

# BAB I PENDAHULUAN

## 1.1 Latar Belakang

Gardu induk merupakan salah satu komponen vital dalam sistem tenaga listrik yang berfungsi sebagai pusat penghubung antara pembangkit, jaringan transmisi, dan distribusi. Peran gardu induk sangat penting karena menjadi titik sentral dalam proses transformasi, pengaturan, serta penyaluran energi listrik dari tegangan tinggi ke tegangan menengah maupun rendah sebelum akhirnya disalurkan kepada konsumen. Keandalan operasi gardu induk sangat bergantung pada integritas sistem kelistrikan yang dimilikinya, termasuk sistem pengamanan internal seperti sistem proteksi, sistem isolasi, serta yang tidak kalah penting adalah sistem pentanahan (*grounding system*).

Sistem pentanahan memiliki peran krusial sebagai pengaman sekaligus pelindung sistem tenaga listrik. Fungsi utamanya tidak hanya terbatas pada perlindungan peralatan listrik dari kerusakan akibat tegangan abnormal, seperti tegangan lebih akibat sambaran petir atau gangguan hubung singkat, tetapi juga memberikan perlindungan mutlak terhadap manusia dan makhluk hidup di sekitar instalasi dari potensi bahaya sengatan listrik. Dengan adanya sistem pentanahan yang andal, arus gangguan dapat dialirkan dengan cepat dan aman ke dalam tanah sehingga tidak menimbulkan potensi berbahaya pada permukaan tanah maupun peralatan[1]. Kegagalan dalam mengalirkan arus ini dapat memicu kenaikan *Ground Potential Rise* (GPR), yang berpotensi menimbulkan bahaya fatal berupa Tegangan Sentuh (*Touch Voltage*) dan Tegangan Langkah (*Step Voltage*).

Secara definisi, sistem pentanahan adalah suatu metode atau sistem penghubung konduktor penghantar pada peralatan listrik maupun bagian struktur instalasi dengan bumi/tanah. Hubungan ini memungkinkan terciptanya lintasan arus yang aman ketika terjadi gangguan, sehingga dapat menekan risiko sengatan listrik terhadap manusia serta mengurangi kerusakan pada komponen peralatan[2]. Oleh karena itu, sistem pentanahan dapat dikatakan sebagai bagian yang esensial dan tidak terpisahkan dari sistem tenaga listrik modern, di mana kriteria keberhasilannya tidak hanya diukur dari konektivitas, tetapi dari jaminan keselamatan bagi personel yang bekerja di dalamnya.

Namun demikian, efektivitas sistem pentanahan sangat dipengaruhi oleh sifat kelistrikan tanah pada lokasi instalasi serta bentuk fisik dari elektroda pentanahan itu sendiri. Tanah pada dasarnya bukanlah penghantar yang baik jika dibandingkan dengan logam, namun dalam kondisi tertentu seperti tingginya kelembapan, nilai resistivitas tanah dapat menurun sehingga daya hantar arus listrik meningkat.[3] Sebaliknya, kondisi tanah yang kering atau memiliki resistivitas tinggi sangat menghambat disipasi arus gangguan ke bumi, yang secara langsung berdampak pada tingginya risiko tegangan sentuh. Untuk mengatasi tingginya resistivitas ini,

beberapa penelitian sebelumnya [4] telah menunjukkan bahwa metode rekayasa penggantian lapisan tanah (*soil replacement*) menggunakan material konduktif sangat efektif untuk memanipulasi tahanan jenis tanah permukaan, sehingga dapat menurunkan nilai impedansi ekuivalen sistem secara signifikan.

Meskipun penggantian tanah merupakan solusi mitigasi yang terbukti efektif, evaluasi keamanan suatu gardu induk tidak dapat dipisahkan dari analisis bentuk geometri *grid* pentanahannya. Terdapat asumsi bahwa jika nilai resistansi pentanahan ( $R_g$ ) sudah diturunkan melalui modifikasi tanah, maka sistem otomatis menjadi aman. Padahal, pada gardu induk yang memiliki geometri *grid* tidak beraturan seperti bentuk *L-Shape* atau *T-Shape* akibat keterbatasan lahan luasan gardu distribusi arus gangguan ke tanah cenderung tidak merata.

Pada geometri *grid* yang asimetris atau memiliki banyak sudut tajam ke dalam, arus gangguan ekstrem akan saling berdesakan di area percabangan, memicu fenomena kepadatan arus (*current crowding / corner effect*). Fenomena ini menyebabkan gradien tegangan lokal melesat tajam dan memunculkan titik panas (*hotspot*) yang membuat Tegangan Sentuh tetap mematikan meskipun tanah di sekitarnya sudah diperbaiki. Sebaliknya, pada geometri simetris seperti *Rectangular* (Persegi) atau *Triangle* (Segitiga), arus dapat terdistribusi dengan lebih mulus dan menciptakan permukaan yang lebih ekuipotensial.

Kesenjangan profil tegangan akibat variasi bentuk fisik inilah yang menjadikan evaluasi komparatif berbagai geometri *grid* menjadi sangat esensial. Perbandingan antara model *Rectangular* eksisting dengan pemodelan geometris lain (*Triangle*, *L-Shape*, dan *T-Shape*) diperlukan sebagai langkah validasi desain untuk membuktikan apakah lonjakan tegangan sentuh yang terjadi murni diakibatkan oleh faktor tingginya resistivitas tanah, atau diperparah oleh kesalahan tata letak desain *grid* itu sendiri. Melalui analisis komparatif ini, insinyur dapat menjustifikasi apakah mitigasi bahaya cukup difokuskan pada perbaikan kedalaman tanah (*soil replacement*), atau mengharuskan perombakan desain dasar *grid* secara keseluruhan[5].

