

# STUDI PENGARUH PEPOHONAN TERHADAP PAPARAN MEDAN ELEKTROMAGNETIK JARINGAN TRANSMISI

Oleh:

Yahya Tarjan Ginting<sup>1)</sup>

Janter Napitupulu<sup>2)</sup>

Daniel Sormin<sup>3)</sup>

Universitas Darma Agung, Medan<sup>1,2,3)</sup>

E-mail :

[ginting1972@yshoo.com](mailto:ginting1972@yshoo.com)<sup>1)</sup>

[jantermh@gmail.com](mailto:jantermh@gmail.com)<sup>2)</sup>

[dsormin17@yahoo.com](mailto:dsormin17@yahoo.com)<sup>3)</sup>

## ABSTRACT

*An electric field will be generated by a charged conductor. This electric field will cause potential space around the conductor. Likewise with transmission lines that produce electric field exposure in a radial direction, space potentials will arise around the transmission line. As a result, conductive objects on earth that are under the transmission network in this case the roof of a house made of zinc will be exposed to an electric field (induced) so that it has a certain potential magnitude with respect to the earth. Exposure to the electric field that occurs at the surface points of an object has different concentrations. Usually around the house there are many trees. This can affect the exposure to the electric field under the transmission network so that the electric field exposure experienced by the roof of the house changes from its original state without the presence of trees. The potential of the roof of the house changes because the potential at a point is the result of the line integral of the electric field at that point.*

**Keywords:** *Trees, Exposure To Electromagnetic Field, Transmission Network*

## ABSTRAK

Suatu medan listrik akan di hasilkan oleh suatu penghantar bermuatan. Medan listrik ini akan menimbulkan potensial – potensial ruang di sekitar penghantar. Begitu juga dengan saluran transmisi yang menghasilkan terpaan medan listrik dalam arah radial, maka akan timbul potensial-potensial ruang disekeliling saluran transmisi. Akibatnya, objek-objek konduktif di bumi yang berada di bawah jaringan transmisi dalam hal ini atap rumah yang terbuat dari seng akan mengalami terpaan medan listrik (terinduksi) sehingga memiliki besaran potensial tertentu terhadap bumi. Paparan medan listrik yang terjadi pada titik-titik permukaan suatu objek memiliki konsentrasi yang berbeda-beda. Biasanya di sekitar rumah banyak terdapat pepohonan. Hal ini dapat mempengaruhi paparan medan listrik di bawah jaringan transmisi sehingga terpaan medan listrik yang di alami oleh atap rumah menjadi berubah dari keadaan semula tanpa keberadaan pohon. Potensial atap rumah menjadi berubah karena potensial di suatu titik merupakan hasil integral garis dari terpaan medan listrik di titik tersebut.

**Kata Kunci:** *Pohon, Paparan Medan Elektromagnetik, Jaringan Transmisi*

## 1. PENDAHULUAN

Sejalan dengan kenaikan tingkat kesejahteraan masyarakat, listrik menjadi kebutuhan manusia yang mendasar dan memegang peranan penting dalam kehidupan sehari-hari. Energi listrik memiliki banyak keunggulan diantaranya mudah dibangkitkan, mudah dikirimkan ke tempat lain yang jauh melalui saluran transmisi dan distribusi, serta mudah untuk di konversikan kedalam bentuk energi lain yang diinginkan. Biasanya, energi listrik disalurkan dari pembangkit ke pusat beban melalui jaringan transmisi tegangan tinggi atau tegangan ekstra tinggi. Dalam pelaksanaannya, penempatan jalur saluran transmisi untuk melayani pusat-pusat beban di perkotaan tidak dapat dihindari melintasi pemukiman penduduk. PLN juga tidak dapat berbuat banyak jika pada jalur tegangan tinggi yang semula kosong kemudian terdapat pemukiman penduduk di bawahnya. Diketahui bahwasanya suatu medan listrik akan dihasilkan oleh suatu penghantar bermuatan. Medan listrik ini akan menimbulkan potensial-potensial ruang di sekitar penghantar. Begitu juga dengan jaringan transmisi yang menghasilkan terpaan medan listrik dalam arah radial, maka akan timbul potensial-potensial ruang di sekeliling saluran transmisi. Akibatnya, objek-objek konduktif di bumi yang berada di bawah jaringan transmisi dalam hal ini atap rumah yang terbuat dari seng akan mengalami terpaan medan listrik (terinduksi) sehingga memiliki besaran potensial tertentu terhadap bumi.

