

Simulasi Sistem Pentanahan Dengan Memodifikasi Konsentrasi Kadar Garam

Muhammad Taqiyyuddin Alawiy, Oktriza Melfazen

Program Studi Teknik Elektro – Fakultas Teknik

Universitas Islam Malang

email: taqijuddin.alawiy@unisma.ac.id

Abstract

Grounding system takes a very important role in the electricity and electronics device protection system. The system is used for releasing current disturbance to the ground method. The smaller value of grounding system will give better system. In the certain ground, grounding resistance value is influenced by the depth and distance within the electrodes. The goal of this research is to find the characteristic of rod electrode grounding resistance and design computation method to calculate rod electrode resistance by changing its values and finally it can be used for the protection devices system reference. This research uses three point method to inject AC current into the electrode under test and a current probe and will give a potential between the earth electrode and the potential electrode, so the value of grounding resistance can be found. The result of the analysis indicates that the value of grounding resistance will be smaller when the deep of the planting, the amount of the rod electrode buried and the distance of it are added. The decrease of grounding resistance value will be effective to 75 cm in deep and 300 cm in distance. While planting of rod electrode is deeper more than 75 cm and more 300 cm in distance not effective, because it can reduce the value of grounding resistance which does not have any mean. Therefore, to get the small value of grounding resistance effectively, it is advised to add the amount of the electrode which is planted parallelly. With the rod electrode installed before. However, it is important to notice when making the grounding system is the resistivity value of small and great of the ground where the stability of grounding resistance is mounted. Finally, in planting grounding electrode it is important to have the geology data of the ground where the system applied.

Key word: rod electrode , grounding resistance

PENDAHULUAN

Dalam studi mengenai sistem pembumian tidak dapat mengabaikan sifat-sifat tanah sebagai tempat dimana sistem pembumian tersebut dipasang. Pada umumnya dalam merencanakan sistem pembumian orang hanya mencari/mengukur/menghitung resistivitas terlebih dahulu tanpa memperhitungkan terhadap elektroda yang akan digunakan. Hal ini tidak akan menghasilkan sistem pembumian yang baik khususnya bila sistem pembumian tersebut akan dipasang pada instalasi yang memungkinkan mendapat frekuensi yang tinggi. Untuk mendapatkan hasil yang akurat harus diketahui lebih dahulu karakteristik resistivitas tanah terhadap elektroda yang ditanam. Perlu diketahui bahwa nilai resistivitas suatu tanah adalah sangat dipengaruhi oleh banyak sedikitnya kadar garam dalam tanah dan kelembaban tanahnya. Dalam dalam penelitian ini akan dibahas

bagaimana mengetahui nilai resistivitas tanah yang dalam hal ini akan digantikan dengan air garam sebagai larutan elektrolit karena pada prinsipnya tanah akan menjadi konduktor yang baik bila telah menjadi elektrolit disebabkan bercampurnya tanah yang terdiri dari berbagai mineral dengan air.

Suatu sistem pembumian selama ini dilihat sebagai bagian sistem tenaga listrik yang dalam kondisi normal tidak dialiri arus, akan tetapi dalam kondisi "terganggu" akan dialiri arus yang sesuai macam gangguan yang terjadi. Arus yang mengalir tersebut dapat berupa arus berfrekuensi rendah atau berfrekuensi tinggi. Berdasarkan penelitian Anggoro. B. dkk (2006) diperoleh fakta bahwa frekuensi rendah terjadi bila sistem pembumian dari suatu netral sistem terjadi gangguan sehingga dialiri oleh arus dengan frekuensi 50 Hz dalam kondisi *steady state* atau berfrekuensi lebih tinggi dalam

kondisi *trensiennya*. Frekuensi tinggi terjadi bila sistem pembumian tersebut dialiri oleh arus petir.

Frekuensi alamiah suatu petir dapat mencapai 1MHz, akan tetapi bila diuraikan dalam frekuensi harmonisanya sekitar puluhan ribu - ratusan ribu Hertz dan bila dianggap suatu gelombang sinus yang teredam, arus impuls petir akan berfrekuensi order ratusan ribu Hertz [Anggoro, B, et al, 2006, 44].

Dari fenomena pentingnya sistem pembumian terlihat bahwa sistem pembumian digunakan untuk penangkal petir dan untuk netral sistem tidak boleh disatukan karena akan memberi response tegangan yang berbeda saat diinjeksi berbagai macam frekuensi arus. Salah satu faktor yang harus diperhatikan lebih detail adalah kondisi tanah dimana sistem pembumian ditanam.

Dalam suatu sistem pembumian semakin kecil nilai resistansi pembumian maka semakin baik sistem tersebut. Besarnya nilai resistansi pembumian tersebut sangat berpengaruh terhadap distribusi arus gangguan ke tanah. Nilai resistansi pembumian ditentukan oleh beberapa faktor yaitu jenis tanah, kelembaban / kebasahan tanah, temperatur tanah, konfigurasi dan dimensi struktur elektroda metal yang ditanam [Kodali, 1996], Penentuan tingkat kedalaman dengan memperhatikan faktor tahanan jenis tanah dan nilai resistansi elektroda batang pembumian (*ground rod resistance*) mutlak diperhitungkan untuk memperoleh nilai impedansi yang kecil/rendah dan seefektif mungkin terhadap jalan balik arus gangguan ke tanah. Ketentuan dari IEEE *green book*, std 142-1991 untuk pembumian gardu induk dan sistem kelistrikan yang besar seharusnya dicapai nilai tahanan 1 ohm atau lebih kecil dari itu, sedangkan untuk sistem pembangkitan di industri, gedung/bangunan dan lingkup komersil lain adalah antara 1-5 ohm atau lebih rendah lagi.

Peran sistem pembumian sangat penting untuk keselamatan manusia dan melindungi peralatan yang digunakan. Untuk itu diperlukan suatu sistem komputasi yang dapat melakukan analisis perhitungan resistansi pembumian untuk menentukan diameter rod, jumlah rod paralel yang ditanam, panjang rod dan luas lahan. Dengan perkiraan melalui sistem komputasi tersebut dapat memudahkan perhitungan resistansi pembumian untuk pembangunan sistem pembumian baik dari aspek teknis yakni memudahkan perancangan sistem pembumian

dan aspek ekonomis yakni dapat meminimalisir penggunaan biaya yang diperlukan.

