ANALISIS TEGANGAN LANGKAH DAN TEGANGAN SENTUH PADA SISTEM PENTANAHAN GARDU INDUK 150 KV CENDANA PLN UPT PONTIANAK

SKRIPSI

Program Studi Sarjana Teknik Elektro

Jurusan Teknik Elektro

Oleh:
ANTONIUS RAJAGUKGUK
NIM D1021201007



FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS TANJUNGPURA
PONTIANAK
2025

HALAMAN PERNYATAAN

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Antonius Rajagukguk

NIM : D1021201007

menyatakan bahwa dalam SKRIPSI yang berjudul "Analisis Tegangan Langkah dan Tegangan Sentuh Pada Sistem Pentanahan Gardu Induk 150 kV Cendana PLN UPT Pontianak" tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar sarjana/magister di suatu perguruan tinggi manapun. Sepanjang pengetahuan Saya, tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atas diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini dan disebutkan dalam Daftar Rujukan.

Demikian pernyataan ini dibuat dengan sebenar-benarnya. Saya sanggup menerima konsekuensi akademis dan hukum di kemudian hari apabila pernyataan yang dibuat ini tidak benar.

Pontianak, 28 Juli 2025



Antonius Rajagukguk
NIM D1021201007

KEMENTERIAN PENDIDIKAN TINGGI, SAINS, DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS TANJUNGPURA
FAKULTAS TEKNIK
Jalan Prof. Dr. H. Hadari Nawawi Pontianak 78124
Telepon: (0561) 740186, WA: +6282152280907
Email: ft@untan.ac.id Website: http://teknik.untan.ac.id

SURAT KETERANGAN SELESAI PENULISAN SKRIPSI

Yang bertanda tangan di bawah ini Dosen Pembimbing Utama dan Dosen Pembimbing Pendamping pada penulisan skripsi yang berjudul **"Analisis Tegangan Langkah Dan Tegangan Sentuh Pada Sistem Pentanahan Gardu Induk 150 kV Cendana PLN UPT Pontianak"** yang ditulis oleh mahasiswa Fakultas Teknik Universitas Tanjungpura.

Nama : Antonius Rajagukguk

NIM : D1021201007

Jurusan : Teknik

Prodi : Teknik Elektro

Konsentrasi : Teknik Tenaga Listrik

Demikian ini menerangkan bahwa mahasiswa tersebut telah menyelesaikan penulisan skripsinya.

Pontianak, 28 Juli 2025

Pembimbing Utama	Pembimbing Pendamping
Dr. Ir. Usman R. Gani, S.T., M.T., IPM	Ir. Danial, M.T., IPM
NIP. 197002161995011001	NIP. 196202121992031002

KEMENTERIAN PENDIDIKAN TINGGI, SAINS, DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS TANJUNGPURA
FAKULTAS TEKNIK
Jalan Prof. Dr. H. Hadari Nawawi Pontianak 78124
Telepon (0561) 740186, WA: +6282152280907
Email : ft@untan.ac.id Website : http://teknik.untan.ac.id

HALAMAN PENGESAHAN

ANALISIS TEGANGAN LANGKAH DAN TEGANGAN SENTUH PADA SISTEM PENTANAHAN GARDU INDUK 150 KV CENDANA PLN UPT PONTIANAK

Jurusan Teknik Elektro
Program Studi Sarjana Teknik Elektro

Oleh:

Antonius Rajagukguk
NIM D1021201007

Telah dipertahankan di depan Penguji Skripsi pada tanggal 28 Juli 2025
dan diterima sebagai salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar sarjana

Susunan Penguji Skripsi

Dosen Pembimbing Utama : Dr. Ir. Usman A. Gani, S.T., M.T., IPM
NIP. 197002161995011001

Dosen Pembimbing Kedua : Ir. Danial, M.T., IPM
NIP. 196202121992031002

Dosen Penguji Utama : Ir. Managam Rajagukguk, S.T., M.T., IPM
NIP. 197211162000031001

Dosen Penguji Kedua : Prof. Dr. Eng. Ir. Rudi Kurnianto, S.T., M.T., IPM
NIP. 196705271995011001

Pontianak, 28 Juli 2025

Dekan,

Dr.-Ing. Ir. Slamet Widodo, M.T., IPM
NIP. 196712231992031002

Pembimbing Utama

Dr. Ir. Usman A. Gani, S.T., M.T., IPM
NIP. 197002161995011001

HALAMAN PERSEMBAHAN

Dengan segenap hati, saya mempersembahkan skripsi ini kepada kedua orang tua saya Bapak Ronaldo Rajagukguk dan Ibu Lermin Br. Tinjak,
Adik dan seluruh keluarga. Terima kasih atas segala doa, usaha, kasih sayang, motivasi, dan support yang diberikan kepada saya. Kalian adalah alasan saya bisa sampai di titik ini.

