

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Keandalan sistem tenaga listrik merupakan salah satu aspek penting dalam menjamin kontinuitas penyaluran energi listrik kepada konsumen. Dalam sistem tenaga listrik, berbagai peralatan beroperasi pada tingkat tegangan yang tinggi sehingga memerlukan sistem isolasi yang baik untuk mencegah terjadinya kebocoran arus maupun gangguan listrik lainnya. Sistem isolasi berfungsi untuk memisahkan bagian yang bertegangan dengan bagian yang tidak bertegangan atau dengan struktur penyangga yang terhubung dengan tanah. Salah satu komponen penting dalam sistem isolasi tersebut adalah isolator yang digunakan pada jaringan transmisi maupun distribusi tenaga listrik. Isolator berfungsi untuk menopang konduktor sekaligus menjaga agar arus listrik tidak mengalir menuju tanah melalui struktur penyangga. Oleh karena itu, kondisi isolator yang baik sangat diperlukan untuk menjaga keandalan sistem tenaga listrik serta mencegah terjadinya gangguan yang dapat mengakibatkan terganggunya kontinuitas penyaluran energi listrik [1].

Dalam beberapa tahun terakhir, penggunaan isolator polimer pada sistem tenaga listrik semakin meningkat dan mulai menggantikan isolator konvensional seperti isolator keramik dan isolator kaca. Peningkatan penggunaan isolator polimer ini didorong oleh berbagai keunggulan yang dimilikinya dibandingkan dengan jenis isolator konvensional. Isolator polimer memiliki bobot yang lebih ringan sehingga memudahkan proses instalasi dan pemeliharaan pada jaringan listrik. Selain itu, isolator polimer juga memiliki sifat mekanik yang baik serta ketahanan yang cukup tinggi terhadap kondisi lingkungan yang beragam. Salah satu karakteristik penting dari isolator polimer adalah kemampuannya dalam mempertahankan sifat hidrofobik pada permukaannya sehingga mampu mengurangi pembentukan lapisan konduktif akibat kontaminasi lingkungan seperti debu, garam, maupun polusi industri [2].

Meskipun memiliki berbagai keunggulan tersebut, isolator polimer tetap berpotensi mengalami degradasi akibat pengaruh tegangan listrik tinggi maupun faktor lingkungan. Pada sistem tegangan tinggi, salah satu fenomena yang sering muncul adalah corona discharge. Corona discharge merupakan pelepasan muatan listrik parsial yang terjadi ketika medan listrik di sekitar konduktor atau permukaan isolator mencapai nilai tertentu sehingga menyebabkan terjadinya ionisasi pada udara di sekitarnya, namun belum mencapai kondisi loncatan listrik penuh atau flashover [3]. Fenomena ini umumnya muncul pada daerah dengan konsentrasi medan listrik yang tinggi seperti pada ujung konduktor, bagian tajam elektroda, maupun pada permukaan isolator yang mengalami ketidakrataan atau penurunan kualitas material isolasi [4].

Keberadaan corona discharge pada sistem tenaga listrik sering kali menjadi indikator awal terjadinya degradasi pada sistem isolasi. Aktivitas pelepasan muatan parsial yang berlangsung secara terus-menerus dapat memberikan dampak negatif terhadap material isolasi, khususnya pada isolator berbasis polimer. Proses ionisasi udara yang terjadi selama aktivitas corona discharge menghasilkan energi dalam berbagai bentuk seperti panas, radiasi ultraviolet, serta senyawa kimia reaktif seperti ozon dan nitrogen oksida yang dapat mempercepat proses penuaan material isolasi [5]. Dalam jangka panjang, kondisi ini dapat menyebabkan erosi pada permukaan isolator, perubahan struktur kimia material polimer, serta penurunan sifat hidrofobik yang dimiliki oleh isolator tersebut [6].

Selain berdampak terhadap degradasi material isolasi, aktivitas corona discharge juga dapat menyebabkan kerugian energi pada sistem tenaga listrik. Pada jaringan transmisi tegangan tinggi, fenomena corona dapat menimbulkan rugi-rugi daya listrik yang dikenal sebagai corona loss. Kerugian energi ini terjadi akibat proses ionisasi udara di sekitar konduktor yang menyebabkan sebagian energi listrik terlepas ke lingkungan dalam bentuk cahaya, panas, serta gelombang elektromagnetik. Selain itu, aktivitas corona discharge juga dapat menghasilkan gangguan elektromagnetik yang berpotensi mengganggu sistem komunikasi di sekitar jaringan listrik [7].

