

EVALUASI TEGANGAN SENTUH DAN TEGANGAN LANGKAH GARDU INDUK (GI) 150 kV KOTA BARU AKIBAT PERUBAHAN RESISTIVITAS TANAH

Yoga Septria

Program Studi Teknik Elektro Jurusan Teknik Elektro
Fakultas Teknik Universitas Tanjungpura

Yoga_vintage@yahoo.com

***Abstrak-**Sistem pentanahan adalah sistem hubungan penghantar yang menghubungkan sistem kelistrikan, peralatan, dan instalasi dengan bumi/tanah sehingga dapat mengamankan manusia dari sengatan listrik, dan mengamankan komponen-komponen instalasi dari bahaya tegangan atau arus abnormal. Sehingga sistem pentanahan menjadi bagian esensial dari sistem tenaga listrik. Oleh karena itu sangat perlu dilakukan perhitungan yang dapat melihat sejauh mana tegangan sentuh dan tegangan langkah tersebut. Data untuk melakukan perhitungan diperoleh dari UPK (Unit Pelaksana Konstruksi) yaitu selaku pelaksana pembangunan Gardu Induk 150 kV Kota Baru Pontianak Skripsi ini meneliti tegangan sentuh dan tegangan langkah pada Gardu Induk (GI) 150 kV Kota Baru sebagai akibat dari perubahan resistivitas tanah. Dari hasil yang didapat dengan melakukan perhitungan manual untuk tegangan sentuh maksimum sebenarnya diperoleh hasil 262 volt dan tegangan langkah sebenarnya dengan nilai 223 volt. Melihat nilai dari perbandingan diatas maka desain pentanahan Gardu Induk 150 kV Kota Baru Pontianak memenuhi persyaratan, dikarenakan tidak melebihi tegangan sentuh dan tegangan langkah yang diizinkan yaitu 270 volt untuk tegangan sentuh yang diizinkan dan 972 volt untuk tegangan langkah yang diizinkan.*

Kata Kunci : Tegangan Sentuh, Tegangan Langkah, Gardu Induk 150kV Kota Baru, Sistem

1. Pendahuluan

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

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 belum digunakan ketika sistem tenaga masih memiliki ukuran kapasitas yang kecil (sekitar tahun 1920). Dengan ukuran sistem seperti ini, bila ada gangguan ke tanah pada sistem dan dimana besarnya arus gangguan sama atau kurang dari 5 ampere, busur api yang timbul antara sistem dan tanah akan padam dengan sendirinya.

Arus gangguan listrik yang terjadi semakin besar seiring sistem tenaga listrik yang berkembang semakin besar, dan ini sangat berbahaya bagi sistem, karena bisa menimbulkan tegangan lebih transien yang sangat tinggi. Oleh karena itu, para ahli kemudian merancang suatu sistem yang membuat sistem tenaga tidak lagi mengambang (terisolir dari bumi). Sistem tersebut

kemudian dikenal dengan sistem pentanahan (grounding system).

2. Dasar Teori

2.1 Karakteristik Tanah

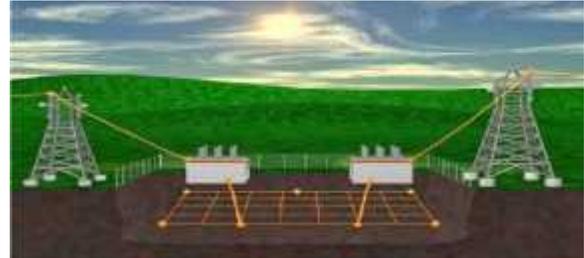
Dalam pengertian teknik secara umum, tanah didefinisikan sebagai material yang terdiri dari butiran mineral-mineral padat yang tidak terikat secara kimia disertai dengan zat cair dan gas yang mengisi ruang-ruang kosong diantara partikel-partikel padat tersebut (Braja M. Das, 1995). Material endapan yang disebut tanah dapat terdiri tiga bagian, yaitu :

- a. Butiran tanah (soil), ukuran makroskopis atau mikroskopis
- b. Ruang pori (void), merupakan ruang terbuka antara butiran tanah.
- c. Air (water), yang mengisi pori-pori (air pori) dalam keadaan jenuh atau sebagian.

