

Karakterisasi Dinamis Tegangan Primer dan Sekunder pada Transformator Auxiliary akibat Beban Motor yang Berubah

Ubaidah¹, Fahrur Riza Priyana², Yudi Eka Putra³, Sony Ferbangkara⁴

¹²⁴ Jurusan Teknik Elektro Universitas Lampung, Bandar Lampung
Jl. Prof. Sumantri Brojonegoro No.1 Bandar Lampung 35145

³ Prodi Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Lampung, Bandar Lampung
Jl. Zainal Abidin Pagar Alam No.14 Bandar Lampung 35142

¹ubaidah@eng.unila.ac.id

²fahrurrizap@eng.unila.ac.id

³yudiogex@gmail.com

⁴sony.ferbangkara@eng.unila.ac.id

Intisari — Transformator auxiliary memainkan peran penting dalam kestabilan sistem kelistrikan, terutama dalam menghadapi perubahan beban yang disebabkan oleh pelepasan motor. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh arus dan tegangan pada unit 3 auxiliary trafo akibat lepasnya motor vacuum pump A (500 kW) dan vacuum pump B (500 kW) dari sistem. Simulasi dilakukan dalam tiga kondisi utama: operasi normal tanpa pelepasan beban, pelepasan motor vacuum pump A, serta pelepasan kedua motor vacuum pump A dan B secara bersamaan. Hasil simulasi menunjukkan bahwa dalam kondisi normal tanpa beban, arus dan tegangan pada sisi primer transformator adalah 283,9 A dan 11 kV, sementara pada sisi sekundernya adalah 495,7 A dan 6,212 kV. Ketika motor vacuum pump A terlepas, terjadi transien arus dan tegangan pada sisi primer dengan kisaran 257,8 A hingga 250,1 A dan tegangan berubah dari 11 kV menjadi 11,033 kV. Pada kondisi pelepasan kedua motor, arus dan tegangan transien pada sisi primer berkisar antara 231,8 A hingga 217,3 A dengan tegangan berubah dari 11 kV menjadi 11,067 kV, sedangkan pada sisi sekunder terjadi perubahan arus dari 404,7 A menjadi 379,4 A dengan tegangan meningkat dari 6,212 kV menjadi 6,304 kV. Hasil penelitian ini memberikan gambaran jelas mengenai karakteristik dinamis dari transformator auxiliary akibat perubahan beban motor, serta dampaknya terhadap kestabilan sistem kelistrikan.

Kata kunci — Transformator Auxiliary, Tegangan Primer, Tegangan Sekunder, Kestabilan Sistem Kelistrikan.

Abstract — Auxiliary transformers play a crucial role in maintaining the stability of electrical systems, especially when facing load changes caused by motor disconnection. This study aims to analyze the impact of current and voltage on Unit 3 auxiliary transformer due to the disconnection of vacuum pump motor A (500 kW) and vacuum pump motor B (500 kW) from the system. Simulations were conducted under three main conditions: normal operation without load disconnection, disconnection of vacuum pump motor A, and simultaneous disconnection of both vacuum pump motors A and B. The simulation results indicate that under normal conditions without load, the current and voltage on the primary side of the transformer are 283.9 A and 11 kV, while on the secondary side they are 495.7 A and 6.212 kV. When vacuum pump motor A is disconnected, transient current and voltage on the primary side range from 257.8 A to 250.1 A, with voltage fluctuating from 11 kV to 11.033 kV. In the case of both motors being disconnected, transient current and voltage on the primary side range from 231.8 A to 217.3 A, with voltage changing from 11 kV to 11.067 kV, while on the secondary side, the current drops from 404.7 A to 379.4 A, and voltage increases from 6.212 kV to 6.304 kV. These findings provide a clear depiction of the dynamic characteristics of the auxiliary transformer due to motor load variation and its impact on the stability of the electrical system.

Keywords— Auxiliary Transformer, Primary Voltage, Secondary Voltage, Electrical System Stability.

I. PENDAHULUAN

Unit *auxiliary* trafo merupakan komponen penting dalam sistem kelistrikan pembangkit listrik, yang berfungsi sebagai trafo utama untuk pemakaian tenaga listrik sendiri di fasilitas pembangkit [1]. Trafo ini dipasang paralel dengan trafo generator dan memiliki fungsi utama untuk menurunkan tegangan pembangkitan dari 11 kV menjadi 6,3 kV. Pada kondisi sistem yang normal, seluruh kebutuhan tenaga listrik untuk peralatan listrik maupun penerangan di fasilitas pembangkit disuplai oleh transformator *auxiliary* ini. Oleh karena itu, keandalan trafo ini sangat krusial untuk menjaga kestabilan dan kelancaran operasi sistem kelistrikan secara keseluruhan [2]. Fluktuasi atau gangguan pada sistem *auxiliary* dapat berdampak signifikan pada kinerja keseluruhan fasilitas pembangkit [3], yang pada dapat mengganggu proses utama seperti pembangkitan dan distribusi daya.

