

PERBAIKAN NILAI IMPEDANSI PEMBUMIAN METODE DRIVEN GROUND PADA TOWER TEGANGAN TINGGI DENGAN PENAMBAHAN BATANG ELEKTRODA (BRACIHNG) DAN COCOPEAT

Oleh: Eko Widiarto¹, Agus Adiwismono², Endang Triyani³,
Setyoko⁴, Septiantar Tebe Nursaputro⁵

Jurusan Teknik Elektro. Politeknik Negeri Semarang.
Jl. Prof. H. Soedarto, SH. Tembalang Semarang 50275
Email : widiarto@polines.ac.id ewidiarto8@gmail.com

Abstrak

Sistem pembumian tower digunakan sebagai pengamanan langsung apabila terjadi gangguan-gangguan di sepanjang jalur transmisi, seperti gangguan petir. Dampak yang akan ditimbulkan dari gangguan petir adalah terganggunya penyaluran tenaga listrik. Untuk itu diperlukan sistem pembumian tower transmisi yang baik dan memenuhi persyaratan. Nilai impedansi pembumian tower transmisi Tegangan Tinggi dipengaruhi oleh beberapa faktor, antara lain dipengaruhi oleh jenis elektroda yang terpasang pada menara transmisi tersebut. Jenis elektroda, yang biasa dipakai antara lain elektroda batang (rod), elektroda plat, dan elektroda pita. Ada beberapa metode pembumian kaki tower, yaitu metode pembumian driven ground, Counterpoise, Direct Grounding dari tower itu sendiri, metode driven ground dengan menambahkan beberapa batang elektroda terhubung paralel, metode PSPT. Pada penelitian ini membahas mengenai cara memperbaiki nilai impedansi sistem pembumian driven ground pada tower transmisi tegangan tinggi dengan menambahkan batang elektroda besi baja galvanis (braching) dan cocopead. Dari hasil penelitian ini diperoleh perbaikan nilai impedansi dari 12Ω menjadi $1,57\Omega$ hasil ini diperoleh dengan menghubungkan sisten driven Ground pada tower transmisi paralel dengan tiga Braching dan Plat tembaga yang ditanam dalam cocopaed dengan kedalaman 1m.

Kata kunci : pembumian tower transmisi.

Abstract

The tower earthing system is used as direct security in the event of disturbances along the transmission line, such as lightning disturbances. The impact that will be caused by lightning disturbances is the disruption of the distribution of electricity. For that we need a transmission tower earthing system that is good and meets the requirements. The value of the earthing impedance of the High Voltage transmission tower is influenced by several factors, among others, influenced by the type of electrode installed on the transmission tower. Electrode type. Commonly used electrodes include rods, plate electrodes, and tape electrodes. There are several methods of grounding the tower legs, namely the driven ground method, Counterpoise, Direct Grounding from the tower itself, the driven ground method by adding several electrode rods connected in parallel, the PSPT method. This study discusses how to improve the impedance value of the driven ground earthing system on a high voltage transmission tower by adding galvanized steel electrodes (braching) and cocopead. From the results of this study, it was obtained that the impedance value improved from 12Ω to 1.57Ω . This result was obtained by connecting the system driven ground to a parallel transmission tower with three Braching and copper plates embedded in cocopaed with a depth of 1m.

Keywords : earthing tower transmisi.

1. Pendahuluan

1.1. Latar Belakang.

Sistem pembumian atau biasa disebut sebagai grounding system adalah sistem pengamanan terhadap perangkat-perangkat yang mempergunakan listrik sebagai sumber tenaga dari lonjakan listrik

utamanya petir. Komponen pembumian yang digunakan pada proteksi kaki menara transmisi terdiri dari penghantar pembumian dan elektroda pembumian. Nilai resistansi pembumian menara transmisi dipengaruhi oleh beberapa faktor, antara lain dipengaruhi oleh jenis elektroda

yang dipasang pada menara transmisi tersebut. Jenis elektroda yang biasa dipakai antara lain elektroda batang (rod), elektroda plat, dan elektroda pita. Akan tetapi di wilayah kerja tertentu banyak terdapat beberapa tower yang memakai besi dilapisi galvanis (bracing) sebagai elektroda.

Makin banyak elektroda yang ditanam dengan sistem ini, maka tegangan yang timbul pada permukaan tanah pada saat terjadi gangguan ke tanah akan terdistribusi merata. Karena prinsip kerja dari sistem pembumian, mengalirkan arus induksi dan efek-efek lain yang timbul ke dalam tanah. (Sumarno.2006).

