

# Studi Pemeliharaan Pemutus Tenaga (PMT) Pada Gardu Induk PT. PLN (Persero) UPT Banda Aceh

Cut Fadhli<sup>1\*</sup>, Muliadi<sup>2</sup>, dan Syukri<sup>3</sup>

<sup>1, 2, 3</sup>Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Iskandar Muda  
Jl. Kampus UNIDA, Surien, Kec. Meuraxa, Kota Banda Aceh, Aceh 23234

\*Corresponding author E-mail: [cutfadhli@gmail.com](mailto:cutfadhli@gmail.com)

## ABSTRACT

*The substation (GI) is the most important infrastructure for supplying electricity. GI distributes electrical energy from energy sources to various points in Indonesia. However, for the Banda Aceh and Aceh Besar regions, this role is carried out by GI UPT Banda Aceh to support the economic activities and social development of the community. Therefore, it is necessary to maintain all components supporting GI performance, one of which is the power breaker (PMT). PMT is equipment that has the function of connecting or disconnecting electricity, both in normal and abnormal conditions. The maintenance carried out on the PMT is by measuring the values of insulation resistance, contact resistance, grounding resistance, and testing the synchronization of the PMT contacts. This study aims to analyze power breaker maintenance practices (PMT) at the PT main substation. PLN (Persero) UPT Banda Aceh. The research method is by conducting literature studies and field surveys using observational approaches and interviews. The research results show that the PMT maintenance process in Bays A, B, and C at the Banda Aceh UPT Main Substation is still very suitable for operation. The PMT insulation resistance values in the R, S, and T phases at above-ground measuring points and below-ground measuring points in Bay A have the same values in both 2021 and 2022, while the insulation resistance values at above-ground measuring points are different and The insulation resistance value in PMT Bay B and C has varying values at each measuring point including the R, S and T phases. The contact resistance and grounding resistance values in the two maintenance periods are still below the permitted limits. Furthermore, the PMT contact uniformity values in Bay A are relatively the same as in Bay C, namely 53.00 ms and 55.00 ms (close) and 29.00 ms and 29.50 ms (open), Bay B namely 29.00 ms and 29.50 ms (open). .50 ms (close) and 22.50 ms and 23.00 ms (open) with a difference in PMT contact uniformity values in each bay, namely 0.5 ms and 2 ms.*

*Keywords: Circuit breaker, Insulation resistance, Contact resistance, Grounding resistance, Contact synchronization.*

## ABSTRAK

*Gardu induk (GI) merupakan infrastruktur yang paling penting dalam penyediaan pasokan listrik. GI bertugas untuk mendistribusikan energi listrik dari sumber energi ke berbagai titik di wilayah Indonesia. Namun, untuk wilayah Banda Aceh dan Aceh Besar peran tersebut dilakukan oleh GI UPT Banda Aceh agar dapat mendukung aktivitas ekonomi dan perkembangan sosial masyarakatnya. Oleh sebab itu, perlu dilakukan pemeliharaan terhadap semua komponen pendukung kinerja GI salah satunya yaitu pemutus tenaga (PMT). PMT adalah suatu peralatan yang memiliki fungsi untuk menghubungkan atau memutuskan aliran listrik baik dalam keadaan normal maupun dalam keadaan abnormal. Adapun pemeliharaan yang dilakukan terhadap PMT yaitu dengan cara melakukan pengukuran nilai tahanan isolasi, tahanan kontak, tahanan pentanahan, dan pengujian keserampakan kontak PMT. Studi ini bertujuan untuk menganalisis praktik pemeliharaan pemutus tenaga (PMT) pada Gardu Induk PT. PLN (Persero) UPT Banda Aceh. Metode penelitiannya yaitu dengan melakukan studi literatur dan survei lapangan dengan pendekatan observasional dan wawancara. Hasil penelitian menunjukkan bahwa proses pemeliharaan PMT pada Bay A, B, dan C di Gardu Induk UPT Banda Aceh masih sangat layak dioperasikan. Nilai tahanan isolasi PMT di fasa R, S, dan T pada titik ukur atas-tanah dan titik ukur bawah-tanah di Bay A memiliki nilai yang sama baik pada tahun 2021 maupun 2022 sedangkan nilai tahanan isolasi pada titik ukur atas-bawah nilainya berbeda dan nilai tahanan isolasi pada PMT Bay B dan C dimana memiliki nilai yang bervariasi pada setiap titik ukurnya termasuk pada fasa R, S, dan T. Nilai tahanan kontak dan tahanan pentanahan dalam dua periode pemeliharaan masih di bawah batas yang diijinkan. Selanjutnya, nilai keserampakan kontak PMT pada Bay A relatif sama dengan Bay C yaitu 53,00 ms dan 55,00 ms (close) serta 29,00 ms dan 29,50 ms (open), Bay B yaitu 29,00 ms dan 29,50 ms (close) serta 22,50 ms dan 23,00 ms (open) dengan selisih nilai keserampakan kontak PMT pada masing-masing Bay yaitu 0,5 ms dan 2 ms.*

*Kata Kunci: Pemutus tenaga, Tahanan isolasi, Tahanan kontak, Tahanan pentanahan, Keserampakan kontak.*

## I. PENDAHULUAN

Indonesia, sebagai negara dengan populasi yang besar dan ekonomi yang berkembang pesat, menghadapi tantangan besar dalam memenuhi keperluan akan pasokan listrik yang andal dan berkelanjutan. Pasokan listrik yang stabil menjadi kunci dalam mendukung berbagai sektor, baik sektor ekonomi, industri, perdagangan, pendidikan, dan kesehatan serta kegiatan sosial [1]. Oleh sebab itu, Aceh merupakan salah satu wilayah yang memiliki kebutuhan energi listrik guna mendukung aktivitas ekonomi dan perkembangan sosial masyarakatnya. Adapun infrastruktur yang paling penting dalam penyediaan pasokan listrik adalah Gardu Induk (GI) PT. PLN (Persero) UPT Banda Aceh [2].

