

Analisis Pengaruh Perawatan Dua Tahunan Terhadap Keandalan dan Kinerja Circuit Breaker 150 kV di Gardu Induk Anyer Bay Menes 1

Repaldi^{1*}, Desmira²

¹Program Studi Pendidikan Vokasional Teknik Elektro, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa; Jl. Ciwaru Raya, Cipare, Kec. Serang, Kota Serang, Banten 42117

²Program Studi Pendidikan Vokasional Teknik Elektro, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa; Jl. Ciwaru Raya, Cipare, Kec. Serang, Kota Serang, Banten 42117

Received: 07-12-2025
Accepted: 28-01-2026

Keywords:
Circuit breaker;
keandalan;
pemeliharaan;
Gardu Induk.

Correspondent Email:
rpl0728899@gmail.com

Abstrak. Penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh pemeliharaan dua tahunan terhadap keandalan dan kinerja Circuit Breaker 150 kV di Gardu Induk Anyer Bay Menes 1. Pemeliharaan berkala diperlukan untuk menjaga keandalan sistem tenaga listrik dan meminimalkan risiko gangguan peralatan tegangan tinggi. Metode yang digunakan adalah deskriptif kuantitatif berdasarkan analisis data pengujian sebelum dan sesudah pemeliharaan pada periode 2020–2022. Parameter yang dianalisis meliputi tahanan isolasi, tahanan kontak, tahanan pentanahan, keserempakan, dan waktu kerja kontak. Hasil menunjukkan peningkatan performa setelah pemeliharaan, ditunjukkan oleh penurunan selisih waktu keserempakan dari 0,7 ms menjadi 0,4 ms pada proses buka dan dari 3,6 ms menjadi 2,3 ms pada proses tutup. Nilai tahanan kontak tetap berada di bawah batas IEC 60694 ($\leq 50 \mu\Omega$), dan tahanan pentanahan meningkat dari 0,4 Ω menjadi 0,3 Ω . Meskipun beberapa nilai tahanan isolasi menurun, nilainya masih jauh di atas batas standar VDE 228/4. Temuan ini membuktikan bahwa pemeliharaan dua tahunan efektif meningkatkan keandalan operasi Circuit Breaker. Rekomendasi penelitian ke depan adalah pemeliharaan berbasis trending data dan condition monitoring.

Abstract. This study aims to analyze the effect of biennial maintenance on the reliability and performance of a 150 kV Circuit Breaker at the Anyer substation Bay Menes 1. Periodic maintenance is essential to maintain system reliability and reduce operational failure risks in high-voltage equipment. A quantitative descriptive approach was used by analyzing test data collected before and after maintenance between 2020 and 2022. The analyzed parameters include insulation resistance, contact resistance, grounding resistance, synchronization time, and contact operating time. The results indicate performance improvement after maintenance, shown by a reduction in synchronization time difference from 0.7 ms to 0.4 ms during opening and from 3.6 ms to 2.3 ms during closing. Contact resistance remained below the IEC 60694 threshold ($\leq 50 \mu\Omega$), and grounding resistance improved from 0.4 Ω to 0.3 Ω . Although some insulation resistance values decreased, they remained well above the VDE 228/4 minimum limit. These findings confirm that biennial maintenance effectively enhances Circuit Breaker reliability. Future research is recommended to apply trending data and condition-based monitoring strategies.

1. PENDAHULUAN

Listrik merupakan kebutuhan vital dalam menunjang aktivitas industri, komersial, maupun rumah tangga. Kontinuitas dan kualitas pasokan energi listrik harus dijaga agar sistem tenaga listrik dapat beroperasi secara stabil dan andal. Salah satu upaya penting untuk menjaga keandalan sistem tenaga adalah melalui kegiatan pemeliharaan peralatan listrik yang terpasang pada Gardu Induk [1][2]. Gardu Induk berfungsi sebagai pusat penghubung dan pengatur penyaluran energi listrik dari pembangkit ke konsumen akhir, sehingga setiap komponen di dalamnya harus berada dalam kondisi optimal untuk menghindari potensi gangguan yang berdampak pada pemadaman luas [3], [4].

