

ANALISA TEGANGAN SENTUH DAN TEGANGAN LANGKAH DI GARDU INDUK 150 KV BATU BESAR MENGGUNAKAN SISTEM GRID

Wahyu Zarniadi¹⁾, Edy Ervianto²⁾

^{1,2)}Program Studi Teknik Elektro S1, Fakultas Teknik Universitas Riau
Kampus Binawidya Km 12,5 Simpang Baru Panam, Pekanbaru 28293
Jurusan Teknik Elektro Universitas Riau
Email: wahyu.zarniadi@student.unri.ac.id

ABSTRACT

Generally, the electrical fault that occurs at substations forms a phase-to-ground short circuit fault. The fault currents flowing on the earthing grid can different result in voltage gradients at the ground level around the substation. The purpose of this study to evaluate the earthing system at the substation of Batu Besar, and to find out whether grid earth resistance meets standards. Then, to protect people who walk or touch equipment of electric shock. The earthing system needs to be evaluated in each period to get the touch voltage and step voltage that conforms to safety and security standards. This research method is to collect parameters ρ , ρ_s , h_s , A , LT , and h , which are calculated using the formula of grid earth resistance, touch voltage, and step voltage. Later the results of calculations, analysis, and compare using the IEEE Std 80-2013 standard. Based on the analysis results obtained grid earthing resistance of 0.62Ω , touch voltage of 737.65 V and step voltage of 2458.43 V . The results of the earthing system evaluation at the substation of Batu Besar meet the standards of IEEE Std 80-2013.

Keyword : grid earthing system, touch voltage, step voltage

1. PENDAHULUAN

Gardu induk merupakan bagian terpenting dalam sistem tenaga listrik yang menjadi bagian penghubung antara saluran transmisi dan distribusi. Selain itu digardu induk tempat berisi peralatan sistem tenaga listrik seperti transformator, peralatan proteksi dan peralatan kontrol.

Pada gardu induk, terjadinya bahaya gangguan kelistrikan berupa gangguan hubung singkat ke tanah. Arus gangguan ini dapat merusak peralatan dan juga membahayakan manusia yang berada di area gardu induk karena dapat menyebabkan timbulnya gradien tegangan pada peralatan dan permukaan tanah. Gradien tersebut dapat menimbulkan tegangan sentuh bagi manusia yang menyentuh peralatan dan tegangan langkah pada seseorang yang berpijak pada *switchyard* gardu induk.

Untuk mengatasi masalah tersebut, gardu induk harus memiliki sistem pembumian yang baik dan aman bagi peralatan dan khususnya manusia yang berada di area gardu induk selama kondisi normal maupun pada saat terjadinya gangguan. Sistem pembumian yang digunakan harus dapat mencegah bahaya pada saat gangguan terjadi sehingga tidak menimbulkan beda potensial pada titik-titik sekitar gangguan. Ada beberapa parameter yang menentukan apakah sistem pembumian memenuhi persyaratan keamanan dan keselamatan, yaitu resistansi pembumian, tegangan sentuh dan tegangan langkah. (Kasim, 2017)

Dalam sistem pembumian gardu induk, ada beberapa standar yang digunakan untuk mendapatkan sistem pembumian yang baik dan aman serta dapat meminimalisir bahaya pada saat gangguan. Salah satu standar yang

digunakan adalah *IEEE Std 80-2013*. Dalam *IEEE Std 80-2013* terdapat konsep dasar sistem pembumian gardu induk sampai pada langkah-langkah merancangan dan menghitung sistem pembumian pada gardu induk dijelaskan secara jelas dan rinci.

Berdasarkan hal tersebut, maka peneliti melakukan evaluasi sistem pembumian pada gardu induk 150/20 kV Batu Besar yang disesuaikan dengan standar *IEEE Std 80-2013*.

2. LANDASAN TEORI

2.1. Gardu Induk

Gardu induk tempat sekumpulan peralatan sistem tenaga listrik diletakkan, seperti transformator daya, peralatan kontrol, peralatan proteksi, CT, PT, konduktor dan isolator. Gardu induk berfungsi sebagai tempat untuk menaikkan atau menurunkan listrik bertegangan tinggi ke listrik bertegangan rendah atau sebaliknya, juga sebagai tempat pengawasan operasi peralatan.