Melihat begitu uniknya sistem pembumian dengan elektroda ini maka dalam penelitian ini dapat dirumuskan sebagai berikut: Bagaimana trend kecenderungan karakterisasi Resistansi Pembumian Elektroda Batang, sebagai pedoman dalam membuat pembumian elektroda batang?

METODE PENELITIAN

Tempat penelitian

Penelitian dilakukan di laboratorium Pengukuran Besaran Elektrik, jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya.

Peralatan penelitian

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

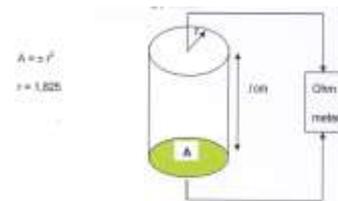
1. Mistar
2. Sumber Arus AC
3. Multimeter Sanwa CX 506a
4. Multimeter Sanwa Digital CD 800a
5. Multimeter HC-3500T
6. Alat ukur tahanan air
7. Elektroda dengan penampang: 1.5 mm², 2,5 mm², 4 mm², 6 mm², 10 mm²
8. Bak air sebagai tempat simulasi
9. Air PDAM dan 10. Garam Dapur (Na Cl)

Langkah Penelitian

Penelitian dilakukan di laboratorium dengan menggunakan alat simulasi yang sudah dirancang untuk keperluan pengambilan data.

Tanah yang mengandung air dan partikel garam memiliki sifat sebagai elektrolit oleh karena itu dalam penelitian ini digunakan larutan garam sebagai representasi dari kondisi tanah.

Adapun langkah penelitian untuk mendapatkan karakterisasi resistansi pembumian ini, ialah: Pertama-tama dilakukan pengukuran resistivitas cairan yang akan digunakan sebagai representative dari tanah dengan menggunakan tabung pengujian. Tujuan pengukuran nilai resistivitas dari larutan tersebut untuk mengetahui nilai resistivitas larutan atau rho (ρ) larutan.



Gambar 1. Kotak Pengujian Resistivitas Air Larutan (Sumber: Author, 2006)

Cara kerja:

Air larutan garam yang akan digunakan sebagai representative dari tanah dimasukkan ke tabung pengujian setinggi 5 cm, kemudian diukur dengan menggunakan ohm-meter agar diketahui besar dari resistansinya, nilai resistansi yang terukur selanjutnya digunakan untuk mengetahui nilai rho (ρ) cairan yang digunakan dalam penelitian, dengan menggunakan rumus: (Tagg, G.F., 16)

$$R = \frac{\rho \ell}{A} \Omega$$

$$\rho = \frac{A \text{ cm}^2 R \Omega}{l \text{ cm}} (\Omega \text{ cm})$$

Keterangan : R = nilai tahanan hasil pengukuran larutan

- l = tinggi larutan dalam tabung
- A = Penampang tabung pengukuran
- ρ = nilai resistivitas larutan

Setelah diketahui nilai resistivitas larutan (ρ) maka dilakukan pengukuran beda potensial yang terjadi antara elektroda bantu dengan elektroda utama, yang selanjutnya nilai dari tiap-tiap pengukuran beda potensial tersebut digunakan untuk mendapatkan nilai resistansi dengan menggunakan rumus umum:

$$R = \frac{V}{I} \Omega$$

Sehingga dari nilai resistansi tersebut akan diketahui:

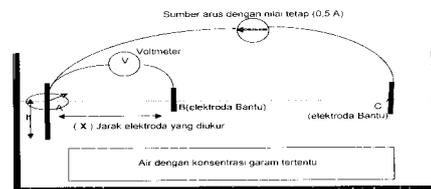
- Karakterisasi resistansi elektroda batang karena pengaruh perubahan penampang kabel.
- Karakterisasi resistansi elektroda batang karena pengaruh perubahan panjang elektroda yang dikebumikan.
- Resistansi pembumian dari masing-masing keadaan
- Jejeri elektroda pembumian masing-masing keadaan

Model Resistansi Pembumian

Dimensi dari Bak harus mempertimbangkan jari-jari efektif elektroda pembumian (r_e), minimal $D > 1,5 h$, sedangkan r_e sendiri dipengaruhi oleh kedalaman penanaman elektroda (h) [G.F. Tagg, 1964]. Hal ini untuk mengkondisikan bahwa dimensi elektroda yang ditanam jauh lebih kecil dari volume elektrolit

garam / NaCl yang sebagai representasi kondisi sebenarnya.

Sistem pengukuran resistansi elektroda pembumiannya seperti yang digambarkan gambar 2 dan Gambar 3



Gambar 2. Pengukuran Beda Potensial antara A dan B



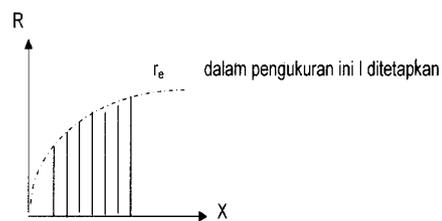
Sumber: Author, 2006

Gambar 3 Pengukuran Beda Potensial antara A dan B Yang Dilakukan Di Laboratorium

Sumber: Author, 2006

Untuk h tertentu, jarak X digeser kearah C hingga nilai tegangan yang terukur pada voltmeter relative tetap.

Dari hasil pengukuran diharapkan akan didapatkan grafik besarnya radius pembumian dari grafik R dan X



Gambar 4. Grafik nilai r_e yang akan Didapatkan

Sumber: G.F Tagg, 1964

HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam mendesain elektroda tanah perlu diperhatikan kandungan mineral tanah yang akan sangat menentukan sifat-sifat kelistrikan dari tanah tersebut. Sifat kelistrikan itu termasuk menyangkut nilai resistivitas tanah, dan hal ini penting atau mungkin cukup pada beberapa kasus untuk berasumsi bahwa tanah bersifat homogen. Akan tetapi pada survei resistivitas ternyata tanah mempunyai sifat non homogen dan bisa bersifat elektrolit yang baik apabila banyak mengandung

air. Resistivitas yang diperoleh dikenal sebagai resistivitas yang nampak. Hal ini akan berbeda dengan pemberian jarak elektroda dan lokasi sistem elektroda, sehingga dengan dasar tersebut deduksi dapat dibuat seperti pada sifat tanah bagian bawah.

