

OPTIMASI SISTEM PEMBUMIAN DENGAN PENERAPAN METODE ROD DAN ZAT BENTONITE : STUDI KASUS DI POLITEKNIK NEGERI JAKARTA

Arum Kusuma Wardhany¹⁾, Anicentus Damar Aji²⁾, Muhammad Reyhan Maydioputra³⁾, Adi Irawan⁴⁾, Yudi Utomo Putra⁵⁾

email: arum.kusumawardhany@elektro.pnj.ac.id, damar.aji@elektro.pnj.ac.id
^{1,2,3,4} Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Jakarta

⁵ Departemen Pendidikan Teknik Elektro, Universitas Negeri Yogyakarta

Ringkasan

Sistem pembumian merupakan komponen penting dalam instalasi listrik yang bertujuan untuk mengalirkan arus ke bumi secara aman, serta melindungi perangkat dan pengguna dari potensi bahaya listrik. Generator adalah satu contoh peralatan yang perlu diamankan dengan menggunakan sistem pembumian. Persyaratan Umum Instalasi Listrik tahun 2011 (PUIL 2011) telah menetapkan bahwa standar nilai tahanan pembumian kelistrikan di Indonesia sebesar $<5\Omega$. Pengukuran sistem pembumian pada peralatan generator set (genset) di Politeknik Negeri Jakarta didapati bahwa nilai tahanan sistem pembumian melebihi standar yang telah ditetapkan yaitu sebesar $16,524\ \Omega$. Penelitian ini dilakukan untuk memperbaiki nilai tahanan sistem pembumian agar memenuhi standar PUIL. Metode yang digunakan dalam penelitian ini yaitu metode rod, yang diawali dengan melakukan simulasi perhitungan untuk menentukan nilai jarak, kedalaman pemasangan dan ketebalan elektroda baru untuk menghasilkan nilai tahanan baru yang diinginkan. Setelah nilai dari parameter didapatkan, elektroda baru akan dihubungkan secara parallel dengan elektroda pembumian yang sudah ada, kemudian sekitar area pembumian akan ditambahkan dengan bentonite untuk menyerap air dan menahan air pada strukturnya. Hasil analisa rancangan didapatkan bahwa elektroda baru akan dipasang dengan jarak antar titik sejauh 5 meter, kedalaman pemasangan rod 25 meter dan ketebalan rod $5/8"$. Hasil pengukuran didapatkan bahwa nilai tahanan elektroda baru sebelum diparalelkan adalah $3,447\ \Omega$. Setelah kedua elektroda dihubungkan secara parallel, nilai tahanan pembumian pada lokasi terpasang sebesar $2,853\ \Omega$.

Kata Kunci : Bentonite, Metode Rod, Tahanan Pembumian, Sistem Pembumian.

1. PENDAHULUAN

Sistem proteksi pada peralatan listrik dapat mencegah terjadinya gangguan seperti kebocoran arus, arus hubung singkat, dan sambaran petir yang dapat menimbulkan suatu kecelakaan operasi yang dapat merusak alat elektronika, bahkan dapat membahayakan penggunanya. Salah satu sistem proteksi yakni sistem pembumian. Pembumian adalah suatu usaha untuk mengamankan sistem instalasi listrik dengan cara mentanahkan badan (body) peralatan instalasi tersebut menggunakan elektroda pentanahan yang ditanam ke dalam tanah dan dihubungkan melalui suatu penghantar.. Sistem pembumian dapat melindungi manusia dan atau ternak dari sengatan listrik kejut. Selain itu, juga sebagai proteksi terhadap komponen peralatan lainnya dari bahaya tegangan dan arus asing. Tingkat kehandalan sebuah pembumian ada pada nilai konduktivitas penghantar dengan tanah yang ditancapkan. Semakin konduktif tanah terhadap penghantar, maka semakin baik.

Sistem pembumian mempunyai pengaruh dalam kelancaran dan keamanan dari sistem tenaga listrik, terutama pada saat terjadi gangguan yang berhubungan dengan tanah, sistem pembumian bertujuan untuk membatasi tegangan antara peralatan dengan tanah sampai pada suatu kondisi yang aman untuk semua operasi, baik kondisi normal maupun saat terjadi gangguan. Keandalan sistem pembumian sangat penting untuk melindungi peralatan listrik, manusia, dan bangunan dari risiko kebakaran dan kerusakan akibat arus berlebih. Sistem pembumian yang baik adalah yang memiliki nilai resistansi yang kecil, berdasarkan standar PUIL, nilai standar tahanan pembumian menurut PUIL 2011 adalah sebesar dibawah 5Ω . [1] Untuk mendapatkan nilai resistansi yang kecil dari suatu sistem pembumian, perlu mendapatkan pengaruh dari variabel lain, seperti elektroda yang digunakan, keadaan lingkungan sekitar yang meliputi suhu dan kelembapan tanah, dan lain-lain.[2-4] Jika di suatu daerah dengan tahanan pentanahan yang tinggi biasanya dilakukan beberapa hal untuk memperkecil tahanan

pentanahan yaitu dengan memodifikasi elektroda pentanahan yang akan ditanam kedalam tanah dan menambahkan suatu zat kimia kedalam tanah. [5, 6].

Pada saat melakukan pengecekan nilai tahanan pada sistem pembumian di generator set Politeknik Negeri Jakarta. Maka diketahui bahwa nilai tahanan pembumiannya melebihi standar PUIL 2011. Oleh karena itu, diperlukan perbaikan pada sistem pembumian. Salah satu pendekatan yang telah mendapatkan perhatian dalam beberapa tahun terakhir adalah penerapan metode rod dan penggunaan zat Bentonit dalam sistem pembumian.[7, 8] Metode rod melibatkan penggunaan elektroda berbentuk batang atau tiang yang memiliki permukaan yang lebih besar dibandingkan elektroda konvensional, sehingga dapat meningkatkan kontak dengan tanah. Sementara itu, *Bentonite* merupakan jenis tanah liat yang memiliki kandungan montmorillonit dengan mineral-mineral seperti kwarsa, kalsit, dolomit, feldspars dan mineral lainnya. Bentonite bersifat menyerap air dan menahan air pada strukturnya, hal ini disebabkan adanya lapisan lempung yang terdiri dari tetrahedral dan oktahedral sedangkan lapisan interlayer terdapat molekul air dan kation-kation, pada lapisan inter layer lah terjadi penyerapan air. Bentonite digunakan dalam elektroda pentanahan untuk membantu menurunkan resistivitas tanah.

