

**MAKALAH SISTEM PENTANAHAN**  
**DESAIN SISTEM PENTANAHAN GARDU INDUK DEPOK BARU**

Makalah ini disusun sebagai tugas akhir mata kuliah Sistem Pentanahan  
Dosen pengampu: Dr. Henry Binsar Hamonangan Sitorus, S.T., M.T.



Disusun oleh:

Rudiansyah (2010314062)  
M. Paraj Azhar Hardian (2010314063)  
Henrico Salomo Parulian Lubis (2010314065)

PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS PEMBANGUNAN NASIONAL VETERAN JAKARTA  
2022



Edit dengan WPS Office

## DAFTAR ISI

	Halaman
DAFTAR ISI.....	i
DAFTAR GAMBAR.....	ii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Tujuan.....	1
BAB II KAJIAN PUSTAKA.....	2
2.1 Sistem Pentanahan.....	2
2.2 Prinsip Kerja.....	3
2.3 Komponen sistem pentanahan.....	5
2.4 Program pendukung.....	9
2.5 Variable Sistem Pentanahan.....	11
BAB III METODE PELAKSANAAN.....	14
3.1 Hasil pengambilan data.....	14
3.2 Pemrograman ETAP.....	14
3.3 Pemrograman Python.....	16
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	18
4.1 Hasil desain pentanahan.....	18
4.2 Hasil perancangan menggunakan GUI.....	19
4.3 Perbandingan Hasil.....	20
BAB V KESIMPULAN.....	21
DAFTAR PUSTAKA.....	22
Lampiran.....	23

## DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2. 1 Pembumian Grid/ Mesh pada gardu induk.....	5
Gambar 2. 2 Konduktor Elektroda Grounding.....	6
Gambar 2. 3 Koneksi Grounding.....	7
Gambar 2. 4 Sistem Pentanahan Elektroda Batang.....	8
Gambar 2. 5 Sistem Pentanahan Elektroda Pelat.....	8
Gambar 2. 6 Sistem Pentanahan Elektroda Pita.....	9
Gambar 2. 7 Aplikasi ETAP.....	10
Gambar 2. 8 Aplikasi Matlab.....	11
Gambar 2. 9 Microsoft Excel.....	11
Gambar 3. 1 Data dan Perhitungan Pentanahan..... 16	
Gambar 3. 2 Data kondisi tanah pada ETAP.....	17
Gambar 3. 3 Data ukuran grid pada ETAP.....	17
Gambar 3. 4 Data Rods pada ETAP.....	18
Gambar 3. 5 Perancangan GUI menggunakan Matlab.....	18
Gambar 3. 6 Tabel "Kalkulator Grounding" Perancangan GUI menggunakan Matlab.....	19
Gambar 4. 1 Hasil Desain Sistem Pentanahan menggunakan ETAP..... 20	
Gambar 4. 2 Data Hasil Simulasi ETAP.....	20
Gambar 4. 3 Kalkulator Perhitungan Sistem Pentanahan menggunakan Matlab.....	21
Gambar 4. 4 Hasil Perhitungan Sistem Pentanahan menggunakan Matlab.....	21
Gambar 4. 5 Hasil Perhitungan Sistem Pentanahan Menggunakan GUI.....	22
Gambar 4. 6 Data Hasil Simulasi ETAP.....	22
Gambar 4. 7 Nilai Hasil pada Ms. Excel.....	22

## BAB I

### PENDAHULUAN

#### 1.1. Latar Belakang

Sistem pentanahan adalah sistem hubungan pengantar 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 maupun 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).

#### 1.2. Tujuan

1. Menghitung sistem pentanahan sesuai variabel yang terdapat di PLN.
2. Mendapatkan nilai resistansi pentanahan yang sesuai dengan standar IEEE Std 80-2000 ( $R_g \leq 1\Omega$ ) sesuai kondisi lapangan.
3. Merancang program perhitungan sistem pentanahan untuk gardu induk.

## BAB II

### KAJIAN PUSTAKA

#### 2.1 Sistem Pentanahan

Sistem pentanahan adalah sistem pengaman terhadap perangkat-perangkat yang mempergunakan listrik sebagai sumber tenaga, dari lonjakan listrik terutama petir. Sistem pentanahan digambarkan sebagai hubungan antara suatu peralatan atau rangkaian listrik dengan bumi. Pentanahan adalah penghubung bagian-bagian peralatan listrik yang pada keadaan normal tidak dialiri arus. Tujuannya adalah untuk membatasi tegangan antara peralatan ini dengan tanah sampai pada suatu kondisi yang aman untuk semua operasi, baik kondisi normal maupun saat terjadi gangguan. Peralatan pentanahan adalah penghubung badan atau rangka peralatan listrik (motor, generator, transformator, pemutus daya dan bagian logam lainnya yang pada keadaan normal tidak di aliri arus) dengan tanah. Maksud dari peralatan pentanahan adalah untuk faktor keamanan, apabila terjadi gangguan ke tanah di sekitar peralatan tersebut akan terjadi tegangan sentuh, tegangan pindah yang dapat membahayakan keselamatan manusia apabila perencanaan pentanahan tidak baik.

##### ► Karakteristik Sistem Pentanahan yang Efektif

Karakteristik sistem pentanahan yang efektif adalah:

1. Terencana dengan baik, semua koneksi yang terdapat pada sistem harus merupakan koneksi yang sudah direncanakan sebelumnya dengan kaidah-kaidah tertentu.
2. Menghindarkan gangguan yang terjadi pada arus listrik dari perangkat.
3. Semua komponen metal harus ditanahkan dengan tujuan untuk meminimalkan arus listrik melalui material yang bersifat konduktif pada potensial listrik yang sama.

### ► Syarat – Syarat Sistem Pentanahan yang Efektif

Syarat sistem pentanahan efektif adalah:

1. Tahanan pentanahan harus memenuhi syarat yang diinginkan untuk suatu keperluan pemakaian.
2. Elektroda yang ditanam dalam tanah harus:
  - bahan konduktor yang baik
  - tahan korosi - cukup kuat
3. Jangan sebagai sumber arus galvanis (sumber arus searah).
4. Elektroda harus mempunyai kontak yang baik dengan tanah sekelilingnya.
5. Tahanan pentanahan harus baik untuk berbagai musim dalam setahun.
6. Biaya pemasangan serendah mungkin.