Transformator *auxiliary* itu sendiri merupakan salah satu komponen vital dalam sistem tenaga listrik, terutama di lingkungan industri dan pembangkit Listrik [4]. Fungsi utama transformator *auxiliary* adalah untuk menyuplai daya listrik ke beban-beban bantu (*auxiliary loads*) seperti motor pompa, kipas, sistem kontrol, serta peralatan pendukung lainnya [5]. Keandalan transformator ini sangat menentukan kontinuitas operasi sistem secara keseluruhan. Beban-beban ini, meskipun tidak langsung terkait dengan proses utama pembangkitan, memiliki peranan penting dalam menjaga kelancaran operasional dan stabilitas sistem tenaga listrik secara keseluruhan [6].

Salah satu tantangan utama dalam pengoperasian transformator *auxiliary* adalah ketidakterdugaan perubahan beban, khususnya yang berasal dari motor-motor listrik berdaya besar yang digunakan untuk menggerakkan peralatan seperti *vacuum pump*. Motor industri dengan daya besar memiliki karakteristik beban yang dinamis [7]. Ketika motor terlepas secara tiba-tiba dari sistem, terjadi perubahan arus dan tegangan yang signifikan, baik pada sisi primer maupun sekunder transformator. Gangguan transien ini dapat memengaruhi

kualitas daya, menurunkan umur peralatan, mempercepat ketidakseimbangan sistem, serta memicu proteksi sistem yang tidak diperlukan (*nuisance trip*) jika tidak dikendalikan dengan baik [8]. Oleh karena itu, penting untuk memahami karakteristik respons dinamis transformator *auxiliary* dalam menghadapi perubahan beban motor, agar sistem dapat lebih adaptif terhadap kondisi transien yang terjadi.

Vacuum pump merupakan salah satu peralatan yang sangat penting dalam sistem kondensasi pembangkit listrik, berfungsi untuk menghisap gas-gas yang tidak dapat terkondensasi (*uncondensable gases*) yang mungkin ada di dalam kondensor. Gas-gas ini bercampur dengan uap air dalam kondensor, dan jika tidak dibuang, dapat mengurangi efisiensi perpindahan panas. Hal ini terjadi karena gas-gas yang tidak terkondensasi menghalangi bidang kontak antara uap dan permukaan pendingin pada kondensor. Akibatnya, efisiensi kondensor menurun, yang berdampak pada performa turbin uap serta proses konversi energi secara keseluruhan [9]. Motor *vacuum pump*, dengan daya yang cukup besar, seperti motor *vacuum pump* A dan B (masing-masing 500 kW), memerlukan perhatian khusus terhadap perubahan beban yang terjadi, karena pelepasan beban motor secara tiba-tiba dapat mengganggu kestabilan sistem kelistrikan yang menyuplai daya ke motor tersebut.

Karakteristik dinamis dari transformator *auxiliary* yang menyuplai daya ke motor *vacuum pump* perlu dikaji secara menyeluruh, khususnya terhadap dampak perubahan beban motor yang mendadak. Transien yang terjadi dapat mempengaruhi kinerja sistem kelistrikan dan mempercepat keausan pada komponen-komponen transformator, serta memengaruhi kualitas daya yang disuplai ke beban lainnya [10]. Oleh karena itu, pemahaman tentang respons dinamis arus dan tegangan akibat pelepasan beban motor *vacuum pump* ini menjadi penting untuk merancang sistem proteksi yang lebih efektif dan melakukan perencanaan pemeliharaan preventif pada transformator *auxiliary*. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis karakteristik dinamis tegangan dan arus pada sisi primer dan sekunder transformator

auxiliary akibat perubahan beban motor vacuum pump, baik secara satuan maupun simultan. Simulasi dilakukan pada tiga kondisi utama: operasi normal tanpa pelepasan beban, pelepasan satu motor vacuum pump A (500 kW), dan pelepasan dua motor vacuum pump A dan B secara bersamaan. Diharapkan hasil penelitian ini dapat memberikan pemahaman mendalam mengenai perilaku sistem dalam kondisi transien dan menjadi dasar bagi perbaikan efisiensi dan keandalan sistem tenaga listrik pada pembangkit listrik dengan beban-beban bantu yang besar dan dinamis..

