

EVALUASI DAN PERENCANAAN *GROUNDING* UNTUK PENANGKAL PETIR GEDUNG SIKLOTRON

Suyamto, Taufik, Idrus Abdul Kudus

Pusat Sains dan Teknologi Akselerator, Badan Tenaga Nuklir Nasional, Jl. Babarsari P.O.Box 6101 YKBB
Yogyakarta 55281

email : yamto@batan.go.id

ABSTRAK

EVALUASI DAN PERENCANAAN GROUNDING PENANGKAL PETIR GEDUNG SIKLOTRON DI PSTA. Penangkal petir yang dihubungkan dengan tahanan pentanah merupakan peralatan perlindungan gedung terhadap bahaya sambaran petir. Sambaran petir pada gedung dapat mengakibatkan kerusakan gedung tersebut dan merusakkan semua peralatan di dalamnya. Kebutuhan terhadap penangkal petir suatu bangunan diatur dalam PUIPP (Persyaratan Umum Instalasi Listrik). yang dinyatakan dengan faktor risiko (FR). Besarnya FR merupakan jumlahan dari nilai indeks 5 (lima) komponen dari gedung yaitu fungsi bangunan, konstruksi, tinggi dan situasi bangunan serta hari guruh tahunan di tempat tersebut. Pada saat ini Gedung Siklotron telah mengalami perubahan fungsi dari bengkel mekanik menjadi gedung untuk siklotron sehingga kriteria keselamatan juga berubah menjadi bangunan vital dengan tahanan penangkal petir harus $< 1 \Omega$. Dari pengukuran terhadap tahanan pentanahan R_p yang ada pada saat ini diketahui besarnya rata-rata $1,26 \Omega$ sehingga diperlukan instalasi tambahan pentanahan baru untuk menurunkan menjadi $< 1 \Omega$. Untuk memenuhi hal tersebut dan dengan mempertimbangkan biaya maupun kemudahan dalam instalasinya direncanakan tambahan sebuah pentanahan menggunakan elektroda batang pejal dari bahan tembaga (Cu), diameter 16 mm, panjang 4 m, ditanam sampai air tanah sedalam 12 m, dan ditimbun dengan tanah liat berkadar air sekitar 30 %. Dengan kondisi tersebut diharapkan diperoleh hasil yang optimal yaitu tahanan jenis tanah $18,35 \Omega\text{-m}$ dan tahananannya R_x $4,82 \Omega$. Bila kemudian dikopel dengan pentanahan yang telah ada akan diperoleh tahanan pentanah akhir R_p $0,99 \Omega$ sehingga memenuhi persyaratan PUIPP yaitu $< 1 \Omega$.

Kata kunci : tahanan pentanah, penangkal petir, siklotron

ABSTRACT

EVALUATION AND PLANNING FOR LIGHTNING ROD GROUNDING OF PSTA CYCLOTRON BUILDING. Lightning rod connected with the ground resistance is an equipment protection against hazards of lightning strikes building. Lightning strike to the building may result in damage to the building and destroy all the equipment inside it. The need for a lightning rod of a building is regulated in PUIPP expressed with risk factors (FR). The amount of FR is the sum of the value of the index of five (5) components of the building i.e building functions, construction, the height and the situation of the building and the number of yearly lightning days in that places. At this time 05 PSTA building has undergone changes in the function of the building's mechanical workshop into a cyclotron building so that safety criteria also change into vital building with lightning rods resistance have to $< 1 \Omega$. From measurements of grounding resistant which exist at present known that average R_p is 1.26Ω so it is necessary to install new additional grounding resistance to reduce being less than 1Ω . To fulfil this and taking into consideration the cost and ease of installation, planned addition of a grounding using electrodes solid rods of copper, a diameter of 16 mm and a length of 4 m, planted the soil water depth of 12 m, as well as clay covering, with a water content of about 30 %. Under these conditions and taking into the cost and ease of installation are expected to obtain optimal results i.e. soil resistivity $18.35 \Omega\text{-m}$ and its resistance of R_x 4.82Ω . When coupled with existing grounding final resistant R_p 0.99Ω obtained is thus fulfilling the requirements of PUIPP that is less than 1Ω .

Keywords : grounding resistance, lightning rod, cyclotron

PENDAHULUAN

Pada saat ini di Pusat Sains dan Teknologi Akselerator (PSTA) BATAN sedang dilakukan perencanaan, pengembangan dan instalai peralatan penelitian baru berupa mesin siklotron DECY-13 (*Development of Experimental Cyclotron* in Yogyakarta 13 MeV). Peralatan tersebut di instal di

gedung 05 yang semula dipakai dan difungsikan sebagai gedung Bengkel Induk Elektromekanik (BIEM) dan pada saat ini sudah direvitalisasi untuk dimanfaatkan sebagai gedung siklotron. Berkaitan dengan hal tersebut terdapat beberapa hal yang harus mengalami perubahan kriteria dari gedung misalnya yang bersifat non teknis seperti kebersihan, kebisingan, pencahayaan, suhu, dan sebagainya. Selain itu juga

