

Pengujian Pada Transformator 3 Fasa 300 Kva Setelah Perbaikan Dengan Rewinding Milik

Pt. Freeport Indonesia Di Pt. Mesindo Tekninesia

Endi Permata^{1*)}; Irwanto²; Apriawan Muparidy³

1. Pendidikan Vokasional Teknik Elektro, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, Cipocok Jaya, Kabupaten Serang, Banten 42124, Indonesia

*)Email: endipermata@untirta.ac.id

Received: 25 Januari 2022 | Accepted: 11 Juli 2022 | Published: 1 Januari 2023

Abstract

Electricity is part of the human lifestyle consumed daily and is reflected in the use of maximum resources for his sport of consuming electricity. This examines the ambition for 1). Briefly explain about transformer restoration with the help of rewinding, 2). Describes the types and functions of electrical evaluation performed on a three-segment transformer after the recovery process 3). Presentation of requirements for testing 3-segment transformers, 4). Evaluation is carried out by trying and measuring the ratio of 3-segment transformers 5). Determine the feasibility and check the transformer after restoration. See the trial version of the transformer including rewind, insulation resistance, polarity index, TUM radio transformer (TTR), winding resistance, impedance/ short circuit, and excitation. This learning technique is completed with the help of interviews and observations. The transformer test results are 17.7 GΩ, 17.7 GΩ, and 31.3 GΩ insulation resistance, 1.53, 1.88, and 1.50 polarity indices, winding deviation measured using 1.4%, and a short circuit test of 2.563%. The results of the transformer test can be concluded to be suitable for use in electrical function under reasonable circumstances.

Keywords: Transformer, Transformer testing to determine the feasibility and condition of the transformer

Abstrak

Listrik menjadi bagian kehidupan manusia yang digunakan setiap hari nya dan dapat dilihat dari pemakaian sebagian besar alat penunjang kegiatannya yang menggunakan listrik. Penelitian ini bertujuan untuk 1). Menjelaskan secara singkat tentang perbaikan pada transformator dengan rewinding, 2). Menjelaskan macam-macam dan tujuan pengujian elektrik yang dilakukan pada transformator 3 fasa setelah proses perbaikan, 3). Mengenalkan standar yang digunakan dalam pengujian transformator 3 fasa, 4). Melakukan pengujian dengan menguji dan mengukur besaran-besaran transformator 3 fasa, 5). Menentukan uji kelayakan transformator setelah perbaikan. Adapun pengujian transformator seperti rewinding, insulation resistance, polarity index, transformator TUM radio (TTR), winding resistance, impedance/short circuit dan energize test. Metode penelitian ini dilakukan dengan cara wawancara dan observasi. Hasil yang diperoleh dari pengujian transformator yaitu hambatan isolasi sebesar 17,7 GΩ, 17,7 GΩ dan 31,3 GΩ, Polarity index sebesar 1,53, 1,88 dan 1,50, Winding terukur deviasi sebesar 1,4%, dan pengujian hubung singkat sebesar 2,563%. Dapat disimpulkan bahwa hasil dari pengujian transformator dalam keadaan baik dan layak untuk digunakan untuk keperluan kelistrikan.

Kata kunci: Transformator, Pengujian transformator untuk mengetahui kelayakan maupun keadaan transformator

1. PENDAHULUAN

Transformator adalah suatu alat listrik yang dapat memindahkan dan mengubah energi listrik dari satu atau lebih rangkaian listrik ke rangkaian listrik yang lain, melalui suatu gandengan magnet dan berdasarkan prinsip induksi-elektromagnet [1]. Transformator digunakan secara luas, baik dalam bidang tenaga listrik maupun elektronika. Penggunaan transformator dalam sistem tenaga memungkinkan terpilihnya tegangan yang sesuai dan ekonomis untuk tiap-tiap keperluan, misalnya kebutuhan akan tegangan tinggi dalam pengiriman daya listrik jarak jauh [2].

Dalam bidang elektronika, transformator digunakan antara lain sebagai: gandengan impedansi antara sumber dan beban; untuk memisahkan satu rangkaian dari rangkaian yang lain; dan untuk menghambat arus searah sambil tetap melakukan atau mengalirkan arus bolak-balik antara rangkaian [3].

