

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Isolator merupakan salah satu bagian yang berperan penting dalam menjamin kelangsungan pelayanan listrik, keamanan sistem dan keselamatan manusia dalam proses penyaluran listrik dari pembangkit sampai ke pelanggan listrik [1]. Isolator berfungsi sebagai isolasi atau penyekat antara bagian bertegangan dan tidak bertegangan (tiang atau menara jaringan listrik) serta sebagai pemegang mekanis dari perlengkapan atau penghantar yang dikenai beda potensial dalam jaringan listrik [2]. Isolasi diperlukan agar antar penghantar tidak terjadi loncatan bunga api listrik (*flashover*), tahan terhadap bahan kimia, termal, dan temperatur [3].

Menurut Dissado dan Forthgil dalam bukunya yang berjudul *Electrical Degradation and Breakdown in Polymers*, isolator adalah bahan yang tidak dapat atau sulit menghantarkan muatan listrik. Isolator juga berfungsi sebagai penopang beban atau pemisah antara konduktor tanpa menyebabkan arus mengalir keluar atau antara konduktor. Istilah ini juga digunakan untuk merujuk pada alat yang digunakan sebagai penyangga kabel transmisi listrik pada tiang listrik [4]. Kemampuan isolator sebagai penyekat untuk bahan konduktif atau mencegah terjadinya aliran arus dapat diuji dengan menerapkan tegangan tinggi hingga isolator mengalami arus bocor [1].

Jika isolator tidak berfungsi dengan baik sebagai pemisah antara saluran listrik maupun antara saluran dan sistem pentanahan, maka penyaluran energi listrik akan terganggu atau tidak efektif. Kegagalan isolator dapat menyebabkan masalah dalam layanan penyaluran listrik, seperti pemadaman, kebakaran, dan kejadian kesetrum (sengatan listrik) yang berpotensi menyebabkan kerugian material dan korban jiwa [4]. Selain itu, kondisi lingkungan dan polutan yang menempel pada permukaan isolator dapat membuat permukaannya bersifat konduktif [5].

Salah satu penyebab kegagalan isolator adalah adanya pengotoran pada permukaannya atau terjadinya retakan mekanis. Karena isolator selalu terpapar udara luar, banyak faktor yang dapat mengganggu fungsinya, termasuk polusi udara yang mengandung garam dan zat lain yang menyebabkan penumpukan partikel pengotor, seperti debu, asap dari pabrik, dan pembakaran rumah tangga. Perubahan suhu yang panas dan dingin serta hembusan angin juga turut melekatkan kotoran pada permukaan isolator. Seiring waktu, kondisi ini mengakibatkan penurunan tahanan isolator dan menyebabkan ketidakstabilan pada ketahanannya [6].

Dalam menentukan isolator yang akan diproduksi serta kinerjanya dalam mendukung sistem tenaga listrik, terdapat beberapa aspek yang perlu diperhatikan dan dipertimbangkan. Aspek tersebut antara lain sifat-sifat material yang digunakan

sebagai bahan dasar isolator, kemampuannya menghadapi cuaca buruk, kondisi ketika terkontaminasi, serta pertimbangan biaya produksi [5]. Oleh karena itu, sifat listrik permukaan isolator, seperti resistansi permukaan dan tegangan tembus, sangat berpengaruh terhadap keandalan dan keamanan operasi jaringan listrik [4].

Berdasarkan lokasi pemasangannya, isolator dibedakan menjadi isolator dalam (*indoor*) dan isolator luar (*outdoor*). Isolator luar lebih rentan terhadap perubahan lingkungan, seperti kelembaban dan kontaminasi pada permukaannya [2]. Perubahan ini dapat memengaruhi kinerja isolator, khususnya kemampuannya dalam menahan tegangan. Pertimbangan sifat-sifat bahan isolasi yang akan digunakan sangat penting dalam proses perancangan isolator luar ruangan. Bahan tersebut tidak hanya perlu menjadi dielektrik yang baik dan mampu menahan tekanan listrik tinggi dalam jangka panjang, tetapi juga harus tahan terhadap kondisi lingkungan yang ekstrem, seperti suhu, kelembaban, radiasi *ultraviolet*, kontaminasi, polusi udara dan curah hujan [7].