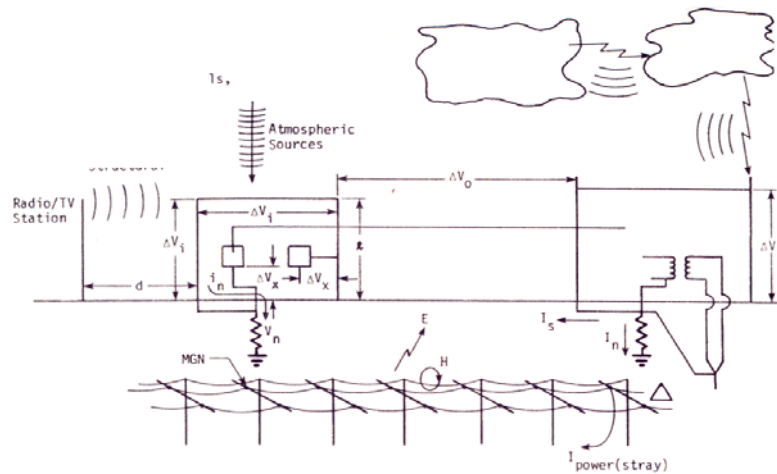
terdapat keterkaitan yang bersifat teknis misalnya kriteria perlindungan terhadap gedung, pentanahan untuk peralatan, kelembaban dan sebagainya.

Grounding atau pentanahan dalam sistem kelistrikan merupakan hal yang sangat penting karena sesuai dengan fungsinya dapat berlaku sebagai alat untuk tujuan pencegahan terjadinya kecelakaan, keselamatan maupun perlindungan terhadap beberapa obyek yaitu bangunan, peralatan, sistem instrumentasi dan sistem tenaga. Pada awalnya pentanahan hanya ditujukan untuk perlindungan gedung terhadap sambaran petir, namun dalam perkembangannya kemudian juga ditujukan untuk perlindungan terhadap peralatan, personil maupun gangguan dari luar berupa EMI (*electromagnetic interference*), yang dapat dilihat pada skenario penyebab gangguan pada Gambar 1 [1].

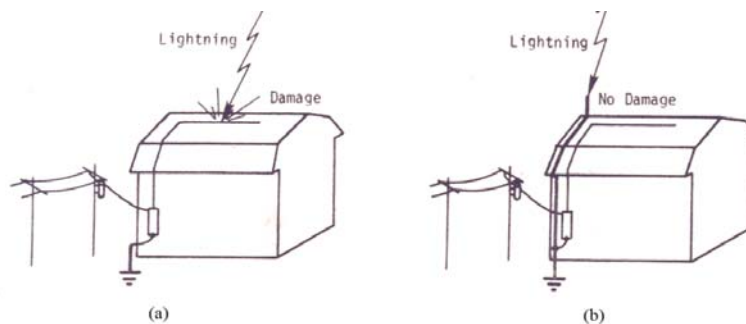
Peralatan siklotron merupakan peralatan baru dan vital yang dimiliki oleh PSTA sehingga harus mempunyai perlindungan yang memadai. Untuk itu gedung 05 perlu mempunyai pentanahan yang baik untuk memberikan perlindungan terhadap sambaran petir yang mungkin terjadi, yang dapat dilihat pada Gambar 2 [1].

Perlindungan terhadap bangunan dimaksudkan untuk melindungi bangunan dari sambaran petir yang berdampak terjadinya kerusakan termis berupa kebakaran maupun kerusakan mekanik seperti struktur bangunan retak, rusaknya peralatan elektronik bahkan menyebabkan kematian personil yang ada di dalamnya. Sebagaimana dapat dilihat pada Gambar 2, suatu gedung yang di dalamnya terdapat saluran listrik bila mengalami sambaran petir maka,

- Bila tidak ada penangkal petir yang langsung di-*ground*, gelombang petir akan masuk ke saluran dan dapat mengakibatkan seluruh peralatan yang ada di dalam gedung maupun gedungnya sendiri akan mengalami kerusakan baik karena pukulan petir (*lightning strike*) secara langsung maupun karena terjadinya imbas.
- Bila ada penangkal petir yang disambung ke sistem *grounding*, tegangan dan arus petir akan tersalurkan ke dalam tanah dengan cepat dan tegangan imbasnya tidak merusak peralatan-peralatan yang ada di dalam gedung.



Gambar 1. Skenario *grounding*.



Gambar 2. Ilustrasi gedung, (a) tidak dilengkapi penangkal petir dan (b) dilengkapi dengan penangkal petir.

