



ANALISIS HASIL UJI PEMUTUS TENAGA (PMT) TRANSMISSION LINE MANDIRANCAN-PEMALANG#3 GITET 500KV MANDIRANCAN TERHADAP KEANDALAN PENYALURAN TENAGA LISTRIK

Aura Aulia¹, Dwi Sari Ida Aflaha²

Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Kahuripan Kediri

Jln. Soekarno Hatta No. 01 Pelem Pare Kediri

Email : auraauliab3@gmail.com

ABSTRAK

Transmisi tenaga listrik merupakan proses penyaluran energi listrik dari pembangkit menuju konsumen melalui jaringan antar Gardu Induk (GI). Dalam sistem ini, terdapat berbagai peralatan penting seperti Pemutus Tenaga (PMT) yang berfungsi memutus arus listrik saat berbeban. Pada jalur GITET 500 kV Mandirancan-Pemalang#3 digunakan dua PMT, yaitu 7B5 dan 7AB5. PMT dipelihara setiap dua tahun dengan pengujian seperti tahanan isolasi, tahanan kontak, keserempakan kontak, gas SF₆, visual, dan thermovisi. Hasil uji menunjukkan nilai baik: tahanan isolasi >500 MΩ, kontak <960 μΩ, keserempakan <10 ms, tekanan gas >6 bar, purity 99,99%, dew point -46 °C, dan suhu <50 °C. Meski ada indikasi penurunan fungsi, peralatan masih memenuhi standar. Saat terjadi gangguan petir, PMT terbukti andal dengan kemampuan reclose cepat (<90 ms), memastikan kontinuitas penyaluran listrik tetap terjaga.

Kata kunci: Transmisi, Pemutus Tenaga (PMT), Keandalan Penyaluran Tenaga Listrik, Gangguan Penyaluran, Pemeliharaan 2 Tahunan

ABSTRACT

Electric power transmission is the process of delivering electrical energy from generation to consumers through interconnected substations (GIs). In this system, various essential equipment are used, including Circuit Breakers (CBs), which function to interrupt electric current under load conditions. On the 500 kV Mandirancan-Pemalang#3 EHV Substation line, two CBs are used, namely 7B5 and 7AB5. These CBs undergo maintenance every two years with tests such as insulation resistance, contact resistance, contact synchronization, SF₆ gas, visual inspection, and thermovision. The test results showed good values: insulation resistance >500 MΩ, contact resistance <960 μΩ, synchronization <10 ms, gas pressure >6 bar, purity 99.99%, dew point -46 °C, and temperature <50 °C. Although there were indications of functional decline, the equipment still met the applicable standards. During a lightning disturbance, the CBs proved reliable with a fast reclose capability (<90 ms), ensuring the continuity of power transmission remained secure.

Keywords: Transmission, Circuit Breaker (CB), Transmission Line Reliability, Transmission Line Disturbance, 2 Year Routine Maintenance

Article History

Received: Januari 2026

Reviewed : Januari 2026

Published: Januari 2026

Plagiarism Checker No 235

Prefix DOI :

[10.8734/Kohesi.v1i2.365](https://doi.org/10.8734/Kohesi.v1i2.365)

Copyright : Author

Publish by : Kohesi



This work is licensed under a [Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)



PENDAHULUAN

Seiring meningkatnya pertumbuhan ekonomi, kebutuhan listrik di Indonesia juga terus bertambah. PT PLN (Persero) sebagai penyedia utama tenaga listrik memiliki tanggung jawab menjaga keandalan, kontinuitas, dan kualitas penyaluran listrik ke masyarakat. Proses transmisi listrik dilakukan dari pembangkit menuju konsumen melalui gardu induk yang berfungsi menaikkan, menurunkan, atau menjaga tegangan. Di dalam gardu induk terdapat berbagai Material Transmisi Utama (MTU), salah satunya Pemutus Tenaga (PMT) yang berfungsi memutus arus listrik saat berbeban. PMT berperan penting dalam menjaga kestabilan sistem, terutama ketika terjadi gangguan, dengan memisahkan area terganggu agar gangguan tidak meluas dan mengganggu keandalan penyaluran tenaga listrik.

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan sebelumnya [8], terhadap adanya potensi gangguan di saluran transmisi. Gangguan yang mungkin terjadi adalah hubung singkat fasa-tanah maupun fasa-fasa yang mana dapat mengganggu keseimbangan penyaluran listrik. Adapaun gangguan tersebut salah satunya dapat diakibatkan oleh petir dan mengakibatkan PMT reclose maupun final trip yang sangat dihindari dalam sistem penyaluran tenaga listrik. Agar Pemutus Tenaga (PMT) dapat bekerja secara maksimal, maka perlu dilakukan pemeliharaan secara rutin. Pemeliharaan biasanya dilakukan dalam jangka waktu 2 tahunan untuk kemudian dapat diketahui kondisi terkini dari peralatan tersebut. Pemeliharaan dilakukan dengan melakukan serangkaian pengujian kepada peralatan untuk kemudian didapatkan parameter-parameter hasil uji. Hasil uji yang telah didapatkan tersebut kemudian dibandingkan dengan standar yang berlaku. Apabila hasil uji sesuai dengan standar maka peralatan dalam kondisi baik dan dapat beroperasi kembali seperti sebelumnya. Namun jika ternyata hasil uji tidak sesuai standar, maka perlu dilakukan tindak lanjut seperti perbaikan atau penggantian peralatan.