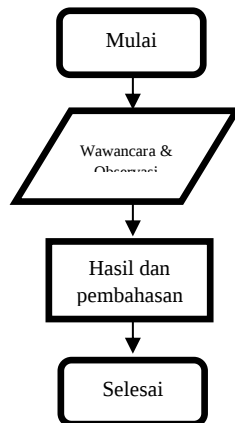
Dalam operasi penyaluran tenaga listrik transformator dapat dikatakan sebagai jantung dari transmisi dan distribusi. Dalam kondisi ini suatu transformator diharapkan dapat beroperasi secara maksimal (kalau bisa terus-menerus tanpa berhenti). Mengingat kerja keras dari suatu transformator seperti itu maka cara pemeliharaan juga dituntut sebaik mungkin. Oleh karena itu transformator harus dipelihara dengan menggunakan sistem dan peralatan Bagian Pendahuluan membahas latar belakang masalah, tinjauan pustaka secara ringkas, maksud dan tujuan riset dilakukan. Pendahuluan sebaiknya berisi perkembangan penelitian terdahulu (*state of the art*) untuk membandingkan dengan penelitian yang dilakukan saat ini sehingga tampil kesenjangan antara teori atau hasil penelitian terdahulu dengan keadaan saat ini atau yang diharapkan yang benar, baik dan tepat. Untuk itu regu pemeliharaan harus mengetahui bagian-bagian transformator dan bagian-bagian mana yang perlu diawasi melebihi bagian yang lainnya.

Berdasarkan tegangan operasinya dapat dibedakan menjadi transformator 500/150 kV dan 150/70 kV biasa disebut *Interbus Transformator* (IBT). Transformator 150/20 kV dan 70/20 kV disebut juga trafo distribusi. Titik netral transformator ditanahkan sesuai dengan kebutuhan untuk sistem pengamanan/proteksi, sebagai contoh transformator 150/70 kV ditanahkan secara langsung disisi netral 150 kV dan transformator 70/20 kV ditanahkan dengan tahanan rendah atau tahanan tinggi atau langsung disisi netral 20 kV nya [4]. Transformator dapat diklasifikasikan menurut fungsi atau pemakaiannya, sebagai berikut:

1. Transformator Pembangkit.
2. Transformator Gardu Induk.
3. Transformator Distribusi.

Secara umum sebuah transformator 3 fasa mempunyai konstruksi hampir sama, yang membedakannya adalah alat bantu dan sistem pengamanannya, tergantung pada letak pemasangan, sistem pendinginan, pengoperasian, fungsi dan pemakaiannya. Bagian utama, alat bantu, dan sistem pengaman yang ada pada sebuah transformator daya [5].

2. METODE/PERANCANGAN PENELITIAN

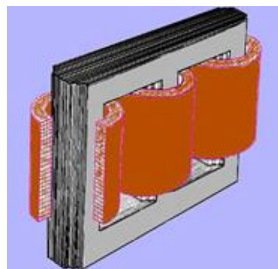


Gambar 1. Diagram Alur Metode

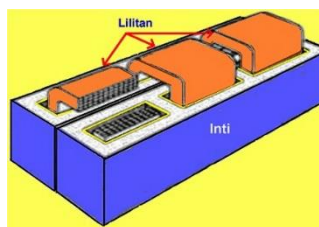
Pada Gambar 1 di atas merupakan suatu metode yang dapat dipakai dalam penelitian adalah metode observasi dan wawancara. Pengambilan data diperoleh dengan cara observasi atau pengamatan dan bertanya langsung atau wawancara secara langsung pada bidang yang akan dipelajari di PT. Masindo Teknonesia.

2.1. Inti Trafo

Seperti halnya pada transformator 1 fasa inti besi berfungsi sebagai tempat mengalirnya fluks dari kumparan primer ke kumparan sekunder sehingga akan didapatkan induksi medan magnet yang lebih kuat. Sama seperti transformator satu fasa, berdasarkan cara melilit kumparannya ada dua jenis, yaitu tipe inti dan tipe cangkang.



