

Analisis Kinerja Isolator Penghantar Sutet 500 kV Balaraja – Lengkong Menggunakan Metode Tegangan Impuls

M. Nur Rois Abid^{1*}, Zullintarizah², Agus Hidayat³, Duliades Mirsal⁴

¹Program Studi Teknik Informatika, Fakultas Teknik, Universitas Cendekia Abditama, Tangerang

²Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik Industri, Institut Teknologi Budi Utomo, Jakarta

³Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Institut Teknologi PLN, Jakarta

⁴Program Studi Ilmu Komputer, Fakultas Teknik, Institut Teknologi PLN, Jakarta

*Penulis Korespondensi, email : nurrois@uca.ac.id

Received: 12/01/2026

Revised: 21/01/2026

Accepted: 25/01/2026

Abstract. The transmission system plays an important role in delivering electrical energy reliably to consumers. One of the main components of a transmission network is the insulator, which separates energized and non-energized parts. Lightning strikes may cause flashover on insulators and lead to line outages. This study aims to analyze the performance of post-flashover insulators on the 500 kV Balaraja–Lengkong extra-high-voltage transmission line using impulse voltage testing. The tests were conducted individually on replaced insulators by applying impulse voltage until breakdown or flashover occurred, and after cleaning with sakaphen to evaluate the effectiveness of the cleaning process. The results show a flashover voltage difference between positive and negative polarities ranging from 1 to 8 kV, with values still close to the allowable limits specified for the insulators. However, replacement of the affected insulators is necessary to maintain the reliability and quality of power transmission.

Keywords: Transmission, Insulator, Impulse voltage, Flashover

Abstrak. Sistem transmisi berperan penting dalam menyalurkan energi listrik secara andal kepada masyarakat. Salah satu komponen utama pada jaringan transmisi adalah isolator yang berfungsi memisahkan bagian bertegangan dan tidak bertegangan. Gangguan berupa sambaran petir dapat menyebabkan *flashover* pada isolator dan mengakibatkan padamnya penghantar. Penelitian ini bertujuan menganalisis kinerja isolator pasca-*flashover* pada SUTET 500 kV Balaraja–Lengkong melalui pengujian tegangan impuls. Pengujian dilakukan pada isolator bekas penggantian hingga terjadi tembus tegangan, serta setelah pembersihan menggunakan sakaphen untuk menilai efektivitas pembersihan. Hasil menunjukkan selisih tegangan *flashover* antara polaritas positif dan negatif sebesar 1–8 kV, dengan nilai yang masih mendekati batas spesifikasi yang diizinkan. Meskipun demikian, penggantian isolator tetap diperlukan untuk menjaga keandalan dan kualitas penyaluran energi listrik.

Kata Kunci: Transmisi, Isolator, Tegangan impuls, *Flashover*.

I. PENDAHULUAN

Sistem transmisi berperan penting dalam menyalurkan energi listrik dari pusat pembangkit ke gardu induk hingga ke pelanggan. Keandalan sistem ini sangat bergantung pada kualitas komponen penyusunnya, salah satunya adalah isolator. Isolator berfungsi memisahkan bagian bertegangan dan tidak bertegangan, serta melindungi sistem dari gangguan lonjakan arus seperti sambaran petir. Isolator keramik berbahan porselen banyak digunakan pada SUTT dan SUTET karena memiliki

ketahanan mekanis dan daya tahan cuaca yang baik [1][2].

Meskipun isolator telah melalui pengujian standar sebelum digunakan, gangguan berupa *flashover* akibat sambaran petir masih sering terjadi dan dapat menyebabkan pemadaman [3]. Salah satu kasus terjadi pada penghantar SUTET 500 kV Balaraja–Lengkong [4]. Penelitian sebelumnya umumnya berfokus pada karakteristik isolator baru atau pengaruh lingkungan terhadap kinerja isolator, namun kajian mengenai kinerja isolator pasca-*flashover* serta pengaruh pembersihan terhadap

kemampuan tahan tegangan impuls masih terbatas. [5][6].

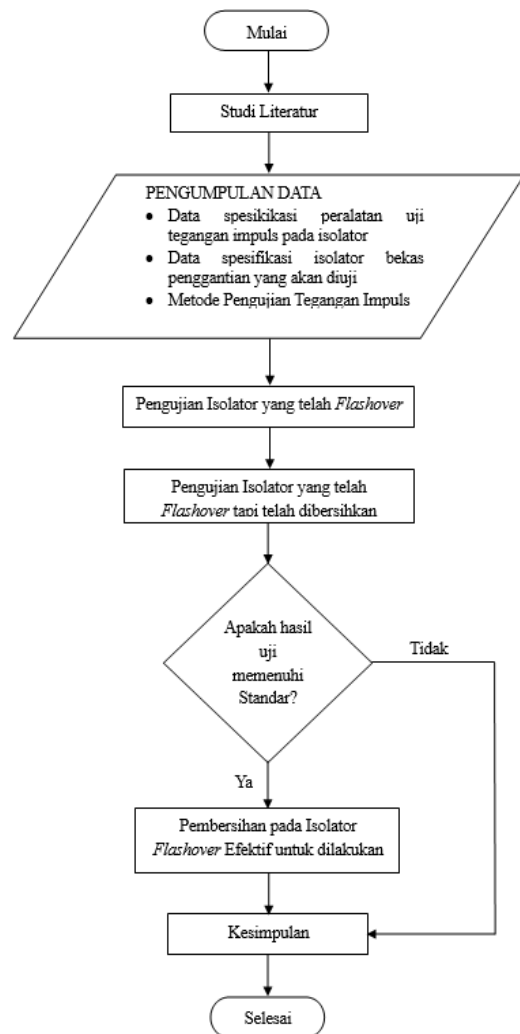
Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan menganalisis kinerja isolator bekas *flashover* melalui pengujian tegangan impuls serta mengevaluasi efektivitas pembersihan terhadap kemampuan isolator menahan tegangan. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam menentukan langkah penanganan isolator pasca-gangguan untuk meningkatkan keandalan sistem transmisi [7].

