

ANALISIS KORELASI ANTARA RESISTIVITAS DAN TAHANAN TANAH BERDASARKAN PADA SISTEM GROUNDING MESIN BERKAS ELEKTRON

Suyamto, Sutadi

Puslitbang Teknologi Maju - BATAN

ABSTRAK

ANALISIS KORELASI ANTARA RESISTIVITAS DAN TAHANAN TANAH BERDASARKAN PADA SISTEM GROUNDING MESIN BERKAS ELEKTRON. Telah dilakukan analisis korelasi antara resistivitas dan tahanan tanah berdasarkan pada hasil pembuatan sistem grounding untuk MBE yang telah di-instal di sekitar Gedung Akselerator P3TM. Besarnya tahanan pentanah sangat tergantung pada resistivitas tanah maka pembuatan sistem grounding dilakukan dengan pembuatan sumur dan pengolahan tanah di dalamnya untuk memperbaiki resistivitasnya. Kedalaman sumur yang dibuat rata-rata 7 m dengan ketinggian air di dalamnya sekitar 0,9 m. Ke dalam sumur dimasukkan tanah liat sampai terbenam air seluruhnya, kemudian ditanamkan beberapa macam bentuk dan ukuran elektroda. Untuk memperoleh tahanan tanah yang disyaratkan, dibuat 4 buah sumur sehingga diperoleh 4 unit sistem grounding. Dua buah unit yaitu unit I dan II diparalel dan dipakai untuk Sistem Instrumentasi dan Kendali (SIK), sedang 2 unit yang lain yaitu unit III dan IV juga di paralel dan dipakai untuk Sistem Sumber Tegangan Tinggi (SSTT). Tahanan tanah total R_t yang diperoleh untuk SIK adalah $0,22 \Omega$ dan untuk SSTT $0,1 \Omega$. Dari analisis diketahui bahwa resistivitas tanah merupakan faktor kunci dan paling penting di dalam penentuan sistem grounding. Sebagai contoh, untuk mencapai tahanan pentanah sebesar $0,22$ dan $0,1 \Omega$, harus dilakukan pengolahan tanah sehingga resistivitas rata ratanya $131,36 \Omega\text{-cm}$. Dengan kata lain, untuk memperoleh tahanan pentanah yang kecil dalam orde di bawah 1 ohm , tanah dimana akan ditanam elektrode harus diolah sedemikian hingga resistivitasnya sekitar $100 \Omega\text{-cm}$

Kata kunci : grounding, resistivitas tanah, elektroda

ABSTRACT

CORRELATION ANALYSIS BETWEEN SOIL RESISTIVITY AND RESISTANCE BASED ON THE GROUNDING SYSTEM OF ELECTRON BEAM MACHINE. The correlation analysis between soil resistivity and resistance based to the grounding sistem of Electron Beam Machine (MBE) installed surround Accelerator building has been carried out. The grounding resistance is very depend on the soil resistivity, so that to perform a good grounding system, it should be constructed the well and cultivated its inside soil to improve resistivity. The average depth of the well which has been built about 7 m, while the water depth around 0,9 m. Inside the well, it was put clays until drowned in water, then many electrodes in the differences form and size were grounded. To get the required earth resistance, it was employed 4 unit of well for 4 ground resistance unit. Two units i.e : unit I and II were paralleled and applied for Instrumentation and Control (IC), while the others i.e : unit III and IV also paralleled and applied for High Voltage Source System (HVSS). Total earth resistance obtained for IC is $0,22 \Omega$ and $0,1 \Omega$ for HVSS. From the analysis it was found that soil resistivity is the key and most important to determine the ground resistance. For example, to achieve a ground resistance of $0,22 \Omega$ and $0,1 \Omega$ the soil must be cultivated so that it will be obtained the average soil resistivity in orde of $131,36 \Omega\text{-cm}$. In the other words, to obtain the low ground resistance in the order of lower than 1Ω , the soil where electrode will be grounded must be cultivated in order to reach the resistivity in orde of $100 \Omega\text{-cm}$.

Key words : grounding, soil resistivity, electrode

PENDAHULUAN

Mesin Berkas Elektron (MBE) merupakan salah salah peralatan baru yang dimiliki oleh P3TM. Pada MBE tersebut terdapat beberapa bagian yang perlu mendapatkan perhatian,

khususnya bila dikaitkan dengan keandalan dan keselamatan. Di antaranya adalah sistem instrumentasi dan sistem tegangan tinggi yang menghendaki adanya sistem pentanah (*grounding system*) yang memadai.

