

# Karakteristik Impedansi Pentanahan pada Gedung Psikologi UMS

Agus Supardi, Sriyono  
Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Surakarta  
Jl. A. Yani Tromol Pos 1 Pabelan Kartasura

## **Abstrak**

*Impedansi pentanahan tidak bersifat sebagai tahanan murni (R) saja tetapi mempunyai komponen induktansi (L) dan kapasitansi (C). Adanya komponen L dan C ini akan menyebabkan nilai impedansi pentanahannya dipengaruhi oleh frekuensi.*

*Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh frekuensi arus injeksi terhadap impedansi pentanahan elektrode batang pada gedung Psikologi UMS. Penelitian dilakukan dengan menancapkan 3 buah elektrode batang sedalam 2m-3m yang diinjeksi arus dengan frekuensi bervariasi mulai dari 100 Hz – 100 kHz. Setelah itu dilakukan pengukuran arus dan tegangan untuk mengetahui besarnya impedansi pentanahannya.*

*Dari penelitian diperoleh hasil bahwa besarnya impedansi pentanahan sangat ditentukan oleh frekuensi arus injeksi. Pada frekuensi rendah impedansi pentanahannya cenderung rendah tetapi pada frekuensi tinggi impedansi pentanahannya cenderung tinggi.*

**Kata Kunci:** *Frekuensi, impedansi pentanahan, elektrode batang.*

## 1. Pendahuluan

Sistem pentanahan baik untuk pentanahan netral dari suatu sistem tenaga listrik, pentanahan sistem penangkal petir dan pentanahan untuk peralatan khususnya telekomunikasi perlu mendapatkan perhatian serius, karena pada dasarnya pentanahan tersebut merupakan dasar perhitungan suatu proteksi. Sistem pentanahan merupakan dasar perhitungan suatu sistem proteksi. Tidak jarang baik orang awam maupun teknisi bahkan seorang insinyur listrik, masih kurang tepat dalam menginterpretasikan impedansi pentanahan yang merupakan besaran yang sangat dominan untuk diperhatikan dari suatu sistem pentanahan tersebut.

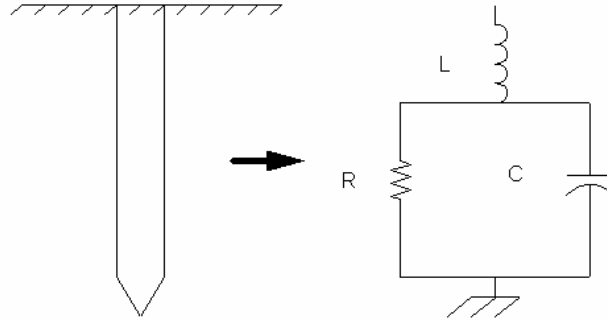
Dengan menggunakan analisis FFT (*fast fourier transform*) pada arus yang mengalir pada sistem pentanahan dapat diketahui spektrum frekuensinya. Menurut Anggoro (2002) perilaku impedansi sistem pentanahan sangat bergantung pada frekuensi (dasar dan harmonisanya) dari arus yang mengalir ke sistem pentanahan tersebut.

Permasalahan yang penting dalam suatu pentanahan baik untuk penangkal petir atau pentanahan netral sistem tenaga adalah seberapa besar impedansi sistem pentanahan tersebut. Besar impedansi pentanahan tersebut sangat dipengaruhi oleh banyak faktor baik faktor internal maupun faktor eksternal. Yang dimaksud

dengan faktor internal meliputi dimensi konduktor pentanahan (diameter dan panjangnya), resistivitas relatif tanah, dan konfigurasi sistem pentanahan. Sedangkan yang dimaksud dengan faktor eksternal meliputi bentuk arus (pulsa, sinusoidal, searah) dan frekuensi arus yang mengalir.

Hambatan jenis tanah yang akan menentukan impedansi pentanahan dipengaruhi oleh beberapa faktor yang meliputi temperatur, gradien tegangan, besar arus, kandungan air dan bahan kimia, kelembaban serta cuaca. Untuk mengetahui harga hambatan jenis tanah yang akurat diperlukan pengukuran secara langsung pada lokasi, karena struktur tanah yang sesungguhnya tidak sesederhana yang diperkirakan, untuk setiap lokasi yang berbeda mempunyai hambatan jenis tanah yang tidak sama (Hutauruk, 1991).

