

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Sistem tenaga listrik merupakan salah satu infrastruktur strategis yang berperan penting dalam mendukung pembangunan nasional. Ketersediaan energi listrik yang andal dan berkualitas menjadi prasyarat utama bagi pertumbuhan sektor industri, pelayanan publik, kegiatan ekonomi, hingga aktivitas rumah tangga. Dalam sistem tenaga listrik, terdapat tiga subsistem utama yaitu pembangkitan, transmisi, dan distribusi. Dari ketiga subsistem tersebut, sistem transmisi memiliki peranan vital sebagai penghubung antara pusat pembangkit dan pusat beban melalui jaringan tegangan tinggi.

Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT) 150 kV merupakan tulang punggung sistem transmisi di berbagai wilayah Indonesia. Jalur transmisi ini dirancang untuk menyalurkan daya listrik dalam jumlah besar dengan rugi-rugi daya yang minimal serta menjaga kestabilan tegangan pada sistem interkoneksi. Salah satu jalur transmisi penting di wilayah Sulawesi Tengah adalah jalur SUTT 150 kV Poso–Sidera yang dikelola oleh PT PLN (Persero) melalui Unit Layanan Transmisi dan Gardu Induk (ULTG) Palu. Jalur ini memiliki fungsi strategis dalam menjaga kontinuitas suplai daya antara Gardu Induk Poso dan Gardu Induk Sidera serta menopang sistem kelistrikan regional Sulawesi Tengah.

Keandalan sistem transmisi sangat dipengaruhi oleh berbagai faktor teknis dan lingkungan, salah satunya adalah gangguan akibat sambaran petir. Indonesia sebagai negara tropis memiliki tingkat kerapatan sambaran petir yang tinggi, terutama pada wilayah pegunungan dan daerah dengan curah hujan tinggi. Jalur Poso–Sidera yang melintasi daerah perbukitan dan lembah memiliki risiko gangguan petir yang signifikan sepanjang tahun.

Sambaran petir pada sistem transmisi dapat terjadi melalui dua mekanisme utama, yaitu sambaran langsung ke konduktor fasa atau kawat tanah (shield wire), dan sambaran tidak langsung yang menimbulkan induksi tegangan lebih pada konduktor. Ketika arus petir mengalir melalui tower dan sistem pentanahan, akan

terjadi kenaikan potensial pada struktur tower. Jika sistem pentanahan memiliki nilai resistansi yang tinggi, maka tegangan naik (ground potential rise) akan semakin besar. Kondisi ini dapat menyebabkan terjadinya fenomena back flashover, yaitu loncatan busur listrik dari struktur tower menuju konduktor fasa melalui isolator.

Back flashover merupakan salah satu penyebab utama terjadinya gangguan hubung singkat sementara (temporary fault) pada sistem transmisi. Gangguan ini dapat memicu operasi rele proteksi dan menyebabkan Pemutus Tenaga (PMT) bekerja (trip) atau melakukan reclose. Meskipun sistem proteksi dirancang untuk mengamankan peralatan, frekuensi gangguan yang tinggi dapat menurunkan tingkat keandalan sistem dan meningkatkan risiko gangguan yang lebih luas.

Salah satu faktor paling krusial dalam mencegah back flashover adalah sistem pentanahan tower transmisi. Sistem pentanahan berfungsi sebagai jalur pelepasan arus gangguan ke tanah dengan aman dan cepat. Secara prinsip, semakin kecil nilai resistansi pentanahan, maka semakin efektif arus petir dialirkan ke tanah tanpa menyebabkan kenaikan tegangan berlebih pada struktur tower.

Standar operasional yang mengacu pada SPLN dan pedoman teknik internasional seperti IEEE menyatakan bahwa nilai resistansi pentanahan tower transmisi sebaiknya tidak melebihi $10\ \Omega$, dan pada kondisi tertentu direkomendasikan berada di bawah $5\ \Omega$ untuk daerah dengan tingkat gangguan petir tinggi. Nilai ini dipilih untuk memastikan bahwa tegangan sentuh (touch voltage) dan tegangan langkah (step voltage) tetap berada dalam batas aman serta meminimalkan kemungkinan terjadinya back flashover.

Namun demikian, berdasarkan data pemeliharaan lapangan di ULTG Palu, ditemukan beberapa tower pada jalur Poso–Sidera yang memiliki nilai resistansi pentanahan melebihi standar tersebut ($>10\ \Omega$). Tingginya resistansi pentanahan ini dipengaruhi oleh beberapa faktor, antara lain:

1. Karakteristik Resistivitas Tanah Resistivitas tanah (soil resistivity) merupakan parameter utama yang menentukan besarnya resistansi pentanahan. Tanah berbatu, berpasir, atau memiliki kadar air rendah cenderung memiliki resistivitas tinggi sehingga sulit mencapai nilai resistansi yang rendah.
2. Kondisi Geografis dan Topografi Jalur transmisi yang melewati daerah perbukitan dan pegunungan menyulitkan pemasangan elektroda dengan kedalaman optimal.
3. Faktor Musiman Pada musim kemarau, kadar air tanah menurun sehingga resistivitas tanah meningkat dan menyebabkan resistansi pentanahan bertambah besar.
4. Keterbatasan Sistem Pentanahan Eksisting Beberapa tower hanya menggunakan satu atau dua batang elektroda dengan konfigurasi sederhana yang kurang efektif pada tanah beresistivitas tinggi.