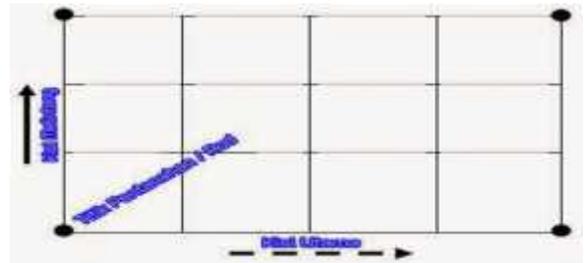
Tubuh tanah (solum) tidak lain adalah batuan yang melapuk dan mengalami proses pembentukan lanjutan. Usia tanah yang ditemukan saat ini tidak ada yang lebih tua dari pada periode tersier dan kebanyakan terbentuk dari masa pleistosen. Tubuh tanah terbentuk dari campuran bahan organik dan mineral. Tanah non-organik atau tanah mineral terbentuk dari batuan sehingga mengandung mineral. Sebaliknya, tanah organik terbentuk dari pemadatan terhadap bahan organik yang terdegradasi. Warna tanah merupakan ciri utama yang paling mudah di ingat orang. Warna tanah sangat bervariasi mulai dari hitam kelam, coklat, merah bata, jingga kuning hingga putih. Selain itu dapat memiliki lapisan-lapisan dengan perbedaan warna yang kontras sebagai akibat proses kimia (pengasaman) atau pencucian. Tanah berwarna hitam atau gelap seringkali menandakan kehadiran bahan organik yang tinggi, baik karena pelapukan vegetasi maupun proses pengendapan di rawa-rawa. Warna gelap juga dapat disebabkan oleh kehadiran belerang dan nitrogen. Warna tanah kemerahan atau kekuningan biasanya disebabkan kandungan besi teroksidasi yang tinggi, warna yang berbeda terjadi karena pengaruh kondisi proses kimia pembentukannya. Suasana oksidatif menghasilkan warna yang seragam atau perubahan warna bertahap, sedangkan suasana reduktif membawa pada pola warna yang bertotol-totol atau warna yang terkonsentrasi.

2.2 Pentanahan Grid

Dalam sistem pentanahan grid sulit mencari nilai tahanan pentanahan, karena susunan grid agak kompleks. Sehingga digunakan metode bujur sangkar, dengan anggapan bahwa muatan yang tersebar pada permukaan konduktor yang membentuk grid adalah sama.



Gambar 1. Bentuk Pentanahan Grid Pada Gardu Induk (GI)



Gambar 2. Mesh Pentanahan Grid Pada Gardu Induk.

2.2 Data Pentanahan Grid

Data yang di peroleh dari GI 150 kV adalah sebagai berikut :

1. Data arus gangguan
2. Tata letak layout GI 150 kV Kota Baru
3. Pentanahan Grid GI 150 kV Kota Baru
4. luas penampang grid pentanahan 150 mm²
5. Waktu trip CB nya pada saat open 30 ms dan pada saat close 120 ms.

2.3 Tahanan Jenis Tanah

Tahanan jenis tanah dapat di hitung dengan menggunakan persamaan berikut :

$$\rho = 2 \pi aR$$

2.4 Tata Letak (Layout)

Grid pentanahan menggunakan konduktor tembaga bulat yang di tanam pada seluruh batas gardu induk. Pengaturan pada suatu gardu induk dapat dilihat pada gambar. Grid pentanahan harus dari bahan onneakad high conductivity standart (bahan yang berpenghantar tinggi) dan harus

mempunyai luas penampang minimal 150 mm² dan di tanam di kedalaman 80 cm. Minimum harus di sediakan 4 connection grid pentanahan untuk switchgear 150 kV dan switchger rooms 20 kV, sesuai dengan data yang ada pada GI 150 kV Kota Baru Pontianak

