

INSTALASI DAN EVALUASI GROUNDING UNTUK MBE INDUSTRI LATEKS PTAPB MENGGUNAKAN MULTIPLE ROD

Suyamto, Sutadi, Elin Nuraini

^{*)}Pusat Teknologi Akselerator dan Proses Bahan, BATAN,

. Jl. Babarsari P.O.Box 6101 ykbb, Yogyakarta 55281

e-mail : ptapb@batan.go.id

Diterima 13 Mei 2011, diterima dalam bentuk perbaikan 07 Desember 2011, disetujui 16 Januari 2012

ABSTRAK

INSTALASI DAN EVALUASI GROUNDING UNTUK MBE INDUSTRI LATEKS PTAPB MENGGUNAKAN MULTIPLE ROD. Telah dilakukan instalasi dan evaluasi grounding pada MBE untuk industri lateks PTAPB menggunakan multiple rod. Instalasi didasarkan pada kebutuhan nilai tahanan pentanahan R_p yang kecil dengan cara pemilihan bentuk, ukuran dan jumlah elektrode serta lokasi penanaman elektrode. Agar diperoleh resistivitas tanah ρ yang rendah, sumur ditimbun tanah liat pada bagian di sekitar elektrode. Instalasi dilakukan dengan menanam elektrode-2 batang tembaga (Cu) pejal diameter 16 mm pada 2 buah sumur, masing-2 berjumlah 4 buah @ 2 meter dan 8 buah @ 1 meter, menembus 2 lapisan tanah. Dengan konfigurasi elektrode yang telah ditentukan, diperoleh R_p terukur rata-rata 3,99 Ω pada sumur I dan 5,82 Ω pada sumur II atau $R_{pt} = 2,36 \Omega$ jika dirangkai paralel, sedangkan dari pengukuran setelah keduanya dikopel diperoleh nilai rata-rata $R_{pt} = 1,97 \Omega$. Dari perhitungan secara trial and error dengan memvariasi ρ , diperoleh tahanan tanah bagian atas $R_1 = 6,53 \Omega$ dan tahanan tanah bagian bawah $R_2 = 10,41 \Omega$ atau jika diparalel $R_{p1} = 4,01 \Omega$ untuk sumur I, sedangkan untuk sumur II diperoleh $R_1 = 7,72 \Omega$ dan $R_2 = 23,64 \Omega$ yang jika diparalel diperoleh $R_{p2} = 5,81 \Omega$. Bila tahanan pada sumur I dan II diparalel diperoleh $R_{pt} = 2,37 \Omega$. Perbedaan R_{pt} antara pengukuran dan perhitungan 0,40 Ω sangat dimungkinkan karena pengukuran R_{pt} sulit dilakukan dan sangat dipengaruhi oleh inhomogenitas resistivitas tanah antara satu tempat dengan tempat yang lain. Dari evaluasi diketahui bahwa pengaruh panjang dan kedalaman penanaman lebih dominan dibanding dengan jumlah elektrode. Dengan perbedaan kedalaman elektrode 0,55 m dibanding dengan jumlah elektrode 2 kali diperoleh perbedaan tahanan yang sangat besar yaitu 18,47 Ω .

Kata kunci : MBE, tahanan pentanah, batang banyak

ABSTRACT

INSTALLATION AND EVALUATION OF GROUNDING SYSTEM FOR EBM INDUSTRIAL LATEX AT PT APB USING MULTIPLE ROD. Installation and evaluation of grounding system for EBM industrial latex at PT APB using multiple rod has been carried out. Installation is based on the needs of small grounding resistance (R_p) value by choosing the shape, size and number of electrode and the electrodes planting location. The well backfilled with clay in order to obtain low soil resistivity ρ on surrounding the electrode. Installation is done by planting the electrodes copper rod (Cu) diameter of 16 mm in 2 wells, each consists of 4 pieces @ 2 meters length and 8 pieces @ 1 meter length through 2 layers soil. From the electrodes with a predetermined configuration, obtained the average measured value of R_p is 3.99 Ω in wells I and 5.82 Ω in wells II or $R_{pt} = 2,36 \Omega$ in parallel, whereas the average of measurements value of electrodes is $R_{pt} = 1.97 \Omega$. From trial and error by varying of ρ it is obtained that the resistance on the upper soil $R_1 = 6.53 \Omega$ and $R_2 = 10.41 \Omega$ for the bottom soil or in parallel obtained $R_{p1} = 4.01 \Omega$ for wells I, while for wells II $R_1 = 7.72 \Omega$ and $R_2 = 23.64 \Omega$ that if in parallel obtained $R_{p2} = 5.81 \Omega$. When resistance on I and II wells being paralleled R_{pt} value is 2.37 Ω . The difference values of measured and calculation R_{pt} value is 0.40 Ω , it might be caused by the difficulty on R_{pt} measurement and the effect of inhomogeneity of ground resistivity from one place to another place. From the evaluation found that the influence of length and depth of planting electrodes more dominant compared to the number of electrodes. With the difference of 0.55 m electrode depth and 2 times the number of electrode obtained a very large difference in resistance i.e 18.47 Ω .

