

Rancang Bangun Modul Pembelajaran Transformator 1 Fasa dan 3 Fasa dengan Daya 120/360 VA

¹Fikri Sofhani, ²Siswoyo, ³Toto Tohir

^{1,2,3} Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Bandung, Bandung 40559

¹E-mail : fikri.sofhani.tlis1@polban.ac.id ;

²E-mail : siswoyo@polban.ac.id ;

³E-mail : toto.tohir@polban.ac.id

ABSTRAK

Transformator adalah salah satu komponen penting dalam sistem tenaga listrik. Maka dengan begitu harus adanya pemahaman yang baik mengenai karakteristik transformator. Sehingga perlu dilakukannya rancang bangun modul pengujian transformator, sebagai alat peraga untuk melayani pembelajaran di laboratorium mesin listrik Polban. Tujuan penelitian ini membuat modul bahan pembelajaran transformator 1 fasa dan 3 fasa. Metode penelitian yang dipergunakan yaitu eksperimental, dengan melakukan beberapa pengujian seperti pengujian tanpa beban, pengujian hubung singkat, pengujian berbeban, pengujian paralel transformator, serta pengujian hubungan bintang segitiga transformator. Hasil akhir dari penelitian ini yaitu purwarupa modul pembelajaran transformator 1 fasa dan trafo 3 fasa yang dapat memberikan pemahaman tentang karakteristik transformator secara komprehensif. Dengan memberikan hasil yang akurat dan konsisten dalam berbagai jenis pengujian, seperti pengujian trafo 1 fasa tanpa beban memberikan hasil rugi inti sebesar 4 watt, pengujian trafo 1 fasa hubung singkat memberikan hasil rugi tembaga sebesar 10 watt, pengujian trafo 1 fasa berbeban memberikan hasil efisiensi maksimum sebesar 89,59% dan regulasi tegangan sebesar 2,6% (beban induktif), pengujian paralel trafo 1 fasa berbeban memberikan hasil efisiensi maksimum sebesar 84,58% dan regulasi tegangan sebesar 5,82% (beban resistif), dan pengujian hubungan trafo 3 fasa memberikan hasil efisiensi maksimum sebesar 87,83 dan regulasi tegangan sebesar 12,29% (beban resistif, hubung Y).

Kata Kunci

Transformator 1 fasa, transformator 3 fasa, pengujian transformator

ABSTRACT

Transformers are one of the important components in the electric power system. so there must be a good understanding of the characteristics of the transformer. So it is necessary to design a transformer testing module, as a teaching aid to serve learning in the Polban electrical machine laboratory. The purpose of this research is to make a module of learning materials for 1-phase and 3-phase transformers. The research method used is experimental, by conducting several tests such as no-load testing, short circuit testing, load testing, parallel transformer testing, and transformer triangle star relationship testing. The final result of this research is a prototype of a 1-phase transformer and 3-phase transformer learning module that can provide an understanding of the characteristics of the transformer comprehensively. By providing accurate and consistent results in various types of tests, such as testing a 1-phase transformer without load gives a core loss of 4 watts, testing a 1-phase short circuit transformer gives a copper loss of 10 watts, testing a 1-phase transformer with load gives a maximum efficiency of 89, 59% and voltage regulation of 2.6% (inductive load), parallel testing of 1-phase transformer with load gives maximum efficiency of 84.58% and voltage regulation of 5.82% (resistive load), and 3-phase transformer relationship testing gives maximum efficiency of 87.83 and voltage regulation of 12.29% (resistive load, Y-circuit).

Keywords

1-phase transformer, 3-phase transformer, transformer testing

1. PENDAHULUAN

Penggunaan energi listrik tentunya untuk saat ini sudah menjadi kebutuhan sehari-hari.

