

## Pengaruh *Shielding* Logam Kabel Serat Optik Terhadap Kuat Medan Listrik Yang Ditimbulkan Oleh Saluran Transmisi Tenaga Listrik

Rudy Setiabudy, Budi Sudiarto dan Agus Aryanto  
Departemen Elektro Fakultas Teknik Universitas Indonesia  
Kampus Baru UI Depok

### Abstrak

Pada menara Saluran Transmisi Tenaga Listrik dapat ditumpangin kabel serat optik untuk keperluan kontrol sistem tenaga listrik dan kebutuhan komunikasi data. Agar dalam pengoperasian kabel serat optik lebih tahan terhadap pengaruh cuaca dan lingkungan, pelindung (*shielding*) yang digunakan pada kabel serat optik dibuat dari bahan logam. Dengan adanya *shielding* logam ini, maka kuat medan listrik yang ditimbulkan oleh saluran transmisi terhadap objek di bawah saluran transmisi (permukaan tanah) menjadi terpengaruh. Pada penelitian ini dibahas pengaruh *shielding* logam kabel serat optik terhadap kuat medan yang dihasilkan oleh kawat saluran transmisi Tegangan Tinggi (150 kV) dan Tegangan Ekstra Tinggi (500 kV) pada objek dibawahnya (permukaan tanah) untuk berbagai jenis konfigurasi saluran. Berdasarkan penelitian diperoleh hasil bahwa pemasangan kabel serat optik dengan *shielding* logam mempengaruhi kuat medan listrik yang timbul di permukaan tanah menjadi semakin besar atau semakin kecil, dimana pengaruh ini sangat bergantung pada konfigurasi saluran dan letak objek di permukaan tanah. Hasil penelitian ini berguna untuk penentuan jarak bebas dari saluran transmisi apabila dilakukan pemasangan kabel serat optik menggunakan *shielding* logam.

**Kata kunci :** *Shielding* logam, kabel serat optik, medan listrik dan konfigurasi saluran transmisi

### Abstract

On transmission line towers can be installed fiber optic cables for control of power supplies and data communication. To avoid the damages of fiber optic cables cause of the effect of climate and environment, the *shielding* that used on fiber optic cables was made from the metal. With using this *shielding*, the electric field that produced from transmission line will be effected. With this *shielding*, the electric field that produced from transmission line will be higher or lower. There for, we must know the effect of using the fiber optic cables *shielding* to the electric field that produced from transmission line that installed fiber optic cables. This is useful to determinating the free room from the transmission line.

**Keywords :** Metal *shielding*, fiber optic cable, elektric field and transmission line configuration

### 1. Pendahuluan

Sistem tenaga listrik membutuhkan jaringan telekomunikasi dengan *bandwidth* yang lebar baik untuk kontrol sistem tenaga listrik tersebut yang terdiri dari sistem komunikasi data, suara, data pengukuran dan sistem proteksi, maupun telekomunikasi internal. Karena kekebalannya terhadap interferensi elektromagnetik, kabel serat optik merupakan salah satu media yang dapat

digunakan pada jaringan telekomunikasi sepanjang saluran transmisi tegangan tinggi maupun tegangan ekstra tinggi

Pengaruh cuaca dan lingkungan yang bervariasi, sering merusak pada selubung (*shielding*) kabel serat optik yang terdapat pada saluran transmisi. Agar lebih tahan terhadap pengaruh cuaca dan lingkungan, maka digunakan *shielding* yang terbuat dari bahan logam pada kabel serat optik yang terpasang sepanjang saluran transmisi.

Telah kita ketahui sebelumnya bahwa saluran transmisi akan menimbulkan medan listrik di sekitar saluran transmisi tersebut. Keberadaan *shielding* logam tersebut akan mempengaruhi besarnya kuat medan listrik yang ditimbulkan oleh saluran transmisi karena akan terjadi kapasitansi antara *shielding* logam tersebut dengan kawat penghantar, kawat tanah dan tanah.

Penelitian sebelumnya umumnya membahas besar medan listrik yang ditimbulkan akibat saluran transmisi tanpa memperhitungkan efek dari adanya kabel serat optik (karena *shielding* serat optik konvensional terbuat dari bahan non-logam) sedangkan pada penulisan ini dibahas pengaruh *shielding* logam serat optik terhadap medan listrik yang dihasilkan akibat saluran transmisi tegangan tinggi (150 kV) dan tegangan ekstra tinggi (500 kV) pada berbagai konfigurasi saluran. Hasil penelitian ini berguna untuk penentuan jarak bebas dari saluran transmisi apabila dilakukan pemasangan kabel serat optik yang menggunakan *shielding* logam.

## 2. Landasan Teori

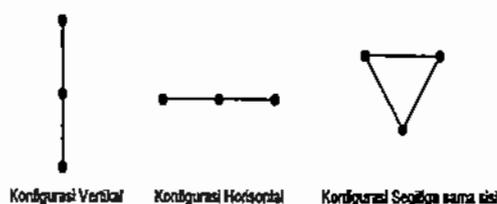
### 2.1. Saluran Transmisi Tenaga Listrik

Di dalam sistem arus bolak-balik terdapat sistem satu fasa dan sistem tiga fasa. Sistem tiga fasa mempunyai kelebihan dibandingkan dengan sistem satu fasa karena daya yang disalurkan lebih besar, nilai sesaatnya (*instantaneous value*) konstan [1].

