

# Probabilitas Tegangan Sentuh dan Tegangan Langkah di Lokasi Rencana Gardu Induk 500 kV Antosari

Abdul Latif<sup>1</sup>, Wayan Gede Ariastina<sup>2</sup>, I Nyoman Setiawan<sup>3</sup>

**Abstract**— Construction of 500 kV high-voltage wires Antosari a follow-up of the plan of PT PLN (Persero), which will increase the supply of electricity to Bali through the system of interconnection of Java - Bali using transmission lines of SUTET 500 kV. The research was carried out to analyze the large size grounding comparison with a depth rod conductor to the grounding grid resistance, touch voltage, step voltage and the probability of the onset of touch voltage and step voltage. Calculation of resistance grounding grid using equation IEEE Standard 80-2000 while for the calculation of the touch voltage and step voltage using IEEE Standard 665-1995. Based on the results of research at the site substations for wet soil conditions with extensive grid of 3m x 3m and a depth of 5m obtained the grounding grid resistance value of 0,49 ohm and a step voltage value of 125 volt with a probability of 0.72%. As for the dry soil conditions with extensive grid of 3m x 3m and a depth of 5 obtained the grounding grid resistance value of 1.11 ohm and the step voltage value of 281 volt with cumulative probability 0.72%. From the analysis also shows the extensive grid of 3m x 3m and a depth of 0.5m obtained values the touch voltage 73 volt for wet soil condition and the 165 volt dry soil conditions with equal cumulative probability is 72%.

**Intisari**— Pembangunan GITET 500 kV Antosari merupakan tindak lanjut dari rencana PT PLN (Persero) yang akan menambah pasokan energi listrik ke Bali melalui sistem interkoneksi Jawa – Bali menggunakan jaringan transmisi SUTET 500 kV. Penelitian dilakukan untuk menganalisis perbandingan ukuran luas pentanahan dengan kedalaman batang konduktor terhadap tahanan pentanahan grid, tegangan sentuh, tegangan langkah dan probabilitas timbulnya tegangan sentuh dan tegangan langkah. Perhitungan tahanan pentanahan grid menggunakan persamaan IEEE, Standard 80-2000 sedangkan untuk perhitungan tegangan sentuh dan tegangan langkah menggunakan IEEE, Standard 665-1995. Berdasarkan hasil penelitian di lokasi gardu induk untuk kondisi tanah basah dengan luas grid 3 m x 3 m dan kedalaman 5 m didapatkan nilai tahanan pentanahan grid 0,49 ohm dan nilai tegangan langkah 125 volt dengan probabilitas 0,72%. Sedangkan untuk kondisi tanah kering dengan luas grid 3 m x 3m dan kedalaman 5 didapatkan nilai tahanan pentanahan grid 1,11 ohm dan nilai tegangan langkah 281 volt dengan probabilitas 0,72%. Dari hasil analisis juga menunjukkan dengan luas grid 3 m x 3 m dan kedalaman 0,5 m didapatkan nilai tegangan sentuh untuk kondisi tanah basah 73 volt dan pada kondisi tanah kering 165 volt dengan probabilitas yang sama yaitu 72%.

**Kata Kunci**— Pentanahan Grid, Tegangan Sentuh, Tegangan Langkah, Probabilitas Kumulatif.

<sup>1</sup>Mahasiswa, Jurusan Teknik Elektro dan Komputer Fakultas Teknik Universitas Udayana, Jln. Marlboro, Gg X No.14 Denpasar Barat 80119 (Hp: 081338418781; e-mail: latifcalm@gmail.com)

<sup>2, 3</sup>Dosen Jurusan Teknik Elektro dan Komputer Fakultas Teknik Universitas Udayana, Jalan Kampus Bukit Jimbaran 80361 INDONESIA

Abdul Latif: Probabilitas Tegangan Sentuh dan...

## I. PENDAHULUAN

Semakin berkembangnya pertindustrian di Indonesia, maka kebutuhan daya listrik yang dibutuhkan semakin meningkat. Untuk memenuhi kebutuhan daya listrik tersebut pada tahun 2016, PT PLN (Persero) merencanakan pembangunan GITET 500 kV Antosari. Pembangunan GITET 500 kV Antosari merupakan tindak lanjut dari rencana PT PLN (Persero) yang akan menambah pasokan energi listrik ke Bali melalui sistem interkoneksi Jawa – Bali menggunakan jaringan transmisi SUTET 500 kV, dimulai dari GITET 500 kV Paiton dan akan sampai di GITET 500 kV Antosari.

Gardu Induk merupakan salah satu bagian dari sistem tenaga listrik yang sangat besar mengalami bahaya gangguan yang disebabkan oleh timbulnya arus lebih yang disebabkan oleh petir, sehingga arus ini mengalir kedalam tanah, hal ini terjadi akibat dari isolasi peralatan yang tidak berfungsi dengan baik dan nilai tahanan pentanahan yang cukup besar, maka nilai tahanan pentanahan yang ideal harus memberikan nilai tahanan pembumian mendekati nol atau  $\leq 1$  ohm untuk gardu induk bertegangan tinggi [1].