Pengaplikasian pembumian saluran transmisi merupakan salah satu faktor yang penting untuk usaha pengamanan dan perlindungan dari gangguan arus lebih dan tegangan lebih. Sehingga Sistem pengamanan tersebut dapat melindungi, baik untuk peralatan, sistem, manusia, ataupun dari makhluk hidup itu sendiri. Sistem pembumian digunakan sebagai pengamanan langsung apabila terjadinya gangguan-gangguan di sepanjang jalur transmisi

Pembumian harus dibuat sesuai standar yang ada. Seiring bertambahnya usia jaringan Tegangan Tinggi 150 kV tersebut, maka diperlukan suatu pemeriksaan dan pengukuran kembali mengenai kondisi pembumian yang ada di kaki tower transmisi. Jika terjadi anomali, maka harus segera diperbaiki agar tidak terjadi gangguan.

1.2. Tinjauan Pustaka

Sistem pentanahan mulai dikenal pada tahun 1900. Sebelumnya sistem-sistem tenaga listrik tidak diketanahkan karena ukurannya masih kecil dan tidak membahayakan. Namun setelah sistem-sistem tenaga listrik berkembang semakin besar dengan tegangan yang semakin tinggi dan jarak jangkauan semakin jauh, baru diperlukan sistem pentanahan. Kalau tidak, hal ini bisa menimbulkan potensi bahaya listrik yang sangat tinggi, baik bagi

manusia, peralatan dan sistem pelayanannya sendiri.

Sistem pentanahan adalah sistem hubungan penghantar yang menghubungkan sistem, badan peralatan dan instalasi dengan bumi/tanah sehingga dapat mengamankan manusia dari sengatan listrik, dan mengamankan komponen-komponen instalasi dari bahaya tegangan/arus abnormal. Oleh karena itu, sistem pentanahan menjadi bagian esensial dari sistem tenaga listrik.

Pentanahan tidak terbatas pada sistem tenaga listrik saja, namun mencakup juga sistem peralatan elektronik, seperti telekomunikasi, komputer, dll. Secara umum, tujuan sistem pentanahan adalah menjamin keselamatan orang dari sengatan listrik baik dalam keadaan normal atau tidak dari tegangan sentuh dan tegangan langkah, menjamin kerja peralatan listrik/elektronik, mencegah kerusakan peralatan listrik/elektronik, dan menyalurkan energi serangan petir ke tanah. Sistem pentanahan yang digunakan untuk pentanahan netral dari suatu sistem tenaga listrik, pentanahan sistem penangkal petir dan pentanahan untuk suatu peralatan khususnya dibidang telekomunikasi dan elektronik perlu mendapatkan perhatian yang serius karena pada prinsipnya pentanahan tersebut merupakan dasar yang digunakan untuk suatu sistem proteksi.

Untuk mengetahui nilai-nilai hambatan jenis tanah yang akurat harus dilakukan pengukuran secara langsung pada lokasi yang digunakan untuk system pentanahan, karena struktur tanah yang sesungguhnya tidak sesederhana yang diperkirakan, untuk setiap lokasi yang berbeda mempunyai hambatan jenis tanah yang tidak sama (Hutauruk, 1991).

Makin banyak elektroda yang ditanam dengan sistem ini, maka tegangan yang timbul pada permukaan tanah pada saat terjadi gangguan ke tanah akan terdistribusi merata. Karena prinsip kerja dari sistem pembumian, mengalirkan arus induksi dan efek-efek lain yang timbul ke dalam tanah. (Sumarno.2006).

Tujuan utama dari adanya grounding sistem pentanahan ini adalah untuk menciptakan sebuah jalur yang low-impedance (tahanan rendah) terhadap permukaan bumi untuk gelombang listrik dan transient voltage. Pada sistem Penerangan listrik, circuit switching dan electrostatic discharge adalah penyebab umum dari adanya sentakan listrik atau transient voltage. Grounding sistem pentanahan yang efektif akan meminimalkan efek tersebut.

1.3. Faktor-faktor Yang Mempengaruhi Sistem Pembumian

Terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi sistem pembumian, yaitu :

- a. Tahanan elektroda pembumian itu sendiri;
- b. Tahanan kontak antara elektroda dengan tanah;
- c. Tahanan kawat/penghantar yang menghubungkan peralatan yang ditanahkan;
- d. Tahanan dari massa tanah di sekitar elektroda.

Nilai tahanan pembumian diharapkan berada di bawah 5Ω atau dibawahnya. Namun kenyataannya, hal itu sulit di dapatkan karena terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi nilai pembumian, yaitu

1.3.1. Faktor Internal

- a. Bentuk elektroda yang ditanam.
- b. Jenis bahan dan ukuran elektroda. Sebagai konsekuensi 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.
- c. Jumlah atau konfigurasi elektroda. Untuk mendapatkan tahanan pembumian yang diharapkan dan apabila tidak memenuhi standart yang ditentukan dengan satu elektroda, bisa digunakan metode parallel dengan cara menambah

lebih banyak elektroda dengan bermacam-macam konfigurasi pemancangannya di dalam tanah. Kedalaman pemancangan atau penanaman di dalam tanah. Untuk kedalaman pemancangan elektroda pembumian ini tergantung dari pada jenis dan sifat-sifat tanah.

