

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Isolasi kabel merupakan komponen penting dalam sistem kelistrikan. Isolasi berfungsi untuk melindungi kabel dari arus bocor dan gangguan listrik lainnya. Isolasi yang baik akan menjamin keamanan dan keandalan sistem kelistrikan. Isolator mengisolir suatu konduktor bertegangan yang dikebunkan sehingga tidak ada arus listrik mengalir dari konduktor ke tanah[1]. Dalam teknik tegangan tinggi, fungsi yang paling utama dari suatu bahan isolasi adalah sebagai pemisah listrik antara konduktor dan bagian sistem lainnya serta mencegah terjadinya kebocoran arus listrik. Agar dapat melaksanakan fungsinya dengan baik, isolator harus mempunyai sifat elektris, mekanis, termis dan sifat kimia yang baik[2].

Seiring dengan perkembangan teknologi, jenis bahan isolasi kabel mengalami inovasi. Isolasi kabel polimer menjadi salah satu jenis isolasi yang banyak digunakan. Isolasi kabel polimer merupakan salah satu jenis isolasi kabel yang terbuat dari material bionanokomposit. Material ini memiliki kekuatan dan kekakuan yang tinggi serta tahan terhadap korosi dan kontaminasi. Namun, keberhasilan isolasi tersebut dalam menjaga integritas sistem kelistrikan sangat bergantung pada kondisi permukaannya. Permukaan isolasi yang terkontaminasi oleh kotoran atau zat-zat lain dapat mempengaruhi kinerjanya, sehingga dapat menurunkan performa sistem kelistrikan secara keseluruhan[3].

Beberapa penelitian terkait isolator polimer dengan beragam jenis bahan pengisi yang divariasikan komposisinya menunjukkan bahwa peningkatan komposisi bahan pengisi akan meningkatkan nilai tegangan tembus dan sudut hidrofobik isolator polimer namun kekuatan tarik dan tekannya akan menurun seiring bertambahnya komposisi bahan pengisi pada matriks utama[3]. Isolasi polimer memiliki beberapa keunggulan dibandingkan jenis isolasi lainnya, seperti tahan terhadap korosi, kekuatan dielektrik yang tinggi, ringan dan mudah dalam proses pembuatan. Namun, isolasi polimer juga memiliki beberapa kelemahan, seperti mudah mengalami kerusakan akibat panas dan kelembaban. Untuk mengatasi kelemahan tersebut, diperlukan penelitian lebih lanjut untuk meningkatkan performa dari isolasi polimer.

Salah satu cara efektif untuk meningkatkan performa isolasi polimer adalah dengan menambahkan bahan pengisi tertentu. Bahan pengisi merupakan senyawa atau material tambahan yang dicampurkan ke dalam matriks polimer dengan tujuan memperbaiki sifat-sifat fungsional bahan tersebut. Bahan pengisi yang ditambahkan diharapkan dapat meningkatkan kekuatan dielektrik, ketahanan terhadap panas, dan ketahanan terhadap kelembaban isolasi kabel polimer[3].

Dalam pengembangan material modern, bahan komposit menjadi solusi inovatif yang sering digunakan. Bahan komposit merupakan suatu bahan baru yang dibuat dengan menggabungkan dua bahan atau lebih yang memiliki sifat unggul[4]. Ketika polimer dikombinasikan dengan bahan pengisi seperti nano, material tersebut mengalami peningkatan performa dalam fungsi isolasi serta daya tahannya terhadap proses degradasi akibat lingkungan yang ekstrem[5].

Meskipun memiliki berbagai keunggulan, isolasi polimer tidak luput dari degradasi seiring berjalannya waktu. Degradasi ini dapat dipicu oleh berbagai tekanan, baik listrik, termal, mekanik, maupun lingkungan. Mekanisme degradasi utama melibatkan akumulasi muatan ruang (*space charge*), pembentukan *treeing* (seperti *electric tree* dan *water tree*), dan peningkatan arus bocor[6]. Akumulasi muatan ruang, khususnya, merupakan hambatan signifikan dalam aplikasi tegangan tinggi karena dapat mendistorsi medan listrik lokal dan mempercepat kerusakan isolasi. Degradasi ini secara langsung berkontribusi pada penurunan umur pakai kabel dan secara substansial meningkatkan risiko kegagalan isolasi, yang dapat berujung pada sengatan listrik atau bahkan kebakaran[6].

Arus bocor sebagai indikator kritis kesehatan isolasi, didefinisikan sebagai arus listrik yang menyimpang dari jalur konduktor yang seharusnya dan mengalir melalui isolasi atau permukaannya seringkali menuju tanah atau bagian logam yang tidak bertegangan. Tahanan isolasi yang rendah merupakan cerminan langsung dari kualitas instalasi listrik yang buruk dan berhubungan erat dengan besarnya arus bocor. Keberadaan arus bocor tidak hanya menjadi indikator awal kerusakan isolasi, tetapi juga dapat mempercepat proses degradasi permukaan yang pada akhirnya berujung pada kegagalan isolasi. Kondisi ini dapat memicu gangguan sistem kelistrikan, kerusakan peralatan, dan membahayakan keselamatan[5].