Peranannya yang sangat penting dalam menyalurkan daya listrik dan untuk menjamin keamanan dan keselamatan manusia terhadap bahaya yang sangat tinggi maka pada gardu induk perlu diterapkan suatu sistem pentanahan yang memenuhi persyaratan sistem pengamanan.

Dari uraian diatas maka dalam skripsi ini akan mencoba meneliti suatu probabilitas tegangan sentuh dan tegangan langkah pada pentanahan Gardu Induk 500 kV Antosari dengan menggunakan sistem pentanahan grid, dimana sistem pentanahan grid dilakukan dengan cara menanamkan batang konduktor sejajar dengan permukaan tanah pada kedalaman tertentu. Pengukuran akan dilakukan sebanyak lima kali, dengan melakukan pengukuran sebanyak lima kali akan didapatkan nilai rata-rata tahanan jenis tanah dan tahanan pentanahan.

Sistem pentanahan grid sudah banyak digunakan pada gardu induk yang ada di Indonesia dan untuk memperkecil nilai tahanan pentanahan, tegangan sentuh dan tegangan langkah sehingga tegangan yang muncul pada permukaan tanah tidak membahayakan baik dalam kondisi normal ataupun dalam kondisi terjadi gangguan pada tanah. Gardu induk yang akan digunakan sebagai lokasi perencanaan adalah gardu induk 500 kV yang terletak di Antosari yang masih dalam proses konstruksi.

## II. PENTANAHAN

### A. Tahanan Jenis Tanah

Tahanan jenis tanah merupakan faktor keseimbangan antara tahanan dan kapasitansi. Tahanan jenis tanah disimbolkan dengan  $\rho$ . Nilai tahanan jenis tanah tergantung dari beberapa faktor yaitu [2]:

p-ISSN:1693 – 2951; e-ISSN: 2503-2372



1. Jenis tanah
2. Lapisan tanah
3. Kelembaban tanah
4. Temperatur

Nilai tahanan jenis tanah rata-rata untuk bermacam-macam jenis tanah dapat dilihat pada Tabel 1 [2]:

TABEL 1  
TAHANAN BERBAGAI JENIS TANAH

Jenis Tanah	Tahanan Jenis Tanah ( $\Omega\text{-m}$ )
Tanah rawa	30
Tanah liat dan tanah ladang	100
Pasir basah	200
Kerikil basah	500
Pasir dan kerikil kering	1000
Tanah berbatu	3000

Untuk menentukan nilai tahanan jenis tanah dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan [3]:

$$\rho = 2 \pi a R \quad (1)$$

Dengan,

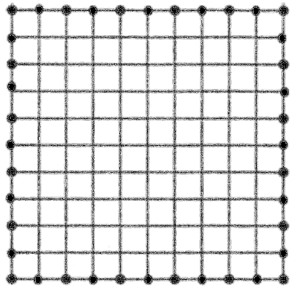
$\rho$  = Tahanan jenis rata tanah ( $\Omega\text{-m}$ )

$a$  = Jarak antar batang elektroda yang terdekat (m)

$R$  = Besar tahanan tanah yang diukur ( $\Omega$ )

#### B. Sistem Pentanahan Grid

Bentuk dari sistem pentanahan mesh dapat dilihat pada Gambar 1:



Gambar 1 : Sistem pentanahan grid

Besarnya nilai tahanan pentanahan dari sistem grid dapat dihitung dengan menggunakan persamaan [1]:

$$R_g = \rho \left[ \frac{1}{L} + \frac{1}{\sqrt{20A}} \left( 1 + \frac{1}{1+h\sqrt{20/A}} \right) \right] \quad (2)$$

Dimana,

$R_g$  = Tahanan pentanahan grid ( $\Omega$ )

$\rho$  = Tahanan jenis rata tanah ( $\Omega\text{-m}$ )

$L$  = Jumlah total panjang konduktor batang rod (m)

$h$  = Kedalaman penanaman konduktor (m)

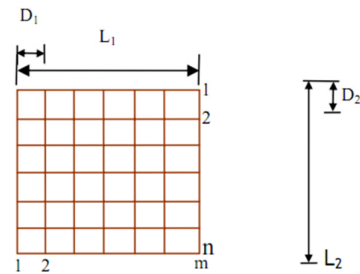
$A$  = Luas area pentanahan grid ( $\text{m}^2$ )

$$L = L_c + L_r \quad (3)$$

Dengan,

$L_c$  = Total panjang konduktor grid (m)

$L_r$  = Total panjang dari batang rod (m)