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah dengan menambahkan elektroda batang baru yang memiliki kedalaman dan ketebalan tertentu. Setelah itu, disambungkan secara paralel dengan elektroda lama dengan menggunakan kabel *Bare Conductor* (BC). Kemudian, menambahkan bentonite disekitar sistem pembumian. Bentonite merupakan suatu zat kimia yang mampu menyerap air dan menahan air pada strukturnya serta mengandung unsur-unsur yang bersifat elektrolit. Hal ini dapat menurunkan nilai tahanan pada sistem pembumian. Karena semakin kecil nilai tahanannya, maka akan semakin efektif pula kinerja dari sistem pembumian.

Rumusan masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dibahas di atas, diperoleh rumusan masalah sebagai berikut:

- a Bagaimana merancang perbaikan sistem pembumian sesuai kebutuhan?
- b Bagaimana efek dari larutan *bentonite* terhadap nilai tahanan dari sistem pembumian?
- c Bagaimana pengaruh kelembapan dan keasaman tanah terhadap nilai tahanan sistem pembumian?

Tujuan

Tujuan dari dilakukannya penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a Memperbaiki nilai tahanan pada sistem pembumian dengan penambahan zat kimia.
- b Mengamati pengaruh kelembapan dan temperatur tanah pada tahanan pada sistem pembumian.
- c Memperoleh pengaruh dari variabel tambahan berupa larutan *bentonite* untuk memperbaiki nilai dari tahanan pembumian.

2. KAJIAN PUSTAKA

Pengertian Sistem Pembumian

Pembumian adalah suatu usaha untuk mengamankan sistem instalasi listrik dengan cara mentanahkan badan (body) peralatan instalasi tersebut menggunakan elektroda pentanahan yang ditanam ke dalam tanah dan dihubungkan melalui suatu penghantar. Sistem pembumian (grounding system) adalah suatu perangkat instalasi yang berfungsi untuk melepaskan arus ke tanah. Sistem pembumian dapat melindungi manusia dan atau ternak dari sengatan listrik kejut. Selain itu, juga sebagai proteksi terhadap komponen peralatan lainnya dari bahaya tegangan dan arus asing. Tingkat kehandalan sebuah pembumian adalah pada nilai konduktivitas penghantar dengan tanah yang ditancapinya. Semakin konduktif tanah terhadap penghantar, maka semakin baik.

Sistem pembumian yang baik adalah system pembumian yang memiliki nilai resistansi yang kecil, sehingga nilai tegangan yang dihasilkan pada system pembumian tersebut bernilai minimum sesuai dengan rumus dari hukum ohm pada persamaan (1), yaitu:

$$E = I \times R \dots\dots\dots(1)$$

Dimana:

E = Tegangan (Volt)
I = Arus (Ampere)
R = Resistansi / Tahanan (Ω)

Elektroda batang (*driven rod*) atau pasak ialah elektroda yang terbuat menggunakan besi baja atau pipa logam yang ditanam secara vertikal di dalam tanah. Pemasangan elektroda dilakukan dengan cara dimasukkan vertikal ke dalam tanah dan panjangnya disesuaikan dengan tahanan pembumian yang diperlukan. Saat terjadi arus bocor atau tegangan listrik yang menyambar ke kerangka generator set akan membuat kerangka menjadi bertegangan sesuai dengan tegangan sumbernya dan akan mengalir ke seluruh permukaan yang bersifat konduktor. Kaki generator set dihubungkan ke kawat BC (Bare Conductor) menggunakan sepatu kabel. Kawat BC tersebut kemudian dihubungkan ke elektroda batang menggunakan klem. Sehingga arus bocor tersebut diberi jalan ke tanah agar tidak membahayakan manusia saat menyentuh kerangka generator set.

Pada saat melakukan perbaikan tahanan sistem pembumian adalah dengan cara menambahkan elektroda yang baru yaitu dengan elektroda batang dengan kedalaman dan ketebalan tertentu. Setelah melakukan penanaman elektroda baru, kemudian, disambungkan dengan elektroda lama menggunakan kabel BC. Menurut standar IEEE Std. 147-2007, jarak minimal antar elektroda sebesar 3 meter.[9] Setelah melakukan parallel antar elektroda, selanjutnya menambahkan bentonite di sekitar tahanan pembumian. Bentonite dapat digunakan untuk meningkatkan kelembaban tanah.

Ada beberapa variabel yang dapat memengaruhi performa grounding system pada jaringan listrik. Salah satu yang menjadi acuan, Berdasarkan *National Electrical Code* (NEC) Edisi 2008, terdapat empat variabel yang mempengaruhi nilai tahanan pada sistem pembumian, yaitu [10]:

1. Panjang Elektroda
2. Diameter Elektroda
3. Jumlah Elektroda
4. Desain Elektroda

Syarat sistem pembumian yang efektif adalah:

1. Tahanan pembumian harus memenuhi syarat yang diinginkan untuk suatu keperluan pemakaian
2. Elektroda yang ditanam dalam tanah harus:
 - a. Bahan konduktor yang baik
 - b. Tahan korosi
 - c. Cukup kuat
 - d. Jangan sebagai sumber arus galvanis
3. Elektroda harus mempunyai kontak yang baik dengan tanah sekelilingnya
4. Tahanan pembumian harus baik untuk berbagai musim dalam setahun
5. Biaya pemasangan serendah mungkin

Terdapat beberapa metode pemasangan sistem pembumian menurut PUIL 2011, diantaranya :

Metode *Driven Rod* (*Driven Ground*)

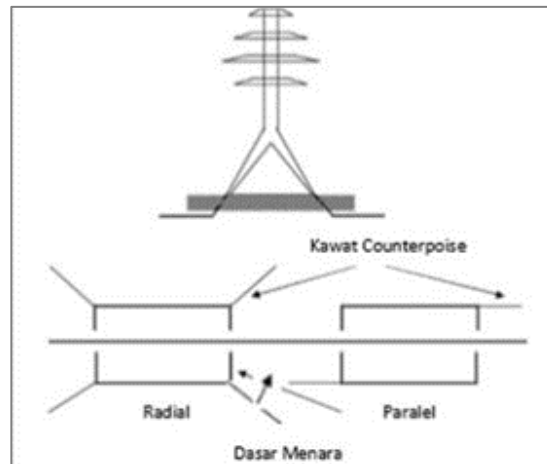
Pembumian metode *rod* adalah pemasangan pembumian yang menggunakan elektroda panjang yang dipasang secara vertikal ke dalam tanah seperti yang ditampilkan pada gambar 1. Ukuran *rod* yang digunakan pada umumnya berkisar 5/8 inci, 1 inci, dll. Metode ini banyak digunakan di gardu induk. Secara teknis, elektroda *rod* ini mudah pemasangannya, yaitu dengan memancangkannya ke dalam tanah. Di samping itu, elektroda ini tidak memerlukan lahan yang luas. Elektroda *rod* yang digunakan perlu diestimasi dengan resistansi tanah pada titik pemasangan. Hal yang dimaksud akan menentukan seberapa dalam penggalian lubang pembumian elektroda *rod* tersebut.



