

STUDI PENILAIAN PERFORMA PEMUTUS TENAGA KUBIKEL 20 KV BERDASARKAN PENGUJIAN DAN PEMELIHARAAN DI GARDU INDUK KETAPANG

Hisbullah Alif Efendi¹, Rudy Gianto², M. Iqbal Arsyad³

d1021201071@student.untan.ac.id¹, rudy.gianto@ee.untan.ac.id², iqbal.arsyad@ee.untan.ac.id³

Universitas Tanjungpura

ABSTRAK

Gardu induk memiliki peran penting dalam menjaga keandalan sistem tenaga listrik, salah satunya melalui kinerja Pemutus Tenaga (PMT). Penelitian ini bertujuan menganalisis kondisi operasional PMT 20 kV pada kubikel outgoing di Gardu Induk Ketapang berdasarkan hasil pengujian tahun 2023 dan 2025. Metode penelitian meliputi studi literatur, observasi, wawancara, serta analisis data hasil pengujian tahanan isolasi, tahanan kontak, dan keserempakan kontak pada sembilan kubikel outgoing. Hasil penelitian menunjukkan bahwa seluruh PMT memiliki nilai tahanan isolasi di atas batas minimum standar, nilai tahanan kontak berada di bawah batas maksimum yang dipersyaratkan, serta waktu operasi dan nilai delta time keserempakan kontak masih memenuhi standar PLN. Berdasarkan hasil pengujian tersebut, seluruh PMT 20 kV pada kubikel outgoing Gardu Induk Ketapang dinyatakan memenuhi standar teknis, sehingga layak dan aman untuk dioperasikan dalam mendukung keandalan sistem distribusi tenaga listrik.

Kata Kunci: Pemutus Tenaga (PMT), Gardu Induk, Tahanan Isolasi, Tahanan Kontak, Keserempakan Kontak, Kubikel 20 kV.

PENDAHULUAN

Gardu Induk merupakan salah satu komponen penting dalam sistem distribusi tenaga listrik yang berfungsi menyalurkan energi listrik dari transformator daya menuju jaringan distribusi. Keandalan gardu induk sangat dipengaruhi oleh kondisi peralatan yang digunakan, salah satunya adalah Pemutus Tenaga (PMT) atau Circuit Breaker (CB). PMT berfungsi menghubungkan dan memutuskan arus listrik pada kondisi normal maupun saat terjadi gangguan, sehingga berperan penting dalam menjaga kontinuitas dan keamanan sistem tenaga listrik [2], [4].

Kerusakan atau kegagalan operasi PMT dapat mengganggu penyaluran tenaga listrik serta berpotensi menyebabkan kerusakan pada peralatan lain. Oleh karena itu, diperlukan pemeliharaan dan pengujian secara berkala untuk memastikan PMT tetap beroperasi sesuai standar. Pengujian yang umum dilakukan meliputi pengujian tahanan isolasi, tahanan kontak, dan keserempakan kontak. Ketiga pengujian tersebut bertujuan mengevaluasi kualitas isolasi, kondisi sambungan kontak, serta keserempakan waktu operasi PMT sehingga keandalan dan keselamatan sistem distribusi tetap terjaga [2], [5].

Salah satu peralatan yang memerlukan perhatian khusus adalah PMT pada kubikel outgoing 20 kV karena berfungsi menyalurkan energi listrik dari gardu induk ke jaringan distribusi. Gangguan pada PMT kubikel outgoing dapat mengakibatkan terganggunya kontinuitas penyaluran tenaga listrik kepada konsumen. Oleh sebab itu, evaluasi kondisi operasional PMT menjadi langkah penting untuk memastikan peralatan masih layak digunakan.

PT PLN (Persero) Unit Layanan Transmisi Gardu Induk (ULTG) Ketapang secara rutin melaksanakan pemeliharaan dan pengujian PMT sebagai bagian dari upaya menjaga keandalan sistem. Penelitian ini bertujuan menganalisis kondisi operasional PMT 20 kV pada kubikel outgoing di Gardu Induk Ketapang berdasarkan hasil pengujian tahanan isolasi, tahanan kontak, dan keserempakan kontak pada tahun 2023 dan 2025, serta mengevaluasi kesesuaiannya dengan standar yang berlaku.