Gambar 2. Sistem pentanahan grid panjang  $L_1$  dan  $L_2$

Untuk menentukan panjang konduktor pentanahan grid ( $L_c$ ) dapat dirumuskan pada Persamaan (4) dengan mengacu pada Gambar 2. [1]:

$$L_c = L_1 n + L_2 m \quad (4)$$

Dimana,

$$D_1 = \frac{L_1}{m-1} \quad (5)$$

$$D_2 = \frac{L_2}{n-1} \quad (6)$$

Dengan,

$L_1$  = Panjang konduktor (m)

$L_2$  = Lebar konduktor (m)

$n$  = Jumlah konduktor parallel sisi panjang

$m$  = Jumlah konduktor parallel sisi lebar

$D_1$  = Jarak antar konduktor parallel sisi panjang (m)

$D_2$  = Jarak antar konduktor parallel sisi lebar (m)

#### C. Tegangan Sentuh

Tegangan mesh merupakan salah satu bentuk tegangan sentuh. Tegangan mesh didefinisikan sebagai tegangan peralatan yang diketanahkan terhadap tengah-tengah daerah yang dibentuk konduktor kisi-kisi selama gangguan petir. Tegangan mesh ini menyatakan tegangan tertinggi yang mungkin timbul sebagai tegangan sentuh dan inilah yang diambil sebagai tegangan untuk disain aman [3].

Tegangan sentuh dapat dihitung dengan menggunakan persamaan [4]:

$$E_m = \frac{\rho I_G K_m K_i}{L_c + 1,15 L_r} \quad (7)$$

$$K_m = \frac{1}{2\pi} \left[ \ln \left( \frac{D^2}{16hd} + \frac{(D+2h)^2}{8Dd} - \frac{h}{4d} \right) + \frac{K_{ii}}{K_h} \ln \frac{8}{\pi(2n-1)} \right] \quad (8)$$

Dimana  $K_{ii} = 1$  Dengan rod,

$$K_h = \sqrt{1 + \frac{h}{h_0}} \quad (9)$$

$$K_i = 0,656 + 0,172 n \quad (10)$$

Keterangan :

- $\rho$  = Tahanan jenis rata tanah ( $\Omega$ -m)
- IG = Besar arus menuju konduktor grid (A)
- Km = Faktor koreksi dari tegangan grid
- Ki = Faktor koreksi yang terjadi saat peningkatan arus ekstrimitas pada grid
- Lc = Total panjang konduktor grid (m)
- Lr = Total panjang dari batang rod (m)
- Em = Tegangan sentuh yang terjadi pada grid ( V )
- Kii = Faktor koreksi berat efek dari konduktor pada bagian dalam dan pojok grid
- Kh = Faktor koreksi berat pada tekanan dari efek kedalaman grid
- D = Jarak antara konduktor parallel pada kisi-kisi grid (m)
- h = Kedalaman penanaman konduktor (m)
- h0 = Konstanta kedalaman tanah grid (1 m)
- n = Jumlah konduktor parallel dalam kisi-kisi utama
- n =  $\sqrt{n_1 \times n_2}$  untuk menghitung nilai Km dan Ki dalam menghitung tegangan sentuh
- d = Diameter konduktor kisi-kisi grid (m)

TABEL 2  
TEGANGAN SENTUH YANG DIZINKAN

Lama Gangguan ( t,detik )	Tegangan Sentuh (Volt)
0,1	1980
0,2	1400
0,3	1140
0,4	990
0,5	890
1,0	626
2,0	443
3,0	362

D. Tegangan Langkah

Tegangan langkah adalah perbedaan tegangan yang terdapat diantara kedua kaki bila manusia berjalan di atas tanah sistem pentanahan pada keadaan terjadi gangguan petir [3].

Tegangan langkah dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan [4]:

$$E_s = \frac{\rho I_G K_s K_i}{L} \tag{11}$$

$$K_s = \frac{1}{\pi} \left[ \frac{1}{2h} + \frac{1}{D+h} + \frac{1}{D} \left( 1 - 0,5^{n-2} \right) \right] \tag{12}$$

Keterangan :

- Es = Tegangan langkah yang terjadi pada grid ( V )
- $\rho$  = Tahanan jenis rata tanah ( $\Omega$ -m)
- IG = Besar arus menuju konduktor grid (A)
- Ks = Faktor koreksi dari tegangan langkah
- Ki = Faktor koreksi yang terjadi saat peningkatan arus ekstrimitas pada grid
- L = Jumlah total panjang konduktor batang rod (m)
- n = Jumlah konduktor parallel dalam kisi-kisi utama
- n1 dan n2 yang terbesar digunakan pada Ks dan Ki dalam menghitung tegangan langkah
- D = Jarak antara konduktor parallel pada kisi-kisi grid (m)
- h = Kedalaman penanaman konduktor (m)

Abdul Latif: Probabilitas Tegangan Sentuh dan...

