

Pentanahan Grid pada Gardu Induk Kapal Bali Berdasarkan IEEE 80-2000 untuk Meningkatkan Keamanan Sistem Pentanahan

Ifan Rois, I Made Wartana
Institut Teknologi Nasional, Malang, Indonesia
Email: Ifanrois0@gmail.com,

Abstrak— Fungsi pentanahan peralatan gardu induk tersebut adalah untuk membatasi tegangan yang timbul antara peralatan, peralatan dengan tanah dan meratakan gradien tegangan yang timbul pada permukaan tanah akibat arus gangguan yang mengalir ke tanah. Sistem pentanahan pada gardu induk merupakan perlengkapan yang amat penting untuk menghindari bahaya-bahaya terhadap orang yang sedang berada didalam atau didaerah gardu induk tersebut. Sistem pentanahan yang berkualitas dan handal merupakan persyaratan utama dalam mengamankan peralatan dan pekerja yang berada di area gardu induk. Penelitian ini membahas rancangan sistem pengentanan peralatan di gardu induk. Pada perancangan ini menggunakan sistem pentanahan grid - rod dengan kombinasi antara jumlah grid dan rod yang kedalamannya konduktornya bergantung dari nilai tahanan jenis tanahnya serta luas daerah pentanahan yang akan digunakan. Berdasarkan hasil rancangan pada Gardu Induk Kapal Bali diperoleh tahanan jenis tanah sebesar 3000, sehingga ukuran diameter konduktor yang digunakan sebesar 7m, dan nilai Tegangan Sentuh 863,5 V, Tegangan Langkah 2983 V, Tegangan Mesh 626,38 V. Keseluruhan desain sesuai dengan standart IEEE 80-2000

Kata kunci : Grounding Grid , Tegangan Mesh , Tegangan langkah , tegangan sentuh

I. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Gardu induk merupakan bagian yang tak terpisahkan dari saluran transmisi dan distribusi listrik. Dimana suatu sistem tenaga yang diputuskan pada suatu tempat berisi saluran transmisi dan distribusi, perlengkapan hubung bagi, transformator, dan peralatan pengaman serta peralatan control. [1]

Pada gardu induk kemungkinan terjadinya bahaya terutama disebabkan oleh timbulnya gangguan yang menyebabkan arus mengalir ke tanah. Arus gangguan ini akan mengalir pada bagian - bagian peralatan yang terbuat dari metal dan juga mengalir dalam tanah di sekitar gardu induk. Arus gangguan tersebut menimbulkan gradien tegangan pada permukaan tanah itu sendiri[1].

Untuk mengatasi hal tersebut maka gardu induk harus memiliki sistem pembumian yang handal yang memenuhi

standar aman bagi manusia dan peralatan yang berada di area gardu induk. Sistem pembumian yang digunakan harus benar – benar dapat mencegah bahaya ketika pada saat gangguan yang mengalir ke bagian peralatan pembumian dapat dibumikan sehingga gradien tegangan disekitar area pembumian menjadi merata sehingga tidak menimbulkan beda potensial antara titik – titik disekitar.[2]

Dalam perancangan sistem pembumian gardu induk, ada beberapa standar yang diikuti untuk mendapatkan perancangan yang aman dan dapat mencegah timbulnya bahaya pada saat gangguan, salah satunya yaitu berdasarkan IEEE Std 80-2000. Dalam IEEE Std 80-2000 ini terdapat konsep – konsep perancangan sistem pembumian gardu induk, mulai dari hal-hal yang harus diperhatikan dalam perancangan, sampai ke langkah – langkah dalam perancangan, yang dijelaskan secara rinci.[2]

Berdasarkan hal tersebut, maka penulis melakukan studi perancangan sistem pembumian pada gardu induk 150/20 kV yang sesuai dengan standar IEEE Std 80-2000 untuk mendapatkan perancangan sistem pembumian yang aman dan efektif yang bias diterapkan di lapangan.[2]

Adapun tujuan penelitian ini adalah untuk membuat rancangan sistem pembumian pada gardu induk 150/20 kV yang mengacu kepada IEEE Std 80-2000 yang disesuaikan dengan standar yang berlaku di Indonesia.

B. Rumusan Masalah

1. Bagaimana merancang sistem pentanahan grid dari sistem pentanahan berbasis IEEE 80-2000 (IEEE Guide for Safety in AC Substation Grounding) di Gardu Induk Kapal Bali?
2. Bagaimana menentukan tegangan sentuh dan tegangan langkah untuk meningkatkan keamanan sistem pentanahan?

C. Tujuan

1. Merancang sistem pentanahan grid dari sistem pentanahan berbasis IEEE 80-2000 (IEEE Guide for Safety in AC Substation Grounding) di Gardu Induk Kapal Bali.
2. Menentukan Tegangan Sentuh dan Tegangan Langkah tersebut yang memenuhi standart sehingga meningkatkan keamanan sistem pentanahan

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Arus Gangguan Ketanah

Arus gangguan ke tanah yang mengalir di tempat gangguan mampu ditempat pengentanahan gardu induk menimbulkan perbedaan tegangan dipermukaan tanah yang dapat mengakibatkan terjadinya tegangan sentuh dan tegangan langkah yang dapat melampaui batas-batas keamanan manusia dan binatang.