Berlandaskan pengetahuan bahwa pada dasarnya tanah yang basah itu bisa digolongkan sebagai elektrolit yang kuat, oleh karena itu pada penelitian ini digunakan air dan garam (NaCl), yang campuran keduanya juga bersifat elektrolit kuat, sehingga campuran air dan garam (NaCl) tersebut diharapkan sebagai representative dari tanah dan hasil penelitian ini bisa dipakai sebagai acuan bagi penentuan tahanan pembumian. Disamping itu tujuan penelitian laboratorium ini agar nilai resistivitasnya (ρ) bisa mudah diketahui dan dijaga kestabilannya karena tidak ada pengaruh luar yang bisa merubah nilai resistivitasnya pada penelitian ini, berbeda bila hal tersebut dilakukan dilapangan maka mudah terkena pengaruh luar.

Pengaruh Kedalaman Terhadap Resistansi Pembumian

Setelah diketahui adanya pengaruh kedalaman pebenaman elektroda pembumian terhadap potensial yang terdapat disekitar elektroda pembumian maka dengan menggunakan rumus umum:

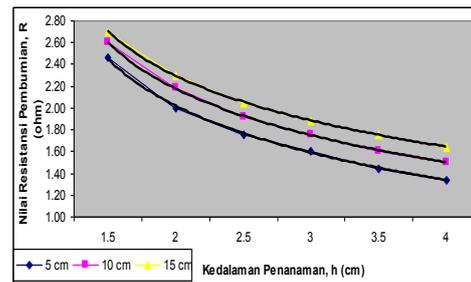
$$R = \frac{V}{I} \Omega$$

- Dimana: R = resistansi pembumian (Ω)
- V = potensial yang terdapat disekitar elektroda pembumian (v)
- I = arus AC yang dialirkan pada bak simulasi (A)

didapatkan berapa besar resistansi pembumian, dimana dalam penelitian besarnya arus AC yang dialirkan pada bak simulasi ditetapkan sebesar 0,5 A, sehingga untuk mendapatkan harga resistansi pembumian pada setiap pengukuran sama dengan 2 kali harga potensial yang terukur, sehingga didapatkan pengaruh kedalaman pembumian terhadap resistansi pembumian sebagaimana diperlihatkan pada Gambar 4.1

Berdasarkan Gambar 4.1 diketahui bahwa pada jarak yang sama (x) dari elektroda bantu terukur kecenderungan bahwa makin dalam penanaman elektroda pembumian maka nilai resistansi pembumiannya akan makin kecil, disamping itu makin jauh jarak elektroda bantu dari elektroda

pembumian maka makin besar resistansi pembumiannya.



Gambar 5. Grafik Pengaruh Kedalaman Terhadap Penurunan Resistansi Pembumian Disekitar Elektroda Pembumian Pada A = 10 mm2 (Sumber: Author)

Adapun Gambar 5 memperlihatkan grafik penurunan resistansi pembumian pada setiap jarak tertentu yang bersifat logaritmis dan hubungan antara h dan R mempunyai hubungan yang kuat, yang ditunjukkan oleh nilai koefisien korelasi (R^2) yang mendekati nilai 1, dengan persamaan grafik sebagai berikut:

Untuk X = 5 cm, $R = -0,6226\ln(x) + 2,4494$ dengan $R^2 = 0,9991$

Untuk X = 10 cm, $R = -0,6176\ln(x) + 2,6022$ dengan $R^2 = 0,9998$

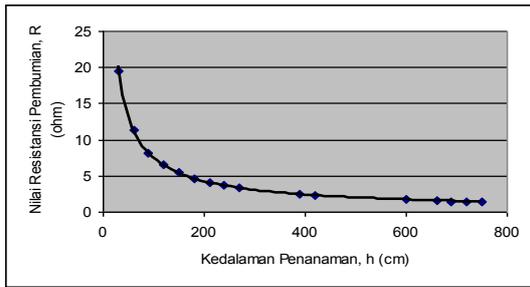
Untuk X = 15 cm, $R = -0,5929\ln(x) + 2,7035$ dengan $R^2 = 0,9999$

Berdasarkan data pengukuran di atas, secara analisis pada praktek dilapangan dapat dibuatkan simulasinya dengan menggunakan rumus (G.F. Tagg, Earth Resistances, 1964):

$$R = \frac{\rho}{2\pi h} \left(\ln \frac{8h}{2a} - 1 \right) \Omega \dots \dots \dots (1)$$

dan didapatkan bahwa perubahan kedalaman penanaman elektroda pembumian berpengaruh pada hasil nilai resistansi pembumiannya dimana nilai resistivitas (ρ) dianggap tetap karena sangat ditentukan oleh tempat dimana elektroda pembumian ditanam, dan nantinya nilai resistansi pembumian (R) untuk satu batang elektroda akan dipakai sebagai dasar perhitungan untuk menghitung R total saat diparalel.

Pengaruh kedalaman penanaman terhadap nilai resistansi pembumian untuk satu batang elektroda dengan nilai resistivitas (ρ) berdasarkan standard PLN tidak boleh lebih dari $\rho = 1000 \Omega\text{-cm}$ maka diumpamakan = $900,75 \Omega\text{-cm}$ dan diameter elektroda 1,5 cm ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 6. Grafik Pengaruh h (cm) terhadap R (Ω)

Sumber: Author

Dari Gambar 4.2 dapat diamati bahwa kecenderungan pengaruh kedalaman penanaman elektroda (h) terhadap nilai resistansi (R) mempunyai hubungan yang kuat dengan koefisien korelasi $R^2 = 0,9996$ dan mengikuti trend power yang persamaannya dinyatakan $R = \frac{338,91}{h^{0,828}}$

$$R = \frac{338,91}{h^{0,828}} \tag{4.2}$$

Berdasarkan Gambar 4.2, penambahan kedalaman (h) menyebabkan penurunan pada nilai resistansi pembumian (R). Pada kedalaman hingga 120 cm, peningkatan kedalaman mengakibatkan penurunan nilai resistansi pembumian (R) yang cepat. Sedangkan penambahan kedalaman elektroda pada daerah lebih besar dari 150 cm, penurunan nilai resistansi pembumiannya kecil dan cenderung konstan (jenuh). Kecenderungan penurunan nilai resistansi pembumian terhadap penambahan kedalaman penanaman ini akan menjadi dasar untuk menentukan kedalaman efektif dimana penambahan kedalaman tidak lagi berpengaruh secara signifikan terhadap perubahan nilai resistansi pembumian.