Circuit Breaker (CB) atau Pemutus Tenaga (PMT) merupakan komponen utama pada sistem proteksi tenaga listrik yang berfungsi menghubungkan dan memutus arus listrik baik dalam kondisi normal maupun kondisi gangguan, seperti arus hubung singkat [5], [6], [7]. Kegagalan CB dalam menjalankan fungsinya dapat menyebabkan kerusakan peralatan lain, berkurangnya keandalan sistem, serta meningkatnya risiko blackout [5], sehingga pemeliharaan berkala menjadi sangat penting untuk memastikan kinerja CB tetap optimal.

Di Gardu Induk Anyer Bay Menes 1, pemeliharaan CB 150 kV dilakukan setiap dua tahun sekali. Namun, efektivitas pemeliharaan periodik tersebut belum pernah dianalisis secara kuantitatif berdasarkan data hasil pengujian parameter teknis sebelum dan sesudah perawatan. Penelitian terdahulu telah membahas pengujian performa PMT menggunakan parameter tahanan kontak, tahanan isolasi, dan waktu operasi [8], [9]. Namun kajian yang menilai pengaruh pemeliharaan dua tahunan secara komprehensif terhadap keandalan CB berbasis data aktual lapangan masih terbatas. Kondisi ini menciptakan kesenjangan penelitian (research gap) terkait evaluasi langsung manfaat perawatan periodik terhadap performa CB.

Berdasarkan hal tersebut, penelitian ini difokuskan untuk menjawab dua pertanyaan utama: (1) bagaimana kondisi kinerja CB sebelum dan sesudah pemeliharaan dua tahunan, dan (2) sejauh mana pemeliharaan dua

tahunan memberikan pengaruh terhadap keandalan operasi peralatan.

Tujuan penelitian ini adalah menganalisis pengaruh perawatan dua tahunan terhadap keandalan dan kinerja CB 150 kV dengan membandingkan parameter teknis berupa tahanan isolasi, tahanan kontak, tahanan pentanahan, keserempakan operasi, dan waktu kerja kontak. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan rekomendasi teknis dalam rangka meningkatkan efektivitas strategi pemeliharaan dan keandalan sistem proteksi pada Gardu Induk.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. *Circuit Breaker (CB)*

Circuit Breaker (CB) atau Pemutus Tenaga (PMT) merupakan peralatan utama dalam sistem proteksi tenaga listrik yang berfungsi untuk menghubungkan dan memutus arus listrik baik pada kondisi operasi normal maupun saat terjadi gangguan, seperti arus hubung singkat. Keandalan CB sangat menentukan kontinuitas pasokan energi listrik karena kegagalan operasi CB dapat menyebabkan kerusakan peralatan lain serta meningkatkan risiko gangguan sistem berskala luas [10], [11], [12].



Gambar 1. Circuit Breaker

Berdasarkan karakteristik operasionalnya, CB diklasifikasikan menurut tingkat tegangan kerja, mekanisme penggerak, serta media isolasi dan pemadaman busur api. Berdasarkan tingkat tegangan, CB dibedakan menjadi tegangan rendah, menengah, tinggi, dan ekstra tinggi sesuai standar SPLN. Pada sistem transmisi 150 kV, CB termasuk kategori tegangan tinggi yang menuntut tingkat keandalan mekanis dan elektris yang tinggi agar mampu bekerja cepat dan selektif dalam kondisi

gangguan. Ditinjau dari media isolasi, CB dapat menggunakan minyak, udara bertekanan (air blast), vakum, maupun gas SF₆. CB berbasis gas SF₆ banyak digunakan pada sistem tegangan tinggi karena memiliki kemampuan pemadaman busur api yang baik, ukuran yang relatif kompak, serta keandalan operasi yang tinggi. Namun demikian, kinerja CB SF₆ sangat dipengaruhi oleh kondisi mekanis kontak, kualitas isolasi, serta kestabilan sistem penggerakannya, sehingga memerlukan pemeliharaan berkala yang terencana.