Berdasarkan IEEE Std 80-2000 penentuan arus gangguan yang akan digunakan untuk merancang sistem pengetanahan. IEEE membatasi analisis arus gangguan ke tanah berdasarkan seringnya gangguan yaitu gangguan satu fasa ke tanah, dua fasa ke tanah, dan 3 fasa.

$$I_f = I_a = I_b = I_c = \frac{E}{z^{(1)}} \dots \dots \dots (1)$$

Dimana :

E = Tegangan fasa ke fasa

$z^{(1)}$ = Impedansi urutan positif (Ω)

I_f = Arus gangguan simetris

I_a = Arus fasa a

I_b = Arus fasa b

I_c = Arus fasa c

B. Tahanan Jenis Tanah

Kondisi jenis dan struktur tanah yang berbeda di sekitar gardu induk menyebabkan adanya perbedaan tahanan jenis terhadap jenis tanah yang berbeda. Berdasarkan PUIL 2000.

Tabel 1 Tahanan Jenis Tanah

Jenis Tanah	Tahanan Jenis Tanah (ohm-meter)
Tanah Rawa	30
Tanah Liat	100
Tanah Ladang	100
Pasir Basah	200
Krikil Basah	500
Pasir & Krikil Kering	1000
Tanah Berbatu	3000

Sumber : PUIL 2000

C. Konstanta Data

Berikut ini adalah nilai atau konstanta data IEEE 80-2000 yang dimana sudah di uji atau di lakukan penelitian.

Tabel 2 Konstanta Data Berdasarkan IEEE 80-2000

Simbol	Keterangan	Nilai	Satuan
α_r	Koefisien panas resistivitas material pada temperature referensi T_f	0,00393	$1/^\circ C$

ρ_r	Resistivitas konduktor pentahanan pada temperature T_r	1,72	$\mu\Omega/cm$
$TCAP$	Kapasitas panas persatuan volume	3,42	$J/cm^3 / ^\circ C$
T_m	Batas temperature maksimum yang dapat di tahan oleh material	1083	$^\circ C$
T_a	Suhu di lingkungan sekitar area	22,8	$^\circ C$
K_0	Koefisien yang nilainya $1/a_0$	234	$^\circ C$
ρ_s	Resistivitas tanah di bawah permukaan material	8500	$^\circ C$
h_s	Ketebalan permukaan material	0,20	$\Omega - m$
S_f	Faktor pembagi	0,6	m

Sumber : IEEE Guide for Safety in AC Substation Grounding, IEEE Std. 80-2000

D. Ukuran Konduktor

Nilai tahanan dari material elektroda yang digunakan bergantung pada ukuran konduktor yang dipasang. Ukuran konduktor akan dihitung dengan persamaan:

$$A_{mm^2} = I_f \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{TCAP \cdot 10^{-4}}{t_c \alpha_r \rho_r}\right) \ln\left(\frac{K_0 + T_m}{K_0 + T_a}\right)}} \dots \dots \dots (2)$$

Dimana:

A_{mm^2} = Luas penampang konduktor yang diperlukan

I_f = Arus gangguan

t_c = Durasi arus gangguan (detik)

α_r = Resistivitas pada suhu referensi T_r ($1/^\circ C$)

ρ_r = Refrensi temperature konduktor T_r ($\mu\Omega/cm$)

$TCAP$ = Kapasitas termal per satuan volume ($J/cm^3/^\circ C$)

T_m = Batas temperature maksimum yang dapat ditahan oleh material ($^\circ C$)

T_a = Suhu di lingkungan sekitar area ($^\circ C$)

K_0 = Koefisien yang nilainya $1/\alpha_r$ atau $(1/\alpha_r) T_r$ ($^\circ C$)

E. Tahanan Pembumian

Pembumian yang ideal harus memberikan nilai tahanan pembumian mendekati nol atau ≤ 1 ohm untuk gardu induk bertegangan tinggi (ANSI/IEEE Std 80-2000). Sebagai perkiraan pertama, sebuah nilai minimum dari tahanan pembumian gardu induk pada tanah yang seragam (*uniform*) untuk lapisan pertama (permukaan tanah) dapat di hitung dengan persamaan:

$$R_g = \frac{\rho}{4} \sqrt{\frac{\pi}{A}} \dots \dots \dots (3)$$

Kemudian, pada lapisan kedua dengan adanya gabungan grid dan batang rod untuk tanah yang (*uniform*), jumlah konduktor grid dan konduktor batang rod yang di tanam dengan kedalaman tertentu, maka dapat di peroleh persamaan:

$$R_g = \frac{\rho}{4} \sqrt{\frac{\pi}{A} + \frac{\rho}{L_T}} \dots \dots \dots (4)$$

Dimana:

- R_g = Tahanan Pembumian (Ω)
- A = Luas area pentanahan (m^2)
- ρ = Tahanan jenis tanah ($\Omega - m$)
- L_T = Total dari panjang konduktor yang tertanam (m)