II. METODOLOGI

Dalam penelitian ini dilakukan analisis kebutuhan data melalui studi pustaka, wawancara teknis, dan observasi untuk memastikan kesesuaian metode dengan kondisi lapangan. Studi pustaka digunakan untuk menelaah teori isolator dan pengujian tegangan impuls, sedangkan wawancara dengan tim pengujian Pusertif dilakukan untuk memperoleh informasi teknis terkait spesifikasi peralatan dan metode uji [8]. Observasi dilakukan secara langsung pada pengujian isolator di Laboratorium Arus Tinggi PT PLN (Persero) Pusertif.

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan data utama berupa hasil pengujian tegangan impuls pada isolator bekas penggantian. Pengujian dilakukan secara individual sesuai prosedur standar internasional, mengacu pada standar **IEC 60060** dan **IEEE Std 4** tentang teknik pengujian tegangan tinggi. Tegangan impuls diberikan secara bertahap hingga terjadi tembus tegangan atau *flashover*, baik pada polaritas positif maupun negatif [9].

Nilai tegangan *flashover* yang diperoleh kemudian dibandingkan dengan batas spesifikasi isolator berdasarkan standar pabrikan dan ketentuan IEC/IEEE untuk menilai kelayakan isolator pasca-*flashover* serta pengaruh pembersihan terhadap kemampuan tahan tegangan. Metode ini digunakan untuk memastikan hasil pengujian bersifat terukur, sistematis, dan dapat dipertanggungjawabkan secara ilmiah [10].



Gambar 1. Diagram Alir

Gambar 1, diagram alir tersebut menggambarkan tahapan sistematis dalam pengujian tegangan impuls pada isolator, yang diawali dengan studi literatur dan pengumpulan data meliputi spesifikasi peralatan uji, spesifikasi isolator bekas, kondisi pengotoran, serta metode pengujian tegangan impuls. Selanjutnya dilakukan pengujian pada isolator hingga terjadi *flashover*, kemudian isolator dibersihkan dan diuji kembali untuk mengevaluasi perubahan kinerja isolasi [11]. Hasil pengujian kemudian dibandingkan dengan standar yang berlaku sebagai dasar pengambilan keputusan, di mana apabila hasil tidak memenuhi standar maka dilakukan evaluasi lanjutan, sedangkan apabila memenuhi standar dilanjutkan dengan penerapan metode pembersihan yang efektif terhadap isolator *flashover*. Proses ini diakhiri dengan penarikan kesimpulan yang mencerminkan pengaruh

kondisi isolator dan efektivitas pembersihan terhadap ketahanan isolasi terhadap tegangan impuls.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini membahas mengenai data penelitian berdasarkan pengumpulan data yang telah dilakukan. Penelitian ini dilakukan di wilayah kerja PT. PLN (Persero) Unit Pelaksana Transmisi (UPT) Cikupa [12]. UPT Cikupa menaungi 3 Unit Layanan Transmisi dan Gardu Induk (ULTG) yaitu ULTG Cikupa, ULTG Balaraja dan ULTG Serang. Setiap ULTG mempunyai wilayah kerjanya masing – masing terdiri dari gardu induk dan saluran transmisi. Dalam menjalankan tugasnya, ULTG mempunyai 3 Tim Pemeliharaan sesuai dengan pekerjaan yang telah di atur di PLN yaitu Tim Pemeliharaan Proteksi, Tim Pemeliharaan Gardu Induk dan Tim Pemeliharaan Jaringan.



Gambar 2. Isolator 500 kV pada SUTET Balaraja – Lengkong T.185

Gambar 2, saluran transmisi pada penghantar SUTET Balaraja – Lengkong merupakan salah satu aset yang berada di wilayah kerja dari ULTG Balaraja. SUTET Balaraja - Lengkong memiliki 2 sirkit penghantar dengan jenis tower delta dimana 1 tower hanya mempunyai 1 sirkit dan jumlah tower sebanyak 122 tower dari T.127 – T.189.