Gambar 1 Metode Driven Rod

Metode Counterpoise

Pentanahan dengan metode *counterpoise* adalah pentanahan yang dilakukan dengan cara menanam kawat elektroda sejajar atau radial, 30 cm-90 cm di bawah tanah sebagaimana diilustrasikan pada gambar 2. Metode *counterpoise* digunakan apabila hambatan tanah terlalu tinggi dan tidak dapat dikurangi dengan cara pentanahan *driven rod*, karena hambatan jenis tanah terlalu tinggi.

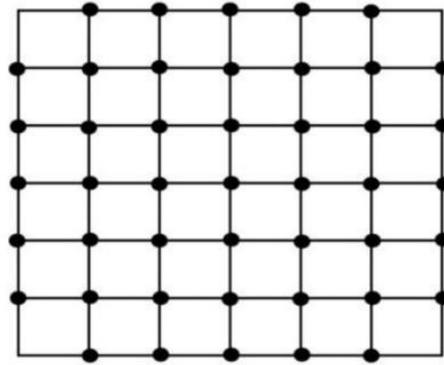


Gambar 2 Metode Counterpoise

Metode Grid / Mesh

Metode *grid* merupakan suatu metode pbumian dengan membentuk beberapa penghantar konduktor menjadi jaringan s semacam jala. Kemudian jala atau *grid* dari konduktor yang sudah dibentuk ditanam di dalam tanah dengan kedalaman tertentu. Pbumian metode ini biasanya digunakan pada sistem gardu listrik untuk mendapatkan nilai resistansi sekecil mungkin sekitar di bawah 1 Ω .

Pembuatan sistem pbumian grid ini bisa menggunakan konduktor berupa plat panjang ataupun dari BC (*Bare Conductor*). Untuk menanam pbumian jenis ini diperlukan lahan yang lebih luas daripada penanaman sistem pbumian dengan metode *rod*. Untuk gambaran dari metode *grid* atau jala ini dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Metode Grid

Dibawah ini merupakan faktor-faktor yang mempengaruhi besar tahanan pentanahan adalah :

Jenis Elektroda Pembumian

Elektroda pembumian (*grounding*) adalah suatu konduktor yang ditanam dalam tanah berfungsi mengalirkan muatan listrik dari kabel konduktor ke bumi dan memiliki nilai tahanan yang digunakan sebagai acuan terhadap baik buruk suatu sistem pentanahan. Batang pentanahan biasanya terbuat dari bahan tembaga berlapis baja.

Elektroda pembumian adalah sebuah konduktor yang ditanam di dalam tanah untuk membuat kontak langsung dengan tanah. Adanya kontak langsung dengan tanah bertujuan untuk memudahkan penyaluran arus ke tanah apabila terjadi gangguan. Menurut PUIL 2011, elektroda adalah pengantar yang ditanamkan ke dalam tanah yang membuat kontak langsung dengan tanah. Untuk bahan elektrode pentanahan biasanya digunakan bahan tembaga, atau baja yang bergalvanis atau dilapisi tembaga. Jenis-jenis elektrode yang digunakan dalam pentanahan ditampilkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Jenis Elektroda berdasarkan PUIL 2011

No.	Bahan jenis Elektroda	Baja digalvanisasi dengan proses pemanasan	Baja berlapis tembaga	Tembaga
1.	Elektroda Pita	Pipa baja 100 mm ² tebal minimum 3 mm	50 mm ²	Pipa Tembaga 50 mm ² Tebal Minimum 2 mm
		Penghantar pilin 95 mm ² (bukan kawat halus)		Penghantar pilin 35 mm ² (bukan kawat halus)
2.	Elektroda Batang	Pipa baja 25 mm		
		Pipa profil (mm)	Baja berdiameter	
		L 65 x 65 x 7 U 65 T 6 x 50 x 3 Batang profil lain yang setara	15 mm dilapisi tembaga setebal 250 μm	
3.	Elektroda Pelat	Pelat besi tebal 3 mm luas 0,5 mm ² sampai 1 mm ²		Pelat tembaga tebal 2 mm luas 0,5 mm ² sampai 1 mm ²

Bahan dan Ukuran Elektroda

Sebagai konskuensi peletakannya di dalam tanah, maka elektroda dipilih dari bahan-bahan tertentu yang memiliki konduktivitas sangat baik dan tahan terhadap sifat-sifat yang merusak dari tanah, seperti korosi. Ukuran elektroda dipilih yang mempunyai kontak paling efektif dengan tanah. Tabel 2 merupakan acuan kasar harga tahanan pembumian pada tanah dengan tahanan jenis tanah tipikal berdasarkan jenis dan ukuran elektroda.

Tabel 2. Bahan dan Ukuran Elektroda berdasarkan PUIL 2011

Jenis Elektroda	Pita atau Konduktor Pilin				Batang atau Pipa					Pelat Vertical dengan sisi atas ± 1m dibawah Pemukaan Tanah
	Panjang (m)				Panjang (m)					m ²
Ukuran	10	25	50	100	1	2	3	5	0,5x1	1x1
Tahanan Pembumian (Ω)	20	10	5	3	70	40	30	20	35	25

Memparalel Titik Pembumian

Ada kalanya sebuah titik pembumian memiliki jenis tanah yang berbatu ataupun terdapat akar pohon yang menyulitkan saat proses penggalian lubang titik pembumian. Hal tersebut mengakibatkan titik pembumian tidak memiliki kedalaman yang cukup untuk mendapatkan resistansi yang kecil, sehingga langkah lain yang bisa dilakukan adalah dengan memparalel beberapa titik pembumian. Menurut IEE Std. 142-2007, minimal jarak antara elektroda sebesar 3 m (10 ft). Berdasarkan Persyaratan Umum Instalasi 2011 menyatakan bahwa parallel hanya dilakukan ketika nilai tahanan pembumian masih diatas 5 Ω. Dengan menggunakan persamaan (2) dapat dikalkulasikan rencana pembuatan sistem pembumian:

$$\frac{1}{R_{PE}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n} \dots\dots\dots (2)$$

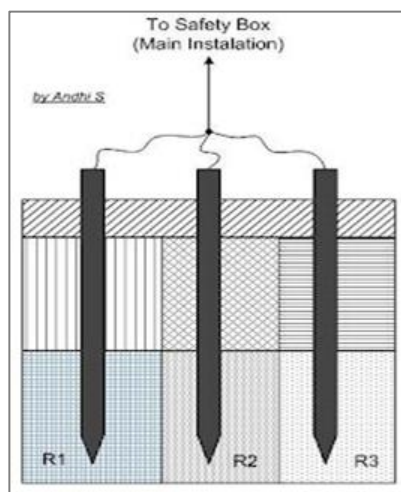
Dari persamaan (2), jika menggunakan dua buah elektroda yang diparalel nilai resistansi paralel dapat dihitung menggunakan persamaan (3) sebagai berikut :

$$R_{PE} = \frac{R_1 \times R_2}{R_1 + R_2} \dots\dots\dots (3)$$

Dimana:

- R_{PE} = Resistansi Paralel
- R₁ = Resistansi ke-1
- R₂ = Resistansi ke-2
- R_n = Resistansi ke-n

Jadi, dari persamaan tersebut dapat disimpulkan bahwa semakin banyak titik pembumian yang diparalel, maka nilai resistansi dari sistem pembumian bisa bernilai semakin kecil. Ilustasi sistem pembumian dihubungkan secara paralel ditampilkan pada gambar 4.