Gambar 2. Tipe Inti [5]



Gambar 3. Tipe Cangkang [5]

2.2. Kumparan Transformator

Kumparan transformator terdiri dari lilitan kawat berisolasi dan membentuk kumparan. Kawat yang dipakai adalah kawat tembaga berisolasi yang berbentuk bulat atau plat. Kumparan-kumparan transformator diberi isolasi baik terhadap kumparan lain maupun inti besinya. Bahan isolasi berbentuk padat seperti kertas *prespan*, pertinak, dan lainnya.

2.3. Minyak Trafo

Minyak transformator adalah minyak mineral yang diperoleh dengan pemurnian minyak mentah. Selain itu minyak ini juga berasal dari bahan-bahan organik, misalnya minyak piranol dan silikon. Dalam minyak transformator juga mengandung unsur atau senyawa hidrokarbon yaitu *parafinik*, *naftenik* dan *aromatic* [6].

Isolator merupakan sifat bahan yang mampu untuk memisahkan 2 buah penghantar atau lebih yang berdekatan untuk mencegah adanya kebocoran arus/hubung singkat, maupun sebagai pelindung mekanis dari kerusakan yang diakibatkan oleh korosif atau *stressing*. Minyak trafo biasanya digunakan untuk [7]:

- a. Media isolator.
- b. Media pendingin.
- c. Media / alat untuk memadamkan busur api.
- d. Perlindungan terhadap korosi dan oksidasi.

Untuk mendinginkan transformator saat beroperasi maka kumparan dan inti transformator direndam di dalam minyak transformator, minyak juga berfungsi sebagai isolasi. Oleh karena itu minyak transformator harus memenuhi persyaratan [8], sebagai berikut:

- a. Mempunyai kekuatan isolasi.
- b. Penyalur panas yang baik dengan berat jenis yang kecil, sehingga partikel– partikel kecil dapat mengendap dengan cepat.
- c. Viskositas yang rendah agar lebih mudah bersirkulasi dan kemampuan pendingin menjadi lebih baik.
- d. Tidak nyala yang tinggi.
- e. Tidak menguap dan.
- f. Sifat kimia yang stabil.

2.4. Tangki Transformator

Tangki transformator berguna untuk menyimpan minyak trafo dan sebagai pelindung bagian-bagian trafo yang direndam dalam minyak. Ukuran tangki disesuaikan dengan ukuran inti dan kumparan.

2.5. Sistem Pendingin Transformator

Sistem pendingin pada transformator dibutuhkan supaya panas yang timbul pada inti besi dan kumparan dapat disalurkan keluar sehingga tidak merusak isolasi di dalam transformator. Media yang digunakan dalam sistem pendinginan dapat berupa; udara/gas, minyak, air. Sirkulasi dilakukan secara alamiah (*natural*) dan paksaan (*forced*).

2.6. Bushing Transformator

Bushing Transformator adalah sebuah konduktor yang berfungsi untuk menghubungkan kumparan transformator dengan rangkaian luar yang diberi selubung isolator. Isolator juga berfungsi

sebagai penyekat antara konduktor dengan tangki trafo. Bahan *bushing* adalah terbuat dari *porcelain* yang tengahnya berlubang.



Gambar 4. *Bushing* Transformator [5]

2.7. Alat Pernapasan

Naik turunnya beban trafo dan suhu udara sekeliling trafo, mengakibatkan suhu minyak berubah-ubah mengikuti perubahan tersebut. Keadaan ini merupakan proses pernapasan transformator. Tetapi udara luar yang lembab akan menurunkan nilai tegangan tembus minyak. Untuk mencegah itu maka trafo dilengkapi alat pernapasan yang berupa tabung berisi zat hygroskopis, seperti kristal silicagel ataupun gas N₂.

2.8. Tap Changer

Tap changer adalah perubah perbandingan (rasio) transformator untuk mendapatkan tegangan operasi sekunder sesuai yang diinginkan dari tegangan jaringan/primer yang berubah-ubah. *Tap changer* dapat dioperasikan baik dalam keadaan berbeban (*On-Load*) atau dalam keadaan tak berbeban (*Off-Load*), tergantung jenisnya (Hakim, Kiswanto & Prasetyo, 2012).

