



Evaluasi Kondisi Tahanan Isolasi House Service Transformer Pada Power Station PLTA Peusangan

Muhammad Fikri Kurniawan Sitorus

Universitas Negeri Medan

Rizky Akbar Yuzakhri

Universitas Negeri Medan

Helmi Alfianza

Universitas Negeri Medan

Desman Jonto Sinaga

Universitas Negeri Medan

Alamat: Jl. William Iskandar Ps. V, Kenangan Baru, Kec. Percut Sei Tuan, Kabupaten Deli Serdang, Sumatera Utara 20221

Korespondensi penulis: fikrikurniawan159@gmail.com

Abstrak. *This study aims to evaluate the condition of the House Service Transformer (HST) insulation at No. 1 Power Station PLTA Peusangan during the pre-operational stage. The testing was conducted directly in the field using a Megger Insulation Tester MIT 525 with a DC voltage of 5 kV on the HV side and 1 kV on the LV side to obtain the Insulation Resistance (IR) values in the HV-LV, HV-ground, and LV-ground configurations, as well as the Polarization Index (PI) on the HV-LV side. The IR measurement results were 42.2 GΩ, 17.43 GΩ, and 5.45 GΩ at a temperature of 36.0 °C and humidity of 95.3%, all of which were well above the minimum reference limit of 100 MΩ. The PI value obtained was 1.20, which was interpreted with caution because the insulation resistance in the first minute was already in the order of gigaohms, so PI was more appropriately positioned as a supporting parameter. Overall, the test results showed that the HST insulation system was still in very good condition and suitable to support the operational readiness of the internal electrical system of the hydroelectric power plant.*

Keywords: *Insulation Resistance; Polarization Index; Transformer*

Abstrak. Penelitian ini bertujuan mengevaluasi kondisi tahanan isolasi *House Service Transformer* (HST) di No.1 *Power Station* PLTA Peusangan pada tahap pra-operasional. Pengujian dilakukan secara langsung di lapangan menggunakan Megger Insulation Tester MIT 525 dengan pemberian tegangan DC 5 kV pada sisi HV dan 1 kV pada sisi LV untuk mendapatkan nilai Resistansi Isolasi (IR) pada konfigurasi HV-LV, HV-ground, dan LV-ground kemudian dan Indeks Polarisasi (PI) pada sisi HV-LV. Hasil pengukuran IR sebesar 42,2 GΩ, 17,43 GΩ, dan 5,45 GΩ pada suhu 36,0 °C dan kelembapan 95,3% seluruhnya jauh di atas batas minimum acuan 100 MΩ. Nilai PI yang diperoleh sebesar 1,20 diinterpretasikan dengan hati-hati karena tahanan isolasi pada menit pertama sudah berada pada orde gigaohm sehingga PI lebih tepat diposisikan sebagai parameter pendukung. Secara keseluruhan, hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem isolasi HST masih berada dalam kondisi sangat baik dan layak untuk mendukung kesiapan operasi sistem kelistrikan internal PLTA.

Kata Kunci: *Indeks Polarisasi; Resistansi Isolasi; Transformator*

PENDAHULUAN

Peningkatan kebutuhan energi listrik yang andal dan berkelanjutan di Indonesia, khususnya di wilayah Aceh, mendorong PT PLN (Persero) untuk membangun infrastruktur pembangkit berbasis energi terbarukan. Salah satu proyek strategis yang tengah disiapkan adalah Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) Peusangan 1&2 dengan kapasitas total 88 MW yang dikelola oleh PT PLN (Persero) UPP SUMBAGUT 2. Pada pembangkit ini, *House Service Transformer* (HST) berfungsi menyuplai kebutuhan listrik internal seperti penerangan, sistem kontrol, proteksi, dan peralatan bantu lainnya, sehingga keandalan HST menjadi salah satu kunci kesiapan operasi pembangkit. Pada tahap pra-operasional, peralatan masih berada dalam kondisi preservasi di

lingkungan yang lembap dan berpotensi berdebu, sementara transformator belum pernah beroperasi dengan beban nominal. Kondisi ini dapat memengaruhi kualitas sistem isolasi, terutama pada transformator kering yang mengandalkan material isolasi padat.