1.3.2. Faktor Eksternal

1. Sifat Geologis Tanah

Tahanan jenis tanah (ohm-meter) merupakan nilai resistansi dari bumi yang menggambarkan nilai konduktivitas listrik bumi dan didefinisikan sebagai tahanan, Faktor keseimbangan antara tahanan pembumian dan kapasitansi di sekelilingnya adalah “Tahanan jenis tanah” yang direpresentasikan dengan ρ . Harga tahanan jenis tanah dalam kedalaman tertentu tergantung pada beberapa faktor yaitu :

- a. Jenis Tanah
- b. Lapisan Tanah
- c. Kelembaban Tanah
- d. Temperatur
- e. Kepadatan Tanah
- f. Kandungan Air

Berdasarkan Persyaratan Umum Instalasi Listrik 2000 (PUIL 2000) tahanan jenis tanah dari berbagai jenis tanah dapat dilihat pada tabel di bawah ini :

Jenis Tanah	Resistansi Jenis (Ω -m)
Tanah Rawa	30
Tanah Liat dan Ladang	100
Pasir Basah	200
Kerikil Basah	500
Pasir dan Kerikil Kering	1000
Tanah Berbatu	3000

Nilai tahanan jenis tanah di atas adalah nilai tipikal yang bisa saja berbeda di setiap daerah sehingga tidak bisa dijadikan patokan dalam perhitungan. Oleh karena itu diperlukan perhitungan untuk mendapatkan nilai tahanan jenis tanah yang lebih tepat.

Rumus untuk menghitung tahanan jenis tanah adalah sebagai berikut $\rho = \frac{2\pi LR}{(\ln \frac{8L}{d} - 1)}$

..... (2.1)

Keterangan :

R = Tahanan elektroda ke tanah (Ω)

ρ = Tahanan jenis tanah (Ω-m)

L = Panjang elektroda (m)

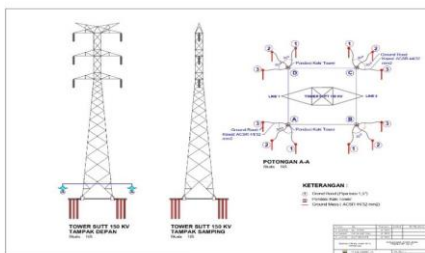
d = Diameter elektroda (m)

1.4. Pembumian Kaki Tower

Pentanahan kaki tower adalah perlengkapan pembumian sistem transmisi yang berfungsi untuk meneruskan arus listrik dari badan tower ke bumi. Nilai pentanahan kaki tower harus dibuat sekecil mungkin agar tidak menimbulkan tegangan tower yang tinggi jika terjadi sambaran petir yang dapat mengganggu sistem penyaluran (*Backflash Over*). Tujuan sistem pentanahan tower yaitu untuk meneruskan arus listrik dari kawat tanah (*ground wire*), ke badan tower lalu ke bumi akibat sambaran petir atau hubung singkat mempermudah mendeteksi dan mengisolasi gangguan-gangguan secara cepat dan tepat yang terjadi pada sistem tenaga listrik. Ada beberapa metode pentanahan pada kaki tower antara lain *Driven Ground*

1.5. Metode Driven Ground

Pembumian dengan metode *Driven Ground* adalah pembumian yang dilakukan dengan cara menancapkan batang elektroda ke tanah (PLN, 1997). Pembumian ini adalah pembumian yang paling sederhana dan paling sering digunakan. Metode ini paling sering digunakan di wilayah kerja ULTG Surakarta. Desain metode *driven ground* dapat dilihat pada gambar 2.20

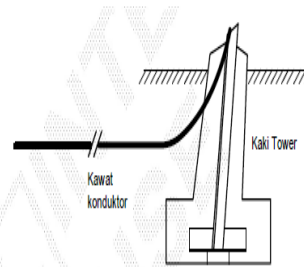


Gambar 2. 20 Metode *Driven Ground*

Sumber : PT. PLN (Persero) ULTG Surakarta

1.6. Metode Counterpoise

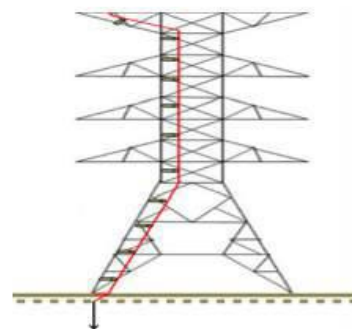
Pembumian dengan metode *counterpoise* adalah pembumian yang dilakukan dengan cara menanam kawat elektroda sejajar atau radial beberapa cm di bawah tanah (30 – 90 cm). (PLN, 1997). Metode ini jarang digunakan di wilayah kerja ULTG Surakarta. Desain *counterpoise* dapat dilihat pada gambar 2.21.