Gambar 4. Paralel Titik Pembumian

1. Memperdalam Titik Pembumian

Nilai tahanan dari sebuah sistem pembumian berbanding terbalik dengan panjang elektroda, yang berarti jika panjang elektroda ditambah atau diperbesar maka nilai tahanan akan mengecil. Di mana dapat disimpulkan bahwa semakin panjang elektroda, maka penanamannya pun harus semakin dalam. Menambah panjang elektroda jauh lebih efektif dalam menurunkan nilai tahanan pembumian, ketimbang jika kita memperbesar diameter elektroda. Hal ini ditampilkan pada persamaan (4)

$$R = \frac{\rho}{2\pi L} \left[\ln \left(\frac{4L}{\alpha} \right) - 1 \right] \dots\dots\dots(4)$$

Pada penelitian terdahulu, telah dibuktikan bahwa kedalaman pemasangan elektroda rod akan menurunkan nilai tahanan pembumian.[11].

2. Faktor Alam

Dari rumus untuk menentukan tahanan tanah dari satu elektrode yang hemispherical $R = \rho/2\pi r$ terlihat bahwa tahanan pentanahan berbanding lurus dengan besarnya ρ . Untuk berbagai tempat harga ρ ini tidak sama dan tergantung pada beberapa faktor:

- a Sifat Geologi dan jenis tanah[12]
- b Temperatur
- c Kandungan air tanah

Salah satu cara yang bisa digunakan untuk memperbaiki faktor alam dalam pembuatan sistem pembumian adalah dengan menggunakan *Bentonite*. *Bentonite* merupakan jenis tanah liat yang memiliki kandungan *montmorillonit* dengan mineral-mineral seperti kwarsa, kalsit, dolomit, feldspars dan mineral lainnya. *Bentonite* bersifat menyerap air dan menahan air pada strukturnya, hal ini disebabkan adanya lapisan lempung yang terdiri dari tetrahedral dan oktahedral sedangkan lapisan interlayer terdapat molekul air dan kation-kation, pada lapisan inter layer lah terjadi penyerapan air. *Bentonite* digunakan dalam elektroda pentanahan untuk membantu menurunkan resistivitas tanah. Rendahnya resistivitas diperoleh dari proses elektrolisis antara air, Na₂O (soda), K₂O (kalium), CaO (kapur), MgO (Magnesium) dan garam mineral lainnya yang mengionisasi membentuk elektrolit kuat. [13]. Gambar 5 menunjukkan bentuk fisik Bentonite yang digunakan dalam pembumian.



Gambar 5. Bentuk Fisik Bentonite

Berdasarkan tipenya, *bentonite* dibagi menjadi dua macam yaitu *Na-bentonite* dan *Ca-bentonite*. *Na-bentonite* merupakan jenis mineral *montmorillonit* dengan partikel air tunggal (*single water layer particle*), serta memiliki Na⁺ yang dapat dipertukarkan. *Na-bentonite* memiliki daya pengembang hingga delapan kali jika dicelupkan kedalam air, dan tetap terdispersi kedalam air. *Bentonite* mempunyai pH sekitar 8,5 sampai 9,8 (bersifat basa). Selain itu juga *bentonite* ini akan mempertahankan kandungan air yang telah diserapnya. *ca-bentonite* ini memiliki daya pengembang yang kurang dan memiliki pH sekitar 4,0 hingga 7,1 (bersifat asam) serta memiliki daya tukar ion yang cukup besar. Perbedaan sifat antara Na-Bentonite dan Ca-Bentonite dirangkum pada tabel 3.

Tabel 3. Perbedaan Sifat Na-Bentonite dan Ca-Bentonite

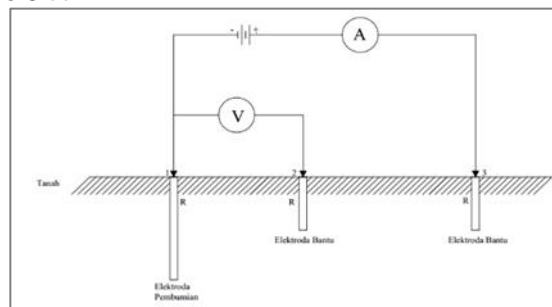
No.	Sifat Fisik	Na-Bentonite	Ca-Bentonite
1.	Daya mengembang	Sangat baik	Tidak baik
2.	Kekuatan dalam keadaan basa	Sedang	Tinggi
3.	Perkembangan daya ikat	Sedang	Cepat
4.	Kekuatan tekan	Tinggi	Sedang
5.	Daya tekan terhadap penyusutan	Tinggi	Rendah
6.	Daya mengalirkan pasir	Sedang	Sangat baik
7.	Warna dalam keadaan kering	Putih atau crem	Abu-abu, biru, kuning, coklat
8.	Perbandingan Na dan Ca	Tinggi	Rendah
9.	pH suspense koloidal	8,5-9,8	4-7

Pengukuran Tahanan Pembumian

Untuk mengetahui apakah suatu tahanan pembumian sesuai dengan standar. Maka diperlukan pengukuran tahanan pembumian tersebut. Pengukuran tahanan pembumian bertujuan untuk mengetahui besarnya tahanan pembumian dari beberapa kondisi tanah.

