

# Studi Pengukuran Tahanan Pentanahan Menara Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT) 150 KV Sidikalang-Salak Dengan Menggunakan Sistem Counterpoise

Ahmad Faisal, Muhammad Amril, Jhoni Hidayat, Ulfa Hasnita

Akademi Teknik dan Keselamatan Penerbangan Medan

[ahmadfaisallubis.st.mt85@gmail.com](mailto:ahmadfaisallubis.st.mt85@gmail.com)

## Abstrak

PT. PLN (Persero) UPK JAR SUM 1 Sumatera Utara pada pemeliharaan dan perbaikan saluran udara tegangan tinggi (SUTT) 150 kV wilayah Sidikalang-Salak sering kali ditemukan terjadinya gangguan listrik yang disebabkan oleh arus lebih atau tegangan lebih. Untuk mengatasi hal itu dibuatlah jalur pentanahan yang membuat arus gangguan dapat cepat dialirkan ke dalam tanah dan disebarkan ke segala arah. Nilai maksimum tahanan pentanahan yang diperbolehkan oleh PT PLN (Persero) jalur transmisi SUTT 150 kV sebesar 15  $\Omega$ . Jalur transmisi Sidikalang-Salak mempunyai menara sebanyak 174 dengan jenis elektroda batang atau disebut grounding rod. Jumlah elektroda yang ditanam ke dalam tanah sebanyak 4 elektroda terpasang secara paralel. Dari pengukuran gabungan 4 elektroda batang yang ditanam sedalam 4 meter mempunyai nilai tahanan sebesar 2  $\Omega$ . Nilai ini dapat diperkecil dengan pembuktian yaitu analisis perhitungan tahanan pentanahan dengan mengganti elektroda batang sedalam 4 meter yang didapat nilai tahanan pentanahan sebesar 1,56  $\Omega$  atau memakai elektroda batang dengan kedalaman 5 meter yang di dapat nilai tahanan pentanahan sebesar 1,29  $\Omega$ . Untuk daerah-daerah yang tahanan jenis tanahnya tinggi, batang pentanahan tidak praktis digunakan. Bilamana digunakan sistem counterpoise, tahanan kaki menara secara teoritis dapat dihitung dengan rumus yang ada.

**Kata Kunci :** Pentanahan, Resistansi, Gangguan, SUTT, Counterpoise

## I. PENDAHULUAN

Sistem pentanahan merupakan salah satu faktor penting dalam usaha pengamanan dan perlindungan sistem tenaga listrik saat terjadi gangguan yang disebabkan oleh arus lebih dan tegangan lebih. Pada saat terjadi gangguan disistem tenaga listrik, adanya sistem pentanahan menyebabkan arus gangguan dapat cepat dialirkan ke dalam tanah dan disebarkan ke segala arah. Arus gangguan ini menimbulkan gradient tegangan antara peralatan dengan peralatan, peralatan dengan tanah, serta pada permukaan tanah itu sendiri. Besarnya gradient tegangan pada permukaan tanah itu tergantung pada resistansi jenis tanah. Salah satu usaha untuk memperkecil gradient tegangan permukaan tanah yaitu dengan suatu elektroda pembedaan yang ditanam ke dalam tanah. "Research on Reducing Grounding Resistance of Transmission Line Menara Grounding Grid", dengan menggunakan teknologi ini, penerapan pada saluran jaringan transmisi memiliki perbandingan hasil tes yang memverifikasi bahwa akibat sambaran petir dapat di kurangi dengan menggunakan kombinasi dan metode pentanahan dalam lingkungan kondisi tanah yang kompleks. Adapun untuk daerah-daerah yang mempunyai tanah yang keras dan berbatu-batu atau daerah tahanan jenis tanahnya tinggi.