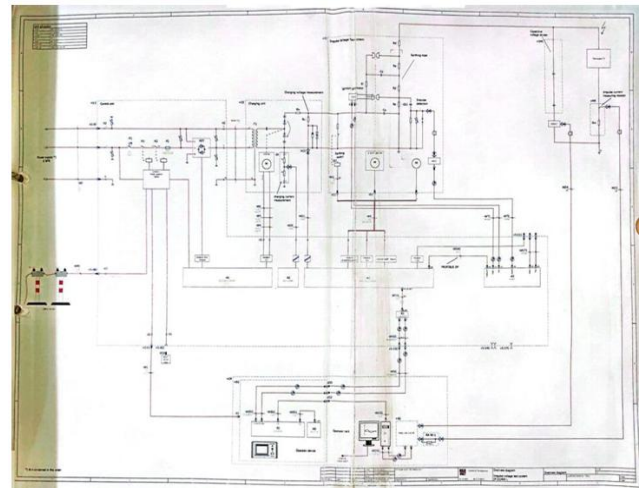
Tabel 1. Data Spesifikasi Isolator 500 kV Rangkaian Pengujian Tegangan Impuls

Merk	NGK
Elektomekanis	160 kN
Impuls <i>flashover</i> positif	125 kV
Impuls <i>flashover</i> negatif	130 kV
Pembuatan	Japan
Tahun Pembuatan	1993

Peralatan bermerek NGK buatan Jepang tahun 1993 ini memiliki kekuatan elektromekanis sebesar 160 kN yang menunjukkan kemampuan mekanis tinggi dan memadai untuk aplikasi sistem tenaga, terutama dalam menahan beban tarik dan pengaruh lingkungan. Nilai impuls *flashover* positif 125 kV dan negatif 130 kV menunjukkan karakteristik isolasi yang masih sesuai secara teknis, dengan kemampuan menahan surja tegangan akibat petir, di mana nilai impuls negatif yang lebih tinggi merupakan kondisi yang umum. Namun, mengingat usia peralatan yang sudah lebih dari 30 tahun, terdapat potensi penurunan kinerja isolasi akibat penuaan material dan kondisi lingkungan, sehingga disarankan dilakukan evaluasi dan pengujian lanjutan sebelum dipertahankan untuk operasi jangka panjang.

A. Rangkaian pengujian tegangan impuls

Pengujian tegangan impuls pada penulisan ini menggunakan alat uji *high voltage*.



Gambar 3. Rangkaian Pengujian Tegangan Impuls

Gambar 3, tersebut menunjukkan rangkaian pengujian tegangan impuls yang dilakukan menggunakan alat uji *high voltage*, di mana sumber tegangan tinggi impuls dihasilkan melalui rangkaian pembangkit impuls (*impulse generator*) yang terdiri dari kapasitor, resistor pengatur bentuk gelombang, dan sistem pemacu. Tegangan impuls yang dihasilkan kemudian disalurkan ke peralatan uji melalui rangkaian pengaman dan pengukuran, seperti pembagi tegangan (*voltage divider*) dan osiloskop, untuk memantau bentuk serta besar tegangan impuls

yang diterapkan. Konfigurasi ini dirancang agar tegangan dapat dinaikkan secara terkontrol hingga mencapai nilai yang ditentukan, sehingga memungkinkan evaluasi kemampuan isolasi peralatan terhadap surja tegangan, khususnya simulasi kondisi sambaran petir atau gangguan *switching* pada sistem tenaga listrik.

Adapun peralatan pengujian yang digunakan antara lain :

1. Transformator Impuls



Gambar 4. Transformator Impuls

Gambar 4, tersebut menunjukkan transformator impuls yang digunakan sebagai bagian dari sistem pengujian tegangan impuls pada peralatan listrik tegangan tinggi. Transformator ini berfungsi untuk menaikkan tegangan dari sumber listrik rendah menjadi tegangan tinggi yang diperlukan untuk pengujian, khususnya dalam mensimulasikan surja tegangan seperti sambaran petir. Terlihat adanya penandaan *high voltage* yang menegaskan fungsi utama peralatan ini dalam menghasilkan tegangan tinggi secara aman dan terkontrol, sementara *nameplate* pada transformator memberikan informasi teknis seperti tegangan, arus, frekuensi, dan kapasitas daya yang menjadi acuan pengoperasian. Dalam pengujian impuls, transformator ini berperan penting untuk memastikan tegangan uji yang dihasilkan sesuai dengan standar, sehingga ketahanan isolasi peralatan yang diuji dapat dievaluasi secara akurat dan andal.

Tabel 2. Data Spesifikasi Transformator Impuls

Model/Tipe	EPR 750-503
Kapasitansi (<i>Capacitance</i>)	0,05 μ F (mikrofarad) Toleransi: $\pm 10\%$
Tegangan Kerja Maksimal	75 kV DB (tegangan kerja langsung)
Rentang Suhu Operasi	-55°C hingga +85°C (dapat digunakan dalam lingkungan bersuhu ekstrem)
Torsi Maksimal	12 Nm
Pembuatan	N. Ireland (dibuat di Irlandia Utara)

Transformator impuls merupakan alat penting yang digunakan untuk menghasilkan tegangan impuls yang sesuai standar pengujian untuk mensimulasikan tegangan tinggi yang bersifat sementara, seperti yang terjadi akibat lonjakan tegangan *switching* dan sambaran petir. Selain itu, transformator impuls dapat berfungsi untuk mereproduksi atau menghasilkan bentuk gelombang standar seperti gelombang petir atau gelombang *switching* yang mempunyai waktu depan dan waktu ekor sehingga mencerminkan kondisi sebenarnya [13].

2. Kondensator



Gambar 5. Kondensator

Gambar 5, kondensator berperan penting sebagai bagian dari generator impuls yang berfungsi untuk menghasilkan lonjakan tegangan dengan karakteristik tertentu dalam pengujian tegangan impuls. Peran dari alat ini mencakup penyimpanan energi, pelepasan muatan cepat dan pembentukan gelombang impuls. Kondensator juga bekerja sama dengan komponen pendukung lain seperti resistor, induktor dan *spark gap*

sehingga memungkinkan untuk generator impuls menghasilkan tegangan tinggi dengan karakteristik yang sesuai untuk pengujian.