TABEL 3  
TEGANGAN LANGKAH YANG DIZINKAN

Lama Gangguan ( t, detik )	Tegangan Sentuh (Volt)
0,1	7000
0,2	4950
0,3	4040
0,4	3500
0,5	3140
1,0	2216
2,0	1560
3,0	1280

E. Probabilitas Arus Petir

Besar tegangan yang timbul pada menara transmisi tergantung pada puncak, kecuraman dan waktu muka gelombang petir. Hubungan antara puncak arus petir dan seringnya terjadi sambaran dapat dilihat pada tabel [5]:

TABEL 4  
HUBUNGAN ANTARA ARUS PETIR DAN SERINGNYA TERJADI SAMBARAN

Arus Puncak Petir (kA)	Probabilitas kejadian (%)
20	36
40	34
60	20
80	8
100	1,2
160	0,5
200	0,3

F. Probabilitas Kumulatif

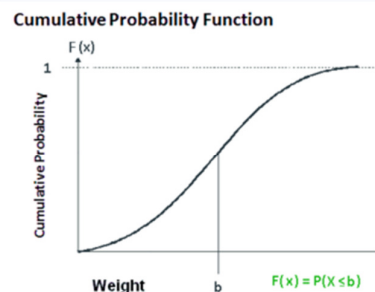
Fungsi probabilitas kumulatif digunakan untuk menyatakan jumlah dari seluruh nilai fungsi probabilitas yang lebih kecil atau sama dengan suatu nilai yang ditetapkan. Secara matematis, fungsi probabilitas kumulatif dapat ditulis seperti persamaan [6]:

$$F(x) = P(X \leq x) = X \leq p(x) \tag{13}$$

Dengan  $F(x)=P(X \leq x)$  menyatakan fungsi probabilitas kumulatif pada titik  $X = x$  yang merupakan jumlah dari seluruh nilai  $X$  sama atau kurang dari  $x$ . Sedangkan pada probabilitas kumulatif acak kontinu ditentukan dengan fungsi integral, seperti ditunjukkan pada persamaan[6]:

$$F(x) = P(X \leq x) = \int_{-\infty}^x f(x)dx \tag{14}$$

Gambar 3 menunjukkan contoh grafik dari sebuah fungsi probabilitas kumulatif.



Gambar 3 : Contoh grafik fungsi probabilitas kumulatif



### III. METODELOGI PENELITIAN

Penelitian dilaksanakan di Antosari, Kabupaten Tabanan tempat rencana dibangunnya Gardu Induk 500 kV. Waktu pelaksanaan penelitian dilakukan pada bulan Juni 2015 – Oktober 2015. Data yang digunakan dalam penyusunan penelitian ini berupa data primer seperti tahanan tanah (R) yang dianalisis di rencana lokasi pembangunan Gardu Induk 500 kV. Data sekunder berupa peta gardu induk, spesifikasi gardu dan sambaran petir di Antosari.

Alur analisis yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

1. Mengumpulkan data tahanan jenis tanah di lokasi Antosari tempat perencanaan lokasi pembangunan Gardu Induk 500 kV.
2. Menganalisis dan menghitung tahanan pentanahan berdasarkan pengamatan data tahanan jenis tanah di rencana lokasi pembangunan Gardu Induk 500 kV.
3. Menganalisis dan menghitung tegangan sentuh berdasarkan pengamatan data tahanan jenis tanah di rencana lokasi pembangunan Gardu Induk 500 kV.
4. Menganalisis dan menghitung tegangan langkah berdasarkan data tahanan jenis tanah di rencana lokasi pembangunan Gardu Induk 500 kV.
5. Membandingkan nilai tahanan pentanahan grid, tegangan sentuh dan tegangan langkah terhadap perbandingan ukuran – ukuran pentanahan grid.
6. Menganalisis probabilitas tegangan sentuh dan tegangan langkah yang mungkin terjadi.

### IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### A. Pengukuran Tahanan Tanah di Antosari

Sesuai dengan hasil pengukuran tahanan pentanahan di Antosari yang dilakukan pada kondisi tanah yang berbeda yaitu tanah basah dan tanah kering. Untuk mendapatkan nilai tahanan pentanahan maka batang konduktor ditanam dengan kedalaman 40 cm dibawah permukaan tanah. Tahanan jenis tanah didapatkan dengan cara merata-ratakan hasil pengukuran kemudian dilakukan perhitungan.

##### a) Kondisi tanah basah

$$\rho = 2 \pi a R = 2 \cdot 3,14 \cdot 20 \cdot 0,04 = 5,02 \Omega\text{-m}$$

Dengan menggunakan cara yang sama maka hasil pengukuran tahanan tanah dan perhitungan tahanan jenis tanah dapat dilihat pada tabel berikut :

##### b) Kondisi tanah kering

$$\rho = 2 \pi a R = 2 \cdot 3,14 \cdot 20 \cdot 0,09 = 11,30 \Omega\text{-m}$$

#### B. Tahanan Pentanahan

Dari hasil pengukuran tersebut dapat dilakukan perhitungan untuk mencari nilai tahanan pentanahan grid,

dengan mengasumsikan bahwa jenis tanah dilokasi pengukuran adalah homogen.