Berdasarkan konfigurasi mekanisme penggerakannya, CB dapat menggunakan sistem single pole maupun three pole. Perbedaan konfigurasi ini memengaruhi karakteristik operasi dan keserempakan kontak antar fasa. Oleh karena itu, evaluasi kinerja CB tidak hanya ditentukan oleh jenis dan konstruksinya, tetapi juga oleh hasil pengujian parameter teknis pasca pemeliharaan, seperti tahanan isolasi, tahanan kontak, tahanan pentanahan, keserempakan operasi, dan waktu kerja kontak sebagai indikator keandalan operasi CB.

2.2. Shutdown Measurement / Shutdown Function Check

Shutdown measurement atau shutdown function check merupakan kegiatan evaluasi kondisi peralatan yang dilakukan secara periodik, umumnya setiap dua tahun, ketika Circuit Breaker (CB) berada dalam kondisi tidak bertegangan. Tujuan utama dari kegiatan ini adalah untuk menilai kelayakan operasi peralatan berdasarkan parameter mekanis dan elektrik, serta memastikan bahwa CB masih memenuhi standar teknis yang ditetapkan [13].

Pada pemeliharaan dua tahunan, evaluasi CB dilakukan melalui pengujian beberapa parameter utama, meliputi tahanan isolasi, tahanan kontak, tahanan pentanahan, keserempakan pembukaan dan penutupan antar fasa, serta waktu kerja kontak. Parameter-parameter tersebut dipilih karena secara langsung merepresentasikan kondisi isolasi, kualitas kontak, dan kinerja mekanis CB yang berpengaruh terhadap keandalan operasi sistem proteksi. Beberapa penelitian terdahulu menyatakan bahwa perubahan nilai tahanan kontak dan keserempakan operasi dapat menjadi indikator awal terjadinya degradasi mekanis pada pemutus tenaga, sedangkan

penurunan nilai tahanan isolasi berpotensi meningkatkan risiko gangguan listrik [14], [15]. Oleh karena itu, hasil pengujian shutdown measurement tidak hanya dibandingkan dengan standar acuan, tetapi juga dianalisis secara komparatif untuk melihat kecenderungan perubahan kondisi peralatan sebelum dan sesudah pemeliharaan.

Dalam penelitian ini, analisis difokuskan pada lima parameter utama hasil shutdown measurement, yaitu: (1) tahanan isolasi, (2) tahanan kontak, (3) tahanan pentanahan, (4) keserempakan operasi, dan (5) waktu kerja kontak. Kelima parameter tersebut digunakan sebagai indikator kuantitatif untuk mengevaluasi efektivitas pemeliharaan dua tahunan terhadap peningkatan kinerja dan keandalan Circuit Breaker 150 kV di Gardu Induk Anyer Bay Menes 1.

Dengan pendekatan ini, shutdown measurement diposisikan tidak hanya sebagai kegiatan inspeksi rutin, tetapi sebagai dasar analisis kinerja berbasis data historis yang mendukung pengambilan keputusan strategi pemeliharaan yang lebih efektif dan berorientasi pada keandalan sistem tenaga listrik. Berdasarkan kajian pustaka tersebut, dapat disimpulkan bahwa sebagian besar penelitian terdahulu berfokus pada evaluasi kelayakan Circuit Breaker berdasarkan hasil pengujian sesaat atau perbandingan terhadap standar teknis yang berlaku. Namun, kajian yang menganalisis efektivitas pemeliharaan dua tahunan melalui perbandingan data pengujian sebelum dan sesudah pemeliharaan berbasis data lapangan masih relatif terbatas, khususnya pada Circuit Breaker 150 kV di gardu induk.

Oleh karena itu, penelitian ini diposisikan untuk mengisi celah tersebut dengan menganalisis secara kuantitatif perubahan parameter kinerja Circuit Breaker sebelum dan sesudah pemeliharaan dua tahunan, sehingga kontribusi penelitian tidak hanya bersifat evaluatif, tetapi juga memberikan dasar empiris dalam pengembangan strategi pemeliharaan berbasis kondisi (condition-based maintenance).