Pada makalah ini dibahas salah satu dari hal-hal tersebut di atas yaitu tentang perlindungan terhadap sambaran petir yang bila hal ini terjadi dapat berdampak seperti yang telah dijelaskan tersebut di atas. Makalah ini meliputi evaluasi tahanan penangkal petir yang ada saat ini dan perencanaan sistem *grounding* gedung 05 PSTA kaitannya dengan terjadinya perubahan fungsi gedung yang semula sebagai BIEM menjadi gedung siklotron. Dalam hal ini, nilai tahanan pentanah untuk perlindungan terhadap bahaya sambaran petir tersebut harus sesuai dengan persyaratan yang tercantum dalam PUIPP (Persyaratan Umum Instalasi Penangkal Petir) [2, 3].

TEORI

Penangkal petir yang baik persyaratannya hampir sama dengan *grounding* secara umum, tetapi instalasinya harus terpisah karena peralatan-peralatan elektronik perlu dipasang perlindungan terhadap sambaran petir untuk menahan kelebihan tegangan (*over voltage*) yang muncul jika saluran atau catu dayanya tersambar petir.

Kebutuhan Penangkal Petir Untuk Gedung

Suatu instalasi proteksi petir harus dapat melindungi semua bagian dari suatu bangunan, termasuk manusia dan peralatan yang ada di dalamnya terhadap bahaya dan kerusakan akibat sambaran petir. Penentuan terhadap proteksi petir didasarkan pada Peraturan Umum Instalasi Penangkal Petir (PUIPP) yang mengatur tentang kebutuhan atau perlu dan tidaknya suatu gedung harus diberi perlindungan terhadap kemungkinan tersambar petir. Hal tersebut ditentukan oleh besarnya faktor risiko bahaya petir (FR) dari gedung tersebut yang dibagi menjadi 3 kategori yaitu untuk [3]

- $FR \leq 11$, tidak diperlukan penangkal petir
- $FR \geq 14$, penangkal petir sangat diperlukan dan wajib dipasang.
- $11 < FR < 14$, pemasangan penangkal petir bersifat fleksibel

Besarnya FR merupakan jumlah dari nilai indeks 5 (lima) buah komponen yaitu fungsi, konstruksi, tinggi, situasi dan jumlah kilat atau hari petir yang terjadi dari gedung, yang masing-masing mempunyai nilai indeks. Nilai indeks hari petir dapat diketahui dengan melakukan pencatatan jumlah hari terjadinya kilat atau guruh pada setiap tahun di suatu daerah, dari 2 hari/tahun sampai 256 hari/tahun.

Batasan Tahanan Pentanahan untuk Bangunan

Seperti diketahui bahwa prinsip dan teori dari setiap pentanahan adalah sama yaitu sistem yang

dibuat harus 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[3]. Jika nilai resistansi pembumian/*grounding* terlalu besar akan berdampak negatif pada komponen dari instalasi tersebut. Begitu juga bila pembumian (*grounding*) tidak sempurna akan menimbulkan arus sisa atau arus ikutan yang merusak komponen - komponen penyusun, terutama komponen elektronik yang sangat peka terhadap arus. Jadi instalasi penangkal petir harus berfungsi sempurna dan harus mempunyai nilai hambatan kecil bahkan jauh di bawah satu ohm atau mendekati nilai nol.

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.

Karena arus dan tegangan petir sangat besar maka tidak mungkin ditentukan batasan tegangan sentuh yang dapat mengimbas peralatan maupun personil di dalamnya. Oleh sebab itu ditentukan standar kelayakan *grounding* untuk bangunan yaitu harus bisa memiliki tahanan sebaran maksimal 5Ω dan bila di bawah 5Ω lebih baik. Namun untuk memberikan tingkat perlindungan yang lebih baik, besarnya tahanan pentanah juga ditentukan berdasarkan pada fungsi dari gedung tersebut yaitu untuk [3 - 6].

- Keamanan melindungi barang-barang elektronik yang berada di dalam gedung, tahanan pentanahan di bawah 3Ω
- Sistem yang baik, ditentukan nilai standar tahanan di bawah 2Ω
- Bangunan-bangunan vital ditentukan nilai tahanan yang lebih baik yaitu $< 1 \Omega$
- Data harus di bawah 1Ω (d disesuaikan dengan besarnya daya tahan beban terhadap penangkal petir tersebut).
- Bangunan umum, maksimum 5Ω .

Perencanaan dan Perhitungan Tahanan Pentanah

Telah dijelaskan sebelumnya bahwa sesuai dengan tujuan pentanahan, tahanan pentanah (R_p) harus dibuat sekecil mungkin dan tahanan pentanahan tersebut tergantung pada tahanan elektrode itu sendiri dan penghantar yang menghubungkan ke peralatan yang ditanahkan, tahanan kontak antara elektrode dengan tanah dan tahanan massa tanah sekeliling elektrode. Untuk memperoleh R_p yang kecil tidak mudah karena ketiga besarnya tahanan tersebut tergantung pada banyak faktor. Pada prakteknya tahanan elektrode dapat diabaikan dengan diusahakan sambungannya dibuat sependek mungkin^[1]. Untuk

memperkecil tahanan kontak, kontak antara electrode dan tanah diusahakan sebaik mungkin dengan cara memilih elektrode antara lain bahan, ukuran, kedalaman penanaman elektrode, teknik penyambungan dan jenis elektrode dimana jenis elektrode yang umum dipakai adalah batang (*rod*), pita dan pelat. Dari ketiga tahanan tersebut di atas yang paling dominan pengaruhnya adalah tahanan masa sekeliling elektrode yang besarnya tergantung pada nilai tahanan jenis tanah (ρ), dimana nilainya sangat berbeda-beda antara satu tempat dengan tempat yang lain. Banyak faktor yang mempengaruhi besarnya ρ tanah antara lain sifat geologi, komposisi zat kimia, kandungan air tanah, dan suhu tanah di sekelilingnya serta perubahan musim [4, 5].