TABEL 5  
HASIL PENGUKURAN TAHANAN TANAH DAN NILAI PERHITUNGAN TAHANAN JENIS TANAH KONDISI BASAH

No	Pengukuran	Waktu (WITA)	Suhu ( $^{\circ}\text{C}$ )	Kelembaban (%)	R ( $\Omega$ )	$\rho$ ( $\Omega\text{-m}$ )
1	Ke-1	10.15	22	85	0,04	5,02
2	Ke-2	11.00	23	75	0,04	5,02
3	Ke-3	11.45	24	74	0,04	5,02
4	Ke-4	12.30	25	69	0,04	5,02
5	Ke-5	13.15	25	69	0,04	5,02
Rata – rata					0,04	5,02

TABEL 6  
HASIL PENGUKURAN TAHANAN TANAH DAN NILAI PERHITUNGAN TAHANAN JENIS TANAH KONDISI KERING

No	Pengukuran	Pukul (WITA)	Suhu ( $^{\circ}\text{C}$ )	Kelembaban (%)	R ( $\Omega$ )	$\rho$ ( $\Omega\text{-m}$ )
1	Ke-1	09.45	24,7	51,2	0,09	11,30
2	Ke-2	11.15	28	45,4	0,09	11,30
3	Ke-3	12.45	30,3	52	0,09	11,30
4	Ke-4	14.15	33,6	52,5	0,09	11,30
5	Ke-5	15.45	30,4	58	0,09	11,30
Rata – rata					0,09	11,30

#### C. Tahanan Pentanahan Grid

Dalam melakukan perhitungan tahanan pentanahan grid ini digunakan luas area grid mulai dari 1 m<sup>2</sup> sampai dengan 9 m<sup>2</sup>, kedalaman mulai dari 0,5 m sampai dengan 5 m.

##### a) Kondisi tanah basah

Luas area grid 1 m<sup>2</sup> dan kedalaman 0,5 m adalah :

$$\begin{aligned} R_g &= \rho \left[ \frac{1}{L} + \frac{1}{\sqrt{20A}} \left( 1 + \frac{1}{1+h\sqrt{20/A}} \right) \right] \\ R_g &= 5,02 \left[ \frac{1}{14} + \frac{1}{\sqrt{20 \cdot 1}} \left( 1 + \frac{1}{1+0,5\sqrt{20/1}} \right) \right] \\ &= 5,02 \left[ \frac{1}{14} + \frac{1}{4,472} \left( 1 + \frac{1}{1+2,236} \right) \right] \\ &= 5,02 [ 0,07 + 0,224 (1 + 0,309) ] \\ &= 1,83 \Omega \end{aligned}$$

##### b) Kondisi tanah kering

$$\begin{aligned} R_g &= \rho \left[ \frac{1}{L} + \frac{1}{\sqrt{20A}} \left( 1 + \frac{1}{1+h\sqrt{20/A}} \right) \right] \\ R_g &= 11,30 \left[ \frac{1}{14} + \frac{1}{\sqrt{20 \cdot 1}} \left( 1 + \frac{1}{1+0,5\sqrt{20/1}} \right) \right] \\ &= 11,30 \left[ \frac{1}{14} + \frac{1}{4,472} \left( 1 + \frac{1}{1+2,236} \right) \right] \\ &= 11,30 [ 0,07 + 0,224 (1 + 0,309) ] \\ &= 4,12 \Omega \end{aligned}$$

TABEL 7  
PERBANDINGAN TAHANAN PENTANAHAN GRID DENGAN LUAS AREA GRID DAN KEDALAMAN TANAH

Kedalaman tanah (H) (meter)	Luas area grid (A)				
	A 1 m <sup>2</sup>	A 2,25 m <sup>2</sup>	A 4 m <sup>2</sup>	A 6,25 m <sup>2</sup>	A 9 m <sup>2</sup>
	Tahanan pentanahan grid (Ω)				
0,5	1,83	1,26	0,97	0,79	0,67
1	1,69	0,86	0,87	0,71	0,60
1,5	1,63	0,82	0,83	0,67	0,57
2	1,60	0,80	0,80	0,65	0,54
2,5	1,57	0,79	0,79	0,63	0,53
3	1,56	0,78	0,77	0,62	0,52
3,5	1,55	0,77	0,76	0,61	0,51
4	1,54	0,76	0,76	0,60	0,50
4,5	1,54	0,76	0,75	0,60	0,50
5	1,53	0,75	0,75	0,60	0,49