Gardu Induk UPT Banda Aceh memiliki fungsi sebagai pusat distribusi energi listrik dari sumber energi ke berbagai titik di wilayah Aceh. Oleh karena itu, kehandalan operasi Gardu Induk tersebut menjadi kunci dalam menjaga kontinuitas pasokan listrik yang stabil dan terjamin bagi masyarakat Aceh. Jadi, sangat penting untuk memelihara semua komponen di Gardu Induk termasuk pemutus tenaga (PMT) agar dapat bekerja dan terjaga dengan baik serta optimal [3].

PMT merupakan peralatan utama dan vital dalam sistem kelistrikan juga memiliki fungsi untuk memutuskan aliran listrik baik ketika terjadi gangguan atau kelebihan arus yang dapat mengakibatkan kerusakan pada sarana dan peralatan listrik [4]. PMT juga berfungsi untuk menjaga keamanan sistem kelistrikan dan melindungi peralatan dari risiko kebakaran dan kerusakan yang disebabkan oleh gangguan arus lebih [5]. Oleh karena itu, pemeliharaan yang teratur dan tepat waktu dari PMT menjadi sangat penting agar keamanan dan kehandalan operasi Gardu Induk dapat terjaga dengan baik [3][6].

Tantangan Gardu Induk UPT Banda Aceh dalam hal pemeliharaan PMT meliputi kondisi geografis yang beragam dan rentan terhadap bencana alam seperti gempa bumi serta tsunami. Tantangan lainnya yaitu cuaca ekstrem seperti hujan lebat dan angin kencang dimana kondisi tersebut dapat mempengaruhi kinerja dan ketahanan PMT [7]. Selain sebagai komponen krusial dalam pendistribusian tenaga listrik, PMT juga dapat mengalami penurunan kinerjanya apabila terjadi keausan atau kerusakan sehingga berdampak negatif kepada pelanggan, bisnis, dan berbagai aktivitas lainnya [8]. Untuk menghindari terjadinya kerusakan peralatan atau komponen lain yang tidak direncanakan maka perlu dilakukan pengujian terhadap PMT agar kontinuitas penyaluran tenaga listrik dari pembangkit ke konsumen berjalan dengan baik [8][9][10]. Adapun pengujian yang dimaksud antara lain yaitu pengujian tahanan pentanahan berguna untuk melihat seberapa besar arus bocor (*leakage current*) yang terdapat di antara kapasitas tegangan dengan tanah; pengujian tahanan kontak berguna untuk mengidentifikasi kegagalan teknis yang diakibatkan koneksi antar titik; dan pengujian keserampakan kontak berguna untuk melihat kemampuan melokalisir saat terjadinya gangguan [10].

Tujuan dari penelitian ini yaitu untuk menganalisa kelayakan pengoperasian PMT pada Gardu Induk UPT Banda Aceh. Adapun metode yang digunakan yaitu dengan melakukan pengukuran nilai tahanan isolasi, tahanan kontak, tahanan pentanahan, dan keserampakan. Selanjutnya, manfaat dari penelitian ini diharapkan dapat meningkatkan

keandalan dan ketersediaan pasokan listrik di wilayah Banda Aceh dan Aceh Besar. Juga dapat meningkatkan efisiensi dan efektivitas pemeliharaan PMT di Gardu Induk UPT Banda Aceh.

## II. METODE

Studi pemeliharaan pemutus tenaga (PMT) dilakukan pada Gardu Induk PT. PLN (Persero) UPT Banda Aceh yang beralamat di Jl. Soekarno-Hatta, Desa Lamreung, Kecamatan Darul Imarah, Kab. Aceh Besar. Penelitian ini membutuhkan waktu selama 6 (enam) bulan terhitung dari bulan Februari 2023 hingga Juli 2023. Selanjutnya, metode yang diterapkan adalah dengan melakukan studi literatur dan survei lapangan untuk mendapatkan data penelitian. Adapun data-data yang dibutuhkan yaitu berupa nilai tahanan isolasi, tahanan kontak, tahanan pentanahan, dan keserampakan PMT. Semua data tersebut diperoleh dari hasil pengukuran pada tahun 2021 dan tahun 2022 melalui proses pengukuran langsung di Gardu Induk PT. PLN (Persero) UPT Banda Aceh.

### A. Gardu Induk (GI)

GI merupakan sekumpulan peralatan hubung bagi yang bertegangan tinggi (150 kV) dan berfungsi sebagai tempat pendistribusian dan pengendalian daya listrik [11]. Pada GI terdapat banyak peralatan antara lain adalah transformator daya, rel daya (busbar), pemutus tenaga (PMT), pemisah (PMS), transformator arus (CT), transformator tegangan (PT), lightning arrester (LA), panel kontrol, sistem pentanahan, dan kubikel (*switchgear* sistem level tegangan 20 kV), serta peralatan pendukung lainnya [11].