Oleh karena itu, kajian mendalam mengenai komparasi geometri *grid* yang dikorelasikan dengan skenario ketebalan lapisan tanah atas (*soil replacement*) menjadi sangat penting untuk diangkat. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan pemahaman komprehensif mengenai batasan desain fisik dan titik jenuh efektivitas penggantian tanah, sekaligus memberikan landasan teknis yang solid dalam upaya meningkatkan keandalan dan keselamatan personel kelistrikan di Indonesia.

Oleh karena itu penulis tertarik melakukan penelitian dengan judul **“ANALISIS PENGARUH PERUBAHAN JENIS TANAH TERHADAP TEGANGAN SENTUH DAN KEAMANAN SISTEM PENTANAHAN DI GARDU INDUK PADANG LUAR 150/20 KV”**.

## 1.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana kondisi keamanan sistem pentanahan (tegangan sentuh dan tegangan langkah) di GI Padang Luar 150/20 kV pada kondisi tanah asli berdasarkan perhitungan manual dan simulasi software CYMGRD?
2. Bagaimana pengaruh variasi bentuk geometri grid (*Rectangular*, *Triangle*, *L-Shape*, dan *T-Shape*) terhadap nilai *Ground Potential Rise* (GPR) dan tegangan sentuh?
3. Sejauh mana efektivitas metode penggantian tanah (*soil replacement*) dengan berbagai skenario kedalaman dalam menurunkan resistansi pentanahan dan meningkatkan keamanan sistem?
4. Apakah terdapat titik jenuh (*saturation point*) pada kedalaman penggantian tanah tertentu dalam upaya menurunkan tegangan sentuh?

## 1.3 Tujuan Penelitian

1. Menganalisis nilai tegangan sentuh dan tegangan langkah di GI Padang Luar untuk memastikan kesesuaian dengan standar keamanan IEEE Std 80-2013.
2. Mengevaluasi performa berbagai geometri *grid* pentanahan dalam mendistribusikan arus gangguan ke tanah.
3. Menentukan skenario kedalaman penggantian tanah (*soil replacement*) yang paling optimal untuk mereduksi nilai GPR dan tegangan sentuh.
4. Mengidentifikasi batas efektivitas (titik jenuh) dari metode penggantian tanah baik secara teknis maupun ekonomis.

## 1.4 Manfaat Penelitian

1. Sebagai bahan referensi dan acuan bagi peneliti selanjutnya yang melakukan studi serupa.
2. Sebagai bahan evaluasi untuk perbaikan dan pengembangan sistem pentanahan yang lebih efektif dan andal berdasarkan kondisi tanah gardu induk.

## 1.5 Batasan Masalah

Beberapa dari batasan masalah dari penelitian ini antara lain:

1. Data yang digunakan dalam penelitian berasal dari pihak Gardu Induk Padang Luar
2. Standar acuan yang digunakan dalam melakukan perhitungan yaitu standar IEEE std 80/2013 yang berjudul *IEEE Guide for Safety in AC Penumbaran Gardu Induk*
3. Simulasi menggunakan *Software* CYMGRD 6.3
4. Penelitian ini membandingkan perbedaan nilai resistansi dari Lapisan Tanah yang berbeda

## 1.6 Sistematika Penulisan

Penulisan laporan tugas akhir ini berdasarkan sistematika penulisan sebagai berikut :

## **BAB I PENDAHULUAN**

Pada bab ini mencakup latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, batasan masalah dan sistematika penulisan.

## **BAB II TINJAUAN PUSTAKA**

Bab ini menjelaskan landasan teori yang mendukung penelitian, meliputi tinjauan umum gardu induk, teori dasar sistem pentanahan (*grid & rod*), karakteristik resistivitas tanah, perhitungan tegangan sentuh dan tegangan langkah, *Ground Potential Rise* (GPR), serta standar keamanan IEEE Std 80-2013 yang menjadi acuan utama.

## **BAB III METODOLOGI PENELITIAN**

Bab ini menguraikan tahapan penelitian yang meliputi studi literatur, pengumpulan data teknis gardu induk, serta perhitungan manual parameter pentanahan. Selain itu, bab ini menjelaskan prosedur pemodelan dan simulasi sistem pentanahan menggunakan perangkat lunak CYMGRD 6.3 untuk menganalisis pengaruh variasi lapisan tanah (*soil replacement*) dan geometri *grid* terhadap keamanan sistem.

## **BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN**

Bab ini memuat data teknis yang diperoleh dari lokasi penelitian (Gardu Induk Padang Luar 150/20 kV), perhitungan manual parameter pentanahan, serta perancangan dan simulasi model menggunakan perangkat lunak (CYMGRD). Pembahasan difokuskan pada analisis perbandingan hasil simulasi sebelum dan sesudah penerapan metode perbaikan lapisan tanah (*soil replacement*) dengan variasi ketebalan yang berbeda untuk mengevaluasi pengaruhnya terhadap tegangan sentuh, tegangan langkah, *Ground Potential Rise* (GPR), dan resistansi pentanahan.

**BAB V KESIMPULAN DAN SARAN** Bab ini berisi kesimpulan yang diambil berdasarkan hasil analisis dan pembahasan penelitian mengenai efektivitas variasi lapisan tanah terhadap keamanan sistem, serta saran-saran yang dapat digunakan sebagai masukan untuk perbaikan sistem pentanahan di lapangan maupun untuk pengembangan penelitian selanjutnya.