Penurunan kualitas isolasi tidak selalu tampak secara kasat mata, namun dapat teridentifikasi dari menurunnya tahanan isolasi dan meningkatnya arus bocor yang berpotensi menimbulkan gangguan seperti hubungan singkat antarbelitan maupun ke tanah (Indra, dkk. 2022). Oleh karena itu, sebelum HST dialiri tegangan dan dioperasikan, diperlukan evaluasi kondisi isolasi melalui pengujian tahanan isolasi dengan parameter *Insulation Resistance* (IR) dan *Polarization Index* (PI) (Rafiansyah & Arief Wisaksono, 2022). Pada HST di No.1 Power Station PLTA Peusangan, pengujian IR dan PI dilakukan menggunakan Megger Insulation Tester MIT 525 dengan konfigurasi pengukuran HV–LV, HV–Ground, dan LV–Ground, kemudian hasilnya dianalisis dan dibandingkan dengan kriteria yang digunakan perusahaan.

Berdasarkan kondisi tersebut, penelitian ini difokuskan pada evaluasi kondisi tahanan isolasi *House Service Transformer* melalui pengukuran IR dan PI pada tahap pra-operasional PLTA Peusangan. Hasil pengujian digunakan untuk menilai apakah sistem isolasi HST masih berada dalam batas kelayakan operasional serta untuk mengidentifikasi pengaruh kondisi lapangan, seperti kelembapan dan kontaminasi permukaan, sehingga dapat menjadi bahan pertimbangan dalam penyusunan strategi pemeliharaan preventif HST di PLTA Peusangan.

KAJIAN TEORITIS

1. House Service Transformers

House Service Transformer (HST) adalah transformator tenaga tiga fasa yang secara khusus digunakan untuk menyuplai kebutuhan listrik internal suatu pembangkit, bukan untuk disalurkan ke konsumen luar. HST menurunkan tegangan menengah dari sistem utama pembangkit menjadi tegangan rendah yang aman untuk peralatan bantu, misalnya penerangan, sistem kontrol dan proteksi, panel-panel bantu, sistem pendingin, serta fasilitas penunjang lainnya.

Prinsip kerja HST sama dengan transformator tenaga pada umumnya, yaitu berdasarkan induksi elektromagnetik. Tegangan di sisi primer dihubungkan ke sumber tegangan bolak-balik, kemudian menimbulkan fluks magnet di inti yang menginduksikan tegangan pada kumparan sekunder. Perbandingan jumlah lilitan antara kumparan primer dan sekunder menentukan perbandingan tegangan yang dihasilkan, sehingga HST dapat menurunkan tegangan sesuai kebutuhan beban internal (Chapman, 2012).

2. Sistem Isolasi

Sistem isolasi pada transformator adalah bagian penting yang berfungsi untuk mencegah terjadinya arus bocor antara belitan (*windings*) dan antara belitan dengan inti, sehingga menghindari hubungan pendek dan menjaga keamanan operasi transformator (Siburian & Buulolo, 2021). Jenis isolasi dalam transformator, terdapat beberapa jenis isolasi berdasarkan material dan metode penggunaannya, di antaranya:

a. Isolasi Padat

Menggunakan bahan seperti *resin epoxy*, kertas isolasi, atau material polimer. Pada transformator kering (*dry-type*), isolasi padat merupakan pilihan utama karena tidak memerlukan media cair dan lebih ramah lingkungan.

b. Isolasi Cair

Menggunakan minyak transformator sebagai medium isolasi. Jenis isolasi ini umum digunakan pada transformator berminyak (*oil-immersed*) untuk pendinginan dan perlindungan, namun tidak diterapkan pada transformator kering.

c. Isolasi Gas

Menggunakan gas, seperti *sulfur hexafluoride* (SF₆), sebagai medium isolasi. Metode ini biasanya ditemui pada peralatan switching atau peralatan tegangan tinggi tertentu.

