

MAKALAH SISTEM PENTANAHAN

DESAIN SISTEM PENTANAHAN GARDU INDUK

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



Disusun oleh:

Faiz Daffa Ulhaq	(2010314035)
Kevin Ardiansyah	(2110314039)
Yusuf Aditya Prayoga Hartono	(2110314065)
Yohanes Raja B Situmorang	(2110314071)
Muhammad Haikal Dzikri	(2110314072)
Rivaldo Deanova	(2110314081)

PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS PEMBANGUNAN NASIONAL VETERAN JAKARTA
2023

DAFTAR ISI

DAFTAR ISI.....	i
DAFTAR GAMBAR	ii
BAB 2 PENDAHULUAN	1
2.1 Latar Belakang	1
2.2 Tujuan	1
BAB 3 KAJIAN PUSTAKA	2
3.1 Sistem Pentanahan.....	2
3.2 Prinsip Kerja.....	3
3.3 Komponen sistem pentanahan	4
3.4 Program pendukung	7
3.5 Variable Sistem Pentanahan.....	9
BAB 4 METODE PELAKSANAAN	12
4.1 Sumber Data	12
4.2 Alur Desain Sistem Pentahanan.....	12
4.3 Pemrograman Python.....	14
BAB 5 HASIL DAN PEMBAHASAN	16
5.1 Hasil Perhitungan Python.....	16
5.2 Desain Grounding pada ETAP	16
5.3 Perhitungan Microsoft Excel	19
5.4 Hasil Desain Pentanahan	19
BAB 6 KESIMPULAN	20
DAFTAR PUSTAKA.....	21

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Pembumian Grid Gardu Induk	3
Gambar 2.2 Konduktor Elektroda Grounding	4
Gambar 2.3 Koneksi Grounding	5
Gambar 2.4 Sistem Pentanahan Elektroda Batang	5
Gambar 2.5 Sistem Pentanahan Elektroda Pelat	6
Gambar 2.6 Sistem Pentanahan Elektroda Pita	6
Gambar 2.7 Aplikasi Etap	7
Gambar 2.8 Aplikasi Visual Studio Code	8
Gambar 2.9 Microsoft Excel	8
Gambar 3.1 Flowchart desain pentanahan sesuai IEEE std 80-2000.....	12
Gambar 3.2 Flowchart untuk program looping pada Python	13
Gambar 3.3 Data Perhitungan.....	14
Gambar 3.4 Program Looping Python	15
Gambar 4.1 Hasil perhitungan looping python.....	16
Gambar 4.2 Data Kondisi Tanah Pada ETAP	17
Gambar 4.3 Ukuran Grid.....	17
Gambar 4.4 Data Rod.....	17
Gambar 4.5 Data Hasil Simulasi ETAP	18
Gambar 4.6 Desain Pentanahan ETAP	18
Gambar 4.7 Data dan Perhitungan Pentanahan	19

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

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 bahayategangan 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 2

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 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:

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, dan 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.

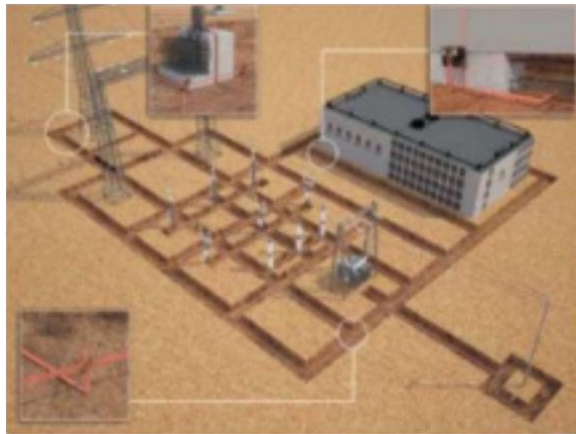
- Bagian-bagian yang ditanahkan berupa:

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 inisesungguhnya

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 1Ω), seperti Gambar 2.1



Gambar 2.1 Pembumian Grid 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 kisi-kisi (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 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-peralatan yang ada, dibatasi maksimum 10 m x 5 m. Kisi-kisi pembumian bersambungan satu dengan yang lainnya dan dihubungkan dengan batang pembumian yang terdiri dari batang tembaga.