Persamaan dalam menentukan tahanan total pembumian yang tanahnya homogen yang terdiri dari grid horizontal dan penghantar rod vertikal. Persamaan di atas di lanjutkan untuk mengetahui tahanan kawat penghantar pembumian disebut (R_1), pada tahanan pembumian grid keseluruhan disebut (R_2), dan (R_m) merupakan tahanan di antara kumpulan penghantar grid dan kumpulan pembumian rod –rod sedangkan (R_g) merupakan tahanan pembumian dapat dilihat pada persamaan:

$$R_g = \frac{R_1 R_2 - R_m^2}{R_1 + R_2 - 2R_m} \dots \dots \dots (5)$$

$$R_g = \rho \left[\frac{1}{L_c} + \frac{1}{\sqrt{20A}} \left(1 + \frac{1}{1+h\sqrt{20/A}} \right) \right] \dots \dots \dots (6)$$

Tahanan penghantar pembumian grid (R_1) dapat ditentukan dengan persamaan:

$$R_1 = \frac{\rho_1}{\pi L_c} \left[\ln \left(\frac{2L_c}{a'} \right) + \frac{k_1 L_c}{\sqrt{A}} - k_2 \right] \dots \dots \dots (7)$$

Untuk mencari nilai tahanan penghantar pembumian rod (R_2) dapat ditentukan dengan persamaan:

$$R_2 = \frac{\rho_1}{2\pi n_r L_R} \left[\ln \left(\frac{4L_R}{b} \right) - 1 + \frac{2k_1 L_R}{\sqrt{A}} (\sqrt{n_R} - 1)^2 \right] \dots \dots \dots (8)$$

Mutu tahanan pembumian antara (R_1) dan (R_2) yaitu (R_m) dapat ditentukan dengan persamaan:

$$R_m = \frac{\rho_1}{\pi L_c} \left[\ln \left(\frac{2L_c}{L_R} \right) + \frac{k_1 L_c}{\sqrt{A}} - k_2 + 1 \right] \dots \dots \dots (9)$$

Dimana:

- ρ =Tahanan jenis tanah dalam satuan ($\Omega . m$)
- L_c =Total panjang penghantar keseluruhan grid yang terhubung dalam satuan (m)
- a = Diameter penghantar pembumian grid (mm)
- a' = $\sqrt{a} \times 2h$ (m)
- A = Area bagian penghantar dalam (m^2)

$k_1 k_2 =$ koefisien $k_1 = (-0,04(L_x/L_y)) + 1,41$ dan $k_2 = (-0,15(L_x/L_y)) + 5,5$

- L_R = panjang setiap penghantar rod (m)
- b = Diameter penghantar rod (m)
- n_R = Jumlah penghantar rod
- L_C = Total panjang grid (m)

F. Tegangan Sentuh

Tegangan sentuh adalah tegangan dimana terdapat suatu objek yang disentuh dan suatu titik berjarak 1 meter, dengan mengamsumsikan bahwa obejk yang disentuh terhubung dengan kisi-kisi pembumian yang berada di bawahnya.

Tegangan Sentuh memilik kriteria yang udah di tetapkan.

Table 3 Tegangan Sentuh yang Diizinkan dan Lama Gangguan

Lama Gangguan (s)	Tegangan Sentuh yang Diizinkan (volt)
0,1	1980
0,2	1400
0,3	1140
0,4	990
0,5	890
1,0	626
2,0	443
3,0	362

Sumber : PUIL 2000

Manusia dengan berat badan 50 kg dan 70 kg yang berada diantara satu objek tersebut dapat di hitung dengan persamaan:

$$E_{touch50} = (1000 + 1.5 C_s \rho_s) \frac{0.116}{\sqrt{t_s}} \dots \dots \dots (10)$$

$$E_{touch70} = (1000 + 1.5 C_s \rho_s) \frac{0.157}{\sqrt{t_s}} \dots \dots \dots (11)$$

C_s dapat dianggap juga sabagai faktor koreksi untuk menghitung efektif kaki saat di hadapan dengan ketebalan hingga ke permukaan material. Nilai C_s dapat di cari dengan persamaan:

$$C_s = 1 - \frac{0.09(1-\frac{\rho}{\rho_s})}{2h_s+0.09} \dots \dots \dots (12)$$

Dimana:

- $E_{touch50}$ = Batas tegangan sentuh yang diizinkan untuk berat badan 50kg
- $E_{touch70}$ = Batas tegangan sentuh yang diizinkan untuk berat badan 70kg
- C_s = Faktor reduksi nilai resistivitas permukaan tanah
- ρ_s = Tahanan jenis permukaan material ($ohm - m$)
- t = Waktu gangguan tanah (*detik*)
- h_s = Ketebalan lapisan (m)

Dan apabila tidak adanya pengaman yang digunakan pada lapisan permukaan maka dapat diasumsikan dengan $C_s = 1$ dan $\rho_s = \rho$

Untuk pembumian grid ini apabila menggunakan model bujur sangkar ataupun persegi panjang mempunyai batasan yang berdasarkan IEEE 80-2000

1. Jumlah konduktor parallel dalam satu kisi kurang dari 25 ($n < 25$),
2. $0.25 < h < 2.5$ dengan h merupakan kedalaman penanaman konduktor (m)
3. $d < 25$ m, d merupakan diameter penghantar (m)
4. $D < 2.5$ m, D merupakan jarak antara konduktor (m)

G. Tegangan langkah

Tegangan langkah dapat di artikan tegangan yang timbul di antara dua kaki orang yang sedang berdiri diatas tanah yang sedang dialiri oleh arus gangguan ke tanah,

Tegangan Sentuh memiliki kriteria yang udah di tetapkan.

