
ANALISIS KEGAGALAN SINKRONISASI TRANSFORMATOR 2 MVA 20 /6,3 kV TERHADAP GARDU DISTRIBUSI PLN 20 kV

Ujang Wiharja, Suratmin

Abstrak - Transformator berfungsi untuk meningkatkan tegangan yang dihasilkan oleh pembangkit dan mengalirkannya melalui saluran transmisi dan nantinya tegangan ini akan diturunkan untuk selanjutnya didistribusikan ke pelanggan yang ada. Ketika PT. X melakukan back-synchron antara turbin generator dengan sumber listrik PLN terjadi fault dan menyebabkan trip seketika dan menyebabkan fuse sisi tegangan menengah 20 kV putus di fasa R dan T, dan dilakukan pengujian rasio tes didapatkan hasil nilai rasio sudah bergeser -18 % dari nilai rasio standar IEC 0.5%, dalam hal ini trafo sudah mengalami short circuit. Pengujian tahanan isolasi, pengujian rasio tes, pengujian Break Down Voltage Oil, pengujian isolasi kabel koneksi transformator, pengukuran phase rotation. Hasil pengukuran Ratio Test menunjukan kondisi transformator sudah rusak, Nilai deviasi -18.42 % sudah melewati standar dari $\pm 0,5$ % dan hasil rasio tes transformator pengganti kondisinya bagus, Nilai deviasi masih masuk toleransi $\pm 0,5$ %. Pengujian Phase Rotation menunjukan bahwa kondisi urutan phasa terbalik berlawanan arah jarum jam yaitu: T-S-R. Pengujian BDV oil transformator di peroleh nilai 39,4 kV tegangan tembus oli pada transformator dalam kondisi tidak bagus, Nilai tegangan tembus oli di bawah 55 kV dan hasil BDV oli untuk trafo pengganti 75.5 kV tegangan tembus oli dalam kondisi bagus, Nilai tegangan tembus diatas 55 kV, Sesuai Standar IEC. Hasil pengukuran Phase Rotation setelah di lakukan perbaikan, Hasil terukur pada panel kubikel 20 kV menunjukan arah putaran searah jarum jam dan urutan fasa sudah benar yaitu R-S-T. Hasil dari pengujian Insulation Resistance kabel masih dalam kondisi bagus, Hasil pengukuran di atas 1000 M Ω .

Kata Kunci : *Transformator, Pengujian, Short circuit, Phase rotation, Standar IEC.*

Abstract - *The transformer works to increase the voltage generated by the generation and flows it through the transmission line and this voltage will later be lowered to further increase it to existing customers. When PT. X performs back-synchron between the turbine generator and the PLN electricity source, a disturbance occurs and causes an instantaneous trip and causes the 20 kV medium voltage side fuse to blow in the R and T phases, and a ratio test is carried out to get the results the value has shifted -18% from the standard ratio value IEC 0.5%, in this case the transformer has short circuited. Insulation testing, testing ratio testing, Break Down Voltage Oil testing, transformer connection cable insulation testing, phase rotation measurement. The results of the Ratio Test measurement show that the transformer is damaged, the deviation value of -18.42% has passed the standard of $\pm 0.5\%$ and the results of the replacement transformer test ratio are in good condition, the deviation value is still within the tolerance of $\pm 0.5\%$. The Rotation Phase Test shows that the phase sequence conditions are counterclockwise, namely: T-S-R. BDV oil transformer obtained a value of 39.4 kV oil breakdown voltage on a transformer in bad condition, Oil breakdown voltage value below 55 kV and oil BDV results for a replacement transformer 75.5 kV oil breakdown voltage in good condition, breakdown voltage value above 55 kV, Conforms to IEC Standards. The results of the Phase Rotation measurement after making repairs, the results on the 20V cubicle panel show a clockwise direction and the phase sequence is correct, namely R-S-T. The results of the cable insulation resistance test are still in good condition, the measurement results are above 1000 M Ω .*

Keyword : Transformer, Testing, Short circuit, Phase rotation, IEC Standard.