Indonesia berada di daerah beriklim tropis, yang ditandai oleh kelembaban dan curah hujan yang tinggi, radiasi sinar matahari yang kuat, serta frekuensi petir yang lebih tinggi dibandingkan dengan iklim lainnya. Kondisi ini berdampak pada masalah isolator dalam sistem ketenagalistrikan. Misalnya, wilayah daratan rendah memiliki suhu antara 30-35°C dan kelembaban 50-80%, sedangkan wilayah daratan tinggi memiliki suhu sekitar 20-25°C dan kelembaban 70-98%. Dalam kondisi seperti ini, permukaan isolator berpotensi tertutup atau terlapisi polutan, yang dapat menurunkan kinerjanya. Penurunan kemampuan isolator dapat terlihat dari kegagalannya dalam menahan tegangan [8].

Faktor-faktor eksternal yang mempengaruhi isolator dapat memengaruhi kemampuannya dalam mengurangi terjadinya arus bocor dan memicu terjadinya *flashover* [8]. Selain itu, kinerja isolator juga akan berbeda tergantung pada apakah permukaannya dalam keadaan basah atau kering [9]. Kita mengetahui bahwa air hujan dapat membentuk lapisan konduktif pada isolator, yang pada gilirannya akan menurunkan tingkat resistivitas isolator tersebut. Oleh karena itu, penting untuk memilih bentuk dan bahan isolator yang sesuai dengan kebutuhan. Material yang digunakan dalam pembuatan isolator juga memengaruhi kinerjanya [10].

Isolator listrik untuk tegangan menengah, tinggi, dan ekstra tinggi yang digunakan dalam sistem kelistrikan di Indonesia hingga saat ini terdiri dari dua jenis bahan. Dua jenis bahan tersebut diantaranya, isolator keramik (porselen dan kaca) dan non keramik (polimer dan komposit) dimana setiap bahan memiliki kelebihan dan kekurangan, dan penyesuaian terhadap lokasi serta penggunaannya akan memengaruhi efektivitas sistem isolasi tersebut [11].

Kelebihan bahan keramik dan kaca terletak pada ketahanannya terhadap suhu tinggi, konduktivitas termal yang rendah, ketahanan terhadap korosi, serta sifat mekanis yang keras dan kuat. Kelemahan isolator yang terbuat dari keramik dan kaca terletak pada bobotnya yang berat serta sifat permukaannya yang mudah menyerap air (hidrofilik). Sifat hidrofilik ini dapat menjadi masalah saat

dioperasikan di daerah dengan kelembaban dan polusi tinggi, seperti kawasan industri, perkotaan, atau pesisir. Kondisi tersebut dapat menyebabkan korosi, meningkatnya arus bocor (*leakage current*), dan memicu tegangan lewat denyar (*flashover*) pada tingkat tegangan yang lebih rendah, terutama dalam berbagai kondisi cuaca tropis yang ekstrem. Selain itu, penggunaan isolator keramik atau kaca dalam sistem transmisi listrik bertegangan tinggi tidak menguntungkan karena densitas yang besar, rentan pecah, dan semakin besarnya kehilangan, yang dapat meningkatkan biaya konstruksi dan pemeliharaan jaringan listrik [12].

Untuk mengatasi kelemahan pada kedua jenis isolator tersebut, maka dikembangkan jenis isolator komposit. Penggunaan isolator polimer menjadi pilihan alternatif untuk mengatasi kelemahan isolator keramik dan kaca. Dalam beberapa tahun terakhir, isolator polimer mulai diterapkan pada jaringan distribusi dan transmisi di Indonesia, berkat berbagai keuntungan yang ditawarkannya dibandingkan dengan isolator konvensional lainnya [13]. Material polimer *silicon rubber* memiliki kelebihan seperti sifat dielektrik yang baik, resistivitas volume yang tinggi, konstruksi yang lebih ringan (rapat massa rendah), disipasi panas yang efisien, biaya produksi yang lebih rendah, serta kekuatan mekanik yang baik. Karena bobotnya yang ringan, pemasangan dan pemeliharaannya menjadi lebih mudah dibandingkan dengan material keramik dan kaca. Isolator berbahan polimer dapat 36,7% - 93% lebih ringan dibandingkan isolator porselen atau keramik [8].

