

Analisa Jarak Paralel Antara Konduktor Sistem Grounding Grid PLTP Lahendong Unit 5 Dan 6

Rizaldy Diamanis, Hans Tumaliang, Fielman Lisi

Teknik Elektro Universitas Sam Ratulangi Manado, Jl.Kampus Bahu-Unsrat Manado, 95115

Email: izalaldy96@gmail.com, hans_tumaliang@gmail.com, fielmannlisi@gmail.com

Abstract— *To be able to secure and safety the equipment and the workers who work in the power plant area PLTP Lahendong with power capacity 2 x 20 MW, of course, required the earthing system design quality, reliable and efficient whereby the grounding grid resistance, voltage step and touch voltage according to the calculations contained in IEEE Std 80 -2000. This research will discuss the evaluation of system design with respect to the value of earthing resistance grounding grid, mesh voltage and step voltage. Evaluation parameters - parameters according to calculations published in IEEE Std 80-2000. Results from this study system grounding of PLTP Lahendong unit 5 and 6 well the categorized and meet the standart.*

Keywords: *Resistance grounding, step voltage, spacing between parallel conductors, touch voltage,.*

Abstrak— *Sistem pentanahan yang berkualitas, handal dan efisien adalah merupakan persyaratan utama dalam merancang suatu sistem pentanahan untuk dapat mengamankan peralatan dan para pekerja di area pembangkit. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis desain Grid Pentanahan PLTP Lahendong Unit 5 dan 6 dengan kapasitas daya 2x20 MW berdasarkan metode IEEE Std 80-2000. Analisis dilakukan terhadap beberapa parameter berupa luas penampang konduktor, nilai tahanan grid pentanahan tegangan sentuh dan tegangan langkah. Hasil dari penelitian menunjukkan bahwa sistem pentanahan pada PLTP Lahendong Unit 5 dan 6 dikategorikan baik dan memenuhi standar.*

Kata Kunci : *Jarak paralel antara konduktor, Tahanan tanah, Tegangan langkah, Tegangan sentuh.*

I. PENDAHULUAN

Dalam suatu *System Power Plan* dibutuhkan sistem pentanahan yang handal. Hal ini dimaksudkan agar ketika terjadi gangguan fasa ke tanah pada Gardu Induk Tegangan Tinggi (GITT) tidak akan membahayakan keselamatan manusia, sebab arus gangguan akan mengalir pada bagian peralatan dan ke piranti pentanahan. Hal ini akan menimbulkan gradien tegangan diantara peralatan dengan peralatan, peralatan dengan tanah dan gradien tegangan pada permukaan tanah yang berbahaya bagi manusia dan peralatan yang berada di area pembangkit atau gardu induk. Oleh sebab

itu diperlukan sistem pentanahan yang baik dan efektif meratakan gradien tegangan yang timbul

Sistem pentanahan peralatan gardu induk yang umum digunakan saat ini adalah sistem pentanahan *Driven Rod, Counterpoise*, dan gabungan antara sistem pentanahan Grid dan Rod. Dari ketiga model sistem pentanahan ini sistem kisi (*Grid*) dan Rod paling sering digunakan untuk Gardu Induk Tegangan Tinggi 150 kV. Untuk itu dibutuhkan analisis dalam menghitung nilai tahanan pentanahan, tegangan sentuh dan tegangan langkah dan membuat kombinasi antara jumlah mesh dan rodnya. Kedalaman penanaman konduktor dengan mempertimbangkan nilai dari tahanan jenis tanah, pengaruh tahanan jenis tanah untuk beberapa jenis tanah yang berbeda dengan kedalaman yang sama serta dimensi area pentanahan yang akan digunakan sehingga menghasilkan nilai tahanan pentanahan (R_g), tegangan mesh (E_m) atau tegangan tertinggi dari tegangan sentuh dan tegangan langkah (E_s) yang lebih baik dan lebih aman berdasarkan std IEE 80 (2000).

Ada beberapa faktor penting yang mempengaruhi nilai-nilai tersebut antara lain desain jarak paralel antara konduktor (D). Maka penulis membuat suatu penelitian yang berjudul "*Analisa Jarak Paralel Antara Konduktor Sistem Grounding Grid Pada PLTP Lahendong Unit 5 dan 6*".

A. Sistem Pembedahan

Sistem pembedahan adalah suatu rangkaian/jaringan mulai dari kutub pembedahan/elektroda, hantaran penghubung/*conductor* sampai terminal pembedahan yang berfungsi untuk menyalurkan arus lebih ke bumi sehingga dapat memberikan proteksi terhadap manusia dari sengatan listrik (*shock*), dan mengamankan komponen-komponen instalasi agar dapat terhindar dari bahaya arus dan tegangan luar, serta perangkat yang dapat beroperasi sesuai standar.

Pembedahan merupakan salah satu faktor utama dalam setiap pengamanan (proteksi) peralatan atau rangkaian listrik. Untuk dapat melakukan pengamanan

tersebut diperlukan perancangan atau desain suatu sistem pembumian sesuai standar yang berlaku, seperti :

- 1) Tahanan pembumian (R_g) harus memenuhi syarat yang diinginkan untuk suatu keperluan
- 2) Elektroda yang ditanam dalam tanah harus bahan konduktor yang baik, tahan korosi, cukup kuat.
- 3) Elektroda harus mempunyai kontak yang baik dengan tanah sekelilingnya.
- 4) Tahanan pembumian harus baik untuk berbagai musim..

Dalam suatu sistem listrik, ada empat bagian yang harus diketanahkan / dibumikan, yaitu sebagai berikut:

- 1) Titik netral dari transformator atau titik netral dari generator. Hal ini diperlukan dalam kaitan dengan keperluan proteksi khususnya yang menyangkut gangguan hubung tanah.
- 2) Kawat petir yang ada pada bagian atas saluran transmisi. Kawat petir ini sesungguhnya juga berfungsi sebagai *lighting arrester*. Karena letaknya yang ada disepanjang saluran transmisi, maka sama kaki tiang transmisi harus ditanahkan agar petir yang menyambar kawat petir dapat disalurkan ketanah dengan lancer melalui kaki tiang saluran transmisi.
- 3) Semua bagian instalasi yang terbuat dari logam (menghantar listrik) dan dengan mudah dapat disentuh manusia.
- 4) Bagian pembuangan listrik (bagian bawah) dari *lighting arrester*. Hal ini diperlukan agar *lighting arrester* dapat berfungsi dengan baik, yaitu membuang muatan listrik yang diterimanya dari petir ketanah (bumi) dengan lancer.