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Seiring semakin berkembangnya zaman, tenaga listrik pada saat ini menjadi salah satu kebutuhan pokok manusia. Semakin berkembangnya teknologi yang menggunakan energi tenaga listrik, maka secara tidak langsung manusia tergantung terhadap sumber energi tenaga listrik baik untuk kebutuhan sehari-hari maupun untuk industri.

Transformator berfungsi untuk meningkatkan tegangan yang dihasilkan oleh pembangkit dan mengalirkannya melalui saluran transmisi dan nantinya tegangan ini akan diturunkan untuk selanjutnya didistribusikan ke pelanggan yang ada. Sebagai penghubung antara pembangkit dan saluran transmisi digunakan transformator pembangkit. Penghubung antara saluran transmisi dengan konsumen digunakan transformator distribusi.

PT. X memiliki turbin generator sebagai pembangkit listrik utama dan sumber listrik Kawasan Center (Sumber PLN) sebagai pembangkit listrik bantuan. Sumber listrik Kawasan Center (Sumber PLN) digunakan untuk back starting-up turbin generator dengan mengoperasikan boiler sebagai penghasil uap yang digunakan untuk menggerakkan turbin generator. Sumber listrik dari Kawasan Center (Sumber PLN) dilepas jika turbin generator sudah dapat membangkitkan listrik. Turbin generator disinkronisasi dengan sumber listrik Kawasan Center (Sumber PLN) dalam keadaan beban nol atau tidak berbeban.

Ketika PT. X melakukan back-synchron antara turbin generator dengan sumber listrik Kawasan Center (Sumber PLN) terjadi fault dan menyebabkan trip seketika dan menyebabkan fuse sisi tegangan menengah 20 kV putus di fasa R dan T, setelah dilakukan pengecekan terhadap

trafo T-7, 2000 kVA 20 kV/6.3 kV Dyn5 indikasi oil level pada DMCR sudah turun dan dilakukan pengujian rasio tes didapatkan hasil nilai rasio sudah bergeser -18 % dari nilai rasio standar IEC 0,5%, Dalam hal ini trafo sudah mengalami short circuit.

Setelah itu PT.X menyewa trafo dengan rating 2000 kVA, 20 kV/6,3 kV Dyn5 untuk mengganti trafo T-7 yang mengalami kerusakan, setelah instalasi selesai maka dilakukan kembali process back synchron antara turbin generator dan sumber PLN, Sesaat setelah dilakukan back-synchron antara turbin generator dengan sumber PLN, alarm trip kembali berbunyi dan setelah dilakukan pengecekan sisi 20 kV di fasa R dan T kembali putus dan trafo T-7 mengalami kerusakan kembali.

Analisa penyebab masalah back-synchron diperlukan sebelum dilakukan tindakan berikutnya, hal ini diperlukan agar tidak terjadi masalah yang sama. Biaya yang dikeluarkan pada dua proses sebelumnya cukup besar sehingga analisa penyebab masalah sinkronisasi ini menjadi penting.

1.2 Perumusan Masalah

Adapun perumusan masalah ini adalah :

- 1) Bagaimana menganalisa penyebab terjadinya kerusakan pada transformator akibat kegagalan yang terjadi pada waktu sinkronisasi transformator.
- 2) Bagaimana dampak dari kegagalan yang terjadi pada waktu sinkronisasi transformator.
- 3) Bagaimana menganalisa kerusakan transformator.

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

- 1) Mengetahui penyebab terjadinya kerusakan pada transformator

akibat kegagalan yang terjadi pada waktu sinkronisasi transformator.

- 2) Mengetahui adanya hubung singkat akibat sinkronisasi transformator.
- 3) Mengetahui cara pengujian transformator.

II. METODOLOGI PENELITIAN

2.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilakukan di PT.T, Perusahaan ini bergerak di bidang transformator yang terletak di Jalan Letnand Arsyad, Bekasi Selatan,17144. Untuk mendapatkan data yang akurat penelitian ini dilaksanakan mulai 15 Maret sampai dengan 15 Mei 2022.

