

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sistem pentanahan merupakan salah satu elemen penting dalam instalasi listrik, terutama pada infrastruktur kelistrikan seperti pembangkit, gardu induk, dan jaringan transmisi. Sistem pentanahan pada gardu induk berperan penting dalam memastikan keselamatan operasional kelistrikan. Sistem pentanahan berfungsi untuk mengalirkan arus gangguan ke tanah, mencegah terjadinya kebakaran atau kerusakan peralatan, serta melindungi manusia dari bahaya yang ditimbulkan oleh tegangan tinggi atau arus tinggi akibat dari gangguan sistem (hubung singkat) maupun sambaran petir [1]. Keandalan sistem pentanahan sangat mempengaruhi keselamatan operasional dan stabilitas sistem tenaga listrik, terutama ketika terjadi gangguan. Sistem pentanahan yang kurang optimal dapat meningkatkan risiko bahaya bagi personel dan peralatan di gardu induk. Kondisi ini terjadi ketika tegangan sentuh, tegangan langkah, kenaikan potensial tanah (*Ground Potential Rise/GPR*) serta resistansi pentanahan melebihi batas yang diizinkan, sehingga dapat membahayakan keselamatan manusia dan peralatan listrik di sekitar area gardu induk [2]. Hal ini merupakan salah satu permasalahan utama dalam sistem pentanahan.

Tegangan sentuh adalah tegangan yang diterima oleh tubuh manusia ketika menyentuh benda yang terhubung dengan sistem pentanahan, sementara tegangan langkah terjadi akibat perbedaan potensial antara kedua kaki seseorang yang berdiri di permukaan tanah yang terpengaruh arus gangguan [3]. Selain itu, GPR merupakan fenomena kenaikan potensial tanah yang terjadi ketika arus gangguan mengalir ke tanah sehingga menyebabkan distribusi tegangan yang tidak merata di sekitar area gardu induk. Besarnya GPR berhubungan langsung dengan tingkat bahaya yang ditimbulkan oleh sistem pentanahan yang tidak optimal, baik terhadap keselamatan manusia maupun terhadap peralatan kelistrikan yang ada di sekitarnya [4].

Selain tegangan sentuh, tegangan langkah, dan GPR, resistansi pentanahan juga menjadi parameter penting dalam sistem pentanahan. Resistansi pentanahan menentukan seberapa baik sistem pentanahan dapat mengalirkan arus gangguan ke tanah. Semakin rendah resistansi pentanahan, semakin efektif sistem pentanahan dalam menyebarkan arus gangguan, sehingga dapat menurunkan risiko tegangan sentuh dan tegangan langkah yang berbahaya [5]. Oleh karena itu, evaluasi terhadap parameter-parameter ini sangat penting untuk memastikan keamanan sistem pentanahan sesuai dengan standar internasional seperti IEEE Std. 80-2000.

Saat ini, berbagai metode telah digunakan untuk mengevaluasi sistem pentanahan, mulai dari perhitungan manual hingga penggunaan perangkat lunak simulasi seperti ETAP dan CYMGrd. CYMGrd merupakan perangkat analisis yang

memungkinkan evaluasi menyeluruh terhadap sistem pentanahan, termasuk menganalisis tegangan sentuh, tegangan langkah, dan kenaikan potensial tanah (GPR) [6]. Perangkat lunak ini juga digunakan untuk menguji efektivitas berbagai solusi perbaikan, seperti penambahan *mesh*, penambahan elektroda batang (*rod*), serta peningkatan kedalaman grid guna meningkatkan keamanan sistem pentanahan.

Dalam penelitian lainnya, sistem pentanahan pada gardu induk tegangan tinggi dioptimalkan menggunakan CYMGrd, dengan fokus pada parameter resistansi pentanahan, tegangan langkah, dan tegangan sentuh. Hasil simulasi menunjukkan bahwa CYMGrd mampu menghasilkan visualisasi distribusi potensial tanah yang detail dan akurat, sehingga memudahkan dalam merancang sistem yang memenuhi standar keselamatan [7]. Sebagai perbandingan, penelitian yang menggunakan ETAP untuk mendesain dan mengevaluasi sistem pentanahan berbasis metode IEEE Std. 80. Meskipun ETAP berhasil memberikan analisis dasar terhadap tegangan sentuh dan langkah, namun studi tersebut menunjukkan keterbatasan dalam memodelkan konfigurasi grid kompleks dan visualisasi spasial distribusi tegangan, yang menjadi keunggulan CYMGrd [8].

Di sisi lain, berdasarkan studi pendahuluan di lokasi penelitian yaitu Gardu Induk 275 kV Payakumbuh, evaluasi sistem pentanahan masih dilakukan secara manual atau melalui perhitungan tangan tanpa bantuan perangkat lunak. Metode ini memiliki keterbatasan dalam hal ketelitian perhitungan dan visualisasi sebaran tegangan di area gardu. Oleh karena itu, dalam penelitian ini digunakan perangkat lunak CYMGrd untuk memperoleh hasil evaluasi yang lebih akurat, detail, dan menyeluruh.