Pembumian adalah penghubung bagian-bagian peralatan listrik yang pada keadaan normal tidak dialiri arus. Tujuannya adalah untuk membatasi tegangan antara bagian-bagian peralatan yang tidak dialiri arus dan antara bagian-bagian ini dengan tanah sampai pada suatu harga yang aman untuk semua kondisi operasi, baik kondisi normal maupun saat terjadi gangguan.

Pembumian peralatan adalah penghubungan badan atau rangka peralatan listrik (motor, generator, transformator, dan bagian-bagian logam lainnya yang pada normal tidak dialiri arus) dengan tanah. Maksud dari pembumian peralatan adalah:

- 1) Mencegah terjadinya tegangan kejut listrik hyang berbahaya untuk orang dalam daerah tertentu.
- 2) Untuk memungkinkan timbulnya arus tertentu baik besarnya maupun lamanya dalam keadaan gangguan tanah, tanpa menimbulkan kebakaran atau ledakan pada bangunan atau isinya.

Oleh karena itu, secara umum sistem pebumian berperan sebagai PROTEKSI dengan tujuan

- 1) Menjamin kerja peralatan listrik atau elektronik;
- 2) Mencegah kerusakan peralatan listrik atau elektronik;
- 3) Menyalurkan energi serangan petir ketanah.

B. Sistem Pembumian Grid

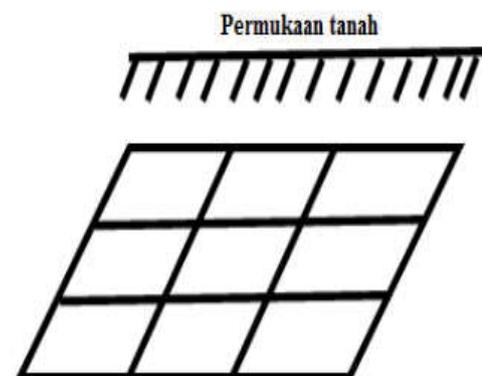
Peralatan gardu induk sebaiknya dipasang pembumian grid dengan penghantar yang besar berguna untuk memperkecil tahanan pembumian dan batas tegangan diantara peralatan dan permukaan tanah pada nilai yang diijinkan.

Pembumian grid merupakan salah satu sistem pembumian yang banyak digunakan pada gardu induk karena mempunyai beberapa keuntungan dibandingkan dengan sistem pembumian lainnya.

Beberapa keuntungan tersebut antara lain pemasangannya lebih mudah terutama pada daerah berbatu, gradien tegangan pada sistem pembumian grid akan lebih rata.

Seperti pada gambar 1 sistem pembumian grid dilakukan dengan cara menanamkan batang – batang konduktor sejajar dengan permukaan tanah pada kedalaman tertentu. Batang – batang konduktor tersebut terhubung satu dengan yang lainnya, sehingga membentuk beberapa buah mesh.

Distribusi tegangan tergantung pada jarak elektroda paralel, makin besar jarak elektroda maka terdistribusi tegangannya makin tidak rata dan makin dekat jarak elektroda paralel maka terdistribusi tegangannya semakin merata.



Gambar 1. Pembumian Grid

1) Faktor yang Mempengaruhi Tahanan Pembumian Grid

Nilai tahanan suatu sistem pembumian diharapkan serendah mungkin. Elektroda pembumian yang ditanamkan ke dalam tanah diharapkan memperoleh atau memiliki tahanan yang rendah, namun hal itu sangat jarang diperoleh. Ada beberapa faktor yang berpengaruh terhadap nilai tahanan pembumian antara lain:

- a. Tahanan dari material elektroda yang digunakan
- b. Tahanan kontak antara elektroda dengan tanah
- c. Tahanan jenis tanah (resistivitas tanah) itu sendiri
- d. Desain sistem pembumian

Nilai tahanan dari material elektroda yang digunakan bergantung pada ukuran konduktor yang dipasang. Ukuran konduktor akan dihitung dengan persamaan (1):

$$A_{mm^2} = I \frac{t_c}{\sqrt{\frac{(TCAP \cdot 10^{-4}) \ln(\frac{R_g + T_m}{R_o + T_a})}{(\rho_r \cdot 2 \cdot L_c)}}} \quad (1)$$

Dimana :

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

t_c = Durasi arus gangguan (detik)

α_r = resistivitas pada suhu referensi T_r ($1/^\circ\text{C}$)

ρ_r = referensi temperature konduktor T_r ($\mu\Omega/\text{cm}$)

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

T_m = Batas temperatur maksimum yang dapat ditahan oleh material ($^\circ\text{C}$)

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

K_o = koefisien yang nilainya $1/\alpha_o$ atau $(1/\alpha_r) T_r$ ($^\circ\text{C}$)

2) 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 dihitung dengan persamaan (2) :

$$R_g = \frac{\rho}{4} \sqrt{\frac{L}{A}} \quad (2)$$

Kemudian, pada lapisan kedua dengan adanya gabungan antara grid dan batang rod untuk tanah yang seragam, jumlah konduktor grid dan konduktor batang rod yang ditanam pada kedalaman tertentu sehingga

diperoleh persamaan (3) menurut Laurent, P. G., 1951 dan Nieman, J, 1952:

$$R_g = \frac{\rho}{4} \sqrt{\frac{L}{A}} + \frac{\rho}{L_c} \quad (3)$$

Dimana :

R_g = Tahanan pembumian (Ω)

A = Luas area pentanahan grid (m^2)

ρ = Tahanan jenis tanah ($\Omega\text{-m}$)

L_r = Total dari panjang konduktor yang tertanam (m)