II. PEMODELAN SISTEM

Terdapat beberapa skenario pada penelitian ini yaitu:

1. Kondisi normal tanpa gangguan dengan mengamati arus dan tegangan pada sisi primer dan sekunder *auxiliary* trafo.
2. Vacuum pump A lepas dari sistem dan mengamati arus dan tegangan pada sisi primer dan sekunder *auxiliary* trafo.
3. Vacuum pump A dan Vacuum pump B lepas dari sistem kemudian mengamati arus dan tegangan pada sisi primer dan sekunder pada *auxiliary* trafo.

A. Transformator

Berikut merupakan rating dan spesifikasi transformator yang digunakan

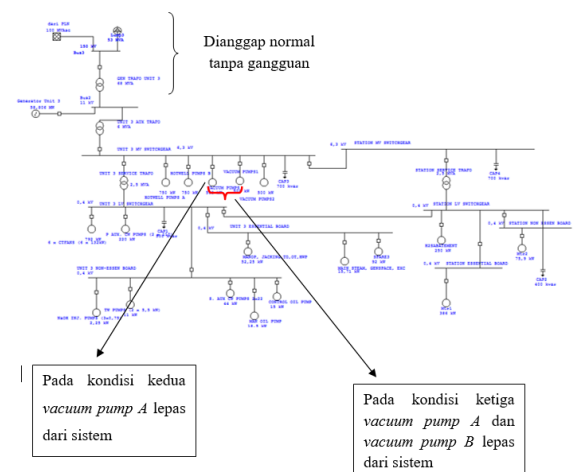
Tabel 1. Rating dan spesifikasi *auxiliary* trafo

Keterangan	Nilai
Number of Phase	3
Frequency	50 Hz
Rated capacity	6000 kVA
Rated voltage (HV)	11000 V
Rated voltage (LV)	6300 V
Rated current (HV)	314,92 A
Rated current (LV)	549,85 A
Short Circuit Impedance	6,0 %
Load losses (Wcu)	50 kW
No Load Losses (Wfe)	5 kW
Short Circuit Withstand	3 sec
Max Winding Hot Spot Temp.	98°C
B I L (kV)	LI 75 AC 28 / LI 60 AC 20 (HV/LV/LV-N)

Keterangan	Nilai
Serial Number	151309594
Year of manufacture	2015
Standard	IEC 60076
Type of cooling	ONAN
Vector Group	Dyn-1
Insulation class	A (TUP)
Type of oil	MINERAL OIL
Temp. rise oil/winding	50/55 °C
Weight of oil	3685 Kg
Total of transformer weight	15470 Kg
Untanking weight	6200 Kg

B. Desain Sistem

Pada pemodelan ini, sistem dari generator trafo unit 3 beban PLN dianggap normal tanpa gangguan, sehingga fokus dari pengamatan pemodelan ini adalah pada sistem kelistrikan pemakaian sendiri yaitu arus dan tegangan pada sisi primer dan sekunder *auxiliary* trafo yang diakibatkan oleh lepasnya vacuum pump yang mempunyai kapasitas 500 kW.



Gbr. 1 Desain Sistem

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

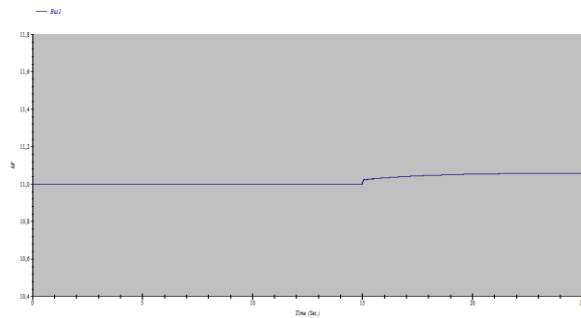
Pada saat kondisi normal, arus yang mengalir dari sisi sekunder unit *auxiliary* trafo (dari UNIT 3 MV SWITCHGEAR menuju Bus2) adalah 495,7 A dengan tegangan pada bus UNIT 3 MV SWITCHGEAR 6,3 kV, sedangkan pada sisi primer *auxiliary* trafo arus yang mengalir (dari bus2 menuju UNIT 3 MV SWITCHGEAR) adalah 283,9 A dengan tegangan bus2 11 kV.

