p-ISSN : 2301-8402, e-ISSN : 2685-368X, available at : https://ejournal.unsrat.ac.id/index.php/elekdankom

Analysis of Grounding Resistance Reduction Using Counterpoise and Multi-Rod

Analisis Penurunan Tahanan Pentanahan dengan Counterpoise dan Multi-Rod

Muhammad Sofian Azhari, Rosmaliati
Dept. of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, University of Mataram, Mataram, Indonesia
e-mails: rosmaliati@unram.ac.id
Received: 13 August 2026; revised: 14 October 2026; accepted: 18 November 2026

Abstract* — This study aims to analyze the reduction of grounding resistance values in a 150 kV transmission tower using a combination of the counterpoise and multi-rod grounding methods. The main problem addressed is the high soil resistance that can reduce the reliability of the transmission system. The research was conducted on the 150 kV Peringabaya–Sambelia transmission line tower, specifically Tower 15, with measurements carried out on all four tower legs. The methodology included measuring the grounding resistance before and after improvement, as well as installing one additional grounding electrode on each tower leg. The results showed a significant reduction in grounding resistance values, from 103 Ω to 7 Ω (93.2%), 34.9 Ω to 7 Ω (79.9%), 36.9 Ω to 7 Ω (81.0%), and 165.3 Ω to 7 Ω (95.8%). All final resistance values met the required standard of less than 10 Ω. Therefore, the combination of the counterpoise and multi-rod grounding methods has proven effective in reducing grounding resistance and improving the reliability of electric power transmission systems.

***Key words* — Grounding resistance, counterpoise, Multi-Rod Grounding, transmission system, soil resistivity**

***Abstrak* — Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis penurunan nilai tahanan pentanahan pada menara transmisi 150 kV menggunakan kombinasi metode *counterpoise* dan *Multi-Rod Grounding*. Permasalahan yang dihadapi adalah tingginya tahanan pentanahan yang dapat memengaruhi keandalan sistem transmisi, khususnya dalam menghadapi gangguan akibat sambaran petir. Penelitian dilakukan pada Tower 15 SUTT 150 kV Peringabaya–Sambelia dengan melakukan pengukuran tahanan pentanahan pada empat kaki menara sebelum dan sesudah perbaikan. Perbaikan dilakukan dengan menambahkan elektroda batang pada setiap kaki menara serta memasang konduktor *counterpoise* secara horizontal sebagai jalur tambahan untuk memperluas area penyebaran arus ke tanah. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa nilai tahanan pentanahan sebelum perbaikan pada kaki A, B, C, dan D masing-masing sebesar 103 Ω, 34,9 Ω, 36,9 Ω, dan 165,3 Ω. Setelah perbaikan, seluruh nilai tahanan pentanahan menjadi 7 Ω, dengan persentase penurunan masing-masing sebesar 93,2%, 79,9%, 81,0%, dan 95,8%. Hasil tersebut menunjukkan bahwa kombinasi metode *counterpoise* dan *Multi-Rod Grounding* mampu menurunkan nilai tahanan pentanahan pada Tower 15.**

Kata kunci — Tahanan pentanahan, counterpoise, Multi-Rod Grounding, sistem transmisi, resistansi tanah.

I. PENDAHULUAN

Keandalan sistem tenaga listrik sangat dipengaruhi oleh kondisi sistem pentanahan pada jaringan transmisi. Pada menara transmisi, sistem pentanahan berfungsi menyediakan jalur bagi arus gangguan dan arus akibat sambaran petir untuk dialirkan ke tanah. Salah satu parameter yang digunakan untuk mengevaluasi kondisi sistem tersebut adalah tahanan pentanahan kaki menara (*tower-footing resistance*). Nilai tahanan pentanahan yang rendah menunjukkan kemampuan sistem pentanahan dalam menyediakan jalur pelepasan arus menuju tanah. Oleh karena itu, pengukuran tahanan pentanahan menjadi bagian penting dalam mengetahui kondisi sistem pentanahan dan menentukan kebutuhan perbaikan pada menara transmisi [1], [8].