Menulis skripsi ini terasa seperti merantau ke negeri asing yang tak kukenal. Aku tersesat di antara teori, data, dan paragraf yang membingungkan. Namun, di tengah perjalanan itu, aku menemukan kompas dalam setiap nasihat Kedua Orangtua dan Dosen Pembimbingku. Aku menemukan bekal dalam doa dan kiriman makanan dari Orang Tuaku. Aku menemukan tempat beristirahat dalam canda tawa keluarga, pacar dan juga teman-teman. Kini, setelah perjalanan panjang, aku akhirnya "pulang" dengan membawa karya ini. Maka, kupersembahkan ia bukan sebagai piala, melainkan sebagai oleh-oleh terindah untuk semua yang menungguku di kampung tercinta.

“Asa ijuk di para-para
jala hotang di parlabian
Asa bisuk ma ho amang dung
sahat di pangarantoan”

ALMAMATERKU TERCINTA TEMPATKU MENIMBA ILMU
UNIVERSITAS TANJUNGPURA

PRAKATA

Puji syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, atas berkat rahmat dan karunia-Nya penulis diberikan kesanggupan, kelancaran, dan kemudahan sehingga mampu menyusun tugas akhir yang berjudul "Analisis Tegangan Langkah dan Tegangan Sentuh Pada Sistem Pentanahan Gardu Induk 150 kV Cendana" ini dapat diselesaikan dengan baik.

Dalam penyusunan tugas akhir ini penulis mengalami berbagai hambatan. Namun, semua hal itu dapat dilewati dengan pertolongan Tuhan Yang Maha Esa melalui bantuan dan bimbingan serta pengarahan dari berbagai pihak sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini. Pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih yang sebesarnya kepada:

1. Bapak Dr. Ing. Ir. Slamet Widodo, M.T., IPM. selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Tanjungpura.
2. Bapak Prof. Dr. Ing. Seno Darmawan Panjaitan, S.T., M.T., IPM., selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro Universitas Tanjungpura.
3. Bapak Elang Derdian Marindani, S.T., M.T., selaku Ketua Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Tanjungpura.
4. Bapak Dr. Ir. Usman A. Gani, S.T., M.T., IPM. selaku Pembimbing Utama yang telah banyak memberikan pengarahan dan bimbingan selama penulisan tugas akhir ini.
5. Bapak Ir. Danial, M.T., IPM. selaku Pembimbing Pendamping yang telah banyak memberikan pengarahan dan bimbingan selama penulisan tugas akhir ini.
6. Bapak Ir. Managam Rajagukguk, S.T., M.T., IPM. selaku Dosen Penguji Utama yang telah memberikan masukan dan kritikan yang membangun untuk menyelesaikan tugas akhir ini.
7. Bapak Prof. Dr. Eng. Ir. Rudi Kurnianto, S.T., M.T., IPM. selaku Dosen Penguji Pendamping yang telah memberikan masukan dan kritikan yang membangun untuk menyelesaikan tugas akhir ini.
8. Seluruh Dosen Program Studi Teknik Elektro Universitas Tanjungpura yang telah membekali ilmu baik berupa teori maupun praktik.

9. Manager dan staff PT PLN (Persero) UPT Pontianak yang telah memberikan kesempatan untuk melaksanakan penelitian tugas akhir dan yang telah menyediakan data yang diperlukan pada penulisan skripsi ini.
10. Manager dan staff Unit Layanan Transmisi Gardu (ULTG) Siantan yang telah menyediakan data yang diperlukan pada penulisan skripsi ini dan mendampingi selama proses penelitian di lapangan.
11. Kedua orang tua, saudara dan keluarga yang selalu memberikan doa dan dukungan kepada penulis.
12. Sahabat, orang terdekat serta teman-teman yang telah memberikan dukungan, masukan, saran serta solusi dalam penyelesaian skripsi ini yang tidak dapat penulis sebutkan satu per satu.