Menurut Schwarz Kaitan yang dapat diikuti pada persamaan dalam menentukan tahanan total pembumian yang tanahnya homogen yang terdiri dari grid horizontal dan penghantar rod vertikal. Persamaan schwarz dapat dilanjutkan untuk mengetahui tahanan kawat penghantar pembumian disebut (R_1), pada tahanan pembumian grid keseluruhan disebut (R_2), dan (R_m) merupakan tahanan diantara kumpulan penghantar grid dan kumpulan pembumian rod – rod sedangkan (R_g) merupakan tahanan pembumian dapat dilihat pada persamaan (4) berikut :

$$R_g = \frac{R_1 R_2 - R_m^2}{R_1 + R_2 - 2R_m} \quad (4)$$

Tahanan penghantar pembumian grid (R_1) dapat dilihat pada persamaan (5):

$$R_1 = \frac{\rho_L}{\pi L_c} \left[\ln \left(\frac{2L_c}{a'} \right) + \frac{k_1 L_c}{\sqrt{A}} - k_2 \right] \quad (5)$$

Untuk mencari nilai tahanan penghantar pembumian rod (R_2) dapat dilihat pada persamaan (6) :

$$R_2 = \frac{\rho_L}{2\pi n_R L_R} \left[\ln \left(\frac{4L_R}{b} \right) - 1 + \frac{2k_1 L_R}{\sqrt{A}} (\sqrt{n_R} - 1)^2 \right] \quad (6)$$

Mutu tahanan pembumian antara R_1 dan R_2 yaitu (R_m) dapat dituliskan pada persamaan (7):

$$R_m = \frac{\rho_L}{\pi L_c} \left[\ln \left(\frac{2L_c}{L_R} \right) + \frac{k_1 L_c}{\sqrt{A}} - k_2 + 1 \right] \quad (7)$$

Dimana :

ρ = Tahanan jenis tanah dalam satuan ($\Omega. \text{m}$)

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 .

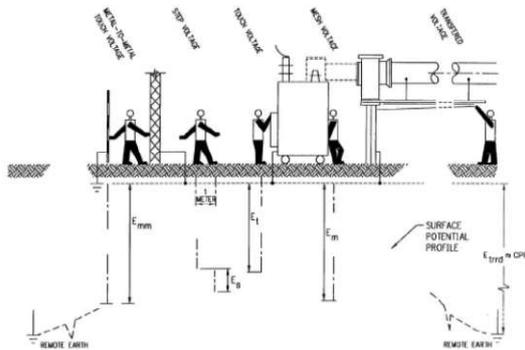
k_1, k_2 = Koefisien $K_1 = (-0.04(L_x/L_y)) + 1.41$ dan $K_2 = (0.15(L_x/L_y)) + 5.5$

L_R = Panjang setiap penghantar rod (m)

b = Diameter penghantar rod (mm)

n_R = Jumlah penghantar rod

L_c = total panjang penghantar grid (m)



Gambar 2. Situasi shock

3) Tegangan Sentuh

Tegangan sentuh (E_t) adalah tegangan yang terdapat diantara suatu obyek yang disentuh dan suatu titik berjarak 1 meter, dengan asumsi bahwa objek yang disentuh dihubungkan dengan kisi-kisi pembumian yang berada di bawahnya, seperti yang terlihat pada Gambar 2 menurut IEEE 80 – 2000. *memompa fluida*

Manusia dengan berat badan 50 dan 70 Kg yang berada diantara satu objek dapat dihitung tegangan sentuh pada persamaan (8) dan (9):

$$E_{touch50} = (1000 + 1.5C_s\rho_s) \frac{0.116}{\sqrt{E_s}} \quad (8)$$

$$E_{touch70} = (1000 + 1.5C_s\rho_s) \frac{0.157}{\sqrt{E_s}} \quad (9)$$

C_s (pers.(10)) dapat dianggap sebagai faktor koreksi untuk menghitung efektif kaki perlawanan di hadapan dengan ketebalan hingga permukaan material. Nilai C_s dapat digunakan 5% dari nilai analisa metode menurut (Thapar, Gerez, and Kejriwal).

$$C_s = 1 - \frac{0.09(1 - \frac{t}{h_s})}{2h_s + 0.09} \quad (10)$$

Dimana:

E_{t50} = Batas tegangan sentuh yang diizinkan untuk berat badan 50 kg,

E_{t70} = Batas tegangan sentuh yang diizinkan untuk berat badan 70 kg,

C_s = Faktor reduksi nilai resistivitas permukaan tanah

ρ_s = Tahanan jenis permukaan material (lapisan batu koral), Ohm-m

t = Waktu gangguan tanah (waktu kejut), detik

h_s = Ketebalan lapisan batu koral (m)

ρ_s = Tahanan jenis permukaan material lapisan batu koral (ohm-m)

Apabila tidak ada pengaman yang digunakan pada lapisan permukaan maka $C_s = 1$ dan $\rho_s = \rho$

Untuk pembumian grid dengan model bujur sangkar maupun empat persegi panjang (*rectangular grid*) menurut IEEE Std 80 – 2000 mempunyai batasan :

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

4) Tegangan Langkah

Tegangan langkah adalah tegangan yang timbul di antara dua kaki orang yang sedang berdiri diatas tanah yang sedang dialiri oleh arus kesalahan ke tanah, dapat dilihat pada Gambar 3.

