

STUDI PENGUJIAN KESEREMPAKAN PEMUTUS TENAGA (PMT) 150 KV MENGUNAKAN *BREAKER ANALYZER* DI GARDU INDUK

Edi Suhardi Rahman¹, Muhammad Yusuf Mappede², Hasrul³

¹Program Studi Pendidikan Teknik Elektro, Universitas Negeri Makassar
edisuhardi@unm.ac.id

²Program Studi Pendidikan Teknik Elektro, Universitas Negeri Makassar
muh.yusuf.mappede@unm.ac.id

³Program Studi Pendidikan Teknik Elektro, Universitas Negeri Makassar
hasrulkakri@unm.ac.id

ABSTRAK

Penelitian ini adalah penelitian deskriptif kuantitatif yang bertujuan untuk mengetahui keserempakan pemutus tenaga (PMT) 150 kV di gardu Induk Jeneponto. Dalam penelitian ini dilakukan pengujian pada kontak PMT 150 kV *bay line* Jeneponto-Punagaya #2 dengan mengukur keserempakan waktu kerja kontak *open* dan *close* menggunakan alat ukur *Breaker Analyzer*. Pengujian yang dilakukan pada pemeliharaan 2 tahunan yaitu pada tahun 2020 dan 2022. Standar SPLN NO.52-1 1984 waktu maksimum membuka dan menutup kontak PMT untuk sistem 150 kV tidak melebihi 120 ms. Dimana hasil pengujian keserempakan yang dihasilkan menggunakan *breaker analyzer* masih dalam batas standar PLN. Kemudian untuk hasil pengujian selisih waktu pada tahun 2020 dan 2022 juga sudah sesuai dengan standar PLN yaitu dengan selisih waktu kontak <10 ms, maka dinyatakan PMT 150 kV di Gardu Induk Jeneponto tersebut masih layak untuk digunakan. Apabila selisih waktu PMT 150 kV tidak sesuai dengan standar, salah satu penyebabnya adalah motor yang terdapat pada box kontrol PMT di kontak salah satu fasa melakukan pengisian dengan waktu pengisian motor yang lebih cepat dari kedua motor pada fasa lainnya, sehingga otomatis kekuatan mekanik penggerak dari *spring* (pegas) yang dimiliki oleh kontak PMT pada salah satu fasa ketika menutup kontakannya menjadi lebih kuat daripada kedua kontak pada fasa lainnya. Mengatasi permasalahan tersebut, direkomendasikan untuk melakukan penyetelan pada *moving contact* yang dimiliki oleh PMT 150 kV tersebut.

Kata Kunci: Pemutus Tenaga, Keserempakan, *Breaker Analyzer*

STUDY OF SYSTEMS TESTING OF POWER BREAKERS (PMT) 150 kV USING BREAKER ANALYZER AT JENEPONTO SUBSTANCES

ABSTRACT

This research is a quantitative descriptive study that aims to determine the Synchronously power breaker (PMT) 150 kV at the Jeneponto substation. Therefore, the reliability of this PMT must always be maintained. In this study, two tests were conducted on the contact PMT 150 kV bay line Jeneponto-Punagaya #2 by measuring the Synchronously working time of the open and closed contacts using a Breaker Analyzer. Tests carried out on 2-year maintenance, namely in 2020 and 2022. SPLN Standard NO.52-1 1984 The maximum time for opening and closing PMT contacts for a 150 kV system does not exceed 120 ms. Where the results of the synchronously test produced using the breaker analyzer are still within PLN's standard limits. Then the test results for the difference in time in 2020 and 2022 are also in accordance with PLN standards, namely with a contact time difference of <10 ms, it is stated that the 150 kV PMT at the Jeneponto Substation is still feasible to use. If the 150 kV PMT time difference is not in accordance with the standard, one of the reasons is that the motor in the PMT control box is in contact with one of the phases charging with a faster motor charging time than the two motors in the other phases, so that the mechanical force of the spring is automatically driven (spring) owned by the PMT contact on one of the phases when closing the contact becomes stronger than the two contacts on the other phase. Overcoming this problem, it is recommended to make adjustments to the moving contact owned by the PMT 150 kV.

Keyword: Circuit Breaker, Synchronously, Breaker Analyzer

PENDAHULUAN

Gardu induk merupakan bagian dari sistem kelistrikan yang ada di Gardu Induk Jenepono yang berfungsi mentransformasikan daya listrik. Gardu induk mempunyai peralatan-peralatan sebagai pendukung kinerjanya. Untuk tetap menjaga keandalan peralatan-peralatan tersebut, perlu adanya pemeliharaan secara berkala. Pemeliharaan merupakan salah satu hal terpenting yang harus diperhatikan dalam pengoperasian sistem transmisi tenaga listrik. Hal tersebut akan membuat kebutuhan energi listrik ke konsumen akan terlayani dengan baik, selain itu harga peralatan sistem tenaga listrik yang mahal mendorong perlunya pemeliharaan secara berkala. Salah satu peralatan yang dilakukan pemeliharaan rutin yaitu pemutus tenaga (PMT).