3. Insulation Resistance (IR)

Pengukuran Insulation Resistance (IR) digunakan untuk menilai seberapa baik sistem isolasi mampu menahan tegangan tanpa menimbulkan arus bocor yang berlebihan. Pengukuran IR dilakukan dengan menggunakan alat seperti *Megger Insulation Tester*, yang memberikan tegangan DC pada belitan transformator untuk mengukur resistansi isolasi. Metode ini dilakukan dengan cara mengukur nilai resistansi material isolasi yang memisahkan belitan primer, sekunder, dan *ground* (tanah) (Prima, dkk., 2023).

Tahanan isolasi digunakan untuk mengetahui aman atau tidaknya suatu peralatan untuk diberi tegangan. Berdasarkan standar IEEE Std 43-2013, kriteria minimal tahanan isolasi yang direkomendasikan untuk pengujian transformator adalah :

Tabel 1. Resistansi isolasi minimum yang disarankan

Isolasi minimum resistensi (megohm)	Spesimen uji
$IR_{1 \text{ menit}} = kV + 1$	Untuk sebagian besar belitan yang dibuat sebelum sekitar tahun 1970, semua belitan medan, dan lainnya yang tidak dijelaskan di bawah ini
$IR_{1 \text{ menit}} = 100$	Untuk Sebagian besar belitan AC yang dibuat setelah sekitar tahun 1970
$IR_{1 \text{ menit}} = 5$	Untuk sebagian besar mesin dengan kumparan stator lilitan acak dan kumparan lilitan bentuk dengan rating dibawah 1Kv dan dc armatur

Pada pengukuran ini, tegangan DC diberikan ke belitan transformator selama waktu tertentu, kemudian arus bocor yang mengalir melalui isolasi diukur dan dikonversi menjadi nilai tahanan isolasi dalam satuan ohm (umumnya megaohm atau lebih tinggi). Semakin besar nilai tahanan isolasi, semakin kecil arus bocor yang terjadi, sehingga kondisi isolasi cenderung lebih baik.

4. Polarization Index (PI)

Polarization Index (PI) digunakan untuk menilai kualitas isolasi dengan melihat perubahan tahanan isolasi terhadap waktu saat diberi tegangan DC konstan. PI diperoleh dari perbandingan antara nilai tahanan isolasi pada menit ke-10 dengan menit pertama setelah pengujian dimulai ($PI = \frac{R_{10}}{R_1}$). Ketika isolasi masih dalam kondisi baik dan kering, nilai tahanan isolasi cenderung meningkat seiring waktu sehingga menghasilkan nilai PI yang lebih besar dari satu. Sebaliknya, jika isolasi lembap atau mulai mengalami degradasi, kenaikan tahanan isolasi terhadap waktu cenderung kecil sehingga nilai PI menjadi rendah.

PI berfungsi sebagai pelengkap pengujian *Insulation Resistance* (IR). IR memberikan gambaran besarnya tahanan isolasi pada saat tertentu, sedangkan PI menunjukkan bagaimana respon isolasi selama periode pengujian. Berdasarkan standar seperti IEEE Std 43-2013, interpretasi nilai PI adalah sebagai berikut:

Tabel 2. Standar pengujian *Polarization Index*

Nilai PI	Kondisi Isolasi	Keterangan
$PI \geq 2,0$	Baik	Isolasi dalam kondisi layak digunakan dan memenuhi standar operasional.
$1,0 \leq PI < 2,0$	Sedang	Isolasi menunjukkan potensi degradasi atau kelembapan. Pemeriksaan lebih lanjut diperlukan.
$PI < 1,0$	Buruk	Isolasi dalam kondisi tidak layak digunakan. Biasanya disebabkan oleh kelembapan, kontaminasi, atau kerusakan isolasi.

Semakin tinggi nilai PI, secara umum menunjukkan bahwa sifat dielektrik isolasi masih baik, sedangkan nilai PI yang rendah mengindikasikan perlunya perhatian lebih lanjut terhadap kondisi isolasi karena kemungkinan adanya kelembapan, kontaminasi, atau penurunan kualitas material isolasi.