Manusia dengan berat badan 50 dan 70 Kg dapat dihitung tegangan langkah pada persamaan (11) dan (12) dibawah ini:

$$E_{step50} = (1000 + 6C_s\rho_s) \frac{0.116}{\sqrt{E_s}} \quad (11)$$

$$E_{step70} = (1000 + 6C_s\rho_s) \frac{0.157}{\sqrt{E_s}} \quad (12)$$

Tegangan Langkah maksimum diperkirakan terjadi lebih dari jarak 1 m, mulai dan memperluas luar konduktor perimeter pada sudut yang membagi dua sudut yang paling ekstrim dari grid. Untuk kedalaman biasa dari $0.25 \text{ m} < h < 2.5 \text{ m}$, K_s adalah (pers.(13));

$$K_s = \frac{1}{\pi} \left[\frac{1}{2h} + \frac{1}{D+h} + \frac{1}{D} (1 - 0.5^{n-2}) \right] \quad (13)$$

Dimana:

K_s = Faktor Geometrik Tegangan Langkah

h = Kedalaman pembumian grid (m)

D = jarak paralel antara konduktor pembumian grid (m)

Suatu usaha dilakukan untuk memperluas persamaan ini termasuk penggunaan jumlah penghantar rod ke tanah. Jika L_c merupakan total panjang penghantar grid dan L_R merupakan total panjang dari semua batang penghantar rod, maka nilai efektif panjang penghantar grid untuk tegangan langkah (L_s) dapat digunakan persamaan (14)

$$L_s = 0.75L_c + 0.85L_R \quad (14)$$

Dan untuk mencari nilai tegangan langkah (E_s) digunakan persamaan (15):

$$E_g = \frac{\rho K_g I_g L_g}{L_g} \tag{15}$$

$$K_i = 0.644 + 0.148 \cdot n \tag{16}$$

5) Tegangan Mesh

Tegangan mesh (E_m) merupakan salah satu bentuk tegangan sentuh. Tegangan mesh dinyatakan sebagai tegangan tertinggi yang mungkin timbul sebagai tegangan sentuh yang dapat dijumpai dalam sistem pembumian gardu induk. Nilai tegangan mesh tergantung pada faktor geometrik tegangan mesh (K_m), Faktor koreksi (K_i), Tahanan tanah (ρ), arus pembumian grid maksimum (I_G) dan nilai efektif panjang penghantar grid untuk tegangan mesh (L_M) dapat dilihat pada persamaan (17) dan (18) :

$$E_m = \frac{\rho K_m K_i I_G}{L_M} \tag{17}$$

Dimana:

$$L_M = L_G + \left[1.55 + 1.22 \left(\frac{L_x}{\sqrt{L_x^2 + L_y^2}} \right) \right] L_R \tag{18}$$

Untuk mencari nilai dari faktor geometrik untuk tegangan mesh (K_m) dapat digunakan persamaan (19) :

$$K_m = \frac{1}{2\pi} \left[\ln \left(\frac{D^2}{16hd} + \frac{(D+2h)^2}{8Dd} - \frac{h}{4d} \right) + \frac{K_{ii}}{K_h} \ln \frac{8}{\pi(2n-1)} \right] \tag{19}$$

Untuk pembumian grid yang dipasangkan rod disetiap perimeter nilai $k_{ii} = 1$, sedangkan untuk pembumian grid tanpa pemasangan rod disetiap perimeter dapat digunakan persamaan (20):

$$k_{ii} = \frac{1}{(2 \times n) \pi} \tag{20}$$

Untuk mencari k_h dapat digunakan pada persamaan (21) dibawah ini.

$$k_h = \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{h}{k_g}}} \tag{21}$$

Dimana:

$$h_o = 1 \text{ m (referensi kedalaman jarring-jaring)}$$

Menurut Thapar, Gerez, Balakrishnan penggunaan empat grid dapat efektif pada penghantar grid yang diparalel dengan sebutan n. Dapat dibentuk menjadi bujur sangkar maupun empat persegi panjang (*rectangular grid*) atau penomoran yang tidak beraturan grid – grid pada penghantar paralel yang ekivalen

dengan bujur sangkar grid dituliskan pada persamaan (22) hingga (26):

$$n = n_g \cdot n_p \cdot n_c \cdot n_d \tag{22}$$

Dimana:

$$n_g = \frac{2L_g}{L_p} \tag{23}$$

$$n_p = \sqrt{\frac{L_p}{4 \cdot A}} \tag{24}$$

(Nilai $n_b = 1$ jika berbentuk persegi)

$$n_c = \left[\frac{L_x \cdot L_y}{A} \right]^{0.7A / L_x \cdot L_y} \tag{25}$$

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

$$n_d = \frac{D_m}{\sqrt{L_x^2 + L_y^2}} \tag{26}$$

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

Dimana :

- A = Total luas area pembumian grid (m²)
- 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)

6) Kenaikan Tegangan Tanah

Kenaikan tegangan tanah adalah maksimum tegangan listrik pada pembumian gardu induk grid yang mungkin ada relatif terhadap jarak nilai pembumian diasumsikan seperti tegangan pada pembumian (pers.27).

$$GPR = I_g \times R_g \tag{27}$$

Dimana :

- I_g = Arus rms grid simetris (A)
- R_g = Tahanan pembumian grid (Ω)

7) Arus Grid Maksimum

Arus grid maksimum adalah arus terbesar yang mengalir pada rangkaian pembumian grid saat terjadi gangguan fasa ke tanah (pers. 28-31)

$$I_g = S_f \times I_f \tag{28}$$

Arus grid maksimum juga dipengaruhi oleh faktor decrement (D_f), lamanya waktu gangguan (t_f) sehingga nilai perencanaan dari arus gangguan maksimum didefenisikan :

$$I_G = D_f \times I_g \quad (29)$$

$$D_f = \sqrt{1 + \frac{T_a}{S_f} \left(1 - e^{-\frac{S_f}{T_a}}\right)} \quad (30)$$

$$T_a = X / (100 \pi R) \quad (31)$$

Dimana:

I_g = Arus gangguan simetris

T_a = DC offset time constant

S_f = factor pembagi arus gangguan

II. METODOLOGI PENELITIAN

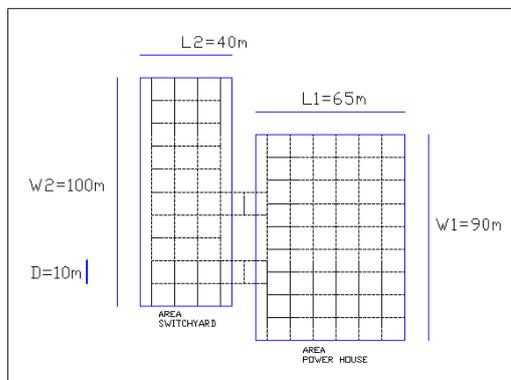
A. Tempat dan Waktu Penelitian

Data yang dibutuhkan untuk penelitian ini dilakukan selama 19 hari. Penelitian dimulai dari tanggal 7 November 2017 sampai dengan 25 November 2017. Tempat penelitian dilakukan di PLTP Lahendong unit 5 dan 6 di Tompaso. Perhitungan dan analisa penelitian di rumah tinggal penulis dan di Laboratorium Tenaga Listrik Fakultas Teknik jurusan Teknik Elektro Universitas Sam Ratulangi Manado.