Pemutus tenaga merupakan saklar mekanis yang dirancang untuk melihat kondisi dan titik kerusakan pada gardu induk. PMT akan bekerja saat terjadi gangguan, PMT akan membuka (*open*) saat terjadi gangguan hubung singkat pada sistem transmisi di gardu induk [1]. PMT mempunyai peran yang sangat penting dalam sistem di gardu induk, karena PMT merupakan peralatan yang akan memutus arus beban saat adanya gangguan. Apabila PMT tidak dapat bekerja saat adanya gangguan maka akan menyebabkan kerusakan pada peralatan lain. Dengan demikian, diharapkan adanya pemeliharaan secara berkala dapat membuat peralatan listrik bekerja lebih lama dengan performa maksimal, sehingga pelayanan terhadap konsumen tetap terjaga dengan baik.

Pemeliharaan pemutus tenaga diperlukan karena pentingnya peralatan tersebut untuk memutus dan mengalirkan tenaga listrik serta untuk perlindungan terhadap peralatan lainnya. Terputusnya sistem transmisi tenaga listrik dan kerusakan peralatan dapat terjadi jika pemutus tenaga gagal beroperasi karena kurangnya pemeliharaan preventif. Pemeliharaan PMT dilakukan dengan melakukan pengujian terhadap semua komponen yang ada di pemutus tenaga diantaranya adalah melakukan pengujian terhadap tahanan isolasi, tahanan kontak, tahanan pentanahan dan keserempakan kontak PMT [2].

Apabila PMT sedang bermasalah dan kebetulan terjadi gangguan di sistem transmisinya, peralatan lainnya yang terdapat di dalam sebuah bay *line* tersebut dapat terkena dampak dari arus berlebih yang dihasilkan sehingga dapat menyebabkan kerusakan pada peralatan tersebut. Rusaknya peralatan dalam sebuah Gardu Induk tentunya dapat menyebabkan penyaluran dan distribusi tenaga listrik terganggu, dengan demikian PMT ini sangat

penting untuk dirawat dan dipelihara secara rutin dengan cara melakukan serangkaian pengujian untuk menentukan kelayakan operasi kerja dari PMT tersebut, berdasarkan dari beberapa parameter pengujian yang dilakukan pada tanggal 10 Agustus 2021 sesuai dengan standar yang telah ditentukan.

Berdasarkan hasil wawancara yang telah dilakukan dengan karyawan bernama Putra Syawal Keandre pada tanggal 15 Juni 2022 di Unit Layanan Transmisi & Gardu Induk (ULTG) Jenepono, bahwa keserempakan pemutus tenaga memiliki standar selisih waktu yang diizinkan adalah <10 ms. Jika PMT tidak serempak, maka dapat menjadi suatu gangguan didalam sistem tenaga listrik dan menyebabkan sistem proteksi bekerja. Standar SPLN NO.52-1 1984 waktu maksimum membuka dan menutup kontak PMT untuk sistem 150 kV selama 120 ms. Waktu kerja kontak PMT pada saat *Open* lebih cepat daripada waktu kerja PMT pada saat *close*. Kemudian untuk keserempakan kontak dapat dihitung dengan membandingkan selisih nilai tertinggi dengan nilai terendah. Ketika suatu PMT mengalami kasus selisih waktu kerja kontak PMT pada saat *close* sebesar 12 ms melebihi batas standar yang ditentukan yaitu 10 ms, maka keserempakan PMT dinyatakan jelek atau tidak sesuai dengan standar yang telah ditetapkan.

Hal tersebut tentunya harus dilakukan perawatan yang dilakukan secara terus-menerus agar tetap terjaga dengan baik keserempakan PMT. Jika terdapat nilai yang tidak memenuhi standar yang ditentukan, perbaikan dapat dilakukan dengan melakukan beberapa pemeriksaan, diantaranya adalah pemeriksaan tegangan kerja, pemeriksaan koil, pemeriksaan *auxillary contact*/kontaktor, penggantian *part* mekanik yang rusak, pemeriksaan roda penggerak dan perbaikan mekanik penggerak[2]. Perbedaan selisih waktu yang terlalu lama akan mengakibatkan adanya lonjakan arus maupun tegangan pada fasa lainnya yang akan menyebabkan rusaknya peralatan lain yang terhubung pada PMT tersebut. Pemeliharaan secara berkala dengan melakukan pengujian keserempakan kontak PMT sangat diperlukan agar PMT dapat bekerja secara serempak dan dalam waktu yang cepat, sehingga kerusakan peralatan yang disebabkan tidak serempaknya PMT saat menutup (*close*) maupun membuka (*open*) dapat diminimlaiser [3].

Berdasarkan uraian tersebut, maka peneliti tertarik melakukan penelitian pada Gardu Induk Jenepono dengan mengambil judul penelitian “Studi Pengujian Keserempakan PMT 150 kV menggunakan *Breaker Analyzer* di Gardu Induk Jenepono”.

METODE PENELITIAN

A. Jenis Penelitian

Jenis penelitian yang digunakan pada penelitian ini adalah penelitian deskriptif dengan pendekatan kuantitatif. Tujuan penelitian deskriptif dengan pendekatan kuantitatif ini adalah untuk membuat gambaran atau deskriptif tentang suatu keadaan secara objektif yang menggunakan angka, mulai dari pengumpulan data, penafsiran terhadap data tersebut serta penampilan dan hasilnya. Penelitian ini memberikan gambaran tentang waktu keserempakan kontak pada pemutus tenaga (PMT) di Gardu Induk Jenepono.

B. Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian dilaksanakan di Gardu Induk Jenepono yang berlokasi di Jl. Poros Bantaeng-Jenepono Kalumpang Loe, Arungkeke, Kab. Jenepono, Sulawesi Selatan. Penelitian dilaksanakan mulai September 2022.

C. Objek Penelitian

Objek pada penelitian ini adalah Pemutus Tenaga (PMT) menggunakan *Breaker Analyzer* di Gardu Induk Jenepono.

D. Variabel Penelitian

Variabel merupakan indikator penting yang menentukan keberhasilan penelitian, sebab variabel penelitian menjadi titik perhatian dalam suatu penelitian. Variabel dalam penelitian ini adalah Pengujian Keserempakan Pemutus Tenaga (PMT) dengan menghitung selisih waktu (*delta time*) pemutus tenaga saat *Close Time* dan *Open Time*.

E. Definisi Operasional Variabel

Pengujian Keserempakan Pemutus Tenaga (PMT) merupakan kegiatan untuk mengetahui keserempakan saat *Open/Close* dengan menghitung selisih waktu (*delta time*) kerja kontak pada pemutus tenaga (PMT) yang bekerja pada saat terjadi trip secara serentak yang akan menyebabkan gangguan pada sistem yang ada di gardu induk.

F. Teknik Pengumpulan Data

Teknik pengumpulan data yang digunakan dalam penelitian adalah sebagai berikut:

1. Wawancara

Wawancara yaitu salah satu teknik pengumpulan data yang dilakukan oleh peneliti untuk memperoleh informasi tentang pengujian keserempakan pemutus tenaga (PMT) menggunakan *breaker analyzer* di Gardu Induk Jenepono dengan jalan mengadakan komunikasi dan tanya jawab dengan orang yang berkompeten dengan objek penelitian.

2. Dokumentasi

Dokumentasi dilakukan sebagai teknik pengumpulan data dengan menghimpun dan menganalisis dokumen-dokumen, baik tertulis, gambar maupun elektronik. Metode dokumentasi adalah metode pengumpulan data mengenai hal-hal atau variasi yang berupa catatan, buku, agenda dan sebagainya. Metode ini digunakan sebagai pendukung dalam melakukan penelitian yaitu memperoleh data keserempakan PMT melalui alat ukur *breaker analyzer* pada gardu induk Jenepono. Adapun dokumentasi data yang diperlukan adalah *single line* diagram GI Jenepono, Spesifikasi PMT yang diuji, hasil pengujian keserempakan, dan instruksi kerja pengoperasian penganalisa PMT menggunakan ISA CBA 1000.

G. Instrumen Penelitian

1. Wawancara

Pengumpulan data dengan cara wawancara menggunakan instrumen sebagai pedoman untuk memperoleh data hasil wawancara dari Supervisor sebagai narasumber. Kisi-kisi instrumen lembar wawancara dapat digambarkan sebagai berikut:

TABEL 1. KISI-KISI INSTRUMEN WAWANCARA

Variabel	Sub Variabel	Nomor	Jumlah
		Butir Item	Butir Item
GI Jenepono	Pemutus Tenaga (PMT)	1,2,3	3
	Keserempakan PMT	4,5,6,7	4
	<i>Breaker Analyzer</i>	8,9,10	3
Jumlah			10

2. Dokumentasi

Teknik ini bertujuan untuk memperoleh data langsung dari tempat penelitian meliputi hasil pengukuran keserempakan PMT di Gardu Induk Jenepono serta dokumen yang berkaitan dengan pengujian PMT 150 kV khususnya pada pengujian keserempakan. Berikut paduan yang akan digunakan:

TABEL 2. KISI-KISI PADUAN DOKUMENTASI

No.	Dokumentasi yang dibutuhkan	Jumlah Item
1.	<i>Single Line</i> Diagram GI Jenepono	1
2.	Instruksi Kerja Pengoperasian Penganalisa PMT Menggunakan ISA CBA 1000	1
3.	Spesifikasi PMT yang diuji	1
4.	Hasil Pengujian Keserempakan PMT 150 kV	2
Jumlah		5

H. Teknik Analisis Data

Teknik analisis data yang digunakan adalah dengan cara membandingkan hasil uji dengan standar yang tertera dengan menggunakan rumus pada persamaan yang sudah ditetapkan pada buku PLN pedoman pemeliharaan PMT. Analisis perhitungan tahanan isolasi menggunakan rumus persamaan (1), analisis perhitungan tahanan kontak menggunakan rumus pada persamaan (2), dan analisis perhitungan keserempakan kontak menggunakan rumus pada persamaan (3) [4].

$$I = \frac{V}{R} \quad (1)$$

Keterangan:

I = Arus (mA)

V = Tegangan (V)

R = Tahanan (Ω)

$$W = I^2 \times R \quad (2)$$

Keterangan :

W = Daya (Watt)

I = Arus (mA)

R = Tahanan (Ω)

$$\Delta t = t_{maks} - t_{min} \quad (3)$$

Keterangan:

Δt = selisih waktu

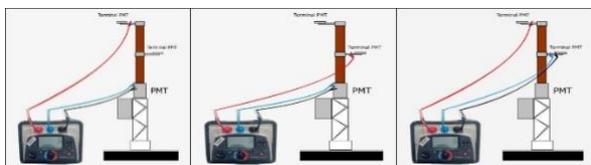
t_{maks} = waktu tertinggi

t_{min} = waktu terendah

I. Langkah Kerja Pengujian PMT 150 Kv

1. Pengujian Tahanan Isolasi

Pengukuran tahanan isolasi dilaksanakan guna mengukur berapa nilai kebocoran arus yang terjadi. Batasan tahanan isolasi ialah 1 KV sebesar 1 M Ω , arus bocor yang diperbolehkan setiap 1 KV sebesar 1 mA. Berikut merupakan proses pengukuran tahanan isolasi [5].