Dalam penyusunan tugas akhir ini masih banyak terdapat kekurangan. Untuk itu penulis masih mengharapkan kritik dan saran demi perbaikan pada masa yang akan datang.

Akhir kata, semoga tugas akhir ini dapat memberikan manfaat dalam menambah wawasan pengetahuan dan dapat dipergunakan sebagaimana mestinya.

Pontianak, 2025

Penulis,

Antonius Rajagukguk

ABSTRAK

Sistem pentanahan pada Gardu Induk memegang peranan krusial dalam menjamin keselamatan personel dan keandalan peralatan, terutama saat terjadi gangguan fasa ke tanah. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis tingkat keamanan sistem pentanahan pada Gardu Induk 150 kV Cendana dengan meninjau dua aspek utama yaitu pengaruh variasi arus gangguan fasa ke tanah dan variasi jenis tanah terhadap performa sistem pentanahan. Metodologi yang digunakan adalah pemodelan dan simulasi menggunakan perangkat lunak ETAP (*Electrical Transient Analyzer Program*), dengan perbandingan dua skenario konfigurasi sistem pentanahan, yaitu sistem tanpa pagar dan sistem dengan pagar yang dihubungkan ke grid pentanahan utama. Hasil penelitian menunjukkan bahwa resistansi pentanahan rata-rata adalah sebesar 0,8 Ω. Variasi arus gangguan fasa ke tanah menunjukkan pengaruh yang signifikan terhadap kenaikan *Ground Potential Rise* (GPR), dengan pola peningkatan linier. Semakin besar arus gangguan, maka GPR, tegangan langkah, dan tegangan sentuh yang dihasilkan juga meningkat. Namun demikian, tegangan langkah sebenarnya (448,41 V dan 277,8 V) serta tegangan sentuh (484 V dan 584,7 V) masih berada dalam batas aman yang diizinkan, yaitu batas tegangan langkah untuk 50 kg dan 70 kg (4197,8 V dan 5681,6 V) sementara batas tegangan sentuh untuk 50 kg dan 70 kg (1172,5 V dan 1586,9 V). Sementara itu, variasi jenis tanah juga berpengaruh langsung terhadap performa sistem pentanahan. Semakin tinggi resistivitas tanah, maka nilai resistansi pentanahan, GPR, serta tegangan langkah dan sentuh yang sebenarnya akan meningkat secara signifikan. Pada jenis tanah dengan resistivitas tinggi, nilai tegangan sentuh yang dihasilkan bahkan melebihi batas aman yang diizinkan, menandakan adanya potensi bahaya keselamatan. Selain itu, penyambungan pagar ke grid terbukti efektif dalam menurunkan resistansi total sistem (Rg) dan GPR secara keseluruhan. Namun, konfigurasi ini menimbulkan peningkatan tegangan langkah dan tegangan sentuh di area luar pagar, terutama pada titik sudut (*fenomena corner effect*) yang menjadi titik paling kritis. Dari keseluruhan hasil analisis, dapat disimpulkan bahwa meskipun sistem pentanahan Gardu Induk 150 kV Cendana masih mampu menjaga tegangan langkah dan tegangan sentuh dalam batas aman, nilai resistansi pentanahan yang melebihi standar SPLN T5.012 (≤ 0,5 Ω) menunjukkan bahwa sistem perlu ditingkatkan lebih lanjut. Penelitian ini menegaskan pentingnya perancangan sistem pentanahan yang mempertimbangkan variasi arus gangguan dan jenis tanah secara menyeluruh untuk memastikan keamanan dan keandalan gardu induk.

Kata Kunci: Sistem pentanahan, *Ground Potential Rise*, tegangan langkah, tegangan sentuh, pagar gardu induk, IEEE Std 80, SPLN T5.012 , ETAP.