2.2 Tahapan Penelitian

Penyusun tugas akhir ini akan digunakan dengan menggunakan metode sebagai berikut :

- 1) Studi literature merupakan kajian Penyusun atas referensi-referensi yang ada baik berupa buku maupun karya-karya ilmiah yang berhubungan dengan penyelesaian laporan ini.
- 2) Pengambilan data
Pengambilan data akan dilakukan di PT.X yaitu untuk hasil tes pengujian dari Transformator, Kabel dan Load Break Switch.
- 3) Penyelesaian laporan.
Setelah pengambilan data dan kesimpulan tentang kondisi Transformator, Kabel dan Load Break Switch, hasil dari laporan ini akan di lakukan kembali sinkronisasi untuk pengambilan kesimpulan dan pemberian saran.

2.3 Alat

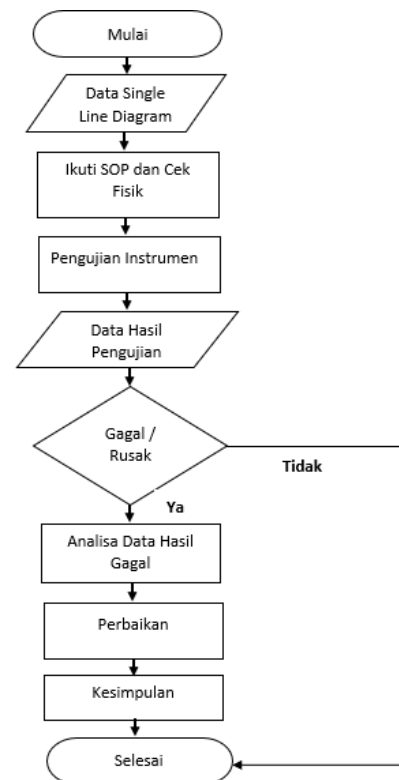
Alat yang digunakan untuk pengujian antara lain :

- a) *Stik grounding*.
Alat ini berfungsi untuk membuang sisa arus yang masih tersisa di dalam transformator dan untuk menjaga keselamatan pada waktu proses pengujian.
- b) *Ratio Tester* (Raytech Mark III).

Alat ini berfungsi untuk mengukur nilai perbandingan belitan transformator.

- c) *Insulation Resistance Tester* (Megger MIT 520).
Alat ini berfungsi untuk mengukur nilai tahanan isolasi.
- d) *Winding Resistance Tester* (Raytech WRT).
Alat ini berfungsi untuk mengukur nilai resistan belitan transformator.
- e) *Multi Tester* (Fluke).
Alat ini berfungsi untuk mengukur nilai frekuensi, arus, tegangan dan resistan.
- f) *Power Quality Tester* (HIOKI PQ3100).
Alat ini berfungsi untuk mengukur arah sudut tegangan 3 fasa.
- g) *Break Down Voltage Tester* (HV Diagnostic BA75).
Alat ini berfungsi sebagai untuk mengukur nilai tegangan tembus minyak pada transformator.

2.4 Flow Chart Penelitian



Gambar 2.1 Diagram Alur Penelitian

2.5 Metode Pengujian

Metode dalam penelitian ini berdasarkan standar IEC (International Electrotechnical Commission) tentang pengujian transformator.

2.5.1 Pengujian tahanan isolasi dan Polarity indeks

Pengukuran tahanan isolasi ini bertujuan untuk mengetahui kondisi nilai isolasi transformator dan mengetahui secara dini kerusakan pada transformator. Minimal nilai tahanan isolasi 1 G Ω . Pengukuran ini menggunakan alat Megger MIT 520.

Prosedur pengujian tahanan isolasi yang akan dilakukan antara lain:

- 1) Memasang kabel alat Megger MIT 520 pada transformator yang akan di uji.
- 2) Menghidupkan alat Megger MIT 520 dan melakukan pengujian tahanan isolasi.
- 3) Mengukur nilai tahanan isolasi belitan primer terhadap sisi belitan sekunder pada transformator.
- 4) Mengukur nilai tahanan isolasi belitan primer terhadap *grounding* pada transformator.
- 5) Mengukur nilai tahanan isolasi belitan sekunder terhadap *grounding* pada transformator.

2.5.2 Pengujian Rasio Tes

Pengujian rasio untuk memastikan belitan transformator tersebut tidak terjadi kerusakan, dan memenuhi jumlah belitan sisi tegangan tinggi dan sisi tegangan rendah pada setiap tap nya, sehingga tegangan keluaran yang dihasilkan oleh transformator sesuai nilai yang akan digunakan. Standar toleransi yang di ijinakan adalah 0,5% dari nilai rasio tegangan. Pengukuran ini menggunakan alat Raytech TR - Mark III.