### B. Pemutus Tenaga (PMT)

PMT sering disebut juga dengan *Circuit Breaker* (CB) yaitu peralatan mekanis yang dapat menutup atau menyalurkan arus listrik dalam periode tertentu dan dapat juga memutuskan aliran listrik ke beban dalam kondisi gangguan [12][13]. Adapun syarat-syarat dari PMT, yaitu [14]:

1. Mampu menyalurkan arus maksimum secara terus-menerus ke sistem.
2. Mampu memutuskan dan menghubungkan jaringan dalam keadaan berbeban dan ketika terjadi hubung singkat tanpa menyebabkan kerusakan pada PMT itu sendiri.
3. Mampu memutuskan arus hubung singkat dengan kecepatan yang sangat tinggi tanpa merusak peralatan lainnya sehingga kontinuitas penyaluran daya listrik tidak terganggu.

Selanjutnya, PMT dapat diklasifikasi ke dalam beberapa jenis, yaitu berdasarkan nominal tegangan, berdasarkan jumlah mekanik penggerak, berdasarkan media isolasi, dan berdasarkan proses pemadaman busur api jenis gas SF<sub>6</sub> [15].

### C. Tahapan-tahapan Penelitian

Studi pemeliharaan pemutus tenaga (PMT) pada Gardu Induk UPT Banda Aceh dilakukan melalui beberapa tahapan, yaitu studi literatur, pengumpulan data, pengukuran (tahanan isolasi, tahanan kontak, tahanan pentanahan, dan keserampakan PMT), analisa dan pembahasan, serta kesimpulan. Adapun tahapan selengkapnya dapat dilihat pada *flowchart* penelitian yang ditunjukkan pada Gambar 1 berikut ini.



Gambar 1. Flowchart penelitian

#### 1. Pengumpulan data

Pada penelitian ini dilakukan pengumpulan data PMT yang terdapat pada Bay A, Bay B, dan Bay C Gardu Induk UPT Banda Aceh. PMT yang digunakan pada ke empat Bay tersebut yaitu jenis PMT 150 kV dengan merk ABB.

#### 2. Tahanan isolasi PMT

Pengukuran tahanan isolasi PMT dilakukan agar dapat diketahui nilai tahanan isolasi PMT antar fasa dan casing yang ditanahkan maupun antara terminal atas dengan terminal bawah PMT pada fasa yang sama [13]. Tahanan isolasi PMT dapat diukur dengan menggunakan *Insulation Tester* dengan cara sebagai berikut [15]:

- Pemasangan pentanahan lokal pada sisi *input* dan *output* agar dapat meminimalisir muatan induksi yang tersisa.
- Membuka konektor PMT bagian atas dan bawah.
- Membersihkan isolasi porselin *bushing* menggunakan cairan *cleaner* dan kain lap yang tidak merusak isolator agar mendapatkan hasil yang akurat.
- Melakukan pengukuran tahanan isolasi PMT pada kondisi terbuka (*open*), yaitu:
  - a) Terminal fasa atas ( $R_a, S_a, T_a$ ) terhadap casing dan tanah (*ground*).
  - b) Terminal fasa bawah ( $R_b, S_b, T_b$ ) terhadap casing dan tanah (*ground*).
  - c) Terminal fasa atas dan bawah ( $R_a-R_b, S_a-S_b, T_a-T_b$ ).
- Melakukan pengukuran tahanan isolasi PMT pada kondisi tertutup (*close*), yaitu:
  - a) Terminal fasa R ( $R_a + R_b$ ) terhadap tanah (*ground*).
  - b) Terminal fasa S ( $S_a + S_b$ ) terhadap tanah (*ground*).
  - c) Terminal fasa T ( $T_a + T_b$ ) terhadap tanah (*ground*).
- Mencatat hasil pengukuran tahanan isolasi serta temperatur sekitar PMT.

- Hasil pengukuran menjadi data terbaru hasil pengamatan dan sebagai nilai evaluasi pembandingan dengan hasil pengukuran sebelumnya.
- Memasang kembali konektor atas dan bawah seperti semula.
- Melepas tahanan lokal sambil mengecek persiapan untuk pekerjaan selanjutnya.

Selanjutnya, menurut standar VDE (*Verband Deutscher Elektrotechniker*) dan buku pemeliharaan peralatan SE. 032/PST/1984 batasan nilai tahanan isolasi PMT minimum pada suhu operasi yaitu 1 kilovolt = 1 M $\Omega$  dimana 1 kV sama dengan besarnya tegangan fasa ke tanah dan kebocoran arus yang diizinkan sebesar 1 kV = 1mA [9].