Telah direncanakan bahwa sistem instrumentasi dan sistem tegangan tinggi pada MBE harus ditanahkan dengan tahanan pentanah maksimum sebesar $0,5 \Omega$. Hal ini tidak mudah dipenuhi sebab struktur tanah di sekitar Gedung Akselerator kurang mendukung. Di samping itu besarnya tahanan tanah juga tergantung pada banyak variable antara lain : struktur tanah, bentuk, ukuran dan kondisi elektroda pentanah yang dipasang, kedalaman penanaman elektroda, kandungan air tanah dan lain-lain.

Dalam makalah ini dibahas dan dianalisa korelasi besarnya resistivitas dan tahanan tanah khususnya di sekitar Gedung Akselerator dan umumnya di P3TM. Analisa didasarkan dan dikaitkan dengan sistem *grounding*, yang telah terinstal untuk MBE. Tujuan dari penulisan makalah ini adalah untuk mengetahui sifat-sifat tanah dikaitkan dengan besar resistivitas tanah yang ada di P3TM, khususnya di sekitar Gedung Akselerator. Karena resistivitas tanah merupakan faktor kunci dan paling penting dalam penentuan besarnya tahanan pentanah.

TEORI

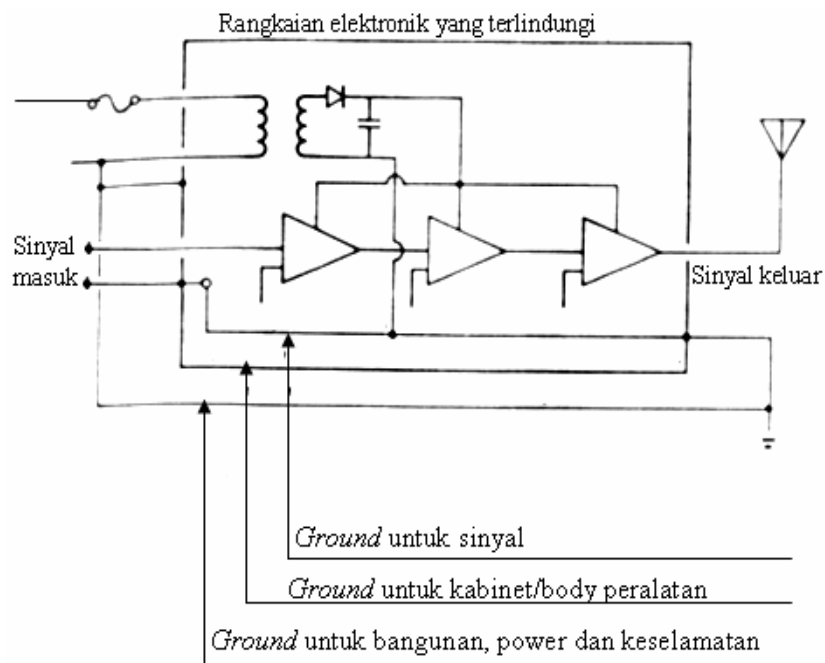
Pemakaian sistem *grounding* mempunyai banyak tujuan (lihat Gambar 1) diantaranya adalah untuk perlindungan terhadap peralatan dan gedung,

mengeliminasi gangguan luar yang masuk dan menginterferensi sinyal yang ada pada sistem instrumentasi^[1].

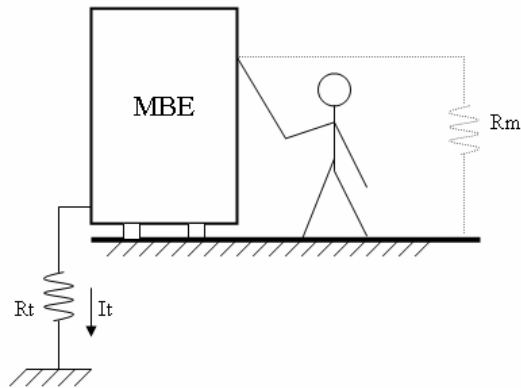
Gangguan sinyal pada sistem instrumentasi yang berasal dari luar dapat berupa gangguan amplitudo, frekuensi, harmonik dan sinyal berjangka pendek dengan frekuensi besar. Pada sistem instrumentasi, gangguan-gangguan tersebut dapat mengakibatkan antara lain penyimpangan tegangan AC dari bentuk sinusoidal yang ideal, kesalahan fungsi (*malfunctions*) dan kegagalan atau bahkan kerusakan (*breakdown*) dari instrumen atau peralatan lain.

Di samping itu juga untuk tujuan perlindungan terhadap peralatan maupun keselamatan manusia atau operator pada sistem tegangan tinggi seperti yang terdapat MBE (Gambar 2).