Metode 3 Titik (3-Pole Method)

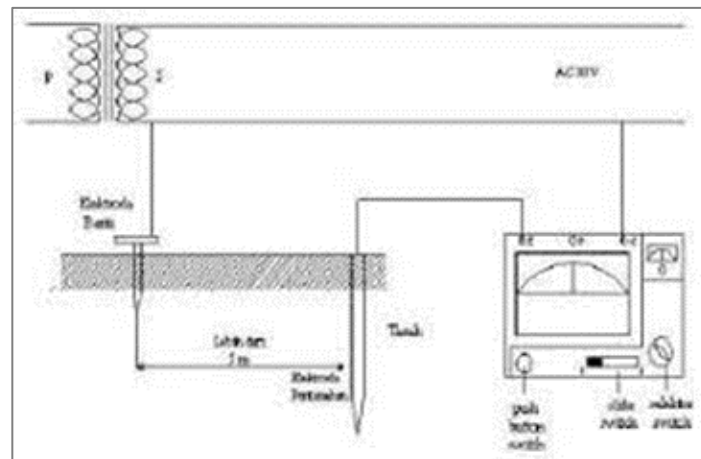
Metode 3 titik atau *driven rod* merupakan metode yang digunakan untuk mengukur pembumian. Pengukuran tersebut menggunakan elektroda batang yang akan diukur (*ground*), dan tambahan 2 batang elektroda sebagai elektroda bantu (*Potential* dan *Current*) untuk pengukuran. Pada 3 titik tersebut terdapat titik elektroda pembumian, titik arus balik, dan titik potensial. Hakim (2004) menyatakan dua elektroda bantu (*Potential* dan *Current*) ditanam kedalam bumi/tanah segaris dan sejajar dengan elektroda (*ground*). Gambar 6 menunjukkan gambar rangkaian pengukuran nilai pembumian dengan metode 3 titik.



Gambar 6. Metode 3 Titik (3-Pole Method)

Metode 2 Titik

Pada metode pengukuran *2-pole method* hanya dua terminal *Earth Tester* yang digunakan dimana terminal E dihubungkan ke elektroda pembumian yang akan diukur dan terminal C dihubungkan ke elektroda bantu sedangkan terminal P tidak digunakan seperti pada gambar6. . Berdasarkan Hioki, Pengukuran kurang dari 10 Ω sangat sulit dilakukan dengan metode pengukuran yang disederhanakan ini. Gambar rangkaian pengukuran nilai tahanan pembumian dengan metode 2 titik ditampilkan pada gambar 7.



Gambar 7. Metode 2 Titik (2-Pole Method)

Untuk menghitung nilai rata-rata pada tananan sistem pembumian, dihitung menggunakan persamaan (4) :

$$R_{PE} = \left(\frac{R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_n}{n} \right) \dots \dots \dots (4)$$

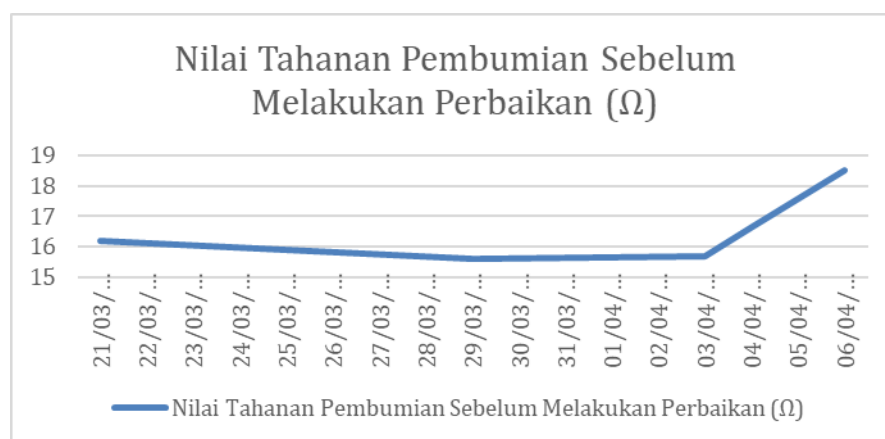
Dimana:

- R_{pe} = Nilai Rata-rata tahanan pembumian
- R₁ = Nilai tahanan pembumian ke-1
- R₂ = Nilai tahanan pembumian ke-2
- R_n = Nilai tahanan pembumian ke-n
- N = Total Pengukuran

3. METODE PENELITIAN

Rancangan Perbaikan Sistem Pembumian

Berdasarkan kajian Pustaka yang telah dilakukan, rancangan perbaikan tahanan sistem pembumian yang dipilih adalah dengan cara menambahkan elektroda batang yang baru batang dengan kedalaman dan ketebalan tertentu. Setelah melakukan penanaman elektroda baru, kemudian, disambungkan dengan elektroda lama menggunakan kabel BC. Menurut standar IEEE Std. 147-2007, jarak minimal antar elektroda sebesar 3 meter [3]. Setelah melakukan parallel antar elektroda, selanjutnya menambahkan *bentonite* di sekitar tahanan pembumian. *Bentonite* dapat digunakan untuk meningkatkan kelembaban tanah.



Gambar 8. Hasil pengukuran nilai tahanan pembumian existing

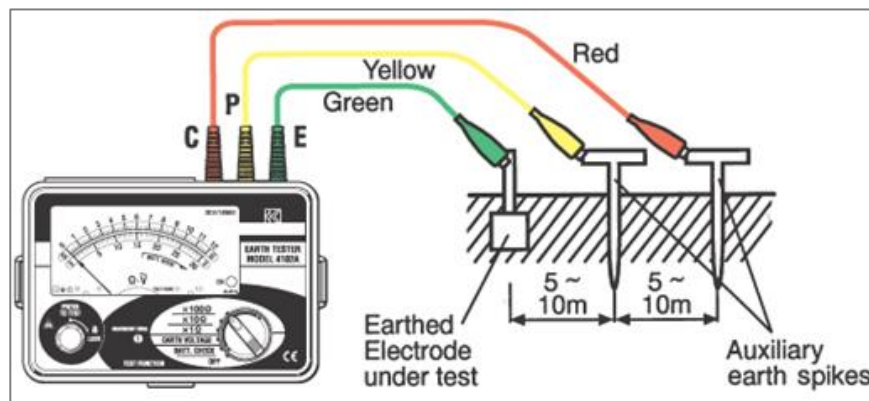
Gambar 8 menunjukkan data hasil pengukuran nilai tahanan pembumian pada sistem pembumian yang ada di Politeknik Negeri Jakarta. Nilai rata-rata tahanan pembumian sebelum

melakukan perbaikan. Sebelum melakukan pemasangan elektroda batang tambahan, dilakukan simulasi perhitungan menggunakan persamaan (3) dan (2). Hal ini dilakukan untuk menentukan nilai tahanan akhir yang ingin dicapai setelah melakukan penelitian ini. Hasil perhitungan rancangan perbaikan ditampilkan pada tabel 4.

Realisasi dilakukan dengan melakukan pengeboran untuk menanamkan batang elektroda pbumian, termasuk membuat bak control yang digunakan sebagai titik inspeksi monitoring nilai tahanan pbumian. Penyambungan elektroda lama dengan elektroda baru dilakukan dengan menggunakan kabel BC. Untuk meningkatkan kinerja sistem pbumian, maka zat bentonite dituangkan diantara lubang pipa galvanis dengan elektroda pbumian.

