

Evaluasi Kondisi Belitan Generator Transformers (GT) Dengan Sweep Frequency Response Analysis

Sapto Nisworo¹, Arnawan Hasibuan², Muhammad Daud³

¹Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Tidar
Jl. Kapten S. Parman No. 39 Magelang, 56116

^{2,3}Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Malikussaleh
Bukit Indah, Lhokseumawe, 24351
e-mail: saptonisworo@untidar.ac.id

Abstrak— Pengaruh gaya elektromagnetik yang besar dan terus-menerus, berakibat belitan transformator daya cenderung mengalami perubahan. Mencegah terjadinya gerakan belitan transformator daya berkembang yang mengarah pada kerusakan utama sangat penting, oleh karena itu pendeteksian dan perawatan transformator perlu dilakukan secara rutin agar transformator dapat beroperasi dengan handal. Metode Sweep Frequency Response Analysis (SFRA) dikembangkan untuk mendiagnosis kondisi mekanik belitan transformator. Metode pendeteksian kondisi belitan transformator diperoleh hasil yang akurat. Hasil yang diperoleh semua kondisi belitan dalam keadaan baik tanpa perlu adanya perbaikan.

Kata kunci : Belitan Transformator, SFRA

Abstract— The influence of the large and continuous electromagnetic force causes the winding of the power transformer to tend to change. It is very important to prevent the winding movement of the power transformer from developing which leads to main damage, therefore it is necessary to detect and maintain the transformer regularly so that the transformer can operate reliably. Sweep Frequency Response Analysis (SFRA) method was developed to diagnose the mechanical condition of the transformer winding. The method of detecting the condition of the transformer winding obtained accurate results. The results obtained are all winding conditions are in good condition without the need for repair.

Keywords : Transformer Winding, SFRA

I. PENDAHULUAN

Gaya elektromagnetik pada transformator daya yang besar dan terus menerus mengakibatkan belitan cenderung mengalami perubahan mekanis [1]. Mencegah terjadinya gerakan belitan transformator daya yang selanjutnya berkembang menjadi kerusakan utama dipandang sangat perlu, oleh karena itu perawatan dan pendeteksian kerusakan transformator daya perlu dilakukan secara rutin, agar transformator daya dapat beroperasi dengan baik dan handal [2]. Untuk menjaga keandalan transformator daya, perlu dilakukan suatu pengujian yang akurat untuk mendeteksi kondisi belitan pada transformator daya secara cepat.

Pengujian konvensional yang dilakukan berdasarkan pengukuran dimensi dan volume pada belitan [3] transformator daya terdapat kelemahan. Kelemahan dalam pengujian konvensional adalah proses yang relatif lama dan memerlukan tingkat ketelitian alat dan pengujian yang relatif tinggi [4].

Seiring berkembangnya teknologi ditemukan metode pengukuran dan analisis transformator daya yaitu, *Sweep Frequency Response Analysis* (SFRA) yang dapat mendeteksi kerusakan mekanik belitan

transformator daya. Metode *Sweep Frequency Response Analysis* (SFRA) berupa metode pengukuran transformator daya dalam keadaan *offline*. Kerusakan mekanik yang sering terjadi pada transformator daya adalah dibagian inti dan kumparan [5]. Hal ini disebabkan tekanan akibat getaran selama proses pengiriman dan atau oleh tekanan elektromagnetik akibat gangguan *inrush current* dan atau penuaan [6][7].

Transformator daya yang mengalami kerusakan pada belitan akan mengakibatkan rugi-rugi daya hingga terjadinya kegagalan fungsi, hal ini sangat merugikan karena proses perbaikan belitan transformator daya memerlukan waktu yang relatif lama dan biaya yang mahal. Demikian juga perlu adanya cadangan transformator daya cadangan untuk tetap beroperasi. Oleh karena itu dalam penelitian ini, dilakukan analisis kondisi belitan transformator daya dengan metode *Sweep Frequency Response Analysis* (SFRA). Obyek penelitian dari data sekunder pada *Generator Transformers* (GT) Unit 20 PT PJB UBJ O&M PLTU Rembang. Analisis yang dilakukan menggunakan standar China DL 911/2004 dengan

membandingkan hasil pengukuran sebelumnya yang dijadikan sebagai referensi.