Table 4 Tegangan Langkah yang Diizinkan dan Lama Gangguan

Lama Gangguan (s)	Tegangan Langkah yang Diizinkan (volt)
0,1	7000
0,2	4950
0,3	4040
0,4	3500
0,5	3140
1,0	2216
2,0	1560
3,0	1280

Sumber : PUIL 2000

Manusia dengan berat badan 50kg dan 70kg dapat dihitung tegangan langkahnya dengan persamaan:

$$E_{step50} = (1000 + 6 C_s \rho_s) \frac{0.116}{\sqrt{t_s}} \dots\dots\dots(13)$$

$$E_{step70} = (1000 + 6 C_s \rho_s) \frac{0.157}{\sqrt{t_s}} \dots\dots\dots(14)$$

Tegangan langkah maksimum diperkirakan terjadi lebih dari jarak 1 meter, mulai dan memperluas luar konduktor perimeternya pada sudut yang membagi dua sudut. Adapun faktor geometrik tegangan langkah yang dapat dihitung dengan persamaan:

$$K_s = \frac{1}{\pi} \left[\frac{1}{2h} + \frac{1}{D+h} + \frac{1}{D} (1 - 0,5^{n-2}) \right] \dots\dots\dots(15)$$

Dimana:

- K_s = Faktor geometrik tegangan langkah
- h = Kedalaman pembumian grid (m)
- D = Jarak parallel antara konduktor pembumian grid (m)

Adapun usaha yang dapat di lakukan untuk memperluas persamaan ini termasuk penggunaan jumlah penghantar *rod* ke tanah. Jika L_c adalah total panjang semua batang penghantar *grid* dan L_R adalah total panjang dari semua batang penghantar *rod*. Maka nilai efektif panjang penghantar *grid* untuk tegangan langkah L_s dapat digunakan persamaan:

$$L_s = 0.75L_c + 0.85L_R \dots\dots\dots(16)$$

Dan untuk mencari nilai tegangan langkah dapat menggunakan persamaan:

$$E_s = \frac{\rho K_s K_i L_c}{L_s} \dots\dots\dots(17)$$

$$K_i = 0.644 + 0.148 \times n \dots\dots\dots(18)$$

H. Tegangan Mesh

Tegangan mesh E_m adalah salah satu bentuk dari tegangan sentuh. Tegangan mesh dinyatakan sebagai tegangan tertinggi yang mungkin timbul sebagai tegangan sentuh yan dapat dijumpai dalam sistem pembumian gardu induk. Nilai tegangan mesh ini tergantung dengan nilai dari faktor geometric tegangan mesh (K_m), faktor koreksi (K_i), Tahanan tanah (ρ), arus pembumian *grid* maksimum (L_G) dan nilai efektif panjang penghantar *grid* untuk tegangan mesh (L_M) dapat dihitng dengan persamaan:

$$E_m = \frac{\rho K_m K_i L_c}{L_M} \dots\dots\dots(19)$$

Adapun untuk mencari nilai efektif panjang *grid* dapat di hitng dengan rumus:

$$L_M = L_c + \left[1.55 + 1.22 \left(\frac{L_r}{L^2_x + L^2_y} \right) \right] L_R \dots\dots\dots(20)$$

Dan untuk mencari nilai faktor geometric untuk tegangan mesh dapat di tentukan rumus:

$$K_m = \frac{1}{2\pi} \left[\ln \left(\frac{D^2}{16hd} + \frac{(D+2h)^2}{8Dd} - \frac{h}{4d} \right) + \frac{K_{ii}}{K_h} \ln \frac{8}{\pi(2n-1)} \right] \dots\dots\dots(21)$$

Untuk pembumian *grid* yang di pasangkan *rod* disetiap perimeternya bernilai $k_{ii} = 1$, sedangkan untuk pembumian yang tidak di pasangkan *rod* dapat di tentukan dengan rumus:

$$k_{ii} = \frac{1}{(2 \times n)^{\frac{2}{n}}} \dots\dots\dots(22)$$

Untuk mencari nilai k_h dapat dicari dengan rumus:

$$k_h = \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{h}{h_0}}} \dots\dots\dots(23)$$

Dimana untuk nilai $h_o = 1$ m

Pada penghantar *grid* yang di parallel dengan sebutan n. Dapat dibentuk menjadi bujur sangkar ataupun empat persegi panjang. atau penomoran yang di beraturan atau ekuivalen dengan bujur sangkar dapat di hitung dengan rumus:

$$n = n_a \cdot n_b \cdot n_c \cdot n_d \dots\dots\dots(24)$$

Dimana:

$$n_a = \frac{2L_c}{L_R} \dots\dots\dots(25)$$

$$n_b = \sqrt{\frac{L}{4\sqrt{A}}} \dots\dots\dots(26)$$

(Nilai $n_b = 1$ jika berbentuk persegi)

$$n_c = \left[\frac{L_x L_y}{A} \right]^{0.7A/L_x L_y} \dots\dots\dots(27)$$

(Nilai $n_c = 1$ jika berbentuk persegi dan persegi panjang)

$$n_d = \frac{D_m}{\sqrt{L^2_x + L^2_y}} \dots\dots\dots(28)$$

(Nilai $n_d = 1$ jika berbentuk persegi dan persegi panjang, dan bentuk L)