Dengan demikian dalam perencanaan instalasi sistem pentanahan, faktor utama yang perlu dipertimbangkan secara berturut-turut adalah tahanan jenis tanah, struktur tanah, keadaan lingkungan, ukuran dan bentuk elektrode yang akan dipasang dan yang terakhir adalah biaya.

Perhitungan dan Pemilihan Jenis Elektrode Pentanah

Seperti telah dijelaskan bahwa terdapat 3 bentuk elektrode yang umum dipakai yaitu jenis batang (*rod*), pita, pelat. Bentuk batang dipilih karena penanamannya mudah dan dapat menembus tanah sampai permukaan air tanah. Elektrode bentuk pita dan pelat banyak dipilih dengan tujuan untuk memperluas kontak dengan tanah. Rumusan untuk menghitung tahanan pentanah yang dihasilkan (R_x) dari ketiga bentuk electrode tersebut adalah sebagai berikut.

Elektrode Batang

Elektrode batang mempunyai luas kontak dengan tanah yang paling kecil dibandingkan dengan elektrode bentuk pita dan pelat. Untuk itu agar diperoleh tahanan pentanah yang kecil biasanya ditanam beberapa batang atau *multiple rod* tegak lurus ke dalam tanah sampai menembus air tanah. Cara penanamannya dapat bervariasi dan dengan perhitungan yang cukup rumit dapat diperoleh tahanan yang berbeda-beda. Untuk batang tunggal (*single rod*) menembus satu lapisan tanah besarnya tahanan pentanah yang dihasilkan ditunjukkan pada Persamaan (1), sedangkan untuk batang banyak (*multiple rod*) ditunjukkan pada Persamaan 2 [7 - 10].

$$R_x = \frac{\rho}{\pi L} \left[\ln \left(\frac{4L}{a} \right) - 1 \right] \quad (1)$$

$$R_x = \frac{\rho}{2\pi L} \left[\ln \left\{ \frac{4L}{a} \right\} - 1 \right] \times F \quad (2)$$

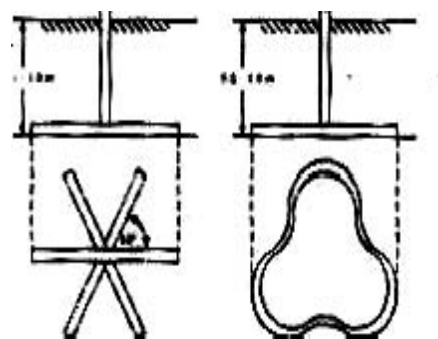
dengan R_x : tahanan pentanah batang tunggal (Ω)
 ρ : tahanan jenis tanah (Ω - meter)
 L : panjang batang elektrode (m)
 a : jari-jari batang electrode (m)
 n : jumlah elektroda batang
 F : faktor perkalian (Tabel 1).

Tabel 1. Faktor perkalian (F) menurut IEEE Std 142-2007, (IEEE Recommended Practice for Grounding of Industrial and Commercial Power Systems) [11].

Jumlah Elektroda Batang	F
2	1,16
3	1,29
4	1,36
8	1,68
12	1,80
16	1,92
20	2,00
24	2,16

Elektrode Pita

Untuk memperbesar luas kontak elektrode dengan tanah dapat ditanam elektrode berbentuk pita yang pada umumnya ditanam secara dangkal dan mendatar di dalam tanah. Elektrode pita cocok dipasang pada tanah yang mempunyai tahanan jenis rendah pada permukaan dan pada daerah yang tidak mengalami kekeringan. Di samping itu juga cocok untuk daerah-daerah pegunungan di mana nilai tahanan jenis tanah makin tinggi dengan kedalaman yang semakin besar. Besarnya tahanan yang dihasilkan sangat dipengaruhi oleh bentuk konfigurasi kawat elektrodanya, bentuk melingkar, radial atau kombinasi dari keduanya (Gambar 3) [7 - 9].



Gambar 3. Elektrode pita [9].

