

Analisis Pengujian Tangen Delta pada Bushing Trafo 150/20 KV 60 MVA di Gardu Induk Karet Lama

Deni Almanda ¹, Ardiansyah ²

¹⁾²⁾ Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Jakarta
Jl. Cempaka Putih Tengah 27 No 47

Email: ¹⁾ deni.almanda@ftumj.ac.id ²⁾ ardiansyahblc@gmail.com

ABSTRAK

Transformator daya merupakan peralatan penting dalam sistem tenaga listrik. Terdapat komponen utama yang perlu mendapatkan perhatian khusus pada transformator yaitu bushing. Bushing merupakan sarana penghubung antara belitan dengan jaringan luar. Untuk mengetahui kondisi bushing transformator dapat diketahui Pemburukan atau kegagalan isolasi buhing dapat menyebabkan kegagalan operasi bahkan kerusakan pada transformator. Metode untuk mengetahui kondisi bushing yaitu menggunakan metode pengujian tangen delta dimana pengujian ini bertujuan untuk mengetahui kondisi isolasi yakni kondisi isolasi pada C1 (isolasi antara konduktor dengan center tap) yang menggambarkan kondisi isolasi kertas bushing. Berdasarkan hasil pengujian tangen delta bushing trafo dan pembuktian hasil uji menggunakan rumus perhitungan tangen delta bushing trafo diperoleh bushing transformator phasa s di Gardu Induk Karet Lama sudah tidak layak beroperasi, hasil uji 1,32%. Mengacu pada standar hasil uji tangen delta bushing transformator, yaitu SKDIR520 PT PLN (IEC 60137 – DF tan δ) batas nilai tangen delta melebihi 1%, maka bushing transformator dikatakan dalam kondisi buruk sehingga perlu dilakukan penggantian. Terdapat kecenderungan penurunan kondisi bushing yang memburuk dalam kurun waktu tiga tahun terakhir. Atas dasar itulah dilakukan penggantian bushing transformator tenaga sisi primer fasa S di Gardu Induk Lama. Setelah dilakukan penggantian bushing didapatkan nilai tangen delta atau dissipation factor (faktor disipasi) sebesar 0,29% yang menunjukkan bahwa bushing dalam kondisi baik dan dapat dioperasikan kembali.

Kata Kunci : Transformator, Bushing, Tangen Delta

ABSTRACT

The power transformer is an important piece of equipment in the electric power system. There is a main component that needs special attention on the transformer, namely the bushing. Bushing is a means of connecting the winding with the external network. To determine the condition of the transformer bushing, it can be seen Deterioration or failure of buhing insulation can cause operation failure and even damage to the transformer. The method to determine the condition of the bushing is using the tangent delta test method where this test aims to determine the condition of the insulation, namely the insulation condition at C1 (insulation between the conductor and the center tap) which describes the condition of the bushing paper insulation. Based on the test results of the tangent delta bushing of the transformer and the proof of the test results using the formula for calculating the tangent delta bushing of the transformer, it is found that the s-phase transformer bushing at the Old Karet Substation is no longer feasible to operate, the test result is 1.32%. Referring to the standard results of the transformer bushing tangent delta test, namely SKDIR520 PT PLN (IEC 60137 – DF tan δ) the limit value of the delta tangent exceeds 1%, the transformer bushing is said to be in bad condition so it needs to be replaced. There is a downward trend in bushing conditions that have worsened in the last three years. On this basis, the bushing of the primary side of the S-phase power transformer was replaced at the Old Substation. After replacing the bushing, the tangent delta value or dissipation factor is 0.29% which indicates that the bushing is in good condition and can be operated again

Keywords : Transformer, Bushing, Tangent Delta

1 PENDAHULUAN

Kehidupan masyarakat saat ini ada dua energi listrik penting yang tidak dapat dipisahkan di zaman sekarang ini. Ketersediaan tenaga listrik yang cukup merupakan prioritas untuk menaikkan kesejahteraan

masyarakat, baik di bidang pembangunan, ekonomi maupun industri, serta harus disertai dengan sistem tenaga listrik yang berkualitas dan handal. Oleh karena itu, rencana pemantauan dan pemeliharaan peralatan listrik untuk meningkatkan keandalan