Dimana:

A = Total arus pembumian *grid* (m^2)

L_x = Panjang maksimum penghantar *grid* pada sumbu x (m)

L_y = Panjang maksimum penghantar *grid* pada sumbu y (m)

D_m = Jarak maksimum antara 2 *grid* (m)

I. Kenaikan Tegangan Tanah

Kenaikan tegangan tanah bias di artikan sabagai maksimum tegangan listrik pada pembumian gardu induk *grid* yang mungkin adanya relatif terhadap jarak nilai pembumian diasumsikan seperti tegangan pada pembumian dengan persamaan:

$$GPR = I_g + R_g \dots\dots\dots(29)$$

Dimana:

I_g = Arus rms *grid* simetris (A)

R_g = Tahanan pembumian *grid* (Ω)

J. Arus Grid Maksimum

Arus *grid* maksimum dapat diartikan sebagai arus terbesar yang mengalir pada rangkaian pembumian *grid*

saat terjadi gangguan fasa ke tanah dan dapat dihitung dengan persamaan:

$$I_g = S_f \times I_f \dots\dots\dots(30)$$

Adapun nilai perancangan dari arus gangguan maksimum:

$$I_G = D_f \times I_g \dots\dots\dots(31)$$

$$D_f = \sqrt{1 + \frac{T_a}{t_f} \left(1 - \frac{-2S_f}{T_a} \right)} \dots\dots\dots(32)$$

$$T_a = X / (100\pi R) \dots\dots\dots(33)$$

Dimana:

I_g = Arus gangguan simetris

D_f = Faktor Decrement

T_a = DC offset time constant

S_f = Faktor pembagi arus gangguan

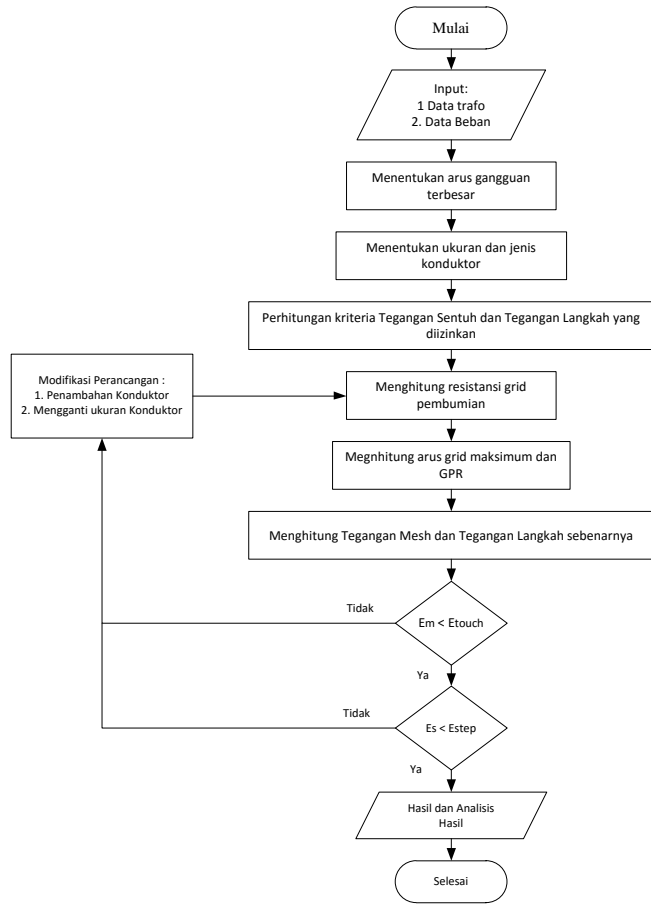
III. METODELOGI PENELITIAN

A. Algoritma Simulasi

Algoritma merancang pentanahan grid

- 1) Mulai.
- 2) Menggambar Single Line diagram.
- 3) Input data: Transformator, Saluran, Petanahan, Beban.
- 4) Menjalankan simulasi *short circuit* dengan *solid grounding*.
- 5) Menentukan arus *Ground Fault* terbesar.
- 6) Menentukan ukuran dan jenis konduktor.
- 7) Menghitung kriteria Tegangan Sentuh dan Tegangan Langkah yang diizinkan.
- 8) Menghitung resistansi grid.
- 9) Mengecek apakah resistansi sesuai dengan standar IEEE 80-2000.
- 10) Menghitung Tegangan Mesh dan Tegangan Langkah.
- 11) Mengecek tegangan Mesh < Tegangan sentuh yang diizinkan, Tegangan langkah < Tegangan Langkah yang diizinkan.
 - Jika Ya : Hasil
 - Jika Tidak : penambahan konduktor, mengganti ukuran konduktor
- 12) Detail perancangan.
- 13) Selesai.