### ► Bagian-Bagian yang Ditanahkan

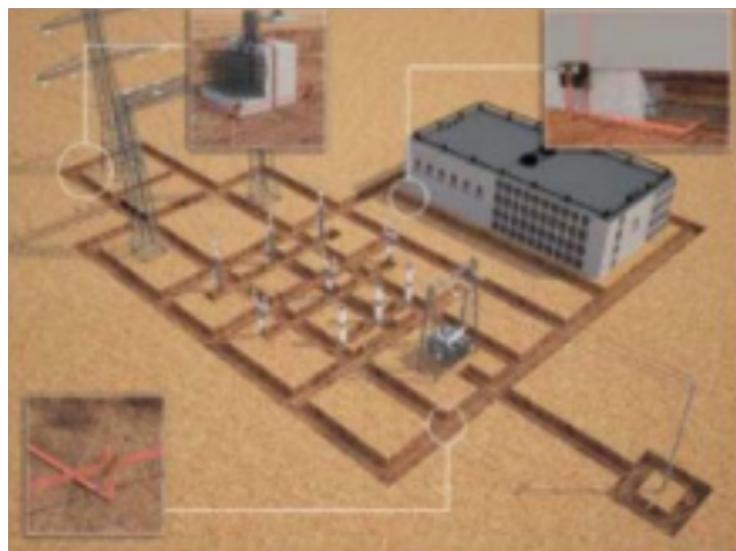
Bagian yang ditanahkan berupa:

1. Semua bagian instalasi yang terbuat dari logam (menghantar listrik) dan bisa membahayakan manusia. Supaya potensial dari logam yang mudah tersentuh manusia selalu sama dengan potensial tanah (bumi) tempat manusia berpijak sehingga tidak berbahaya bagi manusia yang menyentuhnya.
2. Bagian pembuangan muatan listrik (bagian bawah) dari lightning arrester. Hal ini diperlukan agar lightning arrester dapat berfungsi dengan baik, yaitu membuang muatan listrik yang diterimanya dari petir ke tanah (bumi).
3. Kawat petir yang ada pada bagian atas saluran transmisi. Kawat petir ini sesungguhnya juga berfungsi sebagai lightning arrester. Karena letaknya yang ada di sepanjang saluran transmisi, maka semua kaki tiang transmisi harus ditanahkan agar petir yang menyambar kawat petir dapat disalurkan ke tanah dengan lancar melalui kaki tiang saluran transmisi.

## 2.2 Prinsip Kerja

Pembumian dengan mesh atau grid adalah cara pembumian dengan jalan memasang kawat konduktor elektroda membujur dan melintang

dibawah tanah, yang satu sama lain dihubungkan disetiap tempat sehingga membentuk jala (mesh/grid). Sistem pembumian mesh/grid biasanya dipasang di gardu induk dengan tujuan mendapatkan nilai resistansi tanah yang sangat kecil (kurang dari  $1 \Omega$ ), seperti Gambar 2.1.



Gambar 2. 1 Pembumian Grid/ Mesh pada gardu induk

Pembumian grid merupakan salah satu sistem pembumian yang banyak digunakan pada gardu induk karena mempunyai beberapa keuntungan dibandingkan dengan sistem pembumian lainnya. Sistem pembumian peralatan-peralatan pada gardu induk biasanya menggunakan konduktor yang ditanam secara horizontal, dengan bentuk kisikisi (grid).

Konduktor pembumian biasanya terbuat dari batang tembaga keras dan memiliki konduktifitas tinggi, terbuat dari tembaga yang dipilin (bare stranded cooper) dengan luas penampang  $150 \text{ mm}^2$  dan mempunyai kemampuan arus hubung tanah sebesar 25 KA selama 1 detik. Konduktor ini ditanam kira-kira 30 cm – 80 cm atau bila dibawah kepala pondasi sedalam 25 cm. Luas kisi - kisi di daerah switchyard, sesuai dengan peralatan-pralatan yang ada, dibatasi maksimum  $10 \text{ m} \times 5 \text{ m}$ . Kisi-kisi pembumian bersambungan satu dengan yang lainnya dan dihubungkan dengan batang pembumian yang terdiri dari batang tembaga.

Batang tembaga ini berdiametr 15 mm, panjang 3,5 m, ditanam dengan kedalaman minimal sama dengan panjang batang itu sendiri. Selanjutnya batang pembumian ini disebut titik pembumian. Semua dasar isolator-isolator, terminal-terminal pembumian dan pemisah pembumian, netral trafo arus dan trafo tenaga, dasar penangkal petir (Lightning Arrester) dan struktur dihubungkan dengan kisi-kisi pembumian. Pagar

switchyard yang terbuat dari besi/logam dan terisolir dari tanah ditanam melalui batang tembaga ( $35 \text{ mm}^2$ ) panjang 1 m serta ditanam diluar pagar sedalam 50 cm dengan jarak lebih dari 5 meter terhadap kisi-kisi pembumian utama.

### 2.3 Komponen sistem pentanahan

Kinerja sistem grounding ditentukan oleh kualitas 5 komponen yang semuanya sama pentingnya. Berikut 5 komponen yang berpengaruh pada kinerja sistem grounding:

#### 1. Konduktor Elektroda Grounding

Biasanya dibuat dari tembaga atau baja berikat tembaga, konduktor elektroda grounding harus cukup besar untuk menahan arus gangguan maksimum yang tersedia selama waktu pembersihan maksimum.



Gambar 2. 2 Konduktor Elektroda Grounding

#### 2. Koneksi Grounding

koneksi grounding digunakan untuk mengikat elemen-elemen sistem elektroda bersama-sama. Koneksi yang dilas secara eksotermik memberikan ikatan molekul yang tidak akan pernah kendur atau terkorosi. Konektor mekanis, seperti jenis crimp, baut, dan irisan, bergantung pada kontak permukaan titik-ke-titik fisik

untuk menjaga integritas koneksi listrik.