II. STUDI PUSTAKA

Pengukuran dan analisis respon frekuensi pada transformator meliputi implus tegangan rendah atau *Low Voltage Impulse* (LVI) dan *Sweep Frequency Response Analysis* (SFRA) [8]. Secara umum, kedua metode ini menggunakan prinsip sama yaitu impedans transformator yang diukur pada beberapa rentang frekuensi yang bervariasi. Impedans akan bervariasi dari satu frekuensi ke frekuensi lainnya sesuai dengan konstruksi dalam transformator.

Sweep Frequency Response Analysis (SFRA) bertujuan untuk mengetahui kondisi mekanik transformator dengan mengukur fungsi alih dalam rentang frekuensi tertentu. Hasil keluaran fungsi alih akan menggambarkan kondisi mekanik pada bagian inti dan kumparan transformator. Hasilnya akan dianalisis dan memberikan informasi kondisi belitan yang dimaksud.

Penelitian transformator daya pada sisi primer dilakukan dengan memasang sinyal bertegangan rendah pada sisi primer dengan rentang frekuensi yang bervariasi. Nilai tegangan, arus dan frekuensi dicatat, berdasarkan hasil tersebut, diperoleh nilai kondisi impedansi transformator yaitu sifat elemen resistans, kapasitans dan induktans transformator daya sisi primer yang berhubungan dengan konstruksi fisik transformator. Perubahan tanggapan frekuensi yang diukur dengan teknik *Sweep Frequency Response Analysis* (SFRA) ini mengidentifikasi perubahan fisik di dalam transformator. Demikian juga berturut-turut dilakukan pada belitan transformator sisi sekunder [9].

Dengan *Sweep Frequency Response Analysis* (SFRA), sinyal sinusoidal yang pasang pada terminal transformator, setiap frekuensi pengukuran, sinyal yang diinjeksikan diukur sebagai referensi dan responnya diukur pada setiap terminal pada kumparan yang sama. Perbedaan antara halil pengukuran dibandingkan dengan referensi yang dikeluarkan oleh pabrik pembuatnya [10].

Pengukuran *Sweep Frequency Response Analysis* (SFRA) dilakukan pada kondisi-kondisi berikut :

- a. Dilakukan pada saat awal pemasangan, untuk mengetahui kondisi setelah dipindahkan dari pabrik ke konsumen/site,
- b. Dilakukan selama tahap *commissioning*, sehingga tidak mengganggu operasi,
- c. Dilakukan selama tahap perawatan (dilakukan secara berkala), dan
- d. Dilakukan pada kasus tertentu yang dimungkinkan terjadi proses mekanik dan elektrik, antara lain setelah terjadi gempa bumi, sambaran

surja petir, dan kegagalan listrik yang diantaranya hubung singkat.

Evaluasi dengan *Sweep Frequency Response Analysis* (SFRA) digunakan untuk pengukuran setiap titik dengan frekuensi dan magnitude tegangan yang konstan. Perubahan magnitude arus dan fasa dihasilkan pada titik frekuensi yang didefinisikan. Hasil perubahan mengidentifikasi perubahan fisik pada belitan secara langsung tanpa perlu menganalisis dengan *Fast Fourier Transform* pada rentang frekuensi yang khusus [11].

III. METODE

A. Objek Pengukuran

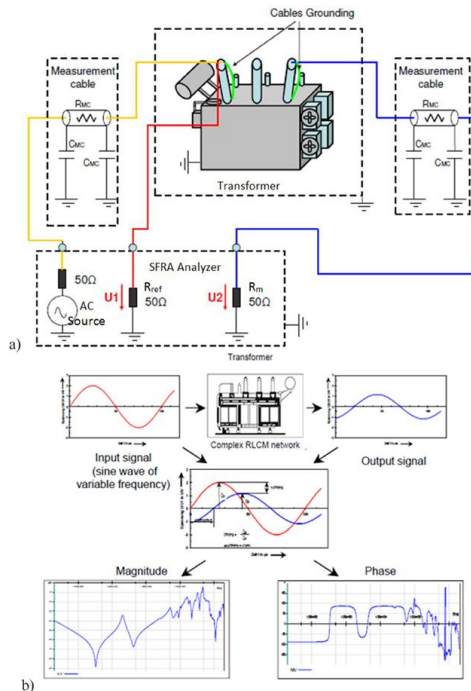
Metode pada penelitian ini pada transformator tiga fasa dengan konfigurasi Ynd1 atau bintang pada kumparan primer dan konfigurasi delta pada kumparan sekunder. Alat ukur yang digunakan untuk mendiagnosis perubahan mekanik di kedua transformator tersebut yaitu Omicron FRAnalyzer.