Transformator adalah salah satu bagian dari perangkat sistem tenaga listrik yang dapat menjaga agar kebutuhan listrik tetap terpenuhi

secara kontinyu [1]. Transformator memiliki peranan penting dalam suatu sistem ketenagalistrikan [2], dimana fungsi dari transformator yaitu mengubah energi listrik bolak-balik dari satu level tegangan ke level tegangan yang lain dengan frekuensi yang sama, melalui suatu gandengan magnet dan berdasarkan prinsip induksi elektromagnetik [3].

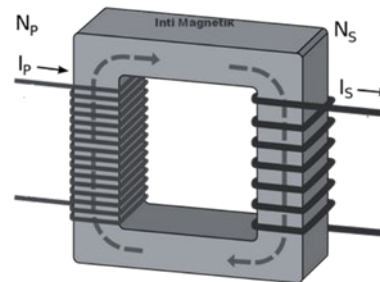
Berdasarkan jumlah fasanya, transformator dibagi menjadi 2 yaitu transformator 1 fasa dan transformator 3 fasa. Transformator 1 fasa adalah pasangan kumparan tunggal yang dililitkan atau digulung pada inti, dimana kumparan pasangan sebagai gulungan primer dan sekunder yang diisolasi secara elektrik satu sama lain. Sedangkan Transformator 3 fasa pada dasarnya merupakan Transformator 1 fasa yang disusun menjadi 3 buah dan mempunyai 2 belitan, yaitu belitan primer dan belitan sekunder [4]. Perbedaan yang paling mendasar dari kedua transformator tersebut adalah pada sistem kelistrikkannya yaitu sistem satu fasa dan tiga fasa. Kedua Transformator tersebut merupakan komponen yang sering digunakan dalam sistem ketenagalistrikan, maka dengan begitu harus adanya pemahaman yang lebih mengenai transformator itu sendiri. Untuk itu, maka perlu dilakukannya beberapa rangkaian pengujian pada transformator, untuk lebih mudah memahami tentang karakteristik dan prinsip kerja suatu transformator.

Permasalahan yang menjadi fokus yaitu sampai saat ini di laboratorium Jurusan Teknik Elektro Polban belum ada modul pembelajaran yang terintegrasi mengenai pengujian transformator 1 fasa dan 3 fasa. Dengan begitu tujuan dari penelitian rancang bangun modul ajar transformator 1 fasa dan 3 fasa ini adalah merencanakan, merealisasikan, serta melaksanakan uji unjuk kerja modul pengujian transformator 1 Fasa dan 3 Fasa. Dengan modul yang dirancang akan membantu mempermudah pembelajaran bagi mahasiswa dalam mengetahui serta melaksanakan praktikum dengan topik transformator [5]. Yang mana mencakup pengujian trafo 1 fasa tanpa beban, pengujian trafo 1 fasa hubung singkat, pengujian trafo 1 fasa berbeban, pengujian paralel transformator 1 fasa, pengujian autotransformator, Pengujian hubungan trafo 3 fasa, serta pengujian beban seimbang dan tidak seimbang pada transformator 3 fasa [6].

2. LANDASAN TEORI

2.1 Transformator

Transformator pada gambar 1 merupakan perangkat tetap yang digunakan untuk mengubah dan mengirim energi listrik antara dua rangkaian dengan frekuensi yang sama. Proses ini terjadi melalui kopling magnetik dan didasarkan pada prinsip induksi elektromagnetik [7].



Gambar 1. Transformator

Secara konstruksi, transformator terdiri dari dua lilitan: lilitan primer dan lilitan sekunder. Saat lilitan sisi primer dihubungkan dengan sumber tegangan AC, Fluks bolak-balik akan dihasilkan pada lilitan sisi primer. Fluks ini kemudian akan mengalir melalui inti transformator dan kemudian menginduksi kumparan di sisi sekunder. Proses ini mengakibatkan munculnya fluks magnet pada lilitan sisi sekunder, yang pada gilirannya menghasilkan tegangan di sisi sekunder [8].