#### 3. Tahanan kontak PMT

Sambungan penghantar atau konduktor dapat menimbulkan suatu resistansi terhadap arus yang dilaluinya sehingga dapat menyebabkan panas dan menimbulkan rugi-rugi daya [16]. Besarnya rugi-rugi daya dapat meningkat apabila sambungan konduktor terlalu banyak. Jadi, solusinya dapat dilakukan dengan mengendalikan besaran nilai tahanan kontak menjadi sekecil mungkin agar PMT dapat bekerja secara maksimal. Alat ukur yang digunakan untuk mengukur tahanan kontak yaitu *Programs ISA CB Test 2000* yang terdiri dari alat ukur sumber arus dan tegangan. Adapun langkah-langkah pengukuran tahanan kontak adalah sebagai berikut [3]:

- Menghubungkan objek yang diukur ke tanah (*ground*).
- Menyambungkan terminal positif dan negatif ke dua sisi objek yang diukur.
- Menghubungkan kabel ukur *mVolt* sedekat mungkin dengan objek yang diukur.
- Posisikan saklar pada posisi *ON*.
- Memilih saklar pada angka 200A.
- Mengatur pembangkit arus sehingga pada *display layer* menunjukkan angka 100A.
- Menekan saklar pengubah dari 0 ke Ohm.
- Mencatat penunjukkan terhadap skala pembatas.

Apabila nilai tahanan kontak PMT-nya normal, maka dapat disesuaikan dengan *manual book*, sebagai contoh:

- Standar G.E  $\leq 100 - 350 \mu\Omega$
- Standar ASEA  $\leq 45 \mu\Omega$
- Standar MG  $\leq 35 \mu\Omega$

Namun, apabila dalam *manual book* tidak dicantumkan nilai tahanan kontak PMT, maka nilai maksimum tahanan kontak yang dapat digunakan sebagai referensi yaitu sebesar 50  $\mu\Omega$  (sesuai dengan P3B O&M PMT/001.01) [17].

#### 4. Tahanan pentanahan

Nilai tahanan pentanahan sangat bergantung terhadap kondisi kontur tanahnya seperti tanah cadas, kapur, dan lain sebagainya [18][19]. Alat ukur yang digunakan untuk mengukur nilai tahanan pentanahan pada Gardu Induk UPT Banda Aceh, yaitu *Digital Earth Resistance Tester* jenis Kyoritsu 4120. Adapun tahapan prosedur pengukurannya adalah sebagai berikut [19]:

- Periksa tegangan tanah (pastikan nilai tegangan yang terbaca tidak lebih dari 10 V AC, jika lebih maka pengukuran tahanan pentanahannya tidak akurat).
- Periksa tegangan baterai dan alat bantu hubung ke tanah (tegangan baterai dalam kondisi baik apabila jarum meter menunjukkan ke arah kanan atau *good*).
- Periksa penghubung pada elektroda utama dan elektroda bantu dengan mensetting saklar di *range* 2000  $\Omega$  dan menekan tombol “PRESS TO TEST”, apabila tahanan elektroda utama terlalu tinggi maka akan muncul simbol “...” dan berkedip-kedip. Untuk itu perlu dilakukan pengecekan pada elektroda utama.
- Melakukan pengukuran dengan mensetting *range* saklar ke posisi yang diinginkan dan tekan tombol “PRESS TO TEST” selama beberapa detik.
- Mencatat nilai tahanan pentanahan yang muncul dari *Digital Earth Resistance Tester*.

Menurut IEEE Std. 80:200, besarnya nilai tahanan pentanahan untuk *switchgear* yaitu  $\leq 1$  ohm ( $\Omega$ ) [20].

### 5. Keserampakan PMT

Pengujian keserampakan dilakukan untuk mengetahui waktu kerja PMT secara individu pada saat menutup dan membuka [3]. Berdasarkan cara kerja penggerak PMT, PMT dapat dibedakan kedalam dua jenis yaitu penggerak PMT tiga fasa dan penggerak satu fasa [4]. Namun, pada GI UPT Banda Aceh menggunakan jenis penggerak PMT tiga fasa sehingga pada R, S, dan T harus menutup secara serempak, kalau tidak maka sistem akan terganggu. Menurut SPLN 52-1 1983, pada sistem transmisi 70 kV membutuhkan *clearing time* 150 ms. Sedangkan untuk transmisi 150 kV membutuhkan waktu trip PMT selama 120 ms. Adapun langkah-langkah pengujiannya yaitu [8][21]:

- Memasukkan (ON) PMT yang akan diuji.
- Memasang pentanahan pada sisi kontak agar dapat mengurangi resiko arus induksi yang mengalir pada alat uji.
- Memasang pentanahan untuk alat uji keserampakan.
- Pada kondisi PMT *open*:
  - a) Posisikan *switch sequence* pada posisi *close*.
  - b) Nyalakan *switch power*.
  - c) Tekan tombol ready hingga lampu LED menyala.
  - d) Putar *switch start*.
  - e) Tunggu beberapa saat hingga printer mencetak.
- Pada kondisi PMT *close*:
  - a) Posisikan *switch sequence* pada posisi *open*.
  - b) Nyalakan *switch power*.
  - c) Tekan tombol ready hingga lampu LED menyala.
  - d) Putar *switch start*.
  - e) Tunggu beberapa saat hingga printer mencetak.

Pengujian kecepatan dan keserampakan kontak PMT mengacu kepada standar SPLN No. 52-1 1983, yaitu [8]:

- 500 kV  $\leq$  90 ms.
- 275 kV  $\leq$  100 ms.
- 150 kV  $\leq$  120 ms.
- 70 kV  $\leq$  150 ms.
- *Fault clearing time* pengaman cadangan adalah 500 ms.