Nilai tahanan pentanahan dipengaruhi oleh karakteristik tanah dan konfigurasi elektroda yang digunakan. Resistivitas tanah, struktur lapisan tanah, panjang elektroda, serta susunan elektroda dapat memengaruhi nilai tahanan atau impedansi pentanahan [2], [5]. Kondisi tanah dengan resistivitas yang tinggi dapat menghasilkan tahanan pentanahan yang lebih besar sehingga diperlukan konfigurasi elektroda yang sesuai untuk memperoleh nilai tahanan yang lebih rendah. Selain karakteristik tanah, jarak antar elektroda dan luas area sistem pentanahan juga menjadi faktor yang perlu diperhatikan dalam proses perbaikan. Oleh karena itu, karakteristik tanah dan konfigurasi elektroda perlu diperhatikan dalam menentukan metode perbaikan sistem pentanahan yang sesuai.

Salah satu metode yang dapat digunakan untuk memperbaiki sistem pentanahan adalah penambahan elektroda batang atau *multi-rod grounding*. Penambahan beberapa elektroda memberikan jalur tambahan bagi arus untuk mengalir ke tanah dan dapat memengaruhi karakteristik tahanan pentanahan [4]. Selain elektroda vertikal, *counterpoise* berupa konduktor yang dipasang secara horizontal di dalam tanah juga dapat digunakan untuk memperbaiki sistem pentanahan menara. Konduktor *counterpoise* memberikan jalur tambahan bagi penyebaran arus pada area tanah di sekitar menara, sedangkan elektroda batang membantu memperluas jalur pelepasan arus secara vertikal. Kombinasi elektroda vertikal dan *counterpoise* dapat membentuk sistem pentanahan dengan area penyebaran arus yang lebih luas sehingga berpotensi menghasilkan nilai tahanan pentanahan yang lebih rendah [2], [3].

Penerapan metode *multi-rod grounding* dan *counterpoise* telah digunakan pada sistem pentanahan menara transmisi di Indonesia. Penggunaan *multi-rod grounding* dilakukan dengan

menambahkan elektroda pada sistem pentanahan kaki menara sebagai salah satu upaya untuk memperoleh nilai tahanan pentanahan yang lebih rendah [6]. Sementara itu, *counterpoise* digunakan sebagai konduktor horizontal yang ditanam di dalam tanah dan dihubungkan dengan sistem pentanahan menara [7]. Pengukuran tahanan pentanahan dapat digunakan untuk mengevaluasi perubahan kondisi sistem sebelum dan sesudah dilakukan perbaikan [8], [9]. Hasil pengukuran tersebut menjadi dasar untuk mengetahui tingkat perubahan nilai tahanan pentanahan setelah penambahan atau perubahan konfigurasi elektroda.

Berdasarkan kajian tersebut, metode *multi-rod grounding* dan *counterpoise* dapat digunakan sebagai alternatif dalam perbaikan sistem pentanahan menara transmisi. Namun, penerapan kombinasi kedua metode tersebut perlu dievaluasi berdasarkan kondisi aktual di lapangan karena nilai tahanan pentanahan dipengaruhi oleh kondisi tanah, konfigurasi elektroda, serta kondisi pemasangan sistem pentanahan. Evaluasi melalui pengukuran langsung diperlukan untuk mengetahui perubahan nilai tahanan pentanahan yang terjadi setelah dilakukan perbaikan. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis penurunan nilai tahanan pentanahan pada Tower 15 SUTT 150 kV Peringabaya–Sambelia menggunakan kombinasi metode *counterpoise* dan *multi-rod grounding*. Analisis dilakukan dengan membandingkan nilai tahanan pentanahan sebelum dan sesudah perbaikan serta menghitung persentase penurunannya.

A. Pentanahan (Grounding)

Pentanahan adalah perlengkapan pembumian sistem transmisi yang berfungsi untuk meneruskan arus listrik dari tower SUTT maupun SUTET ke tanah dan menghindari terjadinya *back* flashover pada insulator saat *grounding* sistem terkena sambaran petir [11]. Pentanahan merupakan salah satu faktor kunci dalam usaha pengamanan (perlindungan) instalasi listrik [12]. *Pentanahan* berfungsi menyalurkan gangguan arus listrik langsung ke dalam tanah dengan menggunakan batang elektroda pentanahan yang ditanam di dalam tanah [13]. Pentanahan juga berfungsi sebagai pengaman sentuh bagi manusia yang ada disekitarnya [14].