## 2. TINJAUAN PUSTAKA

### Tegangan Induksi Elektrostatis:-

Suatu ilustrasi yang menjelaskan proses terjadinya tegangan induksi elektrostatis adalah berjalan di atas karpet nilon dengan menggunakan sepatu karet, kemudian menyentuh keyboard komputer. Elektron-elektron berpindah dari karpet ke sepatu karet, meninggalkan muatan positif berbentuk seperti kaki pada karpet. Hal ini

akan menginduksikan pemisahan muatan pada tubuh (karena tubuh merupakan konduktor). Muatan positif diinduksikan pada kaki karena kaki merupakan bagian terdekat dengan muatan negatif yang terdapat pada sol sepatu karet, dan muatan negatif diinduksikan (bergerak) ke bagian atas tubuh seperti pada tangan. Ketika jari yang bermuatan negatif mendekati keyboard komputer, elektron-elektron akan mengalir melalui pentanahan keyboard dan meninggalkan muatan positif pada keyboard tersebut. Pada saat jari tangan mendekati keyboard, pemisahan muatan antara jari dan keyboard akan menghasilkan medan elektrostatis yang kuat, yang dapat menginduksikan perbedaan tegangan antara keduanya. Tegangan inilah yang disebut dengan tegangan induksi elektrostatis.

### Saluran Transmisi Tegangan Tinggi

#### Bolak Balik:-

Tenaga listrik sangat banyak digunakan dalam kehidupan sehari-hari, karena tenaga listrik itu dapat dengan mudah disalurkan dan juga mudah di konversikan menjadibentuk energi lain. Tenaga listrik dibangkitkan di Pusat Pembangkit Tenaga Listrik, seperti : Pembangkit Tenaga Listrik Air (PLTA), Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU), Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTP), Pembangkit Listrik Tenaga Gas (PLTG), Pembangkit Listrik Tenaga Diesel (PLTD), Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir (PLTN) dan lain sebagainya. Pusat Pembangkit Tenaga Listrik ini, yang menggunakan tenaga air umumnya sangat jauh dari tempat-tempat dimana tenaga listrik itu digunakan oleh pusat-pusat beban (load centres). Oleh karena itu tenaga listrik yang dibangkitkan disalurkan melalui jaringan transmisi. Spesifikasi tegangan generator pada umumnya antara 6 kV- 24 kV, tegangan ini dinaikkan dengan menggunakan transformator step-up ke tingkat tegangan antara 30 kV-500 kV. Tingkat tegangan yang lebih tinggi diterapkan untuk

memperbesar kapasitas daya hantar dari saluran yang berbanding lurus dengan kuadrat tegangan, sehingga akan memperkecil rugi-rugi daya dan jatuh tegangan pada saluran.

#### **Klasifikasi Saluran Transmisi:-**

Secara umum saluran transmisi dapat diklasifikasikan atas dua kategori yaitu :

1. Saluran udara (overhead lines), yaitu saluran transmisi yang penyalurkan tenaga listrik melalui kawat-kawat penghantar yang terbentang melalui udara.
2. Saluran kabel bawah tanah (underground cables), yaitu saluran transmisi yang menyalurkan tenaga listrik melalui kabel tanam yang ditanam di dalam tanah.

#### **Medan Listrik Dibawah Saluran Transmisi:-**

Medan listrik timbul akibat muatan listrik. Muatan ini mempengaruhi muatan lain di sekitarnya. Kuat medan Listrik ini diukur dalam satuan volt per meter (V/m). Ketika objek terpapar oleh medan listrik, akan memiliki muatan yang sama atau berlawanan. Jika memiliki muatan yang sama akan tolak-menolak dan jika memiliki muatan yang berlawanan, akan tarik-menarik. Medan listrik paling besar berada di dekat saluran dan akan berkurang sesuai dengan jarak. Bahan-bahan yang terbentang akan menjadi perisai bagi medan listrik itu. Medan listrik juga akan mempengaruhi elektron bebas di udara. Pergerakan elektron-elektron bebas di udara akan menyebabkan proses ionisasi yang menghasilkan ion-ion dan elektron bebas baru. Peggandaan elektron bebas itu akan semakin cepat pada udara yang lembab. Seringkali peggandaan elektron bebas itu ditandai dengan terbentuknya korona, yakni percikan busur cahaya, dan juga timbul suara mendesis serta mengeluarkan bau khas yang tajam (disebut dengan bau ozon). Terbentuknya

korona yang terjadi akibat tegangan tinggi yang menghasilkan medan listrik dan medan magnet pada saluran transmisi tegangan tinggi ini sering disebut dengan radiasi gelombang elektromagnetik.