Tabel 3. Data Spesifikasi Kondensator

Tipe	A100-1
No. Seri	1205015
Pembuatan	5 Mei 2012
Rated Voltage	120 kV DC
Rated Capacitance	1 μ F
Measured Capacitance	1,001 μ F
Tan δ (tan delta)	0,27%
Net Weight	102 kg
Impregnants (Castor Oil)	16 L

3. Motor Listrik



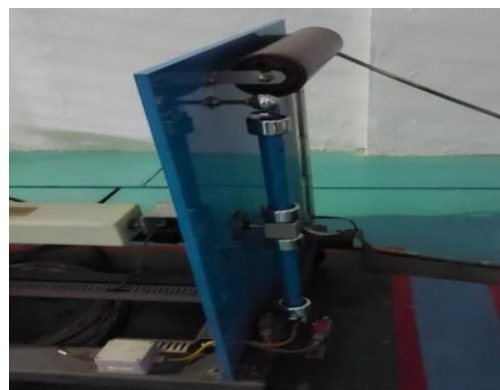
Gambar 6. Motor Listrik

Gambar 6, menunjukkan motor listrik merek Bauer yang merupakan motor DC berGearbox dan digunakan sebagai penggerak mekanis pada sistem peralatan uji, kemungkinan untuk mekanisme pengaturan atau pengoperasian otomatis pada pengujian tegangan tinggi. Berdasarkan *nameplate*, motor ini memiliki daya sekitar 0,03 kW, tegangan kerja 24 V DC, serta dilengkapi dengan *gear reduction* yang memungkinkan menghasilkan torsi lebih besar pada kecepatan putar rendah, sehingga cocok untuk aplikasi presisi dan beban mekanis stabil.

Tabel 4. Data Spesifikasi Motor Listrik

Pabrikan	BREMER
Tipe (Type)	HSP4-44
Serial Number	01
Primer (Primary Voltage)	230V, 18A
Frekuensi (Frequency)	50-60 Hz
Sekunder (Secondary Voltage)	44kV, 91mA
Daya (Power)	4kVA
Nomor BV (BV No)	28149

Dalam pengujian tegangan impuls motor listrik berfungsi sebagai penggerak mekanis yang digunakan untuk mengatur posisi sistem uji, menggerakkan mekanisme pemutus, menyediakan kecepatan dan torsi yang stabil. Pada pengujian tegangan impuls isolator, alat ini digunakan untuk menyesuaikan posisi isolator, memastikan celah listrik yang tepat antara elektroda dan menjaga stabilitas pengujian mengubah arah positif dan negatif pada saat pengujian.



Gambar 7. Katup Penggerak Perubahan Arah Positif dan Negatif

4. Kapasitor



Gambar 8. Kapasitor

Gambar 8, menunjukkan kapasitor penyimpan energi (*energy storage capacitor*) yang digunakan dalam sistem pengujian tegangan impuls, di mana kapasitor ini berfungsi untuk menyimpan energi listrik dan melepaskannya secara cepat dalam bentuk tegangan impuls dengan amplitudo tinggi. Terlihat bahwa kapasitor dirangkai dalam konfigurasi tertentu untuk mencapai nilai kapasitansi dan tegangan yang dibutuhkan, sementara *nameplate* menunjukkan data teknis seperti tipe kapasitor, nilai kapasitansi terukur, tegangan kerja, serta media isolasi berupa minyak (*oil impregnated*) yang berfungsi meningkatkan kekuatan dielektrik dan keandalan operasi.

Listrik sebagai medan listrik yang dapat dilepaskan secara tiba-tiba sebagai impuls tegangan tinggi. Selain itu, dalam pengujian tegangan impuls kapasitor juga berperan dalam membentuk dan mengontrol karakteristik gelombang impuls yang dihasilkan dan mengontrol laju pengisian dan pengosongan muatan di dalam rangkaian serta membantu menstabilkan tegangan dalam rangkaian sebelum dilepaskan sebagai impuls.

Tabel 5. Data Spesifikasi Kapasitor

Merk	Baurer
Tipe	BG04-11/P04LA06/E003B9/EMV
Model Number	1025085-010-1
Daya Motor (<i>Power</i>)	0,03 kW (30 Watt)
Faktor Daya	F = 1,2
Tegangan (<i>Voltage</i>)	24 V DC
Arus Listrik (<i>Current</i>)	2,4 A
Kecepatan Motor (<i>Speed</i>)	$n_1 = 600 \text{ rpm}$ $n_2 = 10 \text{ rpm}$
Torsi (<i>Torque</i>)	30 Nm (Newton-meter)
Faktor <i>Gearbox</i>	$i = 60,47$
Kelas Isolasi	<i>Class B</i>
Perlindungan <i>Enclosure</i>	IP54
Sistem Pemasangan	IM B3
Standar	CE EN 60034

Cara kerja kapasitor ialah dengan menyimpan energi listrik sebagai medan listrik yang dapat dilepaskan secara tiba-tiba sebagai impuls tegangan tinggi. Selain itu, dalam pengujian tegangan impuls kapasitor juga berperan dalam membentuk dan

mengontrol karakteristik gelombang impuls yang dihasilkan dan mengontrol laju pengisian dan pengosongan muatan di dalam rangkaian serta membantu menstabilkan tegangan dalam rangkaian sebelum dilepaskan sebagai impuls.