5. Megger Insulation Tester MIT525

Megger Insulation Tester MIT525 adalah alat ukur tahanan isolasi berbasis tegangan DC yang digunakan untuk menguji kualitas isolasi peralatan listrik, termasuk transformator. Alat ini mampu memberikan tegangan uji hingga 5 kV dan mengukur tahanan isolasi hingga orde teraohm, sehingga sesuai untuk pengujian *medium-voltage equipment* seperti *House Service Transformer*. Tegangan uji yang konstan dikombinasikan dengan pengukuran arus bocor memungkinkan perhitungan tahanan isolasi secara akurat pada berbagai konfigurasi pengujian.



Gambar 1. Megger Insulation Tester MIT525

Secara umum, MIT 525 dilengkapi fasilitas pengujian *Insulation Resistance (IR)* dan *Polarization Index (PI)* dengan pencatatan waktu otomatis, sehingga nilai tahanan pada menit ke-1 dan menit ke-10 dapat diperoleh tanpa pengaturan manual yang rumit. Tampilan digital membantu pembacaan hasil, sementara pengaturan tegangan uji yang fleksibel memudahkan penyesuaian dengan tingkat tegangan peralatan yang diuji. Dengan karakteristik tersebut, MIT 525 menjadi salah satu alat utama untuk menilai kondisi sistem isolasi transformator sebelum dioperasikan.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan spesifikasi penelitian deskriptif dengan pendekatan studi kasus yang berfokus pada satu objek, yaitu *House Service Transformer (HST)* pada No.1 Power Station PLTA Peusangan 1&2, yang diamati selama kegiatan Kerja Praktik Industri di PT PLN (Persero) UPP SUMBAGUT 2 pada periode 6 Januari–6 Februari 2025. Data yang digunakan merupakan kombinasi antara data primer dan sekunder; data primer diperoleh melalui pengamatan langsung terhadap kondisi lapangan serta pelaksanaan pengujian tahanan isolasi HST, sedangkan data sekunder diperoleh dari dokumen teknis, spesifikasi peralatan, dan hasil

pengujian yang dikeluarkan pihak terkait. Objek pengujian adalah transformator kering tiga fasa yang berfungsi sebagai pemasok daya untuk sistem layanan internal pembangkit, dengan spesifikasi tegangan 20 kV/400 V dan pengujian dilakukan menggunakan Megger Insulation Tester MIT 525. Prosedur penelitian diawali dengan identifikasi masalah terkait ketidakpastian kondisi isolasi HST pada tahap pra-operasional, dilanjutkan dengan pengumpulan data teknis HST dan penentuan titik uji (HV–LV, HV–ground, dan LV–ground). Tahap berikutnya adalah persiapan pengujian yang meliputi pengecekan kondisi peralatan, penerapan prosedur keselamatan kerja, pembersihan permukaan isolasi dari debu dan kelembapan, serta pemasangan kabel uji sesuai standar pengujian tahanan isolasi. Setelah itu, dilakukan pengukuran Insulation Resistance (IR) dengan pemberian tegangan DC yang disesuaikan dengan tingkat tegangan belitan, serta pencatatan nilai tahanan isolasi pada waktu tertentu, kemudian dilanjutkan dengan pengujian Polarization Index (PI) dengan mencatat nilai tahanan isolasi pada menit pertama dan menit ke-10 pada konfigurasi pengujian yang sama. Data hasil pengujian IR dan PI kemudian diolah dan dianalisis dengan cara membandingkan nilai yang diperoleh dengan kriteria yang digunakan perusahaan dan acuan standar yang tercantum dalam laporan, sehingga dapat ditarik kesimpulan mengenai kelayakan kondisi isolasi HST serta diidentifikasi faktor-faktor lapangan yang memengaruhi hasil pengujian, seperti kelembapan, kontaminasi permukaan, dan kondisi pra-operasional pembangkit.