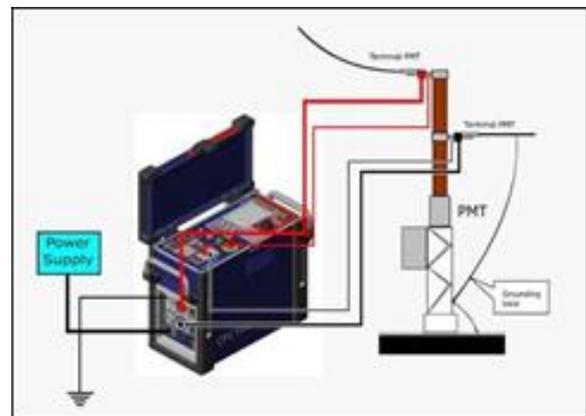
Gambar 1. Rangkaian Pengujian Tahanan Isolasi

- Melakukan pemasangan *local grounding*, pemasangan *local grounding*
- Melaksanakan pengukuran tahanan isolasi terminal atas-*ground*
- Melaksanakan pengukuran tahanan isolasi bagian bawah-*ground*
- Melaksanakan pengukuran tahanan isolasi bagian atas-bawah

2. Pengujian Tahanan Kontak

Pengukuran tahanan kontak dilaksanakan guna mengukur nilai resistansi yang mengakibatkan adanya rugi daya. Sesuai dengan standart tahanan kontak adalah tidak melebihi atau $< 50 \mu\Omega$. Berikut merupakan proses pengukuran tahanan kontak [6].

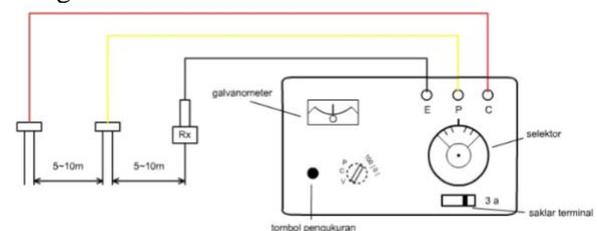
- Melakukan *grounding* pada pemutus tenaga yang akan dilakukan pengujian.
- Memasang kabel berwarna merah (+) pada terminal atas PMT.
- Memasang kabel berwarna hitam (-) pada terminal bawah PMT.
- Memilih inject arus pada alat ukur sebesar 100 A.
- Memulai melakukan pengujian dan mencatat hasilnya. Pengukuran tahanan kontak ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Rangkaian Pengujian Tahanan Kontak

3. Tahanan Pentanahan

Pengukuran uji tahanan pentanahan ini menggunakan suatu alat ukur berupa (*Earth Resistance Tester*) (PT.PLN, 2014). Menurut Menurut IEEE *guide for safety in ac substation grounding* maksimal nilai standar tahanan pentanahan pada PMT *switcgear* Gardu Induk 150 kV yaitu sebesar $\leq 1 \text{ ohm}$ [4]. Cara pengujian sebagai berikut:



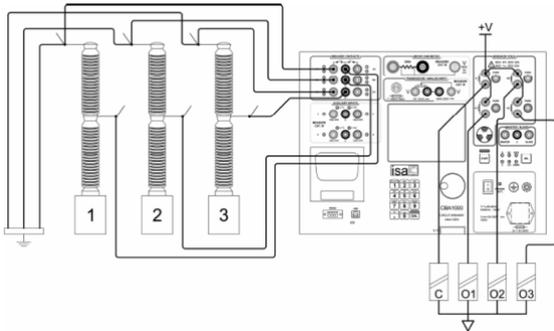
Gambar 3. Rangkaian Pengujian Tahanan Pentanahan

- Persiapkan pelat untuk ditancapkan pada tanah dan 3 kabel probe yang terdapat pada alat ukur, kabel ini ada 3 warna diantaranya merah kuning dan hijau.

- b. Pengukuran dilakukan 3 kali pada masing masing fasa PMT, dengan menghubungkan 2 kabel merah dan kuning ke pelat yang ditancapkan ke tanah yang berjarak 5 sampai 10 meter.
- c. Kemudian bersihkan terlebih dahulu plat pada grounding PMT yang akan di ukur menggunakan sikat atau amplas agar kabel probe terhubung dengan baik.
- d. Hubungkan kabel probe hijau ke grounding PMT yang telah dibersihkan.
- e. Atur selektor knob alat ukur untuk pengukuran grounding.