B. Prosedur Penelitian

Prosedur penelitian yang dilakukan terdiri dari:

- 1) Mencari dan mengumpulkan referensi data (informasi) yang berkaitan dengan analisa.
- 2) Mengumpulkan data yang terpasang, data pengukuran dan konstanta data berdasarkan referensi IEE std 80-2000.
- 3) Melakukan analisa perhitungan *system grounding*.



Gambar 3. Tampilan Tata Letak Sistem Grounding Grid

- 4) Melakukan analisa efisiensi jarak paralel antara konduktor.
- 5) Melakukan perbandingan hasil perhitungan yang terpasang dengan hasil perhitungan jika jarak paralel antara konduktor diganti.
- 6) Membuat laporan penelitian.

C. Pengambilan Dan Pengumpulan Data

System grounding pada PLTP Lahendong Unit 5 dan 6 ada dua area yang terpasang yaitu area *switchyard* dan area *powerhouse* dapat dilihat pada gambar 3.

1) Data Berdasarkan Tata Letak (Layout)

Dari gambar 3, panjang L1 = 65 meter, panjang W1 = 90 meter panjang L2 = 40 meter panjang W2 =

100 meter sehingga, total panjang pembumian grid sepanjang sumbu x (L_x) adalah 130 meter dan total panjang pembumian grid sepanjang sumbu y (L_y) adalah 115 meter. Pada gambar tersebut juga didapati panjang jarak antara konduktor (D) 10 meter

2) Resistivitas Tana

Tahanan jenis tanah (*soil resistivity*) nilainya bervariasi sesuai dengan komposisi tanah. Untuk mendapatkan harga tahanan jenis tanah yang lebih teliti perlu diadakan pengukuran setempat dan dalam masa periode musim panas serta pengukuran berkala untuk mendapatkan nilai tertinggi. PLTP Lahendong Unit 5 & 6 melakukan pengukuran RS pada 24 titik yang berbeda. Berikut ini nilai yang didapat, sehingga nilai rata-rata (ρ) adalah **85.065**

TABEL I
NILAI RESISTIVITAS TANAH PADA 24 TITIK

Poin	Nilai tahanan	Poin	Nilai Tahanan
RS1	39.8	RS13	38.2
RS2	50.8	RS14	73.9
RS3	122	RS15	62.8
RS4	42.5	RS16	89.2
RS5	9.39	RS17	49.2
RS6	89.5	RS18	66.3
RS7	32.3	RS19	95
RS8	677	RS20	66.8
RS9	57.3	RS21	2.55
RS10	22.4	RS22	65.7
RS11	84.6	RS23	49.8
RS12	100	RS24	53.9

3) Ukuran Konduktor

Ada 2 jenis ukuran konduktor yang terpasang yaitu ukuran konduktor pada pembumian grid dan ukuran konduktor pada pembumian rod dengan tembaga sebagai bahan dasar konduktor.

a. Ukuran Konduktor Pada Pembumian Grid

Dengan melakukan perhitungan terlebih dahulu, didapati luas penampang konduktor yang diperlukan sebesar 52 mm². Luas penampang yang dipasang (A_{mm}²) adalah 120 mm² jauh lebih besar dari hasil perhitungan dan pada kedalaman grid (h) 1 meter.

b. Ukuran Konduktor Pada Pembumian Rod

Diameter konduktor pembumian rod (2b) adalah 20 mm dan ditanam pada 10 titik berbeda (n_r) masing-masing panjang batang pentanahan (L_r) 3 meter.

4) Arus Gangguan

Berdasarkan hasil perhitungan dan pengukuran, didapati arus gangguan maksimum pada system power plan PLTP Lahendong Unit 5 & 6 didapati (I_f) 43.2 kA, dan lama terjadinya gangguan berdasarkan setingan *circuit breaker* (t_i) 0.12 detik.

5) Konstanta data

Berikut ini tabel II, adalah nilai atau konstanta data IEEE Std 80-2000 yang sudah di uji atau dilakukan penelitian.

TABEL II
KONSTANTA DATA BERDASARKAN IEEE STD 80-2000

Simbol	Keterangan	Qty	Satuan
α_r	Koefisien panas resistivitas material pada temperature referensi T _f	0.0039 3	1/°C
ρ_r	resistivitas konduktor pentanahan pada temperatur T _r	1.72	μΩ/cm
TCAP	Kapasitas panas per satuan volume	3.42	J/cm ³ /°C
T _m	batas temperatur maksimum yang dapat ditahan oleh material	1083	°C
T _a	Suhu di lingkungan sekitar area	22.8	°C
K ₀	kosefisien yang nilainya 1/α ₀ atau (1/α ₀)-T _r	234	°C
ρ _s	Resistivitas tanah di bawah permukaan material	8500	Ω-m
h _s	Ketebalan permukaan material	0.20	m
s _f	Faktor pembagi	0.6	

III. HASIL DAN ANALISA

A. Perhitungan Ukuran Konduktor

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

$$A_{mm^2} = I \frac{t_i}{\sqrt{\left(\frac{TCAP \rho_r}{(1/\alpha_r) - T_r}\right) \ln\left(\frac{K_0 + T_m}{K_0 + T_a}\right)}}$$

Dimana:

- I = 43.2 kA
- TCAP = 3.42 J/cm³/°
- t_c = 0.12
- α_r = 0.00393 1/°
- ρ_r = 1.72 μΩ/cm
- K₀ = 234 °C
- T_m = 1083 °
- T_a = 22.8 °C

Maka didapati A_{mm} = 52.0 mm², berdasarkan data yang terpasang ukuran konduktor system pembumian grid 120 mm² lebih besar dari perhitungan yang di butuhkan, artinya lebih baik.