Untuk elektrode pita, besarnya tahanan pentanah yang dihasilkan ditunjukkan pada Persamaan (3).

$$R_x = \frac{\rho}{\pi L} \left[\ln \left(\frac{2L}{\sqrt{dZ}} \right) + \frac{1,4L}{\sqrt{A}} - 5,6 \right] \quad (3)$$

dengan

R_x : tahanan pentanah dengan kisi-kisi (grid) kawat (Ω)

ρ : tahanan jenis tanah (Ω - meter)

L : panjang total grid kawat (m)

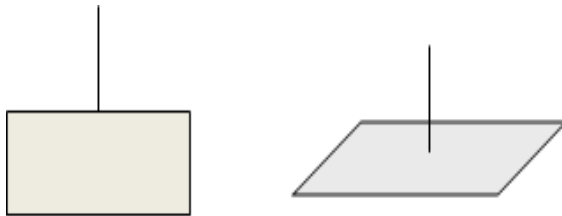
d : diameter kawat (m)

Z : kedalaman penanaman (m)

A : luasan yang dicakup oleh grid (m^2)

Elektrode Pelat

Bentuk elektrode pelat biasanya empat persegi atau empat persegi panjang, ditanam di dalam tanah yang lebih dalam dibandingkan dengan elektroda pita yaitu minimum 50 cm dari permukaan tanah. Elektrode pelat digunakan bila diinginkan tahanan pentanahan yang kecil dan sulit diperoleh dengan menggunakan jenis elektroda batang maupun pita. Cara penanamannya secara vertikal, sebab penanaman secara horisontal akan lebih sulit dan hasilnya tidak berbeda jauh dengan cara vertikal sehingga lebih praktis dan ekonomis.



Gambar 4. Elektrode pelat.

Untuk pelat tunggal, besarnya tahanan elektrode pentanah yang dihasilkan ditunjukkan pada Persamaan 4.

$$R_x = \frac{\rho}{2\pi L} \left[\ln \left(\frac{8W}{0,5W + T} \right) - 1 \right] \quad (4)$$

dengan R_x : tahanan pentanahan pelat (Ω)

ρ : tahanan jenis tanah (Ω -m)

L : panjang pelat (m)

W : lebar pelat (m)

T : tebal pelat (m)

METODOLOGI

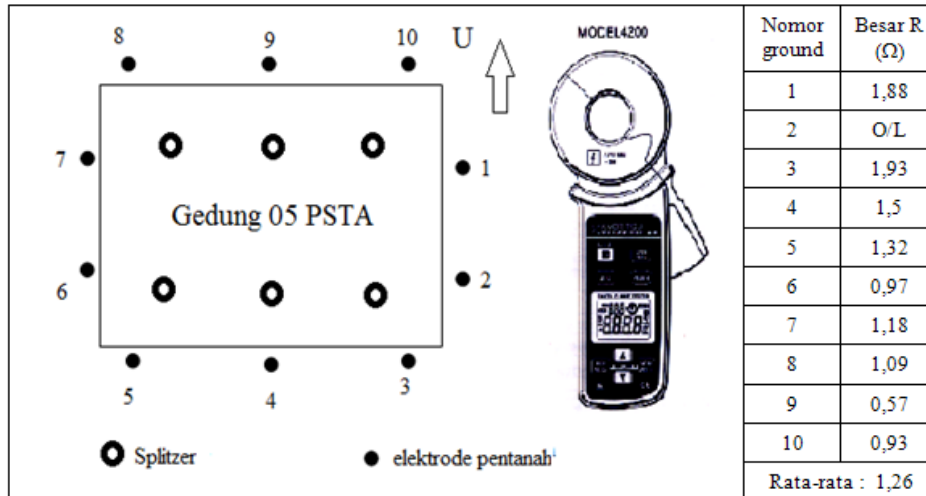
Sebelum dilakukan perencanaan perlu dilakukan evaluasi terhadap pentanahan dan instalasi *grounding* untuk penangkal petir Gedung 05 PSTA dengan cara melakukan pengukuran tahanan pentanahan yang telah ada pada saat ini. Evaluasi diperlukan karena perubahan fungsi gedung yang semula sebagai Gedung Bengkel Induk Elektromekanik menjadi Gedung Siklotron DECY 13 MeV. Perencanaan difokuskan pada besarnya tahanan pentanah yang ada kemudian dikaitkan dengan penentuan tahanan pentanah yang diinginkan karena terjadinya perubahan status, peruntukan atau fungsi dari gedung.

Perhitungan besarnya tahanan pentanah yang diinginkan dihitung dengan menentukan besarnya ρ di sekitar gedung dan kondisi kadar air yang di sekitar elektrode, pemilihan bahan, jenis dan jumlah elektroda yang harus ditanam, cara penanaman dan instalasinya termasuk pemilihan lokasinya.