Selanjutnya, selisih waktu untuk keserampakan kontak PMT yang diizinkan berdasarkan standar yang telah ditetapkan ketika *close* dan *open* yaitu  $<10$  milli detik (ms). Adapun rumus untuk menghitung selisih waktu keserampakan kontak PMT adalah sebagai berikut [10]:

$$\Delta t = t_{maks} - t_{min} \quad (1)$$

Dengan:

$\Delta t$  = selisih waktu

$t_{maks}$  = waktu tertinggi

$t_{min}$  = waktu terendah

### 6. Analisa dan pembahasan

Pada tahapan ini, semua hasil pengukuran dan pengujian PMT dianalisa agar dapat diketahui berada pada evaluasi level ke berapa dalam hal pemeliharaan PMT. Adapun metode evaluasi hasil kegiatan pengujian atau pemeliharaan PMT meliputi:

- Evaluasi level – 1, yaitu hasil *in service* atau *visual inspection* yang sifatnya berupa harian, mingguan, bulanan, ataupun tahunan dimana menghasilkan kondisi awal dari PMT.
- Evaluasi level – 2, yaitu hasil yang dapat memberikan gambaran berupa justifikasi kondisi PMT serta penjadwalan evaluasi level – 3.
- Evaluasi level – 3, yaitu tahapan akhir dari kegiatan evaluasi dimana hasil dari evaluasi level – 2 ditambah dengan hasil *shutdown measurement* dan *shutdown check*.

Selanjutnya, semua hasil evaluasi dan pemeliharaan PMT yang dilakukan harus mengacu kepada standarisasi (IEC, IEEE, CIGRE, ANSI, SPLN, SNI) dan buku manual dari pabrik serta hasil observasi di lapangan.

## III. HASIL DAN PEMBAHASAN

### A. Hasil Pengukuran Tahanan Isolasi PMT

Nilai tahanan isolasi pada PMT diperoleh dari hasil pengukuran yang terdapat pada Bay A, Bay B, dan Bay C dalam kondisi PMT sedang *OFF* dengan tiga titik ukur, yaitu titik ukur atas–bawah, atas–tanah, dan bawah–tanah. Hasil pengukuran selengkapnya ditunjukkan pada Tabel 1, Tabel 2, dan Tabel 3.

TABEL 1. DATA TAHANAN ISOLASI PADA BAY A GI BANDA ACEH

Fasa PMT	Titik Ukur Atas – Bawah (M $\Omega$ )		Titik Ukur Atas – Tanah (M $\Omega$ )		Titik Ukur Bawah – Tanah (M $\Omega$ )	
	2021	2022	2021	2022	2021	2022
Fasa R	247.000	188.000	141.000	141.000	415.000	415.000
Fasa S	154.000	147.000	111.000	111.000	391.000	391.000
Fasa T	205.000	155.000	104.000	104.000	258.000	258.000

TABEL 2. DATA TAHANAN ISOLASI PADA BAY B GI BANDA ACEH

Fasa PMT	Titik Ukur Atas – Bawah (M $\Omega$ )		Titik Ukur Atas – Tanah (M $\Omega$ )		Titik Ukur Bawah – Tanah (M $\Omega$ )	
	2021	2022	2021	2022	2021	2022
Fasa R	118.000	153.000	164.000	140.000	282.000	155.000
Fasa S	125.000	154.000	148.000	156.000	302.000	165.000
Fasa T	143.000	149.000	150.000	152.000	284.000	157.000

TABEL 3. DATA TAHANAN ISOLASI PADA BAY C GI BANDA ACEH

Fasa PMT	Titik Ukur Atas – Bawah (M $\Omega$ )		Titik Ukur Atas – Tanah (M $\Omega$ )		Titik Ukur Bawah – Tanah (M $\Omega$ )	
	2021	2022	2021	2022	2021	2022
Fasa R	154.000	265.000	266.000	253.000	281.000	141.000
Fasa S	206.000	244.000	308.000	287.000	266.000	287.000
Fasa T	221.000	253.000	275.000	243.000	240.000	252.000

Dari Tabel 1, 2, dan 3 dapat dilihat bahwa pada Bay A, B, dan C memiliki nilai tahanan isolasinya yang berbeda-beda disetiap fasanya. Pada Bay A (Tabel 1), fasa S memiliki nilai tahanan isolasi yang relatif kecil dibandingkan pada R dan T di titik ukur atas–bawah, yaitu pada tahun 2021 sebesar 154.000 M $\Omega$  dan pada tahun 2022 sebesar 147.000 M $\Omega$ . Sedangkan pada titik ukur atas–tanah yang dilakukan pada tahun 2021 maupun 2022, fasa T memiliki nilai tahanan isolasi yang relatif kecil yaitu sama-sama sebesar 104.000 M $\Omega$ . Pada Bay B (Tabel 2), hasil yang diukur pada titik ukur atas–bawah tahun 2021 memiliki nilai tahanan isolasi yang relatif kecil apabila dibandingkan dengan nilai tahanan isolasi pada fasa S dan T, yaitu sebesar 118.000 M $\Omega$ . Sedangkan hasil ukur tahun 2022 pada titik ukur yang sama fasa T memiliki nilai tahanan isolasi yang relatif kecil dibandingkan dengan fasa R dan S, yaitu sebesar 149.000 M $\Omega$ . Selanjutnya, hasil ukur yang dilakukan pada Bay C (Tabel 3) tahun 2021 (titik ukur atas–bawah) menunjukkan bahwa nilai tahanan isolasi yang relatif kecil terdapat di fasa R, yaitu 154.000 M $\Omega$ . sedangkan dari hasil ukur pada tahun 2022 (titik ukur bawah–tanah) didapatkan nilai tahanan isolasi

yang relatif kecil yaitu sebesar 141.000 M $\Omega$ . Dari hasil pengukuran yang terdapat dalam Tabel 1, 2, dan 3 juga menunjukkan bahwa setiap kali dilakukan pemeliharaan nilai tahanan isolasi selalu mengalami kenaikan.