Konfigurasi saluran transmisi dapat dibagi menjadi dua, yaitu saluran transmisi rangkaian tunggal (*single circuit*) dan rangkaian ganda (*double circuits*).

Pada saluran transmisi rangkaian tunggal terdapat beberapa konfigurasi yaitu: konfigurasi horisontal, konfigurasi vertikal dan konfigurasi segitiga sama sisi. Pada konfigurasi horisontal, ketiga fasa berada dalam ketinggian yang sama dengan jarak pemisah antar konduktor yang sama besarnya. Pada konfigurasi vertikal, ketiga fasa tersusun secara vertikal dengan jarak pemisah antar konduktor sama besarnya.

Pada konfigurasi segitiga sama sisi susunan ketiga fasanya membentuk segitiga sama sisi, sehingga jarak antar fasanya sama besar seperti dapat dilihat pada gambar 1. Pada saluran transmisi rangkaian ganda terdapat beberapa konfigurasi yaitu: konfigurasi vertikal, konfigurasi segitiga dan konfigurasi heksagonal. Urutan fasa pada konfigurasi rangkaian ganda secara umum berkebalikan antara sisi penyalur yang satu dengan sisi penyalur yang lain.



Gambar 1a.  
Konfigurasi saluran Transmisi Rangkaian Tunggal



Gambar 1b.  
Konfigurasi Saluran Transmisi Rangkaian Ganda

### 2.2. Medan Listrik

Medan listrik dikatakan terjadi di sebuah titik jika ada gaya listrik yang dialami oleh sebuah benda bermuatan yang ditempatkan di titik tersebut. Medan listrik dari kawat saluran transmisi ini ditentukan melalui tinjauan elektrostatik dimana medan listrik tersebut merupakan medan listrik sesaat.

Penelitian mengenai hukum gaya antara benda bermuatan pertama kali dilakukan oleh Charles Augustin de Coulomb pada tahun 1784. Hukum yang kemudian dikenal dengan nama hukum Coulomb. Persamaan untuk gaya antara dua muatan titik adalah sebagai berikut:

$$F = k \frac{qq'}{r^2} \quad (1)$$

dimana:

$F$  = gaya antara dua muatan titik (Newton)

$K$  = konstanta yang besarnya  $\frac{1}{4\pi\epsilon_0}$

$q, q'$  = besar muatan (Coulomb)

$r$  = jarak antara kedua muatan (meter)

Hukum ini juga hanya berlaku untuk sepasang muatan. Jika terdapat lebih dari sepasang muatan maka besar gaya pada satu muatan merupakan penjumlahan dari gaya-gaya yang dihasilkan oleh muatan-muatan lainnya terhadap muatan tersebut.

$$\vec{F} = \vec{F}_{12} + \vec{F}_{13} + \vec{F}_{14} + \dots + \vec{F}_{1n} \quad (2)$$

Karena keterbatasan hukum Coulomb ini, selanjutnya hukum Gauss dipergunakan untuk perhitungan benda-benda bermuatan yang dikelilingi oleh sebuah permukaan tertutup sembarang bentuk dari bentuk geometrik. Menurut hukum Gauss:

$$q = \int D \cdot dA \quad (3)$$

dimana

$D$  = kerapatan fluks

$A$  = luas permukaan benda yang bermuatan

Hukum Gauss ini memperlihatkan bahwa fluks medan listrik yang melalui sebuah bidang tertutup sama dengan muatan yang terbungkus didalam bidang tertutup tersebut. Medan listrik pada kawat saluran transmisi dapat dihitung dengan menggunakan hukum Gauss dengan cara memisalkan kawat saluran transmisi sebagai sebuah penghantar yang lurus dan panjang dengan bentuk geometrik seperti sebuah silinder. Bentuk silinder yang simetris dengan sumbu dan berjari-jari  $r$  dan dengan mengasumsikan tidak ada muatan lain di sekelilingnya maka kerapatan fluks,  $D$ , terhadap permukaan silinder adalah konstan. Sehingga persamaan (2.3) dapat diturunkan menjadi [2]:

$$q = \int D \cdot dA \quad ; \quad A = 2\pi \cdot r \cdot l \quad (4)$$

$$q = D \cdot 2\pi \cdot r \cdot l \quad (5)$$

$$q_1 = E \cdot \epsilon_0 \cdot 2\pi \cdot r \quad (6)$$

$$E = \frac{q_1}{2\pi \cdot r \cdot \epsilon_0} \quad (7)$$

dimana:

$q_1$  = muatan persatuan panjang (C/m)

$\epsilon_0$  = permitivitas

$E$  = medan listrik (N/C)

Jika kita anggap ada dua buah titik sepanjang medan listrik, misalnya titik  $a$  dan  $b$ , maka di antara kedua titik tersebut akan terdapat beda potensial yang membentuk gradien tegangan. Gradien tegangan ini kemudian didefinisikan sebagai kenaikan tegangan ( $\Delta V$ ) untuk setiap satuan panjang elemen ( $\Delta l$ ).

$$E = -\Delta V \quad (8)$$

$$V = \int E \cdot dl \quad (9)$$

dengan mensubstitusikan persamaan (7) dan (9) maka didapatkan:

$$V = \int E \cdot dl \quad (10)$$

$$V = \frac{q_1}{2\pi \cdot \epsilon_0} \int \frac{dr}{r}$$

$$V = \frac{q_1}{2\pi \cdot \epsilon_0} \ln \frac{r_b}{r_a} \quad (11)$$

dimana:

$V$  = beda potensial antara titik  $a$  dan  $b$  (Volt)