B. Flowchart



Gambar 1 Flowchart Perancangan Sistem Pentanahan

IV. HASIL DAN ANALISIS HASIL

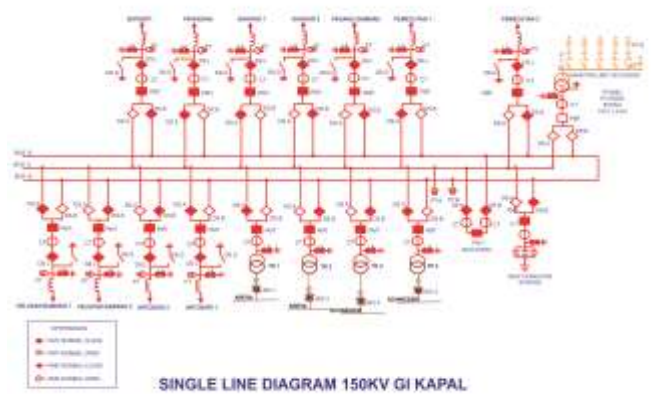
A. Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan dengan survey yaitu langsung ke lokasi penelitian instansi yakni PT PLN (PERSERO) Gardu Induk Kapal Bali yang berkapasitas sebesar 150 kV.

B. Pengelompokan Data

Data yang berasal dari PT PLN (PERSERO) Gardu Induk Kapal Bali masih berupa data mentah yaitu data trafo, data beban, dan data *single line diagram*. Pengolahan data dilakukan setelah proses pengambilan data. Pengolahan data dilakukan melalui beberapa tahap diantaranya pengelompokan dan pentabulasian data sesuai dengan kebutuhan analisis, selanjutnya melakukan analisis perhitungan data untuk simulasi dengan menggunakan *software ETAP*, dan yang terakhir adalah melakukan pembahasan terhadap data yang telah di olah.

1. Single Line Diagram



Gambar 2 Single Line Diagram GI Kapal Bali
Sumber : Gardu Induk PT PLN (Persero) UPT Bali

2. Data Transformator

Tabel 5 Data Rating Transformator

Trafo	Kapasitas	Sisi Primer	Sisi Skunder	Number of phases	Frekuensi
T1	60 MVA	150 kV	20 kV	3	50
T2	60 MVA	150 kV	20 kV	3	
T3	60 MVA	150 kV	20 kV	3	
T4	60 MVA	150 kV	20 kV	3	

Sumber : Gardu Induk PT PLN (Persero) UPT Bali

3. Data Beban

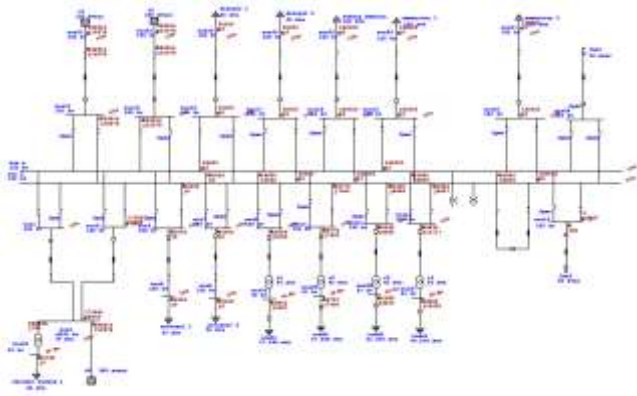
Tabel 6 Daya Beban

Beban	P (MW)	Q (Mvar)
Areva 1	16,6	4,1
Areva 2	26,9	7,5
Schneider 1	30,6	6,3
Schneider 2	44,4	12,2

Sumber : Gardu Induk PT PLN (Persero) UPT Bali

C. Perancangan Simulasi Software ETAP Power Station

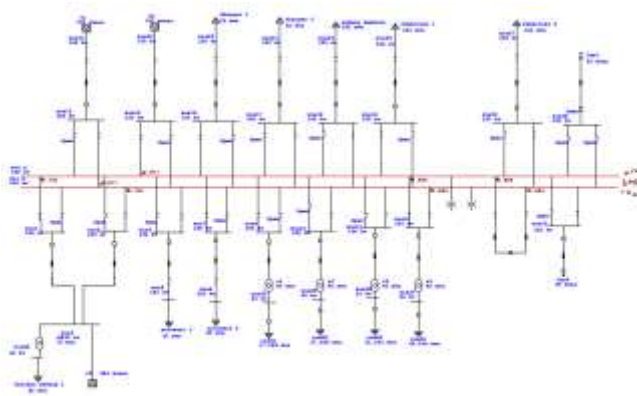
Menggambar single line diagram pada lembar kerja ETAP Power Station menggunakan data yang telah didapat dari PT.PLN PERSERO Gardu Induk Kapal Bali yang ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3 Single Line Diagram GI Kapal Bali

D. Running Short-Circuit Menggunakan Sistem Solid Grounding PT PLN Persero Gardu Induk Kapal Bali

Dari hasil *running short-circuit* menggunakan sistem pentanahan efektif *grounding (Solid)* diketahui arus hubung singkat satu fasa, dua fasa ke tanah dan tiga fasa ke tanah yang terdekat pada sistem Transformator ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4 Single Line Diagram GI Kapal Bali

E. Perhitungan Ukuran Konduktor

Untuk mencari ukuran luas penampang konduktor yang akan digunakan persamaan (1)

$$A_{mm^2} = 6,42 \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{3,42 \cdot 10^{-4}}{3,0 \times 0,00393 \times 1,72}\right) \ln\left(\frac{234+1080}{234+22,8}\right)}}$$

, maka di dapati $A_{mm^2} = 15,727 \text{ mm}^2$

F. Perhitungan Tegangan Sentuh dan Tegangan Langkah

Pada sub bab ini akan mencari nilai tegangan sentuh dan tegangan langkah dimana ini akan menjadi acuan apakah nilai tegangan sentuh dan tegangan langkah masih di bawah hasil yang diizinkan atau di perbolehkan.