4. Pengujian Keserempakan

Langkah-langkah dalam pengujian keserempakan 150 kV bay Punagaya #2 di Gardu Induk Jeneponto, sebagai berikut [7]:



Gambar 4. Rangkaian Pengujian Keserempakan

- a. Sebelum memasang *main contact* alat uji, pastikan PMT dalam posisi masuk (*close*) dan kedua sisi PMT terpasang pentanahan lokal untuk menghindari induksi tegangan
- b. Alat uji dapat dioperasikan dengan menggunakan baterai yang terdapat pada alat uji atau dengan menghubungkan alat uji dengan sumber tegangan 220 V.
- c. Rangkai alat uji untuk dihubungkan pada peralatan PMT ke kontak fasa R, S, T, di *pole/chamber* atas dan *pole/chamber* bawah PMT.
- d. Hubungkan kabel (konektor 4 pin/kabel) pada rangkaian kontrol yang terdapat pada kotak kontrol PMT maupun kotak *control bay*.
- e. Menghubungkan alat uji *Circuit Breaker Analyzer* ke sumber tegangan yang sesuai (220 VAC) & pastikan *Power On/Off* alat pada posisi *Off*.
- f. Mengaktifkan alat uji *Circuit Breaker Analyzer* dengan memposisikan saklar *On/Off* pada posisi *On*.
- g. Masukkan data/spesifikasi PMT yang akan di uji dengan media *keypad* dan *display* monitor pada alat uji.
- h. Melakukan operasi alat *Circuit Breaker Analyzer*

untuk pengujian Keserempakan PMT dengan mengikuti petunjuk/panduan pada display alat uji.

- i. Memastikan PMT dalam kondisi *open* apabila akan melakukan pengujian keserempakan *close time*. Demikian juga sebaliknya. Hal ini bisa dilihat pada indikator di kotak kontrol PMT. Apabila PMT dalam kondisi *open* indikator menunjukkan “0” sedangkan PMT kondisi *close* indikatornya adalah “1”.
- j. Menekan tombol start agar PMT bekerja (*open/close*) untuk melakukan pengujian keserempakan PMT kerja kontak *Open* dan *Close*.
- k. Catat hasil pengujian.

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Penelitian

1. Hasil Pengujian Tahanan Isolasi

Pengukuran tahanan isolasi dilakukan dengan menggunakan alat ukur Megger dengan tegangan yang diinput 5 kV. Hasil pengujian ditunjukkan pada Tabel 3.

TABEL 3. HASIL PENGUJIAN TAHANAN ISOLASI

Titik Ukur	Acuan	Hasil Pengukuran (MΩ)			Hasil Pengukuran (MΩ)		
		Tahun 2020			Tahun 2022		
		R	S	T	R	S	T
Atas-Bawah		1500	3000	2000	2000	1800	5000
Atas-Tanah	1 kV/1 MΩ	2000	1500	2500	3000	2500	1500
Bawah-Tanah		215000	180000	350000	257000	345000	278000

2. Hasil Pengujian Tahanan Kontak

Pengukuran tahanan kontak PMT dilakukan pada setiap fasa PMT dengan menggunakan alat uji Mjoler 600. Hasil pengujian ditunjukkan pada Tabel 4.

TABEL 4. HASIL PENGUJIAN TAHANAN KONTAK

Titik Ukur	Acuan	Arus Injeksi	Hasil Pengukuran (μΩ)			Hasil Pengukuran (μΩ)		
			Tahun 2020			Tahun 2022		
			R	S	T	R	S	T
Atas – bawah (PMT ON)	R ≤ 120% nilai pabrikan	100 A	75	5	42	32	29	33
		200 A	73	2	31	31	29	33

3. Hasil Pengujian Tahanan Pentanahan

Pengujian tahanan pentanahan pada PMT 150 kV pada pemeliharaan 2 tahunan bay line punagaya #2 dengan menggunakan *earth tester* hasil pengujian sebagai berikut:

TABEL 5. HASIL PENGUJIAN TAHANAN PENTANAHAN

Titik Ukur	Acuan	Hasil Pengukuran (Ω)			Hasil Pengukuran (Ω)		
		Tahun 2020			Tahun 2022		
		R	S	T	R	S	T
Term. Penta nahan	$R \leq 1 \Omega$	0,82	0,82	0,82	0,9	0,9	0,9

4. Hasil Pengujian Keserempakan

a. Hasil Pengujian PMT 150 kV Kontak Terbuka (Open/Trip)

TABEL 6. HASIL PENGUJIAN WAKTU OPEN

Standar	Pengukuran	Tahun	Fasa (ms)	
$\Delta t \leq 10$ ms (Buku Pedoman Pemeliharaan)	Kondisi Terbuka (Open)	2020	R	38
			S	39.5
			T	40
		2022	R	32
			S	31.5
			T	29.5

b. Hasil Pengujian PMT 150 kV Kontak Tertutup (Close)

TABEL 7. HASIL PENGUJIAN WAKTU CLOSE

Standar	Pengukuran	Tahun	Fasa (ms)	
$\Delta t \leq 10$ ms (Buku Pedoman Pemeliharaan)	Kondisi Tertutup (Close)	2020	R	68
			S	68
			T	70.5
		2022	R	75
			S	74.5
			T	53

c. Hasil Pengujian Ulang PMT 150 kV Kontak Close Tahun 2022

TABEL 8. HASIL PENGUJIAN ULANG WAKTU CLOSE

Standar	Pengukuran	Tahun	Fasa (ms)	Selisih Waktu (Δt)
$\Delta t \leq 10$ ms	Kondisi Tertutup (Close)	2022	R	72
			S	68
			T	71