ABSTRACT

The grounding system at the Substation plays a crucial role in ensuring personnel safety and equipment reliability, especially when there is a phase disturbance to the ground. This study aims to analyze the level of safety of the grounding system at the 150 kV Cendana Substation by reviewing two main aspects, namely the effect of phase disturbance current variations on the ground and soil type variations on the performance of the grounding system. The methodology used was modeling and simulation using ETAP (Electrical Transient Analyzer Program) software, with a comparison of two grounding system configuration scenarios, namely a system without a fence and a system with a fence connected to the main grounding grid. The results showed that the average grounding resistance was 0.8 Ω. The variation of phase disturbance currents to the ground shows a significant influence on the increase in Ground Potential Rise (GPR), with a linear increase pattern. The greater the interference current, the GPR, the step voltage, and the resulting touch voltage also increase. Nevertheless, the actual step-voltage (448.41 V and 277.8 V) and the touch-level (484 V and 584.7 V) are still within the permissible safe limits, i.e. the step-voltage limits for 50 kg and 70 kg (4197.8 V and 5681.6 V) while the touch-voltage limits for 50 kg and 70 kg (1172.5 V and 1586.9 V). Meanwhile, the variation in soil type also has a direct effect on the performance of the grounding system. The higher the resistivity of the soil, the value of the grounding resistance, GPR, and the actual step and touch stress will increase significantly. In soil types with high resistivity, the resulting touch voltage value even exceeds the permissible safe limit, indicating a potential safety hazard. In addition, the connection of the fence to the grid has been shown to be effective in lowering the total resistance of the system (Rg) and the overall GPR. However, this configuration causes an increase in step voltage and touch voltage in the outer area of the fence, especially at the corner effect (corner effect) which is the most critical point. From the overall results of the analysis, it can be concluded that although the grounding system of the 150 kV Cendana Substation is still able to keep the step voltage and touch voltage within safe limits, the grounding resistance value that exceeds the standard SPLN T5.012 (≤ 0.5 Ω) indicates that the system needs to be further improved. This study emphasizes the importance of designing a grounding system that takes into account variations in disturbance currents and soil types as a whole to ensure the safety and reliability of substations..

Keywords: Grounding system, GPR, step voltage, touch voltage, substation fence, IEEE Std 80, SPLN T5.012, ETAP

DAFTAR ISI

HALAMAN PERSEMBAHAN v
PRAKATA..... vi
ABSTRAK viii
ABSTRACT ix
DAFTAR ISI x
DAFTAR GAMBAR xiii
DAFTAR TABEL..... xiv
BAB I PENDAHULUAN 1
1.1 Latar Belakang 1
1.2 Perumusan Masalah.....4
1.3 Tujuan Penelitian.....5
1.4 Pembatasan Masalah 5
1.5 Sistematika Penulisan.....5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA 7
2.1 Kajian Terdahulu 7
2.2 Teori Pendukung.....8
2.2.1 Sistem Pentanahan 8
2.2.2 Resistivitas tanah 10
2.2.3 Jenis – jenis elektroda pentanahan.....11
2.2.4 Sistem Pentanahan Grid Gardu Induk 16
2.2.5 Luas Penampang Konduktor.....19
2.2.6 Fenomena Gangguan dan Kenaikan Potensial Tanah 19
2.2.7 Analisis Potensi Bahaya Akibat Kenaikan Potensial Tanah 24
2.2.8 Analisis Peran dan Pengaruh Pagar Gardu Induk 35

2.2.9 Analisis Sistem Pentanahan dengan Simulasi Komputer 38
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....42
3.1 Bahan Penelitian.....42
3.2 Alat Yang Dipergunakan.....43
3.3 Metode penelitian.....44
3.4 Variabel Penelitian.....46
3.5 Analisis Hasil.....46
3.6 Diagram Alir Penelitian.....47
BAB IV PEMBAHASAN.....50
4.1 Perhitungan Resistansi Pentanahan.....50
4.2 Hasil Pengukuran Resistansi Pentanahan.....52
4.3 Perhitungan Arus Grid Simetris.....53
4.4 Perhitungan Arus Grid Maksimum.....53
4.5 Perhitungan Ground Potential Rise.....53
4.6 Perhitungan Faktor Reduksi.....54
4.7 Perhitungan Tegangan Langkah dan Tegangan Sentuh yang Diizinkan.....54
4.8 Perhitungan Tegangan Langkah dan Tegangan Sentuh yang Sebenarnya....55
4.9 Simulasi Sistem Pentanahan Gardu Induk 150 Kv Cendana Tanpa Elemen Pagar.....59
4.9.1 Desain Bentuk Pentanahan Grid Dan Rod Pada Gardu Induk 150 Kv Cendana.....60
4.9.2 Pengaturan Jenis Tanah Dan Resistivitas Tanah.....61
4.9.3 Pengaturan Studi Kasus Pada Sistem Pentanahan.....62
4.9.4 Hasil Simulasi Sistem Pentanahan Gardu Induk 150 Kv Cendana.....62
4.9.5 Pengaruh Arus Gangguan Fasa Ke Tanah.....69
4.9.6 Pengaruh Jenis Tanah.....71