B. Konfigurasi Pengukuran

Pengukuran SFRA [12] dilakukan dengan mentransmisikan tegangan sinusoidal bernilai rendah yang dibangkitkan oleh alat ukur dengan frekuensi yang bervariasi antara 20 Hz hingga 2 MHz. Pada alat *Omicron FRAnalyzer* dilengkapi dengan 3 Probe, yaitu terdiri dari :

- a. Probe masukan atau biasa disebut sebagai probe sinyal, yaitu probe yang mengalirkan arus sinusoidal ke fasa yang diukur,
- b. Probe referensi, yaitu probe yang bertindak sebagai acuan titik netral pengukuran. Probe ini dihubungkan ke *bushing* yang sama dengan probe masukan, dan
- c. Probe keluaran atau biasa disebut probe pengukuran.

Probe pengukuran pada kumparan transformator dengan konfigurasi bintang disambung ke terminal *bushing* netral, sedangkan pada kumparan konfigurasi delta disambung ke *bushing* fasa. Penyambungan pemasangan *probe* dalam proses pengukuran dengan alat Omocron FRAnalyzer ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Konfigurasi Evaluasi Pengukuran Transformator (Sumber: Omicron FR Analyzer User Manual)

Keterangan :

- Garis kuning = sinyal masukan dari sumber,
- Garis merah = sinyal referensi, dan
- Garis biru = sinyal keluaran.

Berdasarkan standar [13] yang ditetapkan CIGRE WG A2.26, kaidah-kaidah saat pengukuran SFRA yaitu :

- a. Pengukuran menggunakan tiga kabel berfrekuensi tinggi yang digunakan untuk mengukur tegangan masukan, tegangan referensi pada terminal masukan, dan tegangan keluaran sebagai tanggapan sistem,
- b. Pada ujung sambungan yang digunakan untuk pertahanan dibuat sependek mungkin dengan tidak menggulung kabel tersebut dan menggunakan tipe *flat braid* (lebar minimum 20 mm),
- c. Konektor yang digunakan untuk tempat ujung sambungan pengukuran harus memiliki sambungan yang sempurna ke terminal dan bushing *flang*. Hal ini akan berpengaruh terhadap hasil pengukuran,
- d. Kondisi pada saat dilakukan pengukuran (posisi *tap charger*, tipe pengukuran FRA, dan lain-lain) harus sama dengan saat dilakukan pengukuran referensi untuk mendapatkan hasil interpretasi yang tepat,
- e. Semua sambungan kabel yang tidak dipergunakan dari terminal *bushing* dibuka.

C. Standar Pengukuran

Standar pengukuran yang digunakan untuk menginterpretasikan hasil pengukuran dengan metode *Sweep Frequency Response Analysis* (SFRA) adalah China DL 911/2004 sesuai pada Tabel 1. [14].

Tabel 1. Standar China DL 911/2004

Tingkat Kerusakan	Faktor Relatif (R)
<i>Severe Deformation</i>	$RLF < 0,6$
<i>Obvious Deformation</i>	$1 > RLF \geq 0,6$ atau $RMF < 0,6$
<i>Slight Deformation</i>	$2 > RLF \geq 1$ atau $0,6 \leq RMF < 1$
<i>Normal Winding</i>	$RLF \geq 2,0$, $RMF \geq 1,0$ atau $RHF \geq 0,6$

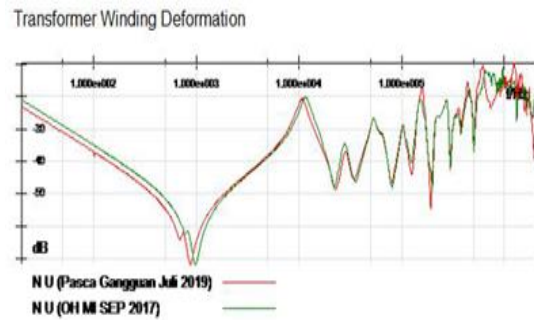
Sumber: Standar China DL 911/2004

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan metode yang telah diterapkan, maka hasil dan pembahasan yang dikeluarkan yaitu tentang hasil pengukuran yang berdasarkan sumber data sekunder dari PJB UBJ O&M PLTU Rembang Jawa Tengah diuraikan sebagai berikut :

A. Kumpan Primer Fasa U

Hasil pengukuran fasa U kumpan primer mendapatkan sinyal keluaran yang ditunjukkan Gambar 2. Nilai faktor relatif pada tingkat frekuensi rendah (RLF) didapat 1.67, nilai faktor relatif tingkat frekuensi menengah (RMF) didapat 1.42, dan nilai faktor relatif tingkat frekuensi tinggi (RHH) didapat -0.11.