Seperti diketahui bahwa pada MBE terdapat catu daya tegangan tinggi dimana sistem tersebut dapat mengakibatkan bermacam-macam gangguan dan keselamatan. Gangguan dapat terjadi karena adanya interferensi gelombang elektromagnetik (EMI) terhadap signal yang diinginkan sehingga mengakibatkan fluktuasi tegangan puncak V_m sebagai fungsi waktu t atau $V_m(t)$ ^[5,6]. Sedangkan dalam hal gangguan keselamatan terhadap peralatan alat maupun manusia, terutama bila terjadi hubung singkat.



Gambar 1. Beberapa fungsi dari sistem grounding.



Gambar 2. Ilustrasi MBE yang ditanahkan.

Untuk menanggulangi hal-hal yang tidak diinginkan tersebut di atas yaitu pada sistem yang catu dayanya telah terpasang seperti di Gedung Akselerator, tidak mungkin dilakukan dengan perencanaan suatu *dedicated power supply* karena tingkat kesulitan dan biayanya yang tinggi. Jalan keluar yang realistis adalah dengan mempertinggi keandalan sistem catu daya yang khusus diperuntukkan bagi ke dua sistem yaitu Sistem Instrumentasi dan Kendali (SIK) serta Sistem Sumber Tegangan Tinggi (SSTT) yang terdapat pada MBE. Salah satunya yaitu dengan memasang sistem *grounding* atau pentanah yang handal bagi keduanya.

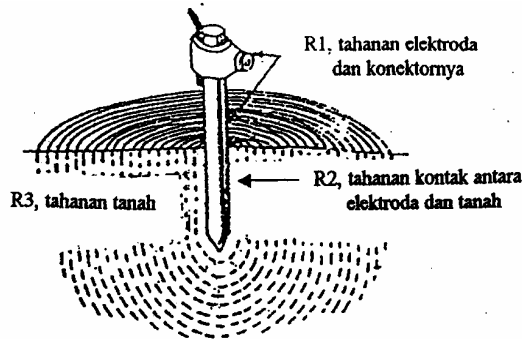
Prinsip dan teori dari setiap grounding adalah sama yaitu untuk mengalirkan arus gangguan ke dalam tanah sebesar dan secepat mungkin, sehingga tahanan pentanah harus dibuat sekecil mungkin.

Pada Gambar 2 ditunjukkan ilustrasi bahwa apabila tahanan pentanah berharga kecil maka arus gangguan akan mudah mengalir ke dalam tanah, sebaliknya bila tahanan pentanahnya besar, tegangan peralatan terhadap *ground* juga besar sehingga dapat membahayakan manusia yang menyentuhnya. Dalam hal MBE yang memakai sumber tegangan tinggi, apabila terjadi hubung singkat ke rangka mesin dan kemudian tersentuh oleh operator, maka operator akan teraliri arus yang sangat besar. Tapi bila pada sistem sumber tegangan tinggi dari MBE di-*ground* dengan tahanan yang kecil maka arus yang mengalir di dalam tubuh operator akan sangat kecil.

Besar tahanan total dimana arus mengalir melalui elektroda ke tanah pada sistem *grounding* terdiri dari 3 komponen (Gambar 3) yaitu :

1. Tahanan dari elektroda pentanah beserta konektornya (R1).
2. Tahanan kontak antara elektroda pentanah dengan tanah yang ada di dekatnya (R2).
3. Tahanan dari tanah di sekitar elektroda pentanah (R3).

$$\text{Jadi : } R_t = R_1 + R_2 + R_3$$



Gambar 3. Komponen tahanan pentanah pada sistem grounding.

Di samping itu juga diketahui bahwa perhitungan besarnya tahanan pentanah total dari berbagai bentuk dan sistem dari elektroda sangat rumit^[1]. Dari tiga komponen tahanan tersebut yang paling dominan secara berturut-turut adalah tahanan tanah di sekitar elektroda, tahanan kontak antara elektroda dengan tanah dan tahanan dari elektroda.

Tahanan tanah dan tahanan kontak antara elektroda dengan tanah tergantung pada kondisi tanah, sedangkan tahanan elektroda tergantung pada bentuk dan luasan kontakannya dengan tanah serta kedalaman penanaman. Karena tahanan tanah merupakan faktor yang paling dominan kontribusinya terhadap tahanan pentanah total, maka masalah resistivitas tanah (ρ) merupakan faktor kunci dan paling penting dalam perhitungan tahanan pentanah (R_t). Besarnya ρ sangat tergantung pada kandungan air di dalam tanah dan struktur atau jenis tanah (pasir, batu, tanah liat)^[1, 2], ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Besar resistivitas berbagai jenis tanah^[2].

