



JURNAL SUTET

Volume 6 - Nomor 1

Januari - Mei 2016

ISSN : 2356-1505

SISTEM PROTEKSI GENERATOR DENGAN TAHANAN TINGGI PADA PLTU LABUHAN ANGIN TERHADAP GANGGUAN SATU FASA KE BUMI

Rinna Hariyati; Heri Suyanto; Marisa Dosma Sitanggang

STUDI GANGGUAN FASA KE TANAH PADA GI YANG MENDAPAT SUPLAI MELALUI KOMBINASI SUTT DAN KABEL TANAH

Wahyudi SN; Tony Koerniawan; Pramudani Wanda Saraswati

PERANCANGAN PENYULANG SPINDEL PADA MOTOR INDUKSI POMPA BANJIR

Irvan Buchari Tamam; Aas Wasri Hasanah; Raka Primipara

EVALUATION OF MEDIUM VOLTAGE PROTECTION NETWORK 20 KV IN PLTD MERAWANG BANGKA

Juara Mangapul Tambunan; Albert Gifson; Harry Saputra

EVALUASI PERENCANAAN KELISTRIKAN

Zalmadi Syamsudin; Andi Makkulau; Lutfian Nizar

STUDI RELE DIFFERENSIAL PADA TRAFU INTERBUS DI GARDU INDUK TEGANGAN EKSTRA TINGGI GANDUL

Agung Hariyanto; Oktaria Handayani; Daru Kurniawan

ANALISIS PENGARUH KABEL TANAH TERHADAP TRANSFER VOLTAGE DENGAN VARIASI LUAS PENAMPANG KABEL DAN JARAK GARDU

Budi Santoso; Muchamad Nur Qosim; Husnul Khatimah Azhari



9 772356 150005

SEKOLAH TINGGI TEKNIK - PLN (STT-PLN)

JURNAL SUTET

VOL. 6

NO. 1

HAL.1 - 47

JANUARI - MEI 2016

ISSN : 2356-1505

STUDI GANGGUAN FASA KE TANAH PADA GI YANG MENDAPAT SUPLAI MELALUI KOMBINASI SUTT DAN KABEL TANAH

Wahyudi SN¹⁾, Tony Koerniawan²⁾, Pramudani Wanda Saraswati³⁾,

Teknik Elektro, Sekolah Tinggi Teknik - PLN

¹wahyudi.sarimun@sttpln.ac.id

²tonykoerniawan84@gmail.com

³pramudaniwanda11@gmail.com

Abstract : *Electrical energy is generated in power station and transmitted to the consumers through transmission lines and distribution lines. Transmission lines connected a power station and a substation and can connected substation and a substation. Transmission lines can be overhead line or underground cable. Sometimes the line consists of overhead lines combined with underground cable lines. Connection between overhead lines and underground cable is done in transition station. If a line to ground fault happens there will be a gradient voltage in the area of transition station and in the substation. In this paper will be studied the gradient voltage in the transition station related to the length of underground cable line.*

Keywords: *Transition station, ground potential rise, ground cables.*

Abstrak : *Penyaluran tenaga listrik dari pusat pembangkit ke beban harus melalui saluran transmisi dan saluran distribusi. Dari pusat pembangkit ke Gardu Induk dan dari Gardu Induk ke Gardu Induk lain energi listrik disalurkan melalui saluran udara tegangan tinggi (SUTT) atau saluran kabel tegangan tinggi (SKTT). Ada juga dari Gardu Induk ke Gardu Induk lain energi listrik disalurkan melalui SUTT dan SKTT. Antara Gardu Induk (GI) dan Gardu Induk (GI) lain yang menggunakan kombinasi SUTT dan SKTT, perlu ada sebuah gardu transisi. Ketika terjadi gangguan fasa ke tanah, arus gangguan pada gardu transisi yang dialirkan ke tanah akan menimbulkan kenaikan tegangan tanah di sekitar gardu transisi dan gardu induk. Pada skripsi ini akan dikaji kenaikan tegangan tanah pada gardu transisi dan hubungannya dengan panjang saluran kabel tanah.*

Kata Kunci : *Gardu transisi, kenaikan tegangan tanah, kabel tanah.*

1. PENDAHULUAN

Penyaluran tenaga listrik dari pusat pembangkit ke beban harus melalui saluran transmisi bisa berupa saluran udara tegangan tinggi (SUTT) atau saluran kabel tegangan tinggi (SKTT). Demikian juga tenaga listrik yang disalurkan dari Gardu Induk (GI) satu ke Gardu Induk (GI) lain disalurkan melalui SUTT atau SKTT. Namun karena keterbatasan lahan di tengah kota besar tidak memungkinkan hanya memakai SUTT saja untuk menyalurkan tenaga listrik sehingga perlu adanya kombinasi antara SUTT dan SKTT.