Sistem pentanahan adalah sistem yang menghubungkan body peralatan dan instalasi listrik ke dalam bumi sehingga dapat mengamankan manusia, peralatan dari arus bocor dan tegangan listrik dari petir [14]. Sistem pentanahan biasanya menerapkan dua jenis sistem, yakni sistem *grid* (horizontal) serta sistem *rod* (vertikal) [15].

B. Jenis-Jenis Elektroda Pentanahan

Terdapat beberapa jenis elektroda pentanahan, antara lain :

1. Elektroda Pita

Elektroda pita ialah elektroda yang dibuat dari penghantar berbentuk pita atau berpenampang bulat, atau penghantar pilin yang pada umumnya ditanam secara dangkal. Elektroda ini dapat ditanam pada sebagai pita lurus, radial, melingkar, jala-jala, atau kombinasi dari bentuk tersebut.

2. Elektroda Batang

Elektroda batang ialah elektroda dari pipa besi, baja profil, atau batang logam lainnya yang dipancangkan ke dalam tanah. Elektroda berbentuk batang ini yang biasa di kenal sebagai batang pentanahan (*ground rod*). Elektroda ini merupakan elektroda yang pertama kali digunakan dan teori-teori berawal dari elektroda jenis dengan persamaan dibawah ini [11].

$$R = \frac{\rho}{2\pi L}\left(In\ \frac{2l}{d}\right) \quad (1)$$

Keterangan:

R = Tahanan pentanahan (ohm).
p = Tahanan jenis tanah (ohm-m).
a = Diameter penampang elektroda (m).
L = Panjang elektroda tertanam (m).

Dari persamaan diatas dapat diketahui cara untuk menurunkan nilai pentanahan dengan cara menanam batang elektroda, hal ini dikarenakan daya hantar arus listrik ke dalam tanah lebih besar sehingga nilai pentanahan yang didapatkan semakin kecil.

C. Jenis-Jenis Pentanahan Kaki Menara Transmisi

Terdapat beberapa metode dalam sistem pentanahan yang dapat dijelaskan sebagai berikut:

1. Rod Grounding

Pentanahan dengan *Rod Grounding* adalah pentanahan yang dilakukan dengan cara menancapkan batang elektroda ke tanah [19]. Pentanahan ini adalah pentanahan yang paling sederhana dan paling sering digunakan dimana nilai tahanan tanahnya rendah [11]. Pada sistem *rod* ini memiliki beberapa sistem untuk memperkecil nilai tahanan dengan menggunakan sistem *single rod* dan *Multi ple rod*. Lihat gambar 1 [15].

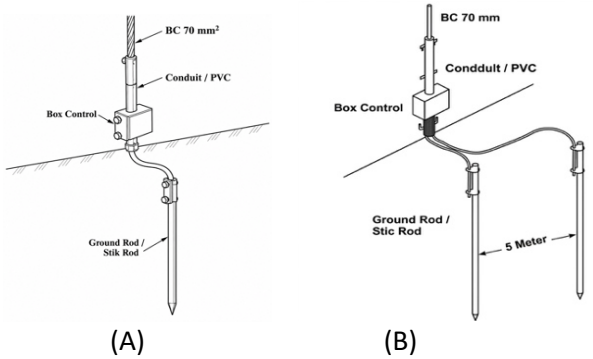
Untuk satu batang (*single rod*) yang menembus satu lapisan tanah, besarnya tahanan pentanahan dapat ditentukan dengan persamaan dibawah ini [15].

$$R = \frac{\rho}{2\pi L}\left(ln\ \frac{4L}{a} - 1\right) \quad (2)$$

Keterangan:

R = Tahanan pentanahan (ohm).
p = Tahanan jenis tanah (ohm-m).
a = Diameter penampang elektroda (m).
L = Panjang elektroda tertanam (m).