#### **Dampak Medan Listrik:-**

Medan listrik di bawah jaringan transmisi dapat menimbulkan fenomena antara lain:

1. Menimbulkan suara yang mendesis sebagai akibat proses ionisasi yang terjadi pada permukaan penghantar disertai pancaran cahaya keunguan.
2. Rambut dapat berdiri pada bagian badan akibat gaya tarik yang ditimbulkan medan listrik.
3. Lampu neon menyala redup, diakibatkan gas neon di dalam tabung lampu dapat terionisasi.
4. Kejutatan lemah dapat terjadi pada sentuhan pertama pada benda-benda terpapar medan listrik seperti, atap seng, pagar besi, kawat jemuran dan badan mobil.

Sebagai pengaruh dari medan listrik yang dihasilkan oleh jaringan transmisi [1], maka akan terbentuk potensial ruang di sekitar jaringan. Potensial ruang pada titik di bawah jaringan transmisi merupakan suatu fasor yang menunjukkan perbedaan tegangan antara titik tersebut dengan tanah. Seperti pada medan listrik, potensial ruang juga akan terdistorsi dengan adanya kehadiran objek di dalam medan listrik. Sehingga untuk keperluan perhitungan, harga yang umum digunakan adalah harga potensial tanpa adanya objek. Perhitungan potensial yang berada di sekitar saluran transmisi arus bolak-balik dilakukan dengan mengasumsikan bahwa bumi merupakan suatu konduktor sempurna dan waktu pendistribusian muatan terhadap permukaan tanah relatif singkat

### **3. METODE PELAKSANAAN Pengukuran Tegangan Induksi Atap Rumah Di Bawah Saluran Transmisi :-**

## 1. Objek Penelitian

Saluran transmisi sebagai objek penelitian adalah jaringan transmisi yang menghubungkan Gardu Induk Paya Pasir dengan Mabar. Transmisi ini bertegangan tinggi 3 fasa, 150 kV – 50 Hz. Jenis konduktor saluran transmisi adalah tipe “Duck” 1x 300 mm<sup>2</sup>. Objek di sekitar transmisi adalah rumah berukuran 5 x 5 m<sup>2</sup>. Jarak puncak atap ke bumi adalah 5 meter. Atap rumah terbuat dari seng berbentuk prisma. Di sekitar rumah yang akan diteliti, terdapat pohon. Pohon yang diteliti berukuran diameter 2,4 m dan 1,95 m dengan tinggi bervariasi dari 5,5 m sampai 7 m.

## 2. Pemodelan Objek Yang Diteliti

Untuk melihat besarnya pengaruh pohon terhadap tegangan induksi pada atap rumah di bawah jaringan transmisi pada keadaan sebenarnya sulit dilakukan karena banyaknya objek-objek lain selain pohon di sekitar saluran transmisi yang menjadi objek penelitian. Objek-objek ini akan berpengaruh terhadap yang lain sehingga akan mempengaruhi hasil pengukuran. Biasanya jarak pohon terhadap rumah, tingginya dan diameter pohon sudah tetap sehingga untuk melihat pengaruh perubahan parameter-parameter tersebut terhadap tegangan induksi pada atap tidak bisa dilakukan. Oleh karena itu dilakukan pendekatan dengan memodelkan transmisi, rumah dan pohon yang menjadi objek penelitian.

## 2. Peralatan

Dalam pengukuran ini peralatan yang digunakan adalah :

- 1 .Satu buah autotrafo 3 $\Phi$ , 380 VL-L.
- Satu buah osiloskop digital merk Yokogawa DL 1200 A.
- Satu buah voltmeter AC
- Satu buah model saluran transmisi 150 kV.
- Satu buah model rumah dengan atap berbentuk prisma.