Pembatasan Masalah Penelitian ini dibatasi pada beberapa hal, yang pertama adalah membahas hasil uji pemeliharaan dua tahunan Pemutus Tenaga (PMT) 7B5 dan 7AB5 sebagai peralatan utama pada Transmission Line Mandirancan-Pemalang#3 di GITET 500 kV Mandirancan. Selain itu adalah data hasil uji diambil dari kegiatan pemeliharaan dua tahunan sejak peralatan pertama kali beroperasi pada tahun 2022. Rumusan permasalahan dalam penelitian ini meliputi tiga hal utama, yaitu: jenis pengujian yang dilakukan selama pemeliharaan dua tahunan PMT, perbandingan hasil uji terhadap standar yang berlaku, serta pengaruh hasil uji pemeliharaan terhadap keandalan penyaluran tenaga listrik pada Transmission Line Mandirancan-Pemalang#3 GITET 500 kV Mandirancan. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui hasil pengujian pemeliharaan dua tahunan PMT, membandingkan hasil tersebut dengan standar acuan yang berlaku, dan menganalisis sejauh mana hasil pengujian tersebut memengaruhi keandalan sistem penyaluran tenaga listrik. Hasil penelitian diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai referensi ilmiah dalam memahami pentingnya kondisi kesehatan peralatan transmisi, khususnya PMT, terhadap keandalan sistem penyaluran tenaga listrik pada jaringan transmisi tegangan ekstra tinggi.

LANDASAN TEORI

Dalam sistem kelistrikan, transmisi tenaga listrik merupakan proses penyaluran daya dari pembangkitan menuju saluran distribusi hingga ke konsumen. Berdasarkan panjang salurannya, transmisi dibagi menjadi tiga jenis, yaitu: saluran jarak pendek (kurang dari 80 km), jarak menengah (80-240 km), dan jarak jauh (lebih dari 240 km). Proses penyaluran ini melibatkan berbagai peralatan utama di Gardu Induk (GI), yang berfungsi menaikkan, menurunkan, atau menjaga tegangan agar tetap stabil selama proses transmisi berlangsung.

Gardu Induk merupakan instalasi listrik yang terdiri atas bangunan dan peralatan dengan berbagai level tegangan, mulai dari Tegangan Ekstra Tinggi (TET), Tegangan Tinggi (TT), hingga Tegangan Menengah (TM). Di dalamnya terdapat berbagai Material Transmisi Utama (MTU) seperti transformator tenaga, transformator arus, transformator tegangan, pemutus tenaga (PMT), pemisah, lightning arrester, dan wave trap. Peralatan-peralatan tersebut saling



terhubung untuk mengoptimalkan penyaluran tenaga listrik, serta dikendalikan dari ruang kontrol yang dilengkapi sistem kontrol AC dan DC. Fungsi utama gardu induk antara lain:

Sebagai pusat penerimaan dan penyaluran tenaga listrik dengan kemampuan menaikkan atau menurunkan tegangan dari pembangkit ke sistem lain. Sebagai pusat pengukuran, pengawasan, dan pengamanan sistem tenaga listrik melalui pengaturan pemutusan atau penyambungan jaringan. Sebagai penghubung antar gardu induk dan gardu distribusi melalui jaringan tegangan tinggi (70 kV, 150 kV, 500 kV) dan penyulang tegangan menengah (20 kV).

Dalam kajian keandalan sistem kelistrikan, pemahaman tentang peran pemutus tenaga (PMT) dalam menjaga kestabilan sistem distribusi listrik menjadi hal yang sangat penting. Pemutus tenaga adalah salah satu perangkat yang digunakan untuk melindungi sistem kelistrikan dari gangguan yang dapat merusak komponen utama jaringan, seperti trafo, generator, dan saluran transmisi. Uji Pemutus Tenaga (PMT) merupakan salah satu cara untuk mengevaluasi sejauh mana pemutus tenaga dapat berfungsi dengan baik dalam mengatasi gangguan yang terjadi di jaringan transmisi. Uji ini dilakukan untuk memastikan bahwa pemutus tenaga dapat memutuskan aliran listrik secara cepat dan efektif apabila terjadi gangguan, sehingga mencegah kerusakan lebih lanjut pada sistem kelistrikan.

Saluran transmisi adalah bagian yang sangat vital dalam penyaluran energi listrik dari pembangkit ke konsumen. Keandalan saluran transmisi dipengaruhi oleh berbagai faktor, salah satunya adalah kinerja pemutus tenaga. Jika pemutus tenaga tidak berfungsi dengan baik, maka gangguan pada saluran transmisi dapat mengakibatkan kerusakan yang lebih besar, bahkan bisa menyebabkan pemadaman listrik yang meluas. Oleh karena itu, melakukan uji terhadap pemutus tenaga sangat penting untuk menjaga kualitas dan keandalan penyediaan tenaga listrik di wilayah yang terhubung dengan saluran transmisi tersebut.

Menurut Mulyadi dan Setyanto (2017), pemutus tenaga berfungsi sebagai alat yang dapat mendeteksi dan memutuskan aliran listrik ketika terjadi gangguan, seperti hubung singkat atau kelebihan beban, untuk melindungi komponen-komponen vital sistem kelistrikan. Selain itu, pemutus tenaga juga berfungsi untuk mengurangi risiko kerusakan yang dapat terjadi pada peralatan dan untuk meminimalkan kerugian yang timbul akibat pemadaman yang disebabkan oleh gangguan pada jaringan transmisi. Sebagai contoh, pada transmisi bertegangan tinggi seperti 500 kV, kinerja pemutus tenaga menjadi semakin kritis, mengingat besarnya daya yang mengalir dan kemungkinan dampak gangguan yang lebih besar.

Keandalan penyampaian tenaga listrik melalui saluran transmisi dapat dihitung berdasarkan beberapa indikator, salah satunya adalah frekuensi dan durasi gangguan yang terjadi. Menurut Zaini et al. (2016), analisis keandalan sistem kelistrikan dapat dilakukan dengan menghitung nilai-indikator seperti System Average Interruption Duration Index (SAIDI) dan System Average Interruption Frequency Index (SAIFI). Kedua indeks ini mengukur durasi dan frekuensi gangguan yang terjadi pada sistem distribusi listrik, yang dapat dipengaruhi oleh kinerja pemutus tenaga dalam menanggulangi gangguan.