Batang tembaga ini berdiameter 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 terisolasi dari tanah ditanam melalui batang tembaga (35 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 molekuler 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

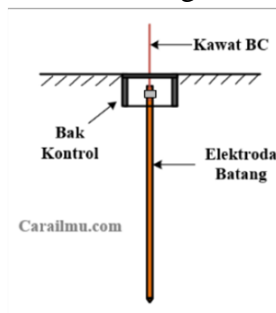
3. Elektroda Grouding

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 1Ω ”. 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

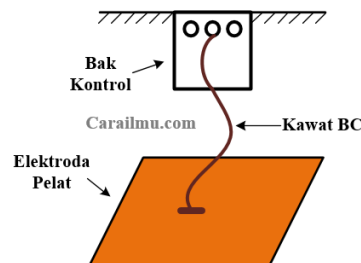


Gambar 2.4 Sistem Pentanahan Elektroda Batang

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 kedalaman 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

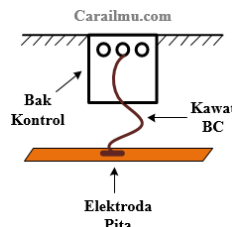


Gambar 2.5 Sistem Pentanahan Elektroda Pelat

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 ohm- meter, 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. Pada saat itu, komponen sistem grounding akan diharapkan berkinerja seperti baru sambil melakukan banyak arus.

Sebagian besar sistem grounding disembunyikan di bawah tingkat, 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

1. 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.

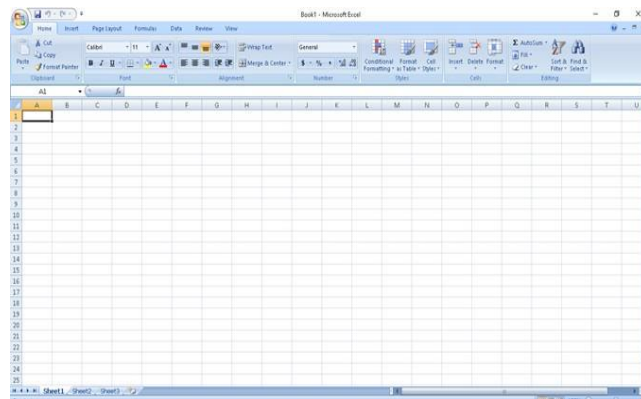
2. Bahasa Pemrograman Python



Gambar 2.8 Aplikasi Visual Studio Code

Python merupakan salah satu bahasa pemrograman yang banyak digunakan oleh perusahaan besar maupun para developer untuk mengembangkan berbagai macam aplikasi berbasis desktop, web dan mobile. Dikembangkan oleh Guido van Rossum pada awal tahun 1990, Python dirancang untuk menjadi bahasa yang mudah dibaca, ekspresif, dan memiliki fokus pada keterbacaan kode. Bahasa ini mendukung paradigma pemrograman berorientasi objek, fungsional, dan prosedural. Salah satu keunggulan Python adalah keberagaman perpustakaan (libraries) yang melimpah, seperti NumPy untuk komputasi numerik, Pandas untuk analisis data, dan Flask atau Django untuk pengembangan web.

3. 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 areapentanahan, panjang konduktor grid, panjang konduktor rod dan sebagainya.