Terkadang penggunaan hanya satu elektroda batang tidak mencapai nilai tahanan pentanahan yang diinginkan. Oleh karena itu, dalam pemasangan seringkali digunakan beberapa elektroda batang yang dihubungkan satu sama lain yang disebut



Gambar 1. (A) Sistem *Single rod*, (B) Sistem *Multi ple rod*.

metode *Multi ple rod*. Untuk mengetahui nilai tahanan pentanahan menggunakan metode *Multi ple rod* dengan persamaan dibawah ini.

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R1} + \frac{1}{R2} + \frac{1}{Rn} \quad (3)$$

Keterangan :

R = Total tahanan pembumian (ohm).

R 1 = Tahanan pembumian untuk elektroda pasak ke-1 (ohm).

R 2 = Tahanan pembumian untuk elektroda pasak ke-2 (ohm).

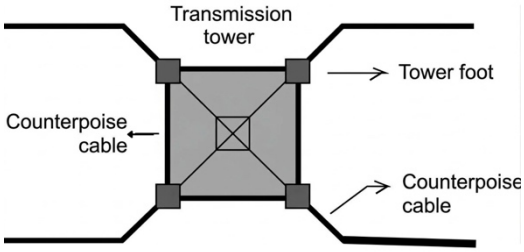
$R\,n$ = Tahanan p

2. Counterpoise

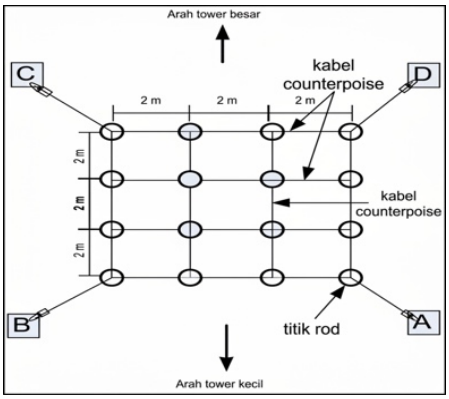
Pentanahan dengan *counterpoise* adalah pentanahan yang dilakukan dengan cara menanam kawat elektroda sejajar atau radial, beberapa cm dibawah tanah (30 cm – 90 cm) [12]. *counterpoise* menggunakan kawat penghantar yang ditanam di dalam parit di sekitar kaki menara [18]. Pentanahan *counterpoise* biasanya digunakan apabila resistansi tanah terlalu tinggi dan tidak dapat dikurangi dengan cara pentanahan driven ground, biasanya karena resistivitas tanah terlalu tinggi [12].

3. Pentanahan dengan mesh atau grid

Pentanahan dengan *mesh* atau *grid* adalah cara pentanahan dengan jalan memasang kawat konduktor elektroda membujur dan melintang dibawah tanah, yang satu sama lain dihubungkan disetiap tempat sehingga membentuk jala (*mesh* /*grid*) [19]



Gambar 2. Pentanahan menara dengan *counterpoise*



Gambar 3. Pentanahan *Grid* / *mesh* pada gardu induk

Sistem pentanahan *mesh* /*grid* biasanya dipasang di gardu induk dengan tujuan mendapatkan nilai resistansi tanah yang sangat kecil [12].

D.Standar Nilai Pentanahan Menara Transmisi

Nilai pentanahan menara transmisi harus dibuat sekecil mungkin agar tidak menimbulkan tegangan menara transmisi menjadi tinggi yang pada akhirnya dapat mengganggu sistem penyaluran. Batasan nilai pentanahan menara transmisi (5 menara transmisi dari gardu induk) sebagai berikut: [16]

1. Sistem 70 kV : maksimal 3 Ohm
2. Sistem 150 kV : maksimal 3 Ohm
3. Sistem 275 kV : maksimal 3 Ohm
4. Sistem 500 kV : maksimal 1 Ohm

Sedangkan untuk nilai pentanahan menara transmisi selain 5 menara transmisi dekat gardu induk maksimal 10 Ohm [17].