- Empat buah konduktor bola dengan diameter 12 cm dan dua buah konduktor bola 10 cm sebagai model dari pohon.

## 5. Prosedur Pengukuran

Prosedur pengukuran adalah sebagai berikut :

- Peralatan yang digunakan disusun dengan output autotrafo pada posisi 0 volt. Model rumah diletakkan di bawah saluran transmisi dengan jarak 1m dari pusat saluran dengan probe terminal osiloskop dihubungkan ke atap dan terminal pembumian.
- Tegangan keluaran autotrafo dinaikkan secara perlahan hingga mencapai 100 volt (L – N) pada pembacaan voltmeter.
- Dicatat tegangan pada atap rumah yang terukur pada osiloskop.
- Setelah tegangan pada atap rumah dicatat, kemudian pohon dengan tinggi 28,2 cm dan diameternya 12 cm diletakkan 10 cm di samping rumah (Gambar 4.3)
- Dicatat tegangan pada atap rumah yang terukur pada osiloskop, yaitu tegangan pada atap setelah ada pohon.
- Setelah tegangan pada atap rumah dicatat, pohon digeser secara garis lurus dari rumah sejauh 20 cm.
- Prosedur 5 dan 6 diulang dengan penambahan jarak 10 cm tiap pergeseran sampai jarak pohon sejauh 50 cm dari rumah.
- Tegangan diturunkan hingga 0 volt kembali.
- Tegangan keluaran autotrafo kemudian dibuat menjadi 125, 150, 175 serta 200 volt (L – N) dan prosedur di atas diulang untuk tiap kenaikan tegangan.
- Kemudian untuk tegangan keluaran autotrafo yang sama serta jarak pohon yang tetap yaitu 10 cm dari rumah, tinggi pohon dibuat bervariasi yaitu 30,7 ; 33,3 dan 35,8 cm.

- Dicatat tegangan pada atap rumah untuk masing-masing pohon.
- Prosedur di atas diulang untuk 2 pohon dan untuk 4 pohon di sekitar rumah.
- Untuk melihat pengaruh diameter pohon, dapat menggunakan pohon yang diameternya 10 cm.

#### 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dapat dilihat bahwa faktor-faktor yang mempengaruhi potensial suatu titik di bawah jaringan transmisi adalah muatan pada konduktor yang dipengaruhi oleh tegangan saluran transmisi dan faktor ukuran jarak (geometris), baik itu ukuran geometris dari saluran ataupun jarak objek (titik) ke saluran. Verifikasi hasil pengukuran pada Bab IV menunjukkan bahwa faktor geometris (perbandingan jarak dari keadaan sebenarnya dengan ukuran jarak pada model) tidak mempengaruhi nilai tegangan jika hasil pengukuran pada model akan dikonversikan ke nilai tegangan induksi atap rumah yang sebenarnya. Nilai tegangan induksi atap rumah pada keadaan sebenarnya sama dengan nilai tegangan induksi atap rumah pada model untuk tegangan saluran transmisi yang sama. Perubahan nilai tegangan induksi atap rumah sebanding dengan perubahan tegangan saluran transmisi.

Jadi jika nilai tegangan induksi atap rumah pada model diubah ke nilai yang sebenarnya maka hasil pengukuran tegangan induksi atap rumah pada model dikalikan dengan suatu faktor pengali tegangan.

Pada keadaan sebenarnya akan diperoleh :

$$V_{\text{atap rumah sebenarnya}} = V_{\text{model}} \times f_{\text{tegangan}}$$

Faktor pengali tegangan untuk masing-masing tegangan saluran transmisi yang dibuat pada pemodelan adalah

- Untuk tegangan saluran 173 volt (L-L), maka faktor skala

$$\text{tegangannya adalah :} \\ \frac{150 \text{ kV}}{173 \text{ volt}} = 866,03$$

Dengan metode yang serupa faktor pengali tegangan ( $f_{\text{tegangan}}$ ) dapat diperoleh untuk berbagai tegangan saluran transmisi.