No	Jenis tanah	Resistivitas ρ (k Ω -cm)
1	Sawah, rawa (tanah liat)	0 – 15
2	Tanah garapan (tanah liat)	1 – 20
3	Sawah, tanah (kerikil)	10 – 100
4	Pegunungan (biasa)	20 – 200

5	Pegunungan (batu)	200 – 500
6	Pinggir sungai (berbatu)	100 - 500

Dari rumus-rumus empiris yang ada diketahui bahwa untuk memperoleh tahanan pentanah yang kecil biasanya sangat sulit dicapai. Tahap awal untuk memperkirakan besarnya tahanan pentanah yang diinginkan sering digunakan monogram^[1,2], dimana resistivitas tanah, ukuran dan kedalaman penanaman merupakan faktor dasar yang harus diper-timbangan.

Dengan pertimbangan-pertimbangan tersebut di atas maka rumusan tahanan pentanah empiris yang paling logis untuk dipakai dalam *trial and error* adalah elektroda plat pejal berbentuk lingkaran dengan rumus sebagai berikut^[1, 2], lihat Lampiran.

$$R = \rho \left[1/8D + (1/4\pi S) \{ 1 - (7/12)(D/S)^2 + (33/40)(D/S)^4 \} \right]$$

atau

$$\rho = R \left[1/8D + (1/4\pi S) \{ 1 - (7/12)(D/S)^2 + (33/40)(D/S)^4 \} \right]^{-1}$$

dengan R : tahanan pentanah

ρ : resistivitas tanah rata-rata (Ω -cm)

D : diameter elektroda (cm)

S : 2 h, h adalah kedalaman penanaman elektroda (cm)

TATA KERJA

Telah diterangkan bahwa faktor yang paling dominan dan menentukan terhadap besarnya tahanan pentanah adalah tahanan tanah di sekitar elektroda, tahanan kontak antara elektroda dengan tanah dan tahanan dari elektroda. Faktor yang pertama dan kedua tergantung pada kondisi tanah, sedangkan faktor yang ke 3 tergantung pada bentuk dan luasan kontakannya dengan tanah.

Untuk itu maka proses pembuatan sistem pentanah dilakukan sebagai berikut

1 Survey lokasi

Untuk menentukan tempat yang representatif, dimana elektroda harus ditanam

2 Pembuatan sumur

Tanah digali sampai mencapai air tanah, kemudian diperdalam lagi sampai ketinggian air masih dalam batas aman bagi manusia .

3 Pengolahan tanah didalam sumur

Dasar sumur diisi dengan tanah liat/lempung untuk memperbaiki resistivitasnya, dimana diusahakan agar tanah liat menjadi berbentuk lumpur karena bercampur dengan air.

4 Dilakukan penanaman elektroda dari berbagai macam bentuk dan ukuran secara *trial and error*

5 Dilakukan penyambungan dan paralelisasi menggunakan kawat scund BC-50

6 Dilakukan pengukuran tahanan pentanah.

HASIL, PEMBAHASAN DAN ANALISIS

Seperti diketahui bahwa penentuan besarnya tahanan pentanah sangat sulit sehingga lebih praktis bila dilakukan *trial and error*. Dari analisa awal direkomendasikan untuk pemakaian elektroda plat pejal. Karena dari teori dan pengalaman diketahui bahwa untuk kondisi tanah tertentu, tahanan pentanah yang kecil akan lebih mudah diperoleh bila dipakai elektroda berbentuk plat pejal. Dalam instalasi sistem pentanah ini, plat elektrode pejal yang ditanam berbentuk persegi panjang karena lebih praktis, sedangkan rumus $\rho = R [1/8D + (1/4\pi S) \{ 1 - (7/12)(D/S)^2 + (33/40)(D/S)^4 \}]^{-1}$ berlaku untuk plat pejal berbentuk lingkaran. Untuk itu maka D pada rumus tersebut harus diganti dengan $1,128\sqrt{A}$, dimana A adalah luas elektroda sehingga rumus menjadi

$$\rho = R \left[1/(0,14\sqrt{A}) + (1/4\pi S) \{ 1 - 0,74A/S^2 + 1,34A^2/S^4 \} \right]^{-1}$$