Dengan mempertimbangkan kebutuhan analisis yang akurat, fleksibel, dan sesuai standar, penelitian ini menggunakan perangkat lunak CYMGrd karena kemampuannya dalam mendukung evaluasi sistem pentanahan secara menyeluruh dan mendalam, serta memberikan rekomendasi desain sistem pentanahan yang aman dan efektif di gardu induk bertegangan tinggi. Melalui simulasi yang detail dan presisi, penelitian ini dapat mengidentifikasi potensi bahaya serta memberikan rekomendasi solusi yang paling efektif untuk meningkatkan keamanan sistem pentanahan tersebut.

Evaluasi pentanahan grid ini mencakup analisis terhadap tegangan sentuh, tegangan langkah, GPR serta resistansi pentanahan guna menentukan apakah parameter tersebut masih berada dalam batas aman yang diizinkan. Jika ditemukan parameter yang melebihi batas tersebut, maka penelitian ini akan mengengajukan beberapa solusi perbaikan, seperti penambahan *mesh*, elektroda batang (*rod*), serta peningkatan kedalaman grid, untuk menentukan solusi yang paling efektif dalam meningkatkan keamanan sistem pentanahan.

Berbagai penelitian telah dilakukan untuk mengevaluasi efektivitas sistem pentanahan, dengan fokus utama pada berbagai parameter desain pentanahan grid. Penelitian yang dilaporkan dalam [9] mengevaluasi pengaruh perubahan konduktor

rod terhadap resistansi pentanahan Gardu Induk Tegangan Ekstra Tinggi (GITET) di Unggaran yang menganalisis dampak variasi jumlah dan panjang elektroda batang (rod) terhadap resistansi pentanahan, tegangan langkah, tegangan sentuh, dan *Ground Potential Rise* (GPR). Hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan jumlah dan panjang elektroda batang secara signifikan dapat menurunkan resistansi pentanahan serta mengurangi tegangan sentuh dan tegangan langkah, sehingga meningkatkan keamanan sistem pentanahan. Namun, penelitian ini berfokus pada efektivitas penambahan elektroda batang tanpa mengevaluasi dan membandingkan solusi lain, seperti penambahan *mesh* atau peningkatan kedalaman grid, yang juga berpotensi meningkatkan keandalan sistem pentanahan.

Selanjutnya, penelitian lainnya mengevaluasi sistem pentanahan GITET di Bengkayang menggunakan perhitungan manual berdasarkan standar IEEE Std 80-2000 yang bertujuan untuk menilai apakah sistem pentanahan telah memenuhi standar keselamatan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa tegangan sentuh dan tegangan langkah di lokasi tersebut masih berada dalam batas aman sehingga sistem pentanahan dinyatakan aman. Namun, penelitian ini hanya berfokus pada evaluasi tegangan sentuh dan tegangan langkah tanpa menganalisis parameter lain seperti resistansi pentanahan maupun GPR. Selain itu, metode perbaikan yang digunakan masih berbasis perhitungan manual tanpa validasi melalui simulasi perangkat lunak seperti CYMGrd yang memungkinkan simulasi sistem pentanahan untuk memperoleh hasil yang lebih akurat dan realistis. Dengan CYMGrd, dapat dilakukan analisis mendalam terhadap parameter seperti distribusi potensial tanah, tegangan sentuh, dan tegangan langkah dalam berbagai susunan sistem pentanahan[10].

Penelitian dalam [11] merancang dan mengevaluasi sistem pentanahan gardu induk menggunakan perangkat lunak CYMGrd dengan fokus pada variasi luas area grid dan jumlah elektroda batang (*rod*). Hasil penelitian menunjukkan bahwa kombinasi penambahan luas grid dan jumlah elektroda batang dapat menurunkan tegangan sentuh sehingga memenuhi standar keselamatan. Namun, penelitian ini hanya mengevaluasi hasil gabungan dari kedua perubahan tersebut, tanpa membahas pengaruh masing-masing faktor secara terpisah.

Kemudian, penelitian yang disampaikan dalam [12] menganalisis sistem pentanahan Gardu Induk 275 kV dengan fokus pada variasi jumlah dan susunan konduktor menggunakan perangkat lunak CYMGrd. Hasil penelitian menunjukkan bahwa jumlah dan susunan konduktor grid yang lebih sedikit tetap dapat memenuhi standar keselamatan tegangan sentuh dan tegangan langkah. Namun, penelitian ini belum melakukan evaluasi menyeluruh terhadap sistem pentanahan seperti GPR dan resistansi pentanahan, serta belum membandingkan efektivitas metode perbaikan lain seperti penambahan *mesh* atau peningkatan kedalaman grid.