Pengujian sistem pbumian

Pengujian Keberhasilan rancangan perbaikan sistem pbumian dilakukan dengan mengukur nilai tahanan pbumian yang telah diparalel pada titik inspeksi lama serta mengukur nilai tahanan pbumian parallel di titik inspeksi baru yang telah dibuat. Nilai rata - rata tahanan pbumian setelah perbaikan, diukur untuk mengetahui perbandingan antara perhitungan dan nilai real setelah pemasangan. Pengujian ini menggunakan earth tester meter yang menggunakan *3-pole method* atau *Fall of Potential*. Pada pengujian ini elektroda batang disambung ke titik Earth pada earth tester meter. Kemudian memasang elektroda bantu dengan jarak 5 meter dari elektroda batang sistem pbumian secara bergantian yang disambung ke titik Phase pada earth tester meter. Dan yang terakhir memasang elektroda bantu kedua dengan jarak 10 meter dari elektroda batang sistem pbumian yang disambung ke titik Common pada earth tester meter. Sudut pengukuran yang digunakan adalah 0° , 90° , dan 180° . Rangkaian pengukuran tahanan pbumian baru dengan metode *3-pole* ditunjukkan pada gambar 9.



Gambar 9. rangkaian pengukuran tahanan pbumian dengan metode *3-pole*

Pengujian ini pada tiga kondisi yakni :

- Pengujian tahanan dititik lama setelah penambahan bentonite
- Pengujian tahanan dititik baru sebelum di paralel
- Pengujian tahanan pbumian setelah diparalel

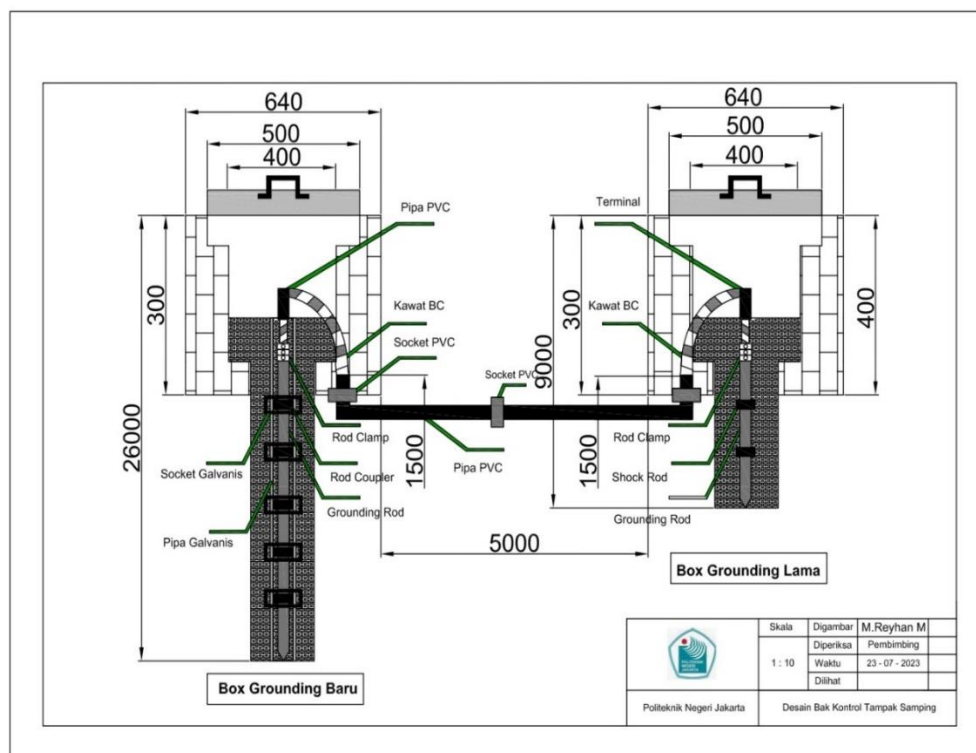
4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Sebagaimana dijelaskan pada bagian 3, bahwa perancangan sistem pbumian yang baru dilakukan dengan menggunakan persamaan rumus (3) dan (2) untuk mendapatkan nilai tahanan yang optimal. Tabel 4 menunjukkan hasil perhitungan perancangan dengan beberapa variable perubahan. Dengan mempertimbangkan faktor efisiensi dan efektifitas, maka akan rancangan perbaikan system pbumian yang dipiliha adalah menggunakan elektroda batang dengan kedalaman 26 meter dan ketebalan 5/8 Inchi. Kemudian disambungkan secara paralel dengan elektroda lama dengan jarak 5 meter menggunakan kabel BC (*Bare Code*).

Tabel 4. Hasil perhitungan perancangan sistem pembumian

No.	R1 (Ω)	ρ (Ω m)	π	L2 (m)	α 2 (Inch)	α 2 (m)	R2 (Ω)	RPE (Ω)
1.	16,524	126,037	3,14	9	5/8"	0,00794	16,524	8,262
2.	16,524	126,037	3,14	10	5/8"	0,00794	15,101	7,8902427
3.	16,524	126,037	3,14	15	5/8"	0,00794	10,61	6,461253
4.	16,524	126,037	3,14	18	5/8"	0,00794	9,046	5,8457608
5.	16,524	126,037	3,14	20	5/8"	0,00794	8,237	5,4968777
6.	16,524	126,037	3,14	22	5/8"	0,00794	7,581	5,1967826
7.	16,524	126,037	3,14	24	5/8"	0,00794	7,022	4,9278658
8.	16,524	126,037	3,14	25	5/8"	0,00794	6,778	4,8064403
9.	16,524	126,037	3,14	26	5/8"	0,00794	6,545	4,6880014
10.	16,524	126,037	3,14	9	1"	0,0125	15,534	8,0068568
11.	16,524	126,037	3,14	10	1"	0,0125	14,189	7,6338696
12.	16,524	126,037	3,14	15	1"	0,0125	10,003	6,2309938
13.	16,524	126,037	3,14	18	1"	0,0125	8,54	5,6301851
14.	16,524	126,037	3,14	20	1"	0,0125	7,787	5,2927641
15.	16,524	126,037	3,14	22	1"	0,0125	7,168	4,999326
16.	16,524	126,037	3,14	24	1"	0,0125	6,643	4,7381591
17.	16,524	126,037	3,14	25	1"	0,0125	6,414	4,6204959
18.	16,524	126,037	3,14	26	1"	0,0125	6,196	4,506281