TABEL 8  
PERBANDINGAN TAHANAN PENTANAHAN GRID DENGAN LUAS AREA GRID DAN KEDALAMAN TANAH

Kedalaman tanah (H) (meter)	Luas area grid (A)				
	A 1 m <sup>2</sup>	A 2,25 m <sup>2</sup>	A 4 m <sup>2</sup>	A 6,25 m <sup>2</sup>	A 9 m <sup>2</sup>
	Tahanan pentanahan grid (Ω)				
0,5	4,12	2,83	2,17	1,77	1,50
1	3,80	2,58	1,97	1,60	1,35
1,5	3,66	2,46	1,87	1,51	1,27
2	3,59	2,40	1,81	1,46	1,23
2,5	3,54	2,36	1,77	1,42	1,19
3	3,51	2,33	1,74	1,40	1,17
3,5	3,49	2,30	1,72	1,38	1,15
4	3,47	2,29	1,70	1,36	1,13
4,5	3,45	2,27	1,69	1,35	1,12
5	3,44	2,26	1,68	1,34	1,11

D. Arus Grid

Diasumsikan arus yang mengalir pada gardu induk memiliki nilai yang sama pada masing-masing pentanahan. Berdasarkan layout rencana pembangunan Gardu Induk 500 kV terdapat enam belas pentanahan, sehingga pada saat terjadi sambaran petir yang menghasilkan arus grid dibagi enam belas pentanahan maka didapatkan nilai arus grid pada masing-masing pentanahan gardu induk.

Abdul Latif: Probabilitas Tegangan Sentuh dan...

E. Tegangan Sentuh

Arus grid 1250 A, luas area pentanahan grid 1 m<sup>2</sup> dan kedalaman penanaman batang konduktor 0,5 m.

a) Kondisi tanah basah :

$$E_m = \frac{\rho I_G K_m K_i}{L_c + 1,15 L_r} = \frac{5,02 \cdot 1250 \cdot 0,56 \cdot 1}{6 + 1,15 \cdot 8} = 271 \text{ Volt}$$

TABEL 9  
PERBANDINGAN TEGANGAN SENTUH DENGAN LUAS AREA GRID DAN KEDALAMAN

Kedalaman tanah (H) (meter)	I <sub>G</sub> (Ampere)	Luas area grid (A)				
		A 1 m <sup>2</sup>	A 2,25 m <sup>2</sup>	A 4 m <sup>2</sup>	A 6,25 m <sup>2</sup>	A 9 m <sup>2</sup>
		Tegangan sentuh (Volt)				
0,5	1250	271	169	120	92	73
1	1250	357	229	166	130	106
1,5	1250	416	270	198	156	128
2	1250	459	300	222	175	144
2,5	1250	494	324	240	190	157
3	1250	522	344	240	203	168
3,5	1250	546	361	269	214	177
4	1250	567	375	280	223	185
4,5	1250	586	388	290	231	192
5	1250	603	400	299	239	198

b) Kondisi tanah kering

$$E_m = \frac{\rho I_G K_m K_i}{L_c + 1,15 L_r} = \frac{11,3 \cdot 1250 \cdot 0,56 \cdot 1}{6 + 1,15 \cdot 8} = 610 \text{ Volt}$$

TABEL 10  
PERBANDINGAN TEGANGAN SENTUH DENGAN LUAS AREA GRID DAN KEDALAMAN

Kedalaman tanah (H) (meter)	I <sub>G</sub> (Ampere)	Luas area grid (A)				
		A 1 m <sup>2</sup>	A 2,25 m <sup>2</sup>	A 4 m <sup>2</sup>	A 6,25 m <sup>2</sup>	A 9 m <sup>2</sup>
		Tegangan sentuh (Volt)				
0,5	1250	610	380	270	206	165
1	1250	804	515	375	292	238
1,5	1250	936	607	446	351	288
2	1250	1033	675	499	394	325
2,5	1250	1111	729	541	429	354
3	1250	1175	774	576	457	379
3,5	1250	1230	812	605	481	399
4	1250	1277	845	631	502	417
4,5	1250	1319	874	653	521	433
5	1250	1357	901	673	537	447

F. Tegangan Langkah

Arus grid 1250 A, luas area pentanahan grid 1 m<sup>2</sup> dan kedalaman penanaman batang konduktor 0,5 m.

a) Kondisi tanah basah

$$E_s = \frac{\rho I_G K_s K_i}{L} = \frac{5,02 \cdot 1250 \cdot 0,96 \cdot 1,172}{14} = 502 \text{ volt}$$