HASIL, EVALUASI, ANALISIS, PERENCANAAN DAN PEMBAHASAN

Hasil, Evaluasi dan Analisis

Evaluasi tidak dilakukan terhadap perlu dan tidaknya penangkal petir untuk perlindungan gedung dari bahaya sambaran petir, tetapi berdasarkan kenyataan bahwa Gedung 05 berubah statusnya menjadi gedung vital sehingga ditentukan besarnya R_p harus $< 1 \Omega$. Dari pengukuran *multi-earthed system* gedung 05 PSTA yang telah dilakukan dengan menggunakan alat ukur *Digital Earth Clamp Tester* model 4200, diketahui hasilnya seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5. Dari pengukuran terlihat bahwa untuk elektrode nomor 2 menunjukkan nilai O/L , artinya elektrode pentanah tahanannya tak terhingga sehingga elektrode nomor 2 tidak terhubung dengan *system loop* jaringan penangkal petir. Dengan kondisi tersebut maka jumlah elektrode pentanah yang saling terinterkoneksi berjumlah 9 (sembilan) buah dengan nilai rata-rata $1,26 \Omega$.



Gambar 5. Tata letak pentanahan Gedung 05 PSTA (tampak atas) dan besarnya tahanan yang diukur pada tiap titik pentanah.

Perencanaan dan Pembahasan

Perencanaan dilakukan karena terkait dengan kebutuhan tahanan pentanah yang lebih kecil dan lebih baik dari yang ada saat ini karena peralatan siklotron di dalam gedung dianggap sebagai peralatan yang vital. Perencanaan dan pembahasan di sini adalah berupa perhitungan setelah ditentukan besarnya tahanan pentanah gedung siklotron yang harus dipenuhi dan cara-cara yang harus dilakukan untuk mencapai tahanan yang diinginkan. Karena sifat gedung dianggap vital maka diambil dan ditentukan tahanan pentanah yang baik dan kecil yaitu harus $< 1 \Omega$. Misalnya ditentukan nilai tahanan pengetahanan yang baru $0,9 \Omega$, maka dengan menggunakan perhitungan paralel dua buah tahanan dapat dihitung kebutuhan tahanan pentanah tambahan R_x yang harus dibuat, yaitu

$$R_x = (0,9 \times 1,26) / (1,26 - 0,9) = 3,15 \Omega.$$

Selanjutnya walaupun diketahui bahwa dengan elektrode bentuk batang akan dihasilkan R_x yang paling tinggi dibanding dengan bentuk elektrode bentuk pita dan pelat, tetapi dengan mempertimbangkan faktor biaya dan kemudahan dalam instalasinya, ditentukan dibuat sebuah sistem pentanahan menggunakan elektrode batang tunggal. Dengan batang tunggal bila penanamannya lebih dalam, semakin dalam atau jauh dari permukaan tanah dan mencapai air tanah, pada tanah yang tidak homogen serta dalam jumlah banyak (*multiple rod*) juga akan dapat dihasilkan R_x yang kecil [5-6, 8-12].

Dari persamaan (1), untuk batang tunggal dapat dihitung besarnya R_x yang dihasilkan bila dimensi batang elektrode pentanah dan resistivitas tanah (ρ) diketahui. Dimensi atau ukuran batang elektrode

pentanah ditentukan dengan mengambil ketersediaan yang ada di pasaran serta elektrode yang umum dipakai. Dari berbagai pengalaman instalasi sistem pentanahan yang telah dilakukan, diketahui bahwa untuk menghasilkan nilai R_x sebesar $3,15 \Omega$ dengan batang tunggal tidak mudah [8].

Seperti diketahui bahwa semua pentanahan dengan berbagai bentuk elektrode, tahanan pentanahnya selalu berbanding lurus dan sangat tergantung pada besarnya ρ di sekitar elektrode [5-6, 9]. Dari beberapa pengujian terhadap berbagai jenis tanah diketahui bahwa setiap jenis tanah mempunyai nilai resistivitas yang berbeda-beda. Nilai resistivitas tanah selain dipengaruhi oleh kandungan kimia, tekstur tanah, juga dipengaruhi oleh kadar air yang ada dalam tanah.^[5, 11] Jadi karena nilai ρ sangat bervariasi dan berbeda-beda untuk setiap tempat, maka usaha untuk mencapai tahanan pentanah yang rendah adalah dengan mengkondisikan tanah di sekitar elektrode yang akan ditanam. Dari beberapa penelitian dan literatur diketahui bahwa hal yang paling mudah dan murah dilakukan adalah dengan menggunakan tanah liat yang lembab atau tanah liat yang diberi air.

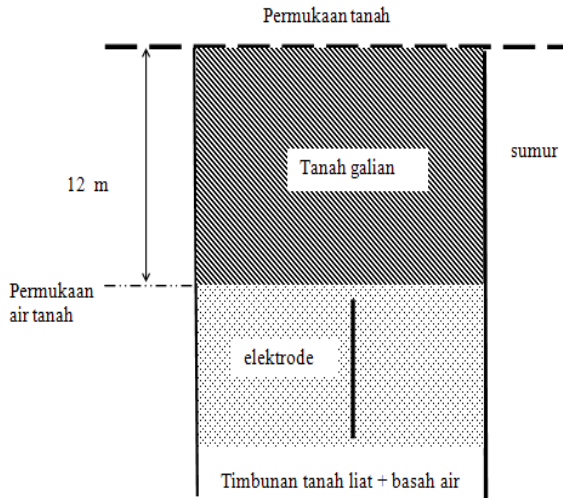
Jadi instalasi pentanahan dilakukan sebagai berikut (Gambar 6).