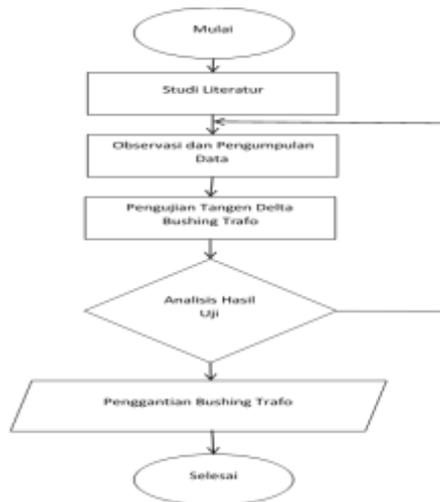
mutlak diperlukan. Pemanfaatan teknologi maju yang semakin meningkat dan meluas, memungkinkan masyarakat Indonesia untuk menggunakan listrik setiap hari. Gardu Induk merupakan kumpulan catu daya tegangan ultra tinggi yang berperan sangat penting dalam konversi daya serta sebagai pusat kendali yang mengoordinasikan sistem tenaga dan sistem distribusi. Termasuk distribusi listrik. Untuk mendistribusikan sumber energi listrik yang disalurkan ke konsumen diperlukan suatu alat yang disebut dengan transformator daya. Bagian dari Standar Internasional IEC 60076 ini berlaku untuk transformator daya tiga fasa dan satu fasa (termasuk transformator otomatis) dengan pengecualian kategori tertentu dari transformator kecil dan khusus [1]. Bushing merupakan sarana penghubung antara belitan dengan jaringan luar [2]. Transformator daya merupakan peralatan yang vital dalam penyaluran energi listrik dari unit pembangkit menuju sistem jaringan saluran tegangan [3]. Bushing merupakan komponen penting dalam transportasi listrik, digunakan pada bangunan gardu induk, trafo, lokomotif, dan switchgear dan menyebabkan lebih dari 15% kegagalan trafo [4]. Trafo adalah komponen penting dalam sistem tenaga listrik dan mewakili investasi yang sangat besar dan efek kegagalan dalam hal hilangnya pendapatan, waktu pemadaman dan biaya pembiayaan perbaikan sangat penting dalam sistem tenaga modern dan memiliki efek serius pada kinerja operasional [5]. Transformator daya merupakan peralatan yang memiliki peran kritis pada penyaluran tenaga listrik yang baik dan handal [6]. Trafo Distribusi dan Tenaga beserta kelengkapannya merupakan peralatan utama dan penting yang digunakan dalam sistem tenaga listrik [7]. Transformator adalah alat untuk menyalurkan tegangan tinggi ke tegangan rendah atau sebaliknya [8]. Transformator daya merupakan peralatan penting dalam sistem tenaga listrik yang berhubungan langsung dengan sistem transmisi dan distribusi [9]. Pemeliharaan peralatan listrik tegangan tinggi adalah serangkaian tindakan atau proses kegiatan untuk mempertahankan kondisi dan meyakinkan bahwa peralatan dapat berfungsi sebagaimana mestinya sehingga dapat dicegah terjadinya gangguan yang menyebabkan kerusakan [10]. Dalam sistem tenaga listrik, transformator memiliki peranan penting dalam kehidupan manusia, transformator merupakan peralatan yang berfungsi untuk memenuhi kebutuhan energi listrik konsumen [11]. Transformator merupakan peralatan listrik yang berfungsi menyalurkan tegangan tinggi ke tegangan rendah ataupun sebaliknya berdasarkan prinsip induksi elektromagnetik tanpa mengubah

frekuensinya [12]. Pemeliharaan, ketersediaan dan keandalan berhubungan erat dan pengguna transformator harus menentukan tingkat pemeliharaan yang akan memastikan keandalan yang dapat diterima [13]. Trafo memiliki komponen utama yang memerlukan perhatian khusus: bushing. Bushing adalah konduktor yang menghubungkan jaringan eksternal dan kumparan eksternal serta berfungsi untuk mendistribusikannya ke konsumen [3]. Busing ditutup dengan isolator yang berfungsi sebagai korsleting atau isolator antara konduktor busing dan badan tangki utama tangki transformator.