Prosedur dalam pengujian rasio tes yaitu:

- 1) Transformator harus dihubungkan ke *grounding* dengan baik.
- 2) Memasang kabel-kabel alat tes Raytech TR - Mark III ke sisi bushing tegangan rendah pada transformator

yaitu kabel (a) ke fasa 2U, kabel (b) ke fasa 2V, kabel (c) fasa 2W, kabel (n) ke 2N dan pasang kabel alat tes di sisi bushing tegangan tinggi pada transformator yaitu kabel (A) ke fasa 1U, kabel (B) ke fasa 1V, kabel (A) ke fasa 1W.

- 3) Menghidupkan alat tes dan isi data sesuai tegangan nominal pada alat rasio tester untuk transformator yang akan diuji berdasarkan referensi dari data spesifikasi transformator.
- 4) Melakukan pengukuran dengan cara mengubah posisi *tap changer* pada transformator.
- 5) Mencatat hasil pengukuran pada lembar laporan pengujian.

2.5.3 Pengujian Resistan Tes

Pengujian resistan bertujuan untuk mengukur nilai tahanan pada belitan transformator yang akan menimbulkan panas apabila belitan tersebut dialiri arus. Nilai suhu belitan transformator dan suhu sekitar berpengaruh terhadap nilai resistan. Untuk melakukan pengukuran resistan belitan transformer menggunakan alat Raytech WRT.

Prosedur Pengujian resistan pada setiap belitan transformator, sebagai berikut:

- 1) Menghubungkan tranformator ke *grounding* dengan baik.
- 2) Menghubungkan kabel alat *winding resistance tester* pada bushing transformator terminal fasa 1U dengan fasa 1V.
- 3) Menghubungkan kabel alat *winding resistance tester* pada bushing transformator terminal fasa 1V dengan fasa 1W.
- 4) Menghubungkan kabel alat *winding resistance tester* pada bushing transformator terminal fasa 1W dengan fasa 1U.
- 5) Menghidupkan alat Raytech WRT dan melakukan pengujian resistan.
- 6) Mengukur nilai resistan dengan cara mengubah posisi *tap changer* pada transformator.

- 7) Mencatat hasil pengukuran resistansi pada lembar laporan pengujian.

2.5.4 Pengujian BDV oli (*Break Down Voltage*)

Pengujian ini bertujuan untuk mengukur nilai tegangan tembus oli transformator dan mendeteksi secara dini masalah di transformator. Untuk melakukan pengujian ini menggunakan alat HV Diagnostic BA75.

Prosedur pengujian BDV oli sebagai berikut:

- 1) Mengambil sampel oli pada transformator.
- 2) Membersihkan tempat oli pada alat oil BDV tester.
- 3) Mengukur jarak elektroda pada alat tester sesuai standar pengujian.
- 4) Memasukkan sampel oli yang akan di uji pada tempat alat oli tester.
- 5) Menghidupkan alat HV Diagnostic BA75 dan melakukan pengujian.
- 6) Mencatat hasil pengukuran nilai tegangan tembus oli pada lembar laporan pengujian.

2.5.5 Pengujian isolasi kabel koneksi transformator sisi 6,3 kV dan 20 kV

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui nilai tahanan isolasi pada kabel transformator dan untuk mengetahui masalah secara dini. Untuk pengukuran tahanan isolasi ini menggunakan Megger MIT 520.

Prosedur untuk pengujian tahanan isolasi kabel, sebagai berikut:

- 1) Melepas koneksi kabel antara transformator dan panel kubikel yang terhubung.
- 2) Memasang kabel alat Megger MIT 520 pada kabel tegangan 6,3 kV dan 20 kV dengan *grounding* (pentanahan).
- 3) Menghidupkan alat Megger dan melakukan pengujian tahanan isolasi pada kabel.
- 4) Mencatat hasil pengukuran tahanan isolasi kabel pada lembar laporan pengujian.