Pengujian yang dilakukan pada sistem transmisi, seperti pada saluran transmisi Mandirancan-Pemalang#3 GITET 500kV Mandirancan, bertujuan untuk memastikan bahwa pemutus tenaga dapat berfungsi dengan optimal, mengingat pentingnya saluran ini dalam mendistribusikan listrik dari pembangkit besar ke daerah-daerah konsumen. Mengingat bahwa saluran transmisi ini memiliki peran yang sangat penting dalam sistem kelistrikan, kegagalan dalam uji pemutus tenaga akan berisiko terhadap keandalan distribusi listrik secara keseluruhan, yang dapat mengganggu berbagai sektor, terutama industri dan rumah tangga. Oleh karena itu, uji pemutus tenaga perlu dilaksanakan secara rutin untuk memastikan ketersediaan energi listrik yang dapat diandalkan, serta memperkecil kemungkinan terjadinya gangguan atau pemadaman yang tidak terduga.

Pentingnya pemahaman terhadap hasil uji pemutus tenaga juga tercermin dalam studi yang dilakukan oleh Wijaya dan Kurniawan (2018), yang menekankan bahwa pengujian rutin terhadap pemutus tenaga berperan besar dalam meningkatkan efisiensi operasional sistem kelistrikan. Mereka menyatakan bahwa pemutus tenaga yang tidak teruji dapat menyebabkan



terjadinya pemadaman listrik yang lebih lama, sehingga berisiko menurunkan kepercayaan publik terhadap keandalan penyediaan energi listrik.

Keandalan sistem kelistrikan juga sangat dipengaruhi oleh ketepatan waktu dalam melakukan pemutusan tenaga pada saat terjadi gangguan. Menurut Siregar dan Syarif (2019), untuk sistem transmisi dengan tegangan tinggi seperti 500kV, respon pemutus tenaga terhadap gangguan harus sangat cepat agar dapat meminimalkan kerusakan dan pemadaman yang meluas. Oleh karena itu, hasil uji pemutus tenaga yang dilakukan terhadap saluran transmisi seperti Mandirancan-Pemalang#3 GITET 500kV Mandirancan ini tidak hanya untuk memeriksa fungsionalitas pemutus tenaga, tetapi juga untuk memastikan bahwa pemutus tenaga beroperasi sesuai dengan standar yang ditetapkan dalam waktu yang sangat singkat.

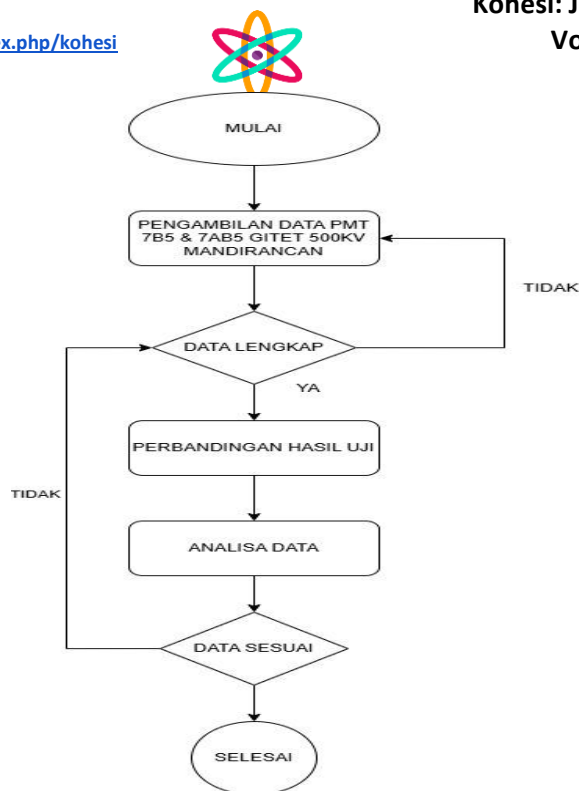
Sebagai tambahan, pemutus tenaga juga harus memiliki kemampuan untuk memutuskan aliran listrik dalam berbagai kondisi gangguan yang terjadi, baik itu gangguan berat maupun gangguan ringan. Penelitian yang dilakukan oleh Salim dan Dharma (2020) menunjukkan bahwa pengujian pemutus tenaga dalam berbagai kondisi gangguan penting dilakukan untuk mengetahui seberapa cepat dan efektif alat tersebut bekerja. Uji pemutus tenaga yang dilakukan pada saluran transmisi yang memiliki banyak beban dan pelanggan yang terhubung, seperti saluran Mandirancan-Pemalang#3, harus mampu memberikan hasil yang sesuai dengan standar yang telah ditetapkan oleh pihak berwenang. Hasil dari uji tersebut diharapkan dapat meningkatkan keandalan sistem kelistrikan secara keseluruhan, serta memberikan kepastian pasokan energi listrik yang stabil bagi masyarakat.

Secara keseluruhan, hasil uji pemutus tenaga pada saluran transmisi Mandirancan-Pemalang#3 GITET 500kV Mandirancan merupakan langkah penting untuk memastikan keandalan penyaluran tenaga listrik yang optimal. Keandalan sistem kelistrikan yang tinggi sangat bergantung pada kualitas dan kinerja komponen-komponen penting seperti pemutus tenaga, yang harus diuji secara berkala untuk memastikan tidak ada gangguan yang mengganggu aliran listrik. Dengan melakukan analisis hasil uji pemutus tenaga, maka dapat diketahui sejauh mana pemutus tenaga dapat berfungsi dengan baik, serta langkah-langkah apa saja yang perlu diperbaiki untuk meningkatkan keandalan sistem kelistrikan.

METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini dilaksanakan di Gardu Induk Tegangan Ekstra Tinggi (GITET) 500 kV Mandirancan yang berlokasi di Kabupaten Kuningan, Jawa Barat. Lokasi ini dipilih karena merupakan salah satu titik penting dalam sistem transmisi tenaga listrik, khususnya pada jalur Mandirancan-Pemalang, yang berperan strategis dalam menjaga keandalan penyaluran energi listrik di wilayah Jawa Barat dan sekitarnya. Kegiatan penelitian dilakukan pada bulan Februari 2025, dengan fokus pada hasil uji pemeliharaan dua tahunan yang dilakukan sejak peralatan mulai beroperasi pada tahun 2020.