1. Batang elektrode pentanah panjang 4 m, diameter 16 mm, ditanam sampai mencapai air tanah yang diperkirakan sedalam 12 m lokasi di sekitar gedung 05 PSTA.
2. Seluruh batang pentanah terendam di dalam tanah liat yang berair.

Dengan pengkondisian tersebut diketahui nilai ρ yang lebih pasti seperti yang ditunjukkan pada Tabel 2 [11, 12]. Dalam perhitungan tahanan pentanah ini

karena kandungan air di dalam tanah sangat tergantung pada musim, maka diambil nilai ρ yang mendekati kenyataan yaitu tanah liat dengan kadar air 50 % dengan nilai ρ 14,47 Ω -m. Dengan memasukkan semua besaran tersebut pada persamaan (1) akan dihasilkan tahanan R_x untuk satu batang elektrode di dalam satu sumur, yaitu.

$$R_x = \frac{\rho}{2\pi L} \left\{ \ln \frac{4L}{\alpha} - 1 \right\} = \frac{14,47}{(2)(3,14)(4)} \left\{ \ln \left\{ \frac{(4)(4)}{(8)(10^{-3})} \right\} - 1 \right\} = 3,80 \Omega$$



Gambar 6. Instalasi elektrode pentanah batang tunggal

Dengan tahanan tambahan sebesar 3,80 Ω , maka setelah dihubungkan dengan sistem pengetahanan yang telah ada akan diperoleh tahanan pentanah total $R_p = (3,80 \times 1,26)/(3,80 + 1,26) = 0,94 \Omega$ dan nilai ini sudah memenuhi syarat untuk gedung siklotron dengan status sebagai gedung vital dengan tahanan pentanah untuk penangkal petir yang disyaratkan dan harus dipenuhi yaitu $< 1 \Omega$.

Tabel 2. Pengujian resistivitas tanah dengan kadar air diubah-ubah [13 - 14].

No	Kadar Air (%)	Resistivitas tanah (Ω -m)	
	Kadar Air (%)	Tanah Sawah	Tanah Datosol (Pegunungan)
1	0	43,80	353,98
2	10	34,18	275,11
3	20	22,12	214,59
4	30	18,35	174,78
5	40	15,53	135,48
6	50	14,47	98,45
7	60	14,19	56,11
8	70	13,27	55,42
9	80	12,83	51,77

Terlihat bahwa tahanan pentanah yang diperoleh sangat tergantung pada besarnya ρ yang dipengaruhi oleh kandungan air di dalamnya, sedangkan untuk mengkondisikan tanah liat dengan kadar air sebesar 50 % merupakan hal relatif sulit terutama di musim kemarau sehingga besarnya ρ yang dihasilkan terlalu optimis. Pada Tabel 3 ditunjukkan batas kandungan air yang dapat ditoleransi untuk mendapatkan tahanan total yang diinginkan $< 1 \Omega$, yaitu tanah liat dengan kadar air rata-rata 30 %, diperoleh ρ 18,35 Ω -m diperoleh tahanan 4,82 Ω dan tahanan akhir untuk penangkal petir gedung 05 PSTA 0,99 Ω . Pada prakteknya, perencanaan suatu pentanah jarang dapat diperoleh tahanan pentanah yang sesuai dengan perhitungan, oleh sebab itu biasanya dilakukan suatu trial, dimana apabila diperoleh tahanan yang belum sesuai dengan yang diinginkan dilakukan pengolahan tanah di sekitar elektrode atau dengan dilakukan penambahan jumlah elektrode sampai diperoleh nilai yang diinginkan. Jadi bila nilai dari tahanan yang direncanakan tersebut masih belum dicapai, maka dapat dilakukan sistem *multiple rod* menggunakan Persamaan (2), hanya saja biayanya akan lebih mahal [5, 8 - 10].

Tabel 3. Tahanan pentanah yang dihasilkan R_x sebagai fungsi kadar air pada tanah liat untuk mendapat tahanan pentanah akhir yang disyaratkan R_p (maksimum 1 Ω) menggunakan elektrode batang tunggal.

Tahanan awal (Ω)	Kadar air tanah liat di sekitar elektrode (%)	Resistivitas tanah (Ω -m)	Tahanan yang dihasilkan dengan elektrode batang tunggal R_x (Ω)	Tahanan pentanah akhir R_p (Ω)
1,26	50	14,47	3,80	0,94
	40	15,53	4,07	0,96
	30	18,35	4,82	0,99
	20	22,12	5,81	1,03.