Pengaplikasian pentanahan saluran transmisi merupakan salah satu faktor yang penting untuk usaha pengamanan dan perlindungan dari gangguan arus lebih dan tegangan lebih. Sistem pengamanan tersebut dapat melindungi, baik untuk peralatan, sistem, manusia, ataupun dari makhluk hidup itu

sendiri. Sistem pentanahan digunakan sebagai pengamanan langsung apabila terjadinya gangguan-gangguan di sepanjang jalur transmisi. Aturan penempatan elektroda untuk pengukuran resistansi tanah pada sistem pentanahan secara vertikal pada kondisi tanah berlapis dapat dianalisis dengan menggunakan metode numerik, (Zeng, 2004)

Sistem pentanahan ini merupakan salah satu sistem pengaman terhadap gangguan hubung singkat ke tanah seperti gangguan satu fase ke tanah, gangguan dua fase ke tanah, atau tiga fase ke tanah. Pada gangguan hubung singkat menyebabkan mengalirnya arus yang cukup besar yang dapat membahayakan manusia di sekitarnya dan peralatan-peralatan yang terpasang. Adanya sistem pentanahan menyebabkan arus gangguan dapat cepat di alirkan ke dalam tanah. Untuk itu diperlukan nilai pentanahan sekecil mungkin agar arus gangguan mengalir ke tanah bukan ke peralatan.

Besar kecilnya nilai pentanahan sangat dipengaruhi oleh komposisi jenis tanah di sekitar menara dan penghantar elektroda yang terpasang di menara saluran udara tegangan tinggi (SUTT), jenis tanah ini terdapat bermacam-macam komposisi ada yang memiliki kadar air yang besar, kelembaban tanah yang berbeda-beda, dan jenis tanah yang berbeda.

Jenis tanah pada dasarnya terdiri atas tanah rawa, tanah liat, tanah ladang, tanah pasir basah, tanah krikil basah, tanah pasir/krikil, dan tanah berbatu. Hal ini mempengaruhi nilai resistansi pentanahan dan kecepatan hantaran listriknya. Ada beberapa metode pengukuran resistansi tanah, yaitu

dengan menggunakan metode pengukuran resistansi tanah dengan menggunakan kawat tembaga pendek yang diterapkan untuk menguji resistansi dasar, dari beberapa simulasi yang mempertimbangkan konduktor pentanahan secara simultan. (lie, 2008).

Permasalahan yang lain yang sering timbul adalah kendornya baut pada kawat tanah dan korosi dipenghantar elektroda yang menyebabkan jalur pentanahan akan memiliki resistansi yang tinggi yang dapat membuat aliran gangguan tidak dapat mengalir secara sempurna ke tanah. Maka dari itu diperlukannya pengukuran tahanan pentanahan secara terjadwal untuk mengetahui nilai tahanan tanah pada suatu menara tidak melebihi dari nilai tahanan pentanahan menara yang telah ditentukan oleh PLN. Stabilitas dan keamanan gardu 150-kV sangat penting untuk operasi yang aman dari sistem tenaga, yang dimana memiliki karakteristik landasan pentanahan yang berbeda dari pada kondisi frekuensi daya ketika terkena sambaran petir, (Tian, 2011). Berdasarkan hal tersebut penulis mencoba untuk melakukan penelitian yang berjudul “ Studi Pengukuran Tahanan Pentanahan Menara Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT) 150 kV Sidikalang-Salak Dengan Menggunakan Sistem Counterpoise”.

## II. METODE PENELITIAN

### 2.1 Rancangan Penelitian

Penelitian ini dengan judul “Studi Pengukuran Tahanan Pentanahan Menara Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT) 150 kV Sidikalang-Salak”. Penelitian ini dilakukan di PT PLN(Persero) UPK JAR SUM 1. Dengan tahapan dari proses studi literatur, pengumpulan data, analisis data, dan kesimpulan.

### 2.2. Peralatan Utama dan Pendukung

Peralatan yang digunakan untuk penelitian dan pengerjaan laporan penelitian antara lain :

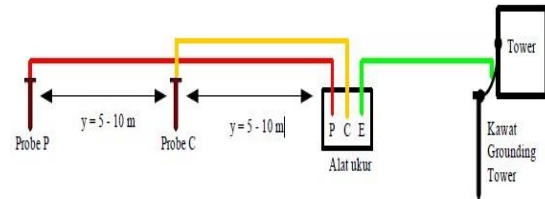
1. Laptop.
2. Alat ukur digital *earth tester* model 4105A yang dipergunakan untuk pengukuran tahanan pentanahan menara Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT) 150 kV Sidikalang-Salak.
3. Perlengkapan Keselamatan Kesehatan Kerja (K3).
4. Alat tulis.

### 2.3. Gambaran Kerja Sistem

Penelitian ini mengambil data dari PT PLN (Persero) UPK JAR SUM 1 berupa data hasil pengukuran tahanan pentanahan menara saluran udara tegangan extra tinggi (SUTT) 150 kV Sidikalang-Salak tahun 2015 dengan jumlah data 174 menara.