$r_a$  = jarak muatan ke titik  $a$  (meter)

$r_b$  = jarak muatan ke titik  $b$  (meter)

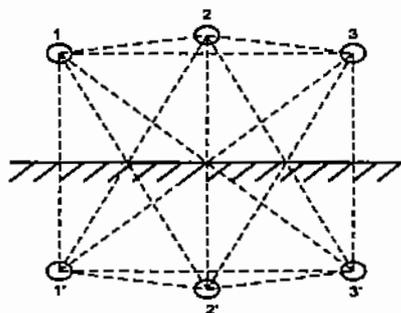
### 3. Perhitungan Kuat Medan Listrik Saluran Transmisi

Pada tulisan ini akan dilakukan perhitungan kuat medan listrik yang ditimbulkan oleh saluran transmisi yang ditumpangkan jaringan serat optik di dalamnya dan kuat medan listrik yang ditimbulkan oleh saluran transmisi yang tidak terdapat jaringan serat optik. Hasil yang didapat dari perhitungan tersebut kemudian akan dibandingkan antara saluran transmisi yang terdapat jaringan serat optik dan yang tidak. Kabel serat optik ini ditempatkan pada posisi dan jarak tertentu yang sejajar dengan penghantar saluran transmisi. Karena *shielding* kabel serat optik tersebut terbuat dari logam maka pada *shielding* tersebut terdapat kapasitansi antara *shielding* tersebut dengan kawat

penghantar, kawat tanah dan juga tanah. Karena kapasitansi ini maka akan timbul muatan listrik pada *shielding* yang akan mempengaruhi besarnya kuat medan listrik yang ditimbulkan oleh saluran transmisi.

3.1. Medan Listrik Saluran Transmisi

Medan listrik di sekitar saluran transmisi merupakan fungsi muatan sesaat pada saluran tersebut. Medan listrik yang dihasilkan akan menyebar pada daerah sekitar saluran transmisi sehingga intensitas dari medan listrik tersebut nantinya merupakan intensitas medan terhadap suatu titik dalam suatu ruang di sekitar kawat penghantar saluran transmisi. Medan listrik di sekitar saluran transmisi merupakan superposisi dari medan-medan yang ditimbulkan oleh penghantar transmisi tiga fasa yang memiliki sudut tegangan yang berbeda-beda. Untuk waktu sesaat, muatan yang terdistribusi pada permukaan bumi dapat dianggap statis karena dengan daerah frekuensi 50/60 Hz dan dengan asumsi bahwa tahanan bumi normal maka membutuhkan waktu untuk muatan terdistribusi kembali. Hal ini disebabkan karena pengaruh gelombang frekuensi walaupun ada kontribusi pengaruh medan luar, namun keberadaan medan luar ini sangat kecil pengaruhnya dibanding dengan pengaruh gelombang frekuensi. Oleh karena itu bumi dapat dianggap sebagai sebuah penghantar sempurna. Pengaruh bumi ini dapat diwakili oleh penghantar bayangan yang terletak di bawah penghantar transmisi dengan kedalaman yang sama dengan tinggi penghantar dari tanah [3].



Gambar 2. Penghantar dan Penghantar Bayangannya

Muatan Q pada masing-masing kawat penghantar merupakan fungsi dari tegangan pada semua penghantar sehingga dapat dibuat matriks kapasitansi sesuai dengan persamaan matriks berikut:

$$[Q] = [C].[V] \tag{12}$$

Dan apabila ada *n* buah penghantar maka dapat dibuat matriks kapasitansi *n x n* dengan persamaan berikut:

$$\begin{bmatrix} Q_1 \\ \vdots \\ Q_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} C_{11} & \dots & C_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ C_{n1} & \dots & C_{nn} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_1 \\ \vdots \\ V_n \end{bmatrix} \tag{13}$$

Masing-masing elemen kapasitansi dapat dihitung dengan

$$C_{nm} = \frac{Q_n}{V_m} \tag{14}$$

dengan *n* dan *m* adalah penghantar. Namun demikian, pengaruh penghantar lain di sekitar saluran transmisi yang sedang dihitung dapat mempengaruhi nilai kapasitansi yang sesungguhnya, sehingga untuk memperoleh muatan masing-masing penghantar dapat digunakan matriks koefisien tegangan [4]

$$[V] = [P].[Q] \tag{15}$$

Untuk penghantar dengan ketinggian terhadap tanah *h* dan memiliki jari-jari *r* persamaan koefisien tegangannya

$$P = \frac{1}{2\pi \cdot \epsilon} \ln \frac{2h}{r} \tag{16}$$

dan untuk dua penghantar persamaan koefisien tegangannya adalah

$$P = \frac{1}{2\pi \cdot \epsilon} \ln \frac{d_{nm'}}{d_{nm}} \tag{17}$$

dimana:  
*d<sub>nm'</sub>* = jarak antara penghantar *n* dengan bayangan penghantar *m*  
*d<sub>nm</sub>* = jarak antara penghantar *n* dengan penghantar *m*

Untuk konduktor berkas, jari-jari  $r$  diganti dengan GMR (*Geometric Mean Radius*).

$$GMR = R_{ek} \cdot \sqrt[n]{\frac{n \cdot r}{R_{ek}}} \quad (18)$$

dimana:

$n$  = jumlah subkonduktor

$r$  = jari-jari subkonduktor

$R_{ek}$  = untuk  $n = 1$ ,  $R_{ek} = r$

$n = 2$ ,  $R_{ek}$  = jarak antara subkonduktor / 2

$n = 3$ ,  $R_{ek}$  = jarak antara subkonduktor /  $\sqrt{3}$

$n = 4$ ,  $R_{ek}$  = jarak antara subkonduktor /  $\sqrt{2}$

Matriks koefisien tegangan merupakan matriks invers dari matriks kapasitansi

$$[C] = [P]^{-1} \quad (19)$$

Dengan mensubstitusikan persamaan (19) ke persamaan (12) maka didapatkan persamaan matriks

$$[Q] = [P]^{-1} \cdot [V] \quad (20)$$

$$\begin{bmatrix} Q_1 \\ \vdots \\ Q_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} P_{11} & \dots & P_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ P_{n1} & \dots & P_{nn} \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} V_1 \\ \vdots \\ V_n \end{bmatrix} \quad (21)$$

masing-masing elemen  $P$  dapat dihitung dengan

$$P = \frac{V_n}{Q_m} \quad (22)$$

### 3.2 Perhitungan Kuat Medan Listrik

Perhitungan kuat medan listrik di permukaan tanah pada suatu jarak tertentu dari saluran transmisi dapat dilakukan.

Seperti yang telah disebutkan sebelumnya, medan suatu saluran transmisi adalah [9] :

$$E = \frac{Q_i}{2\pi \cdot r \cdot \epsilon_0} \quad (23)$$

sehingga:

$$E = \frac{Q_i}{2\pi \cdot \epsilon_0 \cdot \sqrt{h^2 + L^2}} \quad (24)$$

Di atas permukaan tanah komponen vertikal dari medan listrik adalah

$$E \cos \theta = \frac{Q_i}{2\pi \cdot \epsilon_0 \cdot \sqrt{h^2 + L^2}} \cdot \frac{h}{\sqrt{h^2 + L^2}} = \frac{Q_i}{2\pi \cdot \epsilon_0} \cdot \frac{h}{h^2 + L^2} \quad (25)$$

Komponen vertikal yang disebabkan bayangan penghantar adalah sama dengan yang disebabkan oleh penghantar, sehingga medan total pada lokasi tersebut adalah:

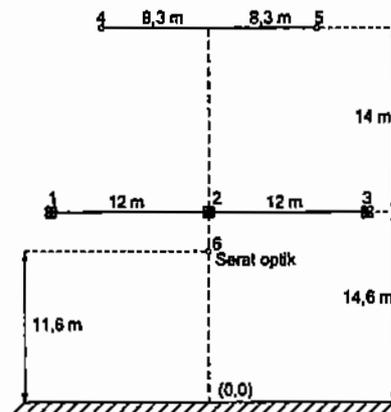
$$E = \frac{Q_i}{\pi \cdot \epsilon_0} \cdot \frac{h}{h^2 + L^2} \quad (26)$$

Komponen horisontalnya adalah sama dengan nol karena medan listrik yang ditimbulkan oleh penghantar dan bayangan bayangannya saling meniadakan. Untuk saluran transmisi tiga fasa, medan listrik ketiga penghantar dan bayangannya dihitung secara terpisah baru kemudian dijumlahkan.

#### 3.2.1 Saluran transmisi rangkain tunggal konfigurasi horisontal

Data perhitungan kuat medan listrik saluran transmisi di atas permukaan tanah adalah untuk SUTET 500 kV Suralaya-Gandul I, seperti dapat dilihat pada gambar 3

1. Tegangan transmisi 500 kV
2. Jenis konduktor 4 x ASCR Dove, 26/7
3. Diameter subkonduktor 0,02355 m
4. Diameter konduktor berkas 450 mm
5. Jenis kawat tanah Baja Galvanis 127 mm<sup>2</sup>
6. Diameter kawat tanah 0,0127 m
7. Diameter *shielding* serat optik 0,012 m

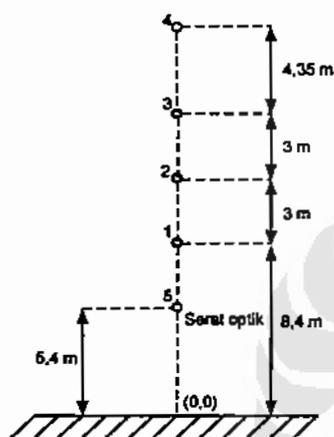


Gambar 3. Saluran Transmisi Suralaya Gandul I

### 3.2.2 Saluran Transmisi Rangkaian Tunggal Konfigurasi Vertikal

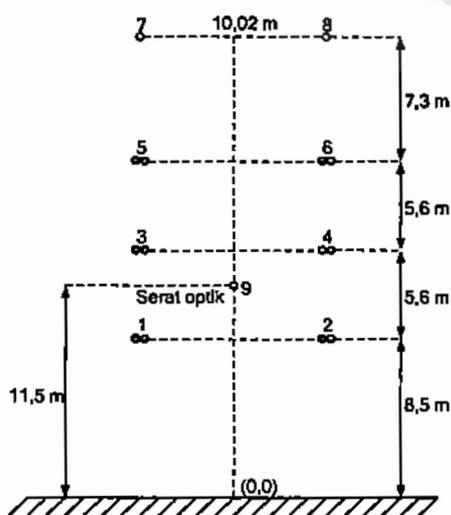
Perhitungan kuat medan listrik saluran transmisi di atas permukaan tanah untuk 70 kV Kosambi – Purwakarta (lihat gambar 4)

