300mm<sup>2</sup>, maka jari-jari (r) = 9,77 mm dan jarak antar saluran 20 cm.

$$R = 0,2 \text{ m}$$



Gambar 4. jarak masing-masing kabel

Besarnya potensial listrik untuk masing-masing fasa adalah:

Untuk fasa R

$$V_R = \frac{1}{2\pi\epsilon_0} \left[ Q_R \left( \frac{\ln \frac{1}{9,77.10^{-3}}}{6,6} \right) + Q_S \left( \frac{\ln \frac{0,2}{9,77.10^{-3}}}{20,86} \right) + Q_T \left( \frac{\ln \frac{0,4}{9,77.10^{-3}}}{20,86} \right) \right]$$

untuk fasa S:

$$V_S = \frac{1}{2\pi\epsilon_0} \left[ Q_R \left( \frac{\ln \frac{0,2}{9,77.10^{-3}}}{20,86} \right) + Q_S \left( \frac{\ln \frac{1}{9,77.10^{-3}}}{6,6} \right) + Q_T \left( \frac{\ln \frac{0,2}{9,77.10^{-3}}}{20,86} \right) \right]$$

untuk fasa T:

$$V_T = \frac{1}{2\pi\epsilon_0} \left[ Q_R \left( \frac{\ln \frac{0,4}{9,77.10^{-3}}}{20,86} \right) + Q_S \left( \frac{\ln \frac{0,2}{9,77.10^{-3}}}{20,86} \right) + Q_T \left( \frac{\ln \frac{1}{9,77.10^{-3}}}{6,6} \right) \right]$$

sehingga didapatkan matrik A dan matrik A<sup>-1</sup> sebagai berikut:

$$A = \begin{bmatrix} 0,701 & 0,145 & 0,178 \\ 0,145 & 0,701 & 0,145 \\ 0,178 & 0,145 & 0,701 \end{bmatrix}$$

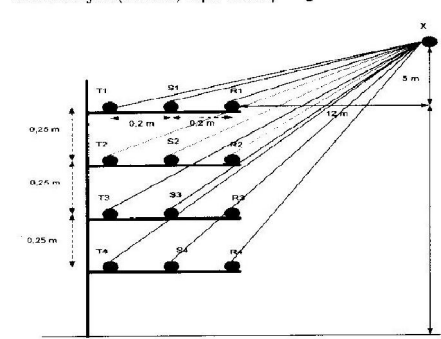
$$A^{-1} = \begin{bmatrix} 1,566 & -0,252 & -0,345 \\ -0,252 & 1,529 & -0,252 \\ -0,345 & -0,252 & 1,566 \end{bmatrix}$$

Sehingga didapatkan nilai muatan listrik adalah:

$$\begin{bmatrix} Q_R \\ Q_S \\ Q_T \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 8,074 \times 10^{-6} \\ 8,556 \times 10^{-6} \\ 8,074 \times 10^{-6} \end{bmatrix}$$

**4.3 Jarak Konduktor Terhadap Titik Uji X**

Posisi titik uji X (manusia) dapat dilihat pada gambar berikut :



Gambar 5. Posisi titik uji terhadap kabel Dari

gambar didapatkan nilai jarak antara muatan dengan titik uji X. Dari gambar didapatkan jarak antara fasa R, S dan T dengan titik uji X adalah:

Fasa R <sub>1</sub>	Fasa S <sub>1</sub>	Fasa T <sub>1</sub>	Fasa R <sub>2</sub>	Fasa S <sub>2</sub>	Fasa T <sub>2</sub>
13 m	13,19 m	13,37 m	12,09 m	13,28 m	13,47 m
Fasa R <sub>3</sub>	Fasa T <sub>3</sub>	Fasa S <sub>3</sub>	Fasa R <sub>4</sub>	Fasa S <sub>4</sub>	Fasa T <sub>4</sub>
13,2 m	13,3 m	13,57 m	13,31 m	13,49 m	13,67 m

**Intensitas Medan Listrik Terhadap Titik Uji x**

Besarnya intensitas medan listrik pada titik uji x adalah:

Konduktor pertama	Konduktor kedua
E <sub>RX1</sub> = 535,69 V/m	E <sub>RX2</sub> = 531,68 V/m
E <sub>SX1</sub> = 559,72 V/m	E <sub>SX2</sub> = 555,64 V/m
E <sub>TX1</sub> = 520,86 V/m	E <sub>TX2</sub> = 517,17 V/m