2.5 Arus Fibrilasi

Besarnya arus fibrilasi yang mengalir ketubuh manusia dapat di hitung menggunakan persamaan berikut ini :

$$K_{50} = 0.116$$

$$I_k = \frac{0.116}{\sqrt{t}}$$

2.6 Jumlah Batang Pentanahan

Jumlah titik pentanahan dan jumlah elektroda pentanahan akan disesuaikan dengan hasil tes tahanan pentanahan. Untuk setiap bay jumlah titik pentanahan sekurang-kurangnya 9 elektroda copper rod diameter min 15 mm dengan panjang setiap batang 3,5 meter di pancangkan pada tanah asli dengan jarak satu dan lainnya tidak kurang dari panjang batang. Untuk menentukan jumlah batang pentanahan menggunakan persamaan berikut :

$$i = 3.1414 \times 10^{-5} d \sqrt{\frac{80}{\rho t}}$$

2.7 Tegangan Sentuh

Tegangan sentuh yang dapat di tentukan dengan persamaan rumus (2.1) dan dapat di lakukan perhitungan sebagai berikut dari data yang kita dapat.

$$E_s = I_k (R_k + 1,5 \cdot \rho_s)$$

2.8 Tegangan Langkah

Untuk mencari nilai hasil dari tegangan langkah dapat menggunakan rumus (2.2) sebagai berikut :

$$E_l = I_k (R_k + 6 \rho_s)$$

2.9 Tegangan Sentuh Sebenarnya

Untuk mencari nilai tegangan sentuh sebenarnya dapat ditentukan dengan persamaan sebagai berikut :

$$E_m = K_m K_i \rho \frac{I}{L}$$

2.10 Tegangan Langkah Sebenarnya

Tegangan langkah maksimum sebenarnya dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$E_{tm} = K_s K_i \rho \frac{I}{L}$$

2.11 Tahanan Ekuivalen

Untuk menghitung tahanan ekuivalen dari sistem pentanahan switchyard kita dapat menggunakan persamaan berikut ini :

$$R_o = \frac{\rho}{4r} + \frac{\rho}{L}$$

3. Perhitungan Data

3.1 Perhitungan Arus Fibrilasi Untuk Berat Badan 50 kg

$$I_k = \frac{0.116}{\sqrt{t}}$$

$$I_k = \frac{0.116}{\sqrt{0,3}}$$

$$I_k = \frac{0.116}{0,55}$$

$$I_k = 0,21 \text{ A}$$

3.2 Perhitungan Arus Fibrilasi Untuk Berat Badan 70 kg

$$I_k = \frac{0.157}{\sqrt{t}}$$

$$I_k = \frac{0.157}{\sqrt{0,3}}$$

$$I_k = \frac{0.157}{0,55}$$

$$I_k = 0,28 \text{ A}$$

3.3 Perhitungan Tegangan Sentuh Untuk Berat Badan 50 kg

$$\begin{aligned} E_s &= I_k (R_k + 1,5 \rho_s) \\ &= 0,21 (1140 + 1,5 \cdot 98,3) \\ &= 0,21 (1287,45) \\ &= 270 \text{ V} \end{aligned}$$

3.4 Perhitungan Tegangan Sentuh Untuk Berat badan 70 kg

$$\begin{aligned} E_s &= I_k (R_k + 1,5 \rho_s) \\ &= 0,28 (1140 + 1,5 \cdot 98,3) \\ &= 0,28 (1287,45) \\ &= 360 \text{ V} \end{aligned}$$

3.5 Perhitungan Tegangan Langkah Untuk berat badan 50 kg

$$\begin{aligned} E_l &= I_k (R_k + 6 \rho_s) \\ &= 0,21 (4040 + 6 \cdot 98,3) \\ &= 0,21 (4629,8) \\ &= 972 \text{ V} \end{aligned}$$

3.6 Perhitungan Tegangan Langkah untuk berat badan 70 kg

$$\begin{aligned} E_l &= I_k (R_k + 6 \rho_s) \\ &= 0,28 (4040 + 6 \cdot 98,3) \\ &= 0,28 (4629,8) \\ &= 1296 \text{ V} \end{aligned}$$

3.7 Desain Sistem Pentanahan

Sistem pentanahan peralatan-peralatan pada gardu induk biasanya menggunakan konduktor yang ditanam secara horizontal, dengan betuk kisi-kisi (grid). Konduktor pengtanahan biasanya terbuat dari batang tembaga keras dan memiliki konduktivitas tinggi, terbuat dari kabel tembaga yang di pilin (bare standart copper) dengan luas penampang minimum 150 mm² dan mempunyai kemampuan arus hubung tanah selama 1 detik. Konduktor itu ditanam sedalam 80 cm.