TABEL 11  
PERBANDINGAN LUAS AREA GRID DAN KEDALAMAN TANAH

Kedalaman tanah (H) (meter)	I <sub>G</sub> (Ampere)	Luas area grid (A)				
		A 1 m <sup>2</sup>	A 2,25 m <sup>2</sup>	A 4 m <sup>2</sup>	A 6,25 m <sup>2</sup>	A 9 m <sup>2</sup>
		Tegangan langkah (Volt)				
0,5	1250	502	392	316	261	222
1	1250	362	298	245	205	175
1,5	1250	307	261	217	183	156
2	1250	276	241	202	170	146
2,5	1250	257	228	192	162	139
3	1250	243	218	185	157	135
3,5	1250	233	212	180	153	131
4	1250	225	207	176	150	129
4,5	1250	219	203	173	147	127
5	1250	214	199	171	146	125

b) Kondisi tanah kering

$$E_s = \frac{\rho I_G K_s K_i}{L} = \frac{11,3 \cdot 1250 \cdot 0,96 \cdot 1,172}{14} = 1130 \text{ volt}$$

TABEL 12  
PERBANDINGAN LUAS AREA GRID DAN KEDALAMAN TANAH

Kedalaman tanah (H) (meter)	I <sub>G</sub> (Ampere)	Luas area grid (A)				
		A 1 m <sup>2</sup>	A 2,25 m <sup>2</sup>	A 4 m <sup>2</sup>	A 6,25 m <sup>2</sup>	A 9 m <sup>2</sup>
		Tegangan langkah (Volt)				
0,5	1250	1130	882	710	588	499
1	1250	816	672	553	462	394
1,5	1250	690	588	489	411	351
2	1250	621	542	455	383	328
2,5	1250	577	512	433	366	313
3	1250	547	492	417	353	303
3,5	1250	525	477	406	344	295
4	1250	507	465	397	337	290
4,5	1250	494	456	390	332	285
5	1250	483	449	385	328	281

G. Probabilitas Arus Petir Gardu Induk Antosari

Sambaran petir di Gardu Induk Antosari dari Januari 2014 – Agustus 2015 terdapat 239 sambaran. dengan mengacu pada tabel 4, berikut hubungan antara arus petir dan seringnya terjadi gangguan di Gardu Induk Antosari pada tabel berikut :

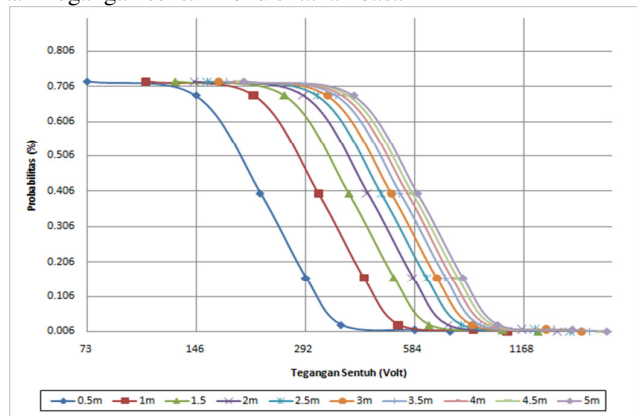
TABEL 13  
HUBUNGAN ANTARA ARUS PETIR DAN SERINGNYA TERJADI SAMBARAN

Arus Puncak Petir (kA)	Probabilitas kejadian (%)
20	0,72
40	0,68
60	0,4
80	0,16
100	0,024
160	0,01
200	0,006

H. Probabilitas Tegangan Sentuh dan Tegangan Langkah

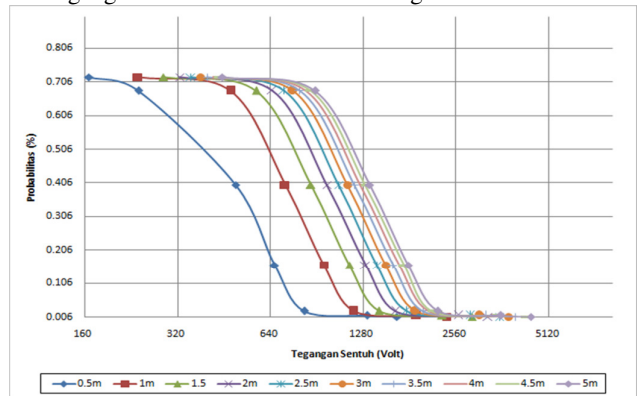
Probabilitas kumulatif timbulnya kejadian tegangan sentuh menggunakan pendekatan seperti tabel 4, tabel 13 dan berdasarkan perhitungan pada sub-bab sebelumnya.