Konduktor ketiga	Konduktor keempat
E <sub>RX3</sub> = 527,56 V/m	E <sub>RX4</sub> = 523,36 V/m
E <sub>SX3</sub> = 551,45 V/m	E <sub>SX4</sub> = 547,17 V/m
E <sub>TX3</sub> = 513,38 V/m	E <sub>TX4</sub> = 509,5 V/m

Total intensitas medan pada titik uji x:

$$E_{total} = 535,69 + 559,72 + 520,86 + 531,68 + 555,64 + 517,17 + 527,56 + 551,45 + 513,38 + 523,36 + 547,17 + 509,5 \text{ V/m} = 6,393 \text{ kV/m}$$

**4.4 Menghitung Rapat Arus**

Rapat arus adalah  $J = \sigma \times E$   
 Karena konduktor kabel bawah tanah berbahan aluminium sehingga nilai  $\sigma_{al} = 3,82 \times 10^{-7} \text{ A/Vm}$  maka didapatkan kerapatan arus  $J = 2,44 \text{ mA/m}^2$

**4.5 Analisa Dan Pembahasan**

Untuk mencari nilai total medan listrik terlebih dahulu kita mencari nilai muatan dengan menganalisa matrik A<sub>(3x3)</sub> yang didapat dari

persamaan tegangan fasa R, S dan T kemudian dicari matrik  $A^{-1}$  dengan cara mencari adjoin dari matrik A dan menghitung determinan dari A. Nilai  $A^{-1}$  diperoleh dari perkalian  $1/\det A$  dengan Adjoin A. Setelah didapat matrik  $A^{-1}$  maka dapat dianalisa nilai masing-masing muatan yang didapatkan.

Langkah selanjutnya adalah menghitung jarak masing-masing muatan dengan titik uji. Langkah perhitungan terakhir adalah menghitung besar nilai medan listrik totalnya.

Pada penelitian ini melakukan perhitungan dari titik uji ke kabel muatan dengan jarak yang berbeda dari masing-masing titik (12 titik). Perbedaan yang signifikan dari jarak konduktor sebuah kabel akan menghasilkan sebuah nilai total medan. Semakin dekat jarak titik uji dengan kabel, semakin besar nilai medan listrik. Sebaliknya semakin jauh jarak titik uji dengan kabel, akan semakin kecil nilai medan listriknya. Hal ini terjadi karena nilai medan listrik berbanding terbalik dengan nilai jarak.

Dari penelitian yang telah dilakukan oleh IRPA (*International Radiation Protection Association*), suatu medan listrik dengan kuat medan sebesar 10 kV/m akan menginduksikan rapat arus efektif kurang dari 4 mA/m<sup>2</sup>. Dari hasil perhitungan BAB IV diperoleh medan listrik total sebesar 6,393 kV/m, maka untuk mencari nilai rapat arus (J) nilai medan listrik (E) dikali dengan nilai konduktivitas bahan aluminium ( $\sigma_{al} = 3,82 \times 10^{-7} \text{ A/Vm}$ ) sehingga dihasilkan nilai rapat arus sebesar 2,44 mA/m<sup>2</sup>.

Batas-batas dibawah ini merupakan kriteria IRPA/INIRC dalam penentuan batas exposure tubuh manusia secara terus menerus terhadap medan - medan elektrik dan magnetik terhadap tubuh manusia :

1. Antara 1 s/d 10 mA/m<sup>2</sup> tidak menimbulkan efek biologis yang berarti.
2. Antara 10 s/d 100 mA/m<sup>2</sup> akan menimbulkan efek yang berarti termasuk efek pada sistem penglihatan dan syaraf.
3. Antara 100 s/d 1000 mA/m<sup>2</sup> akan menimbulkan simulasi rangsangan pada jaringan-jaringan sel tubuh dan ada kemungkinan bahaya terhadap kesehatan.
4. Diatas 1000 mA/m<sup>2</sup> akan menimbulkan ekstra sistole dan fibrasi vertikal pada jantung (bahaya akut terhadap kesehatan).

Dari batas-batas diatas disimpulkan rapat arus efektif sebesar 2,44 mA/m<sup>2</sup> dengan intensitas medan listrik sebesar 6,393 kV/m tidak menimbulkan efek biologis yang berarti.