Kisi-kisi pentanahan bersambungan satu dengan yang lainnya dan dihubungkan dengan batang pentanahan yang terdiri-dari batang tembaga. Batang tembaga ini berdiameter 15 mm, dengan panjang setiap batang 3,5 m dipancangkan pada tanah asli dengan jarak satu dan lainnya tidak kurang dari panjang batang dengan jarak lebih dari 5 meter terhadap kisi-kisi pentanahan utama.

3.8 Tata Letak (Layout)

Kisi-kisi (grid) pentanahan menggunakan konduktor tembaga bulat yang ditanam pada seluruh batas gardu induk. Pengaturan tata letak sistem pengtanahan pada suatu gardu induk dapat dilihat pada gambar dibawah. Pada gambar tersebut diberikan panjang konduktor termasuk batang pentanahan = 1386 meter

3.9 Tahanan Jenis Tanah

Kondisi cuaca berpengaruh pada kandungan air tanah gambut dan pada tahanan jenis tanah gambut. Pada saat hujan, kandungan air tanah tinggi menghasilkan tahanan jenis tanah rendah, yaitu 98,3 .m. Pada saat kering, kandungan air tanah rendah menghasilkan tahanan jenis tanah tinggi, yaitu 110,08 .M (9 hari setelah turun hujan terakhir) dan 112,05 .m (12 hari setelah turun hujan terakhir).

3.10 Jumlah Batang Pentanahan Yang Diperlukan

Kerapatan arus yang diizinkan pada permukaan batang pentanahan dapat dihitung dengan persamaan (3.3) berikut :

$$\begin{aligned} i &= 3.1414 \times 10^{-5} d \sqrt{\frac{\delta \theta}{\rho t}} \\ &= 3.1414 \times 10^{-5} \cdot 15 \sqrt{\frac{1750000 \cdot 50}{98,3 \cdot 0,3}} \\ &= 3.1414 \times 10^{-5} \cdot 15 \sqrt{\frac{87500000}{29,49}} \\ &= 3.1414 \times 10^{-5} \cdot 15 \sqrt{2967107,5} \\ &= 3.1414 \times 10^{-5} \cdot 15 \cdot 1722,5 \\ &= 3.1414 \times 10^{-5} \cdot 25837,5 \\ &= 0,811 \text{ A/cm} \end{aligned}$$

. Jadi bila besar arus gangguan 3300 amper maka jumlah batang pentanahan minimum dengan panjang 3,5 meter.

$$\frac{3300 \text{ A}}{3,5 \text{ M} \times 100 \times 0,811 \text{ A/Cm}} = 12 \text{ Batang}$$

3.11 Data Arus Gangguan

Dari data di APDP Pontianak besar arus gangguan tanah maksimum pada tegangan sistem 150 kV adalah sebagai berikut :

Tabel 1 Data Arus Gangguan

Gardu Induk	Short Circuit 150 KV	
	3P (KA)	LG (KA)
Sei Raya	5.7	3.7
Siantan	6.2	4.4
Kota Baru	4.8	3.3
Parit Baru	6	4.1
Senggiring	5.5	3.7
Singkawang	6.4	5.6
Sambas	3.5	2.4
Bengkayang	9	8

3.12 Perhitungan Tegangan Sentuh Sebenarnya

Maka kita dapat menghitung tegangan mesh atau tegangan sentuh maksimum sebenarnya sebagai berikut

$$E_m = K_m K_i \rho \frac{I}{L}$$

$$\begin{aligned} E_m &= 0,442 \times 2,542 \times 98,3 (3300/1386) \\ &= 110,44 (2,38) \\ &= 262 \text{ volt (untuk kondisi hujan)} \end{aligned}$$

$$E_m = 0,442 \times 2,542 \times 110,08 \text{ (3300/1386)}$$

$$= 123,7 \text{ (2,38)}$$

$$= 294 \text{ volt (untuk kondisi kering/panas)}$$

3.13 Perhitungan Tegangan Langkah Sebenarnya

Tegangan langkah maksimum sebenarnya dapat dihitung dengan persamaan (3.7) berikut :