E. Resistansi Jenis Tanah

Faktor paling dominan mempengaruhi tahanan sistem pentanahan adalah tahanan jenis tanah dimana elektroda pentanahan di tanam

II. METODE

A. Observasi Langsung

Observasi langsung dilakukan melalui pengamatan sistematis di lapangan untuk memperoleh data terkait kondisi awal sistem pentanahan, proses pemasangan, serta konfigurasi perbaikan sistem pentanahan pada Tower 15 SUTT 150 kV Peringabaya–Sambelia. Observasi mencakup kondisi fisik sistem pentanahan pada setiap kaki menara, posisi pemasangan elektroda tambahan, serta pemasangan konduktor *counterpoise* yang digunakan dalam proses perbaikan.

Pengukuran tahanan pentanahan dilakukan untuk mengetahui kondisi awal sistem pentanahan sebelum dilakukan perbaikan. Pengukuran dilakukan pada keempat kaki Tower 15 menggunakan *earth tester* KYORITSU KEW 4105A dengan metode tiga titik (*three-point/fall-of-potential*). Terminal E dihubungkan pada kaki menara yang diuji, terminal P dihubungkan dengan *auxiliary earth rod* sebagai elektroda potensial, sedangkan terminal C dihubungkan dengan *auxiliary earth rod* sebagai elektroda arus. Jarak antara kaki menara (E)

TABEL I
TAHANAN JENIS TANAH

No	Jenis Tanah	Tahanan Jenis (ohm.m)
1	Tanah rawa	10 s.d. 40
2	Tanahliat dan ladang	20 s.d. 100
3	Pasir basah	50 s.d. 200
4	Kerikil basah	200 s.d. 3.000
5	Pasir dan kerikil kering	< 10.000
6	Tanah berbatu	2.000 s.d. 3.000
7	Air laut dan tawar	10 s.d. 100

dan elektroda P adalah 5 m, sedangkan jarak antara elektroda P dan C adalah 5 m. Pengukuran kondisi awal dilakukan satu kali pada masing-masing kaki menara.

Perbaikan sistem pentanahan dilakukan dengan menerapkan kombinasi metode *Multi-Rod Grounding* dan *counterpoise*. Elektroda yang digunakan besi galvanis berbentuk siku (*bracing*) dengan panjang sekitar 1,5–2 m dan dipasang secara vertikal pada masing-masing kaki menara. Bagian atas elektroda berada sekitar 40 cm di bawah permukaan tanah. Selanjutnya, konduktor *counterpoise* dihubungkan kesemua batang elektroda menggunakan AAAC 70 mm² dengan panjang 16 m yang dipasang secara horizontal pada ke dalaman sekitar 40 cm dari permukaan tanah dan dihubungkan pada sistem pentanahan keempat kaki Tower 15.

Setelah dilakukan perbaikan, sistem pentanahan Tower 15 memiliki konfigurasi tambahan berupa elektroda pada masing-masing kaki menara yang terhubung dengan konduktor *counterpoise*. Penambahan elektroda dan konduktor horizontal tersebut bertujuan untuk memperluas area penyebaran arus ke dalam tanah sehingga diharapkan dapat menurunkan nilai tahanan pentanahan.

B. Pengukuran dan Pengujian

pengukuran dan pengujian dilakukan untuk memperoleh data kuantitatif berupa nilai resistansi pentanahan sebelum dan sesudah perbaikan sistem pentanahan. Pengukuran dilakukan menggunakan alat ukur earth tester dengan metode tertentu yang mengacu pada standar pengujian yang berlaku, sehingga hasil yang diperoleh memiliki tingkat akurasi yang baik. Proses pengambilan data dilakukan secara berulang pada titik yang sama untuk memastikan konsistensi hasil pengukuran.