2.5.6 Pengukuran phase rotation

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui urutan fasa antara R, S, T pada sumber tegangan listrik 3 fasa dan untuk menghindari kegagalan yang terjadi akibat perbedaan urutan fasa. Pengukuran ini menggunakan alat HIOKI PQ3100.

Prosedur pengujian *phase rotation*, sebagai berikut:

- 1) Memasang kabel alat ukur ke terminal sumber tegangan pada panel kubikel.
- 2) Memasang kabel A ke terminal fasa R.
- 3) Memasang kabel B ke terminal fasa S.
- 4) Memasang kabel C ke terminal fasa T.
- 5) Menghidupkan alat Hioki Power Quality dan masukan nilai data sesuai tegangan yang terukur.
- 6) Melakukan pengukuran *phase rotation* di panel kubikel.
- 7) Mencatat hasil pengukuran pada lembar laporan pengujian.

2.5.7 Sinkronisasi

Sinkronisasi ini bertujuan untuk menggabungkan antara dua sumber tegangan 3 fasa, Sumber tegangan dari generator dengan sumber tegangan dari PLN.

Prosedur Sinkronisasi, Sebagai berikut:

- 1) Memastikan nilai frekuensi harus sama antara sumber listrik dari generator dan sumber listrik dari PLN.
- 2) Memastikan nilai tegangan sama antara sumber listrik dari generator dan sumber listrik dari PLN.
- 3) Memastikan sudut fasa sama antara sumber listrik dari generator dan sumber listrik dari PLN.
- 4) Memastikan *phase rotation* sama antara sumber listrik dari generator dan sumber listrik dari PLN.
- 5) Melakukan sinkronisasi setelah semua parameter tercapai.

III. HASIL ANALISA

3.1 Data Hasil Pengujian Transformator

3.1.1 Pengujian Rasio Tes Transformator

Tabel 3.1 Data Hasil Pengujian Rasio Tes Transformator

Tap Posisi	Teori Rasio	Hasil Pengukuran Rasio Tes					
		Fasa R	Dev (%)	Fasa S	Dev (%)	Fasa T	Dev (%)
1	5,773	4,452	-22,88%	4,827	-16,39%	4,564	-20,94%
2	5,636	4,652	-17,46%	4,595	-18,47%	4,725	-16,16%
3	5,498	4,578	-16,73%	4,712	-14,30%	4,485	-18,42%
4	5,361	4,325	-19,32%	4,415	-17,65%	4,775	-10,93%
5	5,223	4,465	-14,51%	4,378	-16,18%	4,389	-15,97%

Dari data hasil pengujian rasio tes transformator di dapat nilai rasio sudah bergeser lebih dari batas toleransi, Standar IEC 60076 adalah 0.5%.

3.1.2 Perhitungan Nilai Rasio Transformator

$$\frac{V_p}{V_s} = \frac{V_{p-p}}{V_{p-n}}$$

V_{p-p} = Tegangan Primer fasa ke fasa

V_{p-n} = Tegangan Sekunder fasa ke netral

Perhitungan Nilai Rasio Transformator Posisi Tap 1

Tegangan primer di tap 1 = 21000 Volt

$$\begin{aligned} \text{Nilai rasio teori} &= \frac{V_p \times \sqrt{3}}{V_s} \\ &= \frac{21000 \times \sqrt{3}}{6300} \\ &= 5,773 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Fasa R nilai deviasi} &= \frac{4,452 - 5,773}{5,773} \times 100 \\ &= -22,88 \% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Fasa S nilai deviasi} &= \frac{4,827 - 5,773}{5,773} \times 100 \\ &= -16,39 \% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Fasa T nilai deviasi} &= \frac{4,564 - 5,773}{5,773} \times 100 \\ &= -20,94 \% \end{aligned}$$

Posisi Tap 2

Tegangan primer di tap 2 = 20500 Volt

$$\begin{aligned} \text{Nilai Rasio Teori} &= \frac{V_p \times \sqrt{3}}{V_s} \\ &= \frac{20500 \times \sqrt{3}}{6300} \\ &= 5,636 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Fasa R nilai deviasi} &= \frac{4,652 - 5,636}{5,636} \times 100 \\ &= -17,46 \% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Fasa S nilai deviasi} &= \frac{4,595 - 5,636}{5,636} \times 100 \\ &= -18,47 \% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Fasa T nilai deviasi} &= \frac{4,725 - 5,636}{5,636} \times 100 \\ &= -16,16 \% \end{aligned}$$