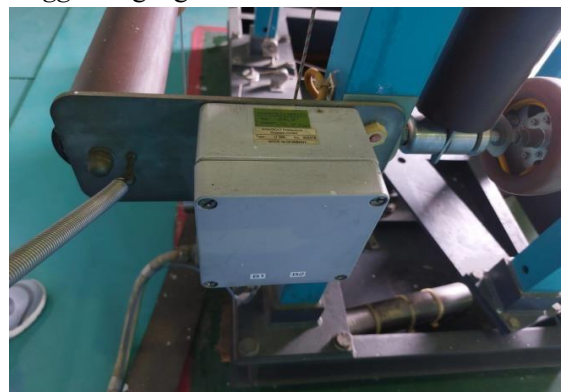
6. Bola Pejal



Gambar 9. Bola Pejal

Gambar 9, bola pejal dalam pengujian tegangan impuls isolator mempunyai fungsi khusus yang berkaitan dengan pembentukan medan listrik yaitu sebagai elektrode untuk membentuk medan listrik di sekitar isolator karena bola pejal dalam distribusi medan listriknya mendekati situasi nyata sehingga hasil pengujian lebih relevan. Selain itu, bola pejal juga digunakan untuk menguji tegangan tembus (*breakdown voltage*) isolator dengan memberikan tegangan impuls secara bertahap hingga isolasi gagal atau percikan terjadi [14].

7. Trigger Tegangan

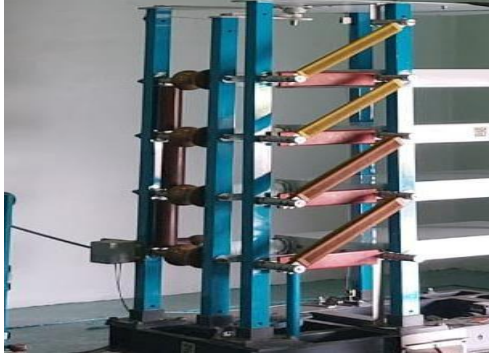


Gambar 10. Box *Trigger* Tegangan

Gambar 10, dalam pengujian tegangan impuls isolator, *Trigger* tegangan merupakan komponen

yang digunakan untuk memicu atau mengaktifkan pelepasan energi listrik dari rangkaian penyimpanan energi atau kapasitor ke isolator yang diuji dengan tepat waktu, terkendali dan sesuai dengan spesifikasi pengujian.

8. Resistor



Gambar 11. Resistor

Gambar 11, dalam pengujian, resistor berperan dalam pembentukan gelombang impuls untuk menentukan waktu depan dan waktu ekor dari gelombang impuls. Selain itu, resistor juga digunakan untuk membatasi arus dalam rangkaian selama pengisian kapasitor atau pelepasan energi impuls serta dapat mengontrol tegangan impuls karena nilai resistansi dapat diatur sesuai dengan level pengujian yang diinginkan. Hal ini dapat mencegah terjadinya lonjakan arus yang dapat merusak peralatan atau isolator yang sedang diuji.

9. Divider



Gambar 12. Divider

Gambar 12, tersebut menunjukkan divider tegangan tinggi yang berfungsi untuk menurunkan tegangan impuls yang sangat tinggi menjadi tegangan rendah yang aman dan dapat diukur oleh

alat ukur. *Divider* ini digunakan dalam pengujian tegangan impuls untuk memastikan nilai tegangan yang diterapkan dapat diukur secara akurat tanpa merusak peralatan pengukuran. Peralatan ini berperan penting dalam menjaga keselamatan dan keandalan hasil pengujian tegangan tinggi.

Tabel 6. Data Spesifikasi *Divider*

Type	IMC 2000/400
No. Seri	905412
Rated Voltage	400 kV
Rated Capacitance	2000 pF
Weight	91 kg
Tahun Pembuatan	2012
Pembuatan	Germany

Dalam pengujian tegangan impuls pada isolator, *Divider* digunakan untuk mengukur arus dan tegangan selama pengujian berlangsung dengan cara membaginya menjadi nilai yang lebih rendah dan aman untuk diukur oleh perangkat pengukuran (seperti osiloskop atau alat ukur lainnya).

10. Panel Kontrol



Gambar 13. Panel Kontrol

Gambar 13, panel kontrol berfungsi sebagai pusat kendali utama dalam pengoperasian sistem pengujian, yang memungkinkan operator untuk menyalakan, mematikan, serta mengatur perangkat sesuai kebutuhan, seperti mengaktifkan generator impuls dan mengatur nilai tegangan yang dihasilkan. Selain itu, panel kontrol dilengkapi dengan alat ukur berupa layar digital dan lampu indikator yang berfungsi untuk memantau kinerja sistem secara real-time, termasuk pengamatan bentuk gelombang tegangan impuls melalui indikator atau osiloskop yang terhubung. Panel ini juga digunakan untuk

mengatur parameter operasi seperti besar tegangan, durasi impuls, waktu pengisian ulang kapasitor, serta mengendalikan mekanisme pemacu (*Trigger*) agar pelepasan tegangan impuls dapat terjadi pada waktu yang tepat.