METODE PENELITIAN

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode deskriptif dengan pendekatan analisis data hasil pengujian Pemutus Tenaga (PMT) 20 kV pada kubikel outgoing di Gardu Induk Ketapang. Data yang digunakan terdiri atas data primer berupa hasil pengujian tahanan isolasi, tahanan kontak, dan keserempakan kontak PMT, serta data sekunder yang diperoleh dari buku, jurnal, standar, dan dokumen pemeliharaan PT PLN (Persero) ULTG Ketapang. Pengumpulan data dilakukan melalui studi literatur, observasi, dan wawancara, kemudian data hasil pengujian dianalisis dengan membandingkannya terhadap standar yang berlaku untuk mengevaluasi kondisi operasional dan kelayakan PMT dalam mendukung keandalan sistem distribusi tenaga listrik.

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Pengujian Tahanan Isolasi

Pengujian tahanan isolasi bertujuan untuk mengetahui kondisi isolasi PMT serta mendeteksi adanya kebocoran arus antara terminal dan ground. Pengujian dilakukan menggunakan alat Kyoritsu KEW-3125A dengan tegangan uji sebesar 5 kV. Pengujian dilaksanakan pada dua kondisi, yaitu open dan close. Pada kondisi open, titik pengukuran meliputi terminal atas terhadap ground (Ra-ground, Sa-ground, Ta-ground), terminal bawah terhadap ground (Rb-ground, Sb-ground, Tb-ground), serta terminal atas terhadap terminal bawah pada masing-masing fasa (Ra-Rb, Sa-Sb, Ta-Tb). Sementara itu, pada kondisi close, pengukuran dilakukan pada masing-masing fasa terhadap ground, yaitu R (Ra-Rb)-ground, S (Sa-Sb)-ground, dan T (Ta-Tb)-ground.



Gambar 1 Pengujian Tahanan Isolasi

Berdasarkan standar VDE Catalogue 228/4, nilai minimum tahanan isolasi ditetapkan sebesar 1 M Ω per 1 kV tegangan fasa terhadap tanah. Hasil pengujian pada tahun 2023 dan 2025 menunjukkan seluruh titik pengukuran bernilai OL (Open Loop), yang menandakan nilai tahanan isolasi melebihi batas ukur alat sehingga arus bocor sangat kecil atau mendekati nol. Hal ini menunjukkan bahwa kondisi isolasi PMT outgoing di ULTG Ketapang masih memenuhi standar dan layak dioperasikan, sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1 Pengujian Tahanan Isolasi

PMT	2023	2025	Keterangan
Pawan 2	OL	OL	Memenuhi
Pawan 3	OL	OL	Memenuhi
Pawan 5	OL	OL	Memenuhi
Pawan 6	OL	OL	Memenuhi
Pawan 9	OL	OL	Memenuhi
Pawan 10	OL	OL	Memenuhi
Pawan 11	OL	OL	Memenuhi
Pawan 14	OL	OL	Memenuhi
Pawan 15	OL	OL	Memenuhi

Hasil pengujian menunjukkan seluruh titik pengukuran bernilai OL (Open Loop), yang menandakan nilai tahanan isolasi melebihi batas ukur alat. Dengan tegangan uji sebesar 5 kV, kondisi tersebut menunjukkan arus bocor sangat kecil atau mendekati nol, sehingga sistem isolasi PMT pada tahun 2023 dan 2025 masih dalam kondisi baik serta layak

dioperasikan.

B. Pengujian Tahanan Kontak

Pengujian tahanan kontak dilakukan menggunakan alat Dv Power dengan arus uji sebesar 100 A pada kondisi PMT close. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui nilai resistansi pada kontak utama PMT sebagai penghantar arus listrik. Nilai tahanan kontak yang tinggi dapat menyebabkan rugi-rugi daya dan peningkatan temperatur pada titik kontak, sehingga hasil pengujian perlu dibandingkan dengan standar yang berlaku untuk memastikan kondisi PMT tetap andal dan layak dioperasikan.