Jadi, dapat disimpulkan bahwa kemampuan isolasi dari masing-masing fasa sangat dipengaruhi oleh kondisi dari isolator PMT itu sendiri. Apabila pada isolator memiliki banyak kotoran yang menempel maka kemampuan dalam mengisolasi peralatan (PMT) akan berkurang. Oleh sebab itu tahanan isolasi pada PMT harus selalu dilakukan pemeliharaan dan sehingga sistem pendistribusian tenaga listrik menjadi lebih baik serta andal.

#### B. Hasil Pengukuran Tahanan Kontak

Nilai tahanan kontak pada PMT yang terdapat di masing-masing Bay GI UPT Banda Aceh didapatkan melalui titik ukur atas – bawah. Adapun hasil pengukuran tahanan kontak dalam dua periode maintenance atau pemeliharaan pada masing-masing Bay (Bay A, B, dan C) di fasa R, S, dan T selengkapnya ditunjukkan pada Tabel 4.

TABEL 4. DATA TAHANAN KONTAK PADA BAY GI BANDA ACEH

Tahun	Titik Ukur (Atas – Bawah)								
	Bay A ( $\mu\Omega$ )			Bay B ( $\mu\Omega$ )			Bay C ( $\mu\Omega$ )		
	Fasa R	Fasa S	Fasa T	Fasa R	Fasa S	Fasa T	Fasa R	Fasa S	Fasa T
2021	36	33	30	34	34	34	34	34	36
2022	28	28	32	33	30	33	30	30	33

Dari Tabel 4 menunjukkan bahwa nilai tahanan kontak dalam dua periode pemeliharaan hasilnya masih di bawah batas yang diijinkan yaitu sesuai dengan standar P3B O&M PMT/001.01 dimana nilai maksimum tahanan kontak yang diijinkan adalah 50  $\mu\Omega$ . Akan tetapi nilainya selalu mengalami perubahan pada setiap dilakukan pemeliharaan bahkan bisa lebih rendah dari nilai ketika pemeliharaan di periode sebelumnya. Jadi, nilai tahanan kontak pada PMT harus diupayakan serendah mungkin agar dapat mengurangi rugi-rugi daya.

#### C. Hasil Pengukuran Tahanan Pentanahan

Nilai tahanan pentanahan PMT didapatkan dari hasil pengukuran pada masing-masing fasa di Bay A, B, dan C. Adapun hasil tahanan pentanahan selengkapnya ditunjukkan pada Tabel 5.

TABEL 5. DATA TAHANAN PENTANAHAN PADA BAY GI BANDA ACEH

Fasa PMT	Bay A ( $\Omega$ )		Bay B ( $\Omega$ )		Bay C ( $\Omega$ )	
	2021	2022	2021	2022	2021	2022
Fasa R	0,16	0,16	0,8	0,8	0,081	0,081
Fasa S	0,16	0,16	0,8	0,8	0,081	0,081
Fasa T	0,16	0,16	0,8	0,8	0,081	0,081

Dari Tabel 5 menunjukkan bahwa baik pada periode pemeliharaan tahun 2021 maupun tahun 2022, nilai tahanan pentanahannya masih dalam ambang batas yang diijinkan bahkan memiliki nilai tahanan pentanahan yang lebih kecil yaitu di Bay C sebesar 0,081 $\Omega$ . Pada tabel juga menunjukkan bahwa hasil pengukuran yang dilakukan baik pada pemeliharaan tahun 2021 maupun 2022 nilai tahanan pentanahannya selalu sama antara fasa R, S ataupun T. ini dikarenakan pada GI UPT Banda Aceh menggunakan sistem

pentanahan berbentuk mesh dimana semua kawat konduktor pentanahan sudah terhubung satu sama lain atau lebih dikenal dengan metode *grid* sehingga perbedaan tegangan pada peralatan GI menjadi lebih merata. Jadi, dapat disimpulkan bahwa nilai tahanan pentanahan pada PMT GI UPT Banda Aceh masih sesuai dengan standar IEEE std 80: 2000 (*guide for safety in ac substation-grounding*) yaitu  $\leq 1$  Ohm.

#### D. Hasil Pengujian Keserampakan Kontak PMT

Pada penelitian ini, data pengujian keserampakan kontak PMT hanya diambil satu kali yaitu data pengujian yang dilakukan pada tahun 2022. Data tersebut diambil pada Bay A, B, C di GI UPT Banda Aceh dengan kondisi PMT membuka (*open*) dan menutup (*close*). Adapun data pengujian keserampakan kontak selengkapnya ditunjukkan pada Tabel 6.