2.5 Variable Sistem Pentanahan

1. Elektroda

Untuk mencari nilai tahanan elektroda digunakan rumus:

$$R_e = V/I$$

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

Untuk mencari tahanan jenis tanah menggunakan rumus:

$$\rho = 2\pi r R_e$$

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

2. 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:

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

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

3. Resistansi Pentanahan

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

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

4. Arus Grid Maksimum

Persamaan faktor yang mewakili kebalikan dari rasio kegagalan simetris sebagian dari arus yang mengalir antara grid grounding dan bumi, yaitu:

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

Dengan nilai desain arus grid maksimal didefinisikan sebagai berikut:

$$I_G = D_f \cdot I_g$$

menjadi,

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

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

5. GPR

Merupakan persamaan hasil kali dari arus grid maksimum dan resistansi Pentanahan

$$GPR = I_G \cdot R_G$$

6. Mesh Voltage (tegangan sentuh)

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

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

7. Step Voltage

Nilai tegangan langkah diperoleh dari persamaan – persamaan

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

8. Tegangan Sentuh Dan Tegangan Langkah Yang Diizinkan

$$Et_{50} = (1000 + 1.5\rho_s C_s) \frac{0.116}{\sqrt{t}}$$

$$Et_{70} = (1000 + 6\rho_s C_s) \frac{0.116}{\sqrt{t}}$$

dengan:

Et_{50} : tegangan sentuh yang diizinkan untuk kondisi manusia dengan berat 50 kg (volt).

C_s : faktor reduksi nilai resistivitas permukaan tanah.

ρ_s : resistivitas permukaan material (lapisan batu koral), ohm-m.

t : waktu lama gangguan (detik).

$$C_s = 1 - \frac{0.09(1 - \frac{\rho}{\rho_s})}{2h_s + 0.009}$$

- C_s : faktor reduksi nilai resistivitas permukaan tanah.
 ρ : resistivitas tanah (ohm-meter).
 ρ_s : resistivitas permukaan tanah (ohm-meter).
 h_s : ketebalan lapisan batu koral (m).

9. Jumlah Grid dan Rod

$$L = L_c + L_r$$

dengan:

L_c : Total panjang konduktor pentanahan grid (m)

L_r : Total panjang dari batang rod (m)

$$L_c = L_1 n + L_2 m$$

$$L_r = QP$$

$$Q = mn - [(m - 2)(n - 2)]$$

dengan,

L_1 : Panjang konduktor (m)

L_2 : Lebar konduktor (m)

n : Jumlah konduktor parallel sisi panjang

m : Jumlah konduktor parallel sisi lebar

Q : Jumlah konduktor rod.

P : panjang konduktor rod perbatang (m)

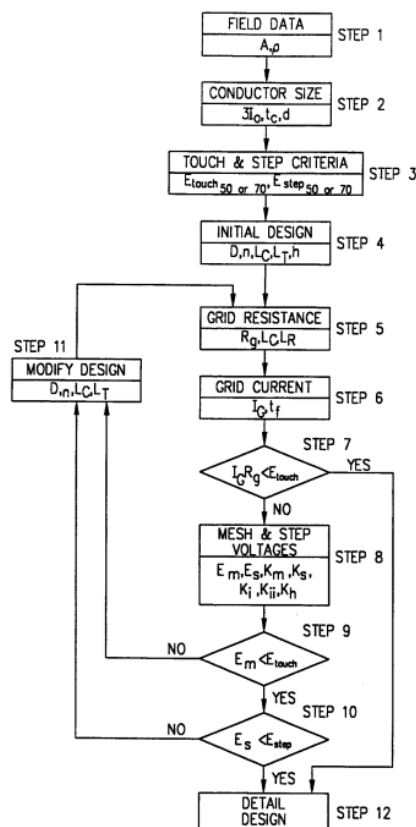
BAB 3

METODE PELAKSANAAN

3.1 Sumber Data

Pada pembuatan desain sistem pentanahan, kami menggunakan data dari sumber jurnal SPEKTRUM Vol. 7, No. 1 Maret 2020 dengan judul “PERENCANAAN SISTEM PEMBUMIHAN GRID-ROD PADA GARDU INDUK 150 KV NEW SANUR”. Dari jurnal tersebut, kami menggunakan data – data yang disajikan yang telah peneliti ambil berdasarkan data fakta dilapangan, seperti tahanan jenis tanah, luas area pentanahan, jenis tanah, dan sebagainya. Berdasarkan data tersebut, kami akan membuat desain pentanahan dengan metode looping menggunakan bahasa pemrograman python.