Data yang digunakan dalam penelitian ini diperoleh dari tim pemeliharaan Unit Layanan Transmisi dan Gardu Induk (ULTG) Cirebon serta GITET 500 kV Mandirancan. Data tersebut mencakup hasil pengujian, laporan pemeliharaan, serta informasi pendukung lain yang digunakan untuk menganalisis kondisi dan performa peralatan. Studi Pustaka dilakukan dengan menelaah berbagai sumber seperti tugas akhir, skripsi, jurnal ilmiah, karya tulis teknis, majalah, dan buku-buku yang relevan dengan topik penelitian. Studi pustaka ini bertujuan untuk memperkuat dasar teori serta mendukung analisis yang dilakukan dalam penelitian. Objek penelitian difokuskan pada Material Transmisi Utama (MTU) berupa Pemutus Tenaga (PMT) 7B5 dan 7AB5, yang berfungsi sebagai peralatan utama dalam penyaluran tenaga listrik pada Transmission Line Mandirancan-Pemalang#3 di GITET 500 kV Mandirancan. Kedua PMT tersebut menjadi objek utama analisis untuk menilai kondisi keandalan peralatan berdasarkan hasil uji pemeliharaan dua tahunan. Adapun data pendukung yang digunakan meliputi Spesifikasi PMT 7B5 dan 7AB5, Single Line Diagram GITET 500kV Mandirancan serta menampilkan nameplate masing-masing PMT sebagai referensi teknis dalam proses analisis. Alur penelitian ini dapat dilihat dengan detail pada diagram yang terlihat pada gambar ini.



HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Pengujian Pada Pemutus Tenaga (PMT)

Dalam melakukan pemeliharaan rutin 2 tahunan peralatan Pemutus Tenaga (PMT), dilakukan beberapa macam pengujian untuk mengetahui apakah fungsi PMT tersebut masih baik atau memerlukan rekomendasi apabila terdeteksi terjadi pemburukan. Pengujian yang dilakukan antara lain adalah pengujian tahanan isolasi, pengujian tahanan kontak, pengujian keserempakan kontak dan pengujian coil trip.

1.1. Pengujian Tahanan Isolasi

Batasan tahanan isolasi PMT menurut standar VDE (catalogue 228/4) minimal besarnya tahanan isolasi pada suhu operasi dihitung $1\text{ kV} = 1\text{ M}\Omega$ dan kebocoran arus yang di izinkan adalah $1\text{ mA per } 1\text{ kV}$. Pada pengujian tahanan isolasi PMT 7B5 dan 7AB5 dengan spesifikasi yang identik didapat hasil sebagai berikut:

Tabel 1.1 Tabel Hasil Pengujian Tahanan Isolasi

Lokasi PMT	Titik Uji	Tegangan Uji	Hasil Pengujian ($\text{M}\Omega$)					
			Tahun 2022			Tahun 2024		
			Fasa R	Fasa S	Fasa T	Fasa R	Fasa S	Fasa T
7B5	Atas - Tanah	5kV	OL	OL	OL	OL	OL	OL
7AB5	Atas - Tanah	5kV	OL	OL	OL	OL	OL	OL

Hasil uji OL merupakan penunjukan *Over Load* nilai tersebut tidak terbaca oleh alat uji dikarenakan memiliki angka diluar batas alat uji yaitu $>1\text{ G}\Omega$. Semakin tinggi hasil tahanan isolasi maka semakin baik kondisi peralatan tersebut.

1.2. Pengujian Tahanan Kontak

Pengujian tahanan kontak mengacu pada petunjuk atau manual dari masing-masing pabrikan PMT. Nilai standar normal yang menjadi acuan yaitu $R \leq 120\%$ dari nilai pabrikan. Pada pengujian tahanan kontak PMT 7B5 dan PMT 7AB5 dengan spesifikasi identik didapatkan hasil sebagai berikut:

Tabel 1.2 Tabel Hasil Pengujian Tahanan Kontak

Lokasi PMT	Titik Uji	Hasil Pengujian ($\mu\Omega$)					
		Tahun 2022			Tahun 2024		
		Fasa R	Fasa S	Fasa T	Fasa R	Fasa S	Fasa T
PMT 7B5	Chamber 1	28.1	28,7	28.4	27.9	22.8	19.1
	Chamber 2	27.6	28	29.2	28.4	25.4	22.3



	Total	59	57.1	57.3	57.16	56.9	56.1
PMT 7AB5	Chamber 1	29.4	25.6	26.2	27.61	28.12	26.32
	Chamber 2	28.2	25.5	24.1	28.46	27.61	27.12
	Total	56.9	54.8	54.3	57.28	58.60	57.20

1.3. Pengujian Keserempakan Kontak

Pengujian keserempakan kontak merupakan pengujian kecepatan dari suatu PMT untuk membuka atau menutup apabila terjadi gangguan pada sistem tenaga listrik. Hal ini biasa disebut dengan clearing time. Apabila terjadi gangguan, PMT diharapkan dapat bekerja dengan cepat agar gangguan tersebut tidak meluas. Masing-masing rating tegangan memiliki batas clearing time-nya masing-masing. Pada pengujian keserempakan kontak PMT 7B5 dan PMT 7AB5 dengan spesifikasi identik didapatkan hasil sebagai berikut:

Tabel 1.3 Tabel Hasil Pengujian Keserempakan Kontak

Lokasi PMT	Poin Uji	Hasil Pengujian (ms)					
		Tahun 2022			Tahun 2024		
		Fasa R	Fasa S	Fasa T	Fasa R	Fasa S	Fasa T
PMT 7B5	Waktu Open PMT	21.6	21.4	20.8	21.2	21.2	20.9
	Waktu Close PMT	70.1	68.6	71.1	70.2	68.4	71.1
	Waktu O-C-O (Trip)	1221.2	1221.5	1221.0	412.3	412.8	417.8
	Waktu O-C (Reclose)	670.3	668.9	622.7	348.5	351.8	347.6
PMT 7AB5	Waktu Open PMT	21.9	22	21.3	21.5	21.6	20.8
	Waktu Close PMT	70.2	73,1	70,8	69.8	73	72.3
	Waktu O-C-O (Trip)	1221.4	1221.8	1221.2	413.5	414.7	412.6
	Waktu O-C (Reclose)	670.3	672.9	671.2	369.7	372.9	371.3

Toleransi perbedaan waktu pada pengujian keserempakan kontak PMT antara fasa R, S, T ditentukan dengan melihat nilai Δt yaitu selisih waktu tertinggi dan terendah antar fasa R, S, dan T.