2.9. Sirip-Sirip Pendingin atau Radiator

Berfungsi untuk memperluas daerah pendinginan, yaitu daerah yang berhubungan langsung dengan udara luar dan sebagai tempat terjadinya sirkulasi panas.

2.10. Alat Indikator

Alat indikator digunakan untuk memonitor kondisi komponen utama atau media bantu yang ada di dalam transformator saat transformator beroperasi, seperti:

- Suhu Minyak.
- Permukaan Minyak.
- Sistem Pendingin.
- Posisi Tap.

2.11. Buchholz Relay

Buchholz Relay atau biasa disebut juga rele gas, karena bekerjanya digerakan oleh pengembangan gas. Tekanan gas akan timbul apabila minyak mengalami kenaikan temperatur yang diakibatkan oleh:

- Hubungan singkat antar lilitan pada atau dalam fasa.
- Hubung singkat antar fasa.

- c. Hubung singkat antar fasa ke tanah.
- d. Busur api listrik antar laminasi.
- e. Busur api listrik karena kontak yang tidak baik.

Gas yang mengembang akan menggerakkan kontak-kontak rangkaian alarm atau rangkaian pemutus.

2.12. Plat Nama

Plat nama atau *Nameplate* yang terdapat pada bagian luar trafo sebagai pedoman pada saat pemasangan maupun perbaikan. Data-data yang dicantumkan seperti: Fasa dan frekuensi, daya nominal, tegangan primer/sekunder, kelompok hubungan, arus nominal, % arus hubung singkat, sistem pendinginan, volume minyak, dan lain-lain.

Sesuai dengan namanya maka trafo tiga fasa bekerja pada tegangan yang memiliki tiga buah fasa. Sebuah transformator tiga fasa secara prinsip sama dengan sebuah transformator satu fasa, perbedaan yang paling mendasar adalah pada sistem kelistrikannya yaitu sistem satu fasa dan tiga fasa. Sehingga sebuah transformator tiga fasa bisa dihubungkan bintang, segitiga, atau *zig-zag* [5].

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

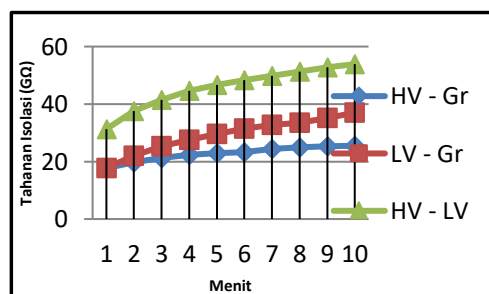
3.1. Rewinding Transformator

Rewinding merupakan suatu proses perbaikan transformator dengan cara menggulung ulang kedua kumparan, yaitu primer dan sekunder. Alat yang digunakan dalam proses rewinding adalah *Winding Coil Machines*. Proses perbaikan ini juga berfungsi untuk mengubah tegangan kerja pada kumparan transformator, baik itu primer maupun sekunder.

3.2. Insulation Resistance Test

Pengukuran tahanan isolasi pada transformator dilakukan untuk mengetahui kualitas isolasi pada transformator tersebut. Pengukuran dilakukan dengan cara mengukur tahanan isolasi pada sisi HV-Ground, LV-Ground, HV-LV.

Berikut grafik hasil pengukuran tahanan isolasi yang didapat dari trafo PT. Freeport Indonesia:



Gambar 5. Grafik Hasil Pengukuran *Insulation Resistance*

Standar nilai minimum untuk pengukuran insulation resistance adalah seperti rumus berikut:

a. $H_v - Ground$ (1)

$$\begin{aligned} R_{min} &= \frac{C \times E}{\sqrt{kVA}} (M\Omega) \\ &= \frac{[(20/32) \times 1.5] \times 34500}{\sqrt{300}} (M\Omega) \\ &= 1867,4 M\Omega = 1,8 G\Omega \\ IR &= 17,7 G\Omega \end{aligned}$$

b. Lv – Ground (2)

$$\begin{aligned} R_{\min} &= \frac{C \times E}{\sqrt{kVA}} (M\Omega) \\ &= \frac{[(20/32) \times 1.5] \times 2350}{\sqrt{300}} (M\Omega) \\ &= 127,2 M\Omega \\ IR &= 17,7 G\Omega \end{aligned}$$

c. Hv – Lv (3)

$$\begin{aligned} R_{\min} &= \frac{C \times E}{\sqrt{kVA}} (M\Omega) \\ &= \frac{[(20/32) \times 1.5] \times 34500}{\sqrt{300}} (M\Omega) \\ &= 1867,4 M\Omega = 1,8 G\Omega \\ IR &= 31,3 G\Omega \end{aligned}$$

Dilihat dari hasil perhitungan nilai minimum *Insulation Resistance* masing-masing Fasa dapat diketahui bahwa hasil pengukuran tahanan isolasi (IR) transformator setelah dilakukan perbaikan sudah berada di atas nilai *Insulation Resistance* minimum menurut standar EASA AR200. Hal ini berarti kondisi isolasi lilitan transformator dapat dikatakan “Baik (*Good*)”. Jika nilai tahanan isolasi masih dibawah $R_{\min}$ dapat menyebabkan timbulnya arus bocor dari transformator terhadap *Ground*, sehingga dapat membahayakan keselamatan makhluk hidup yang berada disekitarnya dan dapat menyebabkan timbulnya arus hubung singkat pada belitan transformator.

3.2. Polarity Index Test

Pengukuran *Polarity Index* pada transformator dilakukan untuk mengetahui kelembaban udara di dalam tangki minyak transformator. Hasilnya didapat dari hasil pengukuran *Insulation Resistance* (IR) dengan perhitungan menggunakan rumus, sebagai berikut:

a. Hv – Ground (4)

$$\begin{aligned} PI &= \frac{IR_{10 \min}}{IR_{1 \min}} \\ &= \frac{25,5}{17,7} \\ &= 1,44 \end{aligned}$$

b. Lv – Ground (5)

$$\begin{aligned} PI &= \frac{IR_{10 \min}}{IR_{1 \min}} \\ &= \frac{37,0}{17,7} \\ &= 2,09 \end{aligned}$$

c. Hv – Lv (6)

$$\begin{aligned} PI &= \frac{IR_{10 \min}}{IR_{1 \min}} \\ &= \frac{53,9}{31,3} \\ &= 1,72 \end{aligned}$$

Data di atas merupakan hasil perhitungan dari nilai *Polarity Index* (PI) setelah transformator diperbaiki. Jika dilihat berdasarkan tabel standar IEEE maka hasil perhitungan menunjukkan hasil “Baik”. Jika angka *Polarity Index* dibawah dari 1,25 maka kualitas minyak dan kelembaban udara

pada transformator buruk dan harus dilakukan uji kadar air minyak, hal ini bisa menimbulkan arus hubung singkat pada masing-masing belitan transformator yang berakibat pada kualitas *Lifetime* transformator tersebut.

3.4. *Transformer Turn Ratio (TTR) Test*

Tujuan dari pengukuran rasio belitan pada dasarnya untuk mendiagnosa adanya masalah dalam antar belitan dan seksi sistem isolasi pada trafo. Pengukuran ini juga untuk memeriksa kesesuaian perbandingan jumlah lilitan kumparan pada *nameplate*.

Setelah dilakukan pengujian ratio transformator menggunakan ratiometer, kemudian ditentukan toleransi (*error*) ratio transformator tersebut. Parameter pengukuran toleransi ratio test transformator secara matematis di tuliskan seperti berikut ini:

$$\text{Deviation} = \frac{|(\text{Phase}) - (\text{Ratio Name Plate})|}{\text{Ratio Name Plate}} \times 100 \quad (7)$$

$$R_{\text{NP}} = \frac{HV}{LV} \quad (8)$$

Dari penggunaan rumus di atas maka didapat hasil dari perhitungan Error Ratio Test sebesar berikut:

Tabel 1. Toleransi (*Error*) Ratio [10] [11]