Adanya kombinasi antara SUTT dan SKTT maka perlu dibuat gardu transisi

(TS), dimana SUTT terhubung dengan SKTT. Karena keterbatasan lahan di gardu transisi (TS) sehingga nilai tahanan pembumian di sekitar gardu transisi (TS) besar. Hal ini dapat mengakibatkan kejutan listrik berupa tegangan langkah dan tegangan sentuh. Mungkin dapat membahayakan orang yang berada di sekitar gardu induk.

Penelitian ini menyajikan suatu teknik perhitungan dalam pengurangan besarnya nilai *ground potential rise* (GPR) pada gardu transisi secara sederhana dengan menambahkan perhitungan-perhitungan yang telah disesuaikan. Dimana teknik perhitungan ini dapat mengurangi resiko bahaya terhadap manusia.

2. LANDASAN TEORI

Gardu induk merupakan suatu instalasi peralatan listrik yang berfungsi sebagai pusat beban dari saluran transmisi. Gardu induk harus mempunyai sistem pembumian karena sistem pembumian gardu induk merupakan salah satu bagian yang cukup penting dari suatu sistem kelistrikan. Hal ini dikarenakan sistem pembumian secara umum berguna untuk menjaga keselamatan manusia dan kerusakan peralatan jika terjadi gangguan fasa ke tanah di gardu induk.

Sistem pembumian di gardu induk yang umum saat ini adalah menggunakan elektroda batang (*rod*), pembumian grid, dan elektroda batang (*rod*) kombinasi dengan pembumian grid.

2.1 Tahanan Pembumian

Pembumian pada gardu induk umumnya menggunakan *grid* (jala) atau menggunakan elektroda batang. Pada grid dapat dijumpai adanya mata jala yang disebut dengan *mesh*. Tahanan pembumian bergantung pada tahanan jenis tanah, panjang elektroda batang, diameter konduktor *grid*, luas *grid*, jumlah mesh serta kedalaman *grid*.

2.2 Tahanan Jenis Tanah

Dalam Persyaratan Umum Instalasi Listrik tahun 2000 (PUIL 2000) nilai tahanan jenis tanah (*soil resistivity*) dapat dilihat pada tabel berikut ini :

Tabel 2.1 Nilai Tahanan Jenis Tanah menurut PUIL 2000

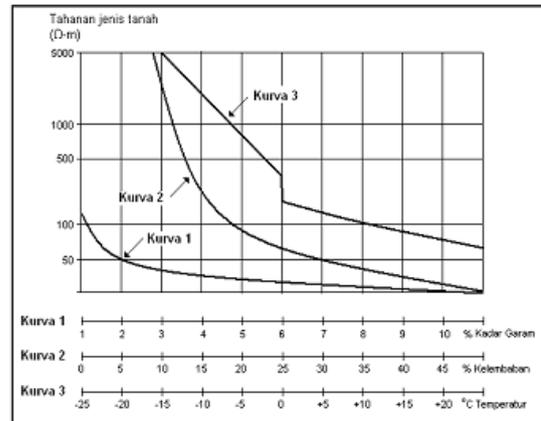
| Jenis Tanah | Tahanan Jenis Tanah ($\Omega\cdot m$) |
|-----------------------------|---|
| Tanah Rawa | 30 |
| Tanah Liat dan Tanah Lapang | 100 |
| Pasir Basah | 200 |
| Kerikil Basah | 500 |
| Pasir dan Kerikil Kering | 1000 |
| Tanah Berbatu | 3000 |

Sumber: Persyaratan Umum Instalasi Listrik, SNI 04-0225-2000, hal 80.