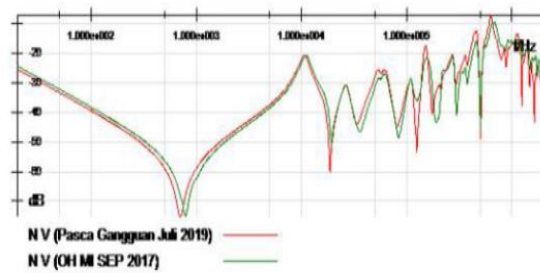


Gambar 2. Sinyal Keluaran N U

B. Kumpan Primer Fasa V

Hasil pengukuran fasa V kumpan primer mendapatkan sinyal keluaran yang ditunjukkan Gambar 3. Nilai faktor relatif pada tingkat frekuensi rendah (RLF) didapat 1.31, nilai faktor relatif tingkat frekuensi menengah (RMF) didapat 0.83, dan nilai faktor relatif tingkat frekuensi tinggi (RHH) didapat 0.72.

Transformer Winding Deformation

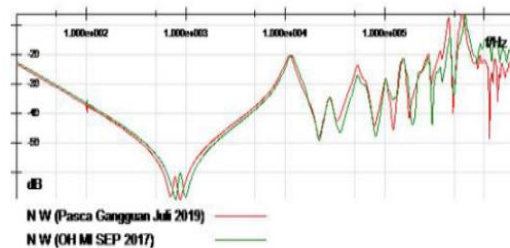


Gambar 3. Sinyal Keluaran N V Kumparan Primer Fasa W

C. Kumparan Primer Fasa W

Hasil pengukuran fasa W kumparan primer mendapatkan sinyal keluaran yang ditunjukkan Gambar 4. Nilai faktor relatif pada tingkat frekuensi rendah (RLF) didapat 1.47, nilai faktor relatif tingkat frekuensi menengah (RMF) didapat 0.84, dan nilai faktor relatif tingkat frekuensi tinggi (RHH) didapat 0.93.

Transformer Winding Deformation

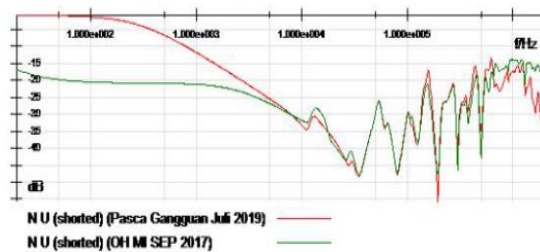


Gambar 4. Sinyal Keluaran N W

D. Kumparan Primer Fasa U Short Circuit (SC)

Hasil pengukuran fasa U kumparan primer dengan kondisi kumparan sekunder *short circuit* mendapatkan sinyal keluaran yang ditunjukkan Gambar 5. Nilai faktor relatif pada tingkat frekuensi rendah (RLF) didapat 1.65, nilai faktor relatif tingkat frekuensi menengah (RMF) didapat 1.39, dan nilai faktor relatif tingkat frekuensi tinggi (RHH) didapat 0.02.

Transformer Winding Deformation



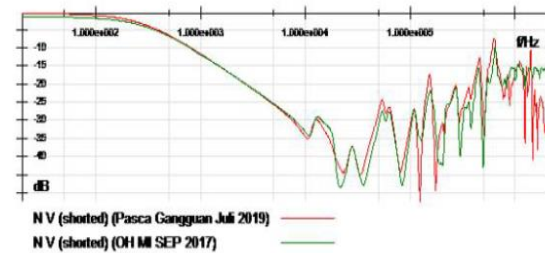
Gambar 5. Sinyal Keluaran N U (SC)

E. Kumparan Primer Fasa V Short Circuit (SC)

Hasil pengukuran fasa V kumparan primer dengan kondisi kumparan sekunder *short circuit* mendapatkan sinyal keluaran yang ditunjukkan Gambar 6. Nilai faktor relatif pada tingkat frekuensi

rendah (RLF) didapat 1.38, nilai faktor relatif tingkat frekuensi menengah (RMF) didapat 0.69, dan nilai faktor relatif tingkat frekuensi tinggi (RHH) didapat 0.48.