Gambar 1. Gardu Induk 150 kV Batu Besar (Wahyu, 2019)

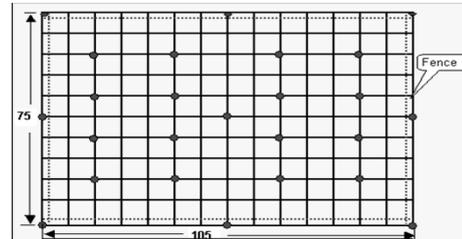
Tanah pada gardu induk memiliki tegangan listrik. Hal ini terjadi karena pada gardu induk terdapat sistem pembumian. Arus gangguan yang mengalir ke sistem pembumian dalam tanah akan menimbulkan beda potensial pada permukaan tanah.

Selain itu, degradasi tanah juga mempengaruhi besar dan kecilnya nilai tahanan jenis tanah yang berimbas pada besar dan kecilnya nilai tegangan sentuh dan tegangan langkah. Degradasi tanah disebabkan oleh tiga faktor, yaitu degradasi secara fisik, kimia dan biologi.

Nilai tegangan sentuh dan nilai tegangan langkah pada berbeda-beda. Hal ini bergantung pada lokasi seseorang berdiri dan letak titik pembumian pada sebuah peralatan.

2.2. Sistem Pembumian Grid

Sistem pembumian peralatan-peralatan pada gardu induk menggunakan konduktor yang ditanam sejajar didalam tanah yang terhubung satu sama lain sehingga membentuk jala-jala atau *grid*. Sistem *grid* ini didalam pada kedalaman 0,3 hingga 0,8 m.



Gambar 2. Konfigurasi sistem pembumian *grid* (Swapnil, 2014)

Adapun tujuan dari sistem pembumian *grid* ini adalah (Simatupang, 2011):

1. Untuk melindungi manusia terhadap bahaya listrik pada pembangkit listrik atau gardu induk.
2. Menjamin kontinuitas peralatan sistem tenaga listrik.
3. Menjamin beroperasinya peralatan proteksi ketika terjadi gangguan serta melakukan pemutusan pada area yang tidak mengalami gangguan.

2.3. Tahanan Jenis Tanah

Kondisi jenis tanah, struktur dan lapisan tanah yang berada pada gardu induk berbeda menyebabkan perbedaan tahanan jenis tanah terhadap jenis tanah. Hal ini disebabkan oleh faktor geologi, kadar garam tanah, kelembapan tanah, temperatur dan kandungan elektrolit tanah. Berdasarkan PUIL 2011 (Revisi PUIL 2000), untuk pengelompokkan jenis tanah dan tahanan jenis nya dapat dilihat pada tabel dibawah ini :

Tabel 1. Tahanan jenis dari beberapa jenis tanah (PUIL 2011)

Jenis Tanah	Tahanan Jenis ($\Omega.m$)
Tanah Rawa	30
Tanah Liat dan Ladang	100
Pasir Basah	200
Kerikil Basah	500
Pasir dan Kerikil Kering	1000
Tanah berbatu	3000

2.4. Tahanan Pembumian Grid

Menurut Sverak, untuk tahanan pembumian *grid* pada gardu induk dengan kedalaman tertentu dilihat pada persamaan berikut ini (IEEE, 2013):

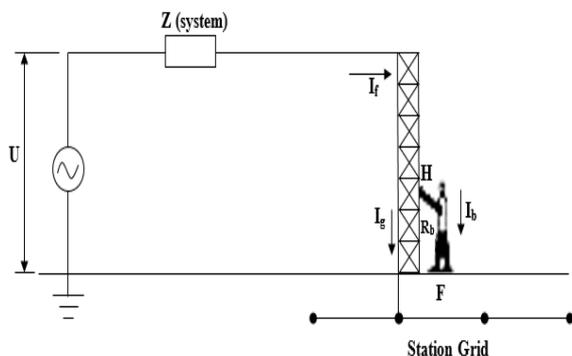
$$R_g = \rho \left[\frac{1}{L_T} + \frac{1}{\sqrt{20A}} \left(1 + \frac{1}{1+h\sqrt{20/A}} \right) \right] \quad (1)$$