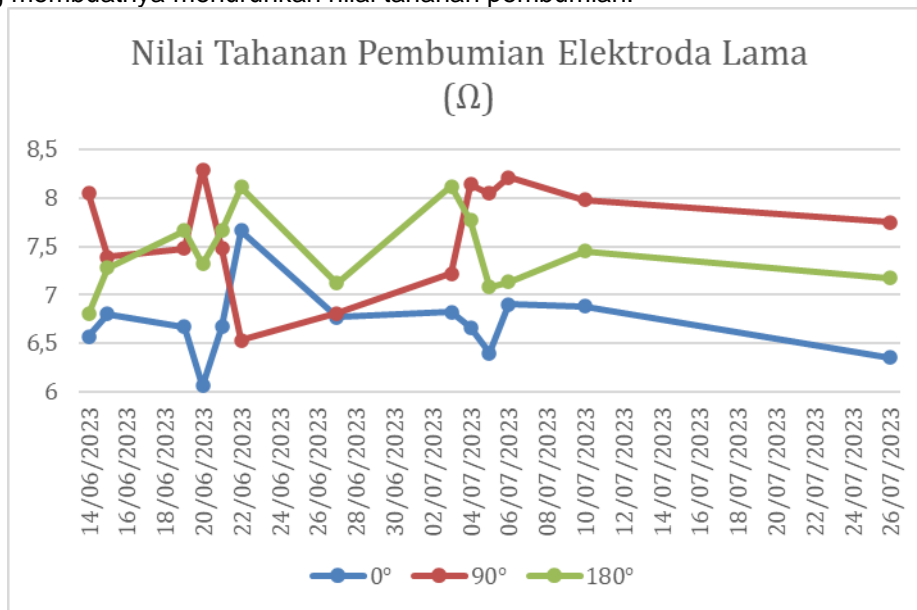
Alasan penggunaan metode *Parallel Driven Rods* antara lain 1) Tidak memerlukan lokasi pemasangan yang luas, dan 2) Keadaan lokasi di sekitar perbaikan sistem pembumian, karena di daerah tersebut merupakan jalur kabel SKTM. Gambar 10 menampilkan gambar rancangan system pembumian antara titik pembumian lama dengan titik pembumian baru.



Gambar 10. rancangan perbaikan sistem pembumian

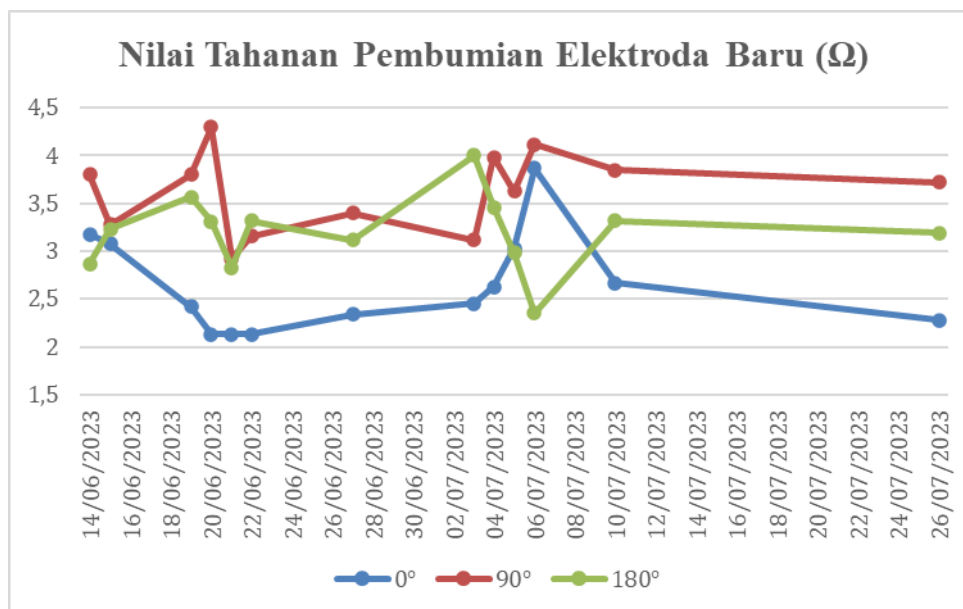
Untuk mengetahui kinerja rancangan sistem pembumian yang telah direncanakan, maka dilakukan pengujian dan pengukuran tahanan elektroda pembumian. Pengujian pertama dilakukan setelah menambahkan zat *bentonite* pada titik pembumian lama. Gambar 11 dapat terlihat bahwa setelah penambahan *bentonite* sebagai media pembumian, nilai tahanan pembumian pada elektroda lama berada di antara 6 – 8 Ω , atau turun sebesar 50% dari nilai tahanan pada pengujian awal sebesar

16 – 19 Ω . *Bentonite* sendiri bersifat menyerap air sehingga dapat mempertahankan kelembapan pada tanah yang membuatnya menurunkan nilai tahanan pembumian.



Gambar 11. Nilai tahanan pembumian elektroda lama setelah ditambahkan *Bentonite*

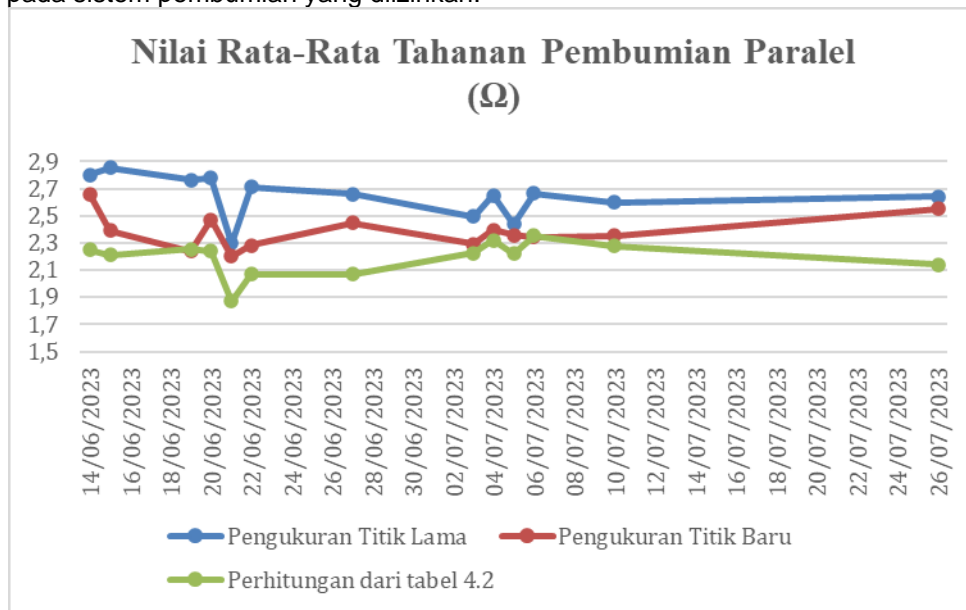
Meskipun penambahan *Bentonite* telah menurunkan nilai tahanan pembumian sebesar 50%, namun nilai pengukuran menunjukkan bahwa masih berada diatas ketentuan PUIL yakni diatas 5 Ohm. Oleh karena itu, setelah Penambahan elektroda baru, dilakukan pula pengukuran nilai tahanan pada titik elektroda baru tersebut. Gambar 12 menunjukkan bahwa nilai tahanan pembumian di titik elektroda baru nilainya berada pada rentang 2,1 – 4,4 Ohm. Hal ini menunjukkan bahwa nilai tahanan pembumian telah sesuai standar PUIL 2011.