*Gambar 2. 3 Koneksi Grounding*

*Klem tanah yang dipasang. 2 " x 0,022 " strip tembaga diperlakukan dengan pelumas anti oksidasi berbasis tembaga kemudian dijepit ke tongkat ground 8 copper yang dilapisi tembaga yang bersih*

*"IEEE® Standard 837 (Standar untuk koneksi grounding gardu permanen yang memenuhi syarat) memberikan informasi terperinci tentang aplikasi dan pengujian koneksi grounding permanen."*

### 3. Elektroda Grouding

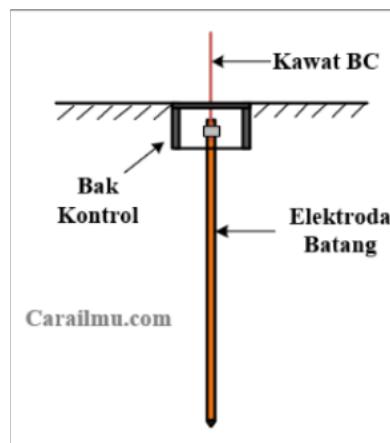
Elektroda grounding menyediakan koneksi fisik ke tanah dan merupakan instrumen yang digunakan untuk membuang arus ke dalamnya. Ada dua jenis elektroda utama:

- ✓ Elektroda 'Natural' adalah intrinsik untuk fasilitas dan termasuk pipa air bawah tanah logam, rangka logam bangunan (jika secara efektif di-ground), dan tulangan pada pondasi beton.
- ✓ Elektroda 'Buatan' dipasang secara khusus untuk meningkatkan kinerja sistem tanah dan termasuk jerat kawat,

pelat logam, konduktor tembaga yang terkubur dan batang atau pipa yang digerakkan ke tanah. Batang tanah adalah elektroda yang paling banyak digunakan.

Berdasarkan PUIL (Persyaratan Umum Instalasi Listrik) 2000 yang maksudnya, yaitu "Suatu sistem pentanahan dikatakan bagus apabila nilai tahanan jenis tanahnya rendah atau tidak lebih dari 1  $\Omega$ ". Standar tersebut harus dipenuhi agar dapat memenuhi sistem pentanahan yang baik. Oleh karena itu diperlukan pemasangan pentanahan yang tepat misalnya saja menggunakan elektroda pita pada daerah yang basah. Berikut merupakan beberapa contoh sistem pentanahan elektroda :

► Sistem Pentanahan Elektroda Batang



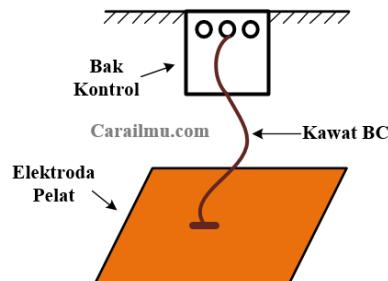
Gambar 2. 4 Sistem Pentanahan Elektroda Batang

Sistem pentanahan elektroda batang merupakan suatu sistem pentanahan dengan menggunakan elektroda berbentuk batang, pipa atau profil baik itu terbuat dari tembaga, besi, aluminium, besi sepul tembaga dan sejenisnya. Jenis elektroda ini ditancapkan ke dalam tanah pada kedalaman tertentu. Pemasangan elektroda batang dapat dilakukan dengan cara memukul/menempa ujung batang elektroda dengan benda seperti palu hingga mencapai kedalam tertentu.

Kelebihan dari elektroda batang adalah dapat menembus lapisan tanah lebih dalam tanah sehingga dapat mencapai titik ideal pentanahan (semakin dalam penanaman elektroda maka

semakin baik) serta tidak memerlukan lahan yang begitu luas.

#### ► Sistem Pentanahan Elektroda Pelat

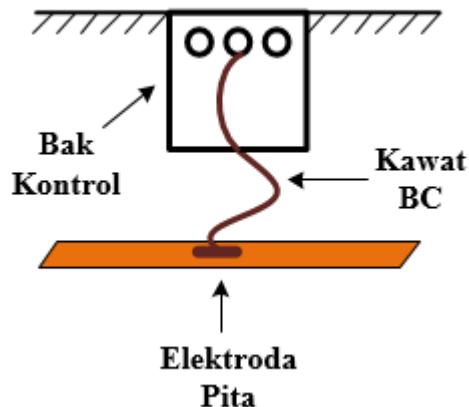


*Gambar 2. 5 Sistem Pentanahan Elektroda Pelat*

Sistem pentanahan elektroda pelat merupakan suatu sistem pentanahan dengan menggunakan elektroda pelat yang biasanya berbentuk segi empat yang terbuat dari pelat timah, tembaga atau baja dengan ketebalan tertentu. Pemasangan elektroda pelat dapat dilakukan dengan cara menanam pelat secara vertikal atau horizontal.

Dalam pemasangan pelat horizontal diperlukan usaha lebih yaitu penggalian tanah dengan kedalaman tertentu dengan luas selebar ukuran elektroda pelat. Pentanahan elektroda pelat cocok digunakan pada daerah yang memiliki tahanan jenis tanah yang sedikit lebih tinggi.

#### ► Sistem Pentanahan Elektroda Pita



*Gambar 2. 6 Sistem Pentanahan Elektroda Pita*

Sistem pentanahan elektroda pita merupakan suatu sistem pentanahan dengan menggunakan elektroda yang terbuat dari hantaran berbentuk pita atau berpenampang bulat atau hantaran pilin. Pemasangan elektroda pita dapat dilakukan dengan cara menanam elektroda secara horizontal dengan kedalaman yang dangkal, yaitu 0.5 – 1 m dari permukaan tanah. Pentanahan dengan elektroda pita ini cocok dipasang pada daerah yang memiliki tahanan jenis rendah seperti tempat yang tidak mengalami kekeringan seperti pada daerah rawa.

#### 4. Tanah

Resistivitas tanah, diukur dalam ohm-sentimeter atau ohmmeter, memainkan peran penting dalam menentukan kinerja keseluruhan sistem grounding dan harus diketahui sebelum sistem grounding yang tepat dapat direkayasa.

Mengukur resistivitas tanah memungkinkan insinyur desain untuk menemukan area dengan tanah yang paling konduktif dan untuk menentukan kedalaman tanah konduktif sehingga elektroda dapat ditempatkan dengan tepat.

Sistem grounding akan membawa arus yang sedikit atau tidak ada untuk jangka waktu yang lama sampai terjadi gangguan atau sambaran petir atau transien lainnya

membutuhkan disipasi. Pada saat itu, komponen sistem grounding akan diharapkan berkinerja seperti baru sambil melakukan banyak arus.

Sebagian besar sistem grounding disembunyikan di bawah tanah, membuat inspeksi komponen grounding menjadi sulit atau tidak mungkin. Lingkungan bawah tanah sangat keras. Pemilihan awal komponen yang digunakan dalam sistem grounding sangat penting untuk efektivitas jangka panjangnya.