Transformer Winding Deformation

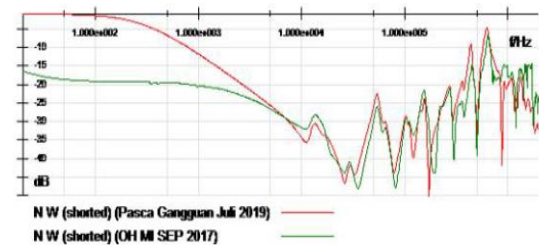


Gambar 6. Sinyal Keluaran N V (SC)

F. Kumparan Primer Fasa W Short Circuit (SC)

Hasil pengukuran fasa W kumparan primer dengan kondisi kumparan sekunder *short circuit* mendapatkan sinyal keluaran yang ditunjukkan Gambar 7. Nilai faktor relatif pada tingkat frekuensi rendah (RLF) didapat 1.15, nilai faktor relatif tingkat frekuensi menengah (RMF) didapat 0.81, dan nilai faktor relatif tingkat frekuensi tinggi (RHH) didapat 0.33.

Transformer Winding Deformation

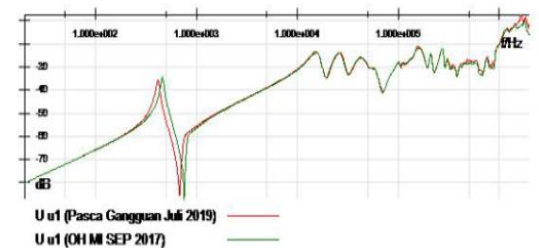


Gambar 7. Sinyal Keluaran N W (SC)

G. Kumparan Primer Fasa U Terhadap Kumparan Sekunder u1

Hasil pengukuran fasa U kumparan primer terhadap fasa u1 kumparan sekunder mendapatkan sinyal keluaran yang ditunjukkan Gambar 8. Nilai faktor relatif pada tingkat frekuensi rendah (RLF) didapat 2.57, nilai faktor relatif tingkat frekuensi menengah (RMF) didapat 1.78, dan nilai faktor relatif tingkat frekuensi tinggi (RHH) didapat 2.04.

Transformer Winding Deformation

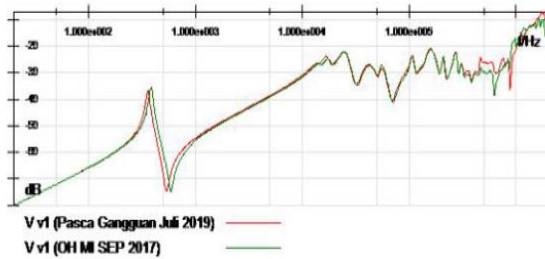


Gambar 8. Sinyal Keluaran U u1

H. Kumparan Primer Fasa V Terhadap Kumparan Sekunder v1

Hasil pengukuran fasa V kumparan primer terhadap fasa v1 kumparan sekunder mendapatkan sinyal keluaran yang ditunjukkan Gambar 9. Nilai faktor relatif pada tingkat frekuensi rendah (RLF) didapat 1.95, nilai faktor relatif tingkat frekuensi menengah (RMF) didapat 0.76, dan nilai faktor relatif tingkat frekuensi tinggi (RHH) didapat 0.33.

Transformer Winding Deformation

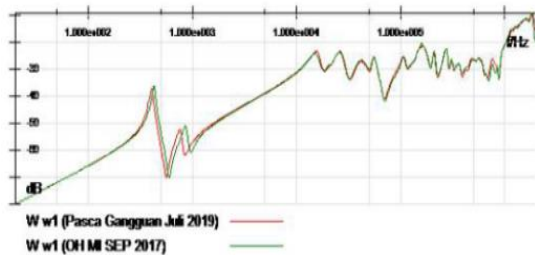


Gambar 9. Sinyal Keluaran V v1

I. Kumparan Primer Fasa W Terhadap Kumparan Sekunder w1

Hasil pengukuran fasa W kumparan primer terhadap fasa w1 kumparan sekunder mendapatkan sinyal keluaran yang ditunjukkan Gambar 10. Nilai faktor relatif pada tingkat frekuensi rendah (RLF) didapat 2.11, nilai faktor relatif tingkat frekuensi menengah (RMF) didapat 1.64, dan nilai faktor relatif tingkat frekuensi tinggi (RHH) didapat 1.15.