Jenis polimer yang sering digunakan saat ini adalah yang berbasis *etilen propilena diena monomer* (EPDM) dan *silicon rubber* (SIR). Kedua jenis polimer ini memiliki kekuatan mekanik dan ketahanan pelacakan yang tinggi, serta ketahanan yang baik terhadap degradasi *ultraviolet* dan sifat menolak air (hidrofobik) bahkan ketika terkontaminasi parah [14]. Mereka bahkan mampu memulihkan dan mentransfer sifat hidrofobiknya ke lapisan polusi, membuat lapisan polusi tersebut juga bersifat hidrofobik. Sifat hidrofobik ini sangat menguntungkan bagi isolator listrik yang dipasang di luar ruangan, karena dalam kondisi lembab atau hujan, mencegah terbentuknya lapisan air yang kontinu, sehingga konduktivitas permukaan isolator tetap rendah. Dengan demikian, arus bocor yang terjadi menjadi sangat kecil dan lebih stabil dibandingkan dengan isolator keramik dan kaca, menjadikannya lebih disukai di daerah dengan polusi laut dan industri yang tinggi [15].

Meskipun memiliki banyak keunggulan, material polimer adalah material sintetis yang umumnya rentan terhadap kondisi iklim, seperti radiasi UV, suhu, kelembaban, dan polusi, serta terpaan medan listrik yang tinggi. Hal ini dapat menyebabkan degradasi dan penuaan material [16]. Kelembaban dan curah hujan yang tinggi dapat membuat permukaan isolator basah dan menyebabkan erosi pada permukaan isolator polimer. Saat isolator basah, arus bocor pada permukaannya dapat meningkat secara signifikan, yang pada akhirnya dapat menyebabkan *flashover*. Di sisi lain, dalam kondisi kering, lapisan polusi tidak memberikan dampak merugikan yang signifikan terhadap isolator [17].

Jenis komposit yang banyak digunakan pada era modern ini salah satunya adalah *Polyethylene*. *Polyethylene* dapat diklasifikasikan berdasarkan massa jenisnya menjadi dua jenis, yaitu *Low Density Polyethylene* (LDPE) dan *High Density Polyethylene* (HDPE) [18]. LDPE memiliki sejumlah keunggulan, termasuk kekuatan mekanik yang tinggi, ketahanan terhadap perubahan kimia, kemampuan untuk dibentuk menjadi lapisan tipis yang transparan, serta sifat kelistrikan yang baik. Untuk menciptakan komposit polimer yang memiliki karakteristik biopolimer, LDPE dapat dicampurkan dengan karet alam (NR) [8].

Karet alam adalah senyawa hidrokarbon yang mengandung atom karbon (C) dan hidrogen (H). Ciri umum karet alam adalah warnanya yang cenderung coklat gelap, dengan berat jenis antara 0,91 hingga 0,93. Suhu maksimum penggunaannya adalah 90°C, akan melunak pada suhu 130°C, dan terurai pada suhu sekitar 200°C. Untuk memperoleh bahan isolator komposit, nanolaminasi dapat ditambahkan ke LDPE-NR, yang merupakan bahan keramik non-silikat yang paling sering digunakan karena hambatan listriknya yang tinggi, ketahanan terhadap sengatan panas dan korosi [19].

Sifat mekanik, termal, dan dielektrik dari material polimer dapat ditingkatkan dengan menambahkan bahan tertentu berukuran nano yang dikenal sebagai material bionanokomposit. Bionanokomposit ini mampu meningkatkan ketahanan bahan isolasi terhadap pelepasan parsial, memperbaiki sifat termal, dan mengurangi biaya [19].