Nilai tahanan jenis tanah pada kedalaman yang terbatas sangat bergantung dengan keadaan cuaca, dan biasanya tahanan tanah juga tergantung

dari tingginya permukaan tanah dari permukaan air yang konstan.

Faktor-faktor yang mempengaruhi nilai tahanan jenis tanah ditunjukkan pada gambar 2.1:



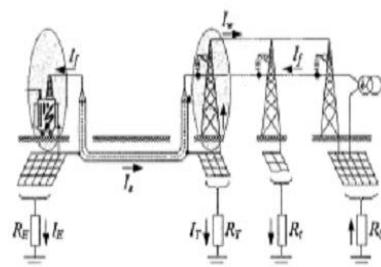
Sumber: IEEE Guide For Safety in AC Substation Grounding, ANSI/IEEE Std 80-1986

Gambar 2.1 Pengaruh Kadar Garam, Kelembaban dan Temperatur terhadap Tahanan Jenis Tanah.

3. METODE PENELITIAN

3.1 Gangguan Satu Fasa ke Tanah Pada GI

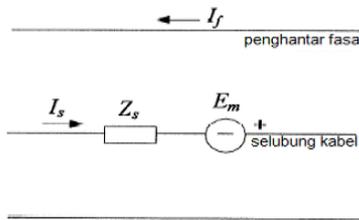
Pada saat terjadi gangguan di gardu induk yang mendapat suplai melalui kombinasi SUTT dan kabel tanah, arus gangguan akan mengalir sebagian ke tanah melalui sistem pembumian, sebagian kembali ke sumber melalui selubung kabel yang kemudian mengalir melalui kawat tanah. Gambar 3.1 menunjukkan bagaimana arus gangguan terdistribusi antara gardu induk.



Gambar 3.1 Gangguan fasa ke tanah pada gardu induk yang di suplai melalui kombinasi saluran udara dan kabel tanah.

3.2 Rangkaian Ekuivalen Selubung Kabel

Apabila saluran kabel terdiri dari tiga kabel berinti satu dengan selubung isolasi sepanjang saluran dan dibumikan pada kedua ujungnya saja, bagian selubung kabel pada gambar 3.1 dapat diwakili oleh gambar 3.2.



Gambar 3.2 Rangkaian ekuivalen gangguan fasa ke tanah pada selubung kabel.

Z_{CS} adalah impedansi bersama antara selubung kabel dan penghantar fasa dengan saluran pembumian yang sama; Z_S adalah impedansi milik selubung kabel, kedua impedansi Z_{CS} dan Z_S beroperasi secara paralel dengan saluran pembumian yang sama. Kedua impedansi dapat dihitung dengan persamaan di bawah ini.

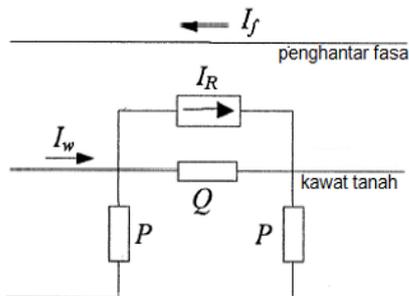
$$Z'_s = R'_s + \omega \frac{\mu_0}{8} + j\omega \frac{\mu_0}{2\pi} \ln \frac{\delta}{r_k} \quad \Omega/\text{km}$$

Dan :

$$Z'_{cs} = \omega \frac{\mu_0}{8} + j\omega \frac{\mu_0}{2\pi} \ln \frac{\delta}{r_k} \quad \Omega/\text{km}$$

3.3 Rangkaian Ekuivalen Saluran Udara

Selama terjadinya gangguan fasa ke tanah pada gardu induk nilai tahanan kaki menara diasumsikan konstan sepanjang saluran. Rangkaian ekuivalen untuk menggambarkan impedansi kawat tanah, seperti terlihat pada gambar 3.3 berikut ini.



Gambar 3.3 Rangkaian ekuivalen gangguan fasa ke tanah pada saluran udara.