Gambar 2 Pengujian Tahanan Kontak

Berdasarkan standar IEC 60694, nilai tahanan kontak yang diperbolehkan adalah $\leq 80 \mu\Omega$ atau 120% dari nilai Factory Acceptance Test (FAT). Apabila hasil pengujian melebihi batas tersebut, perlu dilakukan pemeriksaan dan pengujian ulang untuk mencegah kerusakan akibat panas berlebih pada kontak PMT. Hasil pengujian tahanan kontak PMT outgoing 20 kV di ULTG Ketapang ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2 Pengujian Tahanan Kontak

PMT	2023 ($\mu\Omega$)			2025 ($\mu\Omega$)			Keterangan
	R	S	T	R	S	T	
Pawan 2	40.5	40.1	38.5	43.1	42.5	40.7	Memenuhi
Pawan 3	43.5	43.9	40.0	39.7	38.3	36.5	Memenuhi
Pawan 5	41.5	44.9	39.7	35.1	37.3	37.6	Memenuhi
Pawan 6	37.8	36.1	37.3	43.7	40.4	41.2	Memenuhi
Pawan 9	33.3	35.8	34.5	37.4	36.2	35.9	Memenuhi
Pawan 10	50.5	50.3	51.7	47.6	47.9	48.3	Memenuhi
Pawan 11	48.3	48.7	49.5	46.2	46.8	46.5	Memenuhi
Pawan 14	57.6	57.3	57.4	49.8	49.5	48.3	Memenuhi
Pawan 15	27.5	26.6	26.8	30.2	29.7	27.6	Memenuhi

Pengujian tahanan kontak dilakukan pada kondisi PMT close dengan arus uji sebesar 100 A. Hasil pengujian tahun 2023 dan 2025 menunjukkan nilai tahanan kontak pada seluruh PMT kubikel outgoing berada pada rentang 26,6–57,6 $\mu\Omega$ dan 27,6–49,8 $\mu\Omega$. Seluruh nilai masih berada di bawah batas maksimum $\leq 80 \mu\Omega$ sesuai standar IEC 60694 dan ketentuan pabrikan. Hasil perhitungan rugi-rugi daya juga relatif kecil, yaitu berkisar 0,266–0,576 W pada tahun 2023 dan 0,276–0,498 W pada tahun 2025, sehingga tidak menunjukkan potensi pemanasan berlebih pada kontak utama. Dengan demikian, kondisi kontak seluruh PMT dinyatakan memenuhi standar dan layak dioperasikan.

C. Pengujian Keserempakan Kontak

Pengujian keserempakan kontak PMT bertujuan untuk mengetahui waktu operasi masing-masing fasa serta tingkat keserempakan saat PMT melakukan operasi open dan close. Perbedaan waktu yang terlalu besar antar fasa dapat memengaruhi keandalan sistem dan memicu kerja sistem proteksi. Oleh karena itu, pengujian dilakukan menggunakan CB Analyzer KOCOS ACTAS P360+ untuk mengukur waktu operasi setiap fasa (R, S, dan T), sehingga dapat dievaluasi kesesuaiannya dengan standar yang berlaku.



Gambar 3 Pengujian Keserempakan Kontak

Berdasarkan standar SPLN No. 52-1 Tahun 1984, clearing time sistem 20 kV ditetapkan sebesar 170 ms, sedangkan waktu operasi maksimum PMT adalah ≤ 60 ms untuk operasi open dan ≤ 110 ms untuk operasi close. Tingkat keserempakan kontak dievaluasi berdasarkan nilai delta time (Δt), yaitu selisih waktu operasi tercepat dan terlambat antar fasa (R, S, dan T), dengan batas maksimum ≤ 10 ms sesuai referensi pabrikan Schneider dan Siemens. Nilai Δt yang memenuhi batas tersebut menunjukkan bahwa PMT masih bekerja secara serempak dan andal. Hasil pengujian keserempakan kontak PMT ditunjukkan pada Tabel 3.