1. Faktor reduksi nilai resistivitas permukaan tanah (C_s)

Untuk mencari hasil dari tegangan sentuh dan tegangan langkah, maka terlebih dahulu menentukan faktor reduksi lapisan permukaan tanah (C_s) pada persamaan (11) karena tidak adanya pemangan yang digunakan pada lapisan tanah sehingga hasil $C_s = 1$

2. Tegangan Sentuh dan Tegangan Langkah

Perhitungan tegangan sentuh dan tegangan langkah dapat di hitung dengan persamaan (9),(10),(12), dan (13) :

a. Untuk berat badan 50 kg

$$E_{touch50} = (1000 + 1.5 \times 1 \times 3000) \frac{0.116}{\sqrt{I}}$$

$$= 638 \text{ V}$$

$$E_{step50} = (1000 + 6 \times 1 \times 3000) \frac{0.116}{\sqrt{I}}$$

$$= 2204 \text{ V}$$

b. Untuk berat badan 70 Kg

$$E_{touch70} = (1000 + 1.5 \times 1 \times 3000) \frac{0.157}{\sqrt{I}}$$

$$= 863,5 \text{ V}$$

$$E_{step70} = (1000 + 6 \times 1 \times 3000) \frac{0.157}{\sqrt{I}}$$

$$= 2983 \text{ V}$$

Tabel 7 Perbandingan Sebelum Pemasangan *grid* Tegangan Sentuh dan Tegangan Langkah dengan Standart

Tegangan Sentuh dan Tegangan langkah	Standart
E_{step70}	2983 V
$E_{touch70}$	863,5 V

G. Perhitungan Sistem Grid

Untuk mencari nilai efektif jumlah konduktor terlebih dahulu mencari total panjang konduktor dan total faktor reduksi nilai resistivitas permukaan tanah.

1. Total panjang konduktor

Menggunakan persamaan (19):

$$L_c = (8 \times 150) + (22 \times 50)$$

$$= 2300 \text{ m}$$

2. Total panjang keliling pembedaan grid

$$L_p = (2(150 + 50))$$

$$= 400 \text{ m}$$

3. Nilai efektif jumlah konduktor

Menggunakan persamaan (23)

$$n_a = \frac{2 \times 2300}{400}$$

$$= 11,5$$

$$n_b = 1$$

$$n_c = 1$$

$$n_d = 1$$

4. Nilai efektif panjang konduktor grid yang di tanam tegangan mesh, dan nilai efektif panjang konduktor grid di tanam untuk tegangan langkah

$$L_m = 2300 + \left[1,55 + 1,22 \left(\frac{3}{130^2 + 115^2} \right) \right] 30$$

$$= 3347,13 \text{ m}$$

$$L_s = 0,75 \times 2300 + 0,85 \times 30$$

$$= 2500,50 \text{ m}$$

H. Perhitungan Tahanan Tanah

Mencari nilai tahanan pembumian grid gardu induk dapat di cari dengan persamaan (6) :

$$R_g = 2300 \left[\frac{1}{2300} + \frac{1}{\sqrt{20 \cdot 7500}} \left(1 + \frac{1}{1+h\sqrt{20/7500}} \right) \right]$$

$$= 0,55 \Omega$$

I. Perhitungan Arus Grid

Perhitungan arus grid dapat di hitung dengan persamaan (30),(31),(32),dan (33) :

$$T_a = 10 / (100 \times 3,14 \times 10)$$

$$= 0,032 \text{ s}$$

$$D_f = \sqrt{1 + \frac{0,032}{1} \left(1 - \frac{1}{0,032} \right)}$$

$$= 1,941 \text{ s}$$

$$I_G = 1,941 \times 3852,6$$

$$= 7477,9 \text{ A}$$

J. Perhitungan Kenaikan Tegangan Tanah

Menghitung kenaikan tegangan tanah dapat di cari dengan persamaan (29):

$$GPR = 7477,9 \times 0,55$$

$$= 4112,85 \text{ V}$$

K. Perhitungan Tegangan Mesh dan Tegangan Langkah

Untuk mencari nilai tegangan sentuh atau tegangan mesh dan tegangan langkah yang maksimal dapat di cari dengan persamaan (15),(18),(21),(22),dan (23):

$$K_h = \sqrt{1 + 1}$$

$$= 1,41$$

$$K_i = 0,644 + 0,148 \times 11,15$$

$$= 2,346$$

$$K_m = \frac{1}{2 \times 3,14} \left[\ln \left(\frac{7^2}{16 \times 1 \times 0,0047} + \frac{(7+2 \times 0,8)^2}{8 \times 17 \times 0,0047} - \frac{1}{4 \times 7} \right) + \frac{1}{1} \ln \frac{8}{3,14(2 \times 11,5 - 1)} \right]$$