Arus gangguan mengalir melalui kawat tanah berkaitan dengan sambungan induktifnya dengan penghantar fasa, menjadikan Z_{CW} sebagai impedansi bersama pada kawat tanah dan penghantar fasa dan Z_W merupakan impedansi diri kawat tanah. Untuk rangkaian dalam gambar 3.3 impedansi ekuivalen Q dan P adalah :

$$Q = \frac{k^{2N}-1}{k^N+k^{N+1}} Z_{\infty}$$

$$P = \frac{k^N+1}{k^N-k} Z_{\infty}$$

Dimana nilai k dinyatakan dalam persamaan:

$$k = 1 + \frac{Z_{\infty}}{R_t}$$

Nilai impedansi ini dapat dihitung dengan rumus berikut :

$$Z_{\infty} = \frac{Z_w}{2} + \sqrt{R_t Z_w + \frac{Z_w^2}{4}}$$

Dimana :

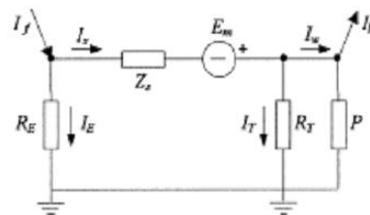
N = total jumlah gawang

k = faktor distribusi arus dengan mengasumsi bahwa jumlah satuan N tak terbatas

R_t = tahanan kaki menara

3.4 Menghitung Nilai Ground Potential Rise (GPR)

Berdasarkan kombinasi rangkaian ekuivalen selubung kabel dan rangkaian ekuivalen saluran udara dapat di gantikan oleh persamaan yang diberikan pada gambar berikut ini :



Gambar 3.4 Rangkaian ekuivalen bersama kawat tanah dan selubung kabel

Penerapan hukum Kirchoff arus dan tegangan ke rangkaian dalam gambar 3.4. Persamaannya adalah :

$$I_T = I_f \frac{r_w R_E + (r_w - r_s) Z_s}{Z_s + Z_P + R_E} \times \frac{Z_P}{R_T}$$

Dimana :

$$Z_p = \frac{R_T \times P}{R_T + P}$$

Koefisien r_s dan r_w adalah faktor reduksi dari selubung kabel dan kawat tanah, dengan persamaan sebagai berikut :

$$r_s = 1 - \frac{Z_{cs}}{Z_s}$$

$$r_w = 1 - \frac{Z_{cw}}{Z_w}$$

Maka *ground potensial rise* (GPR) pada gardu transisi dapat dihitung dengan persamaan :

$$U_T = I_T R_T = I_f \frac{r_w R_E + (r_w - r_s) Z_s}{Z_s + Z_p + R_E} Z_p$$

Keterangan :

I_T : Arus gangguan yang mengalir pada sistem pembumian gardu transisi

I_f : Arus gangguan total

R_T : Tahanan pembumian di gardu transisi

R_E : Tahanan pembumian pada sistem pembumian gardu induk

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Umum

Nilai *ground potensial rise* (GPR) antara lain bergantung bergantung pada panjang saluran kabel tanah dan tahanan pembumian. Perhitungan dengan persamaan-persamaan tersebut dengan menggunakan kabel XLPE 150 KV-Cu-1000 mm². Dengan kombinasi panjang saluran udara : saluran kabel tanah yaitu 1:5, 2:5, 3:5, 4:5, 1:1, dimana panjang saluran kabel tanah 2 km, 4 km, 6 km, 8 km, 10 km dan memasukkan data tahanan pembumian gardu transisi yang berbeda yaitu 0,5 Ω, 1 Ω, 2 Ω. Pada tulisan ini di asumsikan bahwa nilai tahanan jenis tanah di sepanjang saluran adalah konstan sebesar 50 Ωm.

4.2 Perhitungan Impedansi Kawat Tanah Dan Selubung Kabel

Untuk menghitung beberapa nilai parameter yang dicari, perlu ditentukan data saluran udara tegangan tinggi diantaranya :

| | |
|--|----------------------|
| Panjang Saluran | : 10 km |
| Jarak antar gawang | : 250 m |
| Jumlah Menara | : 40 |
| Jenis Kawat Tanah | : Baja |
| Luas penampang kawat tanah | : 50 mm ² |
| Resistansi kawat tanah | : 3,620 Ω/km |
| GMD (<i>Geometric Mean Distance</i>) | : 6,48 m |
| Tahanan pembumian gardu induk | : 0,1 Ω |

Dari data-data di atas dapat dihasilkan nilai Z_w dan Z_{cw} .