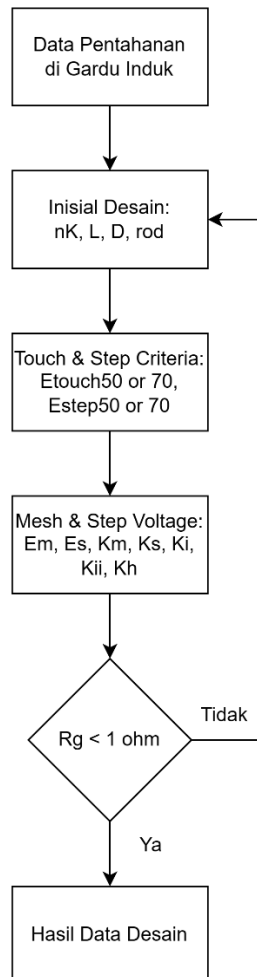
3.2 Alur Desain Sistem Pentanahan



Gambar 3.1 Flowchart desain pentanahan sesuai IEEE std 80-2000

Desain sistem pentanahan adalah langkah kritis dalam memastikan keamanan dan kinerja peralatan listrik di berbagai instalasi. Dalam merencanakan desain sistem pentanahan, diperlukan alur yang sesuai standar dengan mengikuti pedoman IEEE std 80-2000 seperti yang ditunjukkan gambar 3.8. Langkah awal yaitu mengidentifikasi kebutuhan sistem pentanahan berdasarkan karakteristik lingkungan. Selanjutnya, lakukan survei tanah untuk menentukan resistivitas tanah di lokasi tersebut, yang penting untuk menghitung nilai resistansi tanah yang diperlukan. Setelah itu, pilih bahan

pentanahan yang sesuai, seperti elektroda tembaga atau alumunium, dan tentukan kedalaman pemasangan yang optimal. Buatlah desain sistem pentanahan yang mempertimbangkan konfigurasi elektroda dan jarak antar elektroda dengan memperhitungkan arus gangguan (I_g) maksimum dan faktor keamanan. Dengan mengikuti alur sesuai standar, maka diharapkan hasil perhitungan dapat diaplikasikan pada proses instalasi dengan memperhatikan keamanan dan keselamatan.



Gambar 3.2 Flowchart untuk program looping pada Python

Berdasarkan gambar di atas, untuk mempermudah mendapatkan data desain yang sesuai ketentuan di mana $R_g < 1 \text{ ohm}$, maka dibuatlah program looping menggunakan bahasa pemrograman python. Langkah – Langkah desain pentanahan tetap mengikuti IEEE std 80-2000 dengan memperhatikan beberapa variable seperti tegangan sentuh dan tegangan langkah. Program ini akan dibuat menghitung secara looping di mana program akan berhenti ketika sudah mendapatkan nilai $R_g < 1 \text{ ohm}$.