Meskipun berbagai penelitian mengenai fenomena corona discharge dan partial discharge pada sistem isolasi tegangan tinggi telah banyak dilakukan, sebagian besar penelitian dalam beberapa tahun terakhir masih berfokus pada metode deteksi berbasis pengukuran listrik (electrical detection), pengukuran elektromagnetik, maupun metode optik menggunakan kamera ultraviolet. Metode-metode tersebut mampu memberikan informasi mengenai aktivitas pelepasan muatan parsial secara langsung, namun pada praktiknya sering menghadapi keterbatasan berupa sensitivitas yang tinggi terhadap gangguan elektromagnetik dari lingkungan sekitar serta kebutuhan peralatan pengukuran yang relatif kompleks dan mahal. Kondisi ini menjadi tantangan tersendiri terutama pada proses pemantauan kondisi isolasi pada sistem tenaga listrik yang beroperasi di lingkungan dengan tingkat gangguan elektromagnetik yang tinggi [8].

Dalam perkembangan penelitian terkini, metode deteksi berbasis gelombang akustik atau ultrasonic acoustic emission mulai mendapat perhatian sebagai alternatif teknik diagnosis non-destructive untuk mendeteksi aktivitas partial discharge pada peralatan tegangan tinggi. Metode ini memanfaatkan karakteristik gelombang suara yang dihasilkan akibat proses ionisasi udara selama terjadinya pelepasan muatan parsial. Gelombang akustik tersebut dapat merambat melalui medium udara maupun struktur material dan kemudian dideteksi menggunakan sensor akustik atau sensor ultrasonik. Keunggulan utama metode ini adalah kemampuannya dalam melakukan deteksi tanpa kontak langsung dengan bagian bertegangan serta relatif lebih tahan terhadap gangguan elektromagnetik dibandingkan metode pengukuran listrik konvensional [9].

Beberapa penelitian terbaru menunjukkan bahwa aktivitas corona discharge menghasilkan pola sinyal akustik dengan karakteristik tertentu pada domain waktu maupun frekuensi. Analisis terhadap parameter sinyal seperti amplitudo, spektrum frekuensi, serta energi sinyal akustik dapat digunakan untuk mengidentifikasi keberadaan dan tingkat intensitas aktivitas pelepasan muatan parsial pada sistem isolasi tegangan tinggi. Penelitian juga menunjukkan bahwa metode deteksi akustik memiliki sensitivitas yang cukup baik dalam mengidentifikasi aktivitas partial discharge bahkan pada jarak tertentu dari sumber pelepasan muatan [10].

Namun demikian, sebagian besar penelitian yang telah dilakukan masih berfokus pada deteksi partial discharge pada peralatan tegangan tinggi seperti transformator berisi minyak, generator listrik, maupun kabel tegangan tinggi, sedangkan kajian yang secara khusus meneliti karakteristik corona discharge pada isolator polimer menggunakan pendekatan deteksi akustik masih relatif terbatas. Selain itu, hubungan antara variasi tegangan uji dengan karakteristik sinyal akustik yang dihasilkan oleh corona discharge pada isolator polimer juga belum banyak dianalisis secara eksperimental dalam kondisi laboratorium terkontrol. Padahal isolator polimer merupakan salah satu komponen penting dalam sistem transmisi dan distribusi tenaga listrik modern yang rentan mengalami degradasi akibat aktivitas pelepasan muatan parsial serta kontaminasi lingkungan [11].

Berdasarkan permasalahan tersebut, penelitian ini dilakukan untuk menganalisis karakteristik corona discharge pada isolator polimer menggunakan metode deteksi akustik berbasis sensor Akustik. Dalam penelitian ini, isolator polimer akan diberikan tegangan uji yang divariasikan secara bertahap hingga muncul aktivitas corona discharge. Gelombang akustik yang dihasilkan selama proses tersebut akan dideteksi menggunakan sensor Akustik yang terhubung dengan sistem akuisisi data. Sinyal akustik yang diperoleh kemudian dianalisis untuk mengetahui hubungan antara besarnya tegangan uji dengan karakteristik sinyal akustik yang dihasilkan oleh aktivitas corona discharge. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam pengembangan metode diagnosis kondisi isolasi berbasis deteksi akustik yang lebih sederhana, efektif, dan aplikatif untuk pemantauan kondisi isolator pada sistem tenaga listrik tegangan tinggi.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dijelaskan, maka rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana karakteristik fenomena corona discharge pada isolator polimer pada berbagai kondisi permukaan isolator, yaitu kondisi bersih, kontaminasi sedang, dan kontaminasi berat ketika diberikan variasi tegangan tertentu?
2. Bagaimana karakteristik sinyal akustik yang dihasilkan oleh aktivitas corona discharge pada isolator polimer pada setiap kondisi permukaan isolator yang diuji?