2.2 Prinsip Kerja Transformator

Transformator terdiri dari lilitan sisi primer serta lilitan sisi sekunder, di mana kedua lilitan mempunyai sifat induktif dan terisolasi secara listrik namun terhubung secara magnetis melalui jalur reluktansi rendah. Ketika lilitan sisi primer disuplai sumber AC, fluks magnetisasi bolak-balik akan dihasilkan pada lilitan sisi primer. Fluks ini menyebabkan terjadinya induksi mandiri (self-induction) pada lilitan sisi primer dan juga menginduksi lilitan sisi sekunder karena efek induksi di sisi primer, yang dikenal induksi bersama / induksi bolak-balik (mutual induction). Akibatnya, apabila rangkaian sekunder terhubung dengan beban, aliran arus mengalir di lilitan sisi sekunder, sehingga listrik dikirim melalui magnetisasi [9].

$$e = -N \frac{d\Phi}{dt} \quad (1)$$

Keterangan:

E : GGL (Volt)

N : Total Jumlah lilitan

$\frac{d\Phi}{dt}$: Perubahan fluks magnetisasi
(weber/sec)

2.3 Transformator Ideal

Transformator dianggap ideal jika tidak mengalami rugi-rugi, seperti yang disebabkan oleh resistansi, induktansi, arus magnetisasi, atau fluks bocor. Dengan begitu, transformator ideal tersusun atas dua lilitan induktif murni yang dililitkan dengan inti tanpa rugi-rugi [9]. Transformator ideal mempunyai persamaan seperti dibawah ini:

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{I_2}{I_1} = \frac{E_1}{E_2} = \frac{N_1}{N_2} = a$$

Keterangan:

N1 = total lilitan primer

N2 = total lilitan sekunder

a = perbandingan belitan

V1= tegangan primer

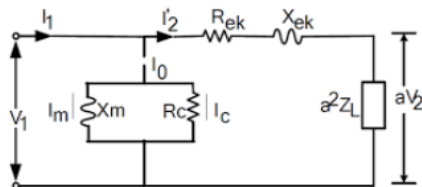
V2= tegangan sekunder

E1= GGL induksi primer

E2=GGL induksi sekunder

2.4 Rangkaian Ekvivalen

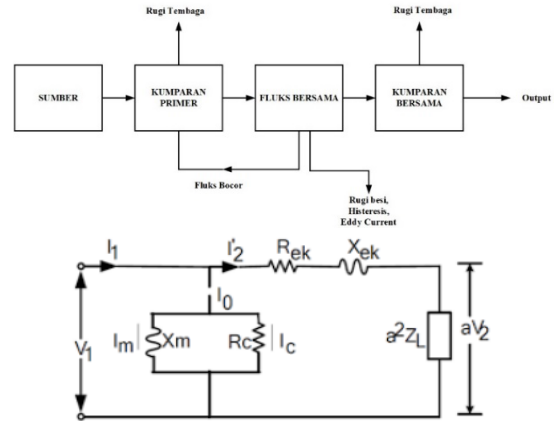
Untuk menganalisis fungsi dari transformator secara akurat dalam kondisi nyata maka dibutuhkan rangkaian pengganti atau rangkaian ekvivalen dari sebuah transformator. Dengan mempertimbangkan berbagai faktor termasuk kerugian pada lilitan dan elemen magnetisasi inti, seperti reaktansi magnetisasi serta resistansi inti [10], rangkaian ekvivalen trafo dapat dijelaskan seperti yang pada gambar 2.



Gambar 2. Rangkaian Ekvivalen Trafo

2.5 Rugi-Rugi Transformator

Transformator mengalami dua jenis kerugian, yaitu kerugian inti dan kerugian tembaga. rugi inti diperoleh dari tes tanpa beban, sedangkan rugi tembaga diperoleh dari tes hubung singkat [11]. Konsep rugi-rugi daya transformator ditunjukkan pada gambar 3.