Key words : EBM, grounding resistance, multiple rod

PENDAHULUAN

Mesin Berkas Elektron (MBE) untuk industri lateks merupakan salah satu peralatan baru yang sedang dikembangkan oleh PTAPB yang di dalamnya terdapat sumber tegangan tinggi. Apabila terjadi hubung

singkat atau arus bocor dari konduktor yang bertegangan ke bodi, akan dapat mengakibatkan hal-hal yang tidak diinginkan seperti ⁽¹⁾:

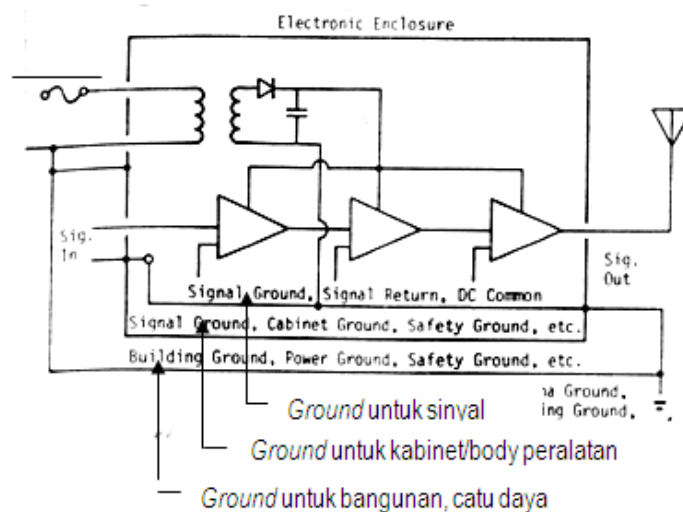
1. Membahayakan operator bila menyentuh atau berada di sekitar peralatan tersebut,
2. Terjadi kebakaran bila arus bocor tersebut mengalir dari sumber yang bertegangan menuju netral atau bodi melalui medium yang mudah terbakar.

Untuk itu pada MBE perlu diinstal suatu pentanahan dengan tujuan utama adalah untuk perlindungan terhadap personil dan pencegahan dari kemungkinan terjadinya kebakaran. Evaluasi perlu dilakukan terhadap hasil instalasi dengan maksud untuk menganalisis besarnya tahanan pentanah yang telah diperoleh. Metode yang digunakan adalah dengan cara pengukuran berulang-ulang dan memvariasi posisi penanaman probe alat ukur sehingga diperoleh data yang banyak, kemudian dibandingkan dengan teori dan hasil perhitungan perencanaan yang telah dilakukan sebelumnya.

TEORI

Grounding atau pentanahan dalam sistem kelistrikan merupakan hal yang sangat penting karena sesuai dengan fungsinya dapat berlaku sebagai alat untuk tujuan pencegahan, keselamatan maupun untuk tujuan perlindungan, sebagai berikut: (Gambar 1) yaitu ^(2,3,4):

1. Pencegahan terhadap sinyal dari gangguan gelombang elektromagnetik yang berasal dari luar (*signal ground, antene ground*),
2. Keselamatan terhadap manusia atau operator, pencegahan terhadap kerusakan peralatan dan kemungkinan terjadinya kebakaran apabila terjadi hubung singkat antara konduktor yang bertegangan dengan bodi peralatan (*cabinet ground, safety ground*),
3. Perlindungan terhadap bangunan dan saluran tenaga transmisi maupun distribusi listrik dari sambaran petir (*building ground, power ground*).



Gambar 1. Beberapa fungsi dari sistem pentanahan

Syarat-syarat Instalasi Pentanahan yang Efektif

Prinsip dan teori dari setiap pentanahan adalah sama yaitu sistem pentanahan yang dibuat dan diusahakan mempunyai tahanan pentanah (R_p) yang sekecil mungkin. Tujuannya adalah agar bila terjadi arus gangguan, dapat mengalir ke dalam tanah secara cepat dan dalam jumlah yang besar sehingga arus gangguan yang melewati tubuh manusia sangat kecil sehingga aman ^(1,5,6).

Dalam instalasi sistem pentanahan ada beberapa faktor yang perlu dipertimbangkan antara lain adalah tahanan jenis tanah, struktur tanah, keadaan lingkungan, biaya, ukuran dan bentuk elektrode yang akan dipasang. Secara umum untuk menghasilkan R_p yang lebih kecil diperlukan biaya yang lebih besar dan sebaliknya, sehingga sebelum dibuat instalasi sistem pentanahan perlu dipertimbangkan fungsi dan efek ekonomisnya serta disesuaikan dengan keperluannya. Syarat-syarat yang harus dipenuhi agar suatu pentanahan efektif adalah ^(5,6,7):

1. R_p harus memenuhi syarat yang diinginkan untuk suatu keperluan pemakaian tertentu,
2. Elektrode yang ditanam harus dari bahan konduktor yang baik, tahan korosi dan cukup kuat,
3. Elektrode harus mempunyai kontak yang baik dengan tanah di sekelilingnya,
4. R_p harus baik untuk berbagai musim selama setahun,
5. Biaya pemasangan serendah mungkin.