1.4. Pengujian Gas SF₆

Pengujian gas SF₆ penting dilakukan karena jenis PMT yang digunakan merupakan PMT dengan gas SF₆ sebagai media pemadam busur api di dalam chambernya. Dengan demikian kualitas dari gas SF₆ diuji agar dapat ditentukan apakah gas SF₆ masih layak menjadi media isolasi. Terdapat banyak sekali parameter yang perlu di uji untuk gas SF₆ ini. Akan tetapi secara praktiknya, pengujian yang dilakukan untuk justifikasi kondisi gas SF₆ adalah pembacaan tekanan gas SF₆, *purity* (kemurnian), *dew point* (suhu dimana uap air dalam gas tersebut berubah menjadi zat cair), SO₂ (kandungan gas-gas hasil dekomposisi gas SF₆). Pada pengujian gas SF₆ PMT 7B5 dan PMT 7AB5 dengan spesifikasi identik didapatkan hasil sebagai berikut:

Tabel 1.4 Tabel Hasil Pengujian Gas SF₆

Lokasi PMT	Parameter Uji	Hasil Pengujian					
		Tahun 2022			Tahun 2024		
		R	S	T	R	S	T
PMT 7B5	Tekanan Terbaca (bar)	6.4	6.4	6.4	6.58	6.67	6.66
	Kemurnian SF ₆ (%)	-	-	-	99.99	99.99	99.99
	Dew Point (°C)	-	-	-	-46.51	-46.56	-45.30
	SO ₂ (ppmv)	-	-	-	0	0	0
PMT 7AB5	Tekanan Terbaca (bar)	6.3	6.3	6.3	6.47	6.42	6.43
	Kemurnian SF ₆ (%)	-	-	-	99.99	99.99	99.99
	Dew Point (°C)	-	-	-	-43.82	-44.50	-44.01
	SO ₂ (ppmv)	-	-	-	0	0	0

Pada pengujian di tahun 2022, tidak terdapat nilai kemurnian SF₆, Dew Point, dan SO₂ dikarenakan alat pengujian Gas SF₆ ini baru diadakan pada tahun 2023. Sedangkan nilai-nilai tersebut tidak dapat hanya dilihat/dirasakan dengan indera manusia.



1.5. Pengujian Visual

Pengujian visual dilakukan dengan panca indera untuk memeriksa kondisi fisik peralatan PMT, meliputi kekencangan mur/baut, kebersihan isolator, box mekanik, chamber, koneksi kabel, dan pentanahan. Juga diperhatikan adanya bau gosong, asap, atau minyak sebagai tanda awal kerusakan. Apabila terdeteksi ada bau, maka ada indikasi peralatan bermasalah minor yang apabila tidak segera ditangani akan dapat menjadi masalah besar kedepannya.

1.6. Pengujian Thermovisi

Pengujian thermovisi merupakan bagian dari pengujian visual peralatan dan dilakukan dengan menggunakan alat bantu yaitu *thermo gun*. Bagian-bagian yang diukur pada saat thermovisi ini adalah terminal penghubung PMT dengan peralatan lain, konduktor penghubung PMT dengan peralatan lain, dan *body* PMT itu sendiri yang meliputi *chamber* dan *isolator support*. Pada pengujian thermovisi ini yang diperhatikan adalah Δt atau perbandingan suhu berdasarkan standar yang berlaku.

Tabel 1.5 Tabel Hasil Pengujian Visual

okasi PMT	Parameter Uji	Hasil Pengujian (Δt)					
		Tahun 2022			Tahun 2022		
		Fasa R	Fasa S	Fasa T	Fasa R	Fasa S	Fasa T
PMT 7B5	Terminal arah CT	-	-	-	4,1	1,8	2,7
	Terminal arah PMS	-	-	-	2,1	2,2	1,4
	Body PMT	-	-	-	0,5	0,5	0,5
PMT 7AB5	Terminal arah CT	-	-	-	5	2	2
	Terminal arah PMS	-	-	-	5	5	5
	Body PMT	-	-	-	0	0	0

Pada tahun 2022 pengujian thermovisi dilaporkan dengan menggunakan *file excel* dan dikirim ke induk sehingga tidak tercatat dalam web pemantauan hasil uji perlatan. Suhu peralatan untuk beroperasi normal adalah $<50^{\circ}\text{C}$ dan apabila suhu melebihi, maka terdapat indikasi kekendoran baut maupun peralatan tersebut kotor.

2. Perbandingan Hasil Uji dengan Standar yang Berlaku

Standar yang berlaku adalah standar yang digunakan dalam mengevaluasi hasil pemeliharaan untuk dapat menentukan kondisi peralatan PMT yang dipelihara. Standar yang digunakan berpedoman pada IEC, IEEE, CIGRE, ANSI, SPLN, SNI, dll. Antar pabrikan PMT dapat memiliki petunjuk manualnya masing-masing. Akan tetapi, jika tidak ditemukan pada petunjuk manualnya, maka dapat mengacu pada standar internasional lainnya.