## 2.4 Program pendukung

### A. ETAP



Gambar 2. 7 Aplikasi ETAP

ETAP (Electric Transient Analysis Program) adalah software yang digunakan untuk menganalisis suatu sistem tenaga listrik. Software ETAP dapat bekerja secara offline (untuk simulasi sistem tenaga listrik) maupun secara online yang bertujuan untuk menganalisis data secara real time (seperti SCADA). Software ETAP sangat bermanfaat dalam perencanaan sistem kelistrikan. Dalam ETAP, terdapat jenis-jenis elemen seperti elemen AC, *instrument* maupun elemen DC.

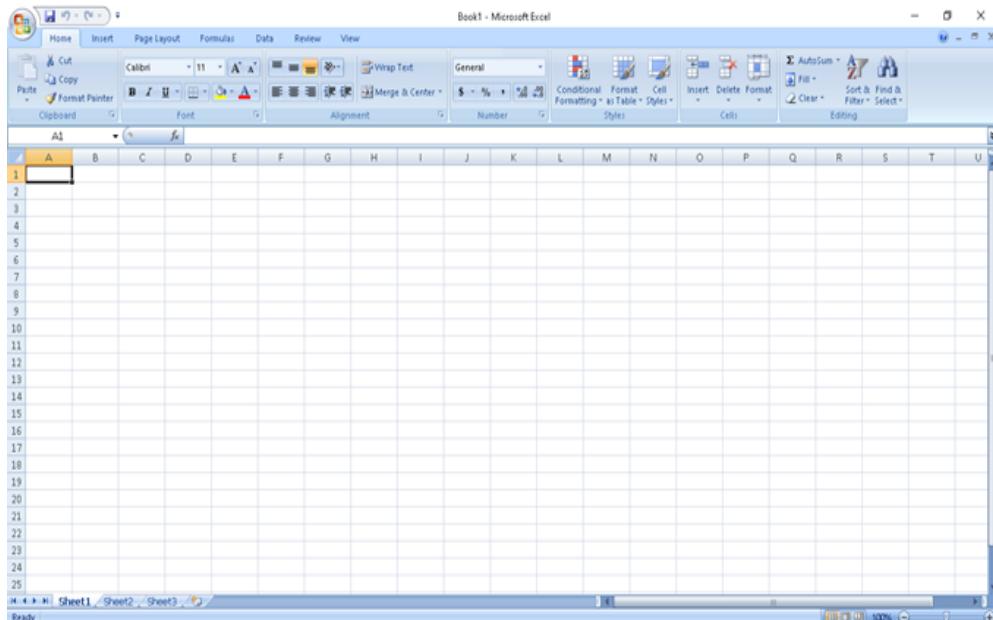
### B. Matlab



Gambar 2. 8 Aplikasi Matlab

Matlab adalah singkatan dari Matrix Laboratory(Laboratorium Matriks) dan merupakan bahasa pemrograman yang dibuat dengan tujuan sebagai alat bantu perhitungan yang rumit atau simulasi dari suatu sistem yang ingin di simulasi, dalam matlab mutlak dibutuhkan pengetahuan tentang matriks yang dapat dipelajari dalam ilmu matematika.

### C. Microsoft Excel



Gambar 2. 9 Microsoft Excel

Penggunaan Microsoft excel ini pada saat mendesain sebuah sistem pentanahan adalah untuk melakukan sebuah pendataan, perhitungan sekaligus pengolahan data seperti menghitung luas area pentanahan, panjang konduktor grid, panjang konduktor rod dan sebagainya.

## 2.5 Variable Sistem Pentanahan

### A. Elektroda

Untuk mencari nilai tahanan elektroda digunakan rumus:

$$Re = V / I \quad (1)$$

dimana  $Re$  adalah tahanan (ohm),  $V$  adalah tegangan (volt) dan  $I$  adalah arus (ampere).

Untuk mencari tahanan jenis tanah menggunakan rumus:

$$\rho = 2 \pi r Re \quad (2)$$

dimana  $Re$  adalah tahanan (ohm),  $\rho$  adalah tahanan jenis tanah (ohm-meter) dan  $\pi$  adalah konstanta ( $\pi = 3,14$ ).

### B. Elektroda Batang (Rod)

Elektroda batang terbuat dari batang atau pipa logam yang ditanam vertikal di dalam tanah. Elektroda batang ini biasanya terbuat dari bahan tembaga, stainless steel atau galvanise steel. Pada saat pemilihan bahan harus sangat diperhatikan agar terhindar dari galvanic couple yang dapat menyebabkan korosi. Untuk mencari nilai tahanan pentanahan pada elektroda batang:

$$R_t = \frac{\rho}{2 \pi L_R} \left[ \ln \left( \frac{4 L_R}{a_R} \right) - 1 \right] \quad (3)$$

dimana  $R_t$  adalah tahanan pentanahan untuk batang tunggal (ohm),  $\rho$  adalah tahanan jenis tanah (ohm-meter),  $L_R$  adalah panjang elektroda batang (meter) dan  $a_R$  adalah jari-jari elektroda batang (meter).

### C. Ukuran Konduktor

Persamaan arus rms dapat disusun untuk memberikan ukuran konduktor diperlukan sebagai fungsi dari arus konduktor.

$$A_{kcmil} = I \frac{197.4}{\sqrt{\left(\frac{TCAP}{I_c \alpha_r \rho_r}\right) \ln\left(\frac{K_o + T_m}{K_o + T_a}\right)}}$$

### D. Touch and Step Criteria

$$C_s = 1 - \frac{0.09 \left(1 - \frac{\rho}{\rho_s}\right)}{2h_s + 0.09}$$

### F. Resistansi Pentanahan

Pentanahan yang ideal harus memberikan nilai tahanan pentanahan mendekati nol atau  $\leq 1\Omega$  untuk gardu induk bertegangan tinggi.

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

### G. Arus Grid Maksimum

Persamaan faktor yang mewakili kebalikan dari rasio kegagalan simetris

kebagian dari arus yang mengalir antara grid grounding dan bumi yakni

$$S_f = \frac{I_g}{3 \cdot I_0}$$

Dengan nilai desain arus grid maksimal didefinisikan sebagai berikut :

$$I_G = D_f \cdot I_g$$

Menjadi

$$I_G = D_f \cdot S_f \cdot 3 \cdot I_0$$

Dimana,  $S_f$  adalah faktor pembagian arus gangguan dan  $I_0$  adalah arus gangguan diwaktu 0.