Meskipun berbagai penelitian sebelumnya telah mengevaluasi sistem pentanahan, sebagian besar penelitian masih berfokus pada analisis kondisi eksisting tanpa menguji efektivitas berbagai metode perbaikan sistem pentanahan.

Oleh karena itu, penelitian ini secara spesifik mengevaluasi efektifitas dari beberapa metode perbaikan sistem pentanahan yaitu penambahan *mesh*, elektroda batang (*rod*), serta peningkatan kedalaman grid secara terpisah melalui simulasi dan analisis data menggunakan CYMGrd. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam optimasi sistem pentanahan gardu induk serta menentukan metode perbaikan yang paling efektif untuk menurunkan tegangan sentuh, tegangan langkah, GPR serta resistansi pentanahan hingga memenuhi standar keselamatan, sehingga sistem pentanahan menjadi aman sepenuhnya.

Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini diberi judul “Evaluasi Parameter Keselamatan Pentanahan Gardu Induk 275 kV Payakumbuh Berdasarkan Standar IEEE Std 80-2000 Menggunakan Perangkat Lunak CYMGrd”.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, terdapat beberapa permasalahan utama dalam sistem pentanahan gardu induk, yaitu:

1. Bagaimana mengetahui kondisi tegangan sentuh, tegangan langkah, GPR, dan resistansi pentanahan pada sistem pentanahan Gardu Induk 275 KV Payakumbuh yang dievaluasi?
2. Bagaimana tingkat keamanan sistem pentanahan *eksisting* (awal) Gardu Induk 275 KV Payakumbuh terhadap standar keselamatan sesuai IEEE Std. 80?
3. Bagaimana efektivitas metode perbaikan yang melibatkan penambahan *mesh*, elektroda batang (*rod*), dan peningkatan kedalaman grid dalam menurunkan tegangan sentuh, tegangan langkah, GPR, dan resistansi pentanahan?
4. Metode perbaikan mana yang paling efektif untuk memastikan sistem pentanahan berada dalam kondisi aman?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan utama penulisan tugas akhir ini adalah :

1. Mengevaluasi sistem pentanahan *eksisting* berdasarkan parameter tegangan sentuh, tegangan langkah, *Ground Potential Rise* (GPR) serta resistansi pentanahan.
2. Menganalisis apakah sistem pentanahan yang dievaluasi masih memenuhi standar keselamatan sesuai IEEE Std. 80.
3. Mengkaji efektivitas beberapa metode perbaikan sistem pentanahan, yaitu penambahan *mesh*, elektroda batang (*rod*), dan peningkatan kedalaman grid secara terpisah, melalui simulasi menggunakan CYMGrd.
4. Menentukan metode perbaikan yang paling efektif dalam meningkatkan keselamatan sistem pentanahan, sehingga tegangan sentuh, tegangan langkah, GPR serta resistansi pentanahan berada dalam batas aman.

1.4 Batasan Masalah

Pemberian masalah bertujuan untuk menyederhanakan permasalahan pada proposal penelitian ini. Batasan masalah pada proposal penelitian ini sebagai berikut.

1. Pada penelitian ini tahanan jenis tanah diasumsikan homogen dimana tanah dianggap hanya satu lapisan saja.
2. Parameter yang dianalisis dalam penelitian ini adalah tegangan sentuh, tegangan langkah, kenaikan potensial tanah (GPR) serta resistansi pentanahan.
3. Metode perbaikan yang dianalisis meliputi penambahan *mesh*, elektroda batang (*rod*), dan peningkatan kedalaman grid, tanpa mempertimbangkan kombinasi metode lainnya.
4. Simulasi dilakukan menggunakan perangkat lunak CYMGrd, tanpa membandingkan dengan perangkat lunak simulasi lainnya seperti ETAP atau CDEGS.
5. Penelitian ini tidak mempertimbangkan aspek keekonomisan atau biaya instalasi sistem pentanahan.

1.5 Manfaat Penulisan

1. Menambah referensi ilmiah terkait evaluasi dan optimasi sistem pentanahan gardu induk menggunakan CYMGrd.
2. Memberikan rekomendasi metode perbaikan yang paling efektif dalam meningkatkan keselamatan sistem pentanahan gardu induk.

1.6 Sistematika Penulisan

Pada proposal penelitian ini disusun dalam beberapa bab dengan sistematika tertentu, sistematika proposal ini adalah sebagai berikut.

BAB I PENDAHULUAN

Pada bab ini membahas tentang latar belakang, permasalahan, rumusan masalah, Batasan masalah, tujuan penelitian, manfaat penilitan dan sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini membahas tentang landasan teori pendukung yang digunakan dalam penyelesaian masalah pada proposal penelitian ini.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini berisikan tentang metodologi penelitian seperti flowchart (diagram alir) penelitian, perancangan simulasi, langkah-langkah simulasi, dan metoda analisis data.