Biasanya, desain pentanahan dilakukan dengan mencari titik temu antara keamanan dan meminimalkan biayanya. Pada frekuensi rendah, solusi terbaiknya didasarkan pada sistem pentanahan grid dengan jarak antar elektrode yang tak sama. Penelitian tentang karakteristik sistem pentanahan grid dianalisis dan dibandingkan dengan grid yang biasa (Otero et al., 2002). Hasilnya menunjukkan bahwa unjuk kerja sistem pentanahan sangat dipengaruhi oleh frekuensi dari arus yang diinjeksikan. Frekuensi tinggi sangat penting dipertimbangkan. Biasanya, desain pentanahan grid dilakukan dengan memfokuskan pada frekuensi rendah



**Gambar 1.** Rangkaian pengganti elektrode pentanahan

yang mana dengan jarak pemisah elektrode yang tak sama adalah lebih efisien daripada dengan jarak pemisah elektrode yang sama. Meskipun begitu, ketika frekuensi naik seperti saat terjadi petir, sistem pentanahan ini dapat mempunyai impedansi yang lebih tinggi sehingga akan mengurangi keamanan sistem.

Pada gedung Psikologi UMS terdapat pentanahan dari sistem penangkal petir. Menurut anggoro (2002), arus yang mengalir pada saat terjadi sambaran petir terdiri atas frekuensi rendah dan frekuensi tinggi. Dengan demikian apabila arus sambaran petir tersebut mengalir ke dalam sistem pentanahan maka nilai impedansi pentanahannya juga akan dipengaruhi oleh frekuensinya. Dalam tulisan ini akan dibahas pengaruh frekuensi arus injeksi terhadap magnitudo impedansi pentanahan elektrode batang pada gedung Psikologi UMS.

**2. Landasan Teori**

Rangkaian ekuivalen satu elektrode batang dibuat dengan elemen rangkaian terkonsentrasi (Gonos, et al., 1998, 1999) seperti ditunjukkan pada gambar 1.

Model tersebut didasarkan kenyataan bahwa impedansi pentanahan tidak bersifat sebagai tahanan murni tetapi juga berperilaku sebagai induktansi (L) dan kapasitansi (C). Tahanan murni (R) lebih banyak disebabkan karena adanya sifat resistivitas tanah dimana sistem pentanahan tersebut ditanam. Induktansi (L) lebih dipengaruhi oleh panjang konduktor yang ditanam dan sifat permeabilitas tanah. Seperti halnya sifat induktansi yang lain, maka makin panjang konduktor yang ditanam maka makin besar induktansi sistem pentanahannya. Komponen kapasitor dari sistem pentanahan dapat diterangkan dari konduktor yang saat ini diinjeksi arus berarti konduktor tersebut bertegangan. Beda tegangan antara konduktor dengan titik nol referensi menyebabkan sifat kapasitansi dari sitem tersebut dengan media tanah yang mempunyai permitivitas ε. Dengan demikian, impedansi pentanahan dapat dibuat rangkaian ekuivalennya seperti gambar 1.

Untuk satu batang elektrode pentanahan yang mempunyai panjang l dan radius r ditanam tegak lurus pada tanah yang mempunyai resistivitas tanah ρ homogen, maka elektrode bersama tanah akan

mempunyai tahanan, induktansi dan kapasitansi yang besarnya adalah:

$$R = \frac{\rho}{2\pi l} \left[ \ln \frac{4l}{r} - 1 \right] \tag{1}$$

$$L = 2.l.\ln \left[ \frac{2l}{r} \right].10^{-7} \tag{2}$$

$$C = \frac{\epsilon_r.l}{18.\ln \frac{4l}{r}}.10^{-9} \tag{3}$$

dengan,

- R : tahanan pengetanahan (ohm)
- ρ : resistivitas tanah (ohm-m)
- l : panjang elektrode pentanahan (m)
- r : radius elektrode pentanahan (m)
- ε<sub>r</sub> : permitivitas relatif tanah

Berdasarkan model sistem pentanahan yang dipakai dapat dihitung besarnya impedansi pentanahan tersebut.