Transformer Winding Deformation

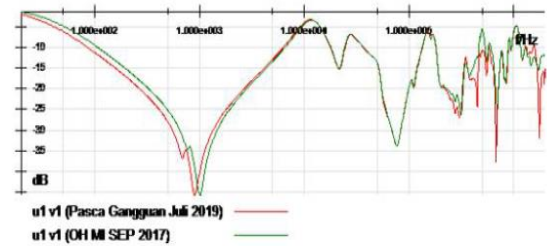


Gambar 10. Sinyal Keluaran W w1

J. Kumparan Sekunder Fasa u1 terhadap v1

Hasil pengukuran fasa u1 kumparan sekunder terhadap fasa v1 kumparan sekunder mendapatkan sinyal keluaran yang ditunjukkan Gambar 11. Nilai faktor relatif pada tingkat frekuensi rendah (RLF) didapat 2.76, nilai faktor relatif tingkat frekuensi menengah (RMF) didapat 1, dan nilai faktor relatif tingkat frekuensi tinggi (RHH) didapat 1.13.

Transformer Winding Deformation

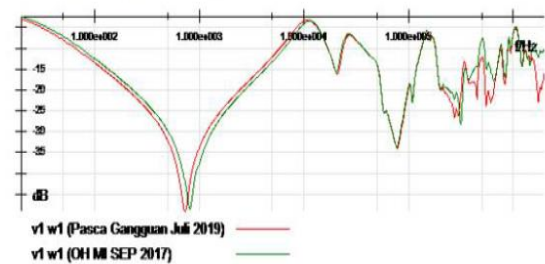


Gambar 11. Sinyal Keluaran u1 v1

K. Kumparan Sekunder Fasa v1 terhadap w1

Hasil pengukuran fasa v1 kumparan sekunder terhadap fasa w1 kumparan sekunder mendapatkan sinyal keluaran yang ditunjukkan Gambar 12. Nilai faktor relatif pada tingkat frekuensi rendah (RLF) didapat 2.56, nilai faktor relatif tingkat frekuensi menengah (RMF) didapat 0.68, dan nilai faktor relatif tingkat frekuensi tinggi (RHH) didapat 1.23.

Transformer Winding Deformation

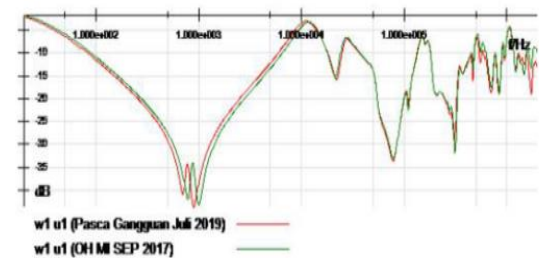


Gambar 12. Sinyal Keluaran v1 w1

L. Kumparan Sekunder Fasa w1 terhadap u1

Hasil pengukuran fasa w1 kumparan sekunder terhadap fasa u1 kumparan sekunder mendapatkan sinyal keluaran yang ditunjukkan Gambar 13. Nilai faktor relatif pada tingkat frekuensi rendah (RLF) didapat 2.53, nilai faktor relatif tingkat frekuensi menengah (RMF) didapat 1.7, dan nilai faktor relatif tingkat frekuensi tinggi (RHH) didapat 1.87.

Transformer Winding Deformation



Gambar 13. Sinyal Keluaran w1 u1

M. Analisis

Dari data hasil pengukuran dilakukan analisis berturut-turut dengan hasil sebagai berikut :

1. Hasil pengukuran pada rentang frekuensi rendah dengan nilai faktor relatif (R) 1.15 – 2.76 menunjukkan hasil kondisi belitan transformator

- secara keseluruhan masih dalam kondisi prima sesuai batas dari standar China DL 911/2004 berada pada *Normal Winding* dan *Slight Deformation*,
2. Hasil pengukuran pada rentang frekuensi menengah dengan nilai faktor relatif (R) 0.68 s.d 1.78 menunjukkan hasil kondisi belitan transformator secara keseluruhan masih dalam kondisi prima sesuai batas dari standar China DL 911/2004 berada pada *Normal Winding* dan *Slight Deformation*,
 3. Hasil pengukuran pada rentang frekuensi tinggi dengan nilai faktor relatif (R) -0.11 s.d 2.04 menunjukkan hasil kondisi belitan transformator secara keseluruhan masih dalam kondisi prima sesuai batas dari standar China DL 911/2004 berada pada *Normal Winding* dan *Slight Deformation*.