Sebuah pengujian yang bertujuan untuk mengetahui kinerja, fungsi dan kemampuan alat yang diuji untuk dioperasikan berdasarkan target bisa melihat kelebihan dan kekurangannya. Kualitas minyak, kadar air, kadar asam, pelepasan sebagian, ketahanan isolasi, panas, tender, dll. Semua metode ini memiliki tujuan yang sama. Dengan kata lain, diagnosis yang akurat dapat dibuat. Ada banyak faktor yang mempengaruhi keakuratan hasil pengujian awal, mulai dari kondisi, kondisi lingkungan, dan kemampuan alat ukur untuk mengukurnya secara akurat. Data pengujian kesalahan oleh operator, prosedur pengujian, dll. Data dapat hilang baik dalam aspek material maupun material. Dalam hal ini, penulis menjelaskan tentang bushing trafo terkait metode pengujian tanderuta. Pengujian busing di gardu induk karet tua meliputi metode isolasi busing beserta pengujian tangen delta. Dengan kata lain bertujuan untuk mengetahui kondisi insulasi yaitu kondisi insulasi C1 (isolasi antara konduktor dan center tap) yang menunjukkan kondisi busing. Insulasi kertas C2 (isolasi antara tab tengah) yang menjelaskan kondisi insulasi minyak bushing dan uji warna panas untuk menilai kondisi keramik dilakukan untuk tujuan pemeliharaan terencana. Perawatan terencana adalah perawatan atau operasi yang dilakukan untuk mencegah kegagalan yang terjadi pada transformator.

Dari pengukuran tangen delta yang dilakukan yang menjadi parameter kondisi dari bushing transformator yaitu nilai dari dissipation factor (DF) dimana untuk tipe Oil Impregnated Paper (OIP) batasan maksimum nilai tan delta <0.7%. Sedangkan menurut buku Panduan Assessment Hasil Pemeliharaan Peralatan Gardu Induk batasan nilai maksimum tangen delta bushing untuk trafo operasi adalah maksimal 1%. [2]

2 METODOLOGI



Gambar 1 Diagram Alur Penelitian.

Penjelasam dari diagram alur adalah sebagai berikut:

1. **Studi Literatur**
 Pada tahap penelitian ini, konsep dan teori dilengkapi dengan mencari landasan teori dalam berbagai referensi seperti buku, teori yang berhubungan dan melakukan wawancara dengan narasumber agar menjadi referensi dari penelitian yang dilaksanakan.
2. **Pengumpulan Data**
 Pengambilan data hasil pengujian yang sudah dilakukan dan pengumpulan data langsung dilapangan. Adapun parameter data ditentukan berdasarkan penyebab dilakukannya penggantian bushing transformator.
3. **Pengujian**
 Kegiatan pengujian alat agar mendapat hasil dan data hasil pengujian. Pengujian adalah proses yang bertujuan untuk memastikan apakah semua fungsi sistem bekerja dengan baik dan mencari kesalahan yang mungkin terjadi pada sistem.
4. **Analisis Data**
 Menganalisa hasil pengujian yang sudah di dapat dan melakukan analisa perhitungan tangen delta yang bertujuan memastikan kecocokan hasil uji coba dan hasil perhitungan, penyebab faktor-faktor internal maupun eksternal, indeks nilai laju penurunan isolasi terhadap usia, perhitungan rugi-rugi daya, parameter ketentuan bushing buruk.
5. **Penggantian**
 Setelah dianalisis bahwa isolasi bushing buruk melakukan tahapan penggantian bushing

3 HASIL DAN PEMBAHASAN

Pembahasan analisis hasil uji tangen delta bushing trafo dari penelitian ini meliputi hasil

pengujian tangen delta, perhitungan tangen delta, faktor penyebab hasil melebihi standard.

A. HASIL PENGUJIAN TANGEN DELTA

Pada pengujian tangen delta kali ini memakai alat uji merk Testrano 600. Dimana objek yang di uji pada bushing adalah C1 yaitu pengujian isolasi antara konduktor dengan center tap pada bushing. Pengujian dilakukan dengan tegangan inject sebesar 10 kV, dengan menggunakan test mode Ungrounded Speciment Test (UST). Hasil uji faktor disipasi (tangen delta) pada bushing dapat dilihat pada tabel 1 dibawah.

Tabel 1 Hasil Pengujian Tangen Delta Bushing

Standard test										
Corr. factor		0.82								
No.	Meas.	Test mode	Freq.	V out.	I out.	Watt losses	PF meas	PF cor	Cap. meas	Assessment
1	H1	UST-A	50,00 Hz	10,00 kV	0,72 mA	17,50 mW	0,2419 %	0,1984 %	230,3 pF	Not ass.
2	H2	UST-A	50,00 Hz	10,00 kV	0,64 mA	85,18 mW	1,3225 %	1,0845 %	265,0 pF	Not ass.
3	H3	UST-B	50,00 Hz	10,00 kV	0,73 mA	31,24 mW	0,4288 %	0,3516 %	231,9 pF	Not ass.