Gambar 4. Proses pengukuran resistansi pentanahan



Gambar 5. Proses pemasangan elektroda dan *counterpoise*

C. Alat dan Bahan

TABEL II
ALAT DAN BAHAN PENELITIAN

No	Alat	Bahan
1	Earth tester	Batang Elektroda (Bracing)
2	Cangkul	Konduktor AAAC 70 MM2
3	Skop	Klem
4	Palu Hamer	-
5	Blencong	-
6	Kunci Rachet	-
7	Gerinda	-
8	Kunci Impact	-

D. Teknik Analisis Data

Analisis dilakukan dengan membandingkan nilai tahanan pentanahan sebelum dan sesudah perbaikan, serta menghitung persentase penurunan menggunakan persamaan:

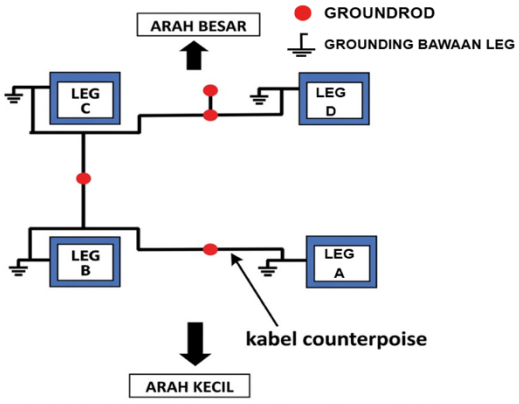
$$Penurunan(\%)\frac{R_{awal}-R_{akhir}}{R_{awal}} \times 100\% \quad (4)$$

Hasil analisis kemudian digunakan untuk mengevaluasi efektivitas metode *counterpoise* dan *Multi Rod Grounding* dalam menurunkan nilai tahanan pentanahan.

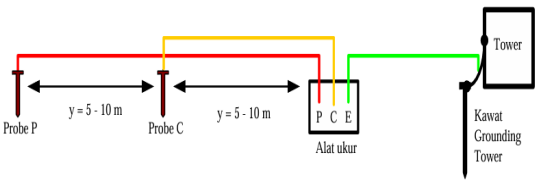
III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Pengukuran Tahanan Pentanahan

Pengukuran tahanan pentanahan dilakukan pada Tower SUTT 150 kV Peringabaya–Sambelia, tepatnya pada Menara 15. Pengukuran dilakukan pada setiap kaki menara (A, B, C,



Gambar 6. Gambaran Grounding Menara Transmisi Setelah Perbaikan



Gambar 7. Ilustrasi pengukuran dengan Earth Tester

dan D) sebelum dan sesudah penerapan metode *counterpoise* dan *Multi Rod Grounding* untuk mengetahui besarnya penurunan nilai tahanan yang terjadi.

Berdasarkan Tabel 3 nilai tahanan pentanahan sebelum perbaikan berada pada rentang 34,9 Ω hingga 165,3 Ω. Setelah dilakukan perbaikan, seluruh nilai tahanan mengalami penurunan menjadi 7 Ω. Hal ini menunjukkan bahwa terjadi penurunan nilai tahanan pentanahan pada setiap kaki menara setelah dilakukan perbaikan sistem pentanahan.

Pengukuran setelah perbaikan dilakukan sebanyak dua kali untuk memeriksa konsistensi pembacaan nilai tahanan pentanahan. Hasil pengukuran pada kedua pengulangan menunjukkan nilai yang sama pada setiap titik pengukuran.

Kesamaan nilai hasil pengukuran berkaitan dengan konfigurasi sistem pentanahan setelah perbaikan, di mana titik-titik pentanahan pada keempat kaki menara terhubung melalui konduktor *counterpoise*.

B. Analisis Penurunan Tahanan Pentanahan

Analisis penurunan tahanan pentanahan dilakukan dengan membandingkan nilai sebelum dan sesudah perbaikan serta menghitung persentase penurunannya. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa penurunan nilai tahanan pada kaki A sebesar 93,2%, kaki B sebesar 79,9%, kaki C sebesar 81,0%, dan kaki D sebesar 95,8%.

Hasil tersebut menunjukkan bahwa penerapan metode *counterpoise* dan Multi-Rod Grounding memberikan penurunan nilai tahanan pentanahan pada setiap kaki menara.