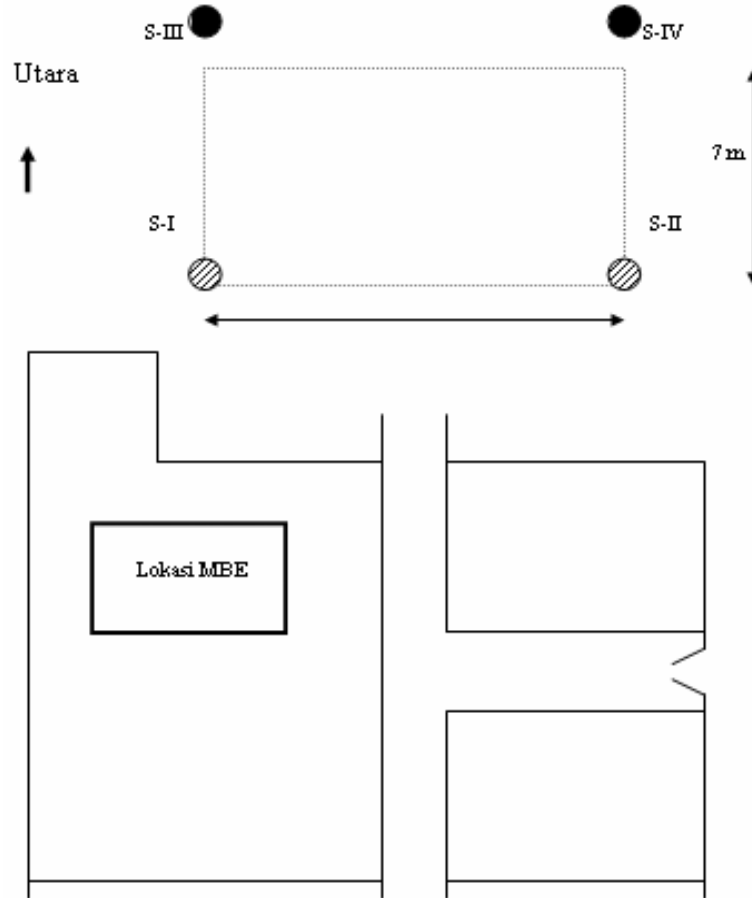
Dari survey lapangan diputuskan bahwa berdasarkan pertimbangan praktis dan perkiraan logis, lokasi penanaman elektroda yang paling representatif adalah di sebelah utara Gedung Akselerator (lihat Gambar 4).

Pada tahap pertama hanya dibuat sebuah sumur (S-I) sampai mencapai air tanah pada kedalaman sekitar 7 m, lalu diperdalam menjadi 7,8 m. Pada dasar sumur kemudian ditimbun dengan tanah liat dan diusahakan tanah liat menjadi berbentuk lumpur, lalu ditanam elektroda plat dari bahan tembaga berbentuk empat persegi panjang. Dari pengukuran ternyata hasilnya masih sangat jelek dimana tahanan yang diperoleh masih sangat besar. Pada tahap berikutnya dilakukan penambahan elektroda berbentuk lempengan dan batang secara *trial and error*, dan akhirnya diperoleh tahanan

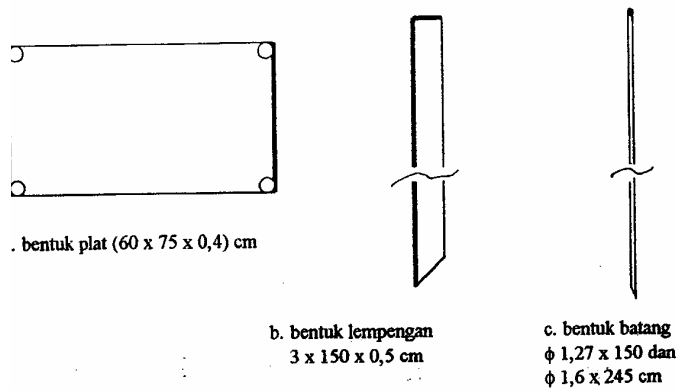
pentanah sebesar $5,6 \Omega$. Untuk mendapatkan tahanan yang diinginkan sesuai dengan persyaratan, dibuat sumur yang lain (S-II) pada jarak 9 m dari sumur yang pertama dengan kedalaman 8 m. Berdasarkan pada pengalaman sebelumnya, kemudian ditanam beberapa elektrode dari berbagai

bentuk dan ukuran (Gambar 5) secara *trial and error*.