Gambar 1 menunjukkan tata cara pengujian tahanan pentanahan menara yang dipakai oleh PT PLN (Persero), pengujian tersebut sudah diatur didalam keputusan direksi 520 buku pedoman

pemeliharaan PT PLN (Persero) dan syarat utama sebuah *grounding* itu baik adalah tahanan *grounding* itu sama dengan  $0 \Omega$ . Tahanan tersebut adalah tahanan *grounding* ideal meski dalam kenyataannya nilai *grounding* tidak  $0 \Omega$ , maka dari itu nilai *grounding* mempunyai batasan yang telah ditentukan oleh PT PLN (persero) yaitu sebesar maksimal  $15 \Omega$  untuk menara SUTT 150 kV. Menara Sidikalang-Salak memakai jenis elektroda batang atau dapat disebut juga *grounding rod*, banyaknya elektroda batang yang ditanam di menara tergantung dari besarnya tahanan tanah di sekitar menara tersebut.



**Gambar 1. Pengujian Resistansi Pentanahan Menara SUTT 150 kV**

Gambar 2 menunjukkan alat pengukuran tahanan pentanahan menara ini memakai alat yang dinamakan *Earth Tester* dengan nama alat Kyoritsu, digital *earth tester* model 4105A. Perancangan alat ukur tahanan tanah digital ini menggunakan tiga batang elektroda yang di tanamkan yaitu elektroda E (earth), elektroda P (potensial), dan elektroda C (current) tujuan penggunaan tiga batang elektroda ini yaitu untuk mengetahui sejauh mana tahanan dapat mengalirkan arus listrik. Alat ukur ini juga mempunyai intruksi penggunaannya yaitu dari pengecekan baterai, pemasangan jarak antara elektroda E, P, dan C yaitu 5 sampai 10 meter dengan sudut  $180^\circ$  dan pengukuran tegangan bumi atau dapat di sebut *earth voltage* tidak boleh melebihi 10 volt, jika tegangan bumi melebihi 10 volt hal ini dapat mengakibatkan kesalahan yang berlebih dalam pengukuran resistansi pentanahan. Akurasi dari alat ini  $\pm 2 \%$  dari pengukuran.

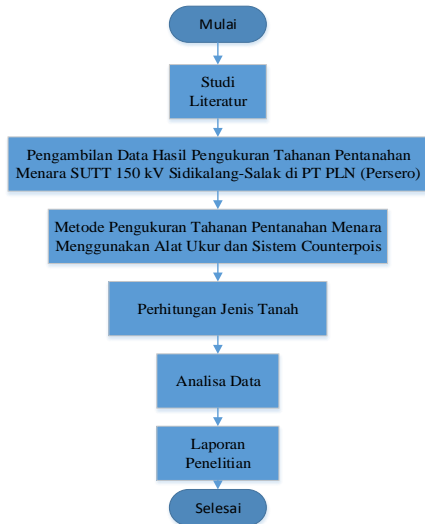


**Gambar 2. Alat Ukur Earth Tester**

Persiapan kerja dari sistem ini yaitu membawa alat ukur *earth tester*. Pengukuran akan dilakukan di menara SUTT 150 kV Sidikalang-Salak berjumlah 174 menara, dengan setiap menara

mempunyai 4 batang elektroda yang dipasang secara paralel di dalam tanah dan dihubungkan dengan kawat *grounding* dari menara nantinya kawat *grounding* ini yang akan di ukur oleh alat ukur *earth tester*. Proses pertama yang dilakukan dalam pengukuran adalah pemeriksaan peralatan yaitu pemeriksaan baterai alat sebelum digunakan, setelah itu hubungkan kabel warna hijau yaitu elektroda E (earth) dari alat ukur ke kawat *grounding*. Kedua, hubungkan kabel warna kuning yaitu elektroda C (current) dari alat ukur ke probe C dimana probe C ini yaitu elektroda bantu. Ketiga, hubungkan kabel warna merah yaitu elektroda P (potensial) dari alat ukur ke probe P dimana probe P ini yaitu elektroda bantu. Setelah semua probe telah terpasang dengan baik maka selanjutnya mengukur *earth voltage* tidak melebihi 10 volt, dan mengatur switch ke 20 Ω, 200 Ω, atau 2000 Ω tergantung kebutuhan dan tekan tombol press to test pada alat ukur dan catat hasilnya.