B. Perhitungan Tegangan Seuntuh Dan Tegangan Langkah

Pada sub bab ini akan dihitung nilai tegangan yang diizinkan, dan ini akan menjadi acuan nanti apakah nilai tegangan sentuh dan langkah masih dibawah hasil yang diizinkan atau diperbolehkan.

1) Faktor reduksi nilai resistivitas permukaan tanah (C_s)

untuk menentukan hasil dari tegangan langkah dan tegangan sentuh yang diperbolehkan, maka terlebih dahulu dicari factor koreksi lapisan permukaan tanah (C_s) pada persamaan (10)

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

Dimana:

- ρ = 85.07 Ω-m
- ρ_s = 8500 Ω-m
- h_s = 0.20 m
- t_s = 0.12 s

sehingga C_s = 0.82

2) Tegangan langkah dan tegangan sentuh yang diizinkan

perhitungan tegangan langkah dan tegangan sentuh yang di izinkan dapat dicari berdasarkan persamaan (8), (9), (11) dan (12).

a) Untuk berat badan 50 kg

$$E_{step50} = (1000 + 6C_S\rho_s) \frac{0.116}{\sqrt{E_s}}$$

$$= 14307.50 \text{ V}$$

$$E_{touch50} = (1000 + 1.5C_S\rho_s) \frac{0.116}{\sqrt{E_s}}$$

$$= 3828.02 \text{ V}$$

b) Untuk berat badan 70 kg

$$E_{step70} = (1000 + 6C_S\rho_s) \frac{0.157}{\sqrt{E_s}}$$

$$= 19364.46 \text{ V}$$

$$E_{touch70} = (1000 + 1.5C_S\rho_s) \frac{0.157}{\sqrt{E_s}}$$

$$= 5181.03 \text{ V}$$

Jika toleransi 50% maka nilai dari:

$$E_{step50} = 7153.75 \text{ V}$$

$$E_{step70} = 9682.23 \text{ V}$$

$$E_{touch50} = 1914 \text{ V}$$

$$E_{touch70} = 2590.51 \text{ V}$$

C. Perhitungan Sistem Grid Yang Terpasang

Untuk menentukan nilai efektif jumlah konduktor paralel (n), terlebih dahulu dicari total panjang konduktor (L_c) dan total Faktor reduksi nilai resistivitas permukaan tanah

Dimana :

$$\begin{aligned} L_x &= 130 \text{ m} \\ L_y &= 115 \text{ m} \\ D &= 10 \text{ m} \\ A &= 9950 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

Sehingga,

Total panjang konduktor (L_c)

$$\begin{aligned} L_c &= ((L_x/D)+1)L_y + ((L_y/D)+1)L_x \\ &= 3300 \text{ m} \end{aligned}$$

Total panjang keliling pembumian grid (L_p)

$$\begin{aligned} L_p &= (2(L1+W1)) + (2(L2+W2)) + 60 \\ &= 650 \text{ m} \end{aligned}$$

nilai efektif jumlah konduktor paralel (n) menggunakan rumus pada persamaan (22)

$$n = n_a \cdot n_b \cdot n_c \cdot n_d$$

Dimana

$$n_a = \frac{2L_c}{L_p}$$

$$= 10.15$$

$$n_b = \sqrt{\frac{L_p}{4\sqrt{A}}}$$

(Nilai $n_b = 1$ jika berbentuk persegi)

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

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

$$n_d = \frac{D_n}{\sqrt{L_x^2 + L_y^2}}$$

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

Karena desain grounding grid pada PLTP Lahendong Unit 5 dan 6 berbentuk persegi, maka nilai n_b , n_c , $n_d = 1$ dan nilai $n = 10.15$

berikut ini perhitungan nilai efektif panjang konduktor grid yang ditanam untuk tegangan mesh (L_m) dan nilai efektif panjang konduktor grid yang ditanam untuk tegangan langkah (L_s) berdasarkan persamaan (19) dan (17).

$$\begin{aligned} L_M &= L_c + \left[1.55 + 1.22 \left(\frac{L_x}{\sqrt{L_x^2 + L_y^2}} \right) \right] L_R \\ &= 3347.13 \text{ m} \end{aligned}$$

$$L_g = 0.75L_c + 0.85L_R$$

$$= 2500.50 \text{ m}$$

D. Perhitungan Tahanan Tanah

Untuk mengitung nilai R_g digunakan rumus pada persamaan (4)

$$R_g = \frac{R_1 \cdot R_2 - R_m^2}{R_1 + R_2 - 2R_m}$$

Dimana:

- $\rho = 85.07 \Omega\text{-m}$
- $L_c = 3300 \text{ m}$
- $h = 1 \text{ m}$
- $a = 12.4 \text{ mm}$
- $a' = \sqrt{a \times 2h} \text{ (m)}$
- $= 0.157 \text{ m}$
- $k_1 = (-0.04(L_x/L_y)) + 1.41$
- $= 1.36$
- $k_2 = (0.15(L_x/L_y)) + 5.5$
- $= 5.67$

Untuk mendapatkan nilai Tahanan Tanah (R_g) terlebih dahulu cari nilai R_1 R_2 dan R_m .