2.1. Pengujian Tahanan Isolasi

Menurut standar VDE (catalogue 228/4) besar tahanan isolasi pada suhu operasi normal adalah $1\text{M}\Omega$ per 1kV nya. Dengan rating tegangan sistem 500kV , maka minimal hasil tahanan isolasinya adalah $500\text{M}\Omega$. Maka dari hasil uji pemeliharaan 2 tahunan yang telah dilakukan dengan standar yang digunakan adalah sebagai berikut:

Tabel 1.6 Tabel Hasil Perbandingan Pengujian Tahanan Isolasi dengan Standar yang Berlaku

Lokasi PMT	Titik Uji	Standar	Hasil Pengujian ($\text{M}\Omega$)					
			Tahun 2022			Tahun 2024		
			Fasa R	Fasa S	Fasa T	Fasa R	Fasa S	Fasa T
7B5	Atas - Tanah	$500\text{M}\Omega$	OL	OL	OL	OL	OL	OL
7AB5	Atas - Tanah	$500\text{M}\Omega$	OL	OL	OL	OL	OL	OL

OL disini menunjukkan bahwa hasil ukur melebihi kemampuan baca alat ukur. Batas maksimal yang mampu dibaca oleh alat ukur adalah $1\text{G}\Omega$. Maka dari itu, dengan hasil uji menunjukkan OL maka nilai tahanan isolasi peralatan adalah $>1\text{G}\Omega$ dan masuk kategori sangat baik.

2.2. Pengujian Tahanan Kontak

Nilai standar normal yang menjadi acuan yaitu $R \leq 120\%$ nilai pabrikan atau nilai pengujian FAT, nilai saat pengujian komisioning. Menurut data yang di dapat dari nameplate peralatan, nilai R atau *resistor of closing pole* adalah senilai 800Ω . Dengan demikian, PMT dinyatakan



berkondisi baik apabila hasil ujinya $\leq 960\Omega$. Hasil uji tahanan kontak memenuhi standar yaitu bernilai $\leq 960\Omega$. Akan tetapi, dari data tersebut dapat diketahui bahwasanya dalam kurun waktu 2 tahun, terdapat pertambahan nilai R yang mana menandakan terdapat indikasi penurunan kualitas dari PMT walaupun hasil ujinya dinyatakan baik.

2.3. Pengujian Keserempakan Kontak

Pada penelitian ini berfokus pada sistem dengan rating tegangan 500kV sehingga *clearing time* yang diperlukan PMT adalah kurang dari 90ms menurut standar SPLN No.42-1 1993. Di sisi lain, terdapat kemungkinan bahwasanya ketiga fasa tidak bekerja secara bersamaan. Maka dengan demikian, sesuai dengan yang diatur pada SPLN No.42-1 1993 Δt atau selisih waktu tertinggi dan terendah antar fasa adalah $\leq 10\text{ms}$.

Tabel 1.8 Tabel Hasil Perbandingan Pengujian Keserempakan Kontak dengan Standar yang Berlaku

Lokasi PMT	Poin Uji	Standar	Hasil Pengujian (ms)							
			Tahun 2022				Tahun 2024			
			Fasa R	Fasa S	Fasa T	Δt	Fasa R	Fasa S	Fasa T	Δt
PMT 7B5	Waktu Open PMT	Δt waktu tertinggi dan terendah antar fasa $< 10\text{ms}$	21.6	21.4	20.8	0.8	21.2	21.2	20.9	0.3
	Waktu Close PMT		70.1	68.6	71.1	2.5	70.2	68.4	71.1	2.7
	Waktu O-C-O (Trip)		1221.2	1221.5	1221.0	0.3	412.3	412.8	417.8	5.5
	Waktu O-C (Reclose)		670.3	668.9	622.7	47.6	348.5	351.8	347.6	4.2
PMT 7AB5	Waktu Open PMT		21.9	22	21.3	0.7	21.5	21.6	20.8	0.8
	Waktu Close PMT		70.2	73,1	70,8	2.9	69.8	73	72.3	3.2
	Waktu O-C-O (Trip)		1221.4	1221.8	1221.2	0.6	413.5	414.7	412.6	2.1
	Waktu O-C (Reclose)		670.3	672.9	671.2	0.9	369.7	372.9	371.3	3.2

Terdapat dua parameter yang perlu diperhatikan dalam pengujian ini yaitu waktu untuk open dan/atau close dengan standar $< 90\text{ms}$ serta selisih waktu antar fasa $< 10\text{ms}$. Dari pengujian yang telah dilakukan, di dapatkan bawasanya waktu yang dibutuhkan masing-masing fasa pada kedua PMT kurang dari 90ms dan selisih waktunya kurang dari 10ms. Akan tetapi, diketahui pula bahwasanya nilai selisih antar fasa tersebut dalam jarak waktu 2 tahun mengalami peningkatan Δt . Meskipun dengan peningkatan tersebut masih dalam nilai aman karena berada di bawah 10ms, hal ini menunjukkan adanya indikasi menurunnya kinerja PMT.

2.4. Pengujian Gas SF₆

Pengujian Gas SF₆ dilakukan untuk mengamati beberapa parameter. Standar nilai kualitas Gas SF₆ yang digunakan mengacu pada standar IEC 376.

Tabel 1.9 Tabel Hasil Perbandingan Pengujian Gas SF₆ dengan Standar yang Berlaku

Lokasi PMT	Parameter Uji	Standar	Hasil Pengujian					
			Tahun 2022			Tahun 2024		
			R	S	T	R	S	T
PMT 7B5	Tekanan Terbaca (bar)	6	6.4	6.4	6.4	6.58	6.67	6.66
	Kemurnian SF ₆ (%)	> 97	-	-	-	99.99	99.99	99.99
	Dew Point ($^{\circ}\text{C}$)	-5	-	-	-	-46.51	-46.56	-45.30
	SO ₂ (ppmv)	< 2000	-	-	-	0	0	0
PMT 7AB5	Tekanan Terbaca (bar)	6	6.3	6.3	6.3	6.47	6.42	6.43
	Kemurnian SF ₆ (%)	> 97	-	-	-	99.99	99.99	99.99