Posisi Tap 3

Tegangan primer di tap 3 = 20000 Volt

$$\begin{aligned} \text{Nilai Rasio Teori} &= \frac{V_p \times \sqrt{3}}{V_s} \\ &= \frac{20000 \times \sqrt{3}}{6300} \\ &= 5,498 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Fasa R nilai deviasi} &= \frac{4,578 - 5,498}{5,498} \times 100 \\ &= -16,73 \% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Fasa S nilai deviasi} &= \frac{4,712 - 5,498}{5,498} \times 100 \\ &= -14,30 \% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Fasa T nilai deviasi} &= \frac{4,485 - 5,498}{5,498} \times 100 \\ &= -18,42 \% \end{aligned}$$

Posisi Tap 4

Tegangan primer di tap 4 = 19500 Volt

$$\begin{aligned} \text{Nilai Rasio Teori} &= \frac{V_p \times \sqrt{3}}{V_s} \\ &= \frac{19500 \times \sqrt{3}}{6300} \\ &= 5,361 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Fasa R nilai deviasi} &= \frac{4,325 - 5,361}{5,361} \times 100 \\ &= -19,32 \% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Fasa S nilai deviasi} &= \frac{4,415 - 5,361}{5,361} \times 100 \\ &= -17,65 \% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Fasa T nilai deviasi} &= \frac{4,775-5,361}{5,361} \times 100 \\ &= -10,93 \% \end{aligned}$$

Posisi Tap 5

Tegangan primer di tap 5 = 19000 Volt

$$\begin{aligned} \text{Nilai Rasio Teori} &= \frac{V_p \times \sqrt{3}}{V_s} \\ &= \frac{19000 \times \sqrt{3}}{6300} \\ &= 5,223 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Fasa R nilai deviasi} &= \frac{4,465-5,223}{5,223} \times 100 \\ &= -14,51 \% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Fasa S nilai deviasi} &= \frac{4,378-5,223}{5,223} \times 100 \\ &= -16,18 \% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Fasa T nilai deviasi} &= \frac{4,389-5,223}{5,223} \times 100 \\ &= -15,97 \% \end{aligned}$$

3.1.2 Pengujian *Insulation Resistance*

Tabel 3.2 Data Hasil Pengujian *Insulation Resistance* Transformator

Rangkaian Tes	Tes VDC	Mega-Ohm (MΩ) 1 menit	Kondisi Isolasi
HV - LV	2500	1710	Bagus
HV - Ground	2500	1350	Bagus
LV - Ground	2500	1130	Bagus

Ambient temp. 30 °C

Dari data hasil pengujian *insulation resistance* di peroleh nilai *insulation resistance* pada transformator masih dalam kondisi baik, Nilai hasil pengukuran di atas 1000 MΩ.

3.1.3 Pengujian Break Down Voltage Oil

Tabel 3.3 Data Hasil Pengujian BDV Oil Transformator

Tes	Hasil Tes BDV (kv)
I	34.5
II	49.6
III	44.8
IV	57.4
V	28.1
VI	22.1
Nilai Rata-rata	39.4

Dari data hasil pengujian BDV minyak transformator di peroleh nilai tegangan tembus minyak pada transformator dalam kondisi tidak bagus, Nilai tegangan tembus oli di bawah 55 kV.

3.2 Data Hasil Pengujian *Insulation Resistance* Kabel Transformator

Tabel 3.4 Data Hasil Pengujian *Insulation Resistance* Kabel Transformator

Keterangan	R-S/T/E (Giga Ohm)	S-R/T/E (Giga Ohm)	T-R/S/E (Giga Ohm)
Kabel Sekunder Transformator	47.0	46.2	63.0
Kabel Primer Transformator	52.1	72.2	81.0

Dari data hasil pengujian *insulation resistance* pada kabel transformator menggunakan tegangan 5000 Volt DC di peroleh nilai *insulation resistance* dalam kondisi baik, Nilai hasil pengukuran di atas 1000 MΩ.