1. Tegangan transmisi 70 kV
2. Jenis konduktor 1 x ASCR Piper
3. Diameter subkonduktor 0,01778 m
4. Jenis kawat tanah Baja Galvanis 35 mm<sup>2</sup>
5. Diameter kawat tanah 0,00675 m
6. Diameter *shielding* serat optik 0,012 m



Gambar 4.  
Saluran transmisi Kosambi Purwakarta

### 3.2.3 Saluran Transmisi Rangkaian Ganda Konfigurasi Vertikal



Gambar 5.  
Saluran transmisi Bandung Selatan – Ujung Berung

Perhitungan kuat medan listrik saluran transmisi di atas permukaan tanah tegangan 150 kV Bandung Selatan – Ujung Berung (lihat gambar 5 dibawah ini),

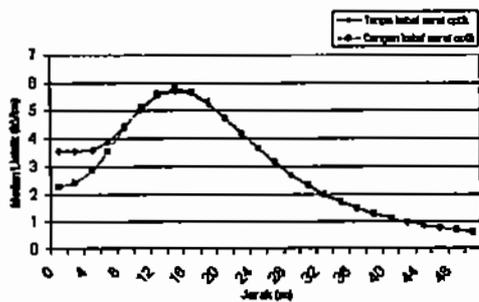
1. Tegangan transmisi 150 kV
2. Jenis konduktor 2 x ASCR Hawk
3. Diameter subkonduktor 0,02178 m
4. Diameter konduktor berkas 400 mm
5. Jenis kawat tanah Baja Galvanis 50 mm<sup>2</sup>
6. Diameter kawat tanah 0,008 m
7. Diameter *shielding* serat optik 0,012 m

## 4 Hasil Perhitungan dan Analisis Kuat Medan Listrik Saluran Transmisi Karena Adanya *Shielding* Kabel Serat Optik

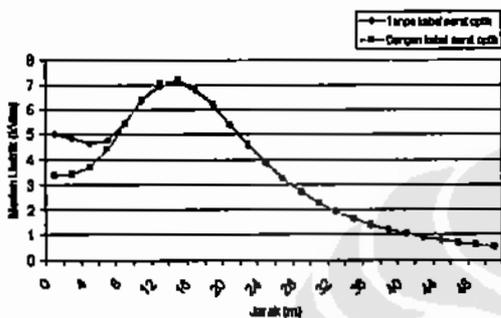
### 4.2 Rangkaian Tunggal Konfigurasi Horizontal

Pada saluran transmisi ini, data yang digunakan untuk perhitungan adalah data SUTET 500 kV Suralaya – Gandul I. Kabel serat optik ditempatkan sejajar di bawah penghantar tengah dengan jarak 3 m seperti terlihat pada Gambar 3.

Pada grafik tersebut dapat dilihat kuat medan listrik baik untuk saluran dengan atau tanpa kabel serat optik keduanya berkurang sampai jarak tertentu dari titik tengah saluran transmisi dan kemudian meningkat sampai jarak tertentu dari titik tengah saluran transmisi serta akan turun sampai kuat medan listrik tersebut bernilai 0. Pada sumbu koordinat 0 m, untuk saluran transmisi tanpa kabel serat optik kuat medan listrik yang ditimbulkan pada jarak sekitar 24 m akan sama dengan pada jarak 0 m. Sedangkan untuk saluran transmisi dengan kabel serat optik kuat medan listrik yang ditimbulkan pada jarak sekitar 31 m akan sama dengan pada jarak 0 m. Pada sumbu koordinat 2 m, untuk saluran transmisi tanpa kabel serat optik kuat medan listrik yang ditimbulkan pada jarak sekitar 7 m dan 21 m akan sama dengan pada titik 0 m. Sedangkan untuk saluran transmisi dengan kabel serat optik kuat medan listrik yang ditimbulkan pada jarak sekitar 26 m akan sama dengan pada jarak 0 m.



**Gambar 6.**  
Kuat Medan Listrik Saluran Tunggal Horizontal untuk Sumbu Koordinat 0 m



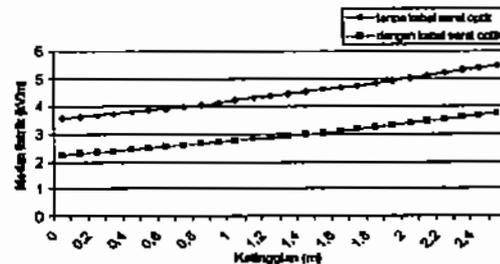
**Gambar 7.**  
Kuat Medan Listrik Saluran Tunggal Horizontal untuk Sumbu koordinat 2 m

Pada Gambar 6, untuk sumbu koordinat 0 m, untuk jarak 0 sampai dengan 8 m dari titik tengah saluran transmisi, kuat medan listrik saluran transmisi tanpa kabel serat optik lebih besar dari saluran transmisi dengan kabel serat optik. Sedangkan untuk jarak 8 sampai dengan 50 m dari titik tengah saluran transmisi kuat medan listrik saluran transmisi dengan kabel serat optik lebih besar, tetapi perbedaannya tidak terlalu besar sehingga dapat dikatakan hampir sama. Kuat medan listrik tertinggi untuk saluran transmisi tanpa kabel serat optik adalah pada jarak 14 m dari titik tengah saluran transmisi yaitu sebesar 5,724494 kV/m, sedangkan untuk saluran transmisi dengan kabel serat optik juga pada jarak 14 m dari titik tengah saluran transmisi yaitu sebesar 5,81375 kV/m. Perbedaan kuat medan listrik yang terjadi antara saluran transmisi dengan dan tanpa kabel serat optik di sebabkan oleh adanya kapasitansi antara shielding kabel serat optik dengan penghantar, kawat tanah dan juga bumi sehingga akan mempengaruhi

besarnya nilai matriks kapasitansi. Besarnya nilai matriks kapasitansi yang merupakan matriks invers dari matriks koefisien tegangan juga dipengaruhi oleh ketinggian penghantar terhadap tanah dan juga jarak dengan penghantar-penghantar lain sesuai dengan persamaan (16) dan (17). Karena adanya perubahan besarnya nilai matriks kapasitansi, maka akan terjadi perubahan pula pada matriks muatan listrik sesuai dengan persamaan (12).