Berdasarkan penelitian terdahulu, parameter tahanan kontak, tahanan isolasi, serta keserempakan operasi terbukti menjadi indikator penting keandalan CB. Namun, sebagian besar studi masih berfokus pada

evaluasi kondisi sesaat atau satu parameter tertentu. Oleh karena itu, penelitian ini menempatkan diri dengan menganalisis secara komprehensif beberapa parameter hasil shutdown measurement sebelum dan sesudah pemeliharaan dua tahunan untuk menilai efektivitas pemeliharaan CB 150 kV secara kuantitatif

3. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode deskriptif kuantitatif dengan pendekatan studi kasus teknik (engineering case study). Metode ini dipilih karena penelitian berfokus pada analisis data numerik hasil pengujian kinerja Circuit Breaker (CB) sebelum dan sesudah dilakukan pemeliharaan tanpa memberikan perlakuan atau manipulasi variabel. Pendekatan ini memungkinkan peneliti untuk menggambarkan kondisi aktual performa peralatan berdasarkan data lapangan yang objektif.

Penelitian dilaksanakan pada Circuit Breaker 150 kV di Gardu Induk Anyer Bay Menes 1 milik PT PLN (Persero). Objek penelitian adalah hasil pengujian dan pemeliharaan dua tahunan pada CB selama periode tahun 2020 hingga 2022. Data penelitian diperoleh melalui observasi langsung terhadap proses pemeliharaan dan pengujian peralatan di lokasi, wawancara teknis dengan personel pemeliharaan dan operator gardu induk untuk memperoleh informasi pendukung terkait kondisi dan riwayat peralatan, serta studi dokumentasi berupa data historis dan laporan hasil pengujian CB.

Parameter utama yang dianalisis dalam penelitian meliputi: tahanan isolasi ($M\Omega$), tahanan kontak ($\mu\Omega$), tahanan pentanahan (Ω), keserempakan operasi (ms), dan waktu kerja kontak (ms). Seluruh parameter tersebut digunakan untuk mengevaluasi kondisi performa CB sebelum dan sesudah pemeliharaan dua tahunan. Analisis dilakukan dengan membandingkan hasil pengujian dengan standar acuan teknis seperti IEC 60694, VDE 228/4, dan IEEE Std 80-2000, serta batas toleransi standar pabrik.

Hasil perbandingan nilai sebelum dan sesudah pemeliharaan digunakan untuk menilai tingkat efektivitas pemeliharaan terhadap peningkatan kinerja dan keandalan operasi

Circuit Breaker 150 kV, sehingga dapat ditarik kesimpulan serta rekomendasi untuk strategi pemeliharaan di masa mendatang.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

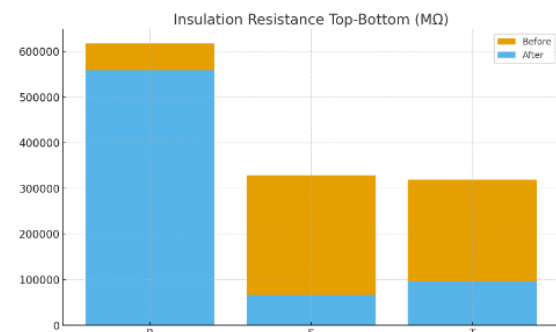
4.1. Tahanan Isolasi

Tabel 1 Hasil sebelum melakukan perawatan pada isolasi

No	Titik Ukur	Acuan	Hasil Sebelum Melakukan Perawatan ($M\Omega$)		
			R	S	T
1	Atas - Bawah (Fixed - Moving Contact)	VDE Catalogue 228/4 = 1 kV/1 $M\Omega$	617000	329000	319000
2	Atas - Tanah (Fixed Contact - Ground)		923000	379000	421000
3	Bawah - Tanah (Moving Contact - Ground)		400000	273000	237000

Tabel 2 Hasil sesudah melakukan perawatan pada isolasi

No	Titik Ukur	Acuan	Hasil Sesudah Melakukan Perawatan ($M\Omega$)		
			R	S	T
1	Atas - Bawah (Fixed - Moving Contact)	VDE Catalogue 228/4 = 1 kV/1 $M\Omega$	559000	65900	96300
2	Atas - Tanah (Fixed Contact - Ground)		778000	65800	98500
3	Bawah - Tanah (Moving Contact - Ground)		699000	136000	45600



Gambar 2. Grafik perbandingan tahanan isolasi sebelum dan sesudah perawatan pada Circuit Breaker 150 kV.