Gambar 2. 21 Metode *Counterpoise*
Sumber : Pembumian pada Gardu Induk dan Transmisi, 2020

1.7. Metode Direct Grounding

Metode pembumian langsung dari kawat tanah penangkal petir (*Ground Steel Wire*) yang berada di atas kawat fasa pada jaringan transmisi. Metode pembumian *direct grounding* ini tidak lagi mengalirkan arus listrik akibat sambaran petir melalui *body* dari tower transmisi atau dengan kata lain langsung ke tanah. Desain metode *direct grounding* dapat dilihat pada gambar 2.22.



Gambar 2. 22 Metode *Direct Grounding*
Sumber : AR, Ashar. Sofyan. M. Ulil Abshar. 2020

1.8. Metode Penggantian Media Tanah dengan Cocopeat

Cocopeat merupakan salah satu media dari tumbuhan yang dihasilkan dari proses penghancuran sabut kelapa, proses penghancuran sabut dihasilkan serat atau fiber, serta serbuk halus atau *cocopeat* (Irawan dan Hidayah, 2014). Kelebihan *cocopeat* sebagai media tanam dikarenakan karakteristiknya yang mampu mengikat dan menyimpan air dengan kuat, serta mengandung unsur-unsur hara esensial, seperti kalsium (Ca), magnesium (Mg), kalium (K), natrium (N), dan fosfor (P) (Muliawan, 2009). Dengan memanfaatkan sifat dari *cocopeat*, dapat digunakan sebagai media pembumian kaki tower karena dapat menahan air tanah lebih lama. Gambar *cocopeat* dapat dilihat pada gambar 2.24.



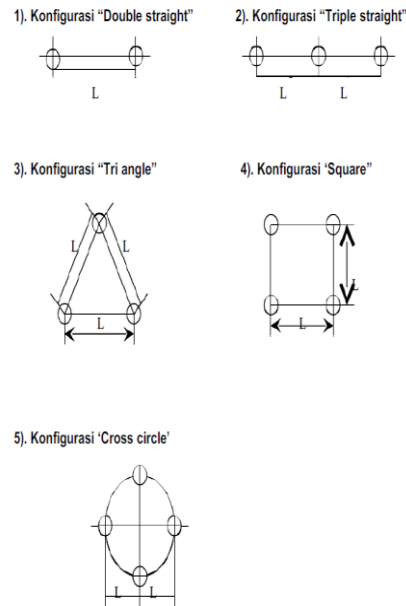
Gambar 2. 24 *Cocopeat*

Sumber : PT. PLN (Persero) ULTG Surakarta

1.9. Pembumian n parallel – elektroda batang

Untuk memperkecil tahanan pembumian dapat dilakukan dengan cara memperbanyak elektroda yang ditanam dalam tanah dan dihubungkannya secara parallel. Menurut persamaan (2), tahanan kaki menara akan berkurang dengan menambah panjang batang elektroda. Tetapi hubungan ini tidak langsung dan akan mencapai satu titik dimana penambahan panjang batang elektroda hanya akan mengurangi tahanan kaki tower sedikit. Dalam hal ini parallel elektroda digunakan. sehingga perlu diadakan

penanaman elektroda dengan beberapa konfigurasi pemasangan elektroda batang lebih dari satu batang. Maksud dari menghubungkan dua buah atau lebih batang elektroda dengan menggunakan konfigurasi ini adalah untuk memperkecil tahanan pembumiannya. Konfigurasi parallel elektroda batang dapat dilihat pada gambar 2.25.



Gambar 2. 6. Konfigurasi Paralel Elektroda Batang

Sumber : ANONIM. 2011

2. Metode Penelitian

Tahapan dalam penelitian ini meliputi :

2.1. Persiapan alat dan material yang diperlukan:

Alat kerja dan material dibutuhkan untuk menunjang pekerjaan perbaikan pembumian kaki tower, Adapun material yang dibutuhkan dapat diperlihatkan pada tabel 2.1 sedangkan alat kerja yang dibutuhkan diperlihatkan pada gambar 3.2. Tabel 2.1. Material Untuk Perbaikan Metode *Driven Ground*

No	Bahan	Jumlah	Satuan
1	Besi Galvanis 2m	1	Buah
2	Kawat GSW	2	Meter
3	Skun Grounding	2	Buah
4	Plat Besi Panjang	1	Buah
5	WD 40	1	Buah
6	Baut 19	3	Buah

Tabel 2.2 Alat Kerja untuk Metode Pembumian *Driven Ground*

No	Peralatan	Jumlah	Satuan
1	Kunci 19, 22, dan 24	2	Set
2	Skun press	1	Buah
3	Gerinda	1	Buah
4	Cangkul	1	Buah
5	Linggis	1	Buah
6	Palu	1	Buah
7	Sikat baja	1	Buah
8	Earth Tester	1	Buah

2.2 Penggalian Tanah

Penggalian tanah dilakukan dengan menggunakan cangkul ataupun linggis dengan kedalaman sekitar 80cm, tanah yang dipilih untuk menanamkan besi yang digunakan sebagai elektroda pembumian dipilih disekitar kaki tower yang akan diperbaiki nilai pentanahannya, dan struktur tanah yang lunak untuk dilakukan penggalian karena kemungkinan besar tanah tersebut merupakan jenis tanah yang dapat menyimpan air.