TABEL 6. HASIL PENGUJIAN KESERAMPAKAN PMT PADA BAY GI BANDA ACEH

Fasa PMT	Bay A (ms)		Bay B (ms)		Bay C (ms)	
	Close	Open	Close	Open	Close	Open
Fasa R	55,00	29,00	29,00	23,00	55,00	29,00
Fasa S	53,00	29,50	29,50	22,50	53,00	29,50
Fasa T	53,00	29,50	29,50	23,00	53,00	29,50

Dari Tabel 6 menunjukkan bahwa waktu kerja keserampakan kontak PMT pada ketiga Bay (Bay A, B, dan C) adalah masih dalam batas yang disyaratkan dimana untuk sistem 150 kV selama 120 ms. Namun, dari data uji yang didapat pada tahun 2022, waktu kerja keserampakan kontak PMT masih sangat rendah yaitu 22.50 ms sampai dengan 55.00 ms. Selanjutnya, dengan menggunakan persamaan (1) maka selisih waktu kerja keserampakan kontak PMT didapatkan sebagai berikut:

- Selisih keserampakan kontak PMT pada Bay A  
 $\Delta t_{close} = 55,00 \text{ ms} - 53,00 \text{ ms} = 2 \text{ ms}$   
 $\Delta t_{open} = 29,50 \text{ ms} - 29,00 \text{ ms} = 0,5 \text{ ms}$
- Selisih keserampakan kontak PMT pada Bay B  
 $\Delta t_{close} = 29,50 \text{ ms} - 29,00 \text{ ms} = 0,5 \text{ ms}$   
 $\Delta t_{open} = 23,00 \text{ ms} - 22,50 \text{ ms} = 0,5 \text{ ms}$
- Selisih keserampakan kontak PMT pada Bay C  
 $\Delta t_{close} = 55,00 \text{ ms} - 53,00 \text{ ms} = 2 \text{ ms}$   
 $\Delta t_{open} = 29,50 \text{ ms} - 29,00 \text{ ms} = 0,5 \text{ ms}$

Dari hasil perhitungan maka didapatkan bahwa selisih nilai keserampakan kontak PMT pada masing-masing Bay masih memenuhi standar yaitu selama 0,5 ms dan 2 ms, masih di bawah 10 ms. Jadi, apabila selisih waktu kerja keserampakan kontak diatas 10 ms maka perlu dilakukan perbaikan dan pengujian ulang. Hal tersebut dilakukan agar tidak mengakibatkan terjadinya lonjakan arus ataupun tegangan antar fasa serta mencegah terjadinya kerusakan pada peralatan lain yang terhubung langsung dengan PMT. Adapun perbaikan yang dapat dilakukan yaitu dengan cara memeriksa tegangan kerja PMT, koil, kontaktor (*main contact* dan *auxillary contact*), pergantian peralatan mekanik yang rusak, dan memeriksa roda penggerak serta memperbaiki penggerak mekanik.

#### IV. KESIMPULAN

Dari hasil penelitian yang sudah dilakukan dapat disimpulkan bahwa PMT pada Bay A, B, dan C di Gardu Induk UPT Banda Aceh masih sangat layak dioperasikan. Nilai tahanan isolasi PMT di fasa R, S, dan T pada titik ukur atas-tanah dan titik ukur bawah-tanah di Bay A memiliki nilai yang sama baik pada tahun 2021 maupun 2022, sedangkan nilai tahanan isolasi pada titik ukur atas-bawah

berbeda nilainya antara tahun pemeliharaan 2021 dengan tahun 2022 namun berbeda dengan nilai tahanan isolasi pada PMT Bay B dan C dimana memiliki nilai yang bervariasi pada setiap titik ukurnya termasuk pada fasa R, S, dan T. Nilai tahanan kontak dan tahanan pentanahan dalam dua periode pemeliharaan masih di bawah batas yang diijinkan. Nilai keserampakan kontak PMT pada Bay A relatif sama dengan Bay C yaitu 53,00 ms dan 55,00 ms (*close*) serta 29,00 ms dan 29,50 ms (*open*), Bay B yaitu 29,00 ms dan 29,50 ms (*close*) serta 22,50 ms dan 23,00 ms (*open*) dengan selisih nilai keserampakan kontak PMT pada masing-masing Bay yaitu 0,5 ms dan 2 ms (masih memenuhi standar).