4.10 Simulasi Sistem Pentanahan Gardu Induk 150 Kv Cendana Dengan Elemen Pagar 74
4.10.1 Desain Pentanahan Gardu Induk 150 Kv Cendana Dengan Penambahan Elemen Pagar 75
4.10.2 Hasil simulasi sistem pentanahan dengan penambahan elemen pagar 76
4.12 Analisa 80
BAB V PENUTUP 87
5.1 Kesimpulan 87
5.2 Saran 88
DAFTAR RUJUKAN 89
LAMPIRAN A 91

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Elektroda Batang Tunggal 13
Gambar 2.2 Elektroda Pelat.....14
Gambar 2.3 Elektroda Pita.....15
Gambar 2.4 Mesh Pentanahan Grid.....17
Gambar 2.5 Pentanahan Grid Gardu Induk 18
Gambar 2.6 Tegangan langkah 25
Gambar 2.7 Tegangan Sentuh.....31
Gambar 2.8 Tampilan ETAP.....41
Gambar 2.9 Tampilan Simulasi Sistem Pentanahan Pada ETAP.....41
Gambar 4.1 Grafik perbandingan tegangan langkah dan tegangan sentuh 59
Gambar 4.2 Bentuk grid sebelum penambahan batang rod.....60
Gambar 4.3 Desain pentanahan setelah ditambahkan batang rod 61
Gambar 4.4 Pengaturan jenis tanah dan resistivitas tanah.....61
Gambar 4.5 Plot absolute potential profile.....63
Gambar 4.6 Plot contour absolute potential profile.....64
Gambar 4.7 Plot step potential profile.....64
Gambar 4.8 Plot contour step potential profile.....65
Gambar 4.9 Plot touch potential profile 65
Gambar 4.10 Plot contour touch potential profile 66
Gambar 4.11 Grafik perbandingan hasil perhitungan dan simulasi.....68
Gambar 4.12 Grafik hasil simulasi pengaruh arus gangguan.....70
Gambar 4.13 Grafik hasil simulasi pengaruh jenis tanah.....72
Gambar 4.14 Desain pentanahan dengan penambahan elemen pagar.....75
Gambar 4.15 Desain grid dengan penambahan elemen pagar.....76
Gambar 4.16 Plot absolute potential profile.....77
Gambar 4.17 Plot contour absolute potential profile.....77
Gambar 4.18 Plot step potential profile.....78
Gambar 4.19 Plot contour step potential profile.....78
Gambar 4.20 Plot touch potential profile 79
Gambar 4.21 Plot contour touch potential profile 79

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Nilai Tahanan Jenis Berbagai Tanah.....10
Tabel 2.2 Jenis konduktor dan nilai tahanan.....11
Tabel 2.3 Tegangan Langkah Yang Diizinkan Dan Lama Gangguan.....25
Tabel 2.4 Tegangan Sentuh Yang Diizinkan Dan Lama Gangguan.....28
Tabel 2.5 Tegangan Sentuh Maksimum Dan Waktu Pemutusan Maksimum.....29
Tabel 2.6 Batasan-batasan arus reaksi dan pengaruhnya pada manusia.....34
Tabel 3.1 Data Pentanahan Gardu Induk Cendana PLN UPT Pontianak.....42
Tabel 4.1 Hasil Pengukuran Resistansi Pentanahan Oleh PLN UPT Pontianak ...52
Tabel 4.2 Hasil perhitungan.....58
Tabel 4.3 Hasil simulasi sistem pentanahan gardu induk 150 kV Cendana 62
Tabel 4.4 Perbandingan hasil perhitungan dan simulasi.....67
Tabel 4.5 Hasil simulasi pengaruh arus gangguan 69
Tabel 4.6 Hasil simulasi pengaruh jenis tanah 72
Tabel 4.7 Hasil simulasi sistem pentanahan dengan penambahan elemen pagar..76