(2) Gambar 3. Konsep Rugi-Rugi Daya Trafo

Secara keseluruhan, total kerugian pada transformator dapat dirumuskan dengan persamaan berikut

$$P_{losses} = P_{copper} + P_{core} \quad (3)$$

Dimana:

P_{losses} : Rugi-rugi pada transformator (W)

P_{copper} : Rugi tembaga (W)

p_{core} : Rugi-rugi inti / besi (W)

2.6 Efisiensi Transformator

Efisiensi transformator pada kondisi beban dan faktor daya tertentu diartikan sebagai rasio antara daya *output* dan daya *input*, diukur dalam satuan yang sama (watt dan kilowatt) [7]. Rugi-rugi pada transformator mempunyai pengaruh terhadap efisiensi suatu transformator. Efisiensi transformator dinyatakan sebagai berikut:

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\% \quad (4)$$

Keterangan:

η : Efisiensi transformator

P_{in} : Daya input (Watt)

P_{out} : Daya output (Watt)

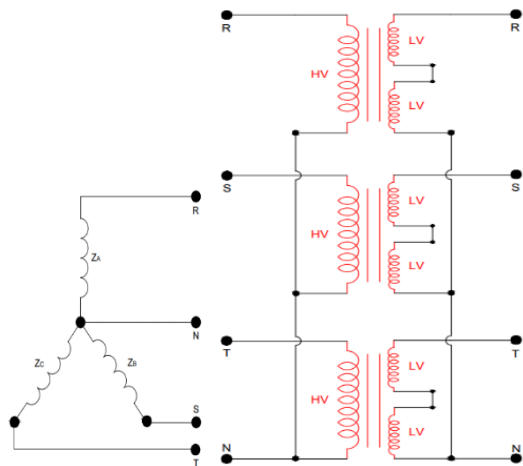
2.7 Regulasi Transformator

Regulasi tegangan transformator adalah kondisi dimana kumparan primer diberi tegangan konstan. Kemudian pada kumparan sekunder dilakukan pengukuran yang ternyata besarnya tegangan sekunder tanpa beban tidak sama dengan tegangan sekunder berbeban [12]. Besarnya tegangan regulasi dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$VR\% = \frac{V_{2beban\ no1} - V_{2beban\ penuh}}{V_{2beban\ penuh}} \times 100\% \quad (5)$$

2.8 Hubungan Transformator 3 Fasa

Transformator tiga fasa pada dasarnya tersusun atas tiga transformator satu fasa yang disusun Bersama dengan menggunakan rangkaian seperti pada gambar 4 rangkaian 3 fasa star-star [8]. Syarat utama untuk menghubungkan trafo 3 fasa harus dilakukan uji polaritas (additif, substraktif) selanjutnya baru dilakukan penyambungan ke masing terminal sesuai hubungan transformator [13].