2.3 Penanaman Elektroda

Elektroda *bracing* ditanamkan di tanah yang sudah digali, penanaman *bracing* dilakukan dengan cara dipukul menggunakan palu besar hingga kedalaman 1,5 – 2 meter. Setelah *bracing* tertanam dikedalaman yang cukup, tanah disekitar *bracing* yang ditanam diberi tambahan air agar tanah menyerap air tersebut dengan tujuan meningkatkan konduktivitas.

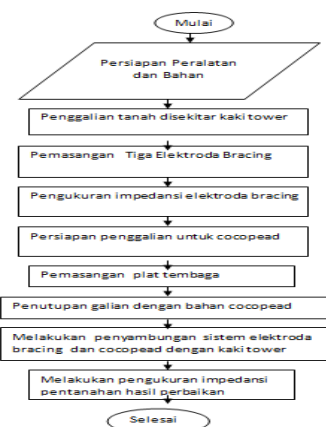
2.4 Pemasangan Sambungan

Sambungan yang digunakan adalah kawat GSW dengan panjang 2 meter, kawat disambungkan dengan besi yang sudah

ditanam dengan menggunakan baut 19 dan kunci 19, setelah kawat GSW disambung dengan *bracing* yang ditanam dilakukan pengujian dengan menggunakan earth tester untuk melihat hasil pentanahan individu besi tersebut, setelah hasil pengukuran didapatkan cukup baik maka sambungan kawat GSW tersebut disambung dengan kawat pentanahan lama, sebelum dilakukan pengujian kawat GSW dilakukan pembersihan dengan menggunakan sikat baja lalu diukur kembali untuk melihat hasil dari pengukuran gabungan dari elektroda individu baru dan lama. Setelah mendapatkan hasil pengukuran yang bagus, kawat GSW disambungkan

2.5 Penggantian media tanah dengan *Cocopeat*

Pada metode ini, dilakukan penggantian media tanah pembumian menggunakan *cocopeat*. Alasan dilakukan penggantian media tanah menggunakan *cocopeat* adalah jika tanah di lokasi tower tersebut merupakan tanah berbatu yang kemungkinan besar memiliki tahanan jenis tanah yang tinggi. Sehingga dilakukan penggantian media tanah dengan harapan media yang baru tersebut dapat mengikat air lebih lama. Adapun diagram flowchart untuk perbaikan sistem pentanahan diperlihatkan pada tower diperlihatkan pada gambar 2.5



Gambar 2.5. Flowchart Perbaikan Impedansi Pembumian sistem Driven Ground dengan Penambahan batang elektroda dan cocopead

3. Hasil Penelitian

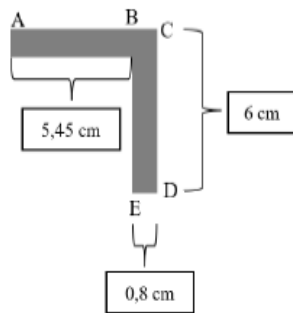
3.1. Pemasangan Batang elektroda Metode Driven Ground

Elektroda yang digunakan untuk perbaikan impedansi pentanahan adalah sebagai berikut sebatang besi galvanis atau besi siku bracing seperti diperlihatkan pada gambar 4.1 dengan :

Panjang = 200 cm = 2m

Tebal (Sisi DE) = 0,8 cm = 0,008 m

Lebar Siku (Sisi AC = Sisi CD) = 6 cm = 0,06 m



Gambar 3.1 Penampang siku Bracing



Gambar 3.2 Besi siku Branching

3.1.1. Menghitung penampang permukaan besi siku bracing.

Luas permukaan dari *bracing* adalah jumlah dari seluruh luas permukaan masing-masing sisi. adalah sebagai berikut :

$$A_1 = (6 \times 0,8) = 4,8 \text{ cm}^2$$

$$A_2 = (5,54 \times 0,8) = 4,432 \text{ cm}^2$$

$$A = (A_1 + A_2) = 4,8 \text{ cm}^2 + 4,432 \text{ cm}^2 = 9,232 \text{ cm}^2$$

Luasan besi siku Bracing di konversi ke penampang bulat

$$\text{Luas lingkaran } A = \pi r^2$$

$$\text{Diameter lingkaran } d = 2 \sqrt{\frac{A}{\pi}} = 2 \sqrt{\frac{9,232}{3,14}} = 2 \times 1,715 = 3,43 \text{ cm}$$

Sehingga didapat nilai konversi dari penampang siku bracing ke bentuk lingkaran, dengan r sebesar **1,715 cm** dan diameter **d = 3,43 cm**



Gambar 4.1.1 Pemasangan Elektrode siku bracing

3.2. Medapatkan besar tahanan jenis tanah

Tahanan jenis tanah (ρ) dapat dicari menggunakan persamaan (2.1). Untuk mengetahui besarnya tahanan jenis tanah, digunakan sebuah pipa pejal dengan panjang 50 cm dan diameter 1 cm sebagai elektroda. Kemudian mengukur tahanan dari pipa pejal tersebut menggunakan alat *earth tester* diperoleh sebesar 20Ω , sehingga nilai ρ dapat dihitung dengan persamaan..