dimana

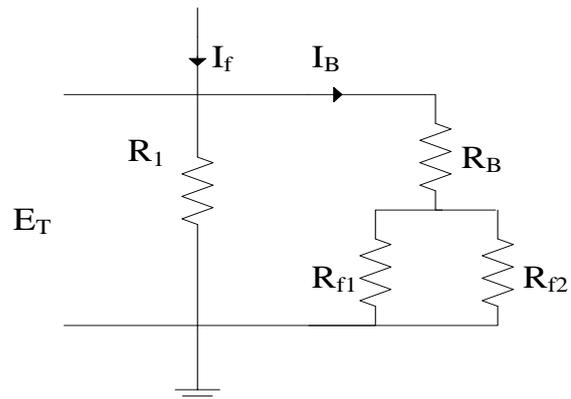
- R_g : Tahanan *grid* pembumian (Ω)
- A : Luas *switchyard* gardu induk (m^2)
- ρ : Tahanan jenis tanah ($\Omega\text{-m}$)
- L_T : Total panjang konduktor yang tertanam (m)
- h : Kedalaman penanaman konduktor (m).

2.5. Tegangan Sentuh

Tegangan sentuh adalah tegangan yang timbul diantara objek yang disentuh dengan suatu titik berjarak 1 meter, dimana objek itu terhubung dengan *grid* pembumian. Besarnya arus gangguan yang mengalir ketubuh manusia dibatasi oleh tahanan tubuh manusia dan tahanan kontak kaki manusia ke tanah. Pada gambar 3, menunjukkan kejadian yang menyebabkan timbulnya tegangan sentuh pada saat terjadi gangguan hubung singkat yang mengalir ke *body* peralatan yang dengan sengaja atau tanpa sengaja disentuh oleh manusia. Peristiwa tegangan sentuh ini diformulasikan pada rangkaian ekuivalen yang ditunjukkan pada gambar 4.



Gambar 3. Tegangan sentuh (IEEE, 2013)



Gambar 4. Rangkaian ekuivalen tegangan sentuh

Tegangan sentuh yang diizinkan dengan berat badan manusia yang digunakan 50 Kg dinyatakan pada persamaan (2) dan (3) berikut ini (IEEE, 2013):

$$E_{t50} = (1000 + 1,5C_s \times \rho_s) I_{b50} \quad (2)$$

$$I_{b50} = \frac{0,116}{\sqrt{t_f}} \quad (3)$$

dimana :

- E_{t50} : Kriteria tegangan sentuh untuk manusia dengan berat badan 50 kg
- C_s : Faktor reduksi resistivitas lapisan permukaan tanah
- ρ_s : Tahanan jenis permukaan tanah ($\Omega\text{-m}$)
- t_f : Lama gangguan (s)

Faktor reduksi (C_s) resistivitas lapisan permukaan tanah dinyatakan dengan persamaan (4) berikut (IEEE, 2013):

$$C_s = 1 - \frac{0,09 \left(1 - \frac{\rho}{\rho_s} \right)}{2h_s + 0,09} \quad (4)$$

dimana:

- h_s : Ketebalan lapisan permukaan tanah (m)
- ρ : Tahanan jenis tanah ($\Omega\text{-m}$)
- ρ_s : Tahanan jenis permukaan tanah ($\Omega\text{-m}$)

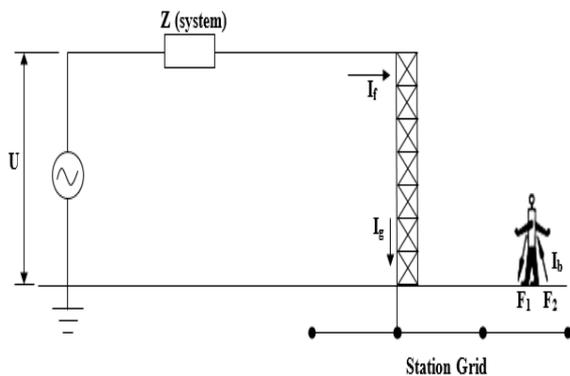
Pada tabel 2 ditunjukkan tegangan sentuh dan lama waktu pemutusan maksimum

