

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Sistem distribusi tenaga listrik memerlukan tingkat keandalan yang tinggi, terutama pada gardu induk yang memasok beban industri. Salah satu komponen penting yang berperan dalam menjaga keandalan tersebut adalah sistem isolasi pada sisi sekunder transformator. Kinerja isolator sangat dipengaruhi oleh faktor lingkungan seperti polutan, kelembapan, serta interaksi dengan hewan kecil. Pada gardu induk yang berada di kawasan industri, tingginya kontaminasi permukaan sering menyebabkan penurunan nilai tahanan isolasi, meningkatnya arus bocor, dan pada kondisi lanjut dapat memicu terjadinya *flashover* atau *tracking*.

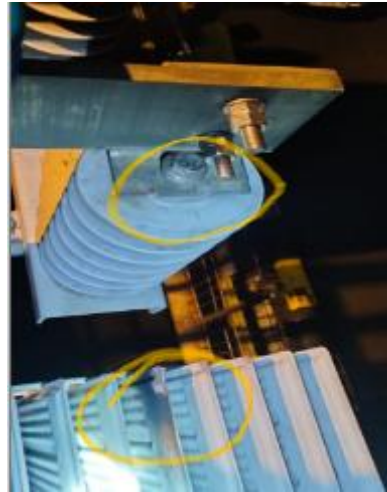
Permasalahan ini terbukti terjadi di beberapa Gardu Induk (GI) wilayah transmisi Jawa Bagian Tengah. Data historis gangguan menunjukkan bahwa sepanjang Januari hingga Oktober 2025 terdapat sejumlah kejadian *trip* transformator akibat kegagalan isolasi 20 kV. Sebagian besar gangguan dipicu oleh polusi berat pada permukaan isolator maupun kontak langsung dengan hewan kecil yang menyebabkan loncatan listrik ke tanah (*flashover*). Kondisi ini sejalan dengan hasil penelitian yang menyatakan bahwa aktivitas *partial discharge* dan arus bocor merupakan indikator awal degradasi isolasi yang dapat berkembang menjadi gangguan sistem apabila tidak dimitigasi (IEC 60270; IEEE Std 400.3). Data tersebut ditunjukkan pada tabel berikut:

Tabel 1. 1 Data riwayat gangguan trafo di wilayah Transmisi Jawa Bagian Tengah akibat kegagalan isolasi 20 kv (Januari – Oktober 2025)

No	Unit Pelaksanan Transmisi	Gardu Induk	Bay	Tanggal Gangguan	Penyebab Gangguan
1.	UPT Bandung	GI Bandung Selatan	Trf #1	9 Mei 2025	Kegagalan isolasi 20 kV karena kucing
2.	UPT Bandung	GI Bandung Selatan	Trf #4	2 Oktober 2025	Kegagalan isolasi 20 kV karena tupai
3.	UPT Bogor	GI Lembursitu	Trf #4	7 Februari 2025	Kegagalan isolasi 20 kV karena ular
4.	UPT Bogor	GIS Katulampa	Trf#2	9 Februari 2025	Kegagalan isolasi 20 kV karena Ular

No	Unit Pelaksanan Transmisi	Gardu Induk	Bay	Tanggal Gangguan	Penyebab Gangguan
5.	UPT Bogor	GI Lembursitu	Trf#2	27 Februari 2025	Kegagalan isolasi 20 kV karena kadal
6.	UPT Bogor	GI Semen Baru	Trf#3	14 Mei 2025	Kegagalan isolasi 20 kV karena polutan tinggi pada PI 20kV sehingga terjadi <i>flash</i>
7.	UPT Karawang	GI Kosambi Baru	Trf#8	19 Februari 2025	Kegagalan isolasi PI 20 kV sehingga menyebabkan PI <i>flash</i> dan pecah
8.	UPT Purwokerto	GI Batang	Trf#2	23 Februari 2025	Kegagalan isolasi PI 20 kV karena kucing sehingga terjadi <i>flash</i>
9.	UPT Purwokerto	GI Mijang	Trf#1	9 September 2025	Kegagalan isolasi 20 kV karena tikus
10.	UPT Salatiga	GI Secang	Trf#1	11 Februari 2025	Kegagalan isolasi 20 kV karena tokek
11.	UPT Semarang	GI Krapyak	Trf#3	12 Oktober 2025	Kegagalan isolasi 20 kV karena tokek

Selain data numerik di atas, bukti visual di lapangan juga menunjukkan terjadinya kerusakan fisik pada isolator 20 kV. Pada beberapa kasus, permukaan isolator mengalami karbonisasi akibat jejak arus (*tracking*), *flashover*, atau bahkan pecah akibat energi loncatan listrik yang tinggi. *Tracking* dan *flashover* merupakan konsekuensi dari distribusi medan listrik yang tidak merata pada permukaan isolator yang terkontaminasi, sebagaimana dijelaskan dalam studi mengenai performa isolator pada lingkungan berpolusi (Gorur et al., 1999). Contoh dokumentasinya ditunjukkan pada gambar berikut.