Berdasarkan data diatas hasil pengujian tahanan isolasi menunjukkan bahwa seluruh nilai pengukuran, baik sebelum maupun sesudah pemeliharaan dua tahunan, berada jauh di atas batas minimum standar VDE 228/4 sebesar 1 MΩ per 1 kV. Meskipun pada beberapa fasa terjadi penurunan nilai tahanan isolasi setelah perawatan, nilai tersebut masih berada pada rentang yang sangat aman sehingga tidak menunjukkan indikasi degradasi isolasi yang membahayakan operasi CB.

Penurunan nilai tahanan isolasi setelah pemeliharaan dapat dikaitkan dengan kondisi lingkungan pengujian serta redistribusi muatan permukaan isolasi pasca pembersihan, namun tidak berpengaruh signifikan terhadap tingkat keamanan operasi. Hal ini menunjukkan bahwa pemeliharaan dua tahunan mampu mempertahankan kualitas sistem isolasi CB, sekaligus memastikan arus bocor tetap berada di bawah ambang batas yang diizinkan. Temuan ini sejalan dengan hasil penelitian Susanto et al. [15] yang menyatakan bahwa nilai tahanan isolasi yang tetap berada di atas standar minimum merupakan indikator utama kelayakan operasi pemutus tenaga pasca pemeliharaan.

4.2. Tahanan Kontak

Tabel 3 Hasil pengukuran tahanan kontak

Tahanan Kontak	Acuan	Hasil Sebelumnya			Hasil Sesudah		
		R	S	T	R	S	T
Chamber - 1	R ≤ 120 % nilai pabrikan atau nilai pengujian FAT	32 μΩ	33 μΩ	31 μΩ	31 μΩ	32 μΩ	32 μΩ
Chamber - 2							

Pengujian tahanan kontak menunjukkan bahwa seluruh nilai hasil pengukuran berada di bawah batas maksimum yang ditetapkan oleh IEC 60694, yaitu ≤ 50 μΩ atau tidak melebihi 120% dari nilai Factory Acceptance Test (FAT). Kondisi ini mengindikasikan bahwa kualitas kontak listrik pada Circuit Breaker masih berada dalam rentang operasional yang aman baik sebelum maupun sesudah pemeliharaan. Setelah dilakukan pemeliharaan dua tahunan, nilai tahanan kontak cenderung stabil dan mengalami sedikit penurunan pada beberapa fasa, yang menunjukkan adanya

perbaikan pada kondisi fisik dan elektris permukaan kontak.

Penurunan nilai tahanan kontak tersebut dapat dikaitkan dengan proses pembersihan, pengencangan sambungan, serta penyetelan mekanisme kontak yang dilakukan selama pemeliharaan. Permukaan kontak yang lebih bersih dan tekanan kontak yang optimal akan memperkecil hambatan transisi arus, sehingga aliran arus listrik dapat berlangsung lebih efisien. Kondisi ini berperan penting dalam meminimalkan rugi daya (power loss) serta mencegah terjadinya pemanasan berlebih (overheating) pada titik kontak, yang dalam jangka panjang dapat mempercepat degradasi material dan menurunkan umur peralatan.

Dengan demikian, hasil pengujian tahanan kontak ini mengonfirmasi bahwa pemeliharaan dua tahunan tidak hanya mempertahankan, tetapi juga meningkatkan performa elektris Circuit Breaker. Temuan ini sejalan dengan penelitian yang dilaporkan oleh Aribowo et al. [14], yang menyatakan bahwa pelaksanaan pemeliharaan terjadwal pada pemutus tenaga berkontribusi terhadap penurunan nilai tahanan kontak serta peningkatan stabilitas dan keandalan operasi sistem tenaga listrik. Konsistensi hasil penelitian ini dengan penelitian terdahulu memperkuat bahwa pengujian tahanan kontak merupakan parameter penting dalam evaluasi efektivitas pemeliharaan CB.