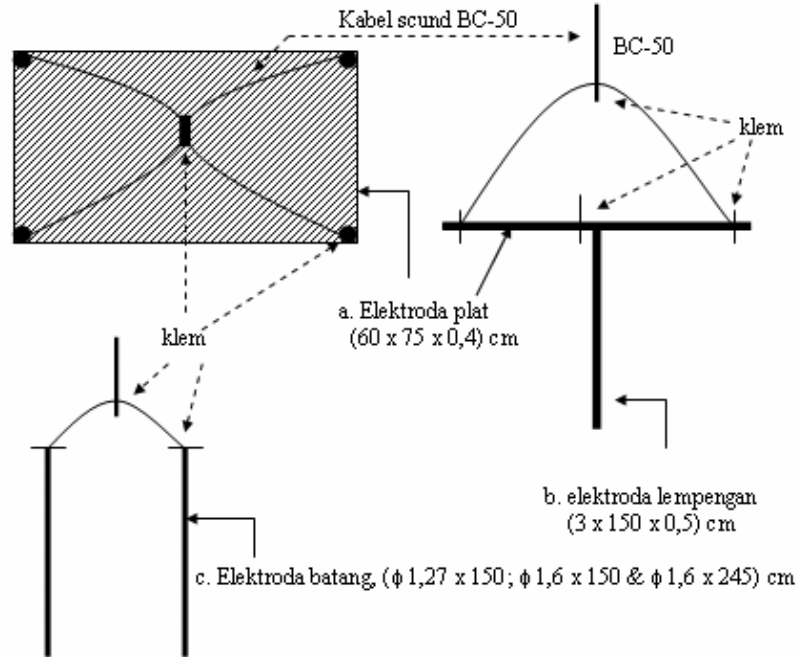
Tiap elektrode di-klem dan disambung dengan kabel pentanah dari jenis kabel scund BC-50, lihat Gambar 6. Hasilnya ditunjukkan pada Tabel 2.



Gambar 4. Lay-out pembuatan sumur untuk pentanahan di Gedung Akselerator (S, Sumur).



Gambar 5. Tiga macam bentuk elektroda yang ditanam.



Gambar 6. Penyambungan elektroda yang ditanam.

Tabel 2. Hasil pembuatan sistem pentanah untuk SIK dan SSTT pada MBE.

Nomor Sumur	Kedalaman (m)	Bentuk elektroda pejal	Ukuran (cm)	Jumlah (buah)	Tahanan yang diperoleh (Ω)
I	7,8	Plat persegi panjang	60 x 75 x 0,4	1	5,6
		Lempengan	3 x 150 x 0,5	1	
		Batang	φ 1,27 x 150	4	
II	8	Lempengan	3 x 150 x 0,5	1	0,22
		Batang	φ 1,6 x 150	1	
III	7,9	Batang	φ 1,6 x 245	3	2,1
IV	8	Batang	φ 1,6 x 245	4	0,1

Tahanan yang diperoleh pada sumur I diparalel dengan tahanan pada sumur II, dipakai untuk *grounding* Sistem Instrumentasi dan Kendali. Sedangkan tahanan yang diperoleh pada sumur III diparalel dengan yang diperoleh dari sumur IV, dipakai untuk *grounding* Sistem Sumber Tegangan Tinggi. Dengan paralelisasi tersebut akhirnya diperoleh tahanan pentanah untuk SIK dan SSTT masing-masing besarnya adalah 0,22 Ω dan 0,1 Ω. Jadi tahanan pada sumur I dan III seolah-olah tidak

memberikan kontribusi yang signifikan terhadap tahanan pentanah pada sumur yang lain.

Dari instalasi, pengukuran dan perhitungan secara matematis yang telah dilakukan dapat dianalisa bahwa dengan perhitungan secara matematis suatu tahanan pentanah sulit diperoleh hasil yang sesuai dengan kenyataan. Hal ini terjadi karena banyaknya variabel yang mempengaruhi besarnya tahanan pentanah.

Sebagai contoh diambil perhitungan tahanan pentanah pada sumur I, dimana di dalamnya terdapat 3 macam elektroda yaitu berbentuk plat, lempengan dan batang.

Untuk elektrode pejal berbentuk persegi panjang dan lempengan dipakai rumus $R = \rho / (0,14 \sqrt{A}) + (\rho / 4\pi S) \{1 - 0,74A/S^2 + 1,34 A^2/S^4\}$ atau, $\rho = R [1 / (0,14 \sqrt{A}) + (1/4\pi S) \{1 - 0,74A/S^2 + 1,34 A^2/S^4\}]^{-1}$. Sedangkan untuk elektroda batang dipakai rumus $R = (\rho/2\pi L) \{\ln(4L/a) - 1\}$ atau $\rho = R [1/2\pi L] \{\ln(4L/a) - 1\}^{-1}$, dimana L panjang

elektroda pentanah (cm) dan a adalah diameter batang elektroda (cm).