Mengingat tantangan degradasi dan kebutuhan mendesak akan isolasi kabel yang lebih andal, pengembangan material isolasi yang ditingkatkan menjadi sangat penting. Sistem tenaga listrik modern menuntut isolasi yang tidak hanya efisien tetapi juga memiliki umur pakai yang panjang dan tingkat keamanan yang tinggi. Dalam konteks ini, penambahan bahan pengisi nano (*nanofiller*) seperti nanosilika muncul sebagai solusi yang menjanjikan untuk meningkatkan performa isolasi polimer. Penelitian telah menunjukkan bahwa nanosilika memiliki potensi untuk meningkatkan sifat mekanik, termal, dan dielektrik komposit polimer, termasuk kemampuan untuk menurunkan arus bocor dan memodifikasi struktur kristal material.

Beberapa penelitian sebelumnya melakukan studi komparatif arus bocor permukaan dan performa *flashover* isolator karet silikon dan porselen di bawah polusi buatan, menunjukkan bahwa karet silikon memiliki performa yang lebih baik[7]. Penelitian ini memberikan pemahaman tentang mekanisme arus bocor, tetapi tidak menginvestigasi secara mendalam peran nanosilika sebagai filler. Mengevaluasi performa isolator keramik dan polimer di lingkungan tropis, mengidentifikasi kelemahan isolator keramik yang menyerap air dan memicu arus bocor[8]. Penelitian ini memperkuat argumen untuk pengembangan isolator

polimer, tetapi belum secara spesifik membahas solusi nanofiller. Banyak studi membahas peningkatan sifat dielektrik dan pengurangan arus bocor pada berbagai polimer dengan penambahan nanosilika.

Selain itu dengan menambahkan bahan nanosilika akan mengakibatkan perubahan struktur kristal dari polimer. Untuk mengetahui efek struktur mikro akibat penambahan nanosilika, analisis difraksi sinar-X atau X-Ray Diffraction (XRD) menjadi salah satu teknik karakterisasi yang digunakan. XRD merupakan metode non-destruktif yang digunakan untuk mengidentifikasi fase kristal, menentukan derajat kristalinitas, serta mengevaluasi perubahan struktur material[9]. Melalui XRD, dapat dianalisis bagaimana nanosilika mempengaruhi penyusunan kristal dalam matriks polimer. Peningkatan kristalinitas akan menghambat migrasi muatan bebas yang menyebabkan arus bocor. Banyak studi membahas peningkatan sifat dielektrik dan pengurangan arus bocor pada berbagai polimer dengan penambahan nanosilika. Namun, pemahaman mendalam tentang bagaimana nanosilika secara *langsung* memengaruhi struktur kristal (seperti tingkat kristalinitas, ukuran kristalit, dan morfologi) spesifik pada LLDPE, serta *korelasi kuantitatif* antara perubahan struktural ini dengan karakteristik arus bocor yang diamati, masih terbatas. Penelitian ini bertujuan untuk menjembatani kesenjangan ini dengan fokus pada LLDPE. Oleh karena itu, kombinasi antara pengujian arus bocor dan analisis XRD menjadi pilihan untuk mengevaluasi peningkatan performa isolasi kabel polimer.

Berdasarkan uraian hasil penelitian terdahulu, maka dilakukan tugas akhir “Pengaruh Penambahan *Filler* Nanosilika Terhadap Arus Bocor dan Struktur Kristal Pada Isolasi Kabel Polimer” dengan melakukan uji arus bocor dan struktur kristal untuk mengetahui peningkatan performa dan mengetahui tingkat degradasi dari isolasi kabel polimer dengan filler silika.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, maka rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh penambahan nanosilika terhadap arus bocor pada isolasi polimer?
2. Bagaimana perubahan struktur kristal polimer akibat penambahan nanosilika ditinjau dari hasil X-Ray Diffraction?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui pengaruh penambahan nanosilika terhadap arus bocor isolasi kabel polimer.
2. Mengidentifikasi perubahan struktur kristal pada kabel polimer dengan menambahkan *filler* nanosilika menggunakan X-Ray Diffraction.

1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini sebagai berikut:

1. Bahan dasar material isolator yang digunakan adalah bahan polimer *Linear Low Density Polyethylene* (LLDPE), Karet Alam, Nanosilika, Sulfur, CBS, *Zinc Oxide* (ZnO), *Stearic Acid* (AS)
2. Pengujian dilakukan selama 6 jam

1.5 Manfaat Penelitian

Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut:

1. Memberikan informasi tentang pengaruh penambahan *filler* nanosilika terhadap arus bocor isolasi kabel polimer
2. Memberikan informasi tentang pengaruh penambahan *filler* nanosilika terhadap struktur kristal isolasi kabel polimer

1.6 Sistematika Penulisan

Laporan tugas akhir ini ditulis berdasarkan sistematika sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Pada bab ini menjelaskan mengenai latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, batasan masalah dan sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini berisi pembahasan tentang teori dasar pendukung pada penelitian ini.

BAB III METODE PENELITIAN

Bab ini berisi mengenai langkah-langkah yang digunakan dalam menyelesaikan permasalahan pada penelitian ini.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini berisi mengenai hasil dan pembahasan pada penelitian ini.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini berisikan kesimpulan dan saran berdasarkan data dari penelitian yang telah dilakukan.

KEPUSTAKAAN