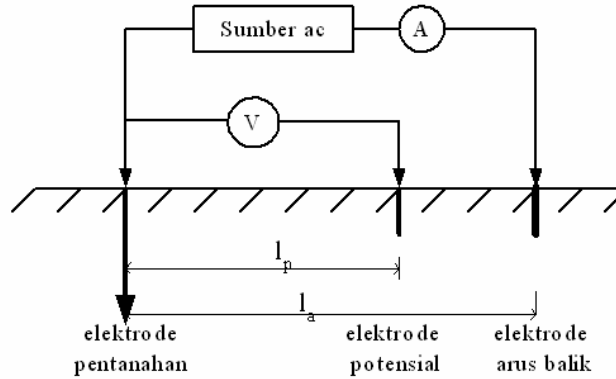
$$Z = j\omega L + \frac{R \cdot \frac{1}{j\omega C}}{R + \frac{1}{j\omega C}}$$

$$Z = j\omega L + \left( \frac{-j \frac{R}{\omega C}}{R - \frac{j}{\omega C}} \right) \left( \frac{R + \frac{j}{\omega C}}{R + \frac{j}{\omega C}} \right)$$

$$Z = j\omega L + \left( \frac{-j \frac{R^2}{\omega C} + \frac{R}{(\omega C)^2}}{R^2 + \frac{1}{(\omega C)^2}} \right)$$

$$Z = j\omega L + \left( \frac{1}{R^2 + \frac{1}{(\omega C)^2}} \right) \left( \frac{R}{(\omega C)^2} \right) - j \left( \frac{1}{R^2 + \frac{1}{(\omega C)^2}} \right) \left( \frac{R^2}{\omega C} \right)$$

Bila besar R, L dan C selalu konstan berarti akan terjadi frekuensi resonansi bila komponen imajiner dari impedansi sama dengan nol.



Gambar 2. Rangkaian pengukuran impedansi pentanahan

$$\omega L - \frac{R^2}{\omega C \left( R^2 + \left( \frac{1}{\omega C} \right)^2 \right)} = 0$$

$$\frac{R^2}{\omega C \left( R^2 + \left( \frac{1}{\omega C} \right)^2 \right)} = \omega L$$

$$\frac{R^2}{R^2 \omega C + \frac{1}{\omega C}} = \omega L$$

$$R^2 \omega C = \omega L (R^2 \omega^2 C^2 + 1)$$

$$R^2 C = L (R^2 \omega^2 C^2 + 1)$$

$$R^2 C^2 L \omega^2 = R^2 C - L$$

$$\omega^2 = \frac{R^2 C - L}{R^2 C^2 L}$$

$$\omega = \sqrt{\frac{R^2 C - L}{R^2 C^2 L}} \quad (4)$$

Dengan demikian frekuensi resonansi terjadi pada saat

$$f_R = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{R^2 C - L}{R^2 C^2 L}} \quad (5)$$

Pada saat ini impedansi pentanahannya akan minimum yang disebut dengan impedansi resonansi yang bernilai sebesar

$$Z_R = \frac{R}{(R^2 \omega^2 C^2 + 1)} \quad (6)$$

### 3. Metode Penelitian

#### 3.1. Bahan penelitian

- Elektrode batang dengan diameter 10 mm terbuat dari tembaga.

- Bahan pelengkap untuk merupakan bahan pendukung selama penelitian.

#### 3.2. Alat penelitian

- Sumber tegangan dengan frekuensi variabel untuk menginjeksikan arus dengan berbagai frekuensi pada sistem pentanahan.
- Multimeter digital Sanwa CD-800A untuk mengukur arus secara teliti
- Multimeter digital Kyoritsu 1008 untuk mengukur tegangan secara teliti
- Alat pendukung penelitian

#### 3.3. Pengukuran Impedansi Pentanahan

Pengukuran impedansi pentanahan didasarkan pada tegangan jatuh yang terjadi di permukaan tanah akibat adanya arus yang diinjeksikan melalui elektrode pentanahan. Metode pengukuran yang digunakan menggunakan metode 3 titik yaitu titik elektrode pentanahan, titik arus balik dan titik potensial permukaan tanah seperti ditunjukkan pada gambar 2.

Pada penelitian ini akan digunakan 3 batang elektrode pentanahan dengan diameter 10 mm yang ditanam sedalam 2m dan 3m di sekitar titik pentanahan sistem penangkal petir Gedung Psikologi UMS. Pengukuran dilakukan pada berbagai frekuensi arus injeksi.

