

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan sistem tenaga listrik saat ini menuntut tingkat keandalan yang tinggi pada setiap komponen, khususnya pada sistem transmisi dan distribusi energi listrik. Kebutuhan energi listrik yang terus meningkat di berbagai sektor menjadikan penyediaannya harus dilakukan secara andal, aman, dan berkelanjutan (Sumiyati et al., 2024). Hal ini juga sesuai dengan Undang-Undang No. 30 Tahun 2009 tentang Ketenagalistrikan Pasal 44 ayat (1) dan (2) yang menegaskan bahwa setiap instalasi tenaga listrik wajib memenuhi standar keselamatan dan keandalan operasi guna melindungi manusia, makhluk hidup, serta lingkungan.

Dalam sistem tersebut, isolator tegangan tinggi memiliki peran yang sangat penting karena berfungsi sebagai pemisah antara konduktor bertegangan dan struktur penyangga, sehingga dapat mencegah terjadinya arus bocor maupun gangguan listrik (Saleem & Akbar, 2022). Seiring perkembangan teknologi, penggunaan isolator polimer berbahan *silicone rubber* (SiR) semakin meningkat sebagai alternatif pengganti isolator konvensional. Hal ini disebabkan oleh keunggulannya, seperti sifat hidrofobisitas yang baik, bobot yang lebih ringan, serta kemampuan bertahan pada kondisi lingkungan yang terkontaminasi (Shrimathi & Mondal, 2021)(Pramudita & Aulia, 2025).

Namun demikian, isolator polimer masih menghadapi beberapa permasalahan, terutama terkait distribusi medan listrik yang tidak merata. Ketidakseimbangan distribusi medan listrik dapat menyebabkan terjadinya konsentrasi medan listrik pada titik tertentu, terutama di bagian terminal tegangan tinggi dan *ground*. Kondisi ini berpotensi mempercepat proses degradasi material dan meningkatkan kemungkinan terjadinya kegagalan isolasi (Shrimathi et al., 2023b)(Shrimathi et al., 2023a). Selain itu, fenomena *partial discharge* juga dapat muncul akibat kondisi tersebut, yang dalam jangka panjang dapat menurunkan performa isolator secara signifikan (Mu et al., 2023)(Shrimathi & Mondal, 2021).

Distribusi medan listrik pada isolator tidak hanya dipengaruhi oleh faktor listrik, tetapi juga oleh desain geometris dan sifat material. Parameter seperti diameter *shed*, jarak antar *shed*, panjang isolator, serta nilai *permittivity* material berperan penting dalam menentukan karakteristik medan listrik pada isolator. Oleh karena itu, diperlukan pendekatan analisis yang mampu mengevaluasi pengaruh parameter-parameter tersebut secara menyeluruh. Salah satu metode yang banyak digunakan adalah simulasi numerik berbasis *Finite Element Method (FEM)*, yang mampu memberikan gambaran distribusi medan listrik secara lebih detail dan akurat (Nurhakim et al., 2021)(Shrimathi et al., 2023b).

Selain aspek desain, pengembangan material isolator juga menjadi perhatian penting dalam meningkatkan kinerja sistem isolasi. Penambahan bahan pengisi (*filler*) ke dalam material *silicone rubber* dapat mempengaruhi sifat listrik, khususnya nilai *permittivity*, sehingga berdampak pada distribusi medan listrik yang dihasilkan (Rihan et al., 2025)(Pramudita & Aulia, 2025). Salah satu bahan yang memiliki potensi untuk dimanfaatkan adalah *fly ash*, yaitu limbah industri yang mengandung senyawa oksida seperti SiO_2 dan Al_2O_3 yang dapat meningkatkan karakteristik material komposit (THAHARA et al., 2023)(Christiono, 2023)[. Pemanfaatan material ini tidak hanya berpotensi meningkatkan performa isolator, tetapi juga memberikan nilai tambah dalam pengelolaan limbah industri.

Meskipun penelitian terkait isolator polimer telah banyak dilakukan, sebagian besar masih berfokus pada aspek desain geometris atau pengembangan material secara terpisah. Kajian yang menghubungkan antara desain geometris, sifat material khususnya *permittivity*, serta pengaruh penambahan *filler* berbasis limbah industri terhadap distribusi medan listrik masih relatif terbatas. Oleh karena itu, penelitian ini diarahkan untuk menganalisis desain geometris dan sifat material isolator polimer berbasis *silicone rubber* pasang luar, serta mengkaji pengaruh penambahan *filler fly ash* terhadap distribusi medan listrik menggunakan pendekatan simulasi numerik berbasis *Finite Element Method (FEM)*.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dijelaskan, merumuskan permasalahan sebagai berikut:

1. Bagaimana desain geometris dan *permittivity* isolator polimer berbasis *silicone rubber* pasang luar yang optimal untuk menghasilkan distribusi medan listrik yang lebih merata pada sistem isolasi tegangan tinggi?
2. Bagaimana pengaruh medan listrik pada isolator polimer berbasis *silicone rubber* menggunakan metode simulasi numerik berbasis *Finite Element Method (FEM)*?
3. Bagaimana pengaruh penambahan komposisi *filler fly ash* pada material *silicone rubber* terhadap distribusi medan listrik pada isolator polimer berdasarkan hasil simulasi *Finite Element Method (FEM)*?