Dengan demikian, panel kontrol berperan sebagai sistem kontrol terpusat yang mengintegrasikan dan mengendalikan seluruh peralatan dalam sistem pengujian dari satu titik. Selain peralatan uji diatas, dalam pengujian tegangan impuls ini juga menggunakan metode pembersihan isolator menggunakan Sakaphen. Sakaphen digunakan untuk membersihkan permukaan isolator dari debu, kotoran dan residu lainnya yang dapat mempengaruhi kinerja isolator. Dengan membersihkan kotoran tersebut dapat membantu meningkatkan kemampuan isolasi dari isolator [15].



Gambar 14. Sakaphen

B. Hasil Pengujian Isolator yang sudah Flashover

Tabel 7. Hasil Pengujian Tegangan Tembus Isolator Polaritas Negatif

No. Sampel	Jenis Pengujian	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	1,0× first BVD	13 7	14 2	14 5	14 5	14 7	14 4	14 4	14 3	14 3	14 4
	BVD	X	X	O	O	X	O	X	X	X	X
	1,2× first BVD	16 3	16 8	16 8	15 5	15 5	15 1	14 3	14 2	14 3	14 3
	BVD	O	O	O	O	O	O	X	X	X	X
2	1,0× first BVD	14 9	14 5	14 4	14 5	14 7	14 8	14 5	14 4	14 3	14 3
	BVD	O	O	O	O	O	X	O	X	O	X
	1,2× first BVD	16 3	16 1	15 7	15 5	14 7	14 4	14 4	13 5	14 8	14 0
	BVD	O	O	O	O	O	X	X	X	X	X
3	1,0× first BVD	15 1	15 0	14 3	14 0	14 2	14 4	14 4	13 5	14 8	14 0
	BVD	O	O	O	O	X	O	O	O	X	X
4	1,0× first BVD	12 9	12 6	12 9	12 6	13 5	13 2	13 8	14 2	14 6	14 6
	BVD	X	X	X	O	X	X	X	X	O	O

5	1,0× first BVD	14 2	14 4	14 3	14 2	13 9	13 8	14 0	13 9	14 0	13 9
	BVD	O	O	O	O	X	X	O	X	O	X

Tabel 7. tabel pengujian, kelima sampel isolator menunjukkan nilai *breakdown voltage* (BVD) yang bervariasi dengan terjadinya *flashover* pada beberapa titik pengujian. Pada pengujian 1,0× *first* BVD, *flashover* masih terjadi meskipun tegangan relatif stabil, sedangkan pada pengujian 1,2× *first* BVD kecenderungan *flashover* meningkat seiring kenaikan tegangan uji. Hal ini menunjukkan bahwa isolator bekas bongkaran memiliki kemampuan isolasi yang tidak seragam dan tingkat keandalan yang menurun pada tegangan yang lebih tinggi.

Tabel 8. Hasil Pengujian Tegangan Tembus Isolator Polaritas Positif

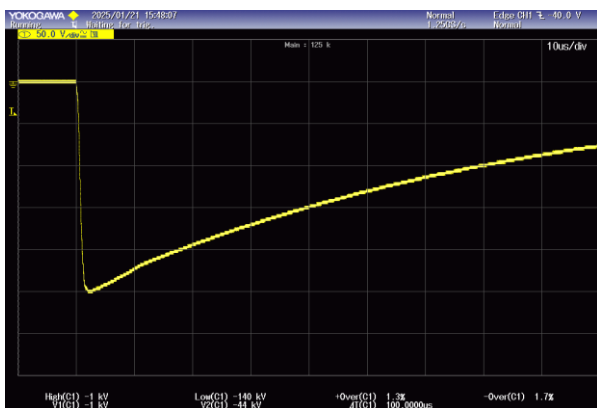
No. Sampel	Jenis Pengujian	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	1,0× first BVD	1 2 6	1 2 6	1 2 6	1 2 6	1 2 5	1 2 6	1 2 6	1 2 6	1 2 6	1 2 5
	BVD	O	X	X	X	X	X	X	O	X	X
	1,2× first BVD	1 4 6	1 4 8	1 4 9	1 5 6	1 5 3	1 5 0	1 4 8	1 4 5	1 4 1	1 4 2
	BVD	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O
2	1,0× first BVD	1 4 2	1 4 1	1 4 3	1 4 0	1 3 7	1 3 3	1 2 9	1 2 5	1 2 6	1 2 8
	BVD	O	O	O	O	O	O	O	X	X	X
	1,2× first BVD	1 4 5	1 4 4	1 4 9	1 5 4	1 5 1	1 4 4	1 3 6	1 2 3	1 2 2	1 2 4
	BVD	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O
3	1,0× first BVD	1 2 6	1 2 3	1 2 5	1 2 3	1 2 5	1 2 8	1 2 7	1 2 7	1 2 7	1 2 5
	BVD	X	X	X	X	X	O	X	X	X	X
	1,2× first BVD	1 4 9	1 5 2	1 5 0	1 5 0	1 4 8	1 4 1	1 3 9	1 3 0	1 2 9	1 2 4
	BVD	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O
4	1,0× first BVD	1 3 1	1 3 0	1 2 7	1 2 8	1 2 8	1 2 9	1 2 9	1 2 9	1 2 9	1 2 9
	BVD	O	O	O	X	O	X	O	O	O	O
	1,2× first BVD	1 4 6	1 4 7	1 4 7	1 4 9	1 4 7	1 4 7	1 3 7	1 3 1	1 2 3	1 2 3
	BVD	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O
5	1,0× first BVD	1 2 9	1 2 1	1 2 1	1 2 4	1 2 6	1 2 5	1 2 4	1 2 6	1 2 8	1 2 6

