

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Ketersediaan energi listrik yang andal merupakan faktor penting dalam mendukung pembangunan nasional, terutama pada sektor industri, infrastruktur, dan rumah tangga. Sistem transmisi tenaga listrik merupakan bagian penting dalam penyaluran energi listrik dari pusat pembangkit menuju pusat beban. Sistem transmisi 150 kV menjadi tulang punggung jaringan interkoneksi antardaerah karena efisiensi dan kestabilannya yang tinggi dibandingkan sistem tegangan rendah [1]. Namun, dalam operasionalnya, gangguan yang terjadi pada saluran transmisi masih menjadi penyebab utama terganggunya kontinuitas suplai listrik nasional [2]. Salah satu penyebab paling dominan berasal dari kerusakan komponen isolator yang berfungsi memisahkan konduktor dari menara transmisi sekaligus menahan beban mekanis akibat tarikan konduktor [3].

Pada sistem Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT) 150 kV, salah satu gangguan utama terhadap keandalan sistem transmisi adalah gangguan yang disebabkan oleh sambaran petir, yang dapat mengakibatkan kegagalan isolator dan pemadaman jaringan secara luas. Kondisi geografis Indonesia yang berada di wilayah tropis menyebabkan tingkat sambaran petir relatif tinggi, sehingga meningkatkan risiko terjadinya gangguan pada saluran transmisi udara [4].

Gangguan petir pada saluran transmisi dapat menyebabkan terjadinya *flashover* pada isolator, baik akibat *shielding failure* maupun *back flashover* [5]. Kegagalan perlindungan terhadap sambaran petir pada SUTT 150 kV dapat berdampak langsung pada terjadinya gangguan sistem dan penurunan keandalan penyaluran tenaga listrik [6]. Kondisi ini menjadi lebih kritis pada saluran transmisi dengan konfigurasi *double circuit*, karena gangguan petir berpotensi menyebabkan terjadinya gangguan pada dua sirkit secara bersamaan (*double circuit outage*). Berdasarkan analisis statistik gangguan pada jaringan transmisi 150 kV, sambaran petir berkontribusi signifikan terhadap terjadinya flashover isolator dan pemutusan

saluran [7]. Selain itu, penelitian yang dilakukan pada SUTT 150 kV menunjukkan bahwa kegagalan perlindungan kawat tanah (*shielding failure*) dapat meningkatkan risiko gangguan sistem transmisi [6].

Salah satu upaya untuk mengurangi dampak gangguan petir dan meningkatkan keandalan sistem transmisi adalah melalui penerapan koordinasi isolasi yang tepat. Selain penggunaan peralatan proteksi seperti *lightning arrester*, koordinasi isolasi juga dapat dilakukan dengan menerapkan metode *Unbalance dielektrik*. Metode *Unbalance dielektrik* merupakan strategi rekayasa yang dilakukan secara sengaja dengan membuat jumlah keping isolator antar sirkit tidak seimbang, sehingga tercipta perbedaan tingkat kekuatan isolasi. Adanya perbedaan tersebut, diharapkan gangguan petir hanya menyebabkan *flashover* pada satu sirkit tertentu, sementara sirkit lainnya tetap beroperasi normal [3].

Jalur transmisi SUTT 150 kV Sambutan–Muara Badak yang berada di wilayah Kalimantan Timur memiliki karakteristik cuaca dengan intensitas sambaran petir yang cukup tinggi serta potensi kontaminasi garam akibat kedekatannya dengan pesisir [8]. Data historis menunjukkan bahwa gangguan pada sistem transmisi di wilayah ini didominasi oleh sambaran petir yang menyebabkan kegagalan isolator, termasuk fenomena *back flashover* dan *double circuit outage*. Berdasarkan kondisi tersebut, diperlukan analisis teknis untuk mengetahui pengaruh penerapan metode *Unbalance dielektrik* terhadap keandalan sistem transmisi pada jalur tersebut.

Sebagai respons terhadap permasalahan *double circuit outage* akibat sambaran petir, PT PLN (Persero) melalui UPT Balikpapan menerapkan strategi teknis yang disebut metode *Unbalance dielektrik* pada SUTT 150 kV Sambutan–Muara Badak sejak tahun 2022. Metode ini merupakan suatu strategi rekayasa dengan konfigurasi jumlah keping isolator yang berbeda pada kedua sirkit saluran dibuat tidak seimbang: Sirkit 1 (sirkuit 1) menggunakan 11 keping isolator, sedangkan Sirkit 2 (sirkuit 2) menggunakan 13 keping isolator. Berdasarkan perbedaan jumlah keping ini, kedua sirkit memiliki nilai *Basic Insulation Level* (BIL) yang berbeda, sehingga ketika terjadi sambaran petir, diharapkan hanya satu sirkit yang mengalami *flashover* sementara sirkit lainnya tetap beroperasi.

