

# Pengaruh Frekuensi Arus terhadap Magnitude Impedansi Pentanahan Satu Elektrode Batang

Agus Supardi

Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Surakarta

## **Abstrak**

*Telah diketahui bersama bahwa impedansi pentanahan tidak bersifat sebagai tahanan murni (R). Impedansi pentanahan ini mempunyai komponen induktansi (L) dan kapasitansi (C). Dengan demikian, besarnya impedansi pentanahan akan dipengaruhi oleh besar frekuensi dari arus yang mengalir padanya. Pada tulisan ini dibahas tentang pengaruh frekuensi terhadap nilai impedansi pentanahan. Dari simulasi diperoleh hasil bahwa nilai impedansi pentanahan sangat dipengaruhi oleh frekuensi arus yang mengalir. Nilai paling kecil tercapai saat frekuensi resonansi.*

**Kata Kunci:** *Frekuensi, impedansi, 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 hambatan pentanahan. Besaran yang sangat dominan untuk diperhatikan dari suatu sistem pentanahan adalah hambatan sistem pentanahan tersebut. Sampai saat ini orang mengukur hambatan pentanahan hanya dengan menggunakan alat *earth tester* yang prinsipnya mengalirkan arus searah ke dalam sistem pentanahan. Sedangkan kenyataannya yang terjadi suatu sistem pentanahan tersebut tidak pernah dialiri arus searah, karena biasanya berupa sinusoidal atau bahkan berupa impuls (petir) dengan frekuensi tingginya atau berbentuk arus berubah waktu yang sangat tidak menentu bentuknya.

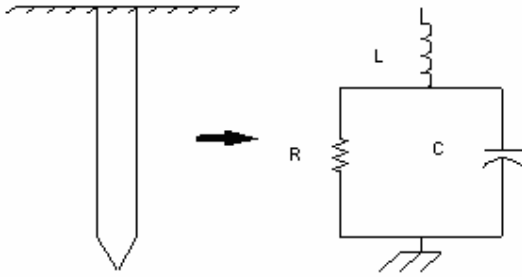
Dengan menggunakan analisis FFT (*fast fourier transform*) pada arus yang mengalir pada sistem pentanahan dapat diketahui spektrum frekuensinya. Menurut Anggoro (2002) perilaku tahanan sistem pentanahan sangat bergantung pada frekuensi (dasar dan harmonisanya) dari arus yang mengalir ke sistem pentanahan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

Permasalahan yang penting dalam suatu pentanahan baik untuk penangkal petir atau pentanahan netral sistem tenaga adalah berapa 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 hambatan 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 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.



Gambar 1. Rangkaian pengganti elektrode pentanahan

Dalam tulisan ini akan dibahas pengaruh frekuensi terhadap magnitude impedansi pentanahan satu elektrode batang dengan menggunakan bantuan software EMTP (*Electromagnetic Transient Program*).

## 2. Landasan Teori

Rangkaian ekuivalen satu elektrode batang dibuat dengan elemen rangkaian terkonsentrasi (Gonos, et al., 1998, 1999) seperti 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  $\epsilon$ . 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  $\rho$  homogen, maka elektrode bersama tanah akan mempunyai tahanan, induktansi dan kapasitansi yang besarnya adalah:

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

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

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

Dengan,

R : tahanan pengetanahan (ohm)

$\rho$  : resistivitas tanah (ohm-m)  
 l : panjang elektrode pentanahan (m)  
 r : radius elektrode pentanahan (m)  
 $\epsilon_r$  : 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.

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

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

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

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

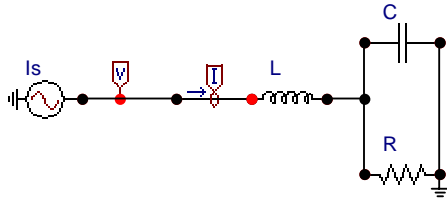
$$R^2 C = L (R^2 \omega^2 C^2 + 1)$$

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

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

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

Dengan demikian frekuensi resonansi terjadi pada saat



Gambar 2. Model sistem pentanahan dalam EMTP

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

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. Pemodelan Sistem Pentanahan

Dengan bantuan software EMTP (*Electromagnetic Transient Program*) dilakukan simulasi pengaruh frekuensi terhadap magnitude impedansi pentanahan satu elektrode batang. Dalam simulasi dengan EMTP, langkah yang perlu dilakukan adalah memodelkan seluruh komponen impedansi pentanahan untuk mendeteksi keadaan yang sesungguhnya.