Tabel 2. Tegangan sentuh dan lama waktu pemutusan maksimum (IEEE, 2013)

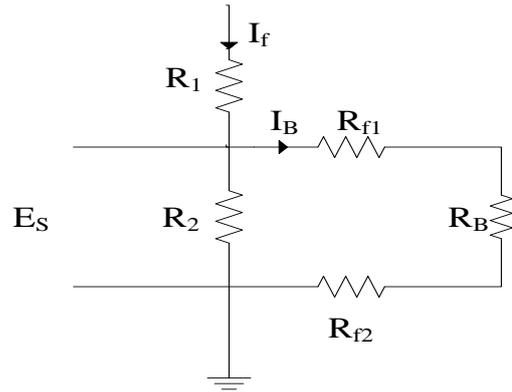
Lama Gangguan (detik)	Tegangan Sentuh yang Diizinkan (volt)
0,1	1.980
0,2	1.400
0,3	1.140
0,4	990
0,5	890
1,0	626
2,0	443
3,0	362

2.6. Tegangan Langkah

Tegangan langkah adalah tegangan yang timbul diantara kedua kaki orang yang sedang berdiri diatas tanah *switchyard* gardu induk yang sedang dialiri arus gangguan hubung singkat ke tanah. Dalam tegangan langkah ini di asumsikan jarak antara kedua kaki manusia yaitu 1 meter dan diameter kaki 8 cm (IEEE, 2013). Pada gambar 5 ditunjukkan peristiwa timbulnya tegangan langkah yang disebabkan mengalirnya arus gangguan hubung singkat ke *grid* pembumian dimana pada saat bersamaan manusia berdiri pada area gardu induk yang terhubung ke *grid* pembumian.



Gambar 5. Tegangan Langkah (IEEE, 2013)



Gambar 6. Rangkaian ekivalen tegangan langkah

Tegangan langkah dengan berat badan manusia yang digunakan 50 Kg dinyatakan pada persamaan (5) dan (6) berikut ini (IEEE, 2013) :

$$E_{s50} = (1000 + 6Cs \times \rho_s)Ib_{50} \quad (5)$$

$$Ib_{50} = \frac{0.116}{\sqrt{t_f}} \quad (6)$$

dimana :

- E_{s50} : Kriteria tegangan langkah untuk manusia dengan berat badan 50 kg
- Cs : Faktor reduksi resistivitas lapisan permukaan tanah
- ρ_s : Tahanan jenis permukaan tanah (Ohm-m)
- t_f : Lama gangguan (s)

Pada tabel 3 dapat dilihat tegangan langkah dan lama waktu pemutusan maksimum

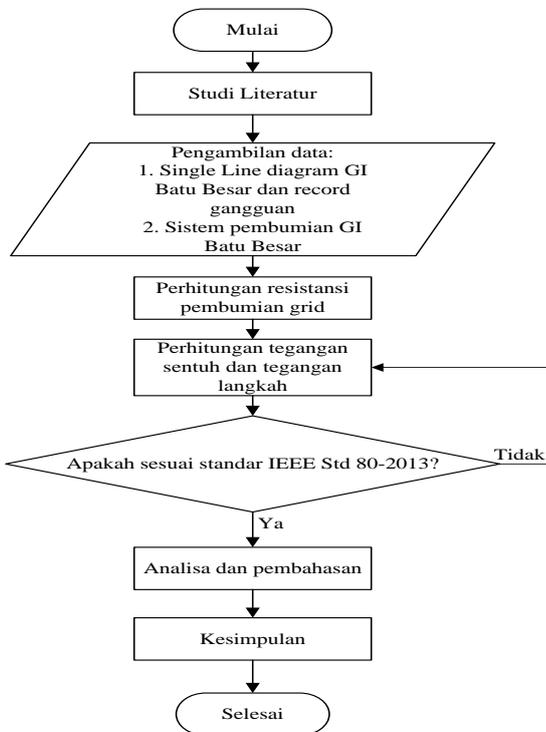
Tabel 3. Tegangan langkah dan lama waktu pemutusan maksimum (IEEE, 2013)