Secara teknis, penurunan nilai tahanan ini terjadi karena penambahan elektroda meningkatkan luas kontak antara sistem pentanahan dengan tanah, sehingga arus gangguan dapat mengalir melalui lebih banyak jalur. Selain itu, pemasangan konduktor *counterpoise* secara horizontal membantu menyebarkan arus ke area tanah yang lebih luas, sehingga resistansi total sistem menjadi lebih kecil.

TABEL III
HASIL PENGUKURAN TAHANAN PENTANAHAN SEBELUM DAN SESUDAH PERBAIKAN

No	Kaki Menara	Sebelum Perbaikan (Ω)	Setelah Perbaikan (Ω)	Jumlah Elektroda	Penurunan (%)
1	KAKI A	103	7	1	93,2
2	KAKI B	34,9	7	1	79,9
3	KAKI C	36,9	7	1	81,0
4	KAKI D	165,3	7	1	95,8



(a) (b)

Gambar 8. Pengukuran tahanan pentanahan setelah perbaikan (a) pengukuran pertama (b) pengukuran kedua

C. Pembahasan Terhadap Standar dan Kinerja Sistem

Berdasarkan hasil pengukuran, nilai tahanan pentanahan setelah perbaikan pada seluruh kaki Tower 15 adalah 7 Ω. Tower 15 tidak termasuk dalam lima menara pertama dari gardu induk, sehingga batas tahanan pentanahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah maksimal 10 Ω [16]. Dengan demikian, nilai akhir sebesar 7 Ω telah memenuhi batas tahanan pentanahan yang dipersyaratkan untuk lokasi tersebut. Hasil ini menunjukkan bahwa penerapan kombinasi metode counterpoise dan Multi-Rod Grounding berhasil menurunkan tahanan pentanahan hingga berada di bawah batas standar yang digunakan.

IV. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa penerapan metode *counterpoise* dan Multi-Rod Grounding mampu menurunkan nilai tahanan pentanahan pada Tower SUTT 150 kV Peringabaya–Sambelia. Nilai tahanan pentanahan yang semula berada pada rentang 34,9 Ω hingga 165,3 Ω berhasil diturunkan menjadi 7 Ω pada seluruh kaki menara, dengan persentase penurunan antara 79,9% hingga 95,8%. Hasil tersebut menunjukkan bahwa metode yang diterapkan mampu menurunkan tahanan pentanahan hingga memenuhi batas 10 Ω yang digunakan sebagai acuan untuk Tower 15.

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, disarankan agar penelitian selanjutnya melakukan pengujian pada lebih banyak menara dengan karakteristik tanah yang berbeda sehingga efektivitas metode *counterpoise* dan *Multi-Rod Grounding* dapat dievaluasi secara lebih menyeluruh. Selain itu, penelitian lanjutan dapat mengkaji pengaruh variasi jumlah elektroda, panjang *counterpoise*, dan perubahan kondisi tanah akibat musim terhadap nilai tahanan pentanahan, sehingga diperoleh konfigurasi sistem pentanahan yang lebih optimal dan efisien.

KUTIPAN

[1] S. Visacro, M. H. M. Vale, B. Pereira, and F. H. Silveira, “On the measurement of tower-footing impedance/resistance,” *Electric Power Systems Research*, vol. 234, Art. no. 110618, 2024.

[2] A. R. J. de Araújo, S. Kurokawa, C. M. Seixas, and B. Kordi, “Optimization of *tower*-footing grounding impedance for guyed-V transmission towers,” *Electric Power Systems Research*, vol. 177, Art. no. 105947, 2019.

[3] F. M. Gatta, A. Geri, S. Lauria, and M. Maccioni, “Backflashover simulation of HV transmission lines with enhanced *counterpoise* groundings,” *Electric Power Systems Research*, vol. 79, no. 7, pp. 1076–1084, 2009.

[4] W. L. M. de Azevedo, A. R. J. de Araújo, J. S. L. Colqui, J. L. A. D’Annibale, and J. Pissolato Filho, “Alternative study to reduce *backflashovers* using tower-footing grounding systems

with multiple inclined rods," *Electric Power Systems Research*, vol. 214, Art. no. 108893, 2023.