Gambar 1. 1 *Flash* pada PI 20 kV Trf #2 GIS Katulampa akibat ular



Gambar 1. 2 *Flash* pada PI 20kV Trf #3 GI Semen Baru akibat polutan tinggi



Gambar 1. 3 PI 20 kV pecah akibat kegagalan isolasi di Trf #8 GI Kosambi Baru



Gambar 1. 4 *Flash* pada PI 20 kV akibat kucing Trf #2 GI Batang

Bukti-bukti ini menunjukkan bahwa kegagalan isolator 20 kV tidak hanya dipengaruhi oleh faktor beban atau tegangan nominal, tetapi sangat dipengaruhi oleh kondisi lingkungan. Dalam hal ini, GI Jababeka merupakan salah satu gardu induk dengan tingkat polusi tinggi, karena terletak di kawasan industri padat. Faktor polutan yang tinggi berpotensi mempercepat degradasi permukaan isolator dan meningkatkan arus bocor, sehingga risiko *flashover* lebih besar dibandingkan gardu induk yang berada di lingkungan bersih.

Oleh karena itu, GI Jababeka dipilih sebagai lokasi penerapan peningkatan spesifikasi isolator dari 20 kV menjadi 70 kV pada Trafo 4 sebagai bentuk mitigasi teknis untuk meningkatkan margin isolasi. Peningkatan margin isolasi merupakan salah satu pendekatan yang direkomendasikan dalam praktik rekayasa sistem tenaga untuk meningkatkan ketahanan terhadap kontaminasi dan tegangan lebih (IEC 61109). Untuk memastikan bahwa peningkatan performa ini bukan hanya sesaat setelah penggantian, dilakukan pula monitoring berkala berupa pengujian arus bocor mingguan dan pengujian *Partial discharge* (PD) secara periodik guna menilai kestabilan kinerja isolasi dalam jangka waktu operasi.

Dengan demikian, penelitian ini berfokus tidak hanya pada perbedaan nilai pengujian sebelum dan sesudah penggantian isolator, tetapi juga pada pembuktian peningkatan keandalan operasional melalui pemantauan berkelanjutan terhadap parameter isolasi berdasarkan pendekatan kuantitatif dan diagnostik kondisi (*condition-based assessment*).

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, maka rumusan masalah yang akan dibahas adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana analisa pengaruh penggantian *post* isolator standar 20 kV dengan *post* isolator 70 kV terhadap nilai tahanan isolasi pada sisi sekunder trafo 4 60 MVA di Gardu Induk Jababeka?
2. Bagaimana analisa pengaruh penggantian *post* isolator tersebut terhadap besarnya arus bocor pada sisi sekunder trafo 4 60 MVA di Gardu Induk Jababeka?
3. Bagaimana analisa pengaruh penggantian *post* isolator tersebut terhadap besarnya nilai *partial discharge* saat trafo bertegangan dan berbeban?
4. Bagaimana tren hasil monitoring berkala (arus bocor dan PD) setelah penggantian isolator dalam menilai peningkatan keandalan operasional?
5. Apakah penggunaan *post* isolator 70 kV berpotensi meningkatkan keandalan dan keselamatan sisi sekunder trafo dibandingkan isolator standar 20 kV?

1.3. Tujuan

Penelitian ini bertujuan untuk:

1. Mengevaluasi perubahan nilai tahanan isolasi setelah penggantian *post* isolator 20 kV menjadi 70 kV pada trafo #4 60 MVA di Gardu Induk Jababeka.
2. Menganalisis perubahan nilai arus bocor sebelum dan sesudah penggantian isolator.
3. Menganalisis perubahan nilai *partial discharge* sebelum dan sesudah penggantian isolator saat trafo bertegangan dan berbeban.
4. Menilai potensi peningkatan keandalan dan keselamatan sisi sekunder trafo akibat penggunaan isolator dengan spesifikasi yang lebih tinggi.
5. Mengevaluasi keandalan sistem secara operasional melalui analisis hasil monitoring berkala terhadap arus bocor dan *partial discharge*.