Karena besarnya nilai matriks muatan listrik berubah, maka kuat medan listrik yang ditimbulkan oleh saluran transmisi akan berubah pula karena kuat medan listrik tersebut merupakan resultan dari kuat medan listrik yang dihasilkan oleh masing-masing penghantar sesuai dengan persamaan (25).

Bentuk grafik kuat medan listrik pada saluran transmisi rangkaian tunggal konfigurasi horisontal seperti terlihat pada Gambar 4.1 dan 4.2 disebabkan karena kuat medan listrik yang dihasilkan saluran transmisi merupakan resultan dari kuat medan listrik yang dihasilkan oleh masing-masing penghantar. Konfigurasi saluran transmisi, jarak antar penghantar dan ketinggian penghantar akan sangat mempengaruhi bentuk grafik kuat medan listrik yang dihasilkan. Karena saluran transmisi ini merupakan konfigurasi horisontal dimana ketinggian penghantar sama untuk tiap fasa dan terpisah dengan jarak tertentu, maka resultan kuat medan listrik pada permukaan tanah yang memiliki nilai terbesar tidak berada pada titik tengah saluran transmisi melainkan beberapa meter dari titik tengah tersebut.

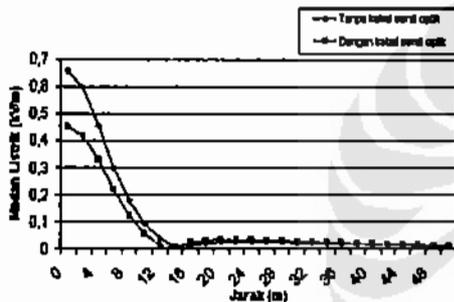


**Gambar 8.**  
Kuat Medan Listrik Saluran Tunggal Horizontal untuk Sumbu axis 0 m

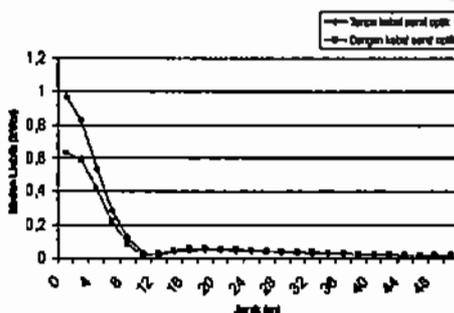
Pada grafik di atas terlihat untuk kuat medan listrik di titik tengah saluran transmisi bertambah seiring dengan bertambahnya ketinggian dari permukaan tanah. Hal ini sesuai dengan persamaan untuk menghitung medan listrik dimana semakin kecil jarak antara penghantar dengan titik yang dihitung kuat medan listriknya, maka kuat medan listrik yang akan dihasilkan akan semakin besar.

4.2. Rangkaian Tunggal Konfigurasi Vertikal

Data yang digunakan untuk perhitungan adalah 70 kV Kosambi – Purwakarta. Kabel serat optik ditempatkan di bawah penghantar paling bawah dengan jarak 3 m seperti terlihat pada Gambar 4.



Gambar 9. Kuat Medan Listrik Saluran Tunggal Vertikal untuk Sumbu Koordinat 0 m



Gambar 10. Kuat Medan Listrik Saluran Tunggal Vertikal untuk Sumbu Koordinat 2 m

Pada grafik di atas dapat dilihat kuat medan listrik baik untuk saluran tanpa serat optik atau pun dengan serat optik keduanya berkurang secara tajam sampai hampir mendekati nol, kemudian naik sedikit dan

turun kembali secara perlahan hingga kuat medan listrik menjadi nol. Hal ini disebabkan oleh konfigurasi saluran transmisi ini yang merupakan konfigurasi vertikal dimana penghantar tersusun secara vertikal dari atas ke bawah dengan jarak tertentu. Pada konfigurasi ini kuat medan listrik terbesar terdapat pada titik tengah saluran transmisi.

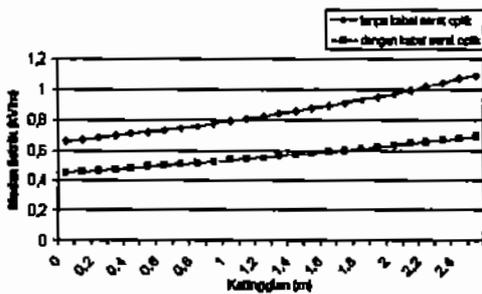
Pada Gambar 10 untuk sumbu koordinat 0 m, untuk saluran transmisi tanpa kabel serat optik kuat medan terbesar terletak pada titik tengah saluran transmisi yaitu sebesar 0,65683 kV/m kemudian turun secara tajam hingga mencapai 0,007793 kV/m pada jarak 14 m dari titik tengah saluran transmisi kemudian naik menjadi 0,02968 kV/m pada jarak 22 m dan setelah itu berangsur-angsur turun hingga kuat medan listrik bernilai nol.