Lama Gangguan (detik)	Tegangan Sentuh yang Diizinkan (volt)
0,1	7.000
0,2	4.950
0,3	4.040
0,4	3.500
0,5	3.140
1,0	2.216
2,0	1.560
3,0	1.280

3. METODOLOGI PENELITIAN

Pada penulisan artikel ini dilakukan penelitian dengan data-data hasil pengukuran langsung pada Gardu Induk 150 kV Batu Besar milik PT. B'right PLN Batam. Kemudian setelah didapat data-data yang diperlukan, dilakukan perhitungan menggunakan rumus yang telah dituliskan. Selanjutnya, hasil yang didapat akan dibandingkan dengan standar keselamatan dan keamanan dari *IEEE Std 80-2013* sebagai acuan.

Prosedur yang digunakan untuk melaksanakan penelitian ini dapat dilihat pada gambar 7 dibawah ini :



Gambar 7. Flowchart penelitian

Pada Gambar 5 diatas menunjukkan proses perhitungan tegangan sentuh dan tegangan langkah berdasarkan *IEEE Std 80-2013*. Penelitian ini dimulai dengan studi literature yang bersumber dari perpustakaan dan jurnal online. Selanjutnya, dilakukan pengambilan data berupa *single line* diagram dan *record* gangguan hubung singkat. Serta pengukuran tahanan jenis tanah pada Gardu Induk 250 kV Batu Besar. Kemudian, dilakukan perhitungan resistansi pembumian *grid*. Selanjutnya,

dilakukan perhitungan tegangan sentuh dan tegangan langkah. Kemudian dilakukan perbandingan nilai yang didapat dengan standar *IEEE Std 80-2013*. Jika hasil sesuai, maka dilanjutkan dengan melakukan analisa dan membuat kesimpulan. Jika hasil tidak sesuai dengan standar, maka akan dilakukan perhitungan kembali untuk mendapatkan hasil sesuai standar yang diharapkan.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Perhitungan Resistansi Pembumian Grid

Perhitungan resistansi pembumian *grid* dilakukan dengan data-data sebagai berikut:

$$\rho : 100 \Omega\text{-m}$$

$$L_T : 1692 \text{ m}$$

$$A : 6230 \text{ m}^2$$

$$h : 0,3 \text{ m}$$

maka, didapat resistansi pembumian *grid* adalah :

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

$$R_g = 100 \left[\frac{1}{1692} + \frac{1}{\sqrt{20 \times 6230}} \left(1 + \frac{1}{1+0,3\sqrt{\frac{20}{6230}}} \right) \right]$$

$$R_g = 0,62 \Omega$$

4.2. Tegangan Sentuh

Pada perhitungan kriteria tegangan sentuh digunakan data-data sebagai berikut:

$$R_B : 1000 \Omega$$

$$\rho_s : 3000 \Omega\text{-m}$$

$$t_f : 0,5 \text{ s}$$

Dengan menggunakan persamaan (4), maka C_s :

$$C_s = 1 - \frac{0,09 \left(1 - \frac{\rho}{\rho_s} \right)}{2h_s + 0,09}$$

$$C_s = 1 - \frac{0,09 \left(1 - \frac{1000}{3000} \right)}{2(0,15) + 0,09}$$

$$C_s = 0,777$$

Maka didapat kriteria tegangan sentuhnya :

$$E_{\text{touch}50} = (1000 + 1,5 C_s \times \rho_s) \frac{0,116}{\sqrt{t_f}}$$

$$E_{\text{touch}50} = (1000 + 1,5 \times 0,777 \times 3000) \frac{0,116}{\sqrt{0,5}}$$

$$E_{\text{touch}50} = 737,65 \text{ V}$$

Tabel 4. Hasil Perhitungan tegangan sentuh

Berat Manusia (kg)	Tegangan Sentuh (E_t) (V)	Tegangan Sentuh Berdasarkan <i>IEEE Std 80-2013</i> (V)
50	737,65	890

Berdasarkan dari tabel 4 diatas, pada tegangan sentuh untuk manusia dengan berat badan 50 Kg didapat hasil sebesar 737,65 V. Nilai tersebut memenuhi standar dari tegangan sentuh yang diizinkan berdasarkan IEEE 80-2013 sebesar 890 V dengan durasi gangguan 0,5 detik. Jadi, *setting* waktu yang baik untuk proteksi gangguan yang memenuhi keamanan dan keselamatan manusia dengan berat 50 Kg adalah 0,5 detik.