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

1. Data dan Analisis Pengujian *Insulation Resistance* (IR)

Pengujian tahanan isolasi dilakukan dengan menerapkan tegangan DC sebesar 5000V untuk sisi tegangan tinggi (HV) dan 1000V untuk sisi tegangan rendah (LV). Hasil pengukuran IR pada beberapa titik pengujian adalah sebagai berikut:

Tabel 3. Data pengujian *Insulation Resistance*

No	Test / Check	Measured Value
1.1	<i>HV to LV</i>	42.2 GΩ
1.2	<i>HV to earth</i>	17.43 GΩ
1.3	<i>LV to earth</i>	5.45 GΩ
1.4	<i>Test Voltage</i>	HV 5000V DC dan LV 1000V DC
1.5	<i>Tap Changer Position</i>	NORMAL
1.6	<i>Temperature / Humidity</i>	36.0°C / 95.3%
1.7	<i>Acceptance criteria</i>	<i>HV Side: IR >500MΩ and LV Side: IR >200MΩ @60 sec, PI: No Acceptance criteria, only for reference</i>
1.8	<i>Serial no:</i>	8500932
1.9	<i>Specifications:</i>	<i>Manufacture: DTPL, Rating: 800KVA, Frequency: 50Hz, Vector group: Dyn11, Rated voltage: HV: 20000V dan LV: 400V</i>

Menurut standar IEEE Std.43-2013, nilai tahanan isolasi transformator harus disesuaikan dengan ukuran dan spesifikasi transformator, Berdasarkan *acceptance criteria* yang tercantum dalam dokumen pengujian, standar minimum yang ditetapkan:

Sisi HV: > 500 MΩ

Sisi LV: > 200 MΩ

Karena *House Service Transformer* yang diuji diproduksi setelah tahun 1970, maka acuan standar untuk nilai minimal tahanan isolasi yang digunakan adalah 100 MΩ, sesuai dengan IEEE Std.43-2013. Hal ini berbeda dengan peralatan yang dibuat sebelum tahun 1970, di mana nilai minimum tahanan isolasi yang digunakan biasanya lebih tinggi atau dihitung dengan metode yang berbeda. Standar ini menetapkan nilai minimum tersebut sebagai tolak ukur bahwa sistem isolasi memiliki kemampuan yang memadai untuk menahan tegangan uji dan mengantisipasi adanya pengaruh kelembapan atau kontaminan.

Tabel 4. Perbandingan hasil pengujian dengan standar

Parameter Pengujian	Hasil Pengukuran	Standar Pabrikasi	IEEE Std 43-2013	Status
HV ke LV	42,2 GΩ	> 500 MΩ	> 100 MΩ	Memenuhi
HV ke <i>ground</i>	17,43 GΩ	> 500 MΩ	> 100 MΩ	Memenuhi
LV ke <i>ground</i>	5,45 GΩ	> 200 MΩ	> 100 MΩ	Memenuhi

Berdasarkan hasil pengujian, terlihat bahwa nilai IR yang diukur jauh melebihi nilai minimum dari standar pabrikasi dan sebesar 100 MΩ sesuai IEEE Std.43-2013. Hal ini menunjukkan bahwa kondisi isolasi pada HST berada dalam keadaan sangat baik dan tidak terdapat indikasi signifikan adanya penurunan kualitas material isolasi. Selain itu, nilai IR yang sangat tinggi (dalam orde GΩ) menunjukkan bahwa walaupun terdapat perbedaan angka antara standar pabrikasi dan standar IEEE, HST secara keseluruhan memenuhi kriteria keandalan isolasi sesuai dengan acuan standar yang digunakan.