Dari semua rumusan untuk berbagai macam bentuk elektrode diketahui bahwa R_p berbanding lurus dengan besarnya resistivitas atau tahanan jenis tanah ρ (lihat Lampiran 1), sehingga dalam hal ini banyak dilakukan usaha untuk memperkecil ρ .

Untuk berbagai tempat, nilai ρ tidak sama dan tergantung pada beberapa faktor antara lain:

1. Sifat geologi tanah ,
2. Komposisi zat kimia dalam tanah,
3. Kandungan air tanah,
4. Suhu tanah,
5. Perubahan musim.

Sifat geologi tanah merupakan faktor utama yang menentukan tahanan jenis tanah. Bahan dasar tanah relatif bersifat bukan penghantar dan umumnya mempunyai ρ rendah, sedangkan batu-batuan dan quartz bersifat sebagai isolator, dapat dilihat pada tahanan jenis tanah dalam Lampiran 2.

Kandungan zat-zat kimia dalam tanah perlu diperhatikan terutama bila mengandung garam karena dapat bersifat korosif. Di daerah yang mempunyai tingkat curah hujan tinggi biasanya mempunyai tahanan jenis tanah yang tinggi disebabkan larutnya garam yang terkandung pada lapisan atas. Pada daerah yang demikian ini untuk memperoleh pentanahan yang efektif dilakukan dengan menanam elektrode yang lebih dalam.^(7, 8)

Kandungan air tanah sangat berpengaruh terhadap perubahan ρ , terutama kandungan air tanah sampai dengan 20% dan kenaikan kandungan air tanah di atas 20% pengaruhnya sedikit sekali.

Suhu tanah di bumi pada kedalaman 1,5 m biasanya konstan atau tidak berubah terhadap perubahan suhu permukaan tanah. Untuk daerah tropis seperti Indonesia perbedaan suhu permukaan tanah selama setahun tidak banyak sehingga faktor perubahan suhu boleh dikatakan tidak ada pengaruhnya terhadap ρ . Perbedaan tahanan jenis tanah akibat iklim biasanya terbatas sampai kedalaman beberapa meter dari permukaan tanah, selanjutnya pada bagian yang lebih dalam secara praktis akan konstan.

Dengan hal-hal tersebut di atas maka dapat disimpulkan bahwa variasi tahanan jenis tanah sangat besar terutama apabila kondisinya tidak homogen, bahkan pada suatu lokasi tertentu sering dijumpai beberapa jenis tanah yang mempunyai ρ yang berbeda-beda (*non uniform*)^(9,10). Oleh sebab itu pada pemasangan sistem pentanahan dalam suatu lokasi, peralatan pentanahan ditanam pada dua atau lebih lapisan tanah yang berbeda yang berarti bahwa ρ di tempat tersebut tidak sama.

Faktor-faktor yang Menentukan Tahanan Pentanahan

Telah dijelaskan sebelumnya bahwa untuk mencapai tujuan pentanahan, tahanannya harus dibuat sekecil mungkin dan tahanan pentanahan tersebut tergantung pada tiga faktor yaitu^(5, 7):

1. Tahanan elektrode itu sendiri dan penghantar yang menghubungkan ke peralatan yang ditanahkan.
2. Tahanan kontak antara elektrode dengan tanah.
3. Tahanan massa tanah sekeliling elektrode.

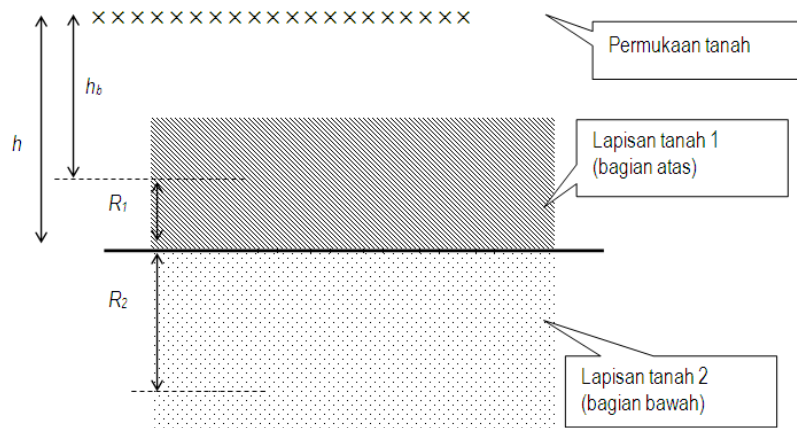
Pada prakteknya tahanan elektrode dapat diabaikan, sedangkan tahanan kawat penghantar yang menghubungkan ke peralatan mempunyai impedansi yang tinggi terhadap impuls frekuensi tinggi misalnya pada saat terjadi *lightning discharge*. Untuk menghindarinya, sambungan ini diusahakan dibuat sependek mungkin^(9,10, 11). Dari ketiga faktor tersebut di atas yang paling dominan pengaruhnya adalah tahanan sekeliling elektrode yang merupakan fungsi dari ρ . Disamping itu untuk memperoleh R_p yang kecil tidak mudah karena parameternya sangat banyak antara lain bahan, ukuran dan jenis elektrode, kedalaman penanaman elektrode, teknik penyambungan dan lain-lain.