Pertama-tama diasumsikan bahwa tanah yang telah diolah menjadi tanah garapan berjenis tanah liat dengan resistivitas minimum sebesar 1 k Ω -cm. Dari Tabel 1, maka besarnya $A = 4500 \text{ cm}^2$; $S = 1560 \text{ cm}$; $L = 150$ dan 245 cm ; $a = 1,27$ dan $1,6 \text{ cm}$ serta $\rho = 1 \text{ k}\Omega\text{-cm}$, sehingga besarnya tahanan pentanah dapat dihitung dan hasilnya ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil perhitungan tahanan pentanah Rt.

Nomor Sumur	Bentuk dan jumlah elektroda	R-tanah total		Rt (Ω)
		Sebagai fungsi ρ	dengan $\rho = 1 \text{ k}\Omega\text{-cm}$	
I	Plat persegi panjang (1)	0,107 ρ	107	1,346
	Lempengan (1)	0,337 ρ	337	
	Batang (4)	$1,369 \cdot 10^{-3} \rho$	1,369	
II	Lempengan (1)	0,337 ρ	337	5,15
	Batang (1)	$5,23 \cdot 10^{-3} \rho$	5,23	
III	Batang (3)	0,039 ρ	39	39
IV	Batang (4)	0,029 ρ	29	29

Dari Tabel 3 tersebut dapat diketahui bahwa

1. Besarnya tahanan pentanah dari perhitungan sangat berbeda dengan hasil pengukuran karena pengambilan asumsi resistivitas ρ terlalu tinggi.
2. Kontribusi tahanan dari elektrode berbentuk plat dan lempengan sangat kecil dibandingkan dengan elektroda batang sehingga besarnya dapat diabaikan.
3. Elektrode bentuk batang sangat menonjol pengaruhnya terhadap pembuatan sistem pentanah.

Dari ke tiga hal tersebut maka dapat dianalisis ulang besarnya resistivitas tanah ρ berdasarkan pada besarnya tahanan pentanah total Rt dari hasil pengukuran, dengan cara mengabaikan tahanan dari elektroda yang kurang dominan yaitu bentuk plat dan lempengan.

Rt untuk SIK adalah $0,0104 \rho$ yaitu paralelasi dari $1,369 \cdot 10^{-3} \rho$ dan $5,23 \cdot 10^{-3} \rho$, sedangkan Rt untuk SSTT adalah $0,0166 \rho$ yaitu paralelasi dari $0,039 \rho$ dan $0,029 \rho$. Dengan mengkonversikan hasil perhitungan terhadap hasil

pengukuran maka dapat dihitung resistivitas tanah rata rata adalah $131,362 \Omega\text{-cm}$. Ini berarti bahwa tanah dimana elektroda ditanam termasuk tanah liat di sawah dan basah seperti rawa^[1]. Dan ini sesuai dengan kenyataan karena pada saat pengolahan tanah, di dalam sumur dimasukkan tanah liat yang banyak sampai semua terendam air sehingga tanah liat dalam kondisi basah seperti rawa.

KESIMPULAN

Dari pembahasan yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa :

1. Perencanaan sistem pentanah adalah tidak mudah karena tergantung banyak variabel.
2. Faktor utama dan paling dominan dalam pembuatan sistem pentanah adalah resistivitas tanah.
3. Untuk mendapatkan resistivitas tanah yang kecil, mutlak diperlukan pengolahan tanah yaitu dengan mengkondisikan tanah yang akan dipasang elektroda menjadi tanah rawa. Ini dapat dilakukan dengan cara membuat sumur sampai

mencapai air tanah kemudian ditimbun dengan tanah liat.

UCAPAN TERIMA KASIH

Dengan telah selesainya penulisan makalah ini kami mengucapkan terima kasih kepada Rekan-rekan di Bidang Akselerator, khususnya Sdr. Ir. Purnomo Enuryanto, Biso Mulyono dan semua tenaga rekanan pelaksana instalasi sistem *grounding* untuk MBE yang telah banyak membantu dan memberikan saran pada waktu pelaksanaan instalasi.

DAFTAR PUSTAKA

[1] SUYAMTO, SUTADI, PURNOMO ENURYANTO, *Instalasi dan Perhitungan Tahanan Pentanah untuk Mesin Berkas Elektron*, 2002. Seminar Nasional Teknologi Akselerator dan Aplikasinya Oktober 2002 di P3TM.

[2] AS PABLA, *Punjab State Electricity Board, Chandigarh : Electric Power Distribution Systems*, Tata McGraw-Hill Publishing Company Limited New Delhi, 1983.

[3] ADDUL KADIR, *Energi*, Bab 4 :Tarif Listrik, fotocopy tanpa tahun.