Dengan persamaan 4.2 dapat dihitung untuk nilai tertentu yang dipersyaratkan BTS yaitu maksimum 1 Ω. Adapun perhitungannya adalah sebagai berikut:

$$R = \frac{338,91}{h^{0,828}}$$

$$1 = \frac{338,91}{h^{0,828}}$$

$$h^{0,828} = 338,91$$

$$h = 1136,7 \text{ cm} \approx 11 \text{ m}$$

Dengan demikian untuk mendapatkan nilai resistansi pembumian (R) = 1 Ω, maka dibutuhkan kedalaman penanaman 1100 cm

Selanjutnya persamaan $R = f(h)$ dari hasil trend, dapat digunakan untuk mendekati nilai-nilai resistansi pembumian (R) untuk berbagai tingkat

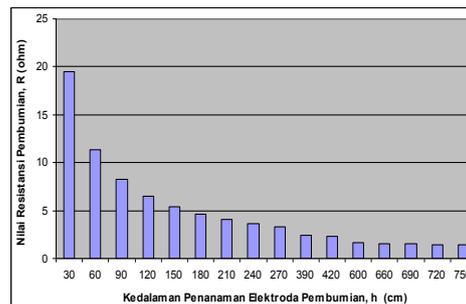
kedalaman penanaman elektroda (h) yang hasilnya ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1 Data Tabulasi Nilai Resistansi Pembumian untuk Satu Batang Elektroda dan Resistivitas Tanah Ditetapkan

No.	h (cm)	R (Ω)
1.	30	19,47
2.	60	11,39
3.	90	8,17
4.	120	6,43
5.	150	5,35
6.	180	4,59
7.	210	4,05
8.	240	3,62
9.	270	3,29
10.	390	2,42
11.	420	2,28
12.	600	1,69
13.	660	1,57
14.	720	1,46

Sumber: Author

Bentuk grafik Tabel 1 ditunjukkan pada Gambar 7



Gambar 7. Grafik Pengaruh Kedalaman Penanaman Terhadap Nilai Resistansi
Sumber: Author

Selanjutnya dari Tabel 1 dan Gambar 7 dapat diamati bagaimana pengaruh penambahan kedalaman (Δh) yang tetap terhadap perubahan nilai resistansi pembumian (ΔR). Perubahan nilai resistansi pembumian (ΔR) pada masing-masing kedalaman penanaman diperlihatkan pada Tabel 2.

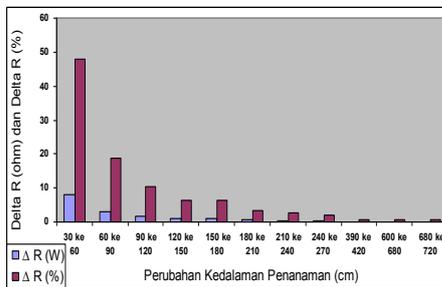
Untuk penambahan $\Delta h = 30$ cm yang sama ternyata menghasilkan ΔR (%) yang tidak sama seperti yang diperlihatkan Tabel 2. Keuntungan teknis yang besar didapatkan pada penambahan kedalaman penanaman dari 30 cm ke 60 cm yaitu menghasilkan ΔR sebesar 48,01 %. Sedangkan pada penambahan kedalaman penanaman dari 60 cm sampai 720 cm dan seterusnya kurang memberikan keuntungan teknis karena penurunan

nilai resistansi pembumiannya tidak besar (dibawah 40 %) Bentuk grafik dari Tabel 2 ditunjukkan pada Gambar 8.

Tabel 2 Perubahan Nilai Resistansi Pembumian Pada Setiap Penambahan kedalaman Penanaman

No.	Perubahan h (cm)	ΔR (Ω)	ΔR (%)
1.	Dari 30 ke 60	8,08	48,01
2.	Dari 60 ke 90	3.15	18,72
3.	Dari 90 ke 120	1,74	10,34
4.	Dari 120 ke 150	1.08	6,42
5.	Dari 150 ke 180	1,06	6,30
6.	Dari 180 ke 210	0,54	3,21
7.	Dari 210 ke 240	0,43	2,55
8.	Dari 240 ke 270	0,33	1,96
9.	Dari 390 ke 420	0,14	0,83
10.	Dari 600 ke 680	0,12	0,71
11.	Dari 680 ke 720	0,11	0,65

Sumber: Author



Gambar 8 Grafik Pengaruh Perubahan Kedalaman Penanaman (Δh) Terhadap Perubahan Nilai Resistansi Pembumian (ΔR)

Sumber: Author

Berdasarkan Gambar 8, dapat diamati bahwa penanaman batang elektroda menghasilkan penurunan nilai resistansi pembumian secara efektif hingga kedalaman penanaman 120 cm. Sedangkan penanaman dengan kedalaman lebih dari 120 cm ternyata tidak efektif karena menghasilkan penurunan nilai resistansi pembumian yang kecil, sehingga apabila ingin mendapatkan nilai resistansi pembumian yang kecil secara efektif disarankan untuk menambah jumlah batang elektroda yang ditanam secara paralel dengan elektroda batang yang telah ada sebelumnya.