#### H. GPR

Merupakan persamaan hasil kali dari arus grid maksimum dan resistansi pentanahan

$$GPR = I_G \cdot R_g$$

#### I. Mesh Voltage (tegan gan sentuh)

Persamaan Nilai tegangan sentuh diperoleh sebagai produk dari faktor geometris,  $K_m$ ; faktor korektif,  $K_i$  yaitu :

$$E_m = \frac{\rho \cdot I_G \cdot K_m \cdot K_i}{L_C + L_R}$$

#### J. Step Voltage

Nilai tegangan lagkah diperoleh dari persamaan - persamaan

$$E_s = \frac{\rho \cdot I_G \cdot K_s \cdot K_i}{0.75 \cdot L_C + 0.85 \cdot L_R}$$

## BAB III

### METODE PELAKSANAAN

#### 3.1 Hasil pengambilan data

VARIABEL	INPUT			
Tegangan sistem	150000	Volt		
Tahanan jenis permukaan batu korral Rho's	3000	Ohm-m		
Tahanan jenis tanah (rho)	93	Ohm-m		
Arus gangguan maksimum (If)	2500	ampere		
Waktu gangguan (tf)	0.5	sekon		
Ketebalan lapisan korral (hs)	0.1	meter		
Tahanan tubuh manusia (rk)	1000	Ohm		
Suhu maks konduktor (Tm) °C	1083	°C		
Suhu kelling tahanan maks (Ta) °C	40	°C		
L1 (panjang konduktor "grid")	86	meter		
L2 (lebar konduktor "grid")	38	meter		
Jenis konduktor	Std Soft Cu Wire	-		
<b>IMPEDANSI SISTEM</b>	<b>R</b>	<b>jX</b>		
Impedansi urutan positif	4	10		
Impedansi urutan 0	10	40		
<b>PERHITUNGAN</b>				
Luas area pentanahan	3268	meter <sup>2</sup>		
L <sub>p</sub> (panjang total konduktor pentanahan)	1961.4			
L <sub>c</sub> (panjang konduktor grid)	1890			
L <sub>r</sub> (panjang konduktor rod)	81.4			
jarak konduktor sisi panjang (D1)	8.6			
jarak konduktor sisi lebar (D2)	2.375			
Panjang peripheral grid	620			
L <sub>s</sub>	1473.19			
Bus Fault (3lo)	3330.866338			
Arus Grid (IG)	1398.520163	ampere		
K (faktor refleksi)	-0.93366421			
C <sub>s</sub> (faktor reduksi)	0.699275862			
Koefisien Km (tanpa rod)	21.3019			
Kii (tanpa rod)	21.22532066			
Kii (rod)	0.439104585			
Kh	1			
n	1.732050808			
na	6.064516123			
Ki	6.064516123			
Ks	1541548387			
	0.283286319			

Ukuran Konduktor Grid (A)	12298.22	Circular mila	
	6.2316002	mm <sup>2</sup>	
Arus Fibrilasi (Ik) Ampere 50 Kg	0.1640488	ampere	
Arus Fibrilasi (Ik) Ampere 70 Kg	0.2220315		
Tegangan Sentuh yang diizinkan(Etouch) 50	680.26784	Volt	
Tegangan Sentuh yang diizinkan(Etouch) 70	920.70733		
Tegangan langkah yang diizinkan(Es) 50	2228.325	Volt	
Tegangan langkah yang diizinkan(Es) 70	3016.7347		
<b>INPUT</b>	<b>MODIFIKASI</b>		
Panjang rod (S)	7.4	meter	
Diameter konduktor	0.014	meter	
jumlah konduktor sisi panjang (n)	17	batang	
jumlah konduktor sisi lebar (m)	11	batang	
jumlah rod	11	batang	
Kedalaman pentanahan (h)	2	meter	

*Gambar 3. 1 Data dan Perhitungan Pentanahan*

Akumulasi data diatas adalah data yang diambil dari PLN Depok Baru dan sudah dihitung menggunakan aplikasi Excel. Supaya mempermudah perhitungan maka digunakan rumus secara terpisah pada aplikasi Excel yang menghasilkan nilai resistansi pentanahan rod sebesar 0,72779286 ohm. Setelah mendapatkan nilai hasil akhir variabel pada excel kemudian hasil tersebut dijadikan sebagai patokan untuk kalkulator sistem pentanahan.

#### 3.2 Pemrograman ETAP

Pemrograman ETAP ini dilakukan menggunakan komponen ground grid, komponen ini memudahkan dalam simulasi dan perhitungan pentanahan. Pertama, data tanah dimasukan dapat dilihat pada gambar 3.2, jenis tanah yang digunakan dapat dipilih antara 5 opsi. Kedua, dimasukan data lebar dan panjang grid serta data konduktor dapat dilihat pada gambar 3.3, data konduktor yang dimasukan adalah jumlah konduktor pada sumbu x dan sumbu y serta kedalaman dan ukuran diameter konduktor. Ketiga, data rod dimasukan. Data rod yang digunakan adalah jumlah rod yang digunakan, diameter rod, panjang rod, posisi rod pada grid dan jenis rod dapat dilihat pada gambar 3.4. Setelah data selesai dimasukan simulasi dapat dijalankan.