### 4. Hasil Penelitian dan Pembahasan

Pengukuran impedansi pentanahan dengan sumber tegangan frekuensi variabel dimaksudkan untuk mengetahui pengaruh frekuensi terhadap nilai impedansi pentanahan. Pengukuran dilakukan mulai dari frekuensi 100 Hz sampai 100 kHz. Elektrode pentanahan ditanam sedalam 2m dan 2,5m. Jarak antara elektrode pentanahan (E) dan elektrode arus balik (C) sejauh 15 m. Sedangkan jarak antara elektrode pentanahan (E) dan elektrode potensial (P) sejauh 8m. Hasil pengukuran dan perhitungan impedansi pentanahannya ditunjukkan pada tabel 1.

Untuk mengetahui pengaruh frekuensi arus injeksi terhadap besarnya impedansi pentanahan maka hasil

**Tabel 1.** Hasil pengukuran impedansi pentanahan pada kedalaman 2m

Fekkuensi (Hz)	1 elektrode			2 elektrode			3 elektrode		
	Arus (mA)	Tegangan (V)	Impedansi ( $\Omega$ )	Arus (mA)	Tegangan (V)	Impedansi ( $\Omega$ )	Arus (mA)	Tegangan (V)	Impedansi ( $\Omega$ )
100	150	0.684	4.56	150	0.415	2.766667	150	0.323	2.153333
500	150	0.675	4.5	150	0.411	2.74	150	0.319	2.126667
1000	150	0.672	4.48	150	0.405	2.7	150	0.317	2.113333
5000	100	0.381	3.81	100	0.24	2.4	100	0.196	1.96
10000	50	0.176	3.52	50	0.152	3.04	50	0.147	2.94
20000	15.09	0.142	9.410205	14.91	0.142	9.52381	14.72	0.138	9.375
30000	3.3	0.145	43.93939	3.28	0.143	43.59756	3.29	0.137	41.64134
40000	0.38	0.142	373.6842	0.31	0.137	441.9355	0.32	0.138	431.25
50000	0.3	0.145	483.3333	0.28	0.139	496.4286	0.29	0.139	479.3103
60000	0.26	0.142	546.1538	0.32	0.139	434.375	0.25	0.142	568
70000	0.27	0.141	522.2222	0.27	0.141	522.2222	0.26	0.143	550
80000	0.63	0.142	225.3968	0.69	0.13	188.4058	0.83	0.143	172.2892
90000	0.26	0.138	530.7692	0.26	0.136	523.0769	0.26	0.14	538.4615
100000	0.26	0.141	542.3077	0.25	0.135	540	0.25	0.138	552

**Tabel 2.** Hasil pengukuran impedansi pentanahan pada kedalaman 2,5m

Fekkuensi (Hz)	1 elektrode			2 elektrode			3 elektrode		
	Arus (mA)	Tegangan (V)	Impedansi ( $\Omega$ )	Arus (mA)	Tegangan (V)	Impedansi ( $\Omega$ )	Arus (mA)	Tegangan (V)	Impedansi ( $\Omega$ )
100	150	0.493	3.286667	150	0.326	2.173333	150	0.26	1.733333
500	150	0.489	3.26	150	0.324	2.16	150	0.255	1.7
1000	150	0.485	3.233333	150	0.319	2.126667	150	0.253	1.686667
5000	100	0.279	2.79	100	0.199	1.99	100	0.17	1.7
10000	50	0.145	2.9	50	0.153	3.06	50	0.136	2.72
20000	15.25	0.137	8.983607	15.14	0.145	9.577279	15.31	0.12	7.838014
30000	3.5	0.135	38.57143	3.5	0.149	42.57143	3.47	0.131	37.75216
40000	0.62	0.146	235.4839	0.7	0.15	214.2857	0.61	0.132	216.3934
50000	0.28	0.132	471.4286	0.29	0.153	527.5862	0.3	0.131	436.6667
60000	0.28	0.133	475	0.3	0.136	453.3333	0.31	0.132	425.8065
70000	0.29	0.144	496.5517	0.27	0.133	492.5926	0.29	0.128	441.3793
80000	0.96	0.141	146.875	0.94	0.132	140.4255	0.75	0.13	173.3333
90000	0.57	0.142	249.1228	0.44	0.133	302.2727	0.39	0.136	348.7179
100000	0.3	0.139	463.3333	0.29	0.133	458.6207	0.3	0.133	443.3333