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sistem pentanahan yang baik merupakan kebutuhan vital dalam sistem pembangkit, transmisi, dan distribusi tenaga listrik untuk meminimalkan risiko kegagalan peralatan. Di gardu induk mana pun, sistem pentanahan yang baik menyediakan jalur resistivitas rendah untuk mengalirkan arus gangguan tinggi ke tanah. Hal ini akan mengurangi waktu henti, kemungkinan kerusakan peralatan, dan potensi adanya korban jiwa akibat aliran listrik, baik dari petir maupun arus gangguan. Pentanahan merupakan faktor yang paling penting untuk meningkatkan keamanan sistem tenaga dan peralatan listrik, kondisi tanah berpengaruh terhadap nilai resistansi dalam proses pentanahan listrik. Pentanahan diperlukan untuk pengoperasian yang andal dari setiap peralatan listrik termasuk generator, transformator, sistem transmisi, dan instalasi sistem tenaga lainnya.

Dalam sistem pentanahan, studi tentang resistensi tanah sangat penting dalam merancang jaringan listrik yang aman baik untuk perumahan, komersial, dan kawasan industri. Pentanahan yang baik sesuai dengan standar PUIL (Persyaratan Umum Instalasi Listrik) tahun 2000 bahwa standar untuk tahanan pentanahan yang berlaku tidak boleh lebih dari 5 Ω (≤ 5 Ω) namun pada daerah yang memiliki tahanan jenis tanah yang cukup tinggi maka standar maksimumnya adalah 10 Ω [1]. Menurut SPLN T5.012, "Pembumian Pada Gardu Induk Dan Jaringan Transmisi," no. 0053, 2020, batas tahanan pentanahan yang disarankan adalah $\leq$ 0,5 [13]. Sementara dalam standar IEEE Std 80-2000, pentanahan yang baik dan ideal harus memberikan nilai tahanan pentanahan mendekati 0 atau $\leq$ 1 ohm [8].

Sistem pentanahan pada gardu induk memiliki peran penting dalam menjamin keselamatan operator dan peralatan listrik serta kelancaran operasi jaringan tenaga listrik. Pentanahan yang baik mampu mengurangi risiko tegangan langkah dan sentuh yang dapat menyebabkan bahaya listrik pada manusia dan kerusakan peralatan. Penggunaan perangkat lunak seperti ETAP 21.0 memudahkan proses analisis dan simulasi pada sistem pentanahan, terutama dalam menghadapi peningkatan beban dan kondisi gangguan.

Pada penelitian ini yaitu pada gardu induk 150 kV Cendana, studi sistem pentanahan menjadi sangat penting karena tingginya risiko gangguan arus listrik yang dapat meningkatkan potensi bahaya. Dengan menggunakan ETAP 21.0, studi dapat dilakukan untuk menganalisis efisiensi dan keandalan dari sistem pentanahan yang ada, sehingga desain sistem pentanahan yang lebih optimal dapat direkomendasikan.

Salah satu gardu induk yang merupakan bagian dari ULTG (Unit Layanan Transmisi dan Gardu Induk) Pontianak adalah gardu induk 150 kv Cendana. Gardu induk ini termasuk menarik perhatian untuk diteliti, dimana gardu induk ini merupakan gardu induk yang tergolong baru di pontianak, dimana gardu induk ini mulai beroperasi pada masa pandemi covid 19 tepatnya tahun 2021 demi meningkatkan keandalan sistem kelistrikan khatulistiwa. Pembangunan gardu induk cendana dilakukan karena semakin meningkatnya beban listrik di salah satu gardu induk di pontianak. Sistem pentanahan di gardu induk memegang peranan penting dalam menjaga keselamatan operasional dan melindungi peralatan dari kerusakan akibat gangguan listrik. Salah satu aspek yang perlu diperhatikan dalam sistem pentanahan adalah analisis tegangan langkah dan tegangan sentuh, yang berfungsi untuk memastikan keamanan personel maupun masyarakat di sekitar gardu induk.

Pada gardu induk 150 kv cendana belum pernah dilakukan perhitungan terkait potensi *ground potential rise* terhadap tegangan langkah dan tegangan sentuh dan belum pernah ada penelitian terkait hal tersebut. Kondisi ini menunjukkan adanya kebutuhan mendesak untuk mengevaluasi sistem pentanahan guna memastikan bahwa desain yang ada memenuhi standar keselamatan yang ditetapkan. UPT Pontianak menanggapi hal tersebut dan menyatakan ketertarikannya dan menegaskan perlunya data hasil penelitian ini sebagai acuan dalam pengelolaan dan pengembangan sistem pentanahan di gardu tersebut.