**2.4.Flowchart Penelitian**



**Gambar 3. Flowchart Penelitian**

**III. HASIL DAN PEMBAHASAN**

Pengukuran tahanan pentanahan ini memakai alat ukur *earth tester* digital dengan nama kyoritsu model 4105A skala ukur yang dipakai sebesar 20 Ω. Pengukuran tahanan pentanahan menara 150 kV Sidikalang-Salak berjumlah 174 menara memakai jenis elektroda batang atau dapat disebut *grounding rod* sebanyak 4 elektroda yang ditanam secara paralel. Proses pengukuran dilakukan beberapa cara yaitu dengan cara pengukuran gabungan, pengukuran kaki a-b, dan pengukuran kaki c-d pada menara 150 kV Sidikalang-Salak, tetapi dalam analisis ini data pengukuran yang dipakai hanya pengukuran tahanan pentanahan secara gabungan yaitu 4 elektroda batang yang di tanam secara paralel sebab dalam pengukuran tahanan pentanahan secara gabungan pengukuran dilakukan dengan memakai 4 elektroda yang

dipasang secara paralel, jadi dalam perhitungan nilai tahanan total pengukuran menara yaitu pembagian antara 4 elektroda atau dapat di tuliskan dengan rumus R paralel seperti pada Persamaan 1.

$$\frac{1}{R_p} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4} \dots \dots \dots \frac{1}{R_n} \Omega \dots \dots \dots (1)$$

Diameter elektroda batang yang di pakai di menara sebesar 0,015 meter yang di ambil dari standar PUIL 2000 dan panjang elektroda yang tertanam dari 40 menara SUTT 150 kV Sidikalang-Salak sebesar 4 meter.

**3.1. Analisis tahanan jenis tanah**

Perhitungan nilai tahanan tanah dapat digunakan Persamaan 2 dan didasarkan pada asumsi bahwa tahanan tanah seragam pada seluruh volume tanah hal ini sangat jarang terjadi karena berbedanya jenis tanah di sekitar pentanahan, maka dari itu persamaan yang dapat digunakan untuk pasak tunggal dikembagkan oleh profesor H.B. Dwight adalah Persamaan 3.

$$R = \rho L/A \dots \dots \dots (2)$$

$$R = \frac{\rho}{2\pi L} \left( \ln \frac{4L}{a} - 1 \right) \text{ atau } \rho = \frac{2\pi LR}{\left( \ln \frac{4L}{a} - 1 \right)} \dots \dots \dots (3)$$

Keterangan :

- R = Tahanan elektroda ke tanah (Ω)
- ρ = Tahanan jenis tanah (Ω-m)
- L = Panjang elektroda ke tanah (m)
- a = Jari-jari penampang elektroda (m)

Untuk menghitung tahanan jenis tanah (ρ) data yang diperlukan adalah data hasil pengukuran tahanan pentanahan menara gabungan sebanyak 174 menara SUTT 150 kV Sidikalang-Salak yang didapat dari PT PLN (Persero) UPK JAR SUM 1 sebagai berikut:

1. (D) diameter elektroda batang sebesar 0,015 meter/(a) jari-jari elektroda batang sebesar 0,0075 meter
2. Data hasil pengukuran tahanan pentanahan (R) SUTT 150 kV Sidikalang-Salak 174 menara tahun 2015 dapat dilihat dalam tabel 1.
3. Panjang elektroda ke tanah (L) sepanjang 4 meter.

Dibawah ini perhitungan tahanan jenis tanah (ρ) dicontohkan menara nomer TW16 dan selanjutnya hasil perhitunghan dapat di lihat dari tabel 1 :

$$\rho = \frac{2\pi LR}{\left( \ln \frac{4L}{a} - 1 \right)} = \frac{2 \times 3,14 \times 3 \times 13,25}{\left( \ln \frac{4 \times 3}{0,0075} - 1 \right)} = \frac{332,84}{(\ln 1600 - 1)} = \frac{332,84}{6,378} = 49,25 \text{ (}\Omega - \text{m)}$$

### 3.2 Analisa perhitungan counterpoise pada lapisan tanah yang keras

Untuk daerah-daerah yang mempunyai lapisan tanah yang keras dan berbatu-batu atau daerah yang tahanan jenis tanahnya tinggi, batang pengtanahan tidak praktis digunakan. Bilamana digunakan sistem counterpoise, tahanan kaki menara secara teoritis dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 4.