Tabel 1. Faktor pengali tegangan

Tegangan saluran transmisi pada model (L – L) (volt)	$f_{\text{tegangan}}$
173	866,03
216	692,82
259	577,35
303	494,87
346	433,01

Untuk tegangan induksi atap rumah tanpa pohon di sekitar rumah, maka nilai tegangan induksi atap rumah yang sebenarnya adalah :

Tabel 2. Tegangan induksi atap rumah sebenarnya tanpa pohon di sekitar rumah, jarak rumah 19,54 m dari saluran, tinggi rumah 5 m (saluran transmisi 150 kV)

Tegangan saluran (L – L) (volt)	Tegangan induksi atap rumah (milivolt)	$f_{\text{tegangan}}$	Tegangan induksi atap rumah sebenarnya (volt)
173	9,2	866,03	<b>13,86</b>
216	11,4	692,82	<b>12,75</b>
259	12,4	577,35	<b>11,78</b>
303	14,6	494,87	<b>11,28</b>
346	16,4	433,01	<b>11,26</b>

Maka, tegangan iduksi atap rumah sebenarnya untuk saluran transmisi 150 k V adalah :

$$\frac{13,86 + 12,75 + 11,78 + 11,28 + 11,26}{5} = \frac{60,93}{5} = 12,19 \text{ volt}$$

Hasil perhitungan simpangan baku ditunjukkan pada Tabel 3 sebagai berikut :

Tabel 3. Perhitungan simpangan baku

Tegangan saluran	Tegangan induksi atap rumah ( $V_{atap}$ )	$V_{atap}^2$
150 kV	13,86	192,09
	12,75	162,56
	11,78	138,77
	11,28	127,24
	11,26	126,79
	$\sum V_{atap} = 60,93$	$\sum V_{atap}^2 = 747,46$

Simpangan Bakunya adalah :

$$SB = \sqrt{\frac{5 \sum V_{atap}^2 - (\sum V_{atap})^2}{20}}$$

$$SB = \sqrt{\frac{5 \cdot 747,46 - (60,93)^2}{20}}$$

$$SB = 1,11$$

Dengan metode yang sama maka tegangan induksi atap rumah yang sebenarnya untuk saluran transmisi 150 kV jika ada pohon di sekitar rumah dapat diperoleh seperti pada Tabel 4, Tabel 5, dan Tabel 6 berikut ini :

Tabel 4. Tegangan induksi atap rumah sebenarnya dengan tinggi pohon yang sama (tinggi pohon 5,5 m dan diameter pohon 2,4 m) di sekitar rumah untuk berbagai jarak pohon (s)

Tegangan saluran (L-L)	Jumlah Pohon	Tegangan induksi atap rumah (mV)				
		s = 1,95	s = 3,90	s = 5,90	s = 7,80	s = 9,80
150 kV	1 pohon	10,6	11,13	11,58	11,70	12,08
		$\Delta V = 13,1$	$\Delta V = 8,7$	$\Delta V = 5,0$	$\Delta V = 4,0$	$\Delta V = 0,9$
		SB = 1,29	SB = 1,02	SB = 1,10	SB = 1,34	SB = 1,06
	2 pohon	9,34	10,36	10,79	11,18	11,55
		$\Delta V = 23,4$	$\Delta V = 15,0$	$\Delta V = 11,5$	$\Delta V = 8,3$	$\Delta V = 5,3$
		SB = 1,19	SB = 1,22	SB = 1,17	SB = 1,11	SB = 1,21
	4 pohon	8,23	8,91	9,60	9,87	11,01
		$\Delta V = 32,5$	$\Delta V = 26,9$	$\Delta V = 21,3$	$\Delta V = 19,0$	$\Delta V = 9,68$
		SB = 0,93	SB = 0,99	SB = 1,02	SB = 0,5	SB = 1,10

Keterangan : s = jarak pohon dari rumah (m)

$\Delta V$  = pengurangan tegangan dari keadaan tanpa pohon (%)

SB = simpangan baku

Tabel 5. Tegangan induksi atap rumah sebenarnya dengan tinggi pohon yang berbeda (diameter pohon 2,4 m) di sekitar rumah

Tegangan saluran (L-L)	Jumlah pohon	Tegangan induksi atap rumah (volt)			
		h=5,5	h=6,0	h=6,5	h=7,0
150 kV	1 pohon	10,60	10,36	10,12	9,98