Bentuk-bentuk elektrode yang ditanam berikut perumusannya ditunjukkan pada Lampiran 1, berlaku untuk tanah yang homogen sehingga resistivitasnya sama untuk setiap kedalaman penanaman^(6,10,12). Namun dari beberapa perhitungan dan berdasarkan pengalaman yang telah dilakukan sebelumnya diketahui bahwa dengan elektrode bentuk batang akan dihasilkan R_p yang paling rendah. Selain itu bila penanamannya lebih dalam atau

semakin jauh dari permukaan tanah, pada tanah yang tidak homogen dan dalam jumlah banyak (*multiple rod*) juga akan diperoleh R_p yang lebih kecil lagi^(5,7,10,13,14), sehingga untuk memperoleh R_p yang kecil banyak dilakukan penanaman elektrode seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.

Bahan elektrode batang harus dipilih sedemikian hingga:

1. Memiliki daya hantar jenis (*conductivity*) yang besar sehingga tidak memperbesar beda potensial lokal yang berbahaya,
2. Memiliki kekuatan mekanis yang tinggi terutama bila digunakan pada daerah yang tidak terlindung terhadap kerusakan fisik.
3. Mudah disambung secara elektrik sehingga tidak mudah putus walaupun dialiri arus gangguan yang besar dan dalam waktu yang lama.
4. Tahan terhadap korosi.



Gambar 2. Beberapa batang elektrode tegak lurus ke dalam tanah

Dengan susunan batang-batang elektrode yang ditanam tegak lurus ke dalam tanah dalam jumlah yang banyak (*multiple rod*), menembus lapisan tanah kedua, jarak penanaman antara batang elektrode sama seperti pada Gambar 2 tersebut di atas, besarnya R_p adalah sebagai berikut^(10,13,14).

$$R_p = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} \quad (1)$$

$$R_1 = \frac{\rho_1}{(h - h_b)} g_0 \frac{F_0}{N} + \frac{\rho_1}{h} \phi_0 \quad (2)$$

$$R_2 = \frac{\rho_2}{(L + h_b - h)} g_0 \frac{F_0}{N} \quad (3)$$

$$g_0 = \frac{1}{2\pi} \left[\ln \left(\frac{2L}{a} \right) - 1 + \frac{\ln 2}{1 + \frac{(4 \ln 2) h_b}{L}} \right] \quad (4)$$

$$F_0 = \frac{L}{1 - 0,9K}, \quad (5)$$

$$K = \frac{\rho_2 - \rho_1}{\rho_2 + \rho_1} \quad (6)$$

$$\phi_0 = \frac{\frac{1}{2\pi} \left(\ln \frac{1}{1-K} \right)}{\sqrt{\left(\frac{N}{F_0} - 1 \right)^2 + 1}} \quad (7)$$

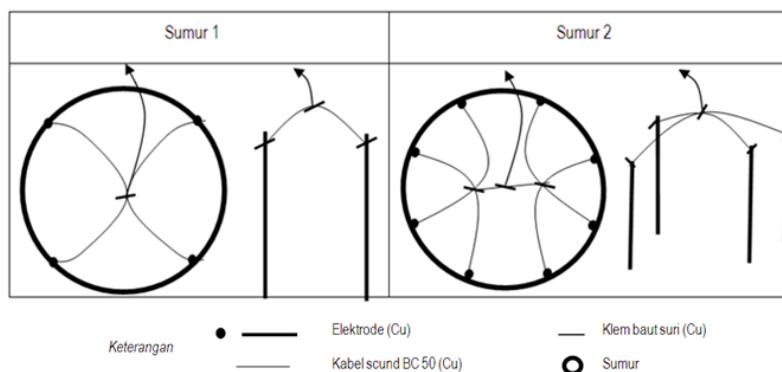
dengan,

- R_p : tahanan pentanah total untuk *multiple rod* (Ω),
 L : panjang elektrode batang (m),
 a : jari-jari batang elektrode (cm),
 h_b : kedalaman penanaman elektrode (m),
 h : kedalaman lapisan tanah bagian bawah (m),
 N : jumlah batang elektrode,
 K : koefisien refleksi,
 ρ_1 : tahanan jenis tanah lapisan bagian atas (Ω -m),
 ρ_2 : tahanan jenis tanah lapisan bagian bawah (Ω -m).