$$E_{lm} = K_s K_i \rho \frac{I}{L}$$

$$E_{lm} = 0,3758 \times 2,542 \times 98,3 \text{ (3300/1386)}$$

$$= 93,9 \text{ (2,38)}$$

$$= 223 \text{ volt (untuk kondisi hujan)}$$

$$E_{lm} = K_s K_i \rho \frac{I}{L}$$

$$= 0,3758 \times 2,542 \times 110,08 \text{ (3300/1386)}$$

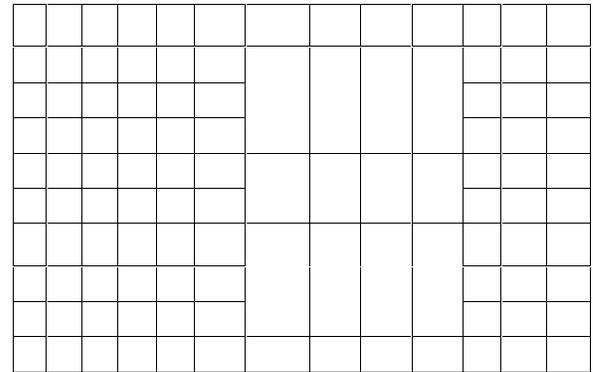
$$= 105,15 \text{ (2,38)}$$

$$= 250 \text{ volt (untuk kondisi panas/kering)}$$

Hasil perhitungan tegangan-tegangan mesh dan tegangan langkah untuk gardu induk tersebut dapat dilihat dan dikumpulkan dalam tabel berikut :

Tabel 2 Perhitungan Tegangan sentuh dan tegangan langkah

No	Spesifikasi	Satuan	Harga
1	Tahanan Jenis Tanah (ρ)	.m	98.3
2	Jumlah Konduktor Paralel dalam kisi-kisi utama (n)	-	11
3	Koeffisien K_m	-	0,442
4	$K_i = 0,65 + 0,172 n$	-	2,542
5	Panjang Konduktor Pentanahan yang ditanam (L)	m	1386
6	Koeffisien K_s	-	0,3758
7	Tegangan Sentuh yang diizinkan (E_s)	volt	270 & 360
8	Tegangan Langkah yang diizinkan (E_l)	volt	972 & 1296
9	Tegangan Mesh/Tegangan Sentuh Maksimum Sebenarnya (E_m)	volt	262 & 294
10	Tegangan Langkah Sebenarnya (E_{lm})	volt	223 & 250



Gambar 3. Sistem Pentanahan Gardu Induk

Dari gambar diatas sistem pentanahan Gardu Induk dilengkapi dengan batang pentanahan sebanyak 20 buah dan panjang konduktor kisi-kisi utama sebanyak 11 buah dan panjang konduktor kisi-kisi melintang sebanyak 14 buah dengan panjang 50 m dan lebar 56 m serta panjang setiap batang 3,5 m. Maka panjang seluruh konduktor adalah 1386 meter. Hal ini dilakukan agar kita dapat mengetahui desain dari Grounding Gardu Induk Kota Baru Pontianak berapa banyak panjang konduktor kisi-kisi utamanya, panjang konduktor kisi-kisi melintang, baying pentanahan serta panjang total konduktor nya.

3.14 Menghitung Tahanan Ekuivalen

Untuk menghitung tahanan ekuivalen dari sistem pentanahan switchyard kita dapat menggunakan persamaan (3.8) sebagai berikut :