Dari data hasil pengujian pada bushing primer fasa S tersebut, dapat dilihat saat pengujian C1 (isolasi antara konduktor dengan center tap) yang menggambarkan kondisi isolasi kertas bushing dengan nilai dari dissipation factor (faktor disipasi) sebesar 1,32 % dimana menurut buku Panduan Assessment Hasil Pemeliharaan Peralatan Gardu Induk batasan nilai maksimum tangen delta bushing untuk trafo operasi adalah maksimal 1% [2]. Hal ini menunjukkan bahwa isolasi bushing tersebut sudah tidak baik sehingga perlu dilakukan penggantian bushing untuk mencegah terjadinya kegagalan dalam beroperasi.

B. FAKTOR PENYEBAB HASIL MELIBIHI STANDARD

Tingkat ketahanan isolasi dapat dipengaruhi oleh beberapa penyebab terutama yaitu:

- a. Penuaan dan Degradasi Isolasi
- b. Crack di dalam isolasi
- c. Kadar air (water content)
- d. Kontaminasi oleh partikel

C. TINDAKAN PENGGANTIAN BUSHING

Pada penggantian bushing primer trafo 2 Gardu Induk Karet Lama.. Menyiapkan bushing pengganti, Kemudian proses pelepasan bushing lama maupun pemasangan bushing pengganti trafo 2 fasa S Gardu Induk Karet Lama dari turret dilakukan dengan bantuan alat berat (*Crane*).

D. PERHITUNGAN TANGEN DELTA

Berdasarkan rumus tangen delta dapat dilakukan perhitungan data hasil pengujian tangen delta pada bushing transformator fasa S sisi primer GI Karet Lama sebelum dilakukan penggantian, yakni:

Diketahui: Sebelum penggantian
 $P = 85,18 \text{ mWatt} = 0,08518 \text{ Watt}$
 $V = 10 \text{ kV} = 10.000 \text{ V}$
 $\omega = 2\pi f$
 $C = 205,0 \text{ pF} = 205,0 \times 10^{-12} \text{ F}$

$$\text{Tangen } \delta = \frac{P}{V^2 \omega C} \times 100$$

$$= \frac{0,08518 \text{ Watt}}{10.000^2 \times 2 \times 3,14 \times 50 \text{ Hz} \times 205,0 \times 10^{-12} \text{ F}} \times 100$$

$$= \frac{0,08518 \text{ Watt}}{6,437} \times 100$$

$$= 0,01322 \times 100 = 1,32\%$$

Tabel 2 Hasil Uji Sebelum Penggantian

Standard test											
Corr. factor											0,82
No.	Meas.	Test mode	Freq.	V out	I out	Watt losses	PF meas	PF corr	Cap. meas	Assessment	
1	H1	UST-A	50,00 Hz	10,00 kV	0,72 mA	17,50 mW	0,2419 %	0,1984 %	230,3 pF	Not ass.	
2	H2	UST-A	50,00 Hz	10,00 kV	0,64 mA	65,18 mW	1,3225 %	1,0645 %	205,0 pF	Not ass.	
3	H3	UST-B	50,00 Hz	10,00 kV	0,73 mA	31,24 mW	0,4288 %	0,3516 %	231,9 pF	Not ass.	

Jadi data hasil pengujian dengan hasil perhitungan tangen delta bushing primer fasa S sebelum dilakukan penggantian nilainya sama yaitu 1,32%.

Tabel 3 Hasil Uji Setelah Penggantian

Standard test											
Corr. factor											1,14
No.	Meas.	Test mode	Freq.	V out	I out	Watt losses	PF meas	PF corr	Cap. meas	Assessment	
1	H1	UST-A	50,00 Hz	10,00 kV	0,72 mA	33,43 mW	0,4602 %	0,5280 %	225,8 pF	Not ass.	
2	H2	UST-B	50,00 Hz	10,00 kV	1,00 mA	29,25 mW	0,2903 %	0,3343 %	317,6 pF	Not ass.	
3	H3	UST-A	50,00 Hz	10,00 kV	0,73 mA	17,15 mW	0,2356 %	0,2689 %	231,5 pF	Not ass.	