V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis, kondisi belitan transformator semuanya dalam keadaan prima. Transformator tidak terdapat indikasi terjadi perubahan mekanik yang melebihi batas toleransi. Dengan demikian, maka tidak diperlukan perlakuan khusus dan perbaikan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] E. S. Nasution and A. Hasibuan, "Pengaturan Kecepatan Motor Induksi 3 Fasa Dengan Merubah Frekuensi Menggunakan Inverter ALTIVAR 12P," *J. Sist. Inf.*, vol. 2, no. 1, 2018.
- [2] N. Abeywickrama, "Detection of Transformer Faults Using Frequency Response Analysis with Case Studies," in *Electromagnetic Transients in Transformer and Rotating Machine Windings*, IGI Global, 2013, pp. 456–486.
- [3] S. Syafrudin and A. Hasibuan, "Early Detection of Rotor-bar Faults of Three-phase Induction Motor Using Motor Current Signature Analysis Method."
- [4] G. Aravinda, K. Bandara, G. A. Jayantha, J. Kumara, and M. Fernando, "Application of SFRA techniques to discriminate short circuit faults of transformer winding," in *2017 IEEE International Conference on Industrial and Information Systems (ICIIS)*, 2017, pp. 1–5.
- [5] A. Hasibuan and others, "Early detection of rotor-bar faults of three-phase induction motor using motor current signature analysis method," in *Proceedings of The Annual International Conference, Syiah Kuala University-Life Sciences & Engineering Chapter*, 2011, vol. 1, no. 2.
- [6] S. J. Chapman, "Electric machinery fundamentals fifth edition." McGraw-hill, inc., 2012.
- [7] S. J. Chapman, *Electric machinery fundamentals*. McGraw-Hill, 2004.
- [8] A. A. Devadiga, N. Harid, H. Griffiths, and B. Barkat, "An Alternative Measurement Approach to Sweep Frequency Response Analysis (SFRA) for Power Transformers Fault Diagnosis," in *2019 54th International Universities Power Engineering Conference (UPEC)*, 2019, pp. 1–4.
- [9] S. Ab Ghani, Y. H. M. Thayoob, Y. Z. Y. Ghazali, M. S. A. Khair, and I. S. Chairul, "Condition monitoring of distribution transformer's mechanical parts using sweep frequency response analysis (SFRA)," *Procedia Eng.*, vol. 68, pp. 469–476, 2013.
- [10] P. Gite and A. S. Sindekar, "Interpretation of sweep frequency response data (SFRA) using graphical and statistical technique," in *2017 International conference of Electronics, Communication and Aerospace Technology (ICECA)*, 2017, vol. 2, pp. 251–255.
- [11] M. S. Jahan, R. Keypour, H. R. Izadfar, and M. T. Keshavarzi, "Locating power transformer fault based on sweep frequency response measurement by a novel multistage approach," *IET Sci. Meas. & Technol.*, vol. 12, no. 8, pp. 949–957, 2018.
- [12] K. P. B. Jayarathna, W. E. P. S. Ediriweera, J. R. Lucas, and R. Samarasinghe, "Modelling transfer function of power transformers using sweep frequency response analysis," in *2018 Moratuwa Engineering Research Conference (MERCon)*, 2018, pp. 500–505.
- [13] O. E. Gouda, S. H. El-Hoshy, and S. M. Saleh, "Diagnostic techniques used in power transformer turn to turn faults identification based on sweep frequency response analysis (SFRA)," in *2016 Eighteenth International Middle East Power Systems Conference (MEPCON)*, 2016, pp. 117–122.
- [14] R. Rajamani, M. Rajappa, and B. Madanmohan, "Sweep frequency response analysis based diagnosis of shorts within transformer windings," *IET Gener. Transm. & Distrib.*, vol. 11, no. 17, pp. 4274–4281, 2017.