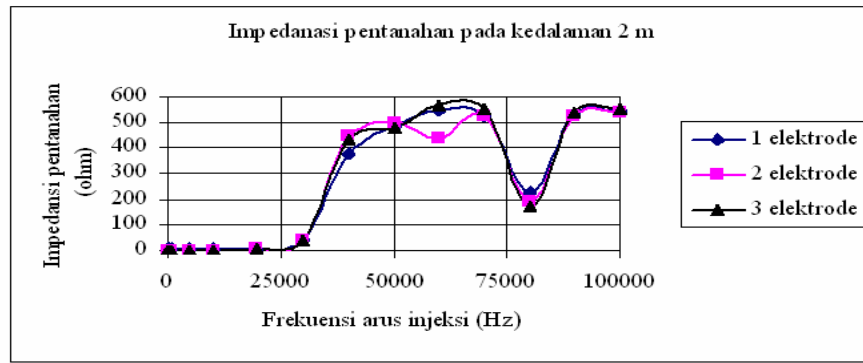
pengujian ditampilkan dalam bentuk grafik seperti ditunjukkan gambar 3.

Dari tabel 1, tabel 2 dan gambar 3 dapat dilihat bahwa pada keseluruhan kedalaman dan keseluruhan jumlah elektrode pentanahan akan berlaku pada frekuensi rendah impedansi pentanahan akan cenderung rendah dan pada frekuensi yang tinggi impedansinya akan cenderung tinggi. Pada frekuensi 100 Hz – 5000 Hz, kenaikan frekuensi akan mengakibatkan penurunan impedansi pentanahan. Bila frekuensi dinaikkan lagi maka impedansi pentanahannya juga akan semakin besar. Kenaikan impedansi pentanahan paling besar terjadi dari frekuensi 30 kHz ke frekuensi 40 kHz. Kondisi tersebut terjadi juga pada frekuensi yang lebih tinggi. Kenaikan frekuensi dari 70 kHz ke 80 kHz menyebabkan penurunan impedansi pentanahan tetapi bila frekuensinya dinaikkan lagi maka impedansi pentanahannya akan naik lagi.

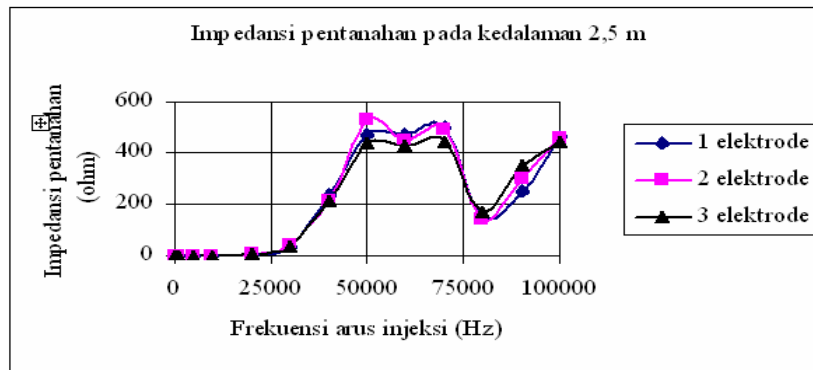
Fenomena ini mengindikasikan bahwa pada sistem pentanahan selain resistansi juga terdapat induktansi dan

kapasitansi. Resistansi (R) lebih banyak disebabkan karena adanya sifat resistivitas tanah dimana sistem pengetanahan tersebut ditanam. Induktansi (L) lebih dipengaruhi oleh panjang konduktor yang ditanam dan sifat permeabilitas tanah, seperti halnya sifat induktansi yang lain bahwa makin panjang konduktor yang ditanam, maka makin besar nilai induktansi sistem pentanahannya. Komponen kapasitif dapat dijelaskan dari konduktor yang diinjeksi arus yang berarti konduktor tersebut bertegangan. Beda tegangan antara konduktor dengan titik nol referensi yang mengelilingi konduktor menyebabkan sifat kapasitansi dari sistem tersebut dengan media tanah yang mempunyai sifat permitivitas  $\epsilon$ .