METODOLOGI

Agar dihasilkan R_p yang kecil, instalasi pentanahan untuk MBE lateks pertama-tama dilakukan dengan memilih lokasi yang diperkirakan selalu basah sehingga diharapkan tanahnya mempunyai ρ yang kecil, kemudian ditentukan bahan elektrode dan konfigurasinya sebagai berikut:

1. Bahan elektrode adalah tembaga pejal agar terhindar dari *galvanic couple* yang dapat menyebabkan korosi^(7,13).
2. Jumlah sumur 2 buah, jarak antar sumur 7,8 m, kedalaman mencapai air tanah, diameter 80 cm agar mudah dalam penggaliannya.
3. Diameter elektrode biasanya 5/8" – 3/4" dengan panjang 4 feet – 8 feet⁽⁴⁾, sehingga dalam instalasi ini digunakan elektrode batang diameter 16 mm, panjang $L_1 = 2$ m dan $L_2 = 1$ m (Lampiran 3a).
4. Penyambungan elektrode dilakukan seperti pada Gambar 3, sedangkan instalasinya dilakukan seperti pada Gambar 4, dimana masing-masing elektrode ditanam menembus 2 jenis lapisan tanah
5. Tiap elektrode diikat menjadi satu menggunakan baut suri dan disambung dengan kabel tembaga dari jenis *scund* BC-50, (Lampiran 1b).
6. Agar diperoleh resistivitas yang kecil, sumur ditimbun tanah liat atau tanah lempung (Lampiran 3f), dengan ketinggian seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4, kemudian diberi air untuk memperbaiki tahanan kontak antara tanah dan elektrode.
7. Pengukuran besarnya R_p dilakukan secara berulang-ulang agar diperoleh data yang lebih akurat

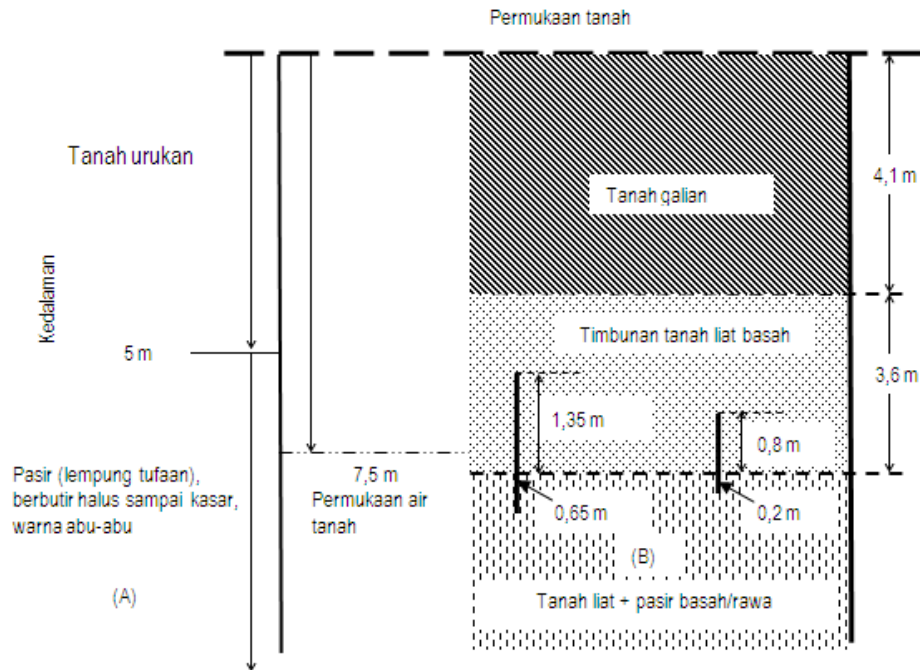


Gambar 3. Penyambungan elektrode (a). tampak atas, (b). tampak samping

HASIL DAN PEMBAHASAN

Lokasi penanaman elektrode dipilih dan ditentukan di dekat selokan dimana struktur tanahnya (Gambar 4 A): lapisan paling atas sedalam 5 m berupa tanah urukan, lapisan berikutnya berupa tanah lempung tufaan bercampur pasir berbutir halus sampai kasar berwarna abu-abu (Lampiran 3e), air tanah dicapai pada kedalaman 7,5 m. Untuk penanaman elektrode, setelah dicapai air tanah kemudian diperdalam 0,2 m menjadi 7,7 m, pada sumur di sekitar elektrode ditimbun tanah liat (Lampiran 3f) dengan kedalaman 3,6 m, kemudian di atasnya ditimbun tanah galian

seperti semula, lihat Gambar 4. Dengan instalasi sistem pentanahan seperti pada Gambar 4 tersebut diharapkan diperoleh R_p yang rendah.



