

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Kehilangan daya dalam sistem transmisi energi listrik merupakan isu yang sangat penting karena berdampak langsung pada efisiensi dan keandalan penyaluran listrik dari pembangkit ke konsumen akhir. Sistem transmisi listrik yang tidak efisien dapat menyebabkan kerugian ekonomi yang signifikan, baik pada tingkat operator jaringan maupun konsumen akhir. Penurunan efisiensi ini juga berkontribusi pada peningkatan emisi karbon, terutama pada pembangkit energi berbahan bakar fosil, yang pada akhirnya memperburuk dampak perubahan iklim global (Kurniasih & Sari, 2014). Di sisi lain, penurunan kualitas penyaluran listrik dapat menyebabkan gangguan pada peralatan listrik di tingkat rumah tangga maupun industri, yang berpotensi mengganggu aktivitas ekonomi. Saat ini, dua jenis utama saluran transmisi yang digunakan secara luas adalah Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT) dan Saluran Kabel Bawah Tanah Tegangan Tinggi (SKTT) (Rosdianto, 2017). Masing-masing jenis saluran ini memiliki karakteristik teknis yang unik, seperti tingkat kehilangan daya, biaya instalasi, dan kebutuhan pemeliharaan. Pemilihan jenis saluran transmisi yang optimal harus mempertimbangkan berbagai aspek, termasuk kebutuhan teknis, kelayakan ekonomis, dan dampaknya terhadap lingkungan.

Pada SUTT, fenomena korona menjadi salah satu penyebab utama kehilangan daya. Fenomena ini terjadi ketika tegangan tinggi pada kawat penghantar menghasilkan medan listrik yang cukup kuat untuk mengionisasi udara di sekitarnya (Masarrang et.al., 2019). Ionisasi ini menciptakan efek visual berupa cahaya ungu di sekitar kawat penghantar, disertai suara mendesis dan bau ozon yang khas. Korona tidak hanya menyebabkan rugi-rugi daya yang signifikan, tetapi juga memiliki dampak lain, seperti mempercepat degradasi material isolasi pada kabel dan menciptakan gangguan elektromagnetik yang dapat memengaruhi peralatan listrik di sekitarnya. Faktor-faktor yang memengaruhi besarnya rugi-rugi akibat korona meliputi bentuk dan ukuran kawat penghantar, jarak antar kawat, kondisi permukaan kawat, dan kondisi cuaca seperti kelembapan udara, curah hujan, dan tingkat polusi (Dirgantara, 2018). Sebagai contoh, pada saluran transmisi 150 kV di Sumatera Barat, penelitian menunjukkan bahwa rugi-rugi daya akibat korona dapat mencapai hingga 5% dari total daya yang ditransmisikan, terutama pada kondisi cuaca buruk seperti hujan deras. Upaya untuk mengurangi rugi-rugi korona melibatkan solusi teknis seperti penggunaan kawat penghantar dengan diameter lebih besar, penerapan lapisan pelindung anti-korona, atau pengaturan jarak antar kawat yang optimal.

Berbeda dengan SUTT, pada SKTT kehilangan daya lebih banyak disebabkan oleh resistansi kabel, panjang saluran, serta besarnya arus beban yang dialirkan. Kabel bawah tanah memiliki keunggulan dalam hal perlindungan terhadap faktor eksternal, seperti angin kencang, petir, atau jatuhnya benda asing, yang sering menjadi masalah pada saluran udara. Namun, sistem SKTT juga memiliki tantangan teknis tersendiri, seperti peningkatan suhu di dalam kabel akibat aliran arus, yang jika tidak dikelola dengan baik dapat menyebabkan peningkatan rugi-rugi daya (Nurzaman, 2022). Selain itu, keberadaan resistansi termal tanah di sekitar kabel juga dapat memengaruhi efisiensi penyaluran energi listrik. Penelitian yang membandingkan kehilangan daya dan jatuh tegangan pada jaringan distribusi tegangan menengah 20 kV antara SUTT dan SKTT menunjukkan bahwa SKTT memiliki kehilangan daya yang lebih kecil. Hal ini dikarenakan kabel bawah tanah biasanya dilapisi dengan bahan isolasi berkualitas tinggi yang mampu meminimalkan kebocoran arus. Meskipun demikian, biaya instalasi dan perawatan SKTT relatif lebih mahal, terutama karena membutuhkan penggalian tanah dan perlindungan tambahan terhadap kerusakan mekanis (BMTI, 2013). Kondisi ini membuat SKTT lebih sering digunakan di area perkotaan atau wilayah dengan keterbatasan ruang untuk saluran udara.