3.3 Pemrograman Python

```
E      = 150000      # Tegangan Sistem (volt)
h      = 3          # depth / kedalaman penanaman konduktor (m)
p      = 100        # tahanan jenis tanah (ohm-m)
ps     = 3000       # tahanan permukaan tanah (koral) (ohm-m)
hs     = 0.1        # ketebalan lapisan koral
a      = 0.012      # diameter pembedian Mesh (m)
b      = 0.012      # diameter konduktor pembedian Rod (m)
aa     = np.sqrt(a*2*h) # (a') untuk konduktor yang ditanam pada kedalaman h
d      = b
D      = 10         # jarak antar konduktor grid
A      = 6000       # Luas area sistem pembedian (m^2)
K1     = 0.1
K2     = 4.5
Lr     = 3          # panjang batang konduktor Rod (m)
nR     = 32         # jumlah konduktor batang Rod
LR     = 100        # panjang total konduktor Rod (m)
LC     = 660        # panjang total konduktor Mesh (m)

Vf     = 120        # tegangan rms ke tanah (volt)
Z1     = 4          # Impedansi positif (ohm)
TCAP   = 3.42       # faktor kapasitansi panas konduktor (J/cm3/*C)
ts     = 1          # lama gangguan (detik)
ar     = 0.00393    # koefisien panas resistivitas (*C)
pr     = 1.72       # resistivitas konduktor pentanahan (ohm/cm)
Ko     = 234        # Konstanta (1/ar) (*C)
Tm     = 1083       # suhu maksimum konduktor (*C)
Ta     = 34         # suhu tanah sekitar

Kii    = 1
m      = 6          # jumlah_konduktor_sisi_panjang
n      = 10         # jumlah_konduktor_sisi_lebar
```

Gambar 3.3 Data Perhitungan

```

Rg = 1
nK = 2 # jumlah konduktor grid
L = 10 # sisi panjang dan lebar (m)
D = 0
rod = 0
while Rg <= 10000:
    print(nK, end=" ")
    print(f"\t| | {D}", end=" ")
    print(f"\t| | {Rg}")
    if 0 < Rg < 1:
        break

    # nK += 1 # panjang total konduktor grid (m)
    nK = 11
    rod += 1

    LC = L*nK + L*nK
    Q = nK*nK - ((nK-2)*(nK-2))
    LR = Q * 3

    # RG (Resistansi Pentanahan) Grid-Rod (ohm)
    # LT = (2 * nK * 10) + rod*3
    LT = 100 * 60
    D = 100/(nK - 1) # jarak antar konduktor
    Rg = p * ((1/LT) + ((1/np.sqrt(20*A)) * (1+(1/(1+h*np.sqrt(20/A))))))

    # Arus Gangguan Ke tanah (If (Amp))
    If3 = Vf / Z1

    # Luas penampang konduktor (mm2)
    Amm2 = If3/(np.sqrt((TCAP*10**-4)/(ts*ar*pr))) * np.log((Ko+Tm)/(Ko+Ta))

    Cs = 1 - ((0.09*(1-(p/ps)))) / 2*hs+0.09
    # Estep dan Etouch 50 Kg
    Ik50 = 0.116 / np.sqrt(ts)
    Es50 = (1000 + 6*Cs*ps) * (Ik50)
    Et50 = (1000 + 1.5*Cs*ps) * (0.116/np.sqrt(ts))

    # Estep dan Etouch 50 Kg
    Ik70 = 0.157 / np.sqrt(ts)
    Es70 = (1000 + 6*Cs*ps) * (Ik70)
    Et70 = (1000 + 1.5*Cs*ps) * (0.157/np.sqrt(ts))

    # Mesh Voltage (Em)
    Kh = np.sqrt(1+(h/1))
    N = np.sqrt(nK*nK)
    Ki = 0.644+0.148*N
    Io = (3*(E/np.sqrt(3)))/(3*0+(4+4+10)+(10+10+40))
    Ig = 0.6 * Io
    IG = 1 * Ig
    Km = (1 / (2 * np.pi)) * (np.log(D**2/(16*h*d)) + ((D+2*h)**2/(8*D*d)) - (h/(4*d)) + ((Kii/Kh) * np.log(8/(np.pi*(2*N-1)))))
    LM = LC + LR
    Em = ((p*Km*Ki*IG) / LM) / 100

    # Step Voltage (Es)
    Ks = (1/np.pi) * ((1/(2*h)) + (1/(D+h)) + ((1/D)*(1-(0.5**(N-2)))))
    Es = (p*IG*Ks*Ki) / (0.75*LC + 0.85*LR)

    #GPR
    GPR = IG * Rg