4.3. Tegangan Langkah

Pada perhitungan kriteria tegangan langkah digunakan data-data sebagai berikut:

$$R_B : 1000 \Omega$$

$$\rho_s : 3000 \Omega\text{-m}$$

$$t_f : 0,5s$$

Maka, untuk nilai C_s nya adalah :

$$C_s = 1 - \frac{0,09(1 - \frac{\rho}{\rho_s})}{2h_s + 0,09}$$

$$C_s = 1 - \frac{0,09(1 - \frac{1000}{3000})}{2(0,15) + 0,09}$$

$$C_s = 0,777$$

Maka didapat kriteria tegangan langkahnya :

$$E_{step50} = (1000 + 6C_s \times \rho_s) \frac{0,116}{\sqrt{t_f}}$$

$$E_{step50} = (1000 + 6 \times 0,777 \times 3000) \frac{0,116}{\sqrt{0,5}}$$

$$E_{step50} = 2458,4 \text{ V}$$

Tabel 5 Hasil perhitungan tegangan langkah

Berat Manusia (kg)	Tegangan Langkah (E_t) (V)	Tegangan Langkah Berdasarkan <i>IEEE Std 80-2013</i> (V)
50	2.458,4	3.140

Berdasarkan tabel 5 diatas, pada tegangan langkah untuk manusia dengan berat badan 50 Kg didapat hasil 2458,4 V. nilai ini telah

memenuhi standar dari tegangan langkah yang diizinkan berdasarkan IEEE 80-2013 sebesar 3.140 V dengan durasi lama gangguan 0,5 detik. Dengan hasil ini, *setting* waktu yang baik untuk proteksi gangguan yang memenuhi standar keamanan dan keselamatan manusia dengan berat badan 50 Kg adalah 0,5 detik.

5. Kesimpulan

Dari hasil analisa dan perhitungan, maka didapat kesimpulan bahwa ada gardu induk Batu Besar 150/20 kV, didapat resistansi pembumian *grid* nya sebesar 0,62 Ω . Tahanan pembumian *grid* ini dinyatakan telah memenuhi standar <1 Ω . Tegangan sentuh dan tegangan langkah pada gardu induk Batu Besar berdasarkan durasi lama gangguan 0,5 detik dengan berat badan manusia 50 Kg didapat yaitu 737,65 V dan 2.458,43 V. Hasil ini sudah memenuhi standar tegangan sentuh dan tegangan langkah berdasarkan *IEEE Std 80-2013* untuk manusia dengan berat 50 Kg.

Daftar Pustaka

- Committee, Substations. 2013. *IEEE Std 80-2013 : IEEE Guide for Safety in AC Substation Grounding*. IEEE. USA.
- Hutauruk, TS. 1999. *Pengetanahan Netral Sistem Tenaga dan Pengetanahan Peralatan*. Jakarta. Erlangga
- Kasim, I. Abduh, S and Fitriyah, N. 2017. *The Effect of Mesh Size, Number of Rod & Length of Rod Towards Touch Voltage, Step Voltage and Ground Resistance in Grounding System*. International Conference on High Voltage and Power System. IEEE
- PUIL 2011 (Persyaratan Umum Instalasi Listrik 2011). Badan Standarisasi Nasional (BSN). Jakarta
- Simatupang, S. 2011. *Perhitungan Tahanan Pembumian Grid Pada Dua Lapis Tanah*. Medan. Repositori Universitas Sumatera Utara
- Tanjung, A. 2012. *Analisa Sistem Pentanahan Gardu Induk Bagan Batu Dengan Bentuk Konstruksi Grid (Kisi-kisi)*. Pekanbaru. Universitas Lancang Kuning