Resistivity ohm-m	Material	Depth m
Surface Material 2500	Clean limestone	0.5
<input checked="" type="radio"/> User-Defined <input type="radio"/> Calculated		
Top Layer 100	Moist soil	5
Lower Layer 1000	Dry soil	

*Gambar 3. 2 Data kondisi tanah pada ETAP*

Group Conductors	
Grid Size	# of Conductors
Lx 85 m	X Direction 17
Ly 38 m	Y Direction 11
Conductors	
Depth 0.5 m	Size 150 sq.mm
Type Copper, annealed soft-drawn	
Insulation Bare	
Cost 10 \$/m	
<input type="button"/> Help <input type="button"/> OK <input type="button"/> Cancel	

*Gambar 3. 3 Data ukuran grid pada ETAP*

<b>Rods</b>		<b>Material Constants</b>	
# of Rods	<input type="text" value="11"/>	Conductivity	<input type="text" value="100.0"/>
Diameter	<input type="text" value="1.4"/> cm	Alpha Factor	<input type="text" value="0.00393"/>
Length	<input type="text" value="7.4"/> m	Ko Factor	<input type="text" value="234"/>
Arrangement	<input type="text" value="Rods Throughout Grid Area"/>	Fusing Temperature	<input type="text" value="1083"/>
Type	<input type="text" value="Copper, annealed soft-drawn"/>	Resistivity @ 20 C	<input type="text" value="1.72"/>
Cost	<input type="text" value="100"/> \$/Rod	Thermal Capacity	<input type="text" value="3.42"/>

Gambar 3. 4 Data Rods pada ETAP

### 3.3 Pemrograman Matlab

```

755 % -----Input Hasil-----
756
757 %Berat Badan 50 KG
758 set(handles.ik5,'string',ik5);
759 set(handles.es5,'string',es5);
760 set(handles.el5,'string',el5);
761
762 %Berat Badan 70 KG
763 set(handles.ik7,'string',ik7);
764 set(handles.es7,'string',es7);
765 set(handles.el7,'string',el7);
766
767 set(handles.pk,'string',pk);
768 set(handles.ep,'string',ep);
769 set(handles.em,'string',em);
770 set(handles.rg,'string',rg);
771 set(handles.els,'string',els);
772
773 end

```

```

702 %----- Input Variabel-----
703 pg=handles.pg;
704 lg=handles.lg;
705 smk=handles.smk;
706 sktm=handles.sktm;
707 ttm=handles.ttm;
708 dr=handles.dr;
709 wg=handles.wg;
710 agm=handles.agm;
711 rt=handles.rt;
712 rp=handles.rp;
713 ts=handles.ts;
714 rup=handles.rup;
715 run=handles.run;
716 jup=handles.jup;
717 jun=handles.jun;
718 pr=handles.pr;
719 dk=handles.dk;
720 jr=handles.jr;
721 ksp=handles.ksp;
722 ksl=handles.ksl;
723 kp=handles.kp;
724 rh=handles.rh;
725
726 %----- Input Rumus-----
727
728 %Berat Badan 50 KG
729 ik5 = (0.116)/(sqrt(wg));
730 es5 = ik5*(ttm+(1.5*rp));
731 el5 = ik5*(ttm+(6*rp));
732
733 %Berat Badan 50 KG
734 ik7 = (0.157)/(sqrt(wg));
735 es7 = ik7*(ttm+(1.5*rp));
736 el7 = ik7*(ttm+(6*rp));
737
738 pk = (pg*ksp)+(lg*ksl)+(pr*jr);
739 ep = agm*rh;
740 na = (2*pk)/((pg*ksp)+(lg*ksl));
741 nb = (sqrt(((pg*ksp)+(lg*ksl))/(4*sqrt(pg*lg)))); 
742 n = na*nb*1^1;
743 ki = 0.644+(0.148*n);
744 jsp = (pg)/(ksl-1);
745 kh = sqrt(1+kp);
746 km = (1/(2^3,14159))*(((log((jsp+jsp)/(16*kp*dk)))+(((jsp+2*kp)^2)/(8*n*dk))-...
747 ((dk)/4*dk))+((1/kh)*(log(8/(3.14159*(2^n-1))))));
748 em = km*ki*rt*(agm/pk);
749 rg = rt*((1/pk)+(1/sqrt(20*(pg*lg)))*(1+(1/(1+kp)*sqrt(20/(pg*lg))))));
750 ks = 1/3.14159*((1/(2*kp))+(1/(jsp+kp))+(1/jsp)+(1-0.5^(n-2)));
751 els = ks*ki*rt;
752

```

Gambar 3. 5 Perancangan GUI menggunakan Matlab

Program diatas merupakan proses pada perancangan aplikasi menggunakan matlab dengan memasukan Rumus Empiris yang telah dicoba perhitungannya ke dalam matlab. Kemudian dengan menggunakan aplikasi matlab penulis dapat melakukan design interface sesuai dengan yang diinginkan.

**KALKULATOR PENTANAHAN**

*Panjang Grid:	<input type="text"/>	Meter	*Resistivitas Permukaan :	<input type="text"/>	$\Omega$ (Ohm)
*Lebar Grid :	<input type="text"/>	Meter	*Tegangan Sistem :	<input type="text"/>	Volt
*Suhu Maks Konduktor :	<input type="text"/>	°Celcius	*R Impedansi Urutan Positif :	<input type="text"/>	$\Omega$ (Ohm)
*Suhu Keliling Tahunan Maks :	<input type="text"/>	°Celcius	*R Impedansi Urutan Nol :	<input type="text"/>	$\Omega$ (Ohm)
*Tahanan Tubuh Manusia :	<input type="text"/>	$\Omega$ (Ohm)	*Jx Impedansi Urutan Positif :	<input type="text"/>	$\Omega$ (Ohm)
*Diameter Rod :	<input type="text"/>	Meter	*Jx Impedansi Urutan Nol :	<input type="text"/>	$\Omega$ (Ohm)
*Waktu Gangguan :	<input type="text"/>	Detik/Secon	*Panjang Rod :	<input type="text"/>	Meter
*Arus Gangguan Maksimum :	<input type="text"/>	Ampere	*Diameter Konduktor :	<input type="text"/>	Meter
*Resistivitas Tanah :	<input type="text"/>	Ohm-Meter	*Jumlah Rod :	<input type="text"/>	Batang
*Konduktor Sisi Panjang :	<input type="text"/>	Batang	*Kedalaman Pentanahan :	<input type="text"/>	Meter
*Konduktor Sisi Lebar :	<input type="text"/>	Batang	*Resistansi Pentanahan :	<input type="text"/>	$\Omega$ (Ohm)
Berat Badan 50 KG			Berat Badan 70 KG		
Arus Fibrilasi :	<input type="text"/>	Ampere	Arus Fibrilasi :	<input type="text"/>	Ampere
Tegangan Sentuh Yang Diizinkan :	<input type="text"/>	Volt	Tegangan Sentuh Yang Diizinkan :	<input type="text"/>	Volt
Tegangan Langkah Yang Diizinkan :	<input type="text"/>	Volt	Tegangan Langkah Yang Diizinkan :	<input type="text"/>	Volt
PERHITUNGAN			RESET		
* Data yang diisi					