	Dew Point (°C)	-5	-	-	-	-43.82	-44.50	-44.01
	SO ₂ (ppmv)	<2000	-	-	-	0	0	0

Hasil pengujian menunjukkan bahwa data yang dapat diamati hanya tahun 2024 karena peralatan pengukur baru tersedia sejak 2023. Pengamatan dengan panca indera hanya dapat dilakukan pada tekanan gas SF₆ melalui manometer pada PMT. Tekanan normal sesuai nameplate pabrikan adalah 6 bar. Kemurnian gas SF₆ idealnya 100%, namun secara praktis minimum 97% karena kontaminasi. Hasil uji menunjukkan kemurnian 99,99%, menandakan kondisi sangat baik. Parameter lain yang diuji adalah *dew point*, yaitu suhu saat uap air mengembun menjadi cairan. Agar tidak terkondensasi, suhu maksimum SF₆ adalah -5°C. Hasil uji menunjukkan suhu di bawah -5°C, berarti kondisi gas baik. Selain itu, diukur pula kadar gas SO₂ sebagai hasil dekomposisi SF₆ akibat suhu tinggi dari *arching* selama operasi buka-tutup PMT. Kadar SO₂ yang tinggi dapat menyebabkan korosi pada peralatan. Dari hasil pengujian, kadar SO₂ terdeteksi <2000 ppmv dan hasilnya menunjukkan 0 ppmv, artinya tidak terdapat gas SO₂ dalam SF₆. Secara keseluruhan, hasil pengujian tahun 2024 menunjukkan kondisi gas SF₆ dalam PMT masih sangat baik dan aman digunakan.

2.5. Pengujian Visual

Pengujian visual dilakukan dengan menggunakan indera penglihatan, indera penciuman, dan indera pendengaran dan indera peraba. Kondisi peralatan penyaluran harus dalam kondisi normal dan kondisi semua sambungannya baik. Dari hasil pengujian visual yang telah dilakukan, kondisi peralatan PMT dalam kondisi yang normal dan baik. Untung kekencangan mur dan baut penyambungannya juga masih rapat serta *grounding* peralatan dalam kondisi normal. Dengan ini peralatan dapat bekerja dengan baik sesuai dengan fungsinya.

2.6. Pengujian Thermovisi

Sesuai dengan standar NETA MTS-1997, standar perbandingan suhu adalah ≤ 15 untuk klem dengan konduktor dan ≤ 30 untuk body antar fasa. Dari pemeliharaan rutin 2 tahunan dan dibandingkan dengan standar yang berlaku didapat hasil sebagai berikut: Tabel 4.10 Tabel Hasil Perbandingan Pengujian Thermovisi dengan Standar yang Berlaku

Lokasi PMT	Parameter Uji	Standar	Hasil Pengujian (Δt)					
			Tahun 2022			Tahun 2022		
			Fasa R	Fasa S	Fasa T	Fasa R	Fasa S	Fasa T
PMT 7B5	Terminal arah CT	≤ 15	-	-	-	4,1	1,8	2,7
	Terminal arah PMS	≤ 15	-	-	-	2,1	2,2	1,4
	Body PMT	≤ 30	-	-	-	0,5	0,5	0,5
PMT 7AB5	Terminal arah CT	≤ 15	-	-	-	5	2	2
	Terminal arah PMS	≤ 15	-	-	-	5	5	5
	Body PMT	≤ 30	-	-	-	0	0	0

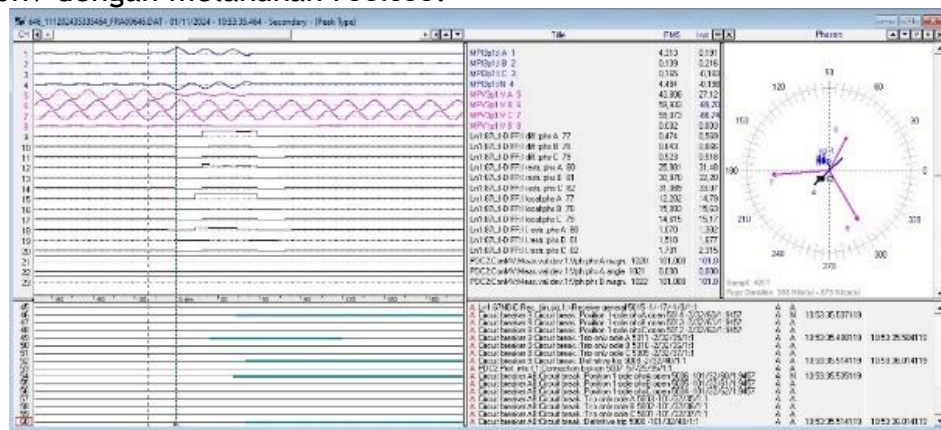
Dari hasil pengujian thermovisi diatas, dapat disimpulkan bahwa kondisi PMT dalam keadaan baik. Perbandingan suhu klem dengan konduktor kurang dari 15°C dan perbandingan body antar fasa adalah kurang dari 30°C yang mana memenuhi standar yang ada. Di sisi lain, dalam keadaan beroperasi normal, dan suhu lingkungan yang konsisten, peralatan dapat beroperasi optimal apabila suhunya berada dibawah 50°C. Apabila suhu berada pada lebih dari 50°C maka terdapat dua kemungkinan yang terjadi pada sistem penyaluran. Kemungkinan pertama adalah beban penyaluran yang cukup tinggi sehingga konduktor dan peralatan menjadi panas dan kemungkinan kedua adalah adanya permasalahan pada peralatan seperti klem konduktor kendor, klem konduktor kotor, isolator pada chamber pecah atau bocor, dan kemungkinan lainnya.