Gambar 12. Nilai tahanan pembumian pada titik elektroda baru

Meskipun nilai tahanan pada titik elektroda baru telah sesuai standar PUIL, untuk meningkatkan kinerja sistem pembumian yang ada, dua elektroda yang ada disambungkan secara paralel untuk menurunkan nilai tahananannya. Hal ini merupakan implementasi dari persamaan (3). Setelah kedua elektroda dihubungkan secara paralel, dilakukan Kembali pengukuran pada titik elektroda lama, dan elektroda baru. Dapat diamati pada gambar 13, bahwa nilai rata – rata tahanan pembumian berada

pada rentang 1,8 – 2,9 Ohm. Nilai ini telah memenuhi ketentuan standar PUIL 2011 tentang besaran nilai tahanan pada sistem pembumian yang diizinkan.



Gambar 13. Perbandingan Nilai rata - rata Tahanan pembumian

5. KESIMPULAN DAN SARAN-SARAN

Kesimpulan

Dari proses perancangan, realisasi dan pengukuran hasil akhir pada penelitian dengan judul "Optimasi Sistem Pembumian Dengan Penerapan Metode Rod Dan Zat Bentonite : Studi Kasus Di Politeknik Negeri Jakarta", dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut :

1. Hasil pengukuran tahanan pembumian pada elektroda lama sebelum diparalel paling besar sebesar 7,523 Ω , hal ini belum sesuai dengan rekomendasi Persyaratan Umum Instalasi Listrik 2011 yaitu $< 5 \Omega$. Oleh karena itu diperlukan optimasi system pembumian untuk memastikan keandalan dari system pengaman dengan menambahkan elektroda baru dan penggunaan zat *bentonite*
2. Hasil pengukuran tahanan pembumian pada elektroda baru sebelum diparalel sebesar 3,447 Ω , namun elektroda baru harus diparalel dengan elektroda lama agar meningkatkan kinerja sistem pembumian.
3. Hasil Pengukuran tahanan pembumian setelah diparalel sebesar 2,853 Ω , hal ini sudah sesuai dengan rekomendasi Persyaratan Umum Instalasi Listrik 2011.
4. Penggunaan zat *Bentonite* pada sistem pembumian terbukti dapat meningkatkan kinerja sistem pembumian dengan cara mengurangi nilai tahanan pembumian. Hal ini terlihat pada saat pengujian, baik dititik elektroda lama, dan di titik elektroda baru.

Saran

Nilai tahanan sistem pembumian sangat dipengaruhi oleh kondisi factor lingkungan tempat sistem pembumian dipasang. Oleh karena itu, sebaiknya perlu dilakukan monitoring nilai tahanan dan treatment secara berkala unntuk memastikan nilai tahanan pembumian selalu berada pada kondisi yang memenuhi standar yang diizinkan.

6. DAFTAR PUSTAKA

1. PUIL 2011 : PERSYARATAN UMUM INSTALASI LISTRIK 2011, 2014.
2. A. Sunawar, "Analisis Pengaruh Temperatur dan Kadar Garam Terhadap Hambatan Jenis Tanah," *SETRUM*, vol. Vol. 2, no. Juni 2013, 2013.
3. A. Winanda, "PENGARUH KELEMBABAN DAN TEMPERATUR TERHADAP RESISTANSI TANAH PADA TANAH LIAT DI LAPANGAN SEPAK BOLA SMA NEGERI 1 PALEMBANG," Universitas Sriwijaya, 2022.

4. A. F. Teuku Murisal Asyadi, Muliadi, Syukri, "Pengaruh Tingkat Kedalaman Elektroda Terhadap Tahanan Pentanahan," *Aceh Journal of Electrical Engineering and Technology*, vol. 2, no. Juni 2022, 2022.
5. V. D. Andhika, "STUDI TENTANG EFEKTIVITAS BEBERAPA MACAM ZAT TERHADAP NILAI RESISTANSI SISTEM PENTANAHAN (GROUNDING)," *Jurnal Teknik Elektro Universitas Negeri Surabaya*, vol. 9, 2020.
6. N. Asih, "ANALISIS PENGGUNAAN GYPSUM, BENTONITE DAN ARANG SEBAGAI ZAT ADITIF UNTUK SOIL TREATMENT DALAM SISTEM PENTANAHAN," Sarjana Pendidikan Program Studi Pendidikan Teknik Elektro, Universitas Negeri Semarang.
7. N. Naibaho, "Analisa Sistem Pentanahan Elektrode Rod dengan Biaya Energi yang Ekonomis," *Ikraith-Teknologi*, vol. 1, no. November 2017, 2017.
8. Y. M. Devy Andini, Herri Gusmedi, "Perbaikan Tahanan Pentanahan dengan Menggunakan Bentonit Teraktivasi " *ELECTRICIAN – Jurnal Rekayasa dan Teknologi Elektro*, vol. 10, no. Januari 2016, 2016.
9. "IEEE Recommended Practice for Grounding of Industrial and Commercial Power Systems," *IEEE Std 142-2007 (Revision of IEEE Std 142-1991)*, pp. 1-225, 2007.
10. *National Electrical Code : 2008 Edition*, 2008.
11. M. RAJAGUKGUK, "Studi Pengaruh Jenis Tanah dan Kedalaman Pembumian Driven Rod terhadap Resistansi Jenis Tanah," *Vokasi*, vol. 8, pp. 121-132, 2012.
12. Y. A. K. Alexander maxwell dwiky djoemani, sj Tachrir, "MANAJEMEN PERBAIKAN NILAI TAHANAN PEMBUMIAN (STUDI KASUS TRANSMISI 150 KV BOLANGI – MAROS)," *Stabilita - Fakultas Teknik Universitas Halu Oleo Kendari*, vol. 10, no. 2022, 2022.
13. R. Cecep, S. Ari, and R. Widodo, "Karakterisasi Fisik dan Kimiawi Bentonite untuk Membedakan Natural Sodium Bentonite dengan Sodium Bentonite Hasil Aktivasi," *Jurnal Polimesin*, vol. 18, no. 1, pp. 53-60, 2020/2/28/ 2020