<i>Tapping</i>	<i>Phase</i>		
	R (H1-H2/X1-X2)	S (H2-H3/X2-X3)	T (H1-H3/X1-X3)
1	0,3	0,4	0,3
2	0,2	0,3	0,3
3	0,2	0,3	0,3
4	0,2	0,3	0,3
5	0,2	0,3	0,3

Dari hasil pengukuran dan perhitungan toleransi ratio di atas dapat disimpulkan bahwa nilai ratio pada transformator tersebut dapat dikatakan “Baik” karena tidak melebihi standar deviasi yang ditetapkan oleh IEEE yaitu sebesar 0.5% [12]. pergeseran nilai ratio yang terukur dengan nilai ratio yang tertera pada *nameplate* dapat disebabkan oleh perbedaan panjang kawat yang digunakan untuk winding trafo, walaupun nilainya sangat kecil akan tetap terbaca oleh ratiometer karena alat tersebut memiliki tingkat ketelitian yang tinggi.

3.5. *Winding Resistance Test*

Pengukuran ini bertujuan untuk mengetahui kondisi tahanan isolasi atau nilai resistif (R) antara belitan dengan ground maupun antar belitan. Sehingga dapat memperkirakan apabila ada kemungkinan hubung singkat atau resistansi yang tinggi pada koneksi belitan. Tahanan isolasi yang diukur sendiri adalah fungsi dari arus bocor yang menembus melewati isolasi atau melalui jalur bocor pada permukaan eksternal [13]. Alat yang digunakan adalah *Transformer Resistance Meter*. Pengukuran dilakukan pada kedua belitan atau kumparan transformator, yaitu pada sisi primer (Hv) dan sisi sekunder (Lv) [14].

3.6. *Impedance* atau *Short Circuit Test*

Pengujian hubung singkat transformator dilakukan untuk mengukur besarnya *Impedance* pada transformator yang kemudian dibandingkan dengan nilai yang tertera pada *nameplate* [15].

3.7. *Energize Test*

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui apakah tegangan *output* dari trafo sudah sesuai dengan nilai yang tertera pada *nameplate* [16] [17]. Pengujian dilakukan dengan menghubungkan sisi LV trafo dengan tegangan sesuai *nameplate*, sisi HV dihubungkan dengan *potensial transformer* untuk keperluan pengukuran [18] [19].

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan pembahasan yang telah dijelaskan diatas pentingnya pengujian transformator agar dalam keadaan baik dalam penggunaan nya. Hasil dari pengukuran hambatan isolasi telah melampaui batas minimum masing-masing kumparan sebesar 1,8 G Ω , 127,2 M Ω dan 1,8 G Ω dengan nilai terukur masing-masing kumparan sebesar 17,7 G Ω , 17,7 G Ω dan 31,3 G Ω . Dengan nilai tersebut hambatan isolasi trafo dalam keadaan baik dan sesuai standar EASA AR200. Pengukuran *Polarity Index* mendapatkan hasil masing-masing sebesar 1,53, 1,88 dan 1,50. Dilihat dari hasil tersebut dapat dikatakan kelembaban udara pada trafo dalam keadaan baik mengacu pada standar IEEE. Hambatan winding dalam kategori *balance* terukur deviasi tertinggi sebesar 1,4 %, sedangkan ratio kumparan juga masih sesuai standar dengan deviasi tertinggi 0,4%. Nilai impedansi melalui pengujian hubung singkat terhitung sebesar 2,653% dan terjadi deviasi sebesar 9,7 %, ketika di *energize* keluaran tegangan didapat 480 V.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada Allah SWT yang telah memberikan kesehatan, kesempatan dan kemampuan kepada penulis untuk bisa menyelesaikan hasil penelitian praktik industri. Tidak lupa terima kasih yang tak terhingga untuk kedua orang tua yang selalu mendukung langkahku. Terima kasih juga sahabat-sahabat yang selalu memberikan bantuan dalam menyelesaikan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Husodo, B. Y & Firmansyah. (2016). Analisis Vector Group Pada Hubungan Paralel Transformator Unit Gardu Bergerak. Jurnal Teknologi Elektro. Vol. 7, 130-139.
- [2] Aprianto, A & Warsito, A. (2010). Pemeliharaan Trafo Distribusi. Makalah disajikan dalam Seminar Kerja Praktek, di Universitas Diponegoro.
- [3] Zuhail. (1995). Dasar Tenaga Listrik Dan Elektronika Daya Edisi Kelima. Jakarta: Gramedia Pustaka Utama.
- [4] Za'im, M. R. (2014). Analisis Transformator Daya 3 Fasa 150/2 KV Pada Gardu Induk Ungaran PLN Distribusi Semarang. Jurnal EDUEL. 3. 9 16.
- [5] Sumardjati dkk. (2008). Teknik Pemanfaatan Tenaga Listrik Jilid 3 Untuk SMK. Jakarta: Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan.
- [6] Mufidah, H & Mudjiono, U. (2015). Analisis Pengaruh Jadwal Pemeliharaan Terhadap Keandalan Transformator 80 MVA Berdasarkan Hasil Uji Tes DGA Dan Tegangan Tembus Dengan Metode Markov. Jurnal Pendidikan Profesional. 4. 12-20.
- [7] Faisal, M., Karnoto & Sukmadi, T. (2011). Analisis Indikasi Kegagalan Transformator dengan Metode Dissolved Gas Analysis. Jurnal TRANSMISI. 13. 95-02.