KESIMPULAN DAN SARAN

Dari pembahasan yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa sesuai dengan ketentuan dalam PUIPP, tahanan pentanah Gedung 05 PSTA yang ada saat ini $1,26 \Omega$ harus diturunkan menjadi $< 1 \Omega$. Penurunan tahanan pentanah dilakukan dengan menambahkan tahanan pentanah baru yang dikopel paralel dengan yang telah ada. Berdasarkan pertimbangan ekonomi dan kemudahan dalam instalasinya, dipilih pentanahan menggunakan elektrode batang tunggal panjang 4 m, diameter 16 mm, ditanam sampai mencapai air tanah yang diperkirakan sedalam 12 m, kemudian ditimbun menggunakan tanah liat dengan kadar air tertentu, dimana dengan kadar air 30 % diperkirakan dihasilkan tahanan R_x $4,82 \Omega$ sehingga diperoleh tahanan akhir R_p sebesar 0,99 dan hal ini memenuhi syarat PIUPP. Untuk lebih menjamin diperolehnya tahanan pentanah R_p yang lebih kecil dan lebih baik disepanjang musim atau sepanjang tahun disarankan dibuat sistem pentanah menggunakan batang yang banyak (*multiple rods*)

DAFTAR PUSTAKA

- [1] H. W. DENY, *Grounding for the control EMI*, Electromagnetic Compatibility Division and Computer Sistem Laboratory Engineering Experiment Station, Georgia Institute of Technology, Copyright 1983.
- [2] A. NUGROHO and A. SYAKUR, Penentuan Lokasi Pemasangan Lightning Masts Pada Menara Transmisi Untuk Mengurangi Kegagalan Perlindungan Akibat Sambaran Petir, Jurusan Teknik Elektro-Fakultas Teknik Undip, Tembalang – Semarang, 2009.
- [3] H.CASKIM, Drs. MM, Indeks atau Nilai Perkiraan Bahaya Sambaran Petir, Posted on February 6, 2007.
- [4] SNI. 04-0225-2000, Persyaratan Umum Instalasi Listrik 2000, Badan Standardisasi Nasional.
- [5] Standar Nilai Resistan Pembumian Grounding, ahlipenangkalpetir.blogspot, [Online]. Available: <http://ahlipenangkalpetir.blogspot.co.id/2014/01/standar-nilai-resistan-pembumian-grounding.html>. [Accessed 3 Nopember 2015].
- [6] Pemasangan Grounding, Listrik Arus Kuat, [Online]. Available: http://listrik3fase.blogspot.co.id/2011/11/01_archive.html. [Accessed 3 Nopember 2015].
- [7] Jenis-jenis Elektroda Pentanahan, [Online]. Available: <https://maryonoam.files.wordpress.com/2009/07/2-jenis-elektrodas-pentanahan.pdf>. [Accessed 3 Nopember 2015].

- [8] SUYAMTO, SUTADI and E. NURAINI, Instalasi dan Evaluasi Grounding Untuk MBE Industri Lateks PTAPB Menggunakan Multiple Rod, *Jurnal Iptek Nuklir GANENDRA*, vol. 15, pp. 72-81, 2012.
- [9] SUYAMTO, Bahan Kuliah Grounding 2014 - 2015, Yogyakarta: Jurusan Elektro, Fakultas Teknologi Industri, UII, 2014.
- [10] F. NURJANNAH, Studi dan Evaluasi Sistem Pengetanahan *GRID-ROD* Gardu Induk (GI) 150 kV Kentungan Yogyakarta, in *Laporan Skripsi*, Yogyakarta, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri UII, 2015.
- [11] Elektro Indoneisa, Elektrode Batang Mereduksi Nilai Tahanan Pentanahan, Edisi ke Lima Belas, 1998.
- [12] System Proteksi Petir Terpadu. [Online]. Available: http://www.petir.com/pdf/SYSTEM_PROTEKSIPETIRTERPADU.pdf. [Accessed 3 Nopember 2015].
- [13] D. K. WAHYUDIANTO, R. ROKHANA and E. PUSPITA, Rancang Bangun Alat Ukur Resistivitas Tanah Sebagai Alat Bantu Mengetahui Indikator Kualitas Tanah Untuk Tanaman, in *Skripsi*, Surabaya, Jur Teknik Elektronika PENS - ITS, 2011.
- [14] WAHYONO, Pengaruh Kadar Air dan Kedalaman Elektroda Batang Tunggal Terhadap Tahanan Pembumian Pada Tanah Liat, Semarang: Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Semarang.

TANYA JAWAB

Silakhuudin

- Dalam menentukan spesifikasi kabel/konduktor *grounding*, apakah :
 - Bergantung pada konduktivitas tanahnya.
 - Jika ya, apakah sebelum menentukan spesifikasi konduktor *grounding*, dilakukan terlebih dahulu pengukuran konduktivitas/resistivitas tanah?

Suyamto

- Tidak, karena diameter dan panjang konduktor yang ada di pasaran sudah standar.
- Konduktivitas yang dimaksud adalah konduktivitas tanah, diambil berdasarkan acuan yang telah ada dari penelitian sebelumnya.