Sambaran petir pada saluran transmisi 150 kV dapat menimbulkan tegangan lebih yang akan membahayakan peralatan jika tegangan tersebut melampaui tingkat isolasi dasar peralatan (TID). Teori gelombang berjalan dan elektromegetris digunakan untuk mengetahui nilai *lightning performance* [9]. Analisis dilakukan menggunakan *Electromagnetic Transients Program* (EMTP) untuk memodelkan respon sistem transmisi terhadap sambaran petir, serta didukung oleh evaluasi data historis gangguan petir. Penggunaan simulasi EMTP banyak digunakan dalam analisis transien petir karena mampu menggambarkan karakteristik tegangan dan arus impuls pada sistem transmisi secara akurat [4].

Berdasarkan permasalahan tersebut, diperlukan suatu kajian menganalisis pengaruh metode *Unbalance dielektrik* terhadap keandalan sistem transmisi, khususnya pada SUTT 150 kV Sambutan–Muara Badak yang berada di wilayah dengan intensitas petir dan kondisi lingkungan yang tinggi. Penelitian ini mengevaluasi efektivitas penerapan metode *Unbalance dielektrik* tersebut secara kuantitatif, menggunakan simulasi *Electromagnetic Transients Program* (EMTP) dan analisis data historis gangguan periode 2021–2025. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan gambaran teknis mengenai efektivitas metode *Unbalance dielektrik* dalam meningkatkan keandalan sistem transmisi 150 kV, khususnya pada daerah dengan tingkat sambaran petir yang tinggi.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dijabarkan diatas, rumusan masalah pada penelitian ini yaitu:

1. Bagaimana penerapan konfigurasi *unbalance dielektrik* pada SUTT 150 kV Sambutan – Muara Badak (membahas konsep penambahan jumlah isolator pada salah satu *sirkit*)?
2. Bagaimana pengaruh *unbalance dielektrik* terhadap kekuatan isolasi berdasarkan hasil simulasi EMTP?
3. Bagaimana pengaruh *unbalance dielektrik* terhadap keandalan sistem transmisi berdasarkan data historis gangguan petir?

1.3 Tujuan

Berdasarkan rumusan masalah yang telah dibuat, penelitian ini memiliki tujuan yaitu:

1. Menganalisis penerapan konfigurasi *Unbalance dielektrik* pada SUTT 150 kV Sambutan – Muara Badak.
2. Menganalisis pengaruh *Unbalance dielektrik* terhadap kekuatan isolasi menggunakan simulasi EMTP.
3. Menganalisis pengaruh *Unbalance dielektrik* terhadap keandalan sistem transmisi berdasarkan data historis gangguan petir.

1.4 Manfaat

Manfaat yang diperoleh dari penelitian ini sebagai berikut:

1. Penelitian ini diharapkan memperkaya kajian ilmiah di bidang teknik tenaga listrik khususnya hubungan antara konfigurasi mekanik pada system isolasi dengan keandalan system transmisi.
2. Penelitian ini diharapkan dapat menjadi referensi bagi penelitian lanjutan yang berfokus pada gangguan seperti petir.
3. Penelitian ini diharapkan memberikan informasi dalam menentukan konfigurasi jumlah isolator yang optimal untuk mengurangi resiko *flashover* akibat sambaran petir.

1.5 Ruang Lingkup Masalah

Ruang lingkup dalam penelitian ini sebagai berikut:

1. Penelitian fokus pada saluran transmisi udara tegangan tinggi SUTT 150 kV Sambutan – Muara Badak UPT Balikpapan.
2. Metode *Unbalance dielektrik* dengan konfigurasi sirkit 1 = 11 keping dan sirkit 2 = 13 keping.
3. Analisis dibatasi pada pengaruh *unbalance* pada konfigurasi isolator terhadap respon tegangan lebih dan kemungkinan *flashover*.
4. Software simulasi yang digunakan adalah EMTP (*Electromagnetic Transients Program*).

5. Pemodelan EMTP difokuskan pada satu menara *double circuit* (Tower T.037) yang dipilih secara *purposive* berdasarkan kriteria lokasi di area isokeraunik tinggi, riwayat *flashover*, dan konfigurasi *Unbalance dielektrik* yang representatif.
6. Evaluasi keandalan menggunakan data historis gangguan periode 2021–2025 yang diperoleh dari catatan operasional PLN UPT Balikpapan.