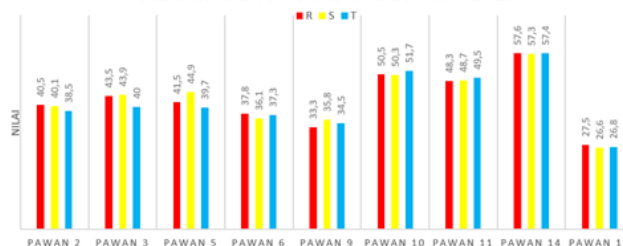
Tabel 3 Pengujian Keserempakan Kontak

PMT	2023										2025										Assessment	
	Open (ms)					Close (ms)					Open (ms)					Close (ms)						
	R	S	T	Δt ms	Δt ms	R	S	T	Δt ms	Δt ms	R	S	T	Δt ms	Δt ms	R	S	T	Δt ms	Δt ms		
Pawan 2	41.37	41.57	41.77	0.40	46.97	46.65	46.99	0.38	42.60	42.25	42.11	0.49	48.22	48.55	48.65	0.43	48.55	48.65	0.43	48.55	0.57	Memenuhi
Pawan 3	46.33	46.40	46.60	0.27	51.36	51.58	51.77	0.41	43.20	43.51	43.14	0.37	51.23	51.63	51.50	0.57	51.23	51.63	0.57	51.23	0.57	Memenuhi
Pawan 5	43.33	43.11	43.00	0.34	55.43	55.55	55.29	0.26	44.39	44.62	44.35	0.27	58.41	58.37	58.53	0.28	58.41	58.37	0.28	58.41	0.28	Memenuhi
Pawan 6	44.78	44.32	44.41	0.46	56.27	55.39	55.42	0.83	42.30	42.74	42.53	0.44	54.85	54.19	54.50	0.66	54.85	54.19	0.66	54.85	0.66	Memenuhi
Pawan 9	46.44	46.54	46.54	0.24	57.75	57.49	57.12	0.59	48.17	48.36	48.20	0.17	60.73	60.08	60.25	0.65	60.73	60.08	0.65	60.73	0.65	Memenuhi
Pawan 10	50.30	50.43	50.67	0.37	57.54	57.86	57.21	0.65	47.54	47.26	47.18	0.36	54.25	54.89	54.54	0.63	54.25	54.89	0.63	54.25	0.63	Memenuhi
Pawan 11	48.78	48.52	48.24	0.54	55.66	55.19	55.25	0.47	45.40	45.75	45.24	0.51	53.22	53.27	53.63	0.41	53.22	53.27	0.41	53.22	0.41	Memenuhi
Pawan 14	42.61	42.44	42.07	0.54	54.63	54.30	54.11	0.52	48.05	48.63	48.51	0.58	59.29	59.54	59.88	0.59	59.29	59.54	0.59	59.29	0.59	Memenuhi
Pawan 15	51.57	51.55	51.81	0.64	56.85	56.65	56.18	0.69	53.21	53.59	53.78	0.57	58.35	58.23	58.82	0.59	58.35	58.23	0.59	58.35	0.59	Memenuhi

Pengujian keserempakan kontak dilakukan pada kondisi PMT terbuka (open) dan tertutup (close) pada seluruh PMT kubikel outgoing. Hasil pengujian tahun 2023 dan 2025 menunjukkan waktu operasi open masing-masing sebesar 41,37–51,81 ms dan 42,11–53,78 ms, sedangkan waktu operasi close sebesar 46,59–57,86 ms dan 48,22–60,73 ms. Seluruh nilai masih memenuhi standar PLN, yaitu ≤ 60 ms untuk open dan ≤ 110 ms untuk close. Selain itu, nilai delta time (Δt) antar fasa berada di bawah batas toleransi pabrikan (≤ 10 ms), sehingga keserempakan kontak PMT dinyatakan memenuhi standar dan layak untuk dioperasikan.

D. Grafik Tahanan Kontak 2023

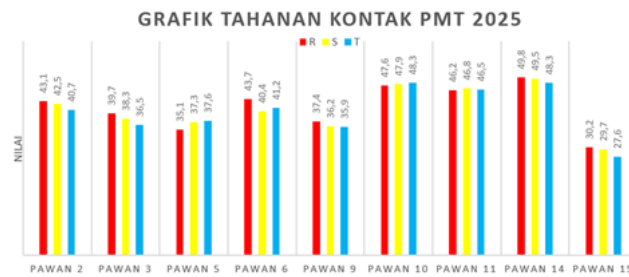
GRAFIK TAHANAN KONTAK PMT 2023



Gambar 4 Grafik Tahanan Kontak 2023

Berdasarkan grafik tahanan kontak PMT tahun 2023, nilai tahanan kontak pada seluruh PMT kubikel outgoing berada pada rentang 26,6–57,6 $\mu\Omega$ pada fasa R, S, dan T. Seluruh hasil pengujian masih berada di bawah batas maksimum 80 $\mu\Omega$ sesuai standar IEC 60694 serta ketentuan pabrikan Siemens dan Schneider. Selain itu, selisih nilai tahanan kontak antar fasa relatif kecil, yang menunjukkan distribusi arus seimbang dan kondisi kontak utama PMT masih baik serta layak dioperasikan.