$$Z_w = r_c + 0,000988f + j0,0028938f \log \frac{\delta}{\text{GMR}} \quad (\Omega/\text{km})$$

$$Z_{cw} = 0,000988f + j0,0028938f \log \frac{\delta}{\text{GMD}} \quad (\Omega/\text{km})$$

GMR (*Geometric Mean Radius*) atau Radius Rata-rata Geometris dari kawat tanah, dapat di hitung dengan rumus:

GMR=

$$\sqrt[37]{\left[(r')^{27} (6r^{-11} \sqrt{18})^{18 \times 17} (4r^{-11} \sqrt{12})^{12 \times 11} (2r^{-5} \sqrt{6})^{6 \times 5} (6r)^{18 \times 19 \times 2} (4r)^{12 \times 7 \times 2} (2r)^{6 \times 2} \right]}$$

$$= 5,3744 r$$

$$= 5,3744 \times 0,6649$$

$$= 3,5734 \text{ mm}$$

Maka didapat nilai Z_w dan Z_{cw} dan factor reduksi kawat tanah dan komponen-komponen yang lain yaitu :

$$Z_{cw} = 0,000988(50) + j0,0028938(50) \log \frac{658 \times 10^{-3}}{6,48 \times 10^{-3}} \quad \Omega/\text{km}$$

$$= (0,0494 + j0,2904) \quad \Omega/\text{km}$$

$$Z_w = (0,0494 + j0,2904) \quad \Omega/\text{km} \cdot 10 \text{ km}$$

$$= (0,4940 + j2,9040) \quad \Omega$$

$$r_w = 1 - \frac{Z_{cw}}{Z_w}$$

$$r_w = 1 - \frac{(0,4940 + j2,9040)}{(36,6940 + j0,0660)}$$

$$r_w = 0,9896$$

$$Z_{\infty} = \frac{Z_w}{2} + \sqrt{R_t Z_w + \frac{Z_w^2}{4}}$$

$$Z_{\infty} = 19,4198 \Omega$$

$$k = 1 + \frac{Z_{\infty}}{R_t}$$

$$k = 1 + \frac{19,4198 \Omega}{10 \Omega}$$

$$k = 2,9411$$

$$Q = \frac{k^{2N} - 1}{k^{N+1} + k^{N+1}} Z_{\infty}$$

$$Q = \frac{2,9411^{20} - 1}{2,9411^{10} + 2,9411^{10}} \times 19,4198$$

$$Q = 2,7103 \times 10^{19}$$

$$P = \frac{k^{N+1}}{k^N - k} Z_{\infty}$$

$$P = \frac{2,9411^{40} + 1}{2,9411^{40} - 2,9411} \times 19,4198$$

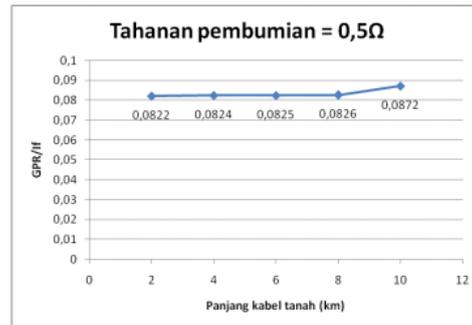
$$P = 19,4198$$

4.3 Perhitungan (GPR) Pada Gardu Transisi

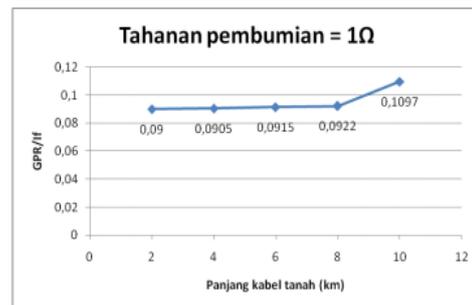
Hasil perhitungan Ground Potential Rise (GPR) / Falt Current dapat dilihat pada table dan grafik di bawah ini sebagai fungsi dari panjang saluran kabel dengan tahanan pembumian gardu transisi dengan berbagai nilai diantaranya 0,5Ω; 1Ω dan 2Ω.