Untuk mendapatkan nilai maksimum 1 Ω pada masing-masing kedalaman penanaman, maka digunakan dengan cara memparalel beberapa elektroda. Adapun jumlah paralel elektroda yang diperlukan dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (Mil-HDBK-419A,2006, 2-23) sebagai berikut:

$$R_N = \frac{\rho}{N 2 \pi h} \left[\ln \frac{4h}{r} - 1 + \frac{2h}{S} \ln \frac{2N}{\pi} \right] \Omega \dots(2)$$

dimana:h= kedalaman penanaman elektroda pembumian

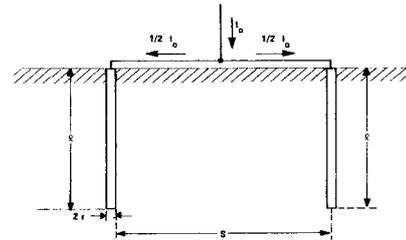
ρ = resistivitas tanah,

N= jumlah elektroda pembumian

S= jarak antar elektroda pembumian

r= jejari elektroda pembumian

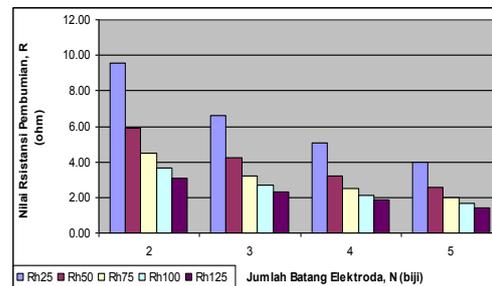
Bentuk paralel dari 2 elektroda ditunjukkan pada Gambar 9



Gambar 9. Model Pembumian Elektroda secara Paralel

Sumber: Mil-HDBK-419A, 2006, 2-26

Kemudian dengan menggunakan persamaan (2) didapatkan bentuk grafik data sebagaimana Gambar 4.6 dengan nilai ρ diumpamakan ditetapkan sebesar 900,75 Ω -cm dan jejari elektroda pembumiannya (r) = 1,5 cm.



Gambar 10. Pengaruh Perubahan Jumlah Batang Elektroda Terhadap Nilai Resistansi Pembumian

Sumber: Author

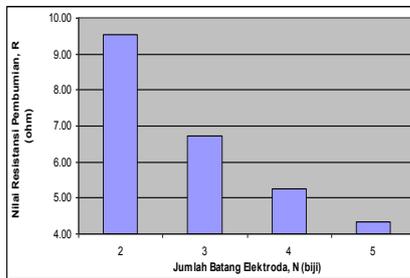
Dari gambar 10 dapat diamati bagaimana pengaruh jumlah batang elektroda (N) terhadap resistansi pembumian yang dihasilkan. Gambar 4.6 memperlihatkan penurunan nilai resistansi pembumian ketika jarak tanam elektroda (S) diperlebar. Begitu juga terjadi penurunan nilai resistansi pembumian ketika jumlah batang elektroda diperbanyak sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3 Pengaruh Jumlah Batang Elektroda (N) Terhadap Nilai Resistansi Pembumian (RN)

r (cm)	h (cm)	ρ (Ω -cm)	S (cm)	N (batang)	RN (Ω)
1.5	25	900.75	100	2	9.53
1.5	25	900.75	100	3	6.74
1.5	25	900.75	100	4	5.26
1.5	25	900.75	100	5	4.34

Sumber: Author

Pada Tabel 3 terlihat jelas bahwa dengan adanya nilai r, h, ρ dan S ditetapkan sedang jumlah batang (N) diperbanyak ternyata berpengaruh terhadap nilai resistansi pembumiannya. Dan Tabel 3 dalam bentuk grafiknya diperlihatkan pada Gambar 11.



Gambar 11. Pengaruh Jumlah Batang Elektroda (N) Terhadap Nilai Resistansi Pembumian (RN)

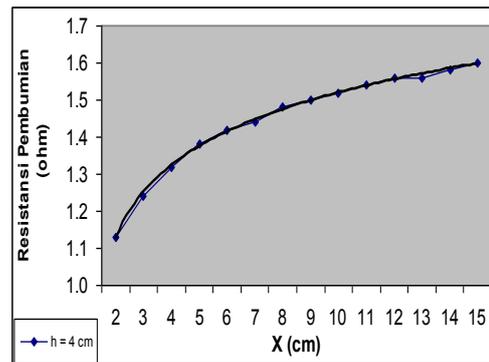
Sumber: Author

Dengan melihat Gambar 11, maka lebih tampak bagaimana pengaruh penambahan jumlah batang elektroda pembumian terhadap nilai resistansi pembumian yang dihasilkan.

Untuk mendapatkan nilai resistansi pembumian yang sama yaitu 3,24 Ω tetapi dengan kedalaman yang berbeda, dibutuhkan jumlah elektroda dan jarak tanam yang berbeda pula. Untuk kedalaman yang lebih besar dibutuhkan jumlah elektroda yang lebih sedikit.

Pengaruh Letak Elektroda Bantu Terhadap Resistansi Pembumian

Telah diketahui bahwa letak pengukuran mempunyai pengaruh terhadap potensial yang terukur (ϕ) antara elektroda pembumian dengan elektroda bantu, maka letak pengukuran elektroda bantu juga akan berpengaruh pada resistansi pembumian (R) sebagaimana Gambar 12.



Gambar 12. Grafik Pengaruh Letak Pengukuran Elektroda Bantu Terhadap Resistansi Pembumian Pada h = 4 cm, A = 10 mm², $\rho = 177,88 \Omega$ -cm
Sumber: Author

Pada Gambar 12 memperlihatkan bahwa hasil pengukuran yang terjadi memberikan kesimpulan makin jauh jarak letak elektroda bantu dari elektroda pembumian resistansinya makin tinggi dan bersifat logaritmik dengan persamaan trend logaritmik:

$$R = 0,1787\ln(x) + 1,1263 \dots\dots\dots(3)$$

dengan koefisien korelasi $R^2 = 0,9982$, hal ini menunjukkan keeratan hubungan antara perubahan letak pengukuran (X) dengan nilai resistansi pembumian yang terukur (R). Dan pada Gambar 4.8 terlihat bahwa nilai resistansi pembumian didaerah dekat penanaman elektroda pembumian nilainya kecil.

Berdasarkan Gambar 12., penambahan jarak pengukuran (X) menyebabkan kenaikan nilai resistansi pembumian (R). Tetapi terlihat bahwa pengaruh penambahan jarak pengukuran elektroda untuk kedalaman h = 4 cm tidak memberikan pengaruh yang besar terhadap perubahan nilai resistansi pembumian. Kecenderungan kenaikan nilai resistansi pembumian yang makin kecil pada jarak yang lebih jauh dari elektroda pembumian dibanding dengan jarak yang dekat dengan elektroda pembumian, hal ini menjadi dasar untuk menentukan jarak efektif dimana penambahan jarak tidak lagi berpengaruh terhadap perubahan nilai resistansi pembumian.