Gambar 4. Transformator 3 fasa hubung star-star

$$V_{AB} = \sqrt{3} \cdot V_{AN} = \sqrt{3} \cdot V_F$$

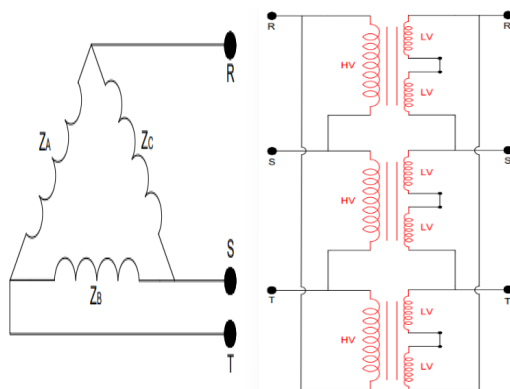
$$V_{LL} = \sqrt{3} \cdot V_{LN}$$

$$I_L = I_P$$

$$P = 3 \cdot V_{LN} \cdot I_L \cos \theta$$

$$= \frac{V_{LL}}{\sqrt{3}} I_L \cdot \cos$$

Selain itu bisa dirangkaian seperti pada gambar 5 rangkaian 3 fasa delta-delta



Gambar 5. Transformator 3 fasa hubung delta-delta

$$V_{AB} = V_{LN} \cdot I_L \cdot \cos \theta$$

$$V_{AB} = V_{LL}$$

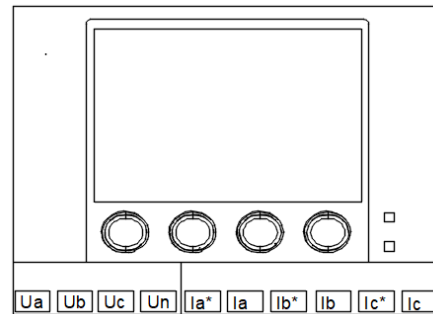
$$I_L = \sqrt{3} \cdot I_P$$

$$P = 3 \cdot V_{LL} \cdot \frac{I_L}{\sqrt{3}} \cdot \cos \theta$$

$$= 3 \cdot V_{LL} \cdot I_L \cdot \cos \theta \quad (13)$$

2.9 Multifunction Meter

Multifunction meter seperti FCN300-3E4Y digunakan untuk mengukur berbagai parameter listrik dalam sistem tenaga listrik 3 fasa. Prinsip kerjanya didasarkan pada sensor dan pengolahan sinyal digital yang dapat mengukur besaran listrik secara akurat dan menampilkan hasilnya pada layar LCD.

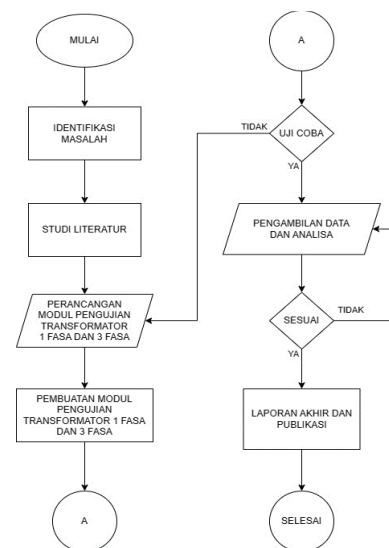


Gambar 6. Multifunction Meter

Multifunction meter ini dapat mengukur beberapa besaran seperti tegangan (V), arus (A), frekuensi (Hz), daya aktif (KW), daya reaktif (KVar), daya semu (kVA), faktor daya (Cos φ), energi aktif (kWh), dan energi reaktif (kVarh).

3. METODE PENELITIAN

3.1 Diagram Alir



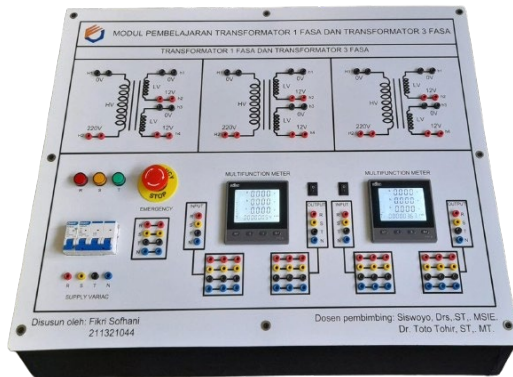
(10)

(11)

(12)

Gambar 7. Diagram Alir

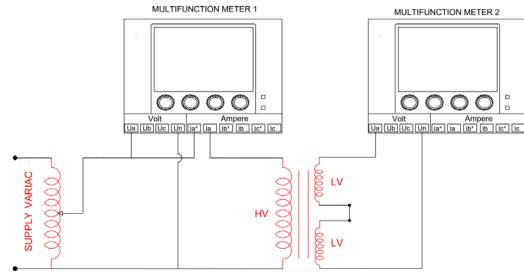
Penelitian ini menggunakan metode eksperimental, dimulai dengan identifikasi masalah yaitu belum adanya modul pembelajaran transformator di laboratorium jurusan teknik elektro, langkah selanjutnya adalah melakukan studi literatur untuk mendapatkan informasi