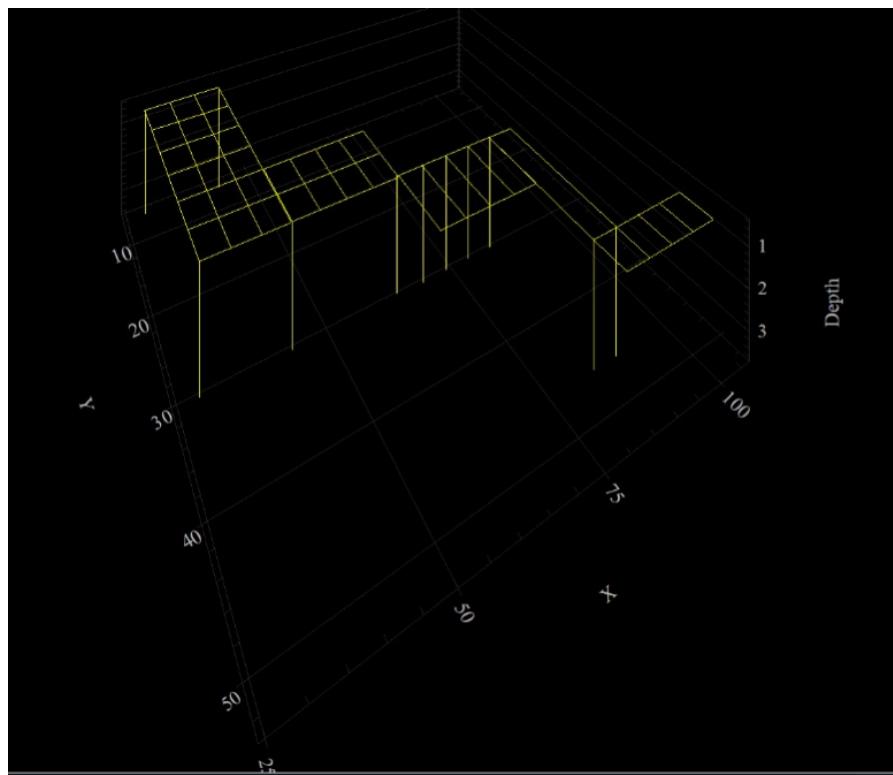
Gambar 3. 6 Tabel “Kalkulator Grounding” Perancangan GUI menggunakan Matlab

Setelah proses pemrograman dan design GUI selesai, maka ketika program tersebut di running akan muncul kalkulator grounding seperti pada gambar 3.6. Script kalkulator grounding tersebut menggunakan aplikasi Matlab. Matlab berguna untuk pemrosesan script yang belum terexport karena pengelolaan script mentah membutukan spesifikasi sistem yang memadai. Setelah tampilan GUI “Kalkulator Grounding” muncul maka terdapat kolom yang harus diisi dengan data PLN yang telah di peroleh pada setiap kelompok masing-masing, variabel tersebut akan digunakan dalam perhitungan nantinya. Bagian yang harus diperhatikan pada kalkulator sistem perhitungan adalah pada hasil akhir GUI tersebut.

## BAB IV

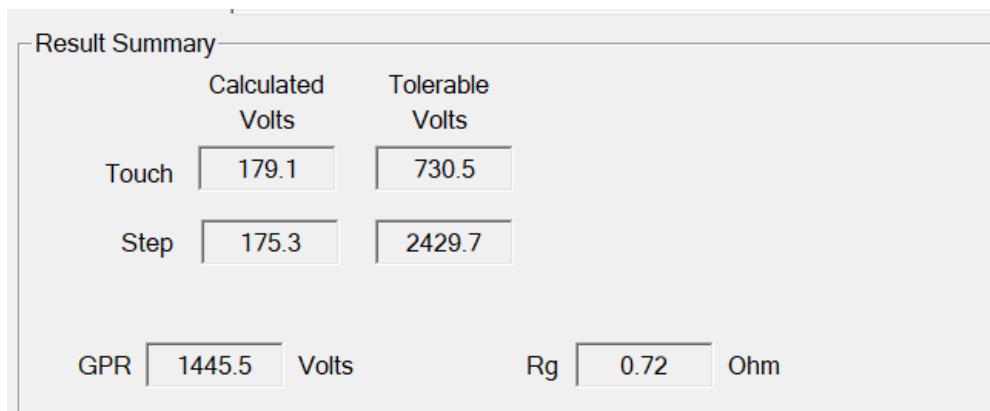
### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Hasil desain pentanahan



Gambar 4. 1 Hasil Desain Sistem Pentanahan menggunakan ETAP

Hasil desain pada gambar 4.1 didapat dari hasil data PLN Depok Baru yang dimasukan di ETAP, dapat dilihat posisi rod yang terdapat pada grid yaitu jumlahnya ada 11. Hasil ukuran pada gambar 4.1 menggunakan satuan panjang meter.



Gambar 4. 2 Data Hasil Simulasi ETAP

Data hasil pada gambar 4.2 adalah hasil simulasi dari grid berdasarkan data yang dimasukan di ETAP. Touch dan Step voltage yang didapatkan dari perhitungan ETAP berada di bawah batas toleransi grid, touch voltage sebesar 179,1 dan step voltage sebesar 175,3, sedangkan GPR yang didapatkan dari perhitungan adalah 1445,5 V dan  $R_g$  yang didapatkan dari perhitungan adalah 0,72 ohm.

## 4.2 Hasil perancangan menggunakan GUI



Gambar 4. 3 Kalkulator Perhitungan Sistem Pentanahan menggunakan Matlab

Hasil perancangan pada gambar 4.3 menggunakan aplikasi matlab. Pada perancangan GUI tersebut luas daerah yang di input adalah  $85 \times 38 \text{ m}^2$  dengan suhu maksimal konduktor 1083 celcius, suhu keliling tahunan maksimal 40 celcius, menggunakan tahanan tubuh manusia sebesar 1000 ohm, ketebalan lapisan koral 0,1 m, waktu gangguan selama 0,5 s dengan arus gangguan maksimum sebesar 2500 ampere.



Gambar 4. 4 Hasil Perhitungan Sistem Pentanahan menggunakan Matlab

Input tegangan sistem 150.000 V, dengan panjang rod 7,4 m dan berdiameter 0,014

m serta dengan nilai impedansi yang beragam pada kolom GUI tersebut, maka menghasilkan resistansi pentanahan Rod sebesar 0,732069 ohm dimana didapatkan hasil perhitungan dan parameter yang cukup baik dengan nilai tahanan kurang dari 1 ohm.