4.3. Tahanan Pentanahan

Tabel 4 Hasil pengukuran tahanan pentanahan

Tahanan Pentanahan	Standar	Hasil Sebelumnya	Hasil Sesudah
Terminal Pentanahan	R ≤ 1 Ω (kondisi pentanahan terlepas dari struktur)	0,4 Ω	0,3 Ω

Berdasarkan tabel 4 nilai tahanan pentanahan yang diperoleh, baik sebelum maupun sesudah pemeliharaan, berada di bawah batas maksimum 1 Ω sesuai standar IEEE Std 80:2000. Setelah pemeliharaan, nilai tahanan pentanahan mengalami penurunan dari 0,4 Ω menjadi 0,3 Ω, yang menunjukkan peningkatan efektivitas sistem pembumihan.

Penurunan nilai tahanan pentanahan ini berkontribusi langsung terhadap peningkatan keselamatan operasional peralatan dan personel, terutama dalam kondisi gangguan. Hasil tersebut menunjukkan bahwa sistem pentanahan CB masih bekerja optimal dan mendukung keandalan sistem proteksi secara keseluruhan.

4.4. Keserempakan

Tabel 5 Hasil pengukuran keserempakan Circuit Breaker

Keserempakan	Acuan	Hasil Sebelumnya (ms)			Hasil Sesudah (ms)		
		R	S	T	R	S	T
Waktu buka (Open)	$\Delta t < 10$ ms	0,7	0,5	1,2	0,4	0,2	0,6
Waktu tutup (Close)		3,6	0,9	4,5	1,1	2,3	3,4

Hasil pengujian keserempakan menunjukkan bahwa nilai selisih waktu (Δt) pembukaan dan penutupan kontak pada ketiga fasa mengalami penurunan setelah pemeliharaan dua tahunan. Nilai Δt saat operasi buka menurun dari 0,7 ms menjadi 0,4 ms, sedangkan saat operasi tutup menurun dari 3,6 ms menjadi 2,3 ms. Seluruh nilai tersebut berada jauh di bawah batas maksimum $\Delta t \leq 10$ ms sesuai spesifikasi pabrikan ABB, yang menunjukkan bahwa kinerja mekanis CB berada dalam kondisi sangat baik. Penurunan Δt ini mengindikasikan peningkatan keserempakan kontak antar fasa sehingga potensi ketidakseimbangan arus dan tegangan dapat diminimalkan. Hasil ini memperkuat temuan bahwa pemeliharaan dua tahunan mampu meningkatkan respons mekanis CB secara signifikan.

4.5. Waktu Kerja Contact

Tabel 6 Hasil pengukuran waktu kerja contact

Waktu kerja contact	Standar	Hasil sebelumnya			Hasil sesudah		
		R	S	T	R	S	T
Waktu buka	$T \leq 110$ % standar pabrikan	29,9 ms	29,2 ms	28,7 ms	30,3 ms	29,2 ms	29,7 ms
Waktu tutup		75,8 ms	72,2 ms	71,3 ms	75,3 ms	74,2 ms	71,9 ms

Pengujian waktu kerja kontak menunjukkan bahwa waktu buka dan waktu

tutup CB, baik sebelum maupun sesudah pemeliharaan, masih berada dalam batas toleransi yang ditetapkan oleh pabrikan ($T \leq 110\%$ standar). Setelah pemeliharaan, variasi waktu kerja antar fasa menjadi lebih seragam, yang menunjukkan kestabilan mekanisme penggerak CB.

Keseragaman waktu kerja kontak ini sangat penting untuk memastikan koordinasi proteksi yang optimal serta mencegah lonjakan arus atau tegangan berlebih. Dengan demikian, hasil pengujian menunjukkan bahwa pemeliharaan dua tahunan tidak hanya mempertahankan kinerja CB, tetapi juga meningkatkan konsistensi respons operasionalnya.

Secara keseluruhan, hasil pengujian menunjukkan bahwa pemeliharaan dua tahunan memberikan dampak positif terhadap keandalan Circuit Breaker 150 kV di Gardu Induk Anyer Bay Menes 1. Peningkatan keserempakan operasi, stabilitas waktu kerja kontak, serta terjaganya nilai tahanan isolasi, tahanan kontak, dan tahanan pentanahan dalam batas standar menunjukkan bahwa risiko kegagalan operasi dapat diminimalkan.