Pada bahan bionanokomposit, keberadaan nanopartikel dapat memperkuat atau bahkan mempercepat proses degradasi tergantung pada jenis dan sebaran partikelnya [20]. Oleh karena itu, penting untuk memahami sejauh mana pengaruh temperatur mempengaruhi sifat fisik dan listrik dari bionanokomposit agar dapat dirancang material isolator yang tahan terhadap kondisi lingkungan ekstrem, serta diperlukannya pengujian lebih lanjut terkait arus bocor pada bahan isolator bionanokomposit yang sesuai dengan ketentuan IEC 60587 dan dilanjutkan dengan uji karakteristik permukaan bahan dengan pengujian TGA (*Thermogravimetric Analysis*).

Dari beberapa studi yang dilakukan peneliti sebelumnya, analisis arus bocor perlu dilakukan untuk mendiagnosis tingkat degradasi dari bahan bionanokomposit dengan penambahan *filler* lain seperti silika [13]. Pada tugas akhir ini akan dilakukan kajian serta pengukuran terhadap pengaruh temperatur pada karakteristik arus bocor pada isolator bionanokomposit baru yang terbuat dari beberapa *nanofiller* dan polimer. Oleh karena itu, berdasarkan penelitian terdahulu, pada penelitian yang akan dilakukan penulis mengangkat judul “Analisis Kinerja Arus Bocor dan Stabilitas Termal Isolator Bionanokomposit LDPE, Karet Alam, dan Silika pada Kondisi Stres Termal”. Penelitian ini akan dilakukan di Laboratorium Teknik Tegangan Tinggi, Departemen Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Andalas.

1.2 Rumusan Masalah

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

1. Bagaimana pengaruh peningkatan temperatur terhadap karakteristik arus bocor pada isolasi bionanokomposit?
2. Bagaimana pengaruh peningkatan temperatur terhadap stabilitas termal isolasi bionanokomposit?
3. Bagaimana pengaruh variasi *nanofiller* isolator bionanokomposit terhadap peningkatan temperatur?

1.3 Tujuan Penelitian

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

1. Untuk mengetahui pengaruh peningkatan temperatur terhadap karakteristik arus bocor pada isolator bionanokomposit.
2. Untuk mengetahui pengaruh peningkatan temperatur terhadap stabilitas termal isolator bionanokomposit.
3. Mendapatkan hasil validasi kondisi termal bahan isolator bionanokomposit terhadap peningkatan temperatur melalui pengujian TGA.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah untuk memberikan informasi tentang kinerja isolator bionanokomposit terhadap peningkatan temperatur. Sehingga isolator yang terbuat dari bahan bionanokomposit ini dapat dijadikan sebagai salah satu pertimbangan dalam pemilihan jenis isolator.

1.5 Batasan Masalah

Penelitian ini dilakukan dengan batasan masalah sebagai berikut:

1. Menggunakan sampel isolator bionanokomposit dengan variasi *nanofiller* berupa silika.
2. Kondisi campuran LDPE dan karet alam sama pada setiap penambahan *nanofiller*.
3. Pengujian arus bocor dilakukan selama 5 jam dengan kenaikan temperatur sebesar 30°C, 45°C, 60°C, 75°C dan 90°C serta dilanjutkan dengan analisis TGA.
4. Tegangan yang digunakan dalam penelitian ini adalah tegangan AC sebesar 4,5 kVrms dengan frekuensi 50 Hz.
5. Kenaikan temperatur diatur menggunakan termostat yang terhubung dengan lampu pijar Philip 75W, sensor suhu dan sumber.

1.6 Sistematika Penulisan

Adapun sistematika penulisan dari laporan penelitian adalah sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini terdiri dari latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, batasan masalah, dan sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini membahas tentang teori pendukung yang digunakan dalam penulisan tugas akhir ini.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini berisi tentang metodologi penelitian yang digunakan berupa metode penelitian, *flowchart* (diagram alir) penelitian, peralatan dan bahan penelitian yang digunakan.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini berisi tentang hasil dan pembahasan terhadap penelitian yang dilakukan.

BAB V PENUTUP

Pada bab ini membahas tentang simpulan dan saran terhadap penelitian yang dilakukan.

DAFTAR PUSTAKA