Pemahaman yang mendalam mengenai karakteristik dan faktor penyebab kehilangan daya pada kedua jenis saluran ini menjadi sangat penting dalam proses perencanaan, desain, dan pengelolaan sistem transmisi listrik. Dengan analisis yang tepat, langkah-langkah mitigasi dapat dirumuskan untuk meminimalkan rugi-rugi daya sekaligus meningkatkan efisiensi dan keandalan jaringan listrik. Beberapa strategi teknis yang umum diterapkan meliputi penggunaan material penghantar dengan konduktivitas tinggi, penerapan teknologi untuk meredam korona, serta optimalisasi desain saluran transmisi, seperti konfigurasi kawat penghantar yang lebih efisien. Selain itu, perkembangan teknologi modern juga menawarkan solusi inovatif, seperti kabel superkonduktor yang memiliki resistansi hampir nol pada suhu rendah dan penggunaan sistem pemantauan berbasis *Internet of Things* (IoT) untuk mendeteksi potensi kerugian daya secara *real-time* (Laghari et.al., 2021). Dengan pendekatan yang komprehensif dan berbasis teknologi, diharapkan efisiensi sistem transmisi dapat terus ditingkatkan untuk memenuhi kebutuhan listrik yang semakin bertambah, sekaligus mendukung tujuan keberlanjutan lingkungan.

1.2. Permasalahan

Dalam sistem transmisi energi listrik, efisiensi penyaluran daya sangat dipengaruhi oleh jenis saluran transmisi yang digunakan, yaitu saluran udara (*overhead*) atau saluran bawah tanah (*underground*). Setiap jenis saluran memiliki karakteristik unik yang memengaruhi tingkat kehilangan daya. Kehilangan daya pada saluran transmisi dapat disebabkan oleh berbagai faktor, seperti:

- a) **Hambatan Resistif:** Kehilangan daya akibat resistansi pada konduktor, yang berbeda antara saluran udara dan bawah tanah.
- b) **Efek Kapasitif dan Induktif:** Kehilangan daya akibat sifat kapasitansi dan induktansi, yang lebih signifikan pada saluran bawah tanah karena lingkungan isolasinya.
- c) **Pengaruh Suhu dan Kondisi Lingkungan:** Saluran bawah tanah cenderung memiliki suhu lebih tinggi karena lingkungan yang tertutup, sedangkan saluran udara dipengaruhi oleh angin dan suhu lingkungan eksternal.
- d) **Panjang Saluran:** Kehilangan daya meningkat dengan panjang saluran dan jenis konduktor yang digunakan.
- e) **Frekuensi dan Tegangan Operasi:** Parameter ini memengaruhi reaktansi dan rugi-rugi daya dalam sistem.

1.3. Permasalahan

Hipotesis Utama:

- a) **Hipotesis Nol (H_0):** Tidak ada perbedaan signifikan dalam kehilangan daya antara sistem transmisi saluran udara dan sistem transmisi bawah tanah pada kondisi operasi yang sama.
- b) **Hipotesis Alternatif (H_1):** Terdapat perbedaan signifikan dalam kehilangan daya antara sistem transmisi saluran udara dan sistem transmisi bawah tanah pada kondisi operasi yang sama.

Hipotesis Pendukung:

- a) **H_{1.a}:** Kehilangan daya pada sistem saluran udara lebih besar dibandingkan sistem bawah tanah akibat pengaruh lingkungan seperti suhu, kelembapan, dan cuaca ekstrem.
- b) **H_{1.b}:** Kehilangan daya pada sistem bawah tanah lebih besar dibandingkan sistem saluran udara karena adanya resistansi termal yang lebih tinggi dan proses pendinginan yang kurang efisien.
- c) **H_{1.c}:** Efisiensi transmisi sistem bawah tanah lebih konsisten dibandingkan saluran udara, terutama dalam kondisi lingkungan yang tidak stabil.

1.4. Permasalahan

1. **Pengumpulan Data:** Kumpulkan data terkait saluran udara dan bawah tanah, seperti panjang saluran, jenis kawat, kondisi cuaca, dan faktor lingkungan yang memengaruhi kehilangan daya.
2. **Perhitungan Kehilangan Daya:** Gunakan rumus Ploss untuk menghitung kehilangan daya berdasarkan arus dan resistansi pada kedua jenis saluran.

3. **Simulasi dan Analisis:** Lakukan simulasi menggunakan software seperti MATLAB untuk membandingkan kehilangan daya pada saluran udara dan bawah tanah dalam berbagai kondisi.
4. **Kesimpulan dan Rekomendasi:** Evaluasi efisiensi, biaya, dan faktor lainnya untuk menentukan saluran mana yang lebih optimal berdasarkan hasil analisis.

1.5. Manfaat Penelitian

1. **Peningkatan Efisiensi Energi :** Penelitian ini dapat membantu mengurangi kehilangan daya pada sistem transmisi, meningkatkan efisiensi distribusi energi listrik.
2. **Perbandingan Kinerja Sistem :** Memberikan gambaran jelas tentang kelebihan dan kekurangan saluran udara dan bawah tanah, membantu perencanaan sistem distribusi yang lebih baik.
3. **Pengurangan Dampak Lingkungan :** Sistem saluran bawah tanah lebih ramah lingkungan dan aman terhadap gangguan cuaca, membantu mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan.
4. **Penghematan Biaya dan Peningkatan Keandalan :** Mengurangi kehilangan daya dapat menghemat biaya, sekaligus meningkatkan keandalan dan keamanan sistem transmisi energi listrik.