2. Data dan Analisis Pengujian *Polarization Index* (PI)

Indeks Polarisasi dihitung sebagai rasio antara nilai tahanan isolasi setelah 10 menit (R_{600} sec) dengan nilai setelah 1 menit (R_{60} sec) yang dilakukan menggunakan Megger MIT 525 pada sisi HV-LV. Hasil pengujian PI pada HST adalah:

Tabel 5. Data pengujian *Polarization Index*

No	Test / Check	Measured Value		Result
		R60 sec	R600 sec	
1.1	<i>HV to LV</i>	39.2 GΩ	46.4 GΩ	1.20 PI
1.2	<i>Test Voltage</i>	HV 5000V DC dan LV 1000V DC		
1.3	<i>Tap Changer Position</i>	NORMAL		
1.4	<i>Temperature / Humidity</i>	36.0°C / 95.3%		

Berdasarkan standar IEEE Std.43-2013, nilai PI dihitung dari rasio R_{600}/R_{60} :

$$R_{60} = 39,2 \text{ G}\Omega$$

$$R_{600} = 46,4 \text{ G}\Omega$$

$$PI = 46,4/39,2 \approx 1,20$$

Seperti yang telah dibahas sebelumnya pengujian PI biasanya dilakukan dengan membandingkan tahanan isolasi yang diukur pada menit pertama (R_{60}) dengan tahanan yang diukur pada menit ke-10 (R_{600}), sehingga diperoleh dalam pengujian HST ini, nilai R_{60} adalah 39,2 GΩ dan R_{600} adalah 46,4 GΩ, sehingga PI dihitung sebesar 1,20. Namun, berdasarkan IEEE Std.43-2013 khususnya pada Klausul 12.2.2, jika nilai IR pada menit pertama (IR_1) melebihi 5000 MΩ, perhitungan PI menjadi tidak relevan karena dalam kondisi tersebut arus pengukuran pada rentang sub-mikroampere (IEEE Std 43-2013). Perubahan sekecil apapun pada tegangan, keadaan lingkungan, atau sambungan pengujian dapat menyebabkan variasi yang besar dalam perhitungan PI. Oleh karena itu, meskipun nilai PI 1,20 terlihat tidak memenuhi standar ideal (misalnya, $PI \geq 2,0$ yang

sering digunakan sebagai indikator isolasi yang baik), hal ini disebabkan oleh IR1 yang sangat tinggi. Dalam situasi seperti ini, perhitungan PI menjadi tidak jelas dan sebaiknya tidak digunakan sebagai acuan utama untuk mengevaluasi keadaan isolasi.

3. Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Hasil Pengujian

Hasil pengujian tahanan isolasi HST dipengaruhi terutama oleh suhu dan kelembapan lingkungan serta kondisi operasi transformator. Pada saat pengujian, suhu sekitar 36 °C dan kelembapan mencapai 95,3%, sehingga material isolasi berpotensi menyerap uap air dan menurunkan nilai resistansi isolasi. Kondisi HST yang masih tahap preservasi dan belum pernah beroperasi juga membuatnya lebih rentan terhadap akumulasi kelembapan dan kontaminasi permukaan, yang dapat memicu kebocoran arus antara belitan maupun ke ground. Di sisi lain, nilai IR yang terukur berada pada orde gigaohm menunjukkan isolasi masih sangat baik, sementara nilai PI menjadi sangat sensitif terhadap perubahan kecil pada tegangan suplai, kelembapan, dan kualitas sambungan uji. Ketika nilai IR sudah sangat tinggi, variasi kecil faktor-faktor tersebut dapat membuat nilai PI tidak lagi sepenuhnya mewakili kondisi isolasi yang sebenarnya, sehingga PI lebih tepat digunakan sebagai parameter pendukung, bukan indikator utama dalam interpretasi hasil pengujian.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian tahanan isolasi yang dilakukan pada House Service Transformer (HST) No.1 Power Station PLTA Peusangan 1&2 menggunakan Megger MIT 525, dapat disimpulkan bahwa kondisi isolasi secara umum masih layak. Nilai Insulation Resistance (IR) pada sisi HV-LV, HV-ground, dan LV-ground masing-masing sebesar 42,2 GΩ, 17,43 GΩ, dan 5,45 GΩ berada jauh di atas acceptance criteria pabrikan maupun rekomendasi IEEE Std 43-2013, sehingga tidak ditemukan indikasi degradasi isolasi yang signifikan pada material isolasi. Nilai Polarization Index (PI) pada sisi HV-LV yang diperoleh sekitar 1,20 memang berada di bawah nilai ideal, tetapi pada pengujian ini nilai IR menit pertama sudah berada pada orde gigaohm sehingga perhitungan PI menjadi kurang representatif dan sangat dipengaruhi faktor eksternal seperti tegangan uji, suhu dan kelembapan tinggi di ruang trafo, kondisi kebersihan permukaan isolator, serta kualitas sambungan selama pengukuran. Dengan mempertimbangkan hal tersebut, penilaian utama kondisi isolasi HST lebih tepat didasarkan pada hasil IR yang sangat tinggi, sehingga HST dapat dinyatakan memiliki kondisi isolasi yang baik dan siap memasuki tahap operasional, dengan catatan tetap diperlukan pemantauan dan pemeliharaan berkala untuk menjaga kualitas isolasi.