	BVD	O	X	X	X	O	X	X	X	X	O
1,2× first BVD	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	4	4	4	4	5	4	3	3	2	2	2
	7	9	8	9	1	5	9	1	2	4	4
BVD	O	O	O	O	O	O	O	O	X	O	O

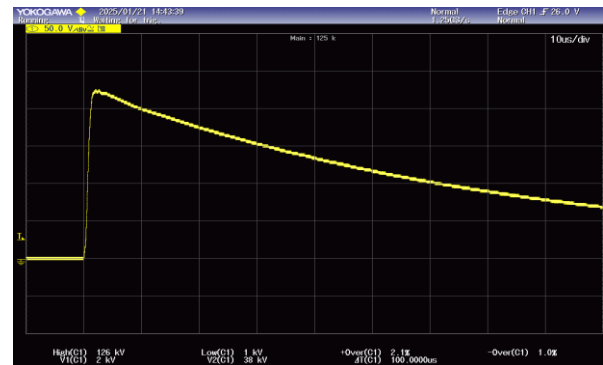
Tabel 8, berdasarkan tabel pengujian, pada 1,0× *first* BVD seluruh sampel isolator masih menunjukkan hasil yang bervariasi dengan adanya kombinasi kondisi *flashover* dan tidak *flashover*, yang menandakan kemampuan isolasi belum sepenuhnya stabil pada tegangan awal. Namun, pada pengujian 1,2× *first* BVD, hampir seluruh sampel menunjukkan kejadian *flashover* (O) secara konsisten pada setiap pengulangan, dengan nilai tegangan yang lebih tinggi dibandingkan pengujian 1,0×. Hal ini menunjukkan bahwa peningkatan tegangan uji secara signifikan meningkatkan kemungkinan terjadinya kegagalan isolasi, sehingga isolator memiliki batas ketahanan yang jelas dan cenderung mengalami *flashover* saat diuji di atas tegangan tembus awalnya.

C. Analisis

Berdasarkan data hasil pengujian tegangan impuls isolator yang telah dilakukan maka didapatkanlah hasil pengujian.. Untuk nilai acuan atau referensi yang digunakan pada pengujian tegangan impuls pada isolator ini merupakan *first impulse breakdown*/BDV yang diperoleh dari pengujian sampel pertama isolator yaitu 145 kV untuk polaritas negatif dan 126 kV untuk polaritas positif. Berikut bentuk grafik yang dihasilkan dari pengujian



Gambar 15. Gambar Grafik Hasil Pengujian Tegangan Impuls Polaritas Negatif



Gambar 16. Gambar Grafik Hasil Pengujian Tegangan Impuls Polaritas Positif

Setelah kita lakukan pengujian maka didapatkanlah hasil seperti pada grafik 16 dan 17 diatas, dapat kita lihat hasil pengujian dengan metode dan sampel uji yang sama yaitu menggunakan 5 sampel isolator bekas penggantian yang telah mengalami *flashover*. Dari data hasil pengujian tegangan impuls isolator tanpa dilakukan pembersihan dibandingkan dengan nilai acuan yang digunakan, terlihat bahwa nilai *flashover* dengan polaritas positif dan negatif hanya beberapa sampel yang mampu bertahan atau tidak mengalami *flashover*. Sedangkan pada gambar grafik 17 diatas, dapat kita lihat hasil pengujian dengan metode dan sampel uji yang sama. Dari data hasil pengujian tegangan impuls isolator yang diikuti pembersihan dengan menggunakan sakaphen dibandingkan dengan nilai acuan yang digunakan, terlihat bahwa nilai *flashover* dengan polaritas positif dan negatif hanya beberapa sampel yang tidak mampu bertahan atau mengalami *flashover*.

IV. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil pengujian tegangan impuls dan analisis yang telah dilakukan pada isolator pasca-*flashover* penghantar SUTET 500 kV Balaraja–Lengkong, dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut:

1. Isolator pasca-*flashover* masih mampu menahan tegangan impuls mendekati batas spesifikasi yang ditetapkan dalam standar IEC 60060 dan IEEE Std 4, meskipun telah mengalami gangguan sebelumnya.
2. Terdapat perbedaan nilai tegangan *flashover* antara polaritas positif dan negatif sebesar 1–8 kV, yang menunjukkan bahwa polaritas

mempengaruhi karakteristik tembus isolator pasca-*flashover*.

3. Proses pembersihan memberikan peningkatan kemampuan tahan tegangan impuls, namun belum sepenuhnya mengembalikan karakteristik isolator ke kondisi awal sebelum mengalami *flashover*.
4. Penelitian ini memberikan kontribusi ilmiah berupa data kinerja isolator pasca-*flashover* serta evaluasi efektivitas pembersihan terhadap ketahanan tegangan impuls, yang masih terbatas dilaporkan pada penelitian sebelumnya.

Untuk menjaga keandalan sistem transmisi, disarankan agar isolator yang telah mengalami *flashover* tetap dilakukan penggantian meskipun hasil pengujian masih berada dalam batas standar, serta dilakukan inspeksi dan pemeliharaan berkala guna mencegah terulangnya gangguan serupa.