```

Gambar 3.4 Program Looping Python

Program diatas merupakan proses pada perancangan aplikasi menggunakan Bahasa pemrograman python dengan memasukan perhitungan sesuai standar IEEE. Perhitungan desain akan otomatis terhitung secara looping sampai nilai $R_g < 1$. Ketika berhenti, langkah selanjutnya akan menampilkan data-data desain untuk digunakan pada desain selanjutnya menggunakan aplikasi ETAP.

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Perhitungan Python

```
Luas Total Grounding System      : 6000 m2
Jumlah konduktor grid            : 11 batang
Jumlah konduktor rod             : 1 batang
Sisi panjang dan sisi lebar     : 10 m
Jarak antar konduktor grid (D)  : 10.0 m
Luas penampang konduktor        : 83.77059778260876 mm2

=====Berat Badan 50 Kg=====
Arus Fibrasi                     : 0.116 Amp
Tegangan sentuh yang diizinkan   : 2006.9972000000002 Volt
Tegangan langkah yang diizinkan  : 588.7493000000001 Volt

=====Berat Badan 70 Kg=====
Arus Fibrasi                     : 0.157 Amp
Tegangan sentuh yang diizinkan   : 2716.3669 Volt
Tegangan langkah yang diizinkan  : 796.841725 Volt

=====IEEE Grounding=====
GPR                              : 1101.98130175724 volt
Mesh Voltage (Em)                : 442.67177275232615 volt
Step Voltage (Es)                : 185.88698135807664 volt
Rg (resistansi pentanahan) rod   : 0.5513986410499465 ohm
```

Gambar 4.1 Hasil perhitungan looping python

Berdasarkan hasil perhitungan looping menggunakan bahasa pemrograman python, maka didapatkan data untuk membuat desain pentanahan dengan data luas total sistem pentanahan, jumlah grid dan rod, sisi panjang dan lebar, jarak antar konduktor, dan luas penampang konduktor. Selain itu, didapat juga hasil arus fibrasi yang mempengaruhi tegangan sentuh dan tegangan langkah untuk manusia dengan berat 50 kg dan 70 kg.

Pada perhitungan tersebut, kriteria sesuai standar IEEE, yaitu didapatkan nilai GRP 1101.99 volt, mesh voltage atau tegangan sentuh sebenarnya sebesar 442.67 volt, step voltage sebenarnya sebesar 185.89 volt, dan resistansi pentanahan (R_g) 0.551.

4.2 Desain Grounding pada ETAP

Desain pentanahan menggunakan ETAP dilakukan menggunakan data hasil perhitungan dari python. Perhitungan ETAP menggunakan komponen ground grid, komponen ini memudahkan dalam simulasi dan perhitungan pentanahan. Pertama, data tanah dimasukan dapat dilihat pada 3.3, jenis tanah yang digunakan dapat dipilih antara 5 opsi. Kedua, dimasukan data lebar dan panjang grid serta data konduktor dapat dilihat pada gambar 4.1, 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. Setelah data selesai dimasukan simulasi dapat dijalankan.