Untuk mendapatkan nilai yang tertentu seperti yang dipersyaratkan BTS yaitu maksimum 1 Ω , dapat digunakan persamaan (3) untuk mendapatkan jarak penanaman yang tertentu. Adapun perhitungannya adalah sebagai berikut:

$$R = 0,1787\ln(x) + 1,1263$$

$$1 = 0,1787\ln(x) + 1,1263$$

$$1 - 1,1263 = 0,1787\ln(x)$$

$$\ln(x) = \frac{-0,1263}{0,1787} \Rightarrow \ln(x) = -0,7068$$

$$X = e^{-0,7068}$$

$$X = 0,49 \text{ cm} \approx 0,5 \text{ cm} \text{ (hal ini sulit dilakukan)}$$

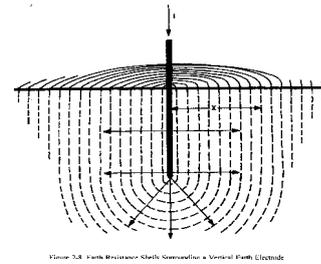
Dengan menggunakan persamaan $R = f(x)$ dari hasil trend, dapat dideteksi nilai-nilai resistansi pembumian (R) untuk berbagai jarak penanaman (X) yang hasilnya ditunjukkan pada Tabel 4.

Tabel 4 Data Tabulasi Nilai Resistansi Pembumian Satu Batang Elektroda untuk Jarak Tanam yang Berbeda

No.	X (cm)	R (Ω)	Δ R (%)
1	15	1.61	12
2	30	1.73	7
3	45	1.81	5
4	60	1.86	4
5	75	1.90	3
6	90	1.93	3
7	105	1.96	2
8	120	1.98	1
9	125	1.99	1
10	130	2.00	1
11	135	2.00	1
12	140	2.01	1

Sumber: Author

Pada Tabel 4.4 dapat terlihat bagaimana pengaruh penambahan jarak pengukuran (X) terhadap perubahan nilai resistansi pembumian (R), ternyata penambahan jarak yang menghasilkan nilai resistansi pembumian secara efektif hingga pada jarak 30 cm. Sedangkan pengukuran pada jarak lebih dari 30 cm ternyata tidak efektif karena menghasilkan kenaikan nilai resistansi pembumian yang kecil. Sehingga apabila ingin mendapatkan nilai resistansi pembumian yang kecil secara efektif disarankan untuk menambah kedalaman penanamannya. Bentuk sistem pembumian elektroda yang menggambarkan jarak efektif ditunjukkan pada Gambar 13

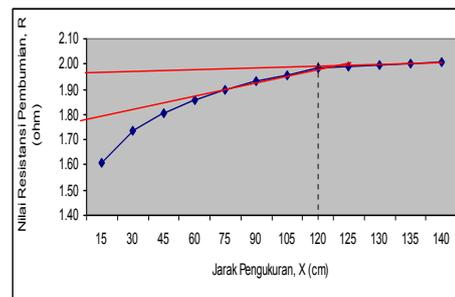


Gambar 13 Bentuk Lapisan r Pembumian Satu Elektroda Secara 2 dimensi

Sumber: Mil-HDBK-419A, 1987, 2-21

Pada Gambar 13 memperlihatkan bahwa pada prinsipnya resistansi pembumian akan tersebar di dalam tanah dalam bentuk yang berlapis-lapis, akan tetapi ada batasan dari penyebarannya yang menyebabkan adanya kecenderungan jarak efektif dan kedalaman efektif.

Sedang penggambaran jarak efektif pembumian elektroda secara grafik ditunjukkan pada Gambar 14



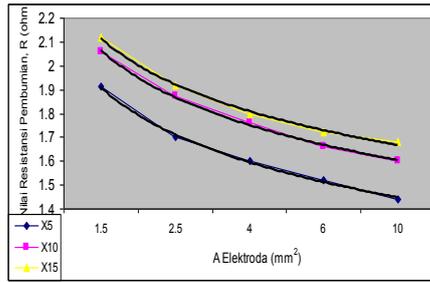
Gambar 14. Grafik Radius Efektif Pembumian Elektroda (r Efektif)

Sumber: Author

Pada Gambar 14 dapat dilihat secara grafik bahwa radius efektif dalam pembumian elektroda terdapat pada jarak 120 cm, dan hal ini sesuai dengan Tabel 4.4 yang memperlihatkan bahwa pada jarak 120 cm sampai dengan 140 cm nilai dari Δ R hanya sebesar 1 %.

Pengaruh Perubahan Penampang Elektroda (A) Terhadap Resistansi Pembumian Didekat Elektroda Pembumian

Dengan dasar hasil pengukuran dari berbagai penampang didapatkan data untuk resistansi pembumiannya pada $h = 3,5 \text{ cm}$, $\rho = 177,88 \text{ Ω-cm}$ seperti diperlihatkan pada Gambar 15.



Gambar 15. Grafik Pengaruh Perubahan Penampang (A) Terhadap Resistansi Pembumian disekitar Elektroda Pembumian
Sumber: Author

Data pada Gambar 15 menunjukkan bahwa makin besar penampang elektroda pembumian maka resistansi pembumiannya makin kecil seiring dengan makin kecilnya potensial yang terukur. Disamping itu makin jauh jarak elektroda bantu dari elektroda pembumian maka makin besar pula resistansi pembumiannya. Grafik yang diperlihatkan pada Gambar 4.11 bersifat logaritmis pada jarak pengukuran X = 5 cm, X = 10 cm dan X= 15 cm.