2.7. Pengaruh Hasil Uji Pemeliharaan 2 Tahunan dengan Kinerja PMT

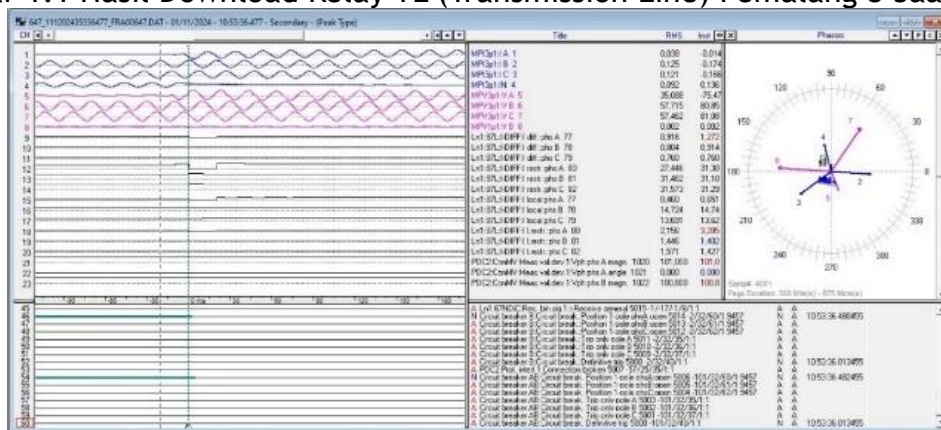
Pada tanggal 1 November 2024 terdapat sebuah gangguan akibat petir pada jalur penyaluran Mandirancan - Pernalang. Gangguan petir merupakan salah satu dari gangguan temporer,



sehingga PMT atau Pemutus Tenaga sebagai peralatan transmisi utama mengamankan sistem kelistrikan 500kV dengan melakukan *reclose*.



Gambar 1.1 Hasil Download Relay TL (Transmission Line) Pemalang 3 Saat PMT Open



Gambar 1.2 Hasil Download Relay TL (Transmission Line) Pemalang 3 Saat PMT Close

Gambar 1.1 dan 1.2 merupakan hasil download rekaman gangguan pada relay pengantar atau *Transmission Line* Pemalang 3. Dari hasil tersebut dapat diketahui bahwasanya PMT 7B5 dan PMT 7AB5 bekerja sebagaimana fungsinya untuk melakukan *open-close* atau *reclose* ketika terjadi gangguan temporer. Gangguan petir ini mengakibatkan gangguan fasa-tanah lebih tepatnya fasa R.

KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa pemeliharaan rutin dua tahunan pada PMT 7B5 dan 7AB5 meliputi pengujian tahanan isolasi, tahanan kontak, keserempakan kontak, gas SF₆, visual, dan thermovisi. Setelah dilakukan perbandingan antara hasil uji tahun 2022 dan 2024 dengan standar yang berlaku, diperoleh bahwa kondisi kedua PMT masih berfungsi dengan baik dan sesuai standar operasional. Secara keseluruhan, PMT 7B5 dan 7AB5 mampu bekerja dengan andal dalam mengamankan penyaluran tenaga listrik pada jalur Mandirancan-Pemalang, terbukti dari kemampuannya mencegah terjadinya gangguan yang berpotensi menyebabkan padam listrik.

Sebagai tindak lanjut, disarankan agar indikasi penurunan fungsi PMT dapat diminimalkan melalui pembersihan rutin pada body PMT dan klem penghubung antarperalatan transmisi, karena akumulasi polutan dapat memengaruhi hasil pengujian. Selain itu, pemeriksaan koneksi kabel dan tingkat kekencangannya perlu dilakukan secara berkala untuk menjaga nilai keserempakan kontak tetap optimal sehingga perintah dari sistem proteksi dapat diterima dan dieksekusi dengan lebih cepat serta akurat.

**DAFTAR REFERENSI**

- PT. PLN (Persero), “Buku Panduan Pemutus Tenaga”, Buku Pedoman Pemeliharaan, No. 0520-2.K/DIR. PT PLN (Persero), 2010
- PT. PLN (Persero), “Buku Panduan Gas Insulated Substation”, Buku Pedoman Pemeliharaan, No. 0520-2.K/DIR. PT PLN (Persero), 2010
- Novendry Tenda, Lily S. Patras, ST., MT., Ir. Hans Tumaliang, MT., “Penyusutan Daya Listrik Pada Penyulang Jaringan Transmisi Isimu Marisa”, E-Journal Teknik Elektro dan Komputer vol. 5 no. 1 Januari-Maret 2016, ISSN : 2301-8402, 2016
- Irawan Denny, “KLASIFIKASI GANGGUAN PADA SALURAN TRANSMISI MENGGUNAKAN JARINGAN SYARAF TIRUAN METODE KOHONEN”, Jurnal Teknik Elektro & Informatika, ISSN 1234 - 5678
- Buku Pemeliharaan Peralatan SE.032/PST/1984
- Milad Diansyah, “Analisa Spar Dan Tpar Terhadap Kegagalan Relai Auto recloser Pada Sutt Depok-Cawang 2,” 2021
- PT. PLN (Persero), “Buku OPHARGI PUSDIKLAT”, Buku Operasi dan Pemeliharaan Gardu Induk, 2009
- Mubarok Ahmad, Fitrianto Hariadi, Edwar Khairizvan, “Analisis Statistik Gangguan Akibat Sambaran Petir yang Terjadi pada Saluran Transmisi Di PLN Unit Pelaksana Transmisi (UPT) Semarang”, Jurnal Institut Teknologi PLN, ISSN 2598-2494, 2023
- Anwar, B., Penentuan Hot Point dengan Menggunakan Metode Thermovisi pada Gardu Induk 150kV Purwodadi, Universitas Muhammadiyah Surakarta, 2019
- Mulyadi, A., & Setyanto, S. (2017). *Pengujian Pemutus Tenaga dalam Sistem Kelistrikan*. Jurnal Teknologi Elektro, 12(1), 15-22.
- Zaini, S., Yusuf, M., & Azhari, S. (2016). *Keandalan Sistem Kelistrikan: Indikator dan Analisis Gangguan*. Jurnal Energi, 5(3), 235-245.
- Wijaya, F., & Kurniawan, R. (2018). *Pengujian dan Evaluasi Kinerja Pemutus Tenaga dalam Sistem Transmisi*. Jurnal Teknik Listrik, 11(2), 101-113.