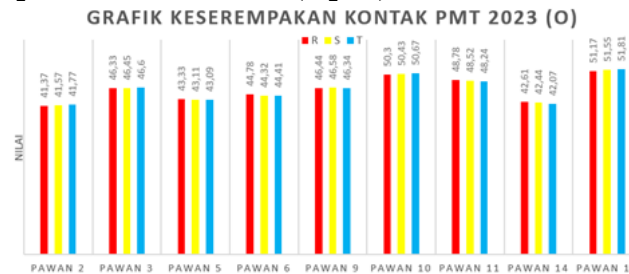
E. Grafik Tahanan Kontak 2025



Gambar 5 Grafik Tahanan Kontak 2025

Berdasarkan grafik tahanan kontak PMT tahun 2025, nilai tahanan kontak pada seluruh PMT kubikel outgoing berada pada rentang $27,6\text{--}49,8\ \mu\Omega$ pada fasa R, S, dan T. Seluruh hasil pengujian masih berada di bawah batas maksimum $80\ \mu\Omega$ sesuai standar IEC 60694 serta ketentuan pabrikan Siemens dan Schneider. Selain itu, selisih nilai tahanan kontak antar fasa relatif kecil, yang menunjukkan distribusi arus seimbang dan kondisi kontak utama PMT masih baik serta layak dioperasikan.

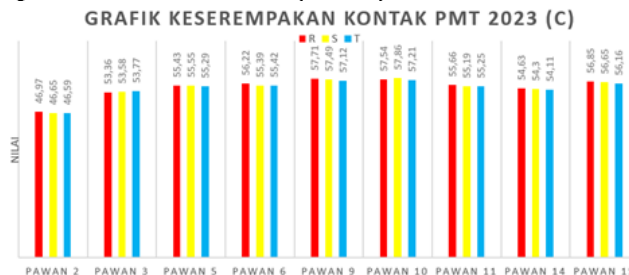
F. Grafik Keserempakan Kontak 2023 (Open)



Gambar 6 Grafik Keserempakan Kontak 2023 (O)

Berdasarkan grafik keserempakan kontak PMT tahun 2023 pada kondisi open, waktu operasi seluruh PMT kubikel outgoing berada pada rentang $41,37\text{--}51,81\text{ ms}$ untuk fasa R, S, dan T. Seluruh hasil pengujian masih berada di bawah batas maksimum PLN, yaitu $\leq 60\text{ ms}$ untuk operasi open. Selain itu, selisih waktu antar fasa relatif kecil, yang menunjukkan keserempakan kontak PMT bekerja dengan baik, memenuhi standar, dan layak dioperasikan.

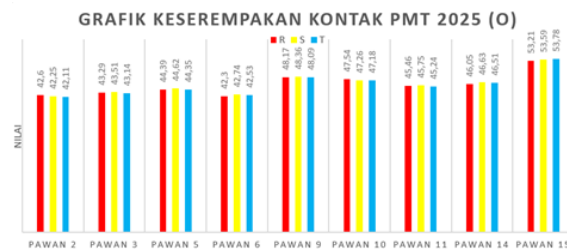
G. Grafik Keserempakan Kontak 2023 (Close)



Gambar 7 Grafik Keserempakan Kontak 2023 (C)

Berdasarkan grafik keserempakan kontak PMT tahun 2023 pada kondisi close, waktu operasi seluruh PMT kubikel outgoing berada pada rentang $46,59\text{--}57,86\text{ ms}$ untuk fasa R, S, dan T. Seluruh hasil pengujian masih berada di bawah batas maksimum PLN, yaitu $\leq 110\text{ ms}$ untuk operasi close. Selain itu, selisih waktu antar fasa relatif kecil, yang menunjukkan keserempakan kontak PMT bekerja dengan baik, memenuhi standar, dan layak dioperasikan.