Untuk persamaan pada jarak x = 5 cm ialah:

$$R = -2,2871\ln(A) + 1,9093 \dots\dots\dots(5)$$

dengan koefisien korelasi yang menunjukkan keeratan hubungan $R^2 = 0,9979$

Untuk persamaan pada jarak x = 10 cm ialah:

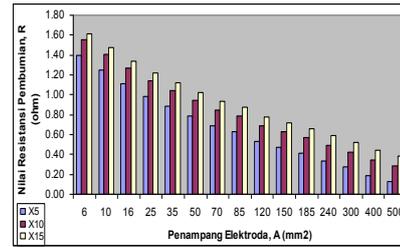
$$R = -0,2872\ln(A) + 2,0654 \dots\dots\dots(6)$$

dengan besar koefisien korelasi yang menunjukkan keeratan hubungan antara perubahan penampang (A) dengan nilai resistansi pembumiannya, $R^2 = 0,9983$

Untuk persamaan pada jarak x = 15 cm ialah:

$$R = - 0,2786\ln(x) + 2,1144 \dots\dots\dots(7)$$

dengan besar koefisien korelasi yang menunjukkan keeratan hubungan antara perubahan penampang (A) dengan nilai resistansi pembumiannya, $R^2 = 0,997$ Gambar 4.12 adalah hasil perhitungan dengan menggunakan persamaan (4.5), (4.6) dan (4.7), untuk mendekati nilai-nilai resistansi pembumian (R) pada berbagai penampang elektroda pembumian (A).

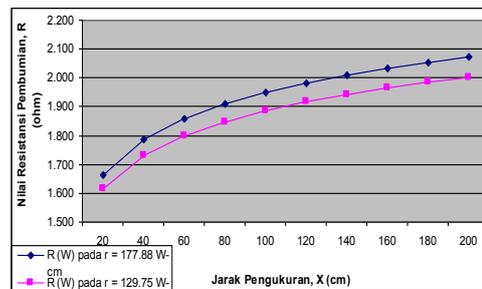


Gambar 16. Grafik Pengaruh Perubahan Penampang Terhadap Nilai Resistansi Pembumian
Sumber: Author

Pada Gambar 16 terlihat dengan jelas perubahan penampang elektroda pembumian berpengaruh terhadap nilai resistansi yang dihasilkan, dimana terlihat makin besar penampang (A) maka setiap titik pengukuran mengalami penurunan resistansi seiring dengan makin besar penampang elektroda yang digunakan dalam sistem pembumian, meskipun perubahan yang disebabkan oleh besarnya penampang tidak banyak pengaruhnya terhadap nilai resistansi pembumiannya.

Pengaruh Resistivitas (ρ) Terhadap Resistansi Pembumian disekitar Elektroda Pembumian

Dari data pengukuran didapatkan bagaimana pengaruh resistivitas (ρ) terhadap resistansi pembumian seperti yang diperlihatkan pada Gambar 17



Gambar 17. Grafik Pengaruh Resistivitas Terhadap Resistansi Pembumian Disekitar Elektroda Pembumian Pada (ρ2) = 129,75 Ω-cm dan (ρ1) = 177,88 Ω-cm, h = 4 cm, A = 10 mm2

Sumber: Author

Data pada Gambar 17 menunjukkan bahwa adanya pengaruh resistivitas (ρ) terhadap resistansi pembumian, yaitu bila resistivitas kecil maka resistansi pembumiannya juga kecil, disamping itu pada resistivitas yang sama bila jarak elektroda bantu makin jauh dari elektroda

pembumian maka resistansinya akan naik dan sebaliknya makin dekat elektroda bantu dengan elektroda pembumian maka resistansinya makin kecil.

Pada Gambar 17 memperlihatkan bahwa bentuk grafik dari pengaruh resistivitas terhadap resistansi disekitar elektroda pembumian bersifat logaritmik dan resistansinya mengalami kenaikan bersamaan dengan makin jauhnya elektroda bantu dari elektroda pembumian.

Persamaan logaritmik dari grafik pada Gambar 4.13 sebagai berikut:

untuk ρ_1 , $R = 0,1787\text{Ln}(x) + 1,1263 \dots\dots\dots(8)$

dengan besar koefisien korelasi yang menunjukkan keeratan hubungan antara nilai resistivitas terhadap nilai resistansi pembumiannya, yaitu $R^2 = 0,9982$

untuk ρ_2 , $R = 0,1685\text{Ln}(x) + 1,109 \dots\dots\dots(9)$

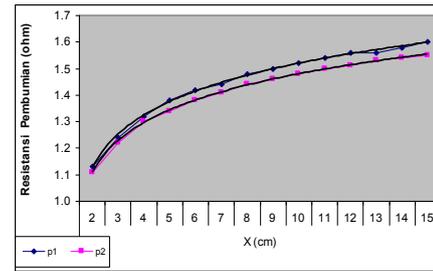
begitu juga pada persamaan (4.9) ini koefisien korelasi menunjukkan keeratan hubungan antara nilai resistivitas terhadap nilai resistansi pembumiannya, yaitu $R^2 = 0,9994$

Berdasarkan penelitian B. Anggoro dkk (2006) diperoleh fakta bahwa kandungan mineral tanah akan sangat menentukan sifat-sifat kelistrikan dari tanah tersebut. Sifat kelistrikan itu menyangkut nilai resistivitas dan permitivitas, sedang permeabilitas tanah relatif konstan dan sama dengan satu (1). Faktor luar tanah yang ikut menentukan harga resistivitas (ρ) dan permitivitas (ϵ) adalah campuran bahan lain seperti air, garam, larutan kimia, arang dan lain-lain.

Berdasarkan penelitian B. Anggoro dkk, 2006, maka akan terjadi pada suatu lokasi akan mempunyai resistansi pembumian yang berbeda-beda dititik-titik pengukuran yang berbeda pula, hal ini mungkin karena sifat geologi tanah yang berbeda-beda kandungan mineral dan kelembabannya pada titik-titik pengukuran tersebut.

Kemudian berdasarkan rumus (8) dan (9) hasil dari trend didapatkan grafik data sebagaimana Gambar 18 yang membutuhkan hubungan pengaruh perubahan resistivitas terhadap nilai resistansi yang terukur di beberapa titik pengukuran.

Bentuk grafik Gambar 18.