B. Pembahasan

1. Analisis Hasil Pengujian Tahanan Isolasi

Pengukuran atau pengujian tahanan isolasi bertujuan untuk mengetahui kebocoran arus pada setiap fasa pemutus tenaga (PMT) 150 kV. Hasil pengujian tahanan isolasi tahun 2020 & 2022 sebagai berikut:

Hasil pengujian tahanan isolasi tahun 2020 sebagai berikut [6]:

$$I = \frac{V}{R}$$

a. Terminal Atas – bawah

$$R = \frac{5000 V}{1500 M\Omega} = 3.3 mA$$

$$S = \frac{5000 V}{3000 M\Omega} = 1.6 mA$$

$$T = \frac{5000 V}{2000 M\Omega} = 2.5 mA$$

b. Terminal Atas – tanah

$$R = \frac{5000 V}{2000 M\Omega} = 2.5 mA$$

$$S = \frac{5000 V}{1500 M\Omega} = 3.3 mA$$

$$T = \frac{5000 V}{2500 M\Omega} = 2 mA$$

c. Terminal Bawah – tanah

$$R = \frac{5000 V}{215000 M\Omega} = 0.023 mA$$

$$S = \frac{5000 V}{180000 M\Omega} = 0.027 mA$$

$$T = \frac{5000 V}{350000 M\Omega} = 0.014 mA$$

Hasil pengujian tahanan isolasi tahun 2022 sebagai berikut:

$$I = \frac{V}{R}$$

a. Terminal Atas – bawah

$$R = \frac{5000 V}{2000 M\Omega} = 2.5 mA$$

$$S = \frac{5000 V}{1800 M\Omega} = 2.7 mA$$

$$T = \frac{5000 V}{5000 M\Omega} = 1 mA$$

b. Terminal Atas – tanah

$$R = \frac{5000 V}{3000 M\Omega} = 1.6 mA$$

$$S = \frac{5000 V}{2500 M\Omega} = 2 mA$$

$$T = \frac{5000 V}{1500 M\Omega} = 3.3 mA$$

c. Terminal Bawah – tanah

$$R = \frac{5000 V}{257000 M\Omega} = 0.019 mA$$

$$S = \frac{5000 V}{345000 M\Omega} = 0.014 mA$$

$$T = \frac{5000 V}{278000 M\Omega} = 0.017 mA$$

Merujuk pada nilai standar tahanan isolasi PMT 150 kv yaitu 1 kV/ 1 MΩ, dalam arti 1 kV dapat mengisolasi 1MΩ atau 1 kV/1 mA, dari hasil pengujian tersebut maka kemampuan isolasi pada PMT dalam keadaan baik karena masih dalam nilai standar. Jika tanahan isolasi tidak sesuai dengan nilai standar, maka harus dilakukan pengujian ulang, tetapi jika nilai pengukuran masih tetap maka adanya pergantian [8].

1. Analisis Hasil Pengujian Tahanan Kontak

Tabel 4 didapat hasil pengujian tahanan kontak pada tahun 2020 dan 2022 pada PMT 150 kV dengan arus yang mengalir 100 A dan 200 A. untuk

mengetahui rugi-rugi daya $W = I^2 \times R$ [1]. Maka rugi-rugi yang didapat hasil pada masing-masing fasa R, S, T, yaitu:

a. Rugi-rugi daya tahun 2020

$$\begin{aligned} \text{Fasa R : } W &= I^2 \times R = 100^2 A \times (75 \times 10^{-6}) \Omega \\ &= 0,75 \text{ watt} = 0,00075 \text{ kW} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Fasa S : } W &= I^2 \times R = 100^2 A \times (5 \times 10^{-6}) \Omega \\ &= 0,05 \text{ watt} = 0,00005 \text{ kW} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Fasa T : } W &= I^2 \times R = 100^2 A \times (42 \times 10^{-6}) \Omega \\ &= 0,42 \text{ watt} = 0,00042 \text{ kW} \end{aligned}$$

b. Rugi-rugi daya tahun 2022

$$\begin{aligned} \text{Fasa R : } W &= I^2 \times R = 100^2 A \times (32 \times 10^{-6}) \Omega \\ &= 0,32 \text{ watt} = 0,00032 \text{ kW} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Fasa S : } W &= I^2 \times R = 100^2 A \times (29 \times 10^{-6}) \Omega \\ &= 0,29 \text{ watt} = 0,00029 \text{ kW} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Fasa T : } W &= I^2 \times R = 100^2 A \times (33 \times 10^{-6}) \Omega \\ &= 0,33 \text{ watt} = 0,00033 \text{ kW} \end{aligned}$$

Dari data yang yang diperoleh nilai semakin kecil makan semakin baik karena rugi-rugi daya akan menjadi kecil. Pada pengujian ini nilai tahanan kotak masih dalam nilai standar. Jika nilai tahanan kontak tidak sesuai standar maka diberikan tindakan seperti pembersihan pada klem penghantar PMT, apabila nilainya masih tetap maka dilakukan pengantian.