Tingginya nilai resistansi pentanahan menyebabkan arus petir tidak dapat disalurkan secara efektif ke tanah. Akibatnya, energi petir sebagian tertahan pada struktur tower dan meningkatkan risiko flashover pada isolator. Hal ini diperkuat dengan ditemukannya jejak flash (flash mark) pada arching horn di beberapa tower jalur Poso–Sidera.

Untuk mengatasi permasalahan tersebut, diperlukan metode perbaikan sistem pentanahan yang efektif dan sesuai dengan kondisi tanah setempat. Dua metode yang umum digunakan dalam praktik lapangan adalah:

1. Metode Direct Grounding

ini dilakukan dengan menambahkan satu atau lebih elektroda batang yang dihubungkan langsung ke sistem pentanahan eksisting tower. Penambahan elektroda ini bertujuan memperbesar luas kontak dengan tanah sehingga menurunkan resistansi total.

2. Metode Multi Rod Grounding (MRG)

Metode ini dilakukan dengan memasang beberapa elektroda batang secara paralel dan tersebar pada jarak tertentu. Secara teoritis, konfigurasi paralel akan menurunkan resistansi total sesuai prinsip pembagian arus pada rangkaian paralel.

Secara matematis, resistansi total beberapa elektroda paralel akan lebih kecil dibandingkan satu elektroda tunggal, meskipun tidak berbanding lurus karena adanya pengaruh interferensi medan arus di dalam tanah. Oleh karena itu, diperlukan analisis kuantitatif untuk mengetahui efektivitas sebenarnya dari masing-masing metode pada kondisi tanah jalur Poso–Sidera.

Penelitian ini menjadi sangat penting karena:

1. Memberikan evaluasi teknis berbasis data lapangan.
2. Mengidentifikasi metode paling efektif untuk kondisi tanah beresistivitas tinggi.
3. Meningkatkan keandalan sistem transmisi regional.
4. Mengurangi frekuensi gangguan akibat petir.
5. Mendukung kontinuitas suplai energi listrik di Sulawesi Tengah.

Dengan demikian, penelitian ini tidak hanya memiliki nilai akademis, tetapi juga nilai praktis yang signifikan bagi pengelolaan sistem transmisi tegangan tinggi.

1.2 Identifikasi Masalah

Berdasarkan latar belakang tersebut, dapat diidentifikasi beberapa permasalahan sebagai berikut:

1. Terdapat tower SUTT 150 kV jalur Poso–Sidera dengan nilai resistansi pentanahan melebihi standar operasional.
2. Tingginya resistansi pentanahan meningkatkan risiko back flashover saat terjadi sambaran petir.

3. Gangguan petir menyebabkan trip dan reclose PMT yang menurunkan keandalan sistem transmisi.
4. Belum dilakukan analisis komparatif secara kuantitatif antara metode Direct Grounding dan Multi Rod Grounding pada jalur ini.

1.3 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Berapa nilai resistansi pentanahan awal tower SUTT 150 kV jalur Poso–Sidera sebelum dilakukan perbaikan?
2. Bagaimana implementasi teknis metode Direct Grounding dan Multi Rod Grounding (MRG) di lapangan?
3. Berapa besar persentase penurunan resistansi setelah penerapan masing-masing metode?
4. Metode mana yang paling efektif dan efisien dalam menurunkan resistansi hingga memenuhi standar $\leq 10 \Omega$?

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah:

1. Mengukur dan menganalisis nilai resistansi pentanahan awal tower.
2. Mengimplementasikan metode Direct Grounding dan MRG.
3. Menghitung persentase penurunan resistansi pentanahan.
4. Menentukan metode terbaik berdasarkan efektivitas teknis dan kesesuaian kondisi tanah.

1.5 Batasan Masalah

Agar penelitian lebih terarah, maka ditetapkan batasan sebagai berikut:

1. Penelitian hanya dilakukan pada tower SUTT 150 kV jalur Poso–Sidera yang memiliki resistansi $> 10 \Omega$.

2. Metode perbaikan yang dianalisis hanya Direct Grounding dan Multi Rod Grounding.
3. Pengukuran dilakukan menggunakan metode Fall of Potential (FoP).
4. Tidak membahas desain proteksi petir secara keseluruhan, hanya fokus pada sistem pentanahan tower.

1.6 Manfaat Penelitian

1. Manfaat Praktis

Memberikan rekomendasi teknis berbasis data bagi pengelola sistem transmisi dalam menentukan metode perbaikan pentanahan yang optimal.

2. Manfaat Akademis

Menambah referensi ilmiah dalam bidang sistem proteksi dan pentanahan transmisi tegangan tinggi.

3. Manfaat Bagi Peneliti

Mengaplikasikan ilmu teknik tenaga listrik secara langsung dalam permasalahan nyata di lapangan.