Gambar 18. Grafik Pengaruh Nilai Resistivitas Terhadap Nilai Resistansi Pembumian
Sumber: Author

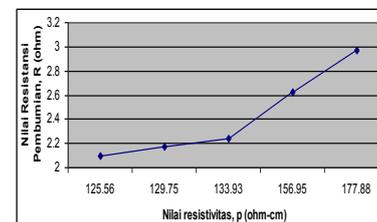
Selanjutnya dengan menggunakan rumus (Mil-HDBK-419A, 2006, 2-17)

$$R_o = \frac{\rho}{2\pi h} \text{Ln} \frac{4\ell}{d} (\Omega) \dots\dots\dots(10)$$

dimana:

- d = diameter elektroda (cm)
- ℓ = kedalaman penanaman (cm)
- ρ = resistivitas tanah (Ω -cm)

Maka didapatkan data yang menunjukkan pengaruh ρ terhadap R sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 4.15

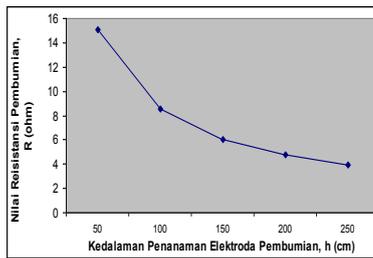


Gambar 18. Grafik Pengaruh ρ Terhadap R
Sumber: Author

Dari Gambar 18 dapat diketahui bahwa perubahan nilai resistivitas berpengaruh terhadap nilai resistansinya, dimana makin besar nilai resistivitas maka nilai resistansi akan besar pula dan sebaliknya.

Akan tetapi dalam praktek dilapangan nilai resistivitas tanah (ρ) bisa dikatakan konstan karena nilainya ditentukan oleh tempat dimana akan diadakan penanaman elektroda pembumiannya, begitu juga diameter elektroda (d) yang akan digunakan besarnya sudah tertentu sebagaimana yang ada dipasaran sehingga bisa dikatakan nilainya tidak bisa dirubah seandainya, sehingga dengan rumus (10), satu-satunya yang

bisa digunakan sebagai variabel bebasnya adalah kedalaman pembumian elektroda (h), dan akan didapatkan hasil sebagaimana Gambar 19



Gambar 19. Grafik Pengaruh h (cm) Terhadap R (Ω)

Sumber: Author

Dari gambar 19 menunjukkan kecenderungan terjadinya penurunan resistansi pembumian seiring makin dalamnya penanaman elektroda pembumian (h).

PENUTUP

Kesimpulan

Dari keseluruhan tahapan penelitian dan implementasi yang telah dilakukan, dapat diambil beberapa kesimpulan dan saran yang diharapkan dapat bermanfaat bagi pengembangan sistem informasi resistansi pembumian selanjutnya.

PENUTUP

Kesimpulan

Dari hasil penelitian, perhitungan dan analisis resistansi pembumian dapat disimpulkan bahwa:

1. Penambahan kedalaman penanaman elektroda pembumian (h) menyebabkan penurunan pada nilai resistansi pembumian (R). Pada kedalaman hingga 120 cm, peningkatan kedalaman penanaman mengakibatkan penurunan nilai resistansi pembumian yang cepat. Sedangkan penambahan kedalaman elektroda pada daerah lebih dari 150 cm, penurunan nilai resistansi pembumiannya kecil dan cenderung konstan (jenuh). Kecenderungan penurunan nilai resistansi pembumian terhadap penambahan kedalaman penanaman ini akan menjadi dasar untuk menentukan kedalaman efektif dimana penambahan kedalaman tidak lagi berpengaruh secara signifikan terhadap perubahan nilai resistansi pembumian.
2. Pengaruh penambahan jarak pengukuran (X) terhadap perubahan nilai resistansi pembumian (R), ternyata penambahan jarak yang menghasilkan nilai resistansi pembumian

secara efektif hingga pada jarak 30 cm. Sedangkan pengukuran pada jarak lebih dari 30 cm ternyata tidak efektif untuk kedalaman 4 cm karena menghasilkan kenaikan nilai resistansi pembumian yang kecil. Sehingga apabila ingin mendapatkan nilai resistansi pembumian yang kecil secara efektif disarankan untuk menambah kedalaman penanamannya.

3. Perubahan penampang elektroda pembumian berpengaruh terhadap nilai resistansi yang dihasilkan, dimana terlihat makin besar penampang (A) maka setiap titik pengukuran mengalami penurunan resistansi seiring dengan makin besar penampang elektroda yang digunakan dalam sistem pembumian, meskipun perubahan yang disebabkan oleh besarnya penampang tidak banyak pengaruhnya terhadap nilai resistansi pembumiannya.
4. Pengaruh resistivitas (ρ) terhadap resistansi pembumian sangat dipengaruhi konsentrasi kadar garam yaitu bila konsentrasi kadar garam tinggi akan menghasilkan resistivitas kecil sehingga resistansi pembumiannya juga kecil, disamping itu pada resistivitas yang sama bila jarak elektroda bantu makin jauh dari elektroda pembumian maka resistansinya akan naik dan sebaliknya makin dekat elektroda bantu dengan elektroda pembumian maka resistansinya makin kecil.

DAFTAR PUSTAKA

- Anggoro. B. dkk, 2006, EECCiS, Malang
- Kodali, V. Prasad, 1996, *Engineering Electromagnetic Compatibility*. IEEE, Green Book, 1991, *Grounding of Industrial and Commercial Power Systems*. The Institute Of Electrical And Electronic Engineers, IEEE std 142-1991, ANSI Dec 9
- Chatterton & Houlden, 1992, *EMC Electromagnetic Theory To Practical Design*. John Wiley & Sons, Inc. New York USA
- IEEE, Green Book, 1996, *Grounding of Industrial and Commercial Power Systems*. The Institute Of Electrical And Electronic Engineers, IEEE Std
- Katalog AEMC, 1986.
- Military-Handbook-419A, Dec 1987, Departement of Defense Washington DC 20301

- Tagg, G.F, B.Sc., Ph.D., M.I.E.E., F.Inst.P., 1964,
Earth Resistance, The Whitefriars Press Ltd.
London
- SNI, 2000, *Persyaratan Umum Instalasi Listrik
2000 (PUIL 2000)*, Yayasan PUIL, Jakarta
- IEEE, Green Book, *Grounding of Industrial and
Commercial Power Systems. The Institute Of
Electrical And Electronic Engineers*, IEEE std
80, 1986
- Dharma, Budi Sutedjo, 2002, *Pedoman
Pemrograman Menggunakan Visual Basic
6.0*, Elex Media Komputindo, Jakarta
- Dewobroto, 2002, *Aplikasi Saint dan Teknik
Dengan Visual Basic*, Elex Media
Komputindo, Jakarta
- Hadi, Abdul. 1994, *Sistem Distribusi Daya Listrik*,
Erlangga, Jakarta.