Temuan ini konsisten dengan penelitian Susanto et al. [15] dan Aribowo et al. [14], yang menegaskan bahwa pemeliharaan berkala berbasis pengujian shutdown measurement merupakan strategi efektif dalam menjaga keandalan dan kontinuitas sistem tenaga listrik tegangan tinggi. Dengan demikian, penelitian ini memperkuat bukti empiris bahwa pemeliharaan dua tahunan tidak hanya bersifat preventif, tetapi juga berperan penting dalam peningkatan kinerja jangka panjang peralatan proteksi.

5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengukuran dan analisis yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa pemeliharaan dua tahunan pada Circuit Breaker 150 kV di Gardu Induk Anyer Bay Menes 1 memberikan dampak positif terhadap peningkatan kinerja mekanis dan elektris peralatan. Penurunan nilai selisih waktu keserempakan (Δt) pada proses buka dan tutup menunjukkan peningkatan respons mekanis kontak, sementara nilai tahanan kontak dan tahanan pentanahan tetap berada dalam

batas aman sesuai standar IEC 60694 dan IEEE Std 80:2000.

Meskipun terdapat penurunan nilai tahanan isolasi pada beberapa titik pengukuran, seluruh nilai masih berada jauh di atas batas minimum standar VDE 228/4, sehingga tidak menurunkan tingkat keamanan operasi. Secara keseluruhan, hasil penelitian ini membuktikan bahwa pemeliharaan dua tahunan efektif dalam meningkatkan keandalan operasi Circuit Breaker serta menurunkan risiko kegagalan sistem tenaga listrik. Penelitian selanjutnya disarankan untuk mengembangkan analisis berbasis trending data multi-tahun dan penerapan metode condition monitoring sebagai dasar pengambilan keputusan pemeliharaan berbasis prediksi.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada tim pemeliharaan Gardu Induk Anyer dan pihak PT PLN (Persero) yang telah memberikan dukungan teknis dan akses data dalam penyelesaian penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Siswanto, R. Alfian, and E. Subyanta, "Analisis Kinerja Pms Rel 2 Bay Trafo 6 Menggunakan Thermovision Methode Di Gardu Induk Sunyaragi," *Foristek*, vol. 11, no. 2, Dec. 2021, doi: 10.54757/fs.v11i2.113.
- [2] Y. Hakimah, "Analisis Kebutuhan Energi Listrik Danprediksi Penambahan Pembangkit Listrik Di Sumatera Selatan," *Jurnal Desiminasi Teknologi*, vol. 7, no. 2, pp. 130–137, Jul. 2019, Accessed: Jan. 27, 2026. [Online]. Available: <https://www.univ-tridinanti.ac.id/ejournal/index.php/teknik/article/download/502/479>
- [3] S. M. Gunawan and J. Santosa, "Analisa Perancangan Gardu Induk Sistem Outdoor 150 kV di Tallasa, Kabupaten Takalar, Sulawesi Selatan," *JURNAL DIMENSI TEKNIK ELEKTRO*, vol. 1 No.1, pp. 37–42, 2013. Available: <https://www.academia.edu/download/82168387/341.pdf>
- [4] T. S. Novalin and R. Hidayat, "Analisis Pengujian Tahanan Kontak Disconnecting Switch atau PMS Terhadap Rugi Daya Penghantar di Gardu Induk Telukjambe," *Jurnal Elektro Luceat*, vol. 7, no. 1, Jul. 2021, doi: <https://doi.org/10.32531/jelekn.v7i1.355>.
- [5] S. Kusmiati and I. Ketut Wiryajati, "Pemeliharaan Rutin Trafo Arus (Current Transformer) di Bay Line Kuta 2 Gardu Induk 150 kV Sengkol," *JEITECH – Journal of Electrical Engineering and Information technology*, vol. 2 No.2, no. 2, Jul. 2024, doi: <https://journal.unram.ac.id/index.php/jeitech/article/view/4515>.
- [6] A. Widarma and H. Kumala, "Sistem Pendukung Keputusan Dalam Menentukan Pengguna Listrik Subsidi Dan Nonsubsidi Menggunakan Metode Fuzzy Mamdani (Studi Kasus : PT. PLN Tanjung Balai)," *Jurnal Teknologi Informasi*, vol. 2, no. 2, Dec. 2018, doi: <https://jurnal.una.ac.id/index.php/jurti/article/view/432>.
- [7] M. J. Imron and S. I. Haryudo, "Perhitungan Rating Circuit Breaker Menggunakan Software ETAP Pada Gardu Induk 150/20 KV," *Jurnal Teknik Elektro*, vol. 14, no. 1, pp. 63–69, 2025, doi: <https://doi.org/10.26740/jte.v14n1.p63-69>.
- [8] N. Soedjarwanto, K. Excellentia Kines, and S. Arif Aulia, "Analisis Tahanan Kontak Pada Pemisah (Pms) 150kv Berdasarkan Hasil Pemeliharaan Di PT. PLN (Persero) Gardu Induk Sutami," *Jurnal Teknik Ilmu dan Aplikasi*, no. 2, pp. 34–40, 2024, doi: <https://doi.org/10.33795/jtia.v5i2.4821>.
- [9] A. Pranoto, H. Tumaliang, and G. MCh Mangindaan, "Analisa Sistem Pentanahan Gardu Induk Teling Dengan Konstruksi Grid (Kisi-kisi)," *Jurnal Teknik Elektro dan Komputer*, vol. 7, no. 3, pp. 189–198, 2018, doi: <https://doi.org/10.35793/jtek.v7i3.20765>.
- [10] A. G. Firdaus and R. Hidayat, "Analisa Pengujian Kelayakan PMT 150 kV Bay Mandirancan I Berdasarkan Parameter Breaker Analyzer di Gardu Induk Sunyaragi," *Elektron : Jurnal Ilmiah*, pp. 17–24, Jun. 2021, doi: 10.30630/eji.0.0.217.
- [11] D. F. Al Fiqri, A. Situmeang, and D. Saptono, "Analisis Simulasi Pemasangan Circuit Breaker Dan Short Circuit Pada Transformator Dengan Menggunakan Aplikasi Etap," *Jurnal Ilmiah Multidisiplin*, vol. 2, no. 3, pp. 26–34, May 2023, doi: <https://doi.org/10.56127/jukim.v2i03.821>.
- [12] A. Goeritno and B. Irawan Syaputra, "Kelayakan Operasi Pemutus Tenaga (Pmt) Tegangan Ekstra Tinggi Bermedia Gas Sulphur Hexaflourite (Sf6) Berdasarkan