Gambar 4.2 Data Kondisi Tanah Pada ETAP

Gambar 4.3 Ukuran Grid

Gambar 4.4 Data Rod

GRD Analysis Alert View for GRD1

Summary and Alert

Result Summary

	Calculated Volts	Tolerable Volts
Touch	199,7	730,5
Step	55,6	2429,7

GPR

1186,7

Volts

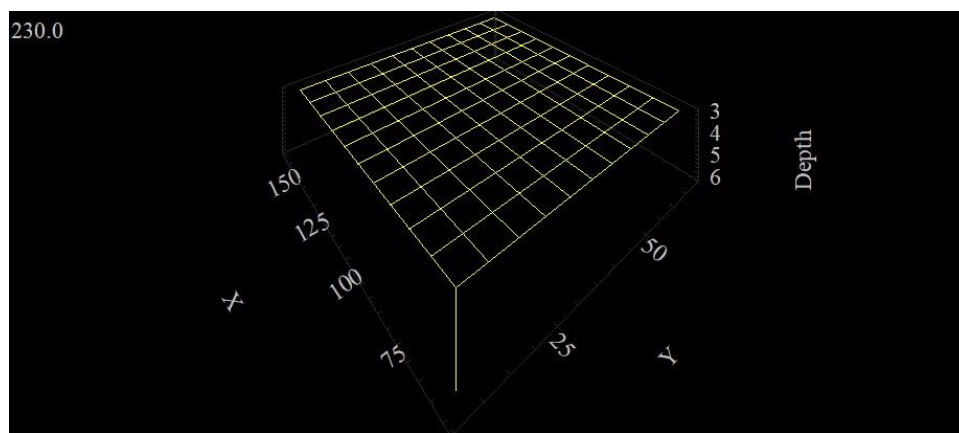
Rg

0,591

Ohm

Gambar 4.5 Data Hasil Simulasi ETAP

Gambar 4.5 menunjukkan hasil simulai dari grid berdasarkan data yang dimasukan di ETAP. Touch dan Step voltage yang didapatkan dari perhitugan ETAP berada di bawah batas toleransi grid, touch voltage sebesar 199,7 dan step voltage sebesar 55,6, sedangkan GPR yang didapatkan dari perhitugan adalah 1186,7 V dan Rg yang didapatkan dari perhitugan adalah 0,591 ohm.



Gambar 4.6 Desain Pentanahan ETAP

Hasil desain pada gambar 4.6 didapat dari hasil input data yang dimasukan di ETAP, dapat dilihat posisi rod yang terdapat pada grid yaitu jumlahnya ada1. Hasil ukuran pada gambar 4.1 menggunakan satuan panjang meter.

4.3 Perhitungan Microsoft Excel

VARIABEL	INPUT		Ukuran Konduktor Grid (A)	207953.8862 105.3717894	Circular mils mm ²	Rg (resistansi pentanahan) tanpa rod Rg (resistansi pentanahan) rod	0.591550156 ohm 0.591453472 ohm
Tegangan sistem	150000	Volt					
Tahanan jenis permukaan batu koral Rho's	3000	Ohm-m					
Tahanan jenis tanah (rho)	100	Ohm-m	Arus Fibrilasi (Ik) Ampere 50 Kg	0.116	ampere		
Arus gangguan maksimum (If)	30101.68241	ampere	Arus Fibrilasi (Ik) Ampere 70 Kg	0.157	ampere		
Waktu gangguan (tf)	1	sekon	Tegangan Sentuh yang diizinkan(Etouch) 50 kg	481.4	Volt		
Ketebalan lapisan koral (hs)	0.1	meter	Tegangan Sentuh yang diizinkan(Etouch) 70 kg	651.95	Volt		
Tahanan tubuh manusia (rk)	1000	Ohm					
Suhu maks konduktor (Tm) °C	1083	°C					
Suhu keliling tahanan maks (Ta) °C	34	°C					
L1 (panjang konduktor "grid")	100	meter					
L2 (lebar konduktor "grid")	60	meter					
Jenis konduktor	Std Soft Cu Wire	-					
IMPEDANSI SISTEM	B	jX					
Impedansi urutan positif	4	10					
Impedansi urutan 0	10	40					
TERHITUNG							
Luas area pentanahan	6000	meter ²					
L (panjang total konduktor pentanahan)	1763						
Lc (panjang konduktor grid)	1760						
Lr (panjang konduktor rod)	3						
jarak konduktor sisi panjang (D1)	10	meter					
jarak konduktor sisi lebar (D2)	6						
Panjang peripheral grid	800						
Ls	1322.55						
Bus Fault (3 io)	3330.866938	ampere					
Arus Grid (iG)	1998.520163						
K (faktor refleksi)	-0.935483871						
Cs (faktor reduksi)	0.7						
Koefisien Km (tanpa rod)	33.2817						
Koefisien Km (rod)	33.22581541						
Kil (tanpa rod)	0.372125726						
Kil (rod)	1						
Kh	2						
n	4.4						
na	4.4						
Ki	1.2952						
Ks	0.211055176						