Sistem pentanahan pada gardu induk memiliki peranan yang sangat penting dalam menjamin keselamatan operasional dan perlindungan terhadap personel serta masyarakat di sekitarnya. Gardu Induk 150 kV Cendana, yang dikelola oleh PLN UPT Pontianak, merupakan salah satu gardu induk strategis dalam sistem distribusi listrik di Kalimantan Barat. Namun, hingga saat ini, belum pernah dilakukan

perhitungan awal terkait potensi kenaikan potensial tanah terhadap tegangan langkah dan tegangan sentuh, belum ada penelitian mendalam yang mengkaji fenomena *Ground Potential Rise* (GPR) serta bahaya terkait parameter-parameter tersebut pada sistem pentanahan gardu ini.

Kondisi geografis dan karakteristik tanah di Pontianak menambah kompleksitas dalam desain sistem pentanahan. Tanah di Pontianak didominasi oleh jenis tanah gambut, yang memiliki resistivitas tanah yang berbeda dibandingkan tanah mineral lainnya. Pada pembangunan gardu induk di wilayah ini, tanah gambut biasanya dikorek dan diganti dengan tanah kuning yang menyerupai tanah liat untuk meningkatkan daya dukung tanah. Selanjutnya, permukaan tanah dilapisi dengan batu koral guna meningkatkan kestabilan mekanis dan resistivitas permukaan tanah. Namun, bagaimana pengaruh karakteristik ini terhadap kenaikan GPR dan tegangan langkah maupun tegangan sentuh belum pernah menjadi subjek penelitian sebelumnya.

Ground Potential Rise (GPR) merupakan salah satu parameter penting yang harus dianalisis untuk memastikan bahwa sistem pentanahan memenuhi standar keselamatan internasional, seperti IEEE Std. 80-2013. Kenaikan GPR yang signifikan dapat menyebabkan tegangan langkah dan tegangan sentuh yang melebihi ambang batas aman, sehingga berpotensi membahayakan manusia dan peralatan. Oleh karena itu, evaluasi terhadap sistem pentanahan dengan mempertimbangkan kondisi lokal, seperti karakteristik tanah dan metode konstruksi, sangat penting untuk dilakukan.

Melihat akan hal ini mendorong peneliti untuk terjun melakukan studi baik di lapangan maupun analisa dengan menggunakan perangkat simulasi, dan dikarenakan sebelumnya belum pernah ada yang melakukan studi dan penelitian mengenai keamanan dan keandalan sistem pentanahan di gardu induk tersebut.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis *Ground Potential Rise* (GPR) pada sistem pentanahan Gardu Induk 150 kV Cendana di PLN UPT Pontianak dengan menggunakan metode simulasi dan perhitungan teknis. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi yang komprehensif mengenai kinerja sistem pentanahan gardu serta memberikan rekomendasi perbaikan yang diperlukan.

Penelitian ini difokuskan pada analisis potensi *ground potential rise* terhadap tegangan langkah dan tegangan sentuh pada sistem pentanahan di gardu induk 150 kV Cendana dan simulasi menggunakan ETAP 21.0. Penelitian ini dilakukan untuk evaluasi sistem pentanahan dalam memperoleh kenaikan potensial tanah, nilai tahanan pentanahan serta tegangan langkah dan sentuh sesuai standar IEEE Std. 80-2013. Perhitungan untuk parameter-parameter yang akan dihitung menggunakan metode IEEE (*Institute of Electrical and Electronics Engineers*) sementara untuk simulasi menggunakan 2 metode yaitu IEEE dan FEM (*Finite Elemen Method*) atau biasa disebut metode Elemen Hingga.

Berdasarkan latar belakang ini, penelitian dengan pendekatan analisis perbandingan perhitungan dan simulasi menggunakan perangkat lunak ETAP menjadi penting untuk dilakukan. Penelitian ini bertujuan memberikan gambaran komprehensif mengenai performa sistem pentanahan di gardu induk, dengan fokus pada potensi kenaikan potensial tanah terhadap tegangan langkah, tegangan sentuh, serta parameter keselamatan lainnya sesuai standar IEEE. Penelitian ini diharapkan dapat menjadi langkah awal dalam meningkatkan keamanan sistem kelistrikan di gardu induk 150 kv cendana sekaligus mendukung kebutuhan operasional pihak UPT Pontianak.