$$= 0,178$$

$$K_s = \frac{1}{3,14} \left[\frac{1}{2 \times 0,8} + \frac{1}{7+0,8} + \frac{1}{7} (1 - 0,5^{11,5-2}) \right]$$

$$= 0,28$$

Dengan begitu nilai tegangan mesh dan tegangan langkah bias di hitung dengan persamaan (17), (19):

$$E_s = \frac{2300 \times 0,28 \times 2,346 \times 7477,9}{3347,13}$$

$$= 344,46 \text{ V}$$

$$E_m = \frac{2300 \times 0,178 \times 2,346 \times 7477,9}{2500,50}$$

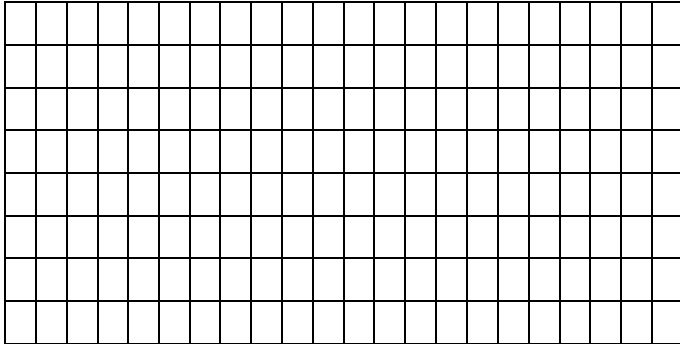
$$= 626,38 \text{ V}$$

Table 8 Hasil Perhitungan Analisis

Simbol	Keterangan	Nilai	Satuan
E_m	Tegangan Mesh	626,38	V
$E_{touch50}$	Batas tegangan sentuh yang diizinkan untuk berat 50 Kg	638	V
$E_{touch70}$	Batas tegangan sentuh yang diizinkan untuk berat 70 Kg	863,5	V
E_s	Batas temperature maksimum yang tegangan langkah	344,46	V
E_{step50}	Batas tegangan langkah yang diizinkan untuk berat badan 50 Kg	2204	V
E_{step70}	Batas tegangan langkah yang diizinkan untuk berat badan 70 Kg	2983	V
R_g	Tahanan tanah	0,55	Ω
L_c	Total panjang konduktor	2300	M

L. Perencanaan Denah

Gardu Induk dengan luas $150\text{ m} \times 50\text{ m}$, dengan jarak maksimum grid $D = 7\text{ m}$, dan kedalaman penanaman grid $h = 0,8\text{ m}$, jumlah konduktor sejajar sumbu $x = 8$ buah, jumlah konduktor sejajar sumbu $y = 22$ buah.



Gambar 5 Layout Grid Pembumian

V. KESIMPULAN

Dari hasil penelitian ini dapat disimpulkan bahwa :

1. Arus gangguan yang dihitung yaitu arus gangguan 3 fasa yang terjadi dekat dengan transformator dengan hasil 6421 A yang digunakan untuk menentukan ukuran konduktor.
2. Panjang konduktor untuk grid pembumian yang digunakan adalah 2300 m dengan jumlah konduktor sejajar sumbu x sebanyak 8 buah dan sejajar sumbu y sebanyak 22 buah. Untuk resistansi sebesar $0,55\ \Omega$
3. Pada perancangan didapatkan nilai tegangan mesh $626,38 < \text{Tegangan sentuh yang diizinkan } 863\text{ V}$, begitu juga dengan Tegangan Langkah $344,46 < \text{Tegangan Langkah yang diizinkan } 2983\text{ V}$, sehingga perancangan yang di buat dikatakan aman.

VI. DAFTAR PUSTAKA

[1] Rahmadhani Citra (2017). Studi Perancangan sistem Pembumian Gardu Induk 150/20 kV di Gardu Induk Garuda Sakti. Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Riau.

[2] Chetan. S Payshetti (2017). *Analysis of Grounding Grid Of Sustation. International Conference On Circuit Power And Computing Technologies (ICCOCT)*

[3] Akbar Tanjung (2010). Analisa sistem Petanahan Gardu Induk Teluk Lembu Dengan Bentuk Konstruksi *Grid*. Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Lancang Kuning.

[4] IEEE Guide for Safety in AC Substation Grounding, IEEE Std. 80-2000,2013.

[5] Georitno, A (2018), Tinjauan Teoritas pada Pelaksanaan Prosedur Kontruksi Sistem Pembumian Model *Grid* di gardu induk. Bogor : Universitas IBN Khaldun.

[6] Lindinger, M , Fickert, L , Schmautzer, E and Raunig, C, “*Grounding measurements in urban areas-comparison of flow and high voltage measuremenys in common grounding systems,*” IEEE 2011

[7] IEEE, Jhon,nelson. (2015).*Safety through proper system Grounding and Ground Fault Protection, 2015. Advancing Technology For Humanity*

[8] Latif Abdul, Ariastina Wayan Gede, Setiawan I Nyoman. (2016), Probabilitas Tegangan Sentuh dan Tegangan Langkah di Lokasi Rencana Gardu Induk 500 kV Antosari. Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Udayana.