Dimana :

$$L = 0,5 \text{ m}$$

$$d = 0,01 \text{ m}$$

$$R = 20 \Omega$$

$$\rho = \frac{2\pi LR}{\left(\ln \frac{4L}{d} - 1\right)}$$

$$\rho = \frac{6,28(0,5)(20)}{\left(\ln \frac{4(0,5)}{0,01} - 1\right)}$$

$$\rho = \frac{62,8}{(5,3 - 1)}$$

$$\rho = \frac{62,8}{(4,3)}$$

3.3. Nilai Impedansi pembumian dengan satu buah elektroda

Impedansi dari satu buah elektroda (R) dapat dicari dengan menggunakan rumus (2.2).

Dimana :

$$L = 2 \text{ m}$$

$$\rho = 14,6 \text{ } \Omega\text{-m}$$

$$d = 0,0343 \text{ m}$$

$$R = \frac{\rho}{2\pi L} (\ln \frac{4L}{d} - 1) \Omega$$

$$R = \frac{14,6}{6,28 \cdot (2)} (Ln \frac{4 \cdot (2)}{0,0343} - 1) \Omega$$

$$R = 1,4 \times (\ln(233) - 1) \Omega$$

$$R = 5,26 \text{ } \Omega \sim 5,3 \text{ } \Omega$$

Dari hasil perhitungan di atas, diketahui bahwa satu buah *branching* memiliki tahanan sebesar **R = 5,3 Ω**. jika satu batang elektroda tersebut diparalel dengan elektroda utama Dimana R1 merupakan elektroda yang mengalami kerusakan yang memiliki tahanan sebesar 12,62 Ω, sedangkan R2 merupakan elektroda batang tunggal yang baru yang memiliki tahanan sebesar 5,3 Ω. jika keduanya dihubung paralel maka impedansi totalnya sebesar :

$$\frac{1}{R_T} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$$

$$\frac{1}{R_T} = \frac{1}{12,62} + \frac{1}{5,3}$$

$$\frac{1}{R_t} = \frac{5,3+12,62}{66,9}$$

$$R_t = 3,73 \text{ } \Omega$$

Dari perhitungan di atas, diketahui bahwa dengan satu buah *branching* sebagai elektroda, sudah cukup untuk menurunkan nilai pembumian kaki tower yang mengalami kerusakan.

3.4. Mengukur Impedansi pada 3 elektroda yang diparalel

Untuk memperbaiki impedansi pada sistem pembumian antara lain dapat dilakukan dengan membuat konfigurasi sistem pembumian dengan membuat paralel 3 elektroda dengan konfigurasi *Triple Straight* . pertama mencari faktor pengali (K) dari elektroda batang tunggal sebelumnya.

$$K = \frac{L}{r}$$

$$K = \frac{2}{0,0401}$$

$$K = 49,875$$

Selanjutnya dicari faktor pengali konfigurasi *triple straight* , sesuai dengan tabel 2.3. untuk menghitung faktor pengali konfigurasi *triple straight*, diperlukan variabel variabel antara lain x,y,m,dan n.

$$x = \frac{1+L}{L}$$

$$x = \frac{1+2}{2} = 1,5$$

$$y = \frac{2}{1+2L}$$

$$y = \frac{L}{1+2 \cdot (2)} = 2,5$$

$$m = \frac{Ln x}{Ln \frac{L}{r}}$$

$$m = \frac{Ln 1,5}{Ln \frac{2}{0,0401}}$$

$$m = \frac{0,406}{3,910} = 0,104$$

$$n = \frac{Ln y}{Ln \frac{L}{r}}$$

$$n = \frac{Ln 2,5}{Ln \frac{2}{0,401}}$$

$$n = \frac{0,916}{3,910} = 0,234$$

Setelah variabel x,y,m,dan n dapat ditentukan selanjutnya menghitung faktor pengali konfigurasi *triple straight* dapat diketahui dengan rumus (2.5).

$$\frac{1 - 2m^2 + n}{3 - 4m + n}$$

$$\frac{1-2(0,104)m^2+0,234}{3-4(0,104)+0,234}$$

$$\frac{1-0,022+0,234}{3-0,416+0,234}$$

$$\frac{1,212}{2,818} = 0,43$$

adi faktor pengali konfigurasi *triple straight* adalah **0,43**. Selanjutnya untuk menghitung nilai impedansi gabungan (R), digunakan persamaan 2.3.

$$R = \frac{\rho \times K}{2\pi L} \times \text{Faktor pengali konfigurasi}$$

$$R = \frac{17,4 \times 3}{6,28(2)} \times 0,43$$

$$R = 4,156 \times 0,43 = 1,787 \Omega \sim 1,8 \Omega$$

Impedansi dari sistem pembumian dengan konfigurasi *triple straight* diperoleh sebesar **R= 1,8 Ω**.