Tabel 1. Arus yang melewati *auxiliary* trafo dan tegangan pada kondisi normal

Sisi Primer Trafo		Sisi Sekunder Trafo	
Tegangan(kV)	Arus (A)	Tegangan(kV)	Arus (A)
11	283,9	6,212	495,7

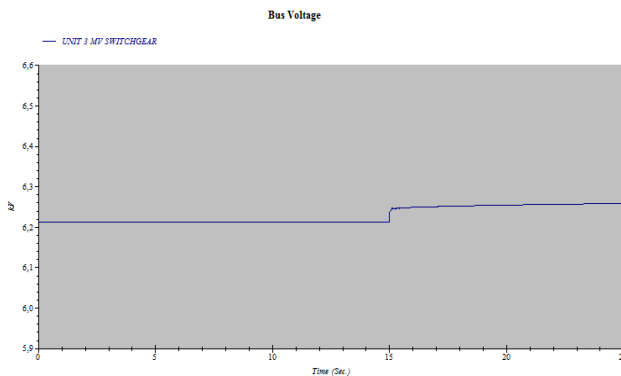
A. Kondisi Motor Induksi (Vacuum Pump) Lepas dari Sistem

1) Vacuum Pump A Lepas



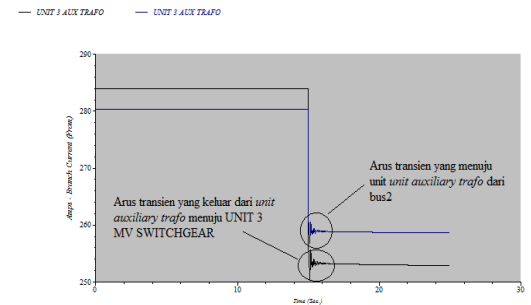
Gbr. 2 Tegangan sisi primer unit auxiliary trafo

Saat *vacuum pump* A lepas dari sistem, tegangan pada bus2 mengalami kenaikan yaitu masing-masing dari keadaan steady state tegangannya adalah 11 kV, lalu saat pada saat keadaan beban lepas menjadi 11,008 kV dan pada saat kondisi steady state kemudian tegangan menjadi 11,035 kV.



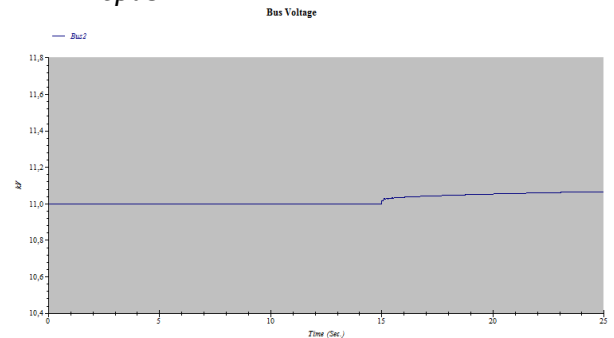
Gbr. 3 Tegangan pada sisi sekunder unit auxiliary trafo

Saat *vacuum pump* A dan *vacuum pump* B lepas dari sistem, berdasarkan kurva pada Gambar 5 tegangan pada sisi primer trafo (bus2) mengalami kenaikan. Pada kondisi steady state pertama tegangan pada bus2 adalah 11 kV, lalu pada saat kondisi transien tegangan pada bus2 menjadi 11,046 kV dan pada kondisi steady state kedua tegangan bus2 mengalami kenaikan menjadi 11,047 kV.

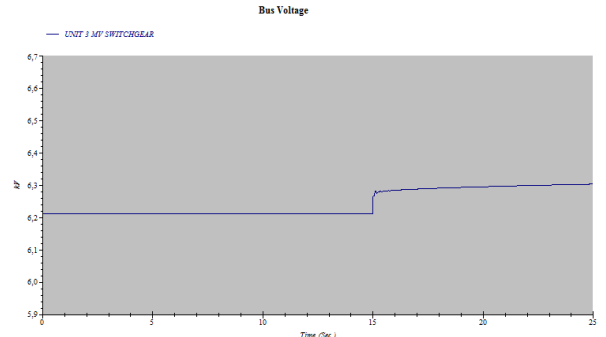


Gbr. 4 Arus Transien akibat beban motor *vacuum pump* terlepas dari system.

2) Vacuum Pump A dan Vacuum Pump B Lepas

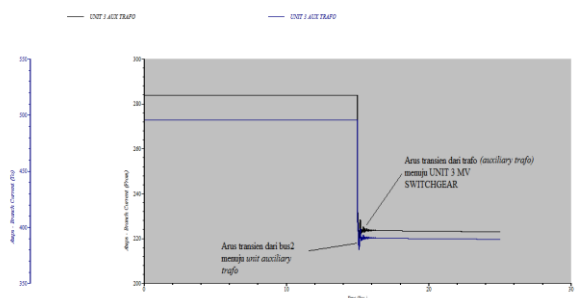


Gbr. 5 Tegangan pada sisi primer unit auxiliary trafo



Gbr. 6 Tegangan pada sisi sekunder auxiliary trafo

Berdasarkan kurva pada Gambar 6, saat terjadi lepasnya *vacuum pump* A dan *vacuum pump* B tegangan pada bus UNIT 3 MV SWITCHGEAR meningkat dari 6,212 kV menjadi 6,304 kV.