Diketahui: Setelah penggantian

$P = 0,02926 \text{ Watt}$
 $V = 10 \text{ kV} = 10.000 \text{ V}$
 $\omega = 2\pi f$
 $C = 317,6 \text{ PF} = 317,6 \times 10^{-12} \text{ F}$

$$\text{Tangen } \delta = \frac{P}{V^2 \omega C} \times 100$$

$$= \frac{0,02926 \text{ watt}}{10.000^2 \times 2 \times 3,14 \times 50 \text{ Hz} \times 317,6 \times 10^{-12} \text{ F}} \times 100$$

$$= \frac{0,02926 \text{ watt}}{9,97264} \times 100$$

$$= 2,9 \times 10^{-3} \times 100 = 0,29\%$$

Jadi data hasil pengujian dengan hasil perhitungan tangen delta bushing primer fasa S setelah dilakukan penggantian didapatkan nilai tangen delta sebesar 0,29%.

E. KORELASI HASIL PENGUJIAN TANGEN DELTA BUSHING TERHADAP USIA PERALATAN

Melalui data spesifikasi, diketahui usia bushing pada tahun 2020, yaitu A tahun. Bushing telah dilakukan pengujian Tangen Delta sesuai jadwal pemeliharaan yang telah ditentukan. Tiga pengujian terakhir yang sudah dilaksanakan yaitu pada Tahun 2017, 2018 dan 2020. Gambar 2 menunjukkan dari hasil uji tiap pemeliharaan tahunan.



Gambar 2 Kondisi pengujian tangen delta bushing berdasarkan pemeliharaan tahunan

Pada grafik gambar 2 terlihat seiring bertambahnya usia, nilai pengujian tangen delta mengalami kenaikan. Melalui grafik diketahui hasil uji dari tahun 2017 ke tahun 2018 mengalami kenaikan 308%. Selanjutnya dari tahun 2018 ke tahun 2020 mengalami kenaikan 104%. Hal tersebut menunjukkan adanya korelasi antara hasil uji tangen delta dengan usia peralatan (*bushing*).

F. RUGI – RUGI DIELEKTRIK BUSHING

Tangen delta menentukan faktor kehilangan daya. Jumlah ini mewakili jumlah daya yang hilang. Semakin besar nilai tangen delta dari bushing insulasi, semakin banyak daya yang hilang. Ini berarti bahwa kualitas isolasi memburuk. Rugi-rugi dielektrik sebanding dengan nilai tangen delta sehingga jika tan bernilai makin besar, maka rugi-rugi dielektrik juga makin besar.

Daya yang terdisipasi oleh resistor dapat dinyatakan sesuai dengan persamaan yaitu:

$$P_d = V^2 \cdot \omega \cdot C \cdot \tan \delta$$

Diketahui: Sebelum Penggantian

$$V_{sistem} = 86,67 \text{ kV} = 86670 \text{ V}$$

$$\omega = 2\pi f$$

$$C = 205,0 \text{ PF} = 205,0 \times 10^{-12} \text{ F}$$

$$Df = 1,32\% = 0,0132$$

$$P_d = (86670 \text{ V})^2 \cdot (2 \times 3,14 \times 50 \text{ Hz}) \cdot 205,0 \times 10^{-12} \text{ F} \cdot 0,0132$$

$$= (2,35867 \times 10^{12}) \cdot (205,5 \times 10^{-12} \text{ F}) \cdot 0,0132$$

$$= 6,38 \text{ Watt}$$

Jadi, rugi-rugi daya yang dihasilkan sebelum dilakukan penggantian *bushing* transformator yaitu sebesar 6,38 Watt.

Diketahui: Setelah Penggantian

$$V_{sistem} = 86,67 \text{ kV} = 86670 \text{ V}$$

$$\omega = 2\pi f$$

$$C = 317,6 \text{ PF} = 317,6 \times 10^{-12} \text{ F}$$

$$Df = 0,29\% = 0,0029$$

$$P_d = (86670 \text{ V})^2 \cdot (2 \times 3,14 \times 50 \text{ Hz}) \cdot 317,6 \times 10^{-12} \text{ F} \cdot 0,0029$$

$$= (2,3586 \times 10^{12}) \cdot (317,6 \times 10^{-12} \text{ F}) \cdot 0,0029$$

$$= 2,17 \text{ Watt}$$

Adapun rugi-rugi daya yang dihasilkan setelah dilakukan penggantian *bushing* transformator yaitu sebesar 2,17 Watt.