Untuk saluran transmisi dengan kabel serat optik kuat medan terbesar terletak pada titik tengah saluran transmisi yaitu sebesar 0,451042 kV/m kemudian turun secara tajam hingga mencapai 0,011539 kV/m pada jarak 14 m dari titik tengah saluran transmisi kemudian naik menjadi 0,036033 kV/m pada jarak 22 m dan setelah itu berangsur-angsur turun hingga kuat medan listrik bernilai nol.

Pada jarak 0 sampai dengan 12 m kuat medan listrik yang ditimbulkan oleh saluran transmisi tanpa kabel serat optik lebih besar dibanding dengan saluran transmisi dengan kabel serat optik. Sedangkan untuk jarak 14 sampai dengan 50 meter kuat medan listrik yang ditimbulkan oleh saluran transmisi dengan kabel serat optik lebih besar dibanding dengan saluran transmisi tanpa kabel serat optik. Hal ini disebabkan oleh kapasitansi dan konfigurasi dari saluran transmisi tersebut.

Pada grafik di atas terlihat untuk kuat medan listrik di titik tengah saluran transmisi bertambah seiring dengan bertambahnya ketinggian dari permukaan tanah. Hal ini sesuai dengan persamaan untuk menghitung medan listrik dimana semakin kecil jarak antara penghantar dengan titik yang dihitung kuat medan

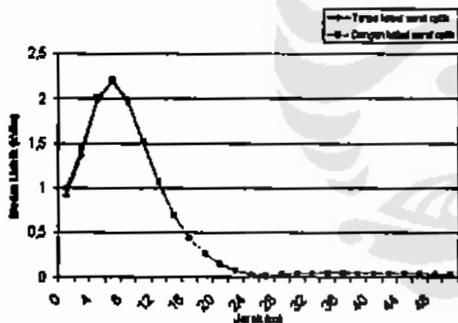
listriknnya, maka kuat medan listrik yang akan dihasilkan akan semakin besar.



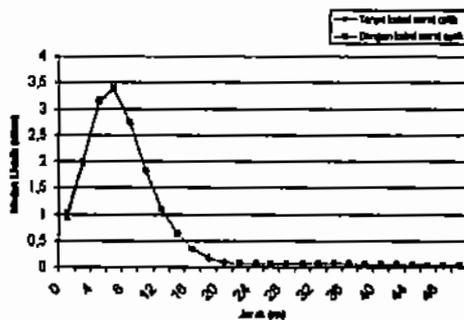
**Gambar 11.**  
Kuat Medan Listrik Saluran Tunggal Vertikal untuk Sumbu Axis 0 m

#### 4.3. Rangkaian Ganda Konfigurasi Vertikal

Data yang digunakan untuk perhitungan adalah saluran 150 kV Bandung Selatan – Ujung Berung. Kabel serat optik ditempatkan di titik tengah saluran transmisi dengan ketinggian 11,5 m seperti terlihat pada Gambar 12.



**Gambar 12.**  
Kuat Medan Listrik Saluran Ganda Vertikal untuk Sumbu Koordinat 0 m



**Gambar 13.**  
Kuat Medan Listrik Saluran Ganda Vertikal untuk Sumbu Koordinat 2 m

Pada grafik di atas dapat dilihat kuat medan listrik baik untuk saluran tanpa serat optik atau pun dengan serat optik keduanya meningkat secara tajam dari titik tengah saluran sampai dengan jarak tertentu kemudian akan turun secara tajam sampai jarak tertentu kemudian akan naik sedikit dan turun kembali secara perlahan sampai besarnya kuat medan listrik menjadi nol. Hal ini disebabkan oleh bentuk konfigurasi saluran transmisi ini yaitu saluran transmisi rangkaian ganda konfigurasi vertikal yang merupakan gabungan dari dua buah saluran transmisi konfigurasi vertikal. Pada konfigurasi ini kuat medan listrik terbesar terdapat pada jarak beberapa meter dari titik tengah saluran transmisi.

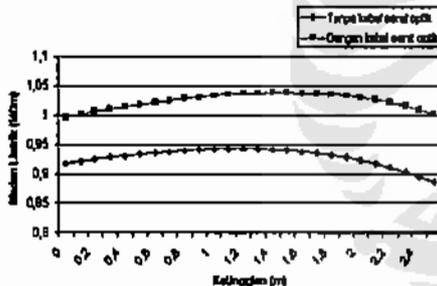
Pada sumbu koordinat 0 m, baik untuk saluran tanpa serat optik atau pun dengan serat optik kuat medan listrik yang ditimbulkan pada jarak sekitar 12 m akan sama dengan pada jarak 0 m. Hal ini juga berlaku pada sumbu koordinat 2 m.

Pada Gambar 12 untuk sumbu koordinat 0 m, untuk saluran transmisi tanpa kabel serat optik kuat medan listrik pada titik tengah saluran transmisi sebesar 0,917371 kV/m kemudian akan naik secara tajam sampai dengan 2,189569 kV/m pada jarak 6 m dari titik tengah saluran transmisi yang merupakan kuat medan listrik tertinggi, kemudian akan turun secara tajam sampai dengan 0,013482 kV/m pada jarak 26 m dari titik tengah saluran transmisi kemudian akan naik sampai 0,044959 kV/m pada jarak 36 m dari titik tengah saluran transmisi dan kemudian akan berangsur-angsur turun sampai kuat medan listrik menjadi nol.