Gbr. 7. Arus transien yang melalui unit auxiliary trafo

Berdasarkan data hasil pemodelan pada Gambar 7 arus transien paling tinggi pada sisi primer *auxiliary* trafo adalah 231,8 Ampere dan pada sisi sekundernya adalah 404,7 ampere, serta arus transien terendah pada sisi primer adalah 217,3 ampere sedangkan pada sisi sekundernya adalah 379,4 ampere. Kemudian kenaikan tegangan tertinggi pada sisi primer *auxiliary* trafo adalah 11,067 kV dan pada sisi sekundernya adalah 6,304 kV.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis, pada kondisi normal, *auxiliary* trafo menanggung arus 283,9 ampere dan tegangan 11 kV di sisi primer, serta 495,7 ampere dan 6,212 kV di sisi sekunder. Saat motor vacuum pump A dilepaskan, arus di sisi primer turun dari 257,8 ampere menjadi 250,1 ampere, dengan tegangan meningkat dari 11 kV menjadi 11,033 kV. Di sisi sekunder, arus berkurang dari 450,1 ampere menjadi 436,6 ampere, dan tegangan naik dari 6,258 kV menjadi 6,3 kV. Ketika kedua motor *vacuum pump* A dan B dilepaskan, perubahan arus dan tegangan serupa terjadi. Meskipun terjadi perubahan beban signifikan, *auxiliary* trafo masih mampu menangani fluktuasi tersebut, menunjukkan kapasitasnya yang cukup untuk mempertahankan kestabilan sistem kelistrikan.

REFERENSI

- [1] T. M. McCauley, "Through-fault capability requirements for unit auxiliary transformers," *IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems*, vol. 96, no. 5, pp. 1639–1647, Sep. 1977, doi: 10.1109/T-PAS.1977.32493.
- [2] Z. Zhang, "Exploration of Transformer Operation and Maintenance Technology and Realization of Transformer Condition Monitoring System," 2023, pp. 816–825. doi: 10.1007/978-981-99-1439-5_75.
- [3] J. B. Bassey and I. F. Odesola, "Effect of Grid Instability on Power Generation System's Reliability," pp. 27–37, Mar. 2020, doi: 10.9734/JERR/2020/V11I117053.
- [4] M. Ali and F. K. Fahreza, "The Unit Auxiliary Transformer Analysis By Dissolve Gas Analysis and Breakdown Voltage Test," *Jurnal edukasi elektro*, vol. 8, no. 2, Nov. 2024, doi: 10.21831/jee.v8i2.72759.
- [5] Y. Liu, X. Liu, F. Gao, D. Liu, and P. Wheeler, "Auxiliary Power Supply for Input-Series Output-Parallel Medium-Voltage Solid State Transformers," *IEEE Transactions on Power Electronics*, vol. 38, pp. 7308–7321, Jun. 2023, doi: 10.1109/TPEL.2023.3258083.
- [6] A. A. Satrio, P. Slamet, and R. S. Widagdo, "Analisa Keandalan Transformator Distribusi Menggunakan Weibull Distribution di Wilayah ULP Rungkut Kota Surabaya," *Jurnal FORTECH*, vol. 2, no. 2, pp. 51–56, Jan. 2023, doi: 10.56795/fortech.v2i2.203.
- [7] V. Indragandhi, V. Subramaniaswamy, and R. Selvamathi, "Synchronous motor drives and its simulation," Elsevier BV, 2022, pp. 261–327. doi: 10.1016/b978-0-323-91162-7.00008-4.
- [8] J. Bhuvana, R. K. Yadav, R. C. Batra, and A. K. Saxena, "An innovative neural network-based technique for identifying power quality issues," *Multidisciplinary Science Journal*, vol. 6, p. 2024ss0301, Jul. 2024, doi: 10.31893/multiscience.2024ss0301.
- [9] G. Zhang, X. Wang, J. Ye, Z. Jin, and S. Dykas, "Numerical study of the heterogeneous condensation effect on the steam turbine performance," Feb. 2024, doi: 10.1088/1742-6596/2707/1/012088.
- [10] Effectively Managing Today's Transformer Challenges for Increased Asset Reliability & Sustainability," pp. 1–5, Apr. 2023, doi: 10.1109/GridEdge54130.2023.10102732