Gambar 4.7 Data dan Perhitungan Pentanahan

Perhitungan Excel bertujuan untuk memvalidasi dari simulasi dan hasil perhitungan ETAP. Berdasarkan gambar 4.6, data-data pentanahan dimasukkan ke perhitungan excel. Dari perhitungan excel didapatkan hasil nilai GPR sebesar 1182.03 volt, mesh voltage sebesar 146.67 volt, step voltage sebesar 41.31 volt, dan resistansi pentanahan (Rg) sebesar 0.591 ohm.

4.4 Hasil Desain Pentanahan

Setelah dilakukan perhitungan untuk desain sistem pentanahan dengan beberapa cara, maka akan dibandingkan hasil tersebut seperti yang disajikan pada table 4.1.

Tabel 4.1 Perbandingan Hasil Perhitungan

Aplikasi	GPR (volt)	Rg (ohm)
Python	1101.98	0.551
ETAP	1186.7	0.591
Excel	1182.03	0.591

Pada hasil perhitungan resistansi pentanahan rod menggunakan ETAP dan Excel didapatkan nilai yang sama yaitu 0,591 ohm, sedangkan pada perhitungan yang menggunakan python didapatkan hasil yang berbeda yaitu 0,551 ohm. Setelah dianalisis, perbedaan hasil perhitungan disebabkan karena adanya perbedaan rumus dasar yang digunakan. ETAP dan Excel menggunakan rumus sesuai standar IEEE, namun untuk program python menggunakan tambahan rumus untuk mendapatkan data yang lebih detail untuk desain sistem pentanahan yaitu jumlah batang konduktor grid, jarak antar konduktor, jumlah rod, dan luas total sistem pentanahan. Rumus yang digunakan pada python tetap menggunakan IEEE std 80-2000 dan hasil yang didapatkan dijauh berbeda.

BAB 5 KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perhitungan untuk desain pentanahan di atas, dapat disimpulkan bahwa perhitungan desain dapat dilakukan menggunakan bahasa pemrograman python dengan melakukan proses looping untuk menghitung parameter yang dibutuhkan dengan menentukan hasil yang diinginkan yaitu nilai $R_g < 1$ ohm sesuai IEEE std 80-2000. Hasil program python yaitu nilai R_g sebesar 0.551 ohm yang artinya sudah sesuai dengan standar IEEE. Hasil program looping tersebut disimulasikan menggunakan ETAP dan divalidasi dengan Ms. Excel dan didapatkan hasil sistem pentanahan tersebut memiliki nilai resistansi pentanahan yang sama antara ETAP dengan Excel yaitu 0,591 ohm. Hal tersebut disebabkan oleh perbedaan rumus dasar yang digunakan pada program python. Namun perbedaan sebesar 0,39 ohm tersebut tidak mengubah kesimpulan bahwa perancangan sistem pentanahan 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.
- Romzi, M., & Kurniawan, B. (2020). Pembelajaran Pemrograman Python Dengan Pendekatan Logika Algoritma. JTIM: Jurnal Teknik Informatika Mahakarya, 3(2), 37-44.
- 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
- Yoga Septria. (2016). EVALUASI TEGANGAN SENTUH DAN TEGANGAN LANGKAH GARDU INDUK (GI) 150 kV KOTA BARU AKIBAT PERUBAHAN RESISTIVITAS TANAH.