- Kualitas Gas, Keserempakan Titik Titik Kontak, Dan Parameter Resistans,” *JUTEKS (Jurnal Teknik Elektro dan Sains)*, pp. 1–7, 2014, Accessed: Jan. 27, 2026. [Online]. Available:
<https://www.academia.edu/download/109889394/230811409.pdf>
- [13] A. Susanto, R. Kurnianto, and M. Rajagukguk, “Analisa Kelayakan Pemutus Tenaga (Pmt) 150 Kv,” *Journal of Electrical Engineering, Energy, and Information Technology (J3EIT)*, vol. 9, 2014. Available:
<https://www.academia.edu/download/112915534/478737509.pdf>
- [14] D. Aribowo *et al.*, “Analisis Hasil Uji PMT 150kV Pada Gardu Induk Cilegon Baru BAY KS 1,” *JTEV (Jurnal Teknik Elektro dan Vokasional)*, vol. 5, pp. 59–65, 2018, Accessed: Jan. 27, 2026. [Online]. Available:
<https://pdfs.semanticscholar.org/66f1/b95169499ea62da7b795de69a07394edf351.pdf>
- [15] A. Susanto, R. Kurnianto, and M. Rajagukguk, “Analisa Kelayakan Pemutus Tenaga (Pmt) 150 Kv Berdasarkan Hasil Uji Tahanan Isolasi, Tahanan Kontak Dan Keserempakan Kontak Di Gardu Induk Singkawang,” *Journal of Electrical Engineering, Energy, and Information Technology (J3EIT)*, vol. 9, 2021, Accessed: Jan. 27, 2026. [Online]. Available:
<https://www.academia.edu/download/112915534/478737509.pdf>