Menghitung nilai impedansi pembumian perbaikan impedansi kaki tower dengan menghubungkan antara elektroda pentanahan yang sudah terpasangn dengan konfigurasi *triple straight*.

$$\frac{1}{R_t} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} ; \frac{1}{R_t} = \frac{1}{12,62} + \frac{1}{1,8}$$

$$\frac{1}{R_t} = \frac{17,925}{22,716}$$

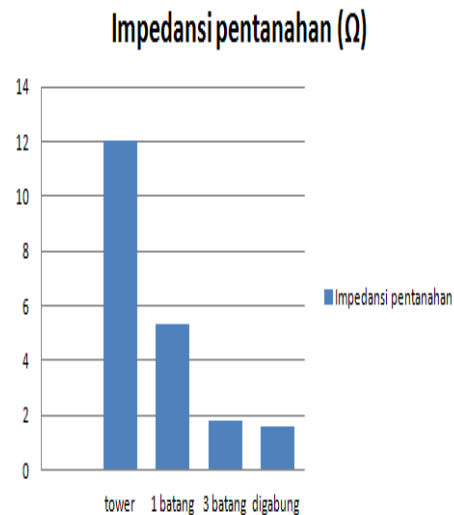
$$R_t = 1,57 \Omega$$

Impedansi sistem pembumian kaki tower setelah dilakukan perbaikan yaitu dengan menghubungkan elektroda yang sudah terpasang dengan sisten Konfigurasi triple straight setelah dilakukan penggabungan menjadi sebesar **1,57 Ω**

Tabel 4. 4 Impedansi Pentanahan hasil Perhitungan dan Pengukura Metode *Driven Ground*

No	Konfigurasi elektroda	Tahanan jenis tanah Ω-m	Impedansi pentanahan (R)	
			Perhitungan Ω	Pengukuran Ω
1	Pentanahan tower	20	12	12
2	Satu batang Bracing	20	5,3	
3	Tiga batang bracing paralel	20	1,8	
4	Tiga batang bracing paralel dihubung dengan pentanahan tower	20	1,57	

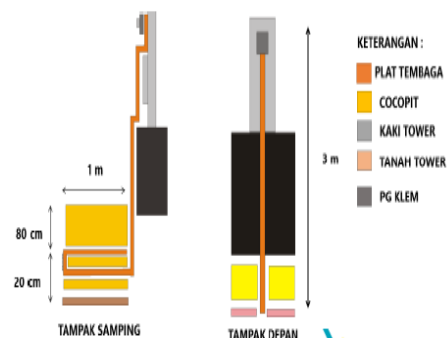
Terdapat perbedaan antara perhitungan teori dengan data aktual. Hal ini terjadi karena, tidak diketahuinya secara tepat besar tahanan jenis tanah yang digunakan, hanya dapat memperkirakan melalui perhitungan teori. Karena tahanan jenis tanah adalah salah satu faktor yang mempengaruhi besarnya pembumian. Secara grafik dapat diperlihatkan pada gambar 4.2



Gambar 3.3 nilai impedansi pentanahan driven ground dengan elektroda besi brancing

3.5. Persiapan penggunaan cocopeat

Persiapan yang dilakukan untuk penggunaan bahan cocopeat adalah dengan membuat lubang disekitar kaki tower dengan ukuran 1m x1m dengan kedalaman 1m, selanjutnya lubang tersebut diisi dengan bahan *cocopeat* sampai penuh yang sudah dipersiapkan sampai parit tersebut terisi penuh. Desain pembumian dapat dilihat pada gambar 4.3.





Gambar 3.4. foto tempat penambahan cocopeat

3.5.1. Mencari tahanan jenis tanah setelah ditambahkan cocopeat (ρ_c)

Setelah ditambahkan pada media tanah disekitar tower dengan cocopeat, langkah selanjutnya adalah melakukan pengukuran (ρ_c) tahanan jenis tanah cocopeat dilakukan lagi dengan meletakkan elektroda di dalam bahan cocopeat besar tahanan dari elektroda tersebut sebesar 16,6 Ω . (hasil pengukuran) Kemudian dapat dicari besarnya tahanan jenis tanah setelah ditambah cocopeat menggunakan rumus (2.1)