3. Bagaimana hubungan antara variasi tegangan yang diberikan dengan intensitas aktivitas corona discharge serta tegangan awal munculnya corona (corona inception voltage) pada isolator polimer dengan tingkat kontaminasi yang berbeda?

1.3 Tujuan Penelitian

1. Menganalisis karakteristik fenomena corona discharge pada isolator polimer pada kondisi permukaan isolator yang berbeda, yaitu bersih, kontaminasi sedang, dan kontaminasi berat ketika diberikan variasi tegangan uji.
2. Menganalisis karakteristik sinyal akustik yang dihasilkan oleh aktivitas corona discharge pada isolator polimer untuk setiap kondisi permukaan isolator.
3. Menentukan hubungan antara variasi tegangan yang diberikan dengan intensitas aktivitas corona discharge serta menentukan tegangan awal munculnya corona (corona inception voltage) pada isolator polimer dengan tingkat kontaminasi yang berbeda.

1.4 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan sejumlah manfaat, antara lain:

1. Dari segi ilmiah, hasil penelitian ini diharapkan dapat memperluas pemahaman mengenai karakteristik fenomena corona discharge yang terjadi pada isolator polimer ketika dikenai tegangan tinggi, serta memberikan gambaran mengenai perubahan karakteristik sinyal akustik yang muncul akibat aktivitas pelepasan muatan parsial pada permukaan isolator.
2. Dari segi akademik, penelitian ini diharapkan dapat menjadi sarana penerapan ilmu yang telah diperoleh penulis selama menempuh pendidikan di Program Studi Teknik Elektro, khususnya pada bidang teknik tegangan tinggi dan sistem isolasi listrik.

1.5 Batasan Masalah

Agar penelitian ini lebih terfokus dan terarah, maka ditetapkan beberapa batasan masalah sebagai berikut:

1. Objek penelitian yang digunakan adalah isolator polimer berbahan dasar silicone rubber dengan spesifikasi yang umum digunakan pada sistem distribusi tenaga listrik tegangan menengah.
2. Pengujian dilakukan dengan memberikan variasi tegangan AC sebesar 5–30 kV secara bertahap pada isolator polimer untuk mengamati munculnya fenomena corona discharge serta menentukan tegangan awal munculnya corona (corona inception voltage).
3. Kondisi permukaan isolator yang diuji dibatasi pada tiga kondisi, yaitu kondisi bersih, kontaminasi sedang, dan kontaminasi berat untuk melihat pengaruh tingkat kontaminasi terhadap aktivitas corona discharge.

4. Metode pengamatan aktivitas corona discharge dilakukan menggunakan metode deteksi akustik, yang digunakan untuk merekam sinyal suara yang dihasilkan akibat aktivitas pelepasan muatan parsial pada permukaan isolator.
5. Parameter yang dianalisis dalam penelitian ini meliputi karakteristik sinyal akustik, seperti perubahan amplitudo sinyal, kecenderungan pola frekuensi, serta intensitas aktivitas corona discharge yang terjadi selama proses pengujian.

1.6 Sistematika Penulisan

Bab I Pendahuluan

Bab ini memuat uraian mengenai latar belakang masalah, rumusan masalah, pembatasan ruang lingkup penelitian, tujuan yang ingin dicapai, manfaat dari penelitian, serta gambaran umum mengenai susunan bab dalam laporan ini

Bab II Tinjauan Pustaka

Bab ini membahas teori-teori dasar yang relevan dan menjadi landasan dalam menyusun penelitian.

Bab III Metodologi Penelitian

Bab ini menjelaskan pendekatan dan metode yang digunakan dalam pelaksanaan penelitian, meliputi studi pustaka, pengumpulan data, langkah langkah perhitungan, analisis data, serta cara penarikan kesimpulan dan pemberian saran.

Bab IV Hasil dan Pembahasan

Bab ini berisi data hasil pengujian dan pembahasan dalam penelitian Tugas Akhir.

Bab V Kesimpulan dan Saran

Bab ini berisikan Kesimpulan dan saran terkait penelitian Tugas Akhir.