Dalam tulisan ini, sistem pentanahan dimodelkan

sebagai induktor yang dipararel dengan resistor dan kapasitor yang diinjeksi dengan sumber tegangan ac. Parameter pemodelan yang dipakai adalah sebagai berikut:

$$R = 50 \text{ ohm} \quad C = 1 \mu\text{F}$$

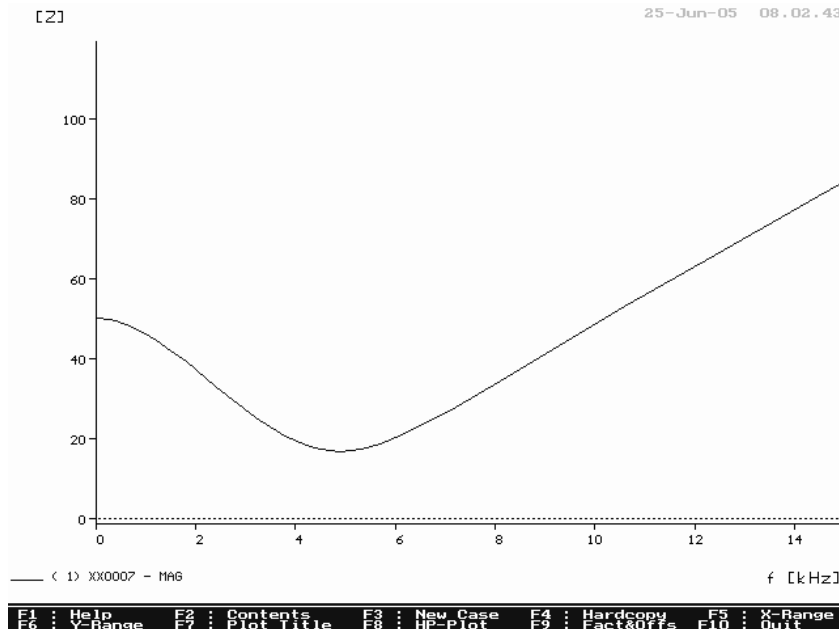
$$L = 1 \text{ mH} \quad I_s = 1 \text{ A}$$

### 4. Hasil Simulasi dan Pembahasan

Hasil simulasi dari model pentanahan 1 elektrode batang ditunjukkan pada gambar 3.

Dari hasil simulasi tersebut terlihat bahwa besarnya impedansi pentanahan akan sangat ditentukan oleh frekuensi dari arus yang mengalir ke sistem pentanahan tersebut.

Pada 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 ( $X_C$ ) 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. Dari hasil simulasi, diperoleh hasil frekuensi resonansinya adalah sebesar 5 kHz dan impedansi resonansinya sebesar 20



Gambar 3. Hasil simulasi dengan EMTP

ohm.

Dari hasil simulasi ini, jelas bahwa nilai impedansi pentanahan sangat ditentukan oleh frekuensi dari arus yang mengalir. Dengan demikian, pengukuran impedansi pentanahan di lapangan dengan menggunakan *earth tester* yang prinsipnya mengalirkan sumber arus searah (frekuensi = nol), hanya akan tepat digunakan bila impedansi pentanahan tersebut didesain untuk dialiri frekuensi rendah. Bila impedansi pentanahan tersebut didesain untuk frekuensi tinggi (misal untuk pentanahan petir), maka pengukuran

impedansi pentanahan dengan *earth tester* perlu dikalibrasi agar diperoleh hasil yang mewakili kondisi yang sesungguhnya.

## 5. Kesimpulan

1. Nilai impedansi pentanahan sangat ditentukan oleh frekuensi arus mengalir padanya.
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] Hutauruk, 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