2. Analisis Hasil Pengujian Tahanan Pentanahan

Tabel 5 didapat nilai hasil pengujian setiap fasa PMT tahun 2020 dan 2022. Menurut standar nilai dari PLN nilai standar pentanahan PMT 150 kV yaitu $< 1 \Omega$. Maka hasil pengujian yang telah dilakukan memiliki nilai yang masih baik dan dalam standar yang berlaku. Semakin kecil hasil pengukuran maka semakin baik dan semakin besar pengukuran maka semakin kurang baik. Tahanan pentanahan bertujuan untuk mengalirkan arus gangguan ke dalam tanah sehingga aman untuk manusia dan peralatan lainnya agar tidak rusak.

3. Analisis Hasil Pengujian Keserempakan

a. Hasil Pengujian PMT 150 kV Kontak Terbuka (*Open/Trip*)

Hasil perhitungan selisih waktu *open* PMT 150 kV pada tahun 2020 & 2022 sebagai berikut [6]:

Diketahui :

$$\text{Fasa R} = 38 \text{ ms}$$

$$\text{Fasa S} = 39.5 \text{ ms}$$

$$\text{Fasa T} = 40 \text{ ms}$$

$$\begin{aligned} \Delta t \text{ Open} &= t_{maks} - t_{min} \\ &= t_{40} - t_{38} \\ &= 2 \text{ ms} \end{aligned}$$

Perhitungan selisih waktu *open* PMT 150 kV pada tahun 2022 sebagai berikut:

Diketahui:

$$\text{Fasa R} = 32 \text{ ms}$$

$$\text{Fasa S} = 31.5 \text{ ms}$$

$$\text{Fasa T} = 29.5 \text{ ms}$$

$$\begin{aligned} \Delta t \text{ Open} &= t_{maks} - t_{min} \\ &= t_{32} - t_{29.5} \\ &= 2.5 \text{ ms} \end{aligned}$$

Berdasarkan data perhitungan pada tabel 6, diketahui waktu kerja kontak PMT tahun 2020 dan 2022 yang diperoleh ketika membuka (*open*) yang diperoleh dari pengujian tersebut masih dalam batas standar yang diizinkan berdasarkan standar No. 0520-2.K/DIR/2014, yaitu maksimal selama 120 ms dengan toleransi $\pm 110\%$. Sedangkan untuk perbedaan selisih waktu kerja (Δt) terbesar dari tiap fasa PMT pada tahun 2020 adalah 2 ms dan pada tahun 2022 adalah 2.5 ms. Selisih waktu ini masih di bawah standar pabrikan dari PMT, yaitu ≤ 10 ms. Selisih waktu (Δt) inilah yang menunjukkan serempak atau tidaknya PMT ketika bekerja, di mana semakin kecil selisih waktu kerja PMT di tiap fasanya, maka dapat dikatakan PMT tersebut semakin serempak.

b. Hasil Pengujian PMT 150 kV Kontak Tertutup (*Close*)

Hasil perhitungan selisih waktu *close* PMT 150 kV pada tahun 2020 dan 2022 sebagai berikut:

Diketahui :

$$\text{Fasa R} = 68 \text{ ms}$$

$$\text{Fasa S} = 68 \text{ ms}$$

$$\text{Fasa T} = 70.5 \text{ ms}$$

$$\begin{aligned} \Delta t \text{ close} &= t_{maks} - t_{min} \\ &= t_{70.5} - t_{68} \\ &= 2.5 \text{ ms} \end{aligned}$$

Diketahui :

$$\text{Fasa R} = 75 \text{ ms}$$

$$\text{Fasa S} = 74.5 \text{ ms}$$

$$\text{Fasa T} = 53 \text{ ms}$$

$$\begin{aligned} \Delta t \text{ close} &= t_{maks} - t_{min} \\ &= t_{75} - t_{53} \\ &= 22 \text{ ms} \end{aligned}$$

Berdasarkan data hasil perhitungan pada tabel 7, diketahui bahwa hasil pengujian kecepatan waktu kerja kontak ketika menutup (*close*) kontak pada fasa R, S, dan T tahun 2020 dan 2022 masih dalam batas normal dan tidak melebihi besarnya waktu kerja yang telah ditentukan oleh pabrikan ataupun PLN itu sendiri. Namun, untuk perbedaan selisih waktu terbesar yang dimiliki PMT tahun 2022 oleh tiap kontak tersebut ketika menutup adalah 22 ms, di mana nilai ini melebihi dari Selisih waktu terbesar yang diijinkan oleh pabrikan PMT 150 kV yaitu ≤ 10 ms.

c. Hasil Pengujian Ulang PMT 150 kV Kontak Close Tahun 2022

Hasil perhitungan selisih waktu *close* PMT 150 kV pada tahun 2022 sebagai berikut:

Diketahui :

$$Fasa R = 72 \text{ ms}$$

$$Fasa S = 68 \text{ ms}$$

$$Fasa T = 71 \text{ ms}$$

$$\begin{aligned} \Delta t \text{ close} &= t_{maks} - t_{min} \\ &= t_{72} - t_{68} \\ &= 4 \text{ ms} \end{aligned}$$

Berdasarkan data hasil perhitungan pada tabel 8, diketahui bahwa hasil pengujian kecepatan waktu kerja kontak ketika menutup (*close*) kontak pada fasa R, S, dan T sudah dalam batas normal dan tidak melebihi besarnya waktu kerja yang telah ditentukan oleh pabrikan dan berdasarkan standar No. 0520-2.K/DIR/2014, yaitu maksimal selama 120 ms dengan toleransi $\pm 110\%$. Hasil perhitungan selisih waktu (*delta time*) saat *close* adalah 4 ms, dimana nilai ini sudah sesuai standar oleh PMT 150 kV yaitu ≤ 10 ms.