Gambar 4. Struktur tanah di dekat MBE lateks dan penanaman elektrode.

(A). Struktur tanah, (B). Penanaman elektrode pada sumur I dan II

Pengukuran R_p dilakukan sebelum dan sesudah elektrode sumur I dan II disusun secara diparalel, menggunakan *Earth Resistance Meter* (ERM) atau *Earth Tester Model 4102* merk KYORITSU dengan posisi kutub ERM yang berbeda (Lampiran 3d) secara berulang-ulang untuk mendapatkan data yang banyak⁽¹⁵⁾. Hasilnya ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil pengukuran tahanan pentanah $R_p (\Omega)$

Tahanan tiap sumur				Tahanan gabungan 2 sumur (paralel)			
Sumur I $N = 4, L = 2 \text{ m}$		Sumur II $N = 8, L = 2 \text{ m}$		diukur di sebelah utara sumur		diukur di sebelah selatan sumur	
P1	P2	P1	P2	P1	P2	P1	P2
3,8	4,1	6,3	5,4	1,4	2,0	2,0	2,4
3,7	4,0	6,3	5,4	1,5	1,6	2,1	2,4
4,0	4,0	6,2	5,4	1,2	2,2	2,0	2,4
4,0	4,0	6,2	5,4	1,6	2,0	2,1	2,4
4,0	4,0	6,2	5,4	1,6	2,1	2,1	2,3
3,96	4,02	6,24	5,40	1,46	1,98	2,06	2,38
3,99 (rata-rata)		5,82 (rata-rata)		1,72 (rata-rata)		2,22 (rata-rata)	
2,36 (paralel)				1,97 (rata-rata)			

Keterangan : P adalah posisi pole atau kutub dari ERM. P1 : posisi 3 kutub ERM lurus, sedangkan P2 posisi kutub tidak lurus. Masing-masing kutub berjarak $> 5 \text{ m}$.

Untuk keperluan evaluasi dan analisis tahanan pentanah R_p , dihitung R_1 dan R_2 pada masing-masing sumur berdasarkan persamaan (1) sampai (7). Dalam perhitungan, ρ_1 dan ρ_2 diasumsikan dari yang paling jelek berdasarkan Lampiran 2 dan 3f dengan memasukkan syarat-syarat berikut:

1. ρ_1 dan ρ_2 harus berharga positif,

2. Berdasarkan kondisi tanah, ρ_1 harus lebih besar dari ρ_2 ,
3. Berdasarkan sifat paralel, R_1 dan R_2 pada sumur I masing-masing harus lebih kecil dari 3,99 Ω , sedangkan pada sumur II harus lebih kecil dari 5,82 Ω ,

Hasil ilustrasi perhitungan R_p dengan nilai parameter-parameter yang telah ditentukan serta dengan mengambil ρ_1 dan ρ_2 yang paling jelek yaitu 200 Ω -m dan 150 Ω -m ditunjukkan pada Tabel 2 ⁽⁵⁾.

Tabel 2. Nilai parameter-parameter dan hasil perhitungan R_p (Ω)

Parameter	Sumur I	Sumur II
h	7,70 m	7,70
h_b	6,35 m	6,90
L	2,00 m	1 m
a	$8 \cdot 10^{-3}$ m	$8 \cdot 10^{-3}$ m
N	4	8
ρ	$\rho_1 = 200$ dan $\rho_2 = 150$ Ω -m	
K	- 0,142	- 0,142
g_o	0,840	0,725
F_o	1,773	0,886
ϕ_o	- 13,09 10^{-3}	- 2,59 10^{-3}
$Go F_o/N$	0,372	0,08
$H - hb$	1,35	0,8
$L + hb - h$	0,65	0,2
R	$R_1 = 54,77$; $R_2 = 85,84$ $R_p = 33,43$	$R_1 = 19,93$; $R_2 = 60$ $R_p = 14,96$
R_{pt}	10,22	

Terlihat pada Tabel 2 bahwa hasil perhitungan R_p sangat jauh berbeda jika dibandingkan dengan hasil pengukuran, hal ini terjadi karena dalam perhitungan diambil asumsi ρ yang paling jelek. Padahal ρ merupakan faktor yang paling dominan terhadap R_p sehingga pada pengambilan asumsi ρ yang tidak tepat akan dihasilkan R_p yang sangat berbeda dengan hasil pengukuran. Di samping itu dari perhitungan juga diketahui bahwa nilai $(\frac{\rho_1}{h} \phi_o)$

sangat kecil (lihat Tabel 2) sehingga dapat diabaikan dan rumus (2) menjadi $R_1 = \frac{\rho_1}{(h - h_b)} g_o \frac{F_o}{N}$.