$$R = \sqrt{r\rho} \cdot \text{Coth}(L\sqrt{r/\rho})\Omega \dots\dots\dots(4)$$

Di mana :

- L = panjang kawat, meter
- $\rho$  = tahanan jenis tanah, Ohm-meter
- r = tahanan kawat, Ohm/meter

Ketika surja petir mencapai counterpoise, tahanan efektif counterpoise tersebut permulaannya tinggi, (sekitar 150  $\Omega$ ). Tahanan mula ini adalah impedansi surja dari counterpoise. Pada saat surja merambat sepanjang kawat, tahanannya menurun sampai suatu harga yang tetap yang dihitung menggunakan persamaan 4 di atas.

Di bawah ini perhitungan tahanan (R) counterpoise yang dicontohkan pada menara nomer TW16 AA+09 dan selanjutnya hasil perhitunghan dapat di lihat dari Tabel 1 :

$$\begin{aligned} R &= \sqrt{r \cdot \rho} \coth(L\sqrt{r/\rho}) \\ &= \sqrt{0,015 \cdot 49,25} \coth(3\sqrt{0,015/49,25}) \\ &= \sqrt{0,738} \cdot \coth(0,1035) \\ &= 0,859 \cdot 9,696 \\ &= 8,32 \Omega \end{aligned}$$

Tujuan desain counterpoise adalah mencapai tahanan yang tetap dari counterpoise sebelum tegangan pada puncak menara mencapai tingkat loncatan api dari isolator. Panjang minimum counterpoise, dapat dihitung dengan persamaan 5

$$L = \sqrt{\rho/r} \cdot \text{Coth}^{-1}[R/\sqrt{r\rho}] \dots\dots\dots(5)$$

Bila counterpoise terlalu panjang, 2 atau lebih kawat dapat digunakan dalam counterpoise, sampai tahanan 10 Ohm yang diinginkan diperoleh.

Dibawah ini perhitungan panjang (L) counterpoise yang dicontohkan pada menara nomer TW16 AA+09 dan selanjutnya hasil perhitunghan dapat di lihat dari Tabel 1 :

$$\begin{aligned} L &= \sqrt{\frac{\rho}{r}} \coth^{-1}(R\sqrt{r \cdot \rho}) \\ &= \sqrt{\frac{49,25}{0,015}} \coth^{-1}(13,25\sqrt{0,015 \cdot 49,25}) \\ &= 57,300 \coth^{-1}(15,42) \\ &= 57,300 \cdot 0,0649 \\ &= 3,718 \Omega \end{aligned}$$

### 3.3 Analisis tahanan elektroda ke tanah

Dalam perhitungan elektroda ke tanah masih memakai persamaan 2 dan didasarkan pada asumsi bahwa tahanan tanah seragam pada seluruh volume tanah yang dikembangkan oleh profesor H.B. Dwight sesuai dengan persamaan 3.

Untuk menghitung tahanan elektroda ke tanah (R) data yang dipakai adalah hasil perhitungan dari tahanan jenis tanah ( $\rho$ ) sebanyak 174 menara. Maksud dari perhitungan ini yaitu membandingkan hasil pengukuran dari PT PLN (Persero) dengan hasil perhitungan yang tentunya dirubah dari segi panjang elektroda yang di tanam. Data yang dipakai adalah sebagai berikut :

1. (D) diameter elektroda batang sebesar 0,015 meter/(a) jari-jari elektroda batang sebesar 0,0075 meter.
2. Hasil perhitungan dari tahanan jenis tanah ( $\rho$ ).
3. Panjang elektroda ke tanah (L) sepanjang 4 meter dan 5 meter.

Di bawah ini perhitungan tahanan elektroda ke tanah (R) dicontohkan menara nomer TW16 AA+09 dan selanjutnya hasil dapat dilihat di Tabel 1 :

1. L = 4 meter

$$\begin{aligned} R &= \frac{\rho}{2\pi L} \left( \ln \frac{4L}{a} - 1 \right) \\ R &= \frac{49,25}{2 \times 3,14 \times 4} \left( \ln \frac{4 \times 4}{0,0075} - 1 \right) \\ R &= \frac{49,25}{25,12} (\ln 2133,33 - 1) \\ R &= \frac{49,25}{25,12} (5,358) \\ R &= 10,50 \Omega \end{aligned}$$