1.4. Manfaat

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat bagi berbagai pihak. Bagi PT PLN (Persero), penelitian ini dapat menjadi referensi teknis untuk mempertimbangkan penerapan isolator dengan spesifikasi lebih tinggi sebagai langkah peningkatan keandalan sistem dan pengurangan gangguan trafo. Bagi

akademisi, penelitian ini menambah wawasan mengenai penerapan teori medan listrik, tahanan isolasi, serta fenomena arus bocor pada komponen isolasi. Bagi peneliti selanjutnya, hasil penelitian ini dapat menjadi rujukan dalam pengembangan teknologi atau inovasi serupa, misalnya melalui integrasi sistem monitoring berbasis IoT untuk kondisi isolator. Selain itu, hasil penelitian ini bermanfaat bagi pelanggan dan sektor industri karena dapat mendukung kontinuitas suplai listrik dan mengurangi kerugian akibat pemadaman mendadak, serta menjadi dasar kebijakan peningkatan reliabilitas berbasis *condition based* monitoring di gardu induk berpolusi tinggi.

1.5. Ruang Lingkup Masalah

Ruang lingkup penelitian ini difokuskan pada evaluasi performa isolator sebelum dan sesudah penggantian melalui pengukuran parameter kelistrikan di lapangan, yaitu tahanan isolasi, arus bocor, dan *partial discharge*. Penelitian dilaksanakan di lingkungan Gardu Induk Jababeka dengan objek penelitian berupa *post* isolator kabel power pada sisi sekunder 20 kV trafo 60 MVA. Tahapan penelitian meliputi studi literatur, survei kondisi eksisting, penggantian isolator, pengujian kinerja isolator baru, serta analisis hasil pengujian untuk mengetahui pengaruh isolator 70 kV terhadap keandalan sisi sekunder trafo.

1.6. Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan skripsi ini disusun agar memudahkan pembaca memahami isi penelitian. Bab I berisi pendahuluan yang mencakup latar belakang, rumusan masalah, tujuan, manfaat, batasan masalah, ruang lingkup, serta sistematika penulisan. Bab II berisi tinjauan pustaka yang membahas teori-teori terkait seperti karakteristik isolator listrik, konsep medan listrik, tahanan isolasi, arus bocor, *partial discharge*, serta standar teknis yang relevan menurut PLN dan IEC/IEEE. Bab III menjelaskan metodologi penelitian yang meliputi lokasi penelitian, objek penelitian, alat dan bahan, prosedur penggantian isolator, serta metode pengujian dan analisis data. Bab IV menyajikan hasil pengujian dan pembahasan meliputi analisis perbandingan kinerja isolator sebelum dan sesudah penggantian. Bab V berisi kesimpulan dan saran yang diperoleh dari hasil penelitian, termasuk rekomendasi pengembangan lanjutan seperti integrasi sistem monitoring isolator berbasis IoT.

Skripsi ini dilengkapi dengan daftar pustaka yang berisi referensi penelitian dan standar teknis yang digunakan, serta lampiran yang memuat laporan hasil pengujian.

1.7. Kebaruan

Kebaruan penelitian ini terletak pada pendekatan peningkatan keandalan sistem melalui peningkatan margin isolasi dengan menggunakan *post* isolator ber-rating lebih tinggi dari tegangan operasi sistem. Berbeda dengan praktik umum yang menggunakan isolator sesuai rating nominal sistem, penelitian ini mengkaji secara kuantitatif dampak penggunaan *post* isolator 70 kV pada sistem sisi sekunder 20 kV terhadap parameter dielektrik dan keandalan operasional.

Penelitian ini tidak hanya membandingkan kondisi sebelum dan sesudah penggantian isolator, tetapi juga melakukan evaluasi berbasis data lapangan melalui pengukuran tiga parameter utama, yaitu tahanan isolasi, arus bocor, dan *partial discharge* (TEV), serta mengintegrasikan hasilnya dalam analisis terpadu. Pendekatan ini memberikan gambaran komprehensif mengenai hubungan antar parameter isolasi dalam kondisi operasi aktual.

Kebaruan lainnya adalah penerapan monitoring berkala berbasis waktu (*time-based reliability* monitoring) untuk memastikan bahwa peningkatan performa isolasi bersifat berkelanjutan dan bukan hanya efek sesaat setelah penggantian. Pengujian dilakukan dalam beberapa periode untuk menilai kestabilan parameter isolasi dalam jangka menengah.

Selain itu, penelitian ini dilakukan pada gardu induk dengan tingkat polusi lingkungan industri yang tinggi, sehingga memberikan kontribusi praktis terhadap strategi peningkatan keandalan peralatan luar ruang pada kondisi lingkungan ekstrem. Hasil penelitian ini dapat menjadi referensi teknis bagi pengelolaan aset transmisi dalam menentukan kebijakan peningkatan spesifikasi isolator sebagai upaya mitigasi risiko kegagalan isolasi.

Dengan demikian, kebaruan penelitian ini terletak pada integrasi pendekatan peningkatan margin desain, pengujian kuantitatif berbasis kondisi aktual, serta evaluasi keandalan operasional secara berkelanjutan dalam konteks implementasi lapangan pada sistem sisi sekunder transformator.