$$R_o = \frac{\rho}{4r} + \frac{\rho}{L}$$

$$R_o = \frac{98,3}{4 \times 29,86} + \frac{98,3}{1386}$$

$$= \frac{98,3}{119,44} + \frac{98,3}{1386}$$

$$= 0,823 + 0,07$$

$$= 0,893 \text{ (kondisi cuaca hujan)}$$

$$R_o = \frac{110,08}{4 \times 29,86} + \frac{110,08}{1386}$$

$$= \frac{110,08}{119,44} + \frac{110,08}{1386}$$

$$= 0,921 + 0,08$$

$$= 0,1721 \text{ (kondisi cuaca panas/kering)}$$

4. Kesimpulan

Setelah dilakukan perhitungan dan analisa data yang diperoleh, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Dari hasil perhitungan maka didapatkan besar tegangan sentuh yang diizinkan untuk berat badan 50 kg yaitu sebesar 270 volt sedangkan besar tegangan sentuh yang diizinkan untuk manusia dengan berat badan 70 kg adalah sebesar 360 volt. Sedangkan dari hasil perhitungan untuk tegangan langkah yang diizinkan dengan berat badan manusia 50 kg sebesar 972 volt dan tegangan langkah yang diizinkan untuk berat badan manusia 70 kg sebesar 1296 volt.
2. Nilai dari tegangan sentuh sebenarnya pada kondisi hujan dan panas ternyata lebih kecil dari nilai tegangan sentuh yang diizinkan yaitu untuk berat badan 50 kg 270 volt dan untuk berat badan 70 kg 360 volt dengan demikian desain pentanahan yang dilakukan telah memenuhi persyaratan dan aman bagi pekerja GI 150 kV Kota baru Pontianak.
3. Nilai dari tegangan langkah sebenarnya pada kondisi hujan dan panas ternyata lebih kecil dari nilai tegangan langkah yang diizinkan yaitu untuk berat badan 50 kg 972 volt dan untuk berat badan 70 kg 1296 volt dengan demikian desain pentanahan yang dilakukan telah memenuhi persyaratan dan aman bagi pekerja GI 150 kV Kota Baru Pontianak.
4. Desain pentanahan tersebut telah diperoleh tegangan mesh Em yang lebih kecil dari tegangan sentuh Es dan tegangan langkah Elm lebih kecil dari tegangan langkah yang diizinkan El dengan demikian desain pentanahan yang dilakukan telah memenuhi persyaratan.
5. Jadi perubahan resistivitas tanah pada kondisi cuaca hujan nilai tegangan nya lebih kecil dari kondisi cuaca kering/panas dikarenakan pada kondisi cuaca hujan kandungan air tanah menghasilkan tahanan jenis tanah rendah yaitu tahanan jenis tanahnya 98,3 .m sedangkan pada kondisi cuaca kering/panas kandungan air tanah rendah menghasilkan tahanan jenis tanah tinggi yaitu tahanan jenis tanahnya 110,08 .m.

Referensi :

1. Abrar Tanjung, 1988. *Analisis sistem pentanahan Gardu Induk Teluk Lembu dengan bentuk konstruksi grid (kisi-kisi)*. Pekanbaru. Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Lancang Kuning
2. Adhi Muhtadi, ST, SE, Msi. 1992. *Batas-Batas Atterberg*, Universitas Andalas, Kampus Unand Limau Padang.
3. Hendra, 2012. *Studi Pengaruh kandungan air tanah terhadap tahanan jenis tanah gambut*. Pontianak. Fakultas Teknik Universitas Tanjungpura Pontianak.
4. Ignatius Agung Pratama, 2014. *Perencanaan Sistem Pentanahan Peralatan Untuk Unit Pembangkit Baru di PT. INDONESIA POWER GRATI*. Universitas Brawijaya Fakultas Teknik Jurusan Teknik Elektro. Malang.
5. Ir. T.S. Hutauruk M.Sc, 1999. *Pengtanahan Netral Sistem Tenaga dan Pengtanahan Peralatan*. Jakarta : Erlangga
6. Linda Pasaribu, 2011. *Studi Analisis Pengaruh Jenis Tanah, Kelembaban, Temperatur dan kadar garam terhadap tahanan pentanahan*. Depok. Fakultas Teknik Program Magister Teknik Elektro.
7. Nur Pamudji, 2014. *Buku Pedoman Serandang dan Pentanahan Gardu Induk*. Jakarta

Biography

Yoga Septria, lahir di Pontianak Pada Tanggal 20 September 1988. Menempuh Pendidikan Strata I (S1) Di Fakultas Teknik Universitas Tanjungpura sejak tahun 2011. Penelitian ini diajukan sebagai syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik Elektro Konsentrasi Teknik Tegangan Tinggi Fakultas Teknik Universitas Tanjungpura.