1) *Tahanan pembumian grid*

Tahanan penghantar pembumian grid R_1 berdasarkan persamaan (7)

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

$$= 0.412 \Omega$$

2) *Tahanan pembumian rod*

Tahanan pembumian rod (R_2) berdasarkan persamaan (8)

$$R_2 = \frac{\rho_a}{2\pi a_R L_R} \left[\ln \left(\frac{4L_R}{b} \right) - 1 + \frac{2k_2 L_R}{\sqrt{A}} (\sqrt{n_R} - 1)^2 \right]$$

$$= 0.178 \Omega$$

3) *Mutu tahanan pembumian antara R_1 dan R_2*

Mutu tahanan pembumian antara R_1 dan R_2 (R_m) berdasarkan persamaan (9)

$$R_m = \frac{\rho_a}{2\pi a_R L_R} \left[\ln \left(\frac{4L_R}{b} \right) - 1 + \frac{2k_2 L_R}{\sqrt{A}} (\sqrt{n_R} - 1)^2 \right]$$

$$= 0.377 \Omega$$

Maka $R_g = 0.419$

E. Perhitungan Arus Grid

Perhitungan arus grid maksimum (I_G) dapat dicari bersararkan persamaan (29).

$$I_G = D_f \times I_f$$

Dimana:

- $S_f = 0.6$
- $I_f = 43.2 \text{ kA}$
- $X/R = 10$
- $T_f = 0.12 \text{ s}$
- $I_g = S_f \times I_f$
- $= 25.92 \text{ kA}$

Untuk mencari nilai arus grid maksimum, terlebih dahulu cari faktor decrement (D_f), *DC offset time constant* (T_a) dengan menggunakan persamaan (30) dan (31).

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

$$= 0.032 \text{ s}$$

Dan

$$D_f = \sqrt{1 + \frac{T_a}{T_f} \left(1 - e^{-\frac{2T_f}{T_a}} \right)}$$

$$= 1.125 \text{ s}$$

Maka berdasarkan persamaan (29) arus grid maksimum $I_G = 29.15 \text{ kA}$

F. Perhitungan Kenaikan Tegangan Tanah

Berdasarkan persamaan (27)

$$GPR = I_G \times R_g$$

Dimana :

- $I_G = 29.15 \text{ Ka}$
- $R_g = 0.419$

Maka $GPR = 12213.57 \text{ V}$

G. Perhitungan Tegangan Sentuh Dan Tegangan Langkah

Untuk mendapatkan nilai tegangan sentuh yang maksimal atau tegangan mesh dan tegangan langkah

terlebih dahulu cari K_m , K_s , K_h , K_{ii} berdasarkan persamaan (15), (20), (21), dan (22)

Dimana:

- $I_G = 29154.15 \text{ A}$
- $\rho = 85.07 \text{ } \Omega\text{-m}$
- $L_M = 3347.13$
- $L_S = 2500.50 \text{ m}$
- $d = 0.012 \text{ m}$
- $D = 10 \text{ m}$
- $h = 1$
- $n = 10.15$
- k_{ii} = pembumian grid pada PLTP Lahendong unit 5 dan 6 dipasangkan rod disetiap perimeter maka $k_{ii} = 1$

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

$$= 1.41$$

$$K_i = 0.644 + 0.148 \cdot n$$

$$= 2.15$$

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

$$= 0.8$$

$$K_s = \frac{1}{\pi} \left[\frac{1}{2h} + \frac{1}{D+h} + \frac{1}{D} (1 - 0.5^{n-2}) \right]$$

$$= 0.22$$

Dengan begitu nilai tegangan mesh (E_m) dan tegangan langkah (E_s) bisa didapatkan berdasarkan persamaan (17) dan (15)

$$E_m = \frac{\rho K_m K_i I_G}{L_M}$$

$$= 1269.54 \text{ V}$$

$$E_s = \frac{\rho K_s K_i I_G}{L_S}$$

$$= 468.02$$

H. Hasil Perbandingan Jarak Paralel Antara Konduktor

Berdasarkan peneltiaan ini Analisa Jarak Paralel Antara Konduktor Sistem *Grounding Grid* pada PLTP Lahendong Unit 5 dan 6 akan dilihat nilai efektivitas dari jarak paralel antara konduktor system *grounding grid* dengan cara merubah nilai-nilai yang terpasang dengan acuan nilai parameter-parameter tercapai berdasarkan standar IEE Std 80-2000 seperti tahanan tanah (R_g), tegangan mesh (E_m), tegangan langkah (E_s) dan total panjang konduktor (L_c) guna sebagai pembanding dalam hal ekonomis.

Berikut dibawah dalam bentuk tabel IV hasil dari parameter tersebut jika nilai jarak paralel antara konduktor (D) dirubah dan parameter batas tegangan sentuh dan langkah yang diizinkan dengan toleransi 50%.

TABEL III
HASIL DARI SISTEM YANG TERPASANG D= 10 M

Simbol	Keterangan	Qty	Satuan
E_m	Tegangan mesh	1269.54	V
$E_{touch50}$	Batas tegangan sentuh yang diizinkan untuk berat badan 50kg	1914.01	V
$E_{touch70}$	Batas tegangan sentuh yang diizinkan untuk berat badan 70kg	2590.51	V
E_s	batas temperatur maksimum yang Tegangan langkah	468.02	V
E_{step50}	Batas tegangan langkah yang diizinkan untuk berat badan 50kg	7153.75	V
E_{step70}	Batas tegangan langkah yang diizinkan untuk berat badan 70kg	9682.23	V
R_g	Tahanan tanah	0.423	Ω
L_C	Total panjang konduktor	3300	M

TABEL IV
HASIL JIKA JARAK PARALEL ANTARA KONDUKTOR DIGANTI 12 M

Simbol	Keterangan	Qty	Satuan
E_m	Tegangan mesh	1450.86	V
$E_{touch50}$	Batas tegangan sentuh yang diizinkan untuk berat badan 50kg	1914.01	V
$E_{touch70}$	Batas tegangan sentuh yang diizinkan untuk berat badan 70kg	2590.51	V
E_s	batas temperatur maksimum yang Tegangan langkah	469.46	V
E_{step50}	Batas tegangan langkah yang diizinkan untuk berat badan 50kg	7153.75	V
E_{step70}	Batas tegangan langkah yang diizinkan untuk berat badan 70kg	9682.23	V
R_g	Tahanan tanah	0.433	Ω
L_C	Total panjang konduktor	2810	M

TABEL V
HASIL JIKA JARAK PARALEL ANTARA KONDUKTOR DIGANTI 18 M

Simbol	Keterangan	Qty	Satuan
E_m	Tegangan mesh	1902.21	V
$E_{touch50}$	Batas tegangan sentuh yang diizinkan untuk berat badan 50kg	1914.01	V
$E_{touch70}$	Batas tegangan sentuh yang diizinkan untuk berat badan 70kg	2590.51	V
E_s	batas temperatur maksimum yang Tegangan langkah	480.18	V
E_{step50}	Batas tegangan langkah yang diizinkan untuk berat badan 50kg	7153.75	V
E_{step70}	Batas tegangan langkah yang diizinkan untuk berat badan 70kg	9682.23	V
R_g	Tahanan tanah	0.461	Ω
L_c	Total panjang konduktor	2075	M

Berdasarkan tabel III, hasil dari system yang terpasang dikategorikan sangat baik dan memenuhi standar karena tegangan mesh dan tegangan langkah masih dibawah batas tegangan yang diizinkan, dan tahanan tanah masih dibawah 0.5 Ω .