Hasil penelitian yang telah dilakukan pada PMT 150 kV di Gardu Induk Jenepono menggunakan *Breaker Analyzer* untuk mengukur keserempakan PMT yang dilakukan dalam pengujian dua tahunan di PT. PLN (Persero) untuk hasil pengujian pada kontak *Open* tahun 2020 & 2022 sudah sesuai dengan standar, namun untuk hasil pengujian waktu kontak *close* pada tahun 2022 melebihi nilai standar. Kemudian dilakukan penyetelan ulang pada *moving contact* PMT dan pembersihan pada *body* PMT, serta kabel pada *breaker analyzer* juga perlu diperhatikan sebelum melakukan pengujian dengan melakukan pengetesan pada kabel menggunakan *avo meter* untuk melihat apakah kabel masih layak digunakan untuk pengujian atau tidak.

Setelah dilakukan hal tersebut, hasil perhitungan selisih waktu pada PMT line Punagaya #2 adalah 4 ms, dimana hasil selisih waktu kerja kontak sudah berdasarkan Buku Pedoman Pemeliharaan Pemutus Tenaga No dokumen: PDM/PGI/07:2014 [9]. Hasil pengujian tahanan isolasi, tahanan kontak dan tahanan pentanahan juga menunjukkan hasil yang baik atau sesuai dengan standar PLN. sehingga dapat disimpulkan bahwa PMT 150 kV bay Punagaya #2 masih layak untuk dioperasikan.

SIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan maka dapat disimpulkan bahwa:

1. Setelah dilakukan pengujian 2 tahunan pada pemutus tenaga 150 kV diketahui keserempakan PMT masih dalam batas wajar dimana standar keserempakan yang diperoleh dari pengujian dengan menggunakan *breaker analyzer* nilai

yang diperoleh tidak lebih dari 120 ms berdasarkan standar No. 0520-2.K/DIR/2014.

2. Besar selisih waktu atau *delta time* kontak PMT saat *open/close* pada tahun 2020 masih dalam batas standar PLN. Namun pada tahun 2022 selisih waktu pada pengujian *close* PMT memperoleh nilai *delta time* yang melebihi standar yaitu < 10 ms, sehingga dilakukan penyetelan pada *moving contact* PMT sehingga selisih antar fasa kembali normal setelah dilakukan pengujian ulang. Maka dapat disimpulkan bahwa PMT 150 kV Gardu Induk Jenepono masih layak untuk digunakan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Irwan Pranomo, "Analisis Pengujian Pemutus Tenaga Bay Gondangrejo 2 Dalam Pemeliharaan Dua Tahunan Di Gardu Induk Palur," J. Chem. Inf. Model., 2019.
- [2] A. Prawira, "Analisis Pengujian Pemutus Tenaga Bay Kedungombo 2 Dalam Pemeliharaan Dua Tahunan Di Gardu Induk Purwodadi," Eprints.Ums.Ac.Id, Pp. 1–22, 2019.
- [3] A. Fikri, H. Rudito, And Usman, "Analisis Pengujian Pemutus Tenaga (PMT) Bay Punagaya Dalam Pemeliharaan Dua Tahunan Di Gardu Induk Tallasa," Jurnal.Poliupg.Ac.Id, No. September, Pp. 2–6, 2021, [Online]. Available: [Http://jurnal.poliupg.ac.id/index.php/sntei/article/view/2813](http://jurnal.poliupg.ac.id/index.php/sntei/article/view/2813).
- [4] D. Arsyi Saputra, A. Imam Agung, And S. Isnur Haryudo, "Analisis Kelayakan Pemutus Tenaga Bay Trafo 2 Berdasarkan Hasil Uji Shutdown Measurement Analisis Kelayakan Pemutus Tenaga Bay Trafo 2 Berdasarkan Hasil Uji Shutdown Measurement Di Gardu Induk 150 KV Kenjeran Surabaya," J. Tek. Elektro, Vol. 11, Pp. 440–446, 2022.
- [5] Rusdjaja, Tatang, "Buku Pedoman Pemutus Tenaga," Jakarta, No. 0520–2.K/DIR, 2014.
- [6] E. Ariyanto, "Analisis Hasil Pengujian Tahanan Isolasi Dan Keserempakan Pemutus Tenaga 150 Kv Bay Palur 1 Dan Palur 2 Gardu Induk Gondangrejo," Anal. Has. Penguji. Tahanan Isolasi Dan Keserempakan Pemutus Tenaga 150 Kv Bay Palur 1 Dan Palur 2 Gardu Induk Gondangrejo, 2019.
- [7] Maizarah. P., "IK.16-TRS.16 Pengoperasian Penganalisa PMT Menggunakan ISA CBA 1000.pdf." PT PLN (Persero), 2019.

- [8] M. R. Ari Susanto, Rudi Kurnianto, “Berdasarkan Hasil Uji Tahanan Isolasi , Tahanan,” Fak. Tek. Univ. Tanjungpura, 2014.
- [9] G. C. Purnama, “Institut sains dan teknologi nasional fakultas teknologi industri,” 2015.