

## BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis dan simulasi mengenai pengaruh penggantian lapisan tanah terhadap nilai resistansi pentanahan di Gardu Induk Padang Luar 150/20 kV, dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Evaluasi Kondisi Eksisting (Standar IEEE Std 80-2013): Kondisi sistem pentanahan eksisting di Gardu Induk Padang Luar terbukti aman dari bahaya Tegangan Langkah, dengan nilai aktual yang terukur secara konsisten berada jauh di bawah ambang batas aman (5.511,96 V) di semua level arus gangguan. Namun, Tegangan Sentuh teridentifikasi sebagai parameter kritis karena nilainya melonjak dan melampaui batas aman yang diizinkan (1.653,11 V) saat sistem disimulasikan menerima arus gangguan ekstrem antara 15 kA hingga 25 kA. Hal ini menegaskan bahwa sistem eksisting memerlukan mitigasi perbaikan resistivitas tanah.
2. Evaluasi Performa Geometri Grid: Desain geometri grid *Rectangular* (Persegi) yang saat ini terpasang di Gardu Induk Padang Luar terbukti sudah merupakan konfigurasi yang paling optimal dan andal dalam mendistribusikan arus gangguan secara merata dibandingkan model asimetris. Simulasi pada model *L-Shape* dan *T-Shape* menghasilkan lonjakan GPR dan tegangan sentuh yang sangat berbahaya akibat terjadinya fenomena kepadatan arus (*current crowding*) di area percabangan *grid*. Dengan demikian, mitigasi keamanan cukup difokuskan pada perbaikan kualitas tanah tanpa perlu merombak desain dasar geometri grid gardu induk.
3. Skenario Penggantian Tanah (*Soil Replacement*): Metode penggantian lapisan tanah menggunakan material konduktif beresistivitas rendah (30 ohm-m) terbukti sangat efektif menurunkan Resistansi Pentanahan ( $R_g$ ). Sesuai dengan Hukum Ohm, penurunan impedansi ini berdampak proporsional pada penurunan nilai *Ground Potential Rise* (GPR) dan Tegangan Sentuh. Pada *grid Rectangular* eksisting, intervensi penggantian lapisan tanah ini berhasil mereduksi tegangan sentuh yang sebelumnya kritis menjadi sepenuhnya aman dan berada di bawah ambang batas standar IEEE.
4. Batas Efektivitas dan Kedalaman Optimal (Titik Jenuh): Terdapat titik jenuh perbaikan (*diminishing returns*) pada efektivitas penerapan metode penggantian tanah. Kapasitas penyaluran arus maksimal tercapai ketika galian sedalam 3,5 meter (setara dengan panjang fisik batang elektroda). Penambahan galian hingga kedalaman 4 meter hanya memberikan penurunan tegangan yang tidak besar (kurang dari 10 Volt). Oleh karena itu, skenario penggantian lapisan tanah sedalam 3,5 meter pada *grid* ditetapkan sebagai solusi paling optimal, karena

memberikan titik keseimbangan yang paling rasional secara kelayakan teknis maupun efisiensi ekonomis.

## 5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian dan keterbatasan yang ditemukan, penulis mengajukan beberapa saran untuk pengembangan sistem pentanahan dan penelitian selanjutnya:

1. Modifikasi Desain Fisik: Untuk geometri grid yang tidak beraturan ( $L$ ,  $T$ , atau *triangle*), pengendalian tegangan sentuh tidak boleh hanya mengandalkan perbaikan tanah, tetapi harus dikombinasikan dengan modifikasi desain fisik seperti memperkecil ukuran *mesh* atau menambah jumlah *rod* di titik-titik kritis (sudut).
2. Optimalisasi Konstruksi: Dalam melakukan *soil replacement*, disarankan kedalaman penggantian tanah cukup dilakukan hingga panjang maksimal batang elektroda (*rod*) yang digunakan (3,5 m) untuk mencapai efisiensi biaya dan teknis yang maksimal.
3. Penggunaan Software: Disarankan menggunakan software simulasi berbasis elemen hingga seperti CYMGRD untuk validasi desain akhir, terutama pada gardu induk dengan keterbatasan lahan yang memaksa penggunaan geometri grid yang kompleks.