- [8] Mudjiono, U & Hidayat, E. P. (2012). Pengujian Tegangan Tembus Isolasi Minyak Transformator Fasilitas Gedung Rektorat Universitas Airlangga Surabaya. *Jurnal Teknik Mesin*. 20. 99-106.
- [9] Hakim, M. L., Kiswanto, A & Prasetyo, M. T. (2012). Pengaruh Over Eksitasi Pada Transformator Distribusi Di Gardu Induk Serpong Terhadap Penuaan Isolasi Kertas Ditinjau Dari Sisi Termal. *Jurnal Media ElektriKa*. 5. 39-54.
- [10] PT. Mesindo Tekninesia. (2005). Sejarah Profil Perusahaan. Jakarta: PT. Mesindo Tekninesia.
- [11] PT. Mesindo Tekninesia. (2005). Pengujian Trafo. Jakarta: PT. Mesindo Tekninesia.
- [12] Afrizon, H & Firdaus. (2018). Analisis Keandalan Transformator Daya 70/20 KV di PT. PLN (Persero) P3BS GI Sukamerindu Berdasarkan Hasil Pengujian Isolasi Minyak DGA (Dissolved Gas Analysis) Menggunakan Metode Markov. *Jurnal FTEKNIK*. 5. 1-9.
- [13] Anindyantoro, M. (2017). Analisa Tahanan Isolasi Pada Transformator Tenaga di Gardu Induk Wonogiri. Makalah disajikan dalam Seminar Proposal Skripsi, di Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- [14] Aziz, T Fathony & Winardi, B. (2014). Pengujian Ratio Transformator Tenaga dengan Automatic Transformer Ratio Tester PT. PLN Semarang. Makalah disajikan dalam Seminar Kerja Praktek, di Universitas Diponegoro.
- [15] Noerdin, I. (2000). Studi Kerusakan Transformator Antar Bus Satu Fasa 500KV/150KV 166.67 MVA. Tesis Magister, Tidak diterbitkan, Universitas Indonesia, Jakarta.
- [16] Wibowo, D. (2018). Analisa Pengujian Isolasi Transformator Daya 60 MVA Pada Gardu Induk Jajar. Makalah ini disajikan dalam Seminar Proposal Skripsi, di Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- [17] Rahmadani, A. (2015). Pemeliharaan Peralatan Trafo Tenaga, Arus dan Tegangan Pada Gardu Induk. Tugas Akhir. Malang. Universitas Negeri Malang.
- [18] IEEE. (2008). IEEE Standard Requirement for Liquid-Immersed Distribution Substation Transformers. New York: 3 Park Avenue.
- [19] EASA AR200. (2011). Guide for The Repair of Power and Distribution Transformer. St. Louis: EASA, Inc.