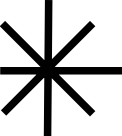
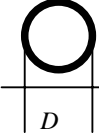
[4] L. W. MANNING, *Load Characteristics, ELECTRICAL HAND BOOK*, Chapter 2.


[5] HUGH W. DENNY, *Groungding for the Control EMI*, Electromagnetic Compatibility Division and Computer System Laboratory Engineering Experiment Station, Georgia Institute of Technology, Copyright 1983

[6] RALPH MORRISON, *Grounding ang Shielding Techniques in Instrumentation*, Dynamic Instrumentation Company, 1968.

LAMPIRAN

Tabel rumus besarnya tahanan pentanah Rp untuk berbagai macam bentuk elektroda^[3,4].

No	Bentuk elektroda	<i>Rp</i> (Ω,
1		$R = (\rho/2\pi L)\{\ln (4L/a) - 1\}$
2		$R = (\rho/4\pi L)\{\ln (4L/a) + \ln (4L/S) - 2 + S/(2L) - S^2/16L^2 + S^4/(512 L^4)\}$
3		$R = (\rho/6\pi L)\{\ln (2L/a) + \ln (2L/S) + 1,071 - 0,209 (S/L) + 0,238 (S^3/L^3) - 0,054 (S^4/L^4)\}$
4		$R = (\rho/12\pi L)\{\ln (2L/a) + \ln (2L/S) + 6,851 - 3,128 (S/L) + 1,758 (S^2/L^3) - 0,49 (S^4/L^4)\}$
5		$R = (\rho/16\pi L)\{\ln (2L/a) + \ln (2L/S) + 10,98 - 5,51(S/L) + 3,26 (S^3/L^3) - 1,17 (S^4/L^4)\}$
6		$R = (\rho/2\pi^2 D)\{\ln (8D/d) + \ln (4D/S)\}$ (D dan d, lihat Gambar)

7		$R = \rho/8D + (\rho/4\pi S)\{1 - (7/12)(D/S)^2 + (33/40)(D/S)^4\}$
---	---	---

Keterangan : ρ (Ω/cm) resistivitas tanah, D diameter dan $S/2$ kedalaman penanaman dari elektroda. (cm)

TANYA JAWAB

Agus TP

- Yang dimaksud pengolahan tanah di dalam sumur itu bagaimana?
- Dan bagaimana mengolahnya, dengan tujuan apa?

Suyamto

- Yang dimaksud pengolahan tanah adalah pengkondisian tanah. Caranya dengan memasukkan tanah liat/lempung ke dalam sumur dan mencampur dengan air sehingga menjadi tanah basah.
- Tujuannya adalah untuk memperkecil resistivitasnya (ρ) sesuai dengan Tabel 1.

Saminto

- Apa standar alat ukur yang digunakan dan bagaimana akurasi alat ukur yang dipakai? Mohon dijelaskan.

Suyamto

- Alat ukur yang digunakan adalah ERM (Earth Resistance Meter). Karena keterbatasan (alat) alat ukur ini tidak dikalibrasi sehingga tidak ada standarnya. Agar hasil pengukuran dapat dipertanggungjawabkan/akurat, pengukuran dilakukan dengan memakai 2 alat ukur, kemudian hasilnya dibandingkan.

Pramudita Anggraita

- Tahanan tanah apa tergantung musim (basah keringnya tanah)?

Suyamto

- Jelas sangat tergantung musim, sehingga pembuatan sistem grounding yang baik adalah dilakukan pada musim yang sangat kering dengan demikian akan sangat efektif, dimana pada musim hujan justru resistivitasnya menjadi lebih kecil dan R (tahanan) juga mengecil/rendah.

S. Trijoko

- Menurut standar (acuan), berapa nilai tahanan tanah (maksimum) yang masih diperbolehkan untuk digunakan sebagai pentanah dan bagaimana/apa pengaruh nilai tahanan pentanah terhadap kinerja SIK dan SSTT?

Suyamto

- Nilai tahanan pentanah tidak ada standar/acuannya, tapi tergantung pada tujuannya. Untuk perlindungan gedung 5Ω (persyaratan oleh PUIL). Untuk keselamatan, arus maksimum yang boleh lewat tubuh manusia 50 mA, sudah memberi dampak yang tidak diinginkan. Sedang untuk SIK lebih kecil lagi yang penting adalah arus gangguan harus segera ditanahkan. Apabila tahanan pentanah besar maka SIK mudah terkena gangguan EMI dari luar sehingga sinyal-sinyal yang ada mudah terpengaruh (sinyal tercemar).