#### REFERENSI

- [1] A. Saptho, "Listrik Dan Pengaruhnya Terhadap Pertumbuhan Ekonomi Di Provinsi Maluku," J. Cita Ekon. Ilmu Ekon., vol. 17, no. 2, pp. 199–207, 2023, doi: 10.51125/citaekonomika.v17i2.11315.
- [2] W. B. Nugraha, Syukri, and Muliadi, "Analisis Kelayakan Transformator 60 MVA Pada GI Ulee Kareng," Aceh J. Electr. Eng. Technol., vol. 3, no. 2, pp. 14–18, 2023.
- [3] M. A. Prakoso, Joko, A. I. Agung, and F. Achmad, "Analisis Pengujian dan Pemeliharaan Dua Tahunan Pemutus Tenaga (PMT) Di Gardu Induk Rungku 150 kV," J. Tek. Elektro, vol. 13, no. 2, pp. 144–151, 2024.
- [4] M. Yusri Samsurya, A. Hafid, and Adriani, "Analisis Kebocoran Gas SF6 di Bay Line Power Breakers (PMT) Bontoala di GI Tallo Lama," J. Tek. Elektro Unismuh, vol. 15, no. 1, pp. 9–16, 2023.
- [5] M. R. Setyanto and Y. Saragih, "Gangguan Penyulang Akibat Kegagalan Proteksi di Circuit Breaker Output Pelanggan Pada Gardu Distribusi MP 244," Maj. Ilm. Teknol. Elektro, vol. 22, no. 1, pp. 111–116, 2023, doi: 10.24843/mites.2023.v22i01.p14.
- [6] S. Dhamma Sasana, Ibrahim, and R. Rahmadewi, "Analisis Uji Keserampakan Pemutus Tenaga 150kV Bay Trafo-1 Gardu Induk 150kV Tasikmalaya Baru," J. Ilm. Wahana Pendidik., vol. 9, no. 12, pp. 263–267, 2023, doi: 10.5281/zenodo.8078766.
- [7] R. Kurniawan, "Simulasi Lokasi Dan Jenis Gangguan Terhadap Arus Gangguan Pada Jaringan Transmisi 150 KV Di Gardu Induk Garuda Sakti," Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau, 2023.
- [8] H. Dwi Prasetya, U. Latifa, and R. Hidayat, "Identification Damage of PMT 500KV BAY 7A1 Using the Breaker Analyzer and Contact Resistance Methods at the Substation," JEEE-U (Journal Electr. Electron. Eng., vol. 5, no. 2, pp. 156–164, 2021, doi: 10.21070/jeeeu.v5i2.1394.
- [9] T. G. Setiawan, S. Nisworo, and ..., "Uji Hambatan Isolasi dan Pemeliharaan Peralatan Pemutus Tenaga (PMT) pada Gardu Induk Secang 150 kV," 2021.
- [10] I. Pranomo, "Analisis Pengujian Pemutus Tenaga Bay Gondangrejo 2 Dalam Pemeliharaan Dua Tahunan Di Gardu Induk Palur," 2019.
- [11] M. Muliadi, S. Syukri, and T. M. Asyadi, "Pengaruh Tingkat Kelembaban Terhadap Kinerja Pemisah (PMS) 150 kV Pada Gardu Induk," Jambura J. Electr. Electron. Eng., vol. 4, no. 1, pp. 92–98, 2022, doi: 10.37905/jjeeu.v4i1.12201.
- [12] M. Ridwan, S. Pambudi, and U. Latifa, "Penggunaan Gas SF6 Sebagai Media Isolasi Pemutus Tenaga Dan Peredam Sumbu Api Listrik Kubikel Pada Sistem Distribusi Listrik di PT. PLN (Persero) Up3 Pln Kramat Jati," J. Ilm. Wahana Pendidik., vol. 9, no. 12, pp. 319–325, 2023, doi: 10.5281/zenodo.8078910.
- [13] U. Wiharja and A. A. Prasetyo, "Analisa Arus Dan Tegangan Listrik Pada Gas Insulated Switchgear Plumpang 150 kV," J. Elektro, vol. 12, no. 1, pp. 39–47, 2024.
- [14] M. Y. Toguan, D. Notosudjono, and B. B. Rijadi, "Analisis Gangguan Hubung Singkat Pada Jaringan Saluran Udara Tegangan Tinggi

- (SUTT) Di Gi Cibirong 150 kV Menggunakan Software Etap,” J. online Mhs. Bid. Tek. Elektro, vol. 1, no. 1, pp. 1–5, 2024.
- [15] S. Hartanto, R. Pahlavi, and T. O. Priyono, “Pengujian Kinerja PMT 20 kV Pada Kubikel Netto Gardu Induk PLTMG Senayan,” *Teknokris*, vol. 26, no. 1, pp. 45–53, 2023.
- [16] R. A. Cahyani and A. Stefanie, “Pengujian Tahanan Kontak Pada Disconnecting Switch Atau Pemisah Tenaga Bay Trafo-1 Gardu Induk 150 Kv Tasikmalaya Baru,” *J. Ilm. Wahana Pendidik.*, vol. 10, no. 3, pp. 742–747, 2024.
- [17] G. K. J. Putra, “Analisa Penggantian Pemutus Tenaga (PMT) 150 kV Bay Tanah Lot 1 Di Gardu Induk Kapal,” *Politeknik Negeri Bali*, 2023.
- [18] T. Murisal Asyadi, A. Fardesi, Muliadi, and Syukri, “Pengaruh Tingkat Kedalaman Elektroda Terhadap Tahanan Pentanahan,” *Aceh J. Electr. Eng. Technol.*, vol. 2, no. 1, pp. 8–13, 2022.
- [19] Junaidi, Syukri, M. R. Azmi, Muliadi, and T. Multazam, “Analisis Tahanan Pentanahan pada Peralatan Gardu Induk PT. PLN (Persero) Banda Aceh,” *Aceh J. Electr. Eng. Technol.*, vol. 1, no. 1, pp. 18–22, 2021.
- [20] C. D. Saputra, “Analisa Sistem Pentanahan Dengan Metode Kombinasi Grid & Rod Pada Gardu Induk 150 kV BSB,” *Universitas Semarang*, 2023.
- [21] B. Kusumo, “Analisis Terjadinya Gagal Trip Penyulang Kaca Piring Pada Sistem Kubikel 20 Kv Gardu Induk Kebon Jeruk,” *J. Cahaya Mandalika*, vol. 3, no. 2, pp. 1944–1962, 2023.