UCAPAN TERIMA KASIH

mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada pihak-pihak yang telah memberikan dukungan dan bantuan dalam terselesaikannya penelitian ini. Ucapan terima kasih khusus ditujukan kepada manajemen dan staf PLN atau pihak terkait yang telah memfasilitasi pengambilan data lapangan serta memberikan informasi teknis terkait isolator pengantar SUTET 500 kV Balaraja – Lengkong. Penulis juga mengapresiasi masukan dan saran dari para pembimbing, rekan sejawat, dan reviewer yang telah membantu meningkatkan kualitas penelitian ini

REFERENSI

- [1] Y. WARMI and K. FEBRIAN, “Analisis Variasi Ketebalan Coating Senyawa Glasir terhadap Daya Tahan Dielektrik Isolator Keramik Saluran Transmisi 150kV,” *ELKOMIKA J. Tek. Energi Elektr. Tek. Telekomun. Tek. Elektron.*, vol. 9, no. 2, p. 249, 2021.
- [2] F. A. Jamaludin and C. S. Chao, “Effect Analysis of Pollutant Distribution on the *Flashover* Performance of Porcelain and Composite insulator using Finite Element Method,” *Science and Technology Asia*, vol. 29, no. 1. pp. 82–90, 2024.
- [3] A. Ali *et al.*, “Performance analysis of *high voltage* disc insulators with different profiles in clean and polluted environments using *flashover*, withstand voltage tests and finite element analysis,” *Sci. Rep.*, vol. 14, no. 1, pp. 1–27, 2024.
- [4] B. Hidayatullah, Y. Warmi, Z. Zulkarnaini, A. Y. Dewi, and S. Amalia, “Pengaruh Kelembapan dan Suhu Terhadap Tegangan *Flashover* Pada Isolator Transmisi Koto Panjang - Payakumbuh,” *J. Teknol. Elektro*, vol. 15, no. 1, p. 7, 2024.
- [5] D. Franklin Ayebagbalinyo, “Predicting *Flashover* Voltage on Polluted Porcelain Insulator,” *Artic. Int. J. Engine Res.*, vol. 11, no. 5, pp. 32–37, 2025.
- [6] H. Hilmi, S. Amalia, Y. Warmi, A. Y. Dewi, and E. Erhaneli, “Analisa Pengaruh Arus Bocor Terhadap Daya Tahan Dielektrik pada Isolator Berlumut 150 Kv Saluran Transmisi Koto Panjang -Payakumbuh,” *J. Multidisiplin Teknol. dan Arsit.*, vol. 3, no. 1, pp. 23–31, 2025.
- [7] M. Ahsan *et al.*, “Comprehensive Analysis of Insulator Performance in *High voltage* Transmission Systems: Implications for Efficient Power Transfer,” *J. Adv. Res. Appl. Mech.*, vol. 115, no. 1, pp. 117–130, 2024.
- [8] C. Zhong *et al.*, “On-Site Lightning Impulse Test and Process Optimization Research on Distribution Network Equipment,” *Electron.*, vol. 14, no. 24, pp. 0–12, 2025.
- [9] L. Taibaoui, A. Mahdjoubi, and B. Zegnini, “Optimizing the Prediction of Lightning Impulse Withstand Voltage for Glass Insulators Using ANFIS Enhanced with Particle Swarm Optimization (PSO),” *TEM J.*, vol. 14, no. 2, pp. 1725–1732, 2025.
- [10] A. P. Suhesya, “... on High-Voltage Impulse Testing Techniques in Electrical Distribution Systems: Kajian Literatur tentang Teknik Pengujian Tegangan Tinggi Impuls pada Sistem ...,” *Indones. J. Electr. Eng.* ..., vol. 4, no. June, pp. 42–46, 2024.
- [11] T. Taryo, P. N. Utami, and A. Syakur, “ANALISIS *FLASHOVER* DAN WITHSTAND TEST ISOLATOR SILICONE RUBBER DAN ISOLATOR RESIN EPOKSI SISTEM DISTRIBUSI 20 kV KONDISI KERING DAN BASAH,” *J. Inform. dan Tek. Elektro Terap.*, vol. 11, no. 1, pp. 1–6, 2023.
- [12] H. Fitrianto, Ahmad Mubarak, and Khairizvan Edwar, “Statistical Analysis of Lightning

Strike Disturbances Occurring on Transmission Lines at PLN Unit Pelaksana Transmisi (UPT) Semarang,” *Energy Electr. J.*, vol. 1, no. 2, pp. 145–156, 2023.

- [13] M. Feri, J. Jamaaluddin, and S. D. Ayuni, “Analysis of Power Transformer Insulation Resistance Using the Applied Voltage test Method,” *Elkha*, vol. 17, no. 1, pp. 61–67, 2025.
- [14] J. T. Kim and Y. S. Kim, “Electrostatic Field for Positive Lightning Impulse Breakdown Voltage in Sphere-to-Plane Air Gaps Using Machine Learning,” *Energies*, vol. 16, no. 17, pp. 1–13, 2023.
- [15] J. David Sinaga, F. Irsan Pasaribu, N. Evalina, M. Fitra Zambak, and F. Rizky, “Analisa Sistem Pengendalian Pada PCB Automatic Voltage Regulator,” vol. 01, no. 02, pp. 67–75, 2024.