1.3 Tujuan

Tujuan dari penulisan skripsi ini sebagai berikut :

1. Menganalisis desain geometris dan *permittivity* isolator polimer berbasis *silicone rubber* yang optimal untuk menghasilkan medan listrik yang lebih merata pada sistem isolasi tegangan tinggi.
2. Menganalisis pengaruh medan listrik pada isolator polimer berbasis *silicone rubber* pasang luar menggunakan metode simulasi numerik berbasis *Finite Element Method (FEM)*.
3. Menganalisis pengaruh penambahan komposisi *filler fly ash* pada material *silicone rubber* terhadap distribusi medan listrik pada isolator polimer.

1.4 Manfaat

Manfaat penelitian yang dilakukan yaitu sebagai berikut:

1. Menambah ilmu pengetahuan di bidang teknik elektro, khususnya terkait pengembangan material isolator polimer berbasis *silicone rubber* dan analisis distribusi medan listrik pada sistem isolasi tegangan tinggi.
2. Memberikan alternatif pemanfaatan limbah industri *fly ash* sebagai bahan pengisi (*filler*) pada komposit isolator polimer sehingga dapat meningkatkan

karakteristik listrik material sekaligus mendukung pemanfaatan limbah secara berkelanjutan.

3. Memberikan informasi mengenai pengaruh desain geometris isolator terhadap medan listrik, sehingga dapat digunakan sebagai referensi dalam perancangan isolator polimer pada sistem tegangan tinggi.
4. Memberikan referensi metode analisis distribusi medan listrik menggunakan simulasi numerik berbasis *Finite Element Method (FEM)* yang dapat digunakan dalam penelitian maupun pengembangan sistem isolasi tenaga listrik.
5. Menjadi sumber referensi bagi penelitian selanjutnya yang berkaitan dengan pengembangan material isolator polimer, analisis medan listrik, dan pemanfaatan material limbah sebagai bahan komposit isolator.

1.5 Ruang Lingkup Masalah

Agar penelitian dan pengujian yang dilakukan agar tidak menyimpang dari topik yang dibahas, maka menetapkan batasan masalah sebagai berikut:

1. Penelitian ini difokuskan pada analisis desain geometris isolator polimer berbasis *silicone rubber* pasang luar yang digunakan pada sistem isolasi tegangan tinggi.
2. Analisis medan listrik pada isolator dilakukan menggunakan metode simulasi numerik berbasis *Finite Element Method (FEM)* dengan bantuan perangkat lunak simulasi seperti *COMSOL Multiphysics*
3. Material isolator yang diteliti adalah komposit *silicone rubber* dengan penambahan *filler fly ash* dengan variasi komposisi tertentu.
4. Parameter yang dianalisis dalam penelitian ini terbatas pada distribusi medan listrik pada isolator polimer, tanpa membahas secara mendalam karakteristik mekanik atau sifat termal material.
5. Penelitian ini tidak membahas proses manufaktur atau pembuatan fisik isolator, melainkan berfokus pada analisis simulasi dan pengaruh komposisi material terhadap distribusi medan listrik.
6. Analisis dilakukan pada model isolator polimer dengan kondisi simulasi tertentu, sehingga faktor eksternal seperti kondisi cuaca ekstrem, polusi

lingkungan yang kompleks, maupun pengujian lapangan tidak dibahas secara rinci dalam penelitian ini.

7. Parameter data material *filler fly ash* yang di gunakan berasal dari daerah surabaya untuk melihat pengaruh variasi data terhadap pengaruh medan listrik.

1.6 Kebaharuan

Kebaruan penelitian ini terletak pada analisis desain geometris isolator polimer berbasis *silicone rubber* pasang luar yang dikombinasikan dengan pemanfaatan limbah industri *fly ash* sebagai bahan pengisi (*filler*), serta kajian pengaruhnya terhadap distribusi medan listrik menggunakan metode simulasi numerik berbasis *Finite Element Method (FEM)*. Pendekatan ini menekankan hubungan antara desain geometris isolator dan komposisi material komposit dalam menghasilkan distribusi medan listrik yang lebih merata, sekaligus menawarkan alternatif material isolator yang lebih ekonomis dan ramah lingkungan pada sistem isolasi tegangan tinggi.

1.7 Hipotesis

Adapun hipotesis dari penelitian ini antara lain sebagai berikut :

1. Desain geometris isolator polimer berbasis *silicone rubber* pasang luar yang optimal dapat menghasilkan distribusi medan listrik yang lebih merata pada sistem isolasi tegangan tinggi.
2. Analisis menggunakan metode simulasi numerik berbasis *Finite Element Method (FEM)* dapat menggambarkan distribusi medan listrik pada isolator polimer berbasis *silicone rubber*.
3. Penambahan *filler fly ash* pada material komposit *silicone rubber* diduga dapat mempengaruhi distribusi medan listrik pada isolator polimer.