A. MENENTUKAN KRITERIA PENGGANTIAN BUSHING

Penggantian *bushing* mengacu pada beberapa hal, yaitu:

- Hasil Uji Pemeliharaan Rutin
- Usia
- Kondisi *Bushing*

4 KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian “Analisis Pengujian Tangen Delta Pada Bushing Trafo 150 kV/20 kV 60MVA Di Gardu Induk Karet Lama”, dapat disimpulkan:

- Hasil pengujian dan perhitungan tangen delta bushing trafo fasa S sisi primer bay trafo 2 GI Karet Lama adalah 1,32%. Hasil pengujian dinyatakan dalam kondisi buruk.
- Pemburukan kondisi bushing dapat dilihat melalui hasil pengujian tangen delta yang lebih

dari 1%. Hal itu disebabkan oleh usia operasi dan kondisi bushing itu sendiri.

- Seiring dengan bertambahnya usia operasi trafo, kondisi bushing mengalami penurunan.
- Sebelum dilakukan penggantian bushing didapatkan rugi-rugi sebesar 6,38 Watt dan setelah dilakukan penggantian terjadi penurunan rugi-rugi menjadi 2,17 Watt. Persentase penurunan rugi-rugi sebesar 65,98%.
- Penggantian bushing dilakukan dengan meninjau hasil pengujian kondisi bushing, hasil uji tangen delta, usia dan kondisi bushing.

DAFTAR PUSTAKA

- I. E. C. Standard, “60076-1: 2011, Power transformers-Part 1: General,” *Int. Electrotech. Comm. Geneva Switz.*, 2011.
- P. PLN, “Buku pedoman pemeliharaan transformator tenaga,” *Jkt. PT PLN Persero*, 2014.
- B. Badaruddin and R. M. Hutabarat, “Penilaian Kondisi Transformator Daya pada Pt. x,” *Sinergi J. Tek. Mercuri Buana*, vol. 20, no. 3, pp. 175–185, 2016.
- A. Mehta, R. N. Sharma, S. Chauhan, and S. D. Agnihotri, “Study the Insulation System of Power Transformer Bushing,” *Int. J. Comput. Electr. Eng.*, vol. 3, no. 4, p. 544, 2011.
- E. A. Feilat, I. A. Metwally, S. Al-Matri, and A. S. Al-Abri, “Analysis of the Root Causes of Transformer Bushing Failures,” *Int. J. Comput. Electr. Autom. Control Inf. Eng.*, vol. 7, no. 6, pp. 791–796, 2013.
- W. Winanda Riga Tamma, “PENENTUAN KONDISI TRANSFORMATOR DAYA TEGANGAN TINGGI DENGAN MEMPERTIMBANGKAN NILAI HEALTH INDEX DAN LAJU PENURUNANNYA,” Institut Teknologi Bandung, 2020.
- R. M. A. Velásquez and J. V. M. Lara, “Bushing failure in power transformers and the influence of moisture with the spectroscopy test,” *Eng. Fail. Anal.*, vol. 94, pp. 300–312, 2018.
- M. J. Maulana and S. Jatmiko, “Analisa Pengujian Bushing Pada Transformator Tenaga di Gardu Induk Wonogiri 150 kV,” Universitas Muhammadiyah Surakarta, 2018.
- A. Hanandya Trie Prasetya and S. T. Agus Supardi, “Analisis Hasil Pengujian Bushing Pada Transformator Tenaga Di Gardu Induk

Sragen,” Universitas Muhammadiyah
Surakarta, 2019.

- [10] P. PLN, “Panduan Pemeliharaan Trafo Tenaga,” *Jkt. PT PLN Persero Penyaluran Dan Pus. Pengatur Beban Jawa Bali*, 2003.
- [11] F. Faturochman, “PENGUJIAN TINGKAT ISOLASI TRANSFORMATOR DAYATEGANGAN 150/20 KV KAPASITAS 60 MVA PADA GARDU INDUKDENGAN METODE TANGENT DELTA,” UNIVERSITAS TIDAR, 2018.
- [12] Q. Salim, T. Koerniawan, and C. Widyastuti, “Analisis Penggantian Bushing Transformator Tenaga Sisi Primer Fasa T Bay Trafo 1 150 kV/20 kV 60MVA di Gardu Induk Cikupa,” INSTITUT TEKNOLOGI PLN, 2020.
- [13] “Guide for Transformer Maintenance.” CIGRE, 2011.