Namun perlu diperhatikan dalam hal penentuan batas waktu apabila nilai medan listriknya sebesar 6,393 kV/m dengan rapat arus efektif sebesar 2,44 mA/m<sup>2</sup> sebaiknya tidak melebihi batas waktu aman selama 10 menit. Karena apabila nilai rapat arusnya telah lebih

dari 10 mA/m<sup>2</sup> akan menimbulkan efek-efek yang dapat merusak sistem syaraf tubuh dan stimulasi jaringan sel-sel tubuh manusia bahkan menimbulkan vibrasi pada jantung.

Pengaruh medan listrik terhadap manusia juga tergantung dari jarak dan besar kuat medan listrik itu sendiri dan berapa lama seseorang berada dalam jangkauan medan listrik. Pada tingkat rendah, yaitu kuat medan listrik kurang dari 8 kV/m efeknya mulai terasa yakni seolah-olah ada yang merayap pada kulit sehingga bulu badan mulai berdiri. Sedangkan pada kuat medan yang lebih besar, rambut kepala mulai berdiri.

Dilihat dari populasi lingkungan kerja, exposure dibatasi hanya sepanjang jam kerja dalam jangka waktu satu shift per 24 jam. Exposure medan listrik terus menerus sepanjang hari kerja dilingkungan itu sebaiknya dibatasi sampai 10 kV/m. Apabila lebih 10 kV/m atau nilai medan listriknya mencapai hingga 20 kV/m sampai 30 kV/m sebaiknya pekerja menghindari pengaruh medan listrik dengan cara mempersingkat waktu pekerja tersebut dalam melakukan perawatan (maintenance) dalam jangkauan kuat medan listrik. Oleh karena itu akan lebih bijaksana untuk diupayakan untuk membatasi nilai exposure medan listrik dalam jangka waktu lama ke tingkat yang serendah mungkin.

## 5. Kesimpulan

Dari hasil analisa dapat ditarik beberapa kesimpulan yaitu :

1. Penentuan batas waktu apabila nilai medan listriknya sebesar 6,393 kV/m dengan
2. rapat arus efektif sebesar 2,44 mA/m<sup>2</sup> adalah selama 10 menit, hal ini tidak menimbulkan efek biologis yang berarti.
3. Nilai rapat arus yang lebih dari 10 mA/m<sup>2</sup> akan menimbulkan efek-efek yang dapat merusak sistem syaraf tubuh dan stimulasi jaringan sel-sel tubuh manusia, bahkan dapat menimbulkan vibrasi pada jantung.
4. Semakin dekat jarak seorang pekerja dengan kabel terowongan 150 kV, semakin besar nilai medan listrik yang dapat mempengaruhi tubuh pekerja. Sebaliknya semakin jauh jarak seorang pekerja dengan kabel terowongan 150 kV, akan semakin kecil pengaruh nilai medan listriknya. Hal ini terjadi karena nilai medan listrik berbanding terbalik dengan nilai jarak.

## Daftar Pustaka

- [1] Arismunandar. A, "Teknik Tenaga Listrik", PT. Pradnya Paramita, Jakarta, 1994.
- [2] Dr. Ngapuli Irma Simisuka dan Dr.Ir.Parouli Pakpahan, Dalam penelitian "Medan Listrik dan Medan Magnetik Serta

- Pengaruhnya Pada manusia*". ITB, 1993.
- [3] Nanan Tribuana, "*Laporan Evaluasi Teknis dan Sosialisasi pada Masyarakat tentang Dampak Medan Listrik dan Medan Magnet di Bawah SUTT/SUTET, Proyek Penelitian Teknologi Energi dan Ketenagalistrikan, Ditjen Listrik dan Pengembangan Energi,*" Jakarta.
- [4] Sissy Puspita. B, "*Studi Analisis Dan Simulasi Karakteristik Listrik Isolasi Kabel XLPE*", Fakultas Teknologi Institut Teknologi Padang. 2006.
- [5] SNI, 2003, "*Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT) Dan Saluran Udara Tegangan Ekstra Tinggi (SUTET) – Nilai Ambang Batas Medan Listrik Dan Medan Magnet*".
- [6] Usman Saleh Baafai. "*Dalam Pidato Pengukuhan Jabatan Guru Besar Fakultas Teknik USU Medan Yang Berjudul "Sistem Tenaga Listrik; Polusi Dan Pengaruh Medan Elektromagnetik Terhadap Kesehatan Masyarakat"*".