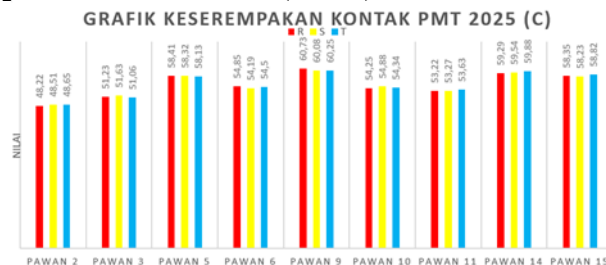
H. Grafik Keserempakan Kontak 2025 (Open)



Gambar 8 Grafik Keserempakan Kontak 2025 (O)

Berdasarkan grafik keserempakan kontak PMT tahun 2025 pada kondisi open, waktu operasi seluruh PMT kubikel outgoing berada pada rentang 42,11–53,78 ms untuk fasa R, S, dan T. Seluruh hasil pengujian masih berada di bawah batas maksimum PLN, yaitu ≤ 60 ms untuk operasi open. Selain itu, selisih waktu antar fasa relatif kecil, yang menunjukkan keserempakan kontak PMT bekerja dengan baik, memenuhi standar, dan layak dioperasikan.

I. Grafik Keserempakan Kontak 2025 (Close)



Gambar 9 Grafik Keserempakan Kontak 2025 (C)

Berdasarkan grafik keserempakan kontak PMT tahun 2025 pada kondisi close, waktu operasi seluruh PMT kubikel outgoing berada pada rentang 48,22–60,73 ms untuk fasa R, S, dan T. Seluruh hasil pengujian masih berada di bawah batas maksimum PLN, yaitu ≤ 110 ms untuk operasi close. Selain itu, selisih waktu antar fasa relatif kecil, yang menunjukkan keserempakan kontak PMT bekerja dengan baik, memenuhi standar, dan layak dioperasikan.

J. Analisa dan Pembahasan

Pengujian dilakukan pada sembilan unit PMT 20 kV kubikel outgoing merek Siemens dan Schneider di ULTG Ketapang, Kalimantan Barat. Pengujian meliputi tahanan isolasi, tahanan kontak, dan keserempakan kontak untuk mengevaluasi kondisi serta kelayakan operasi PMT berdasarkan hasil pengujian tahun 2023 dan 2025.

Pengujian pertama adalah pengujian tahanan isolasi menggunakan Kyoritsu KEW-3125A dengan tegangan uji 5 kV pada kondisi PMT terbuka (open) dan tertutup (close). Hasil pengujian tahun 2023 dan 2025 menunjukkan seluruh PMT memiliki nilai OL (Open Loop) pada semua titik pengukuran, yang mengindikasikan tidak adanya kebocoran arus maupun jalur konduktif terhadap ground. Berdasarkan standar VDE (Catalogue 228/4), nilai tahanan isolasi minimum adalah 1 M Ω dengan kebocoran arus maksimum 1 mA. Dengan demikian, seluruh PMT memenuhi standar VDE, kondisi isolasinya tetap stabil selama periode pengujian, dan layak dioperasikan.

Pengujian kedua adalah pengujian tahanan kontak menggunakan Dv Power dengan arus uji 100 A pada kondisi PMT tertutup (close). Hasil pengujian tahun 2023 dan 2025 menunjukkan nilai tahanan kontak pada fasa R, S, dan T masing-masing berkisar 26,6–57,6 $\mu\Omega$ dan 27,6–49,8 $\mu\Omega$. Seluruh nilai masih berada di bawah batas maksimum 80 $\mu\Omega$ sesuai standar IEC 60694 dan ketentuan pabrikan Siemens maupun Schneider. Perhitungan rugi-rugi daya menggunakan persamaan $P = I^2R$ menghasilkan nilai 0,266–0,576 W pada tahun 2023 dan 0,276–0,498 W pada tahun 2025, yang menunjukkan rugi-rugi daya rendah

sehingga tidak berpotensi menimbulkan pemanasan berlebih. Meskipun terdapat sedikit perbedaan hasil antara tahun 2023 dan 2025 akibat kondisi kontak maupun lingkungan pengujian, seluruh PMT tetap memenuhi standar teknis dan layak dioperasikan.