3.3 Data Hasil Pengujian Transformator Pengganti

3.3.1 Pengujian Rasio Tes Transformator

Tabel 3.5 Data Hasil Pengujian Rasio Tes Transformator Pengganti

Tap Posisi	Teori Rasio	Hasil Pengukuran Rasio Tes					
		Fasa R	Dev (%)	Fasa S	Dev (%)	Fasa T	Dev (%)
1	5.773	5.775	0.03%	5.776	0.05%	5.774	0.02%
2	5.636	5.637	0.02%	5.636	0.00%	5.636	0.00%
3	5.498	5.500	0.04%	5.499	0.02%	5.498	0.00%
4	5.361	5.363	0.04%	5.362	0.02%	5.363	0.04%
5	5.223	5.225	0.04%	5.224	0.02%	5.225	0.04%

Dari data hasil pengujian rasio tes transformator pengganti nilai rasio dalam kondisi baik hasil terukur deviasi kurang dari 0.5%, Standar IEC 60076 adalah ± 0.5%.

3.3.2 Pengujian *Insulation Resistance* Transformator Pengganti

Tabel 3.6 Data Hasil Pengujian Insulation Resistance Transformator Pengganti

Rangkaian Tes	Tes VDC	Mega-Ohm (MΩ) 1 menit	Kondisi isolasi
HV - LV	2500	2100	Bagus
HV - Ground	2500	2500	Bagus
LV - Ground	2500	1750	Bagus

Ambient temp. 32 °C

Dari data hasil pengujian insulation resistans transformator pengganti dengan pengujian menggunakan tegangan 2500 VDC di peroleh nilai insulation resistance pada transformator masih dalam kondisi baik, Nilai hasil pengukuran di atas 1000 MΩ.

3.3.3 Pengujian Break Down Voltage Oil

Tabel 3.7 Data Hasil Pengujian BDV Oil Transformator Pengganti

Tes	Hasil Tes BDV (kV)
I	75.5
II	75.5
III	75.5
IV	75.5
V	75.5
VI	75.5
Nilai Rata-rata	75.5

Dari data hasil pengujian BDV oil transformator pengganti di peroleh nilai tegangan tembus minyak pada transformator dalam kondisi bagus, Nilai tegangan tembus minyak di atas 55 kV, Sesuai Standar IEC 60422-2013.

3.4 Data Hasil Pengukuran Phase Rotation di Kubikel Tegangan 20 kV



Gambar 3.1 Hasil Pengukuran Phase Rotation Pada Panel Incoming 20 kV
Pengukuran phase rotation di panel incoming 20 kV gardu utama pelanggan

terukur urutan fasa nya yaitu: T-S-R, Menunjukkan bahwa kondisi urutan fasa di Gardu sumber PLN terbalik antara fasa R dan T dan Arah putarannya berlawanan dengan arah jarum jam.

3.5 Data Perbandingan Pengukuran Phase Rotation di Kubikel 20 kV

Tabel 3.8 Data Perbandingan Pengukuran Phase Rotation Di Kubikel 20 Kv

Item Check	Hasil Check			Item Check	Hasil Check		
	Urutan Fasa	Sudut fasa terukur	Tegangan terukur		Urutan Fasa	Sudut fasa terukur	Tegangan terukur
Pengecekan sisi Gardu Utama Sebelum Perbaikan	R	0.00°	11.530 KV	Pengecekan sisi Gardu Utama Setelah Perbaikan	R	0.00°	11.599 KV
	S	119.91°	11.634 KV		S	-119.20°	11.645 KV
	T	-119.53°	11.629 KV		T	119.98°	11.510 KV

Pengukuran phase rotation di panel incoming 20 kV gardu utama pelanggan terukur urutan fasa nya yaitu: T-S-R, Menunjukkan bahwa kondisi urutan fasa di Gardu sumber PLN terbalik antara fasa R dan T dan Arah putarannya berlawanan dengan arah jarum jam. Setelah dilakukan perbaikan dan di lakukan pengukuran kembali hasil terukur nya yaitu R-S-T, Menunjukkan bahwa kondisi urutan fasa di panel kubikel di sisi 20 kV sudah benar yaitu searah dengan arah jarum jam, Dari data ini sumber masalah terjadi akibat urutan fasa yang terbalik, setelah di tanyakan ke pengelola kawasan bahwa penyebab terbaliknya kabel terjadi setelah di lakukan perawatan berkala dan tertukar pada waktu penyambungan koneksi busbar.