[5] B. Tang, Y. Huang, R. Liu, Z. Wu, and Z. Qu, "Fitting algorithm of transmission tower grounding resistance in vertically *layered* soil models," *Electric Power Systems Research*, vol. 139, pp. 121–126, 2016 .

[6] N. M. Mucharomah, A. Nugroho, and S. Sumardi, "Analisis pemasangan multirod grounding pada ruas SUTT 70 kV *Sunyaragi*-Kuningan," *Jurnal Profesi Insinyur Indonesia*, vol. 2, no. 1, pp. 26–31, 2024

[7] A. Faisal, M. Amril, J. Hidayat, and U. Hasnita, "Studi pengukuran tahanan pentanahan menara saluran udara tegangan tinggi (SUTT) 150 kV Sidikalang-Salak dengan menggunakan sistem counterpoise," *Journal of Electrical Technology*, vol. 4, no. 3, pp. 130–134, 2019

[8] Y. Warmi and K. Michishita, "Tower-footing resistance and lightning *trip*-outs of 150 kV transmission lines in West Sumatra in Indonesia," *MATEC Web of Conferences*, vol. 215, Art. no. 01022, 2018

[9] Y. Warmi, Zulkarnaini, A. Rajab, C. Yuanisa, R. O. Elyas, A. M. N. Putra, and Z. Anthony, "An optimal design of grounding system for tower footings in Payakumbuh 150 kV transmission line of Koto Panjang," *International Journal on Advanced Science, Engineering and Information Technology*, vol. 13, no. 3, pp. 844–850, 2023.

[10] T. S. R. Muha, Y. Warmi, Z. Zulkarnaini, A. Y. Dewi, and E. Erhaneli, "Optimalisasi sistem pentanahan untuk mengurangi back flashover akibat sambaran petir pada tower SUTT penghantar Sentul-Cibinong," *Transmisi: Jurnal Ilmiah Teknik Elektro*, vol. 27, no. 3, pp. 130–139, 2025.

[11] A. R. Idris *et al*., "Analisis pengaruh pemasangan *counterpoise* pada tower transmisi saluran udara tegangan tinggi 70 kV line Mandai–Pangkep," in *Prosiding Seminar Nasional Teknik Elektro dan Informatika (SNTEI)*, Makassar, Indonesia, 2021.

[12] R. P. Luntungan *et al*., "Analisa daerah lindung dan *grounding* pada tower transmisi akibat terjadinya back flashover," *Jurnal Teknik Elektro dan Komputer*, vol. 7, no. 3, 2018.

[13] Darso *et al*., "Kelayakan sistem *grounding* pada gedung dan pemancar radio Be 107 FM," *Zona Elektro: Jurnal Ilmiah*, vol. 15, no. 1, 2025.

[14] C. Andreansyah *et al*., "Studi kelayakan sistem *grounding* instalasi listrik pada Gedung Ulil Albab Uniska Kediri," *Zetroem*, vol. 5, no. 1, 2023.

[15] H. Firnando *et al*., "Perancangan sistem proteksi petir eksternal di Gedung B Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Jambi," *JITET (Jurnal Informatika dan Teknik Elektro Terapan)*, vol. 12, no. 3, 2024.

[16] PT PLN (Persero), *Pedoman Pemeliharaan Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT) dan Saluran Udara Tegangan Ekstra Tinggi (SUTET): Review dan Revisi KEPDIR No. 0520 K/DIR/2014*. Jakarta, Indonesia: PT PLN (Persero), 2024.

[17] SPLN, *Standar Perusahaan Listrik Negara tentang Pentanahan Sistem Tenaga Listrik*. Jakarta, Indonesia: PT PLN (Persero), 2000.

[18] N. H. Saputro, "Analisis pentanahan kaki menara transmisi 150 kV Rembang–Blora bertahanan tinggi dan usaha menurunkannya," Surakarta, Indonesia, 2016.

[19] A. Pranoto, H. Tumaliang, and G. M. C. Mangindaan, "Analisa sistem pentanahan gardu induk Teling dengan konstruksi *grid* (kisi-kisi)," *Jurnal Teknik Elektro dan Komputer*, vol. 7, no. 3, pp. 189–198, 2018.