Pada tabel IV dan V jika jarak paralel antara konduktor diganti 12 dan 18 meter, masih di kategorikan baik dan aman, karena nilai tegangan mesh dan langkah masih dibawah batas yang diizinkan dan nilai tahanan tanah dibawah 0.5 Ω dengan selisih panjang konduktor 1225 meter jika D = 18 m.

Sedangkan pada tabel VI jika jarak paralel antara konduktor diganti 20 m dikategorikan tidak baik, meskipun nilai dari tegangan langkah dan tahanan tanah memenuhi standar yang diizinkan, tetapi nilai tegangan sentuh sudah melebihi tegangan yang diizinkan

IV. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Setelah melakukan analisa dari data yang didapatkan, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

- 1) Faktor jarak paralel antara konduktor (D) sangat mempengaruhi nilai Tahanan tanah (R_g), tegangan sentuh (E_t) dan tegangan langkah (E_s)
- 2) Perhitungan sistem grounding grid pada PLTP Lahendong Unit 5 dan 6 di kategorikan baik, karena nilai tahanan tanah, tegangan langkah, tegangan sentuh memenuhi standar berdasarkan IEEE. .

TABEL VI
HASIL JIKA JARAK PARALEL ANTARA KONDUKTOR DIGANTI 20 M

Simbol	Keterangan	Qty	Satuan
E_m	Tegangan mesh	2091.21	V
$E_{touch50}$	Batas tegangan sentuh yang diizinkan untuk berat badan 50kg	1914.01	V
$E_{touch70}$	Batas tegangan sentuh yang diizinkan untuk berat badan 70kg	2590.51	V
E_s	batas temperatur maksimum yang Tegangan langkah	495.18	V
E_{step50}	Batas tegangan langkah yang diizinkan untuk berat badan 50kg	7153.75	V
E_{step70}	Batas tegangan langkah yang diizinkan untuk berat badan 70kg	9682.23	V
R_g	Tahanan tanah	0.477	Ω
L_c	Total panjang konduktor	1830	M

- 3) Untuk nilai jarak paralel antara konduktor jika diganti 20 meter, maka nilai tahanan tanah 0.477 Ω masih dibawah 0.5 Ω dan nilai tegangan langkah masih dibawah batas tegangan diizinkan, tetapi nilai tegangan sentuh sudah melebihi batas tegangan yang diizinkan
- 4) Adapun nilai efektifitas jarak paralel antara konduktor berdasarkan hasil perhitungan adalah 18 meter, karena masih dikategorikan aman dan baik, juga memiliki selisih panjang konduktor 1225 meter

B. Saran

- 1) Grounding (Pentanahan peralatan) adalah sesuatu yang penting dalam Sistem Tenaga Listrik karena sebagai proteksi terhadap manusia grounding juga sebagai proteksi terhadap peralatan maupun lingkungan sekitar. .
- 2) Pengukuran nilai pentanahan harus dilakukan secara berkala, dikarenakan nilai daripada grounding selalu berubah-ubah, dan pengukuran pentanahan diharapkan diukur pada saat musim kemarau agar nilai grounding lebih maksimal
- 3) Sebelum melakukan pemasangan, perlu adanya simulasi pengukuran dan perhitungan untuk mencari nilai tahanan tanah, tegangan sentuh dan langkah apakah sudah dikategorikan aman. Hal ini diakibatkan pemasangan pentanahan dipasang paling awal saat konstruksi.

V. KUTIPAN

- [1] A. Arismunandar, DR. M. A. Sc, 1997, Teknik Tenaga Listrik, Pradnya Paramita, Jakarta
- [2] G Turan. 1986. *Electrical Power Distribution System Engineering*. New York : McGraw-Hill Book Company
- [3] Grigsby, Leonard L. 2006. *Electrical Power Engineering Handbook – Power System Stability and Control*. Boca Raton : Taylor & Francis Group, LLC
- [4] IEEE 80-2000, *IEEE Guide for safety in C Substation Grounding*. American National Standart Institute. IEEE Power Engineering Society 2000.
- [5] SNI PUIL 2000. *Amandemen 1 Persyarata Umum Instalasi Listrik (PUIL)*. Badan Standarisasi Nasional 2000
- [6] Suryatmo .F, 1990, *Teknik Listrik Instalasi Gaya*, Tarsito, Bandung
- [7] TS Hutaaruk. Ir. Msc, 1999, *Pengetahuan Netral Sistem Tenaga*, Erlangga, Jakarta.



Rizaldy Diamanis lahir 9 Juni 1991, pada tahun 2013 memulai Pendidikan di Fakultas Teknik Universitas Sam Ratulangi Manado di Jurusan Teknik Elektro, dengan mengambil konsentrasi minat Teknik Tenaga Listrik pada tahun 2015. Dalam menempuh Pendidikan penulis juga pernah melaksanakan Kerja Praktek yang bertempat di PLTP Lahendong Unit 5 dan 6 di Tompasso pada tanggal 26 Juni 2016 dan selesai melaksanakan Pendidikan di Fakultas Teknik Elektro Universitas Sam Ratulangi Manado tahun 2018, minat penelitiannya adalah tentang Analisa Jarak Paralel Antara Konduktor Sistem Grounding Grid Pada PLTP Lahendong Unit 5 Dan 6.