1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, maka didapat perumusan masalah yang akan dijawab melalui penelitian ini adalah:

1. Bagaimana pengaruh arus gangguan fasa ke tanah terhadap *Ground Potential Rise* (GPR) dan potensinya terhadap tegangan langkah, tegangan sentuh pada sistem pentanahan di Gardu Induk?
2. Bagaimana pengaruh jenis tanah terhadap nilai tahanan pentanahan, *Ground Potential Rise* (GPR), tegangan langkah dan tegangan sentuh pada sistem pentanahan gardu induk?
3. Sejauh mana sistem pentanahan saat ini memenuhi standar keamanan terhadap resistansi pentanahan, risiko tegangan langkah, tegangan sentuh dan *Ground Potential Rise* (GPR) akibat arus gangguan fasa ke tanah?

4. Bagaimana kondisi keamanan sistem pentanahan gardu induk, dengan mempertimbangkan pengaruh pagar yang terhubung ke grid utama, terhadap resistansi pentanahan, *ground potential rise*, risiko tegangan sentuh dan tegangan langkah berdasarkan standar keselamatan IEEE Std 80 khususnya di titik-titik kritis seperti perimeter dan sudut pagar?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Untuk mengetahui nilai resistansi pentanahan pada gardu induk.
2. Untuk mengetahui nilai *ground potential rise* (kenaikan potensial tanah, GPR), tegangan langkah dan tegangan sentuh dan pada gardu induk.
3. Untuk mengetahui bagaimana pengaruh arus gangguan fasa ke tanah terhadap *Ground Potential Rise* (GPR) dan potensinya terhadap tegangan langkah, tegangan sentuh pada sistem pentanahan di Gardu Induk
4. Untuk mengetahui bagaimana pengaruh jenis tanah di area gardu induk terhadap nilai *ground potential rise* (kenaikan potensial tanah, GPR), tegangan langkah dan tegangan sentuh.
5. Melakukan perbandingan antara hasil perhitungan manual dan simulasi yang dihasilkan menggunakan perangkat lunak ETAP 21.0 untuk memahami kelebihan dan kekurangan sistem pentanahan yang diterapkan di Gardu Induk.

1.4 Pembatasan Masalah

Agar ruang lingkup penelitian tidak meluas, maka penulis membatasi permasalahan sebagai berikut:

1. Penelitian ini dilakukan pada gardu induk 150 kV Cendana.
2. Penelitian ini akan berfokus pada analisis GPR (*Ground Potential Rise*) dan pengaruhnya terhadap tegangan langkah dan tegangan sentuh.
3. Penggunaan perangkat lunak ETAP 21.0 sebagai alat simulasi.
4. Perhitungan dilakukan menggunakan metode IEEE sementara untuk simulasi menggunakan metode elemen hingga (FEM).

1.5 Sistematika Penulisan

Adapun sistematika penulisan dari tugas akhir ini disusun dalam lima bab yang terdiri dari:

BAB I : PENDAHULUAN

Bab ini berisikan latar belakang, permasalahan, pembatasan masalah, tujuan penulisan, metode penelitian, dan sistematika penulisan.

BAB II : TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini berisikan penelitian terdahulu, dasar teori yang menunjang penulisan proposal skripsi dan membahas teori yang berkaitan dengan sistem pentanahan pada gardu induk.

BAB III : METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini berisi gambaran umum mengenai lokasi penelitian, data penelitian seperti jenis metode pentanahan yang digunakan, jenis elektroda yang digunakan, jenis tanah pada gardu induk, metodologi penelitian, alat ukur, prosedur penelitian, analisa, dan diagram alir penelitian.

BAB IV : PERHITUNGAN DAN ANALISIS

Berisi tentang hasil analisis simulasi kinerja pentanahan menggunakan ETAP 21.0, pengukuran serta perhitungan nilai resistansi pentanahan, tegangan langkah dan tegangan sentuh pada gardu induk 150 kV Cendana.

BAB V : PENUTUP

Berisi tentang kesimpulan dan saran, yaitu yang merupakan inti sari secara keseluruhan penelitian yang dilakukan atau dibahas pada bab-bab sebelumnya dan beberapa saran yang di usulkan.