Pengujian ketiga adalah pengujian keserempakan kontak menggunakan KoCoS ACTAS P360+ untuk mengetahui waktu operasi PMT dan keserempakan kontak pada kondisi open dan close. Hasil pengujian tahun 2023 dan 2025 menunjukkan waktu operasi open masing-masing sebesar 41,37–51,81 ms dan 42,11–53,78 ms, sedangkan waktu operasi close sebesar 46,59–57,86 ms dan 48,22–60,73 ms. Seluruh nilai masih memenuhi standar PLN, yaitu ≤ 60 ms untuk operasi open dan ≤ 110 ms untuk operasi close. Nilai delta time (Δt) antar fasa pada tahun 2023 berkisar 0,24–0,64 ms (open) dan 0,26–0,83 ms (close), sedangkan pada tahun 2025 berkisar 0,27–0,58 ms (open) dan 0,28–0,66 ms (close). Seluruh nilai Δt berada di bawah batas toleransi pabrikan Siemens dan Schneider (≤ 10 ms), yang menunjukkan keserempakan kontak antar fasa berlangsung dengan baik. Selain itu, seluruh waktu operasi juga lebih cepat dari persyaratan SPLN No. 52-1 Tahun 1984 untuk sistem 20 kV (clearing time 170 ms). Dengan demikian, hasil pengujian menunjukkan bahwa seluruh PMT kubikel outgoing memenuhi standar teknis dan layak dioperasikan.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisa dan evaluasi pengujian pada pemutus tenaga 20 kV di Gardu Induk Ketapang, dapat di simpulkan sebagai berikut:

1. Berdasarkan hasil pengujian tahanan isolasi tahun 2023 dan 2025 menggunakan Kyoritsu KEW-3125A dengan tegangan uji 5 kV pada kondisi open dan close, seluruh PMT kubikel outgoing 20 kV menunjukkan nilai OL (Open Loop) pada semua titik pengujian. Berdasarkan standar VDE (Catalogue 228/4) yang menetapkan nilai tahanan isolasi minimum 1 M Ω untuk setiap 1 kV tegangan operasi, hasil tersebut menunjukkan bahwa seluruh PMT memenuhi standar, memiliki kondisi isolasi yang baik, serta layak dan aman untuk dioperasikan.
2. Berdasarkan hasil pengujian tahanan kontak tahun 2023 dan 2025 menggunakan Dv Power dengan arus uji 100 A pada kondisi close, diperoleh nilai tahanan kontak sebesar 26,6–57,6 $\mu\Omega$ pada tahun 2023 dan 27,6–49,8 $\mu\Omega$ pada tahun 2025. Seluruh nilai masih berada di bawah batas maksimum 80 $\mu\Omega$ sesuai standar IEC 60694 serta ketentuan pabrikan Siemens dan Schneider. Perhitungan rugi-rugi daya ($P = I^2R$) menunjukkan nilai yang rendah, yaitu 0,266–0,576 W pada tahun 2023 dan 0,276–0,498 W pada tahun 2025, sehingga tidak berpotensi menimbulkan pemanasan berlebih. Dengan demikian, kondisi kontak utama seluruh PMT memenuhi standar teknis serta layak dan aman untuk dioperasikan.
3. Berdasarkan hasil pengujian keserempakan kontak tahun 2023 dan 2025 menggunakan KoCoS ACTAS P360+ pada kondisi open dan close, diperoleh waktu operasi open sebesar 41,37–51,81 ms pada tahun 2023 dan 42,11–53,78 ms pada tahun 2025, sedangkan waktu operasi close sebesar 46,59–57,86 ms pada tahun 2023 dan 48,22–60,73 ms pada tahun 2025. Nilai delta time (Δt) antar fasa berkisar 0,24–0,83 ms pada tahun 2023 dan 0,27–0,66 ms pada tahun 2025. Seluruh hasil memenuhi standar PLN, yaitu ≤ 60 ms untuk operasi open dan ≤ 110 ms untuk operasi close, serta berada di bawah batas toleransi pabrikan Siemens dan Schneider ($\Delta t \leq 10$ ms). Selain itu, waktu operasi PMT juga lebih cepat dari persyaratan SPLN No. 52-1 Tahun 1984 (clearing time 170 ms), sehingga seluruh PMT memiliki keserempakan kontak yang baik, memenuhi standar teknis, serta layak dan aman untuk dioperasikan.
4. Berdasarkan hasil pengujian tahanan isolasi, tahanan kontak, dan keserempakan kontak tahun 2023 dan 2025, seluruh PMT kubikel outgoing 20 kV di ULTG Ketapang