Fenomena di atas dapat dijelaskan bahwa saat frekuensinya nol (dc), maka impedansi pentanahan akan akan ditentukan oleh resistansinya saja. Saat frekuensinya naik (ac), maka impedansi pentanahan akan ditentukan oleh ketiga elemen R, L, dan C. Nilai reaktansi induktif ( $X_L$ ) dan reaktansi kapasitif ( $X_C$ )



(a)



(b)

**Gambar 3.** Impedansi pentanahan pada gedung Psikologi UMS  
(a) Pada kedalaman 2m (b) Pada kedalaman 2,5m

sendiri sangat ditentukan oleh frekuensinya. Ditinjau dari fasornya, reaktansi induktif dan reaktansi kapasitif mempunyai arah yang saling berlawanan sehingga saling mengurangi. Saat frekuensi naik hingga mencapai suatu nilai tertentu, maka nilai reaktansi induktif dan nilai reaktansi kapasitif adalah sama besar. Akibatnya keduanya saling meniadakan sehingga impedansi pentanahannya bernilai paling kecil. Frekuensi yang menyebabkan nilai impedansi pentanahan terkecil dinamakan frekuensi resonansi ( $f_R$ ) dan impedansinya dinamakan impedansi resonansi ( $Z_R$ ). Saat frekuensinya lebih besar dari frekuensi resonansi maka reaktansi induktif dan reaktansi kapasitif tidak bernilai sama lagi. Akibatnya nilai impedansi pentanahan akan naik terus.

Dikaitkan dengan sistem pentanahan penangkal petir, maka fenomena ini perlu diperhatikan dalam perancangan sistem pentanahannya. Hal ini agar pada

saat terjadi sambaran petir, impedansi pentanahannya tidak terlalu tinggi. Bila impedansi pentanahan terlalu tinggi maka tegangan di permukaan tanahnya juga akan terlalu tinggi sehingga akan berbahaya bagi manusia yang berada di lokasi tersebut.

## 5. Kesimpulan

1. Nilai impedansi pentanahan sangat ditentukan oleh frekuensi arus mengalir padanya. Pada frekuensi rendah impedansi pentanahannya cenderung rendah tetapi pada frekuensi tinggi impedansi pentanahannya cenderung lebih tinggi.
2. Saat frekuensi arus mencapai frekuensi resonansi maka impedansi pentanahannya akan bernilai paling kecil.

## Daftar Pustaka

- [1] Blattner C.J., 1982, *Study of Driven Ground Rods and Four Point Soil Resistivity Tests*, IEEE Trans. On PAS, August, 1982
- [2] Gonos, I.F., Antonion, M.K., F.V and Stathopulus I.A., 1998, *Behaviour of a Grounding Systems Under Impuls Lightning Current*, 6<sup>th</sup> International Conference and Exhibition on Optimization of Electrical and Electronic, May 1998, Romania
- [3] Gonos, I.F., Topolis, F.V. and Stathopulus I.A., 1999, *Transient Impedance of Grounding Rods*, IEE High Voltage Engineering Symposium, Conference Publication No 467

- [4] Hutaeruk, T.S., 1991, *Pengetanahan Netral Sistem Tenaga dan Pengetanahan Peralatan*, Erlangga, Jakarta
- [5] IEEE, 1983, *Guide for Measuring Earth Resistivity, Ground Impedance, and Earth Surface Potentials of a Ground System*, IEEE Std 81
- [6] Otero, A.F. and Cidrh, J., *Frequency Analysis of Grounding Systems*, IEEE Transaction on Power Delivery, Mart, 1998
- [7] Otero, A.F., Cidrh, J., and Garrido, C., 2000, *Geometrical Considerations in the Frequency Behaviour of Grounding Systems*, IEEE Transaction on Power Delivery, June, 2000
- [8] Pijpaert, K., 1999, *Peraturan Umum untuk Elektrode Bumi dan Penghantar Bumi*  
<http://www.elektroindonesia.com> Nomor 24, Tahun V, Januari 1999
- [9] Rajagukguk, M., 2002, *Analisis Transien Perilaku Sistem Pembumian Driven Rod*, Seminar nasional dan Workshop Tegangan Tinggi V 2002, Yogyakarta
- [10] Sowa, A and Wiater, J., 2004, *Decreasing Lightning Shock Hazard at the HV Substation by the Modification of the Grounding System*, IEEE Transaction on Power Delivery, January, 2004