Untuk saluran transmisi dengan kabel serat optik kuat medan listrik pada titik tengah saluran transmisi sebesar 0,997011 kV/m kemudian akan naik secara tajam sampai dengan 2,212197 kV/m pada jarak 6 m dari titik tengah saluran transmisi yang merupakan kuat medan listrik tertinggi, kemudian akan turun secara tajam sampai dengan 0,009534 kV/m pada jarak 26 m dari titik tengah saluran transmisi kemudian akan naik sampai 0,045594 kV/m pada jarak 36 m dari titik tengah saluran transmisi dan kemudian akan berangsur-

angsur turun sampai kuat medan listrik menjadi nol.

Pada jarak 0 sampai dengan 18 m dari titik tengah saluran transmisi kuat medan listrik yang ditimbulkan oleh saluran transmisi dengan kabel serat optik lebih besar dibanding dengan saluran transmisi tanpa kabel serat optik. Sedangkan untuk jarak 20 sampai dengan 28 meter dari titik tengah saluran transmisi kuat medan listrik yang ditimbulkan oleh saluran transmisi tanpa kabel serat optik lebih besar dibanding dengan saluran transmisi dengan kabel serat optik. Pada jarak 30 sampai dengan 50 m dari titik tengah saluran transmisi kuat medan listrik yang ditimbulkan oleh saluran transmisi dengan kabel serat optik kembali menjadi lebih besar dibanding dengan saluran transmisi tanpa kabel serat optik. Hal ini dipengaruhi oleh kapasitansi dan konfigurasi dari saluran transmisi tersebut.



**Gambar 14.**  
Kuat Medan Listrik Saluran Ganda Vertikal untuk Sumbu Axis 0

Pada grafik di atas dapat terlihat bahwa kuat medan listrik untuk kedua saluran pada titik tengah saluran transmisi akan meningkat dari ketinggian 0 m di atas tanah sampai dengan ketinggian tertentu kemudian akan turun sampai tertentu.

Untuk saluran transmisi tanpa kabel serat optik kuat medan listrik pada titik tengah saluran transmisi dengan ketinggian 0 m di atas permukaan tanah adalah sebesar 0,917371 kV/m kemudian akan naik sampai dengan 0,917371 kV/m pada ketinggian 1,2 m dan kemudian akan turun sampai dengan 0,885998 kV/m pada ketinggian 2,5 m.

Untuk saluran transmisi tanpa kabel serat optik kuat medan listrik pada titik tengah saluran transmisi dengan ketinggian 0 m di atas permukaan tanah adalah sebesar 0,997011 kV/m kemudian akan naik sampai dengan 1,038048 kV/m pada ketinggian 1,3 m dan kemudian akan turun sampai dengan 1,002278 kV/m pada ketinggian 2,5 m.

## 5 Kesimpulan

1. Pada saluran transmisi rangkaian tunggal konfigurasi horisontal, kuat medan listrik yang ditimbulkan oleh saluran transmisi dengan kabel serat optik pada jarak 0 sampai 10 m lebih kecil dari saluran transmisi tanpa kabel serat optik, sedangkan untuk jarak lebih besar dari 10 m berlaku sebaliknya. Pada konfigurasi ini, kuat medan listrik terbesar tidak berada pada titik tengah saluran transmisi melainkan pada jarak 14 m dari titik tengah saluran transmisi.
2. Pada saluran transmisi rangkaian tunggal konfigurasi vertikal, kuat medan listrik yang ditimbulkan oleh saluran transmisi dengan kabel serat optik pada jarak 0 sampai 12 m lebih kecil dari saluran transmisi tanpa kabel serat optik, sedangkan untuk jarak lebih besar dari 12 m berlaku sebaliknya. Pada konfigurasi ini, kuat medan listrik terbesar berada pada titik tengah saluran transmisi atau pada jarak 0 m.
3. Pada saluran transmisi rangkaian ganda konfigurasi vertikal, kuat medan listrik yang ditimbulkan oleh saluran transmisi dengan kabel serat optik secara umum lebih besar dari saluran transmisi tanpa kabel serat optik. Pada konfigurasi ini, kuat medan listrik terbesar tidak berada pada titik tengah saluran transmisi melainkan pada jarak 6 m dari titik tengah saluran transmisi.

## Daftar Acuan

- [1]. Arismunandar, A., Kuwahara, S., *Buku Pegangan Teknik Tenaga Listrik Jilid II: Saluran Transmisi*, Cetakan keenam, Pradnya Paramita, Jakarta, 1993.

- [2]. Marshall, S.V., DuBroff, R.E., Skitek, G.G., *Electromagnetic Concepts and Applications*, Fourth Edition, Prentice Hall International Inc., New Jersey, 1996.
- [3]. Dardjowidjojo, Kahurangi S., *Analisis Pengaruh Konfigurasi SUTT dan SUTET Terhadap Medan Elektromagnetik Yang Ditimbulkan*, Skripsi Sarjana Teknik Departemen Elektro, Fakultas Teknik Universitas Indonesia, Depok, 1992
- [4]. Dan, V.V., Computation of Horizontal Three-Phase Line Capacitances, in *Proceedings of 1998 International Symposium on Electrical Insulating Materials*, pp.345-347, IEEE, Japan, 27-30 Sep 1998.
- [5]. Stevenson, W.D., *Analisis Sistem Tenaga Listrik*, Edisi Keempat, Erlangga, Jakarta, 1983.