3.6 Data Perbandingan Pengukuran Sinkronisasi

Tabel 3.9 Data Perbandingan Pengukuran Sinkronisasi

Sumber Generator	Hasil Check				Sumber PLN	Hasil Check				
	Frekuensi	Urutan Fasa	Sudut fasa terukur	Tegangan terukur		Frekuensi	Urutan Fasa	Sudut fasa terukur	Tegangan terukur	
	50.10 Hz	R-S-T	R	0.00°	6.1302 kV	50.00 Hz	R-S-T	R	0.00°	6.1221 kV
			S	-120.82°				S	-119.70°	
			T	120.07°				T	120.24°	
	50.10 Hz	R-S-T	R	0.00°	6.1522 kV	50.00 Hz	R-S-T	R	0.00°	6.1438 kV
			S	-120.82°				S	-119.70°	
			T	120.07°				T	120.24°	

Dari hasil pengukuran sinkronisasi untuk pengukuran frekuensi, tegangan, urutan fasa dan sudut fasa menunjukan nilai mendekati sama, Dalam hal ini nilai parameter untuk proses sinkronisasi sudah tercapai.

IV. KESIMPULAN

1. Dari hasil pembahasan dapat diambil beberapa kesimpulan di antaranya.
2. Hasil pengukuran Ratio Test menunjukan kondisi transformator sudah rusak, Nilai deviasi -18.42 % sudah melewati standar dari $\pm 0,5$ % dan hasil rasio tes transformator pengganti kondisinya bagus, Nilai deviasi masih masuk toleransi $\pm 0,5$ %.
3. Dari hasil pengujian Phase Rotation menunjukan bahwa kondisi urutan fasa terbalik berlawanan arah jarum jam yaitu: T-S-R.
4. Hasil pengujian Break Down Voltage Oil transformator di peroleh nilai 39,4 kV tegangan tembus oli pada transformator dalam kondisi tidak bagus, Nilai tegangan tembus oli di bawah 55 kV dan hasil BDV oli untuk trafo pengganti 75.5 kV tegangan tembus oli dalam kondisi bagus, Nilai tegangan tembus diatas 55 kV, Sesuai Standar IEC.

5. Dari hasil pengukuran Phase Rotation setelah di lakukan perbaikan, Hasil terukur pada panel kubikel 20 kV menunjukan arah putaran searah jarum jam dan urutan fasa sudah benar yaitu R-S-T.
6. Hasil dari pengujian Insulation Resistance kabel masih dalam kondisi bagus, Hasil pengukuran di atas 1000 M Ω .

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Wiharja, U dan Supriadi, Y. 2018. Analisa Pengujian Transformator 2MVA 33,42/0.575 KV. URL:https://journal.teknikunkris.ac.id/index.php/elektro/article/download/86/77. Diakses tanggal 14 Maret 2022.
- [2] Naibaho, N. 2017. Analisa Pengaruh Gangguan Hubung Singkat di Gardu Induk Terhadap Subsistem Gandul. URL:https://journal.teknikunkris.ac.id/index.php/elektro/article/view/61/54. Diakses tanggal 16 Maret 2022.
- [3] M, Fahri. 2021. Analisis Efisiensi 5 Unit Transformator di PT. Charoen Pokphand Indonesia Tbk. Skripsi. Falkutas Teknik Universitas Muhammadiyah, Sumatra Utara.
- [4] P.T. PLN (Persero). 2014. Buku pedoman pemeliharaan transformator tenaga. Jakarta : P.T PLN (Persero).
- [5] IEC Standar No. 60076 - 1.
- [6] R, Syahfikri. 2020. Sinkronisasi Transformator Menggunakan Unit Gardu Bergerak Metode Tanpa Padam DI PT.PLN (Persero) Bintaro. Proyek Akhir. Fakultas Ketenagalistrikan Dan Energi Terbarukan Institut Teknologi PLN. Jakarta.