#### 4.3 Perbandingan Hasil

Pada hasil perhitungan resistansi pentanahan rod menggunakan ETAP dan Excel didapatkan nilai yang sama yaitu 0,72 ohm, sedangkan pada perhitungan yang menggunakan Kalkulator GUI didapatkan hasil yang tidak jauh berbeda yaitu 0,73 ohm. Data yang dimaksud disajikan pada gambar dibawah.

Berat Badan 50 KG		Berat Badan 70 KG																		
Arus Fibrilasi :	0 164049	Ampere	Arus Fibrilasi :	0 222032	Ampere															
Tegangan Sentuh Yang Dilizinkan :	902.268	Volt	Tegangan Sentuh Yang Dilizinkan :	1221.17	Volt															
Tegangan Langkah Yang Dilizinkan :	3116.93	Volt	Tegangan Langkah Yang Dilizinkan :	4218.6	Volt															
<b>PERHITUNGAN</b>				<b>RESET</b>																
* Data yang diisi																				
<table border="1"> <tbody> <tr> <td>Tegangan Langkah Sebenarnya :</td> <td>62.2778</td> <td>Volt</td> </tr> <tr> <td>Tegangan Mesh :</td> <td>1103.81</td> <td>Volt</td> </tr> <tr> <td>Panjang Konduktor :</td> <td>1859.4</td> <td>Meter</td> </tr> <tr> <td>Tegangan Pindah :</td> <td>393.25</td> <td>Volt</td> </tr> <tr> <td><b>RG Resistansi Pentanahan Rod :</b></td> <td><b>0 732069</b></td> <td><b>Ω(Ohm)</b></td> </tr> </tbody> </table>						Tegangan Langkah Sebenarnya :	62.2778	Volt	Tegangan Mesh :	1103.81	Volt	Panjang Konduktor :	1859.4	Meter	Tegangan Pindah :	393.25	Volt	<b>RG Resistansi Pentanahan Rod :</b>	<b>0 732069</b>	<b>Ω(Ohm)</b>
Tegangan Langkah Sebenarnya :	62.2778	Volt																		
Tegangan Mesh :	1103.81	Volt																		
Panjang Konduktor :	1859.4	Meter																		
Tegangan Pindah :	393.25	Volt																		
<b>RG Resistansi Pentanahan Rod :</b>	<b>0 732069</b>	<b>Ω(Ohm)</b>																		

Gambar 4. 5 Hasil Perhitungan Sistem Pentanahan Menggunakan GUI

Result Summary		
	Calculated Volts	Tolerable Volts
Touch	179.1	730.5
Step	175.3	2429.7
GPR	1445.5 Volts	Rg 0.72 Ohm

Gambar 4. 6 Data Hasil Simulasi ETAP

Rg (resistansi pentanahan) tanpa rod	0.727792857	ohm
Rg (resistansi pentanahan) rod	0.725739884	ohm

Gambar 4. 7 Nilai Hasil pada Ms. Excel

## BAB V

## KESIMPULAN

### 5.1 Kesimpulan

Data sistem pentanahan dengan luas area  $85 \times 38 \text{ m}^2$  yang didapat pada PLN Depok Baru ketika di akumulasikan menggunakan Kalkulator GUI yang di telah rancang, Aplikasi Excel, dan ETAP dapat disimpulkan bahwa sistem pentanahan tersebut dalam keadaan cukup baik yaitu didapatkan hasil perhitungan dan parameter dengan nilai tahanan kurang dari 1 ohm. Nilai resistansi pentanahan pada aplikasi ETAP dan Excel didapatkan nilai yang sama yaitu 0,72 ohm, sedangkan pada perhitungan yang menggunakan Kalkulator GUI didapatkan hasil yang tidak jauh berbeda yaitu 0,73 ohm. Namun perbedaan sebesar 0,1 ohm tersebut tidak mengubah kesimpulan bahwa perancangan sistem pentanahan PLN Depok Baru sudah memenuhi standar IEEE dengan keadaan resistansi pentanahan yang cukup baik.

## DAFTAR PUSTAKA

- Admin. (2020). 5 Komponen Ini Penting Untuk Sistem Grounding Yang Baik.  
<https://www.radius.co.id/5-komponen-ini-penting-untuk-sistem-grounding-yang-baik/>
- Ashar Arifin. (2020). Jenis-Jenis Elektroda Pentanahan (Grounding).  
<https://www.carailmu.com/2020/10/jenis-jenis-elektroda-pentanahan.html>
- IEEE Power and Energy Society. (2013). IEEE Guide for Safety in AC Substation Grounding. In IEEE Std 80-2013 (Revision of IEEE Std 80-2000/ Incorporates IEEE Std 80-2013/Cor 1-2015) (Issue February).  
<https://doi.org/10.1109/IEEESTD.2015.7109078>
- Kasim, I., Hertog, H.D, & Corio, D. (2016). Analisis Penambahan Larutan Bentonit Dan Garam Untuk Memperbaiki Tahanan Pentanahan Elektroda Plat Baja Dan Batang. JETri, Volume 13, Nomor 2, Halaman 61-72.
- Libianko Sianturi, Fiktor Sihombing, Odin S. Sitohang. (2019). STUDI PEMBUMIAN SISTEM GRID APLIKASI GARDU INDUK 150 KV KAPASITAS 60 MVA TANJUNG MORAWA.
- Mohammad Noviansyah. (2019). Pengenalan Dasar Matlab.  
<https://repository.bsi.ac.id/index.php/unduh/item/237731/Modul-Pengenalan-Dasar-Matlab.pdf>
- Muhammad Fauzan Gusti Triyanto. (2021). Sekilas Tentang Software ETAP Beserta Tollbarnya. [https://www.anakteknik.co.id/fauzan\\_triyanto02/articles/sekilas-tentang-software-etap-beserta-tollbarnya](https://www.anakteknik.co.id/fauzan_triyanto02/articles/sekilas-tentang-software-etap-beserta-tollbarnya)
- Yoga Septria. (2016). EVALUASI TEGANGAN SENTUH DAN TEGANGAN LANGKAH GARDU INDUK (GI) 150 KV KOTA BARU AKIBAT PERUBAHAN RESISTIVITAS TANAH

## Lampiran