2. L = 5 meter

$$\begin{aligned} R &= \frac{\rho}{2\pi L} \left( \ln \frac{4L}{a} - 1 \right) \\ R &= \frac{49,25}{2 \times 3,14 \times 5} \left( \ln \frac{4 \times 5}{0,0075} - 1 \right) \\ R &= \frac{49,25}{31,4} (\ln 2666,67 - 1) \\ R &= \frac{49,25}{31,4} (6,89) \\ R &= 8,70 \Omega \end{aligned}$$

**Tabel 1. Data perhitungan analisis jenis tanah dan analisis tahanan elektroda ke tanah**

No	Dia-meter (meter)	Jari-jari (meter)	No Menara	Pengukuran menara gabungan di PT. PLN (Persero) tahun 2015 dengan elektroda batang		$R = \frac{\rho}{2\pi L} \left( \ln \frac{4L}{a} - 1 \right)$	$R = \frac{\rho}{2\pi L} \left( \ln \frac{4L}{a} - 1 \right)$	$R = \sqrt{r\rho} \cdot \text{Coth}(L\sqrt{r/\rho})$	$L = \sqrt{\frac{\rho}{r}} \cdot \text{Coth}^{-1}(R\sqrt{r/\rho})$
				R) tahanan elektroda ke tanah ( $\Omega$ )	$\rho = \frac{2\pi LR}{\left( \ln \frac{4L}{a} - 1 \right)}$ ( $\Omega \cdot m$ )	L = 4 meter ( $\Omega$ )	L = 5 meter ( $\Omega$ )	Counterpoise ( $\Omega$ )	Counterpoise (meter)
1	0,015	0,075	TW 16 AA+09	13,25	49,25	10,50	8,70	6,74	3,71
2	0,015	0,075	TW 18 BB+09	25,37	94,31	20,09	16,74	2,76	3,64
3	0,015	0,075	TW 05 AA+03	49,57	174,54	37,22	31,02	5,18	3,51
4	0,015	0,075	TW 03 AA+12	54,62	203,04	43,30	36,09	5,66	3,71
5	0,015	0,075	TW 04 AA+03	63,4	235,68	50,26	41,89	8,877	2,70
6	0,015	0,075	TW 02 BB+09	13,07	56,44	12,04	10,03	0,241	0,920
7	0,015	0,075	TW 14 BB+15	15,69	67,76	14,45	11,56	1,0008	0,20

#### IV. KESIMPULAN

Berdasarkan analisis pengukuran tahanan resistansi pentanahan menara saluran udara tegangan tinggi (SUTT) 150 kV Sidikalang-Salak maka dapat di ambil kesimpulan sebagai berikut :

- Setiap jenis tanah memiliki nilai resistansi pembumian yang berbeda-beda.
- Komposisi tanah yang berbeda di sekitar elektroda batang menyebabkan nilai resistansi elektroda pentanahan yang berbeda.
- Pemilihan jenis elektroda pentanahan mempengaruhi nilai resistansi pentanahan karena semakin besar luas penampang elektroda yang di pakai maka semakin kecil resistansinya.
- Dengan menggunakan sistem counterpoise apabila tahanan (R) sangat besar kita dapat memperkecil tahananannya dengan sistem counterpoise. Yang dapat dilihat pada tabel di atas.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1.] Chang Choong-koo & Mostafa A Hassan. (2015). Application of low voltage high resistance grounding in nuclear power plant. Journal elsevier., <http://doi.org/10.1016/j.net.2015.08.008>
- [2.] Farmada Andre, 2016, Analisis Pengukuran Tahanan Pentanahan Tower Saluran Udara Tegangan Ekstra Tinggi (SUTET) 500 kV Pedanungaran. Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- [3.] Hutauruk.,T.,S., 1999, Pengetanahan Netral Sistem Tenaga dan Pengetanahan Peralatan. Indonesia. Erlangga.
- [4.] KEPDIR No. 0520/1.K DIR 2014-Himp Buku Pedoman dan Asesmen SUTT SUTET. Saluran Udara Tegangan Tinggi dan Extra Tinggi (SUTT/SUTET). PT PLN.
- [5.] PUIL 2000, Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia. Jakarta.
- [6.] Tadjuddin, 2008, Penerapan System Counterpoise Pentanahan Menara SUTET. Available at <http://www.elektroindonesia.com/elektro>. diakses 02 Mei.