menunjukkan kinerja yang baik dan memenuhi standar teknis yang berlaku. Hasil pengujian tahanan isolasi menunjukkan nilai OL (Open Loop) pada seluruh titik pengujian, sedangkan pengujian tahanan kontak dan keserempakan kontak masih berada dalam batas standar VDE, IEC 60694, PLN, serta ketentuan pabrikan Siemens dan Schneider. Meskipun terdapat sedikit perbedaan hasil antara tahun 2023 dan 2025, perubahan tersebut masih dalam batas normal dan tidak memengaruhi kinerja PMT. Dengan demikian, seluruh PMT dinyatakan layak, aman, dan andal untuk dioperasikan.

DAFTAR PUSTAKA

- 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," *J. Electr. Eng. Energy, Inf. Technol.*, vol. 9, no. 2, hal. 1–8, Okt. 2021.
- B. A. Effendi and E. Handoyo, "Pengujian Tahanan Isolasi Pada Pemeliharaan Pemutus Tenaga (PMT) Kubikel Outgoing 20 kV Menggunakan Insulation Tester di Gardu Induk Bantul PT. PLN (Persero) UP2D JTY DCC 2 Yogyakarta," *J. Kajian Tek. Elektro*, vol. 5, no. 2, hal. 126–140, Sep. 2020.
- Buku Pedoman Pemeliharaan Premier GI KEPDIR 0520-2.K.DIR.2014 Buku Pedoman Pemeliharaan Kubikel.
- Buku Pedoman Pemeliharaan Premier GI KEPDIR 0520-2.K.DIR.2014 Buku Pedoman Pemutus Tenaga.
- Buku Pedoman Pengenalan Kubikel 20 kV Dan Komponen-Komponennya.
- D. E. Salam and E. Mulyana, "Analisis Uji Kelayakan PMT Pada Jaringan Tenaga Listrik 150 kV," *J. Kehumasan*, vol. 4, no. 2, hal. 1–9, 2021.
- E. S. Rahman, M. Y. Mappedasse, and H. Hasrul, "Studi Pengujian Keserempakan Pemutus Tenaga (PMT) 150 kV Menggunakan Breaker Analyzer di Gardu Induk," *J. Media Elektrik*, vol. 20, no. 2, hal. 119–127, Apr. 2023.
- H. V. Anderson, "Pengujian Keserempakan PMT 20 kV Menggunakan Breaker Analyzer Untuk Mengetahui Nilai Kecepatan Open-Close dan Bounce dari PMT 20 kV UP2D DIY&JATENG," Tugas Akhir, Program Studi Teknologi Listrik, Universitas Gadjah Mada, 2020.
- J. M. Tambunan and A. W. Munajich, "Proses Perakitan dan Pengujian Kubikel SM6 Vacuum Circuit Breaker 20 kV di PT. Galleon Cahaya Investama," *J. Energi Kelistrikan*, vol. 10, no. 1, hal. 45–52, Jan.–Jun. 2018.
- M. A. Prakoso and J. Joko, "Analisis Pengujian dan Pemeliharaan Dua Tahunan Pemutus Tenaga (PMT) Di Gardu Induk Rungkut 150 kV," *J. Tek. Elektro*, vol. 13, no. 2, hal. 144–151, Mei 2024.
- S. Hartanto, R. Pahlavi, dan T. O. Priyono, "Pengujian Kinerja PMT 20 kV Pada Kubikel Netto Gardu Induk PLTMG Senayan," *J. Tek.*, vol. 26, no. 1, hal. 45–53, Jun. 2023.
- S. S. Akhmad and A. S. Jamin, "Pengujian Tahanan Isolasi Pada Pemutus Tenaga (PMT) 20 kV Di Gardu Induk Tello 150 kV," in *Pros. Seminar Nasional Teknik Elektro dan Informatika (SNTEI)*, hal. 40–43, 2021.
- T. Al Malik, Z. Tharo, and H. Gunawan, "Analisis Pengujian Pemutus Tenaga (PMT) 150 KV Bay Penghantar Tanjung Pura di Gardu Induk Pangkalan Brandan," *J. Nas. Teknol. Komput.*, vol. 5, no. 3, hal. 851–863, Jul. 2025.