a. Tegangan sentuh kondisi tanah basah



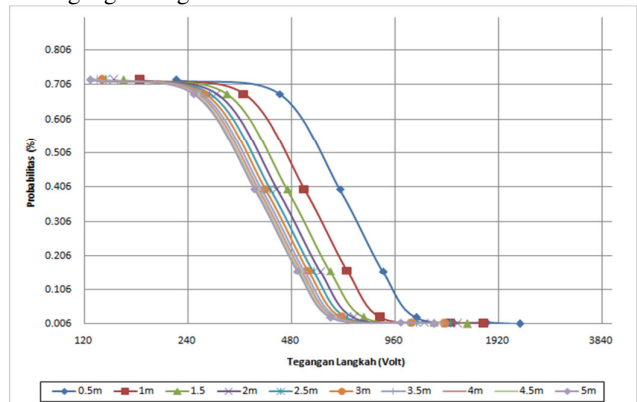
Gambar 4. Grafik probabilitas kumulatif

b. Tegangan sentuh kondisi tanah kering



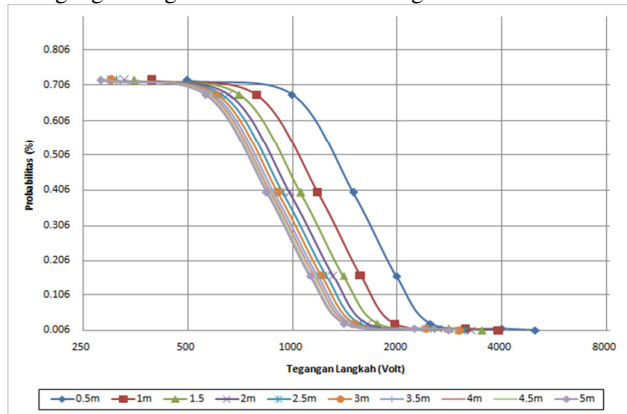
Gambar 5. Grafik probabilitas kumulatif

c. Tegangan langkah kondisi tanah basah



Gambar 6. Grafik probabilitas kumulatif

## d. Tegangan langkah kondisi tanah kering



Gambar 7. Grafik probabilitas kumulatif

## V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis dengan luas area pentanahan dari  $1\text{m}^2 - 9\text{m}^2$  dengan kedalaman penanaman batang konduktor berkisar  $0,5\text{ m} - 5\text{ m}$  di lokasi rencana Gardu Induk  $500\text{ kV}$  Antosari, maka dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Hasil analisis menunjukkan bahwa semakin luas area pentanahan grid dan semakin dalam penanaman batang konduktor ( rod ) maka nilai tahanan pentanahan yang didapatkan akan semakin rendah. Dengan luas area pentanahan  $9\text{m}^2$  dan kedalaman penanaman batang konduktor (rod)  $5\text{ m}$  didapatkan nilai tahanan pentanahan grid untuk kondisi tanah basah  $0,49\ \Omega$  dan kondisi tanah kering  $1,11\ \Omega$ .
2. Dari hasil analisis tegangan sentuh diperoleh bahwa semakin luas area pentanahan grid dan semakin dangkal penanaman batang konduktor (rod) maka tegangan sentuh

yang didapatkan akan semakin rendah. Pada kondisi tanah basah dengan luas area pentanahan  $9\text{ m}^2$  kedalaman  $0,5\text{ m}$  didapatkan nilai tegangan sentuh  $73\text{ volt}$ . Sedangkan saat kondisi tanah kering dengan luas area pentanahan  $9\text{ m}^2$  kedalaman  $0,5\text{ m}$  didapatkan nilai tegangan sentuh  $165\text{ volt}$  dan memiliki nilai probabilitas yang sama yaitu  $0,72\ \%$ .

3. Untuk hasil analisis tegangan langkah didapatkan semakin luas area pentanahan grid dan semakin dalam penanaman batang konduktor (rod) maka tegangan sentuh yang didapatkan akan semakin rendah. Pada kondisi tanah basah dengan luas area pentanahan  $9\text{ m}^2$  kedalaman  $5\text{ m}$  didapatkan nilai tegangan langkah  $125\text{ volt}$ . Sedangkan saat kondisi tanah kering dengan luas area pentanahan  $9\text{ m}^2$  kedalaman  $5\text{ m}$  didapatkan nilai tegangan langkah  $281\text{ volt}$  dan memiliki nilai probabilitas yang sama yaitu  $0,72\ \%$ .

## REFERENSI

- [1] IEEE Standard 80 - 2000. IEEE Guide for Safety in AC Substation Grounding. New York.
- [2] \_\_\_\_\_. 2000. *Peraturan Umum Instalasi Listrik (PUIL 2000)*. Jakarta : \_\_\_\_.
- [3] Hutauruk, TS. 1999. *Pengetanahan Netral Sistem Tenaga Dan Pengetanahan Peralatan*. Jakarta : Erlangga.
- [4] IEEE Standard 665 - 1995. IEEE Guide for Generating Station Grounding. New York.
- [5] Hutauruk, TS. 1991. *Gelombang Berjalan dan Proteksi Surja*. Jakarta : Erlangga.
- [6] Amrita Anak Agung Ngurah, Ariastina Wayan Gede. 2014. *Studi Probabilitas Tegangan Sentuh dan Tegangan Langkah dengan Pentanahan Grid Di Lokasi Tower Bali Crossing*. Seminar Nasional dan Expo Teknik Elektro 2014. Denpasar : Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Udayana.