Agar diperoleh R_p yang sesuai dengan hasil pengukuran, dilakukan perhitungan R_1 dan R_2 secara *trial and error* dengan memvariasi nilai ρ_1 dan ρ_2 sampai diperoleh $R_{pI} = 3,99$ Ω dan $R_{pII} = 5,82$ Ω yang bila keduanya diparalel diperoleh $R_{pt} = 2,36$ Ω , hasilnya ditunjukkan pada Tabel 3. Nilai ρ_1 dan ρ_2 yang sesuai untuk tahanan pentanah yang dihasilkan dapat diketahui dari Tabel 2 dan 3, dimana untuk $\rho_1 = 200$ Ω -m dan $\rho_2 = 200$ Ω -m diperoleh rata-rata $R_1 = 37,35$ Ω dan $R_2 = 72,92$ Ω , sehingga untuk rata-rata $R_1 = 7,17$ Ω dan $R_2 = 17,02$ Ω diperoleh $\rho_1 = 38,20$ Ω -m dan $\rho_2 = 34,95$ Ω -m

Tabel 3. Nilai parameter-parameter untuk menghitung R_1 dan R_2 .

Sumur I	Sumur II
$R_1 = \frac{\rho_1}{(h - h_b)} g_o \frac{F_o}{N} = 0,155 \rho_1 F_{o1}$	$R_1 = \frac{\rho_1}{(h - h_b)} g_o \frac{F_{o2}}{N} = 0,113 \rho_1 F_{o2}$
$R_2 = \frac{\rho_2}{(L + h_b - h)} g_o \frac{F_{o1}}{N} = 0,323 \rho_2 F_{o1}$	$R_2 = \frac{\rho_2}{(L + h_b - h)} g_o \frac{F_{o2}}{N} = 0,453 \rho_2 F_{o2}$
$F_{o1} = \frac{2}{1 - 0,9K} = 1,785$	$F_{o2} = \frac{1}{1 - 0,9K} = 0,892$
$R_1 = 6,53$ Ω dan $R_2 = 10,41$ Ω	$R_1 = 7,72$ Ω dan $R_2 = 23,64$ Ω

Sumur I	Sumur II
$R_1 = 6,53 \, \Omega$ dan $R_2 = 10,41 \, \Omega$	$R_1 = 7,72 \, \Omega$ dan $R_2 = 23,64 \, \Omega$
$R_{pI} = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} = 4,01 \Omega$	$R_{pII} = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} = 5,81 \Omega$
$R_{pt} = 2,37 \, \Omega$	

Terlihat pada Tabel 3 bahwa tahanan pentanah berbanding lurus terhadap resistivitas tanah ρ , berbanding terbalik terhadap jumlah elektrode N dan panjang elektrode L , sehingga untuk mendapatkan R_p yang rendah, ρ harus kecil sedangkan N dan L harus besar. Dari penelitian ini juga diketahui bahwa panjang dan kedalaman penanaman elektrode lebih dominan pengaruhnya dibanding dengan jumlah batang elektrode untuk jenis tanah yang sama. Hal ini terlihat dari rumus 2 dan 3 serta hasil yang diperoleh pada Tabel 2 yaitu dengan kedalaman penanaman elektrode yang berbeda antara sumur I dan II sebesar 0,55 m dan jumlah elektrode 2 kali diperoleh perbedaan tahanan yang sangat besar yaitu 18,47 Ω .

KESIMPULAN

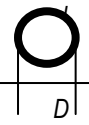
Dari instalasi, pengukuran R_p , evaluasi dan pembahasan dapat ditarik kesimpulan bahwa jenis tanah di sekitar elektrode sangat besar pengaruhnya terhadap R_p , sehingga dalam instalasi sistem pentanahan pemilihan tanah harus diperhatikan secara serius. Pengaruh panjang dan kedalaman penanaman lebih dominan terhadap tahanan pentanah dibanding dengan jumlah elektrode yang ditanam untuk jenis tanah yang sama. Dari instalasi yang telah dilakukan dengan konfigurasi seperti yang telah ditentukan diperoleh tahanan pentanah total R_p (pengukuran) = 1,97 Ω dan R_p (perhitungan) = 2,37 Ω sehingga terdapat perbedaan sebesar 0,4 Ω . Perbedaan ini sangat wajar dan signifikan karena variabel dari tahanan pentanah yang sangat banyak.