DAFTAR PUSTAKA

- Ardito, A., & Waluyo. (2024). *Analisis Kondisi Isolasi Generator Unit 2 PT Indonesia XYZ Menggunakan Metode Pengujian Insulation Resistance dan Polarity Index*. 1–13.
- Chapman, J. S. (2012). *Electrical Machinery Fundamental 5th Edition*. Mc Graw Hill.
- Corio, D., Maulana, R., Yunesti, P., & Hendri, Z. (2023). *Perencanaan dan Operasi Perencanaan dan Operasi Sistem Tenaga Listrik*. ITERA Press.
- Flanagan, W. M. (1993). *Handbook of Transformer Design & Applications* (p. 237). McGraw-Hill.
- IEEE-SA. (2013). IEEE Std 43-2013 Recommended Practice for Testing Insulation Resistance of rotating machinery. In *Institute of Electrical and Electronics Engineers*.
- Indra, M. H., Yanolanda, S. H., & Priyadi, I. (2022). Pengujian Tahanan Isolasi Pada Transformator Distribusi 160 kVA Di PT. PLN (PERSERO) UP3 Bengkulu. *Jurnal Amplifier : Jurnal Ilmiah Bidang Teknik Elektro Dan Komputer*, 12(2).

- Kulkarni, S. V., & Khaparde, S. A. (2013). *Transformer Engineering: Design, Technology, and Diagnostics, Second Edition*. CRC Press.
- Manual Book Insulation Resistance Testers*. (n.d.). Megger. www.b2bcompliance.org.uk
- Prima, G. A., Anthony, Z., & Anugrah, A. (2023). Analisa Tahanan Isolasi Pada Transformator Daya 150/30 KV Gardu Induk Padang Luar PT PLN (Persero) Bukittinggi. *Indonesian Journal of Engineering and Technology (INAJET)*, 6, 23–33.
- Rafiansyah, M. A., & Arief Wisaksono. (2022). Analisis Uji Tahanan Isolasi Pada Power Transformer PT. PQR. *Jurnal Cakrawala Ilmiah*, 1(11), 2723–2732.
- Siburian, M. ., & Buulolo, J. T. M. (2021). Studi Analisis Ketahanan Isolasi Pada Transformator Di Gardu Induk Labuhan. *Jurnal Darma Agung*, 29(3), 499–510.
- Suganda, A. M. (2021). Analisa Kualitas Tahanan Isolasi Transformator Daya. *Program Studi Teknik Elektro - ISTN*, 23(2).
- Sutjipto, R., Mukti, H. K., & Dzulfiqar, K. E. (2024). Analisis Kondisi Isolasi Pada Station Service Transformer (SST). *ELPOSYS: Jurnal Sistem Kelistrikan*, 20.
- Winders, J. J. (2002). Power Transformers Principles and Applications. In *Marcel Dekker, Inc.*
- Yusniati, Pelawi, Z., Armansyah, & Taufik, I. (2021). Pengukuran Resistansi Isolasi Instalasi Penerangan Basement Pada Gedung Rumah Sakit Grand Mitra Medika Medan. *Buletin Utama Teknik*, 16(3), 240–247.