Tabel 4.1. Perbandingan Hasil Perhitungan Ground Potential Rise (GPR) / Fault Current (If)

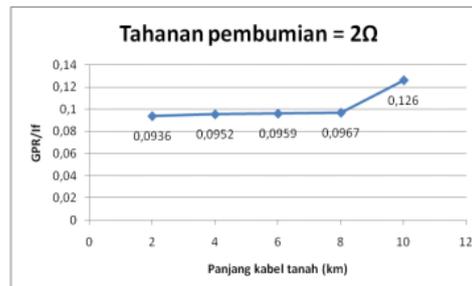
| Panjang Kabel \ Tahanan Pembumian | 2 km | 4 km | 6 km | 8 km | 10 km |
|-----------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 0,5 Ω | 0,0822 | 0,0824 | 0,0825 | 0,0826 | 0,0872 |
| 1 Ω | 0,0900 | 0,0905 | 0,0915 | 0,0922 | 0,1097 |
| 2 Ω | 0,0936 | 0,0952 | 0,0959 | 0,0967 | 0,1260 |



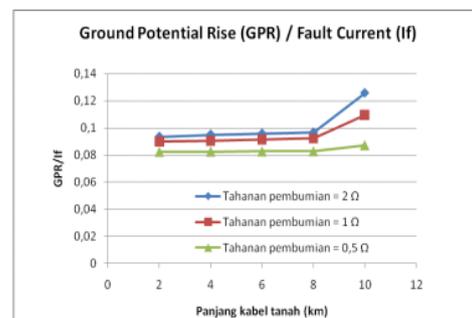
Gambar 4.1 Grafik Ground Potential Rise (GPR) / Fault Current (If) sebagai Fungsi dari Panjang Saluran Kabel dengan Tahanan Pembumian Gardu Transisi 0.5 Ω



Gambar 4.2 Grafik Ground Potential Rise (GPR) / Fault Current (If) sebagai Fungsi dari Panjang Saluran Kabel dengan Tahanan Pembumian Gardu Transisi 1 Ω



Gambar 4.3 Grafik Ground Potential Rise (GPR) / Fault Current (If) sebagai Fungsi dari Panjang Saluran Kabel dengan Tahanan Pembumian Gardu Transisi 2 Ω



Gambar 4.4 Grafik Ground Potential Rise (GPR) / Fault Current (If) sebagai Fungsi dari Panjang Saluran Kabel dengan Tahanan Pembumian yang berbeda.

5. KESIMPULAN

1. Semakin panjang saluran kabel tanah maka *nilai ground potential rise* (GPR) / *fault current* (If) pada gardu transisi akan semakin besar, dimana untuk tahanan pembumian gardu transisi $0,5 \Omega$ dan panjang saluran kabel tanah 2 km maka nilai *ground potential rise* (GPR) / *fault current* (If) nya 0.0822, sedangkan untuk panjang saluran kabel tanah kabel 4 km sebesar 0.0824, untuk 6 km sebesar 0.0825, untuk 8 km sebesar 0.0826, dan untuk 10 km menjadi 0.0872.
2. Semakin besar tahanan pembumian gardu transisi, maka nilai *ground potential rise* (GPR) / *fault current* (If) semakin besar, hal ini terlihat pada gardu transisi dengan panjang saluran kabel tanah 2 km dimana tahanan pembumian $0,5 \Omega$ maka besar *ground potential rise* (GPR) / *fault current* (If) nya 0.0822, sedangkan untuk 1Ω sebesar 0.0900, dan untuk 2Ω menjadi 0.0936.

6. REFERENSI

1. Badan Standarisasi Nasional, Peraturan Umum Instalasi Listrik Indonesia 2000 (PUIL 2000).
2. Engineering Society, "IEEE Guide For Safety In AC Substation Grounding", American National Standards Institute / IEEE Standard 80, 1986.
3. Hutauruk, TS, Ir, M.E.E, "Pengetanahan Netral dan Sistem Tenaga dan Pengetanahan Peralatan", Institut Teknologi Bandung & Universitas Trisakti, Erlangga, Jakarta, Cetakan ketiga, 1999.
4. Hutauruk, TS, Ir, M.E.E, "Transmisi Daya Listrik", Institut Teknologi Bandung & Universitas Trisakti, Jakarta, 1985.
5. Stefano Mangione, "A Simple Method for Evaluating Ground-Fault Current Transfer at the Transition Station of a Combined Overhead-Cable Line", IEEE Transactions on Power Delivery. Vol.23 No 3, Juli 2008.