DAFTAR PUSTAKA

1. F. D. PETRUZELLA, *Industrial Electronics*, Copyright 1996, diterjemahkan oleh DRS. SUMANTO MA, Elektronik Industri, Penerbit Andi, (2001)
2. H. W. DENNY, *Grounding for the control EMI, Electromagnetic compatibility Division and Computer System Laboratory Engineering Experiment Station*, Georgia Institute of Technology, Copyright (1983)
3. R. MORRISON, *Grounding and Shielding Techniques in Instrumentation*, Dynamic Instrumentation Company, (1968)
4. ANONIM, *Sistem Pembumian (Pentanahan)*, Makalah Klinik Listrik-V Kopesera Engineering, PT-PLN (Persero), Area Pelayanan Jaringan Malang, 16 Maret (2011) 1-32
5. T.S. HUTAURUK, " *Pentanahan Netral Sistem Tenaga dan Pentanahan Peralatan*", Penerbit Erlangga, Jakarta, (1991)
6. SUYAMTO, SUTADI, " *Analisis Korelasi Antara Resistivitas Dan Tahanan Tanah Berdasarkan Pada Sistem Grounding Mesin Berkas Elektron*", *Prosiding Pertemuan dan Presentasi Ilmiah Teknologi Akselerator dan Aplikasinya*, ISSN 1411-1349, Yogyakarta (2004) 136-143.
7. SUCIPTO, *Category: Article Grounding*, June 3rd, (2009), Ak4037's Weblog
8. L. W. MANNING, *Load Characteristics*, ELECTRICAL HAND BOOK, Chapter 2
9. Blogspot.com, *Journey, Bagaimana Memperkecil Nilai Tahanan Grounding (Sistem Pentanahan)*, Mei (2008)
10. ELEKTRO INDONESIA, *Elektrode Batang Mereduksi Nilai Tahanan Pentanahan*, Edisi ke Lima Belas, Nopember, (1998)
11. A. DARMAWAN, *Analisis Perbandingan Nilai Tahanan Pentanahan yang Ditanam di Tanah dan di Septictank Pada Perumahan*, Skripsi Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Diponegoro, Semarang (2001).
12. SUYAMTO, SUTADI dan TAUFIK " *Perencanaan Pentanahan Peralatan dan Perlindungan Personil Pada MBE Industri Lateks*. *Prosiding Pertemuan dan Presentasi Ilmiah Teknologi Akselerator dan Aplikasinya*, ISSN 1411-1349, Yogyakarta (2010) 145-153.

13. H. S. WATTIMENA, WAHYUDI, *Majalah Media Teknik*, No 2 Tahun XXX, (2008) hal 207-214
14. H. H SINAGA, G. KETAREN, A SUNARDI, *Electricia Journal Rekayasa dan Teknologi Elektro*, Vol 2, No 2, (2008) 95-104
15. P. R. ARIAWAN, *Megger dan Pengukuran Pentanahan*, *Makalah Praktikum Pengukuran Listrik*, Jurusan Teknik Elektro fakultas Teknik Universitas Udayana, April (2009).

Lampiran 1 Besar R_p untuk berbagai macam bentuk elektrode^(7,9)

No	Bentuk elektrode	$R_p (\Omega,$
1		$R_p = (\rho/2\pi L)\{LN(4L/A) - 1\}$
2		$R_p = (\rho/4\pi L)\{ln(4L/a) + ln(4L/S) - 2 + S/(2L) - S^2/16L^2 + S^4/(512L^4)\}$
3		$R_p = (\rho/6\pi L)\{ln(2L/a) + ln(2L/S) + 1,071 - 0,209(S/L) + 0,238(S^3/L^3) - 0,054(S^4/L^4)\}$
4		$R_p = (\rho/12\pi L)\{ln(2L/a) + ln(2L/S) + 6,851 - 3,128(S/L) + 1,758(S^2/L^3) - 0,49(S^4/L^4)\}$
5		$R_p = (\rho/16\pi L)\{ln(2L/a) + ln(2L/S) + 10,98 - 5,51(S/L) + 3,26(S^3/L^3) - 1,17(S^4/L^4)\}$
6		$R_p = (\rho/2\pi^2 D)\{ln(8D/d) + ln(4D/S)\}$ (D dan d, lihat Gambar)
7		$R_p = \rho/8D + (\rho/4\pi S)\{1 - (7/12)(D/S)^2 + (33/40)(D/S)^4\}$

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

Lampiran 2. Besar resistivitas ρ berbagai jenis tanah

No	Uraian Tanah	$(\rho)^{(7,9)}$	Jenis tanah	$(\rho)^{(4)}$
1	Sawah, rawa (tanah liat)	0 - 150	Rawa	30
2	Tanah subur dengan rumput tebal	10- 200	Tanah liat	100
3	Sawah, tanah (kerikil)	100- 1000	Pasir Basah	200
4	Pegunungan (biasa)	200-2000	Batu-batu kerikil basah	500
5	Pegunungan (batu)	2000-5000	Pasir dan batu krikil kering	1000
6	Pinggir sungai (berbatu)	1000-5000	Batu	3000

Lampiran 3

	
a. Elektrode batang dan baut suri	b. Kawat scund BC 50
	
c. Penyambungan kawat BC	d. Earth Resistance Meter (ERM)
	
e. Tanah urukan	f. Gumpalan tanah liat (timbunan)