Dimana :

$$L = 0,5 \text{ m}$$

$$R = 16,6 \Omega$$

$$d = 0,01 \text{ m}$$

$$\rho = \frac{2\pi LR}{\left(\ln \frac{4L}{d} - 1\right)}$$

$$\rho = \frac{6,28(0,5)16,6}{\left(\ln \frac{4(0,5)}{0,01} - 1\right)} ; \rho = \frac{52,124}{\ln(200) - 1} ; \rho = \frac{52,124}{5,298 - 1}$$

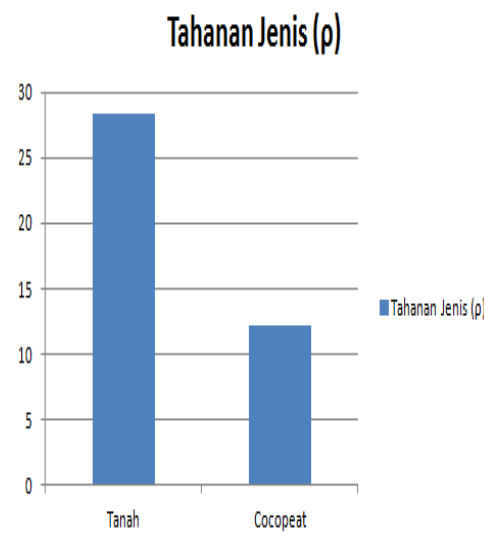
$$\rho_c = 12,13 \Omega\text{-m}$$

Dari perhitungan di atas, diketahui besarnya tahanan jenis setelah ditambahkan cocopeat adalah 12,13 $\Omega\text{-m}$. Perbandingan tahanan jenis tanah sebelum dan sesudah ditambahkan cocopeat dapat dilihat pada tabel 4.8.

Tabel 4. 8 Perbandingan Tahanan Jenis Tanah Sebelum dan Sesudah Penambahan Cocopeat

No	Media	Tahanan jenis (ρ)
1	Tanah	28,368 $\Omega\text{-m}$
2	cocopeat	12,13 $\Omega\text{-m}$

Dengan mengganti media tanah di sekitar tower dengan cocopead maka tahanan jenis tanah akan berkurang secara signifikan karena sifat cocopead yang dapat menyimpan/ menahan lebih lama air tanah adapun besarnya nilai tahanan jenis antara tanah disekitar tower sebelum dan setelah diganti dengan cocopead dapat dilihat pada gambar grafik 4.2.



4. Kesimpulan

4.1. Setelah dilakukan penelitian dan pengukuran maka dapat disimpulkan:

1. Penggunaan *bracing* sebagai elektroda pentanahan terbukti efektif karena dapat menghasilkan nilai Impedansi pentanahan tower transmisi lebih kecil.
2. Pada metode penggantian media tanah dengan cocopeat, dapat memperkecil

tahanan jenis (ρ) tanah yang semula 28 Ω m menjadi 12 Ω m.

3. Perbaikan impedansi dari hasil Penggabungan braching dan cocopead dari semula 12 Ω menjadi 1,7 Ω .

DAFTAR PUSTAKA

- ANONIM, Sistem Pembumian (Pentanahan), Makalah Klinik Listrik-V Kopesera Engineering, PT-PLN (Persero), Area Pelayanan Jaringan Malang, 16 Maret (2011) 1-32
- Badan Standarisasi Nasional (BSN). *Persyaratan Umum Instalasi Listrik 2000 (PUIL 2000)*
- D. E. Putra *et al.* (2018), “*STUDI SISTEM PEMBUMIAN SALURAN UDARA TEGANGAN TINGGI(SUTT) PENGHANTAR 150 KV LUBUK LINGGAU PEKALONGAN PT. PLN (PERSERO) UNIT PEMBANGKIT DAN TRAMSISI (UPT)BENGKULU*” 3(1), 220–227.
- Kurniawan, H. & Johar, W. L. (2018). “*Studi Pentanahan Kaki Menara Transmisi 500 kV Sumatera Turun Peranap New Aurduri*”. *Journal Of Electrial Power Control and Automation*. 1(2). 45-53.
- PT PLN (Persero), “Buku Pedoman Pemeliharaan Transmisi Kepdir 0520 1.K.Dir.2014,” vol. 1, 145, 2014.
- Ramadhan, D., Riniarti, M. and Santoso, T., 2018. Pemanfaatan Cocopeat sebagai Media Tumbuh Sengon Laut (*Paraserianthes falcataria*) dan Merbau Darat (*Intsia palembanica*). *Sylva Lestari*, 6(2), pp.22-31.
- Saragih, Nia Mawardina (2009). *Analisa Perbaikan Pentanahan Lightning Arrester di Jaringan dan Transformator Distribusi 20 kV di PT. PLN (Persero) UP3 Lubuk Pakam*. Skripsi. Medan. Politeknik Negeri Medan.
- SPLN_T5_004_2010 Kriteria Desain Tower Rangka Baja untuk SUTT & SUTET.
- SPLN_T5_012_2020 Pembumian pada Gardu Induk dan Transmisi