		$\Delta V=13,1$	$\Delta V=15,0$	$\Delta V=17,0$	$\Delta V=18,1$
		SB=1,29	SB=1,22	SB=1,15	SB=1,11
	2 pohon	9,34	9,10	8,84	8,70
		$\Delta V=23,4$	$\Delta V=25,4$	$\Delta V=27,5$	$\Delta V=28,6$
		SB=1,19	SB=1,12	SB=1,06	SB=1,18

Ket:

$h$  = tinggi pohon (m)

$\Delta V$  = pengurangan tegangan dari keadaan tanpa pohon (%)

SB = simpangan baku

Tabel 6. Tegangan induksi atap rumah sebenarnya dengan diameter pohon yang berbeda di sekitar rumah (tinggi pohon 5,5 m)

Tegangan saluran (L-L)	Tegangan induksi atap rumah (Volt)			
	1 pohon, D = 2,40 m	1 pohon, D = 1,95m	2 pohon, D = 2,40 m	2 pohon, D = 1,95 m
150 kV	10,60	11,34	9,43	11,24
	$\Delta V=13,1$	$\Delta V=6,9$	$\Delta V=23,4$	$\Delta V=7,8$
	SB=1,29	SB=1,50	SB=1,19	SB=1,12

D = diameter pohon

$\Delta V$  = pengurangan tegangan dari keadaan tanpa pohon (%)

SB = simpangan baku

## 5. SIMPULAN DAN SARAN

### KESIMPULAN:-

Dari data yang diperoleh pada pengukuran serta analisis data yang dilakukan, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

- Objek-objek di sekitar jaringan transmisi tegangan tinggi bolak-balik dalam hal ini rumah dengan atap seng, memiliki tegangan induksi sebagai akibat dari paparan medan listrik yang dihasilkan oleh jaringan transmisi tersebut.
- Adanya pohon di sekitar rumah akan membuat tegangan induksi pada atap rumah semakin kecil (berkurang).

Dalam hal ini berarti pohon berfungsi sebagai perisai bagi medan listrik.

- Semakin banyak jumlah pohon di sekitar rumah maka pengurangan tegangan induksi pada atap yang diperoleh akan semakin besar.
- Semakin tinggi pohon di sekitar rumah maka pengurangan tegangan induksi pada atap yang diperoleh juga akan semakin besar. Untuk pohon yang semakin tinggi perlu diperhatikan jaraknya dari saluran transmisi agar tidak terjadi flashover dari saluran ke pohon.
- Semakin kecil diameter pohon maka luas bidang atap rumah yang

dilindungi oleh pohon akan semakin kecil juga sehingga tegangan atap rumah akan semakin besar.

## **SARAN**

Untuk mengurangi efek medan listrik dari jaringan transmisi tegangan tinggi di sekitar rumah di bawah jaringan transmisi perlu ditanami pohon, karena dari segi keindahan pohon memiliki keunggulan daripada menggunakan perisai yang lain dan juga dari segi ekonomi pohon lebih murah tetapi tinggi pohon perlu diperhatikan sehingga tidak terjadi flashover dari saluran ke pohon.

## **6. DAFTAR PUSTAKA**

1. J.Napitupulu, Pengaruh Medan Listrik Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT) pada Kesehatan dan Lingkungan Hidup. Jurnal Sains dan Teknologi ISTP:ISSN: 2086-2156
2. Clayton R. Paul, "Introduction to Electromagnetic Compatibility".
3. Electric Power Research Institute, "Transmission Line Reference Book", California, 1982.
4. Hutauruk, Prof. Ir. "Transmisi Daya Elektrik", Erlangga.
5. Ritonga, Abdurahman, "Statistika Terapan Untuk Penelitian", Lembaga Penerbit Fakultas Ekonomi UI, 1987.
6. Sears. Zemansky, "Fisika Untuk Universitas 2".
7. Shen, Lian Chi, Kong Jin Au, "*Aplikasi Elektromagnetik, jilid II*", Erlangga, 1995.
8. Stanley V. Marshall ; Richard E. DuBroff ; Gabriel G.S., "Electromagnetic Concepts and Applications", fourth edition.
9. Tobing, D.L, "Fisika Dasar 1", Gramedia, 1996.
10. Weeks, Walter.L, "*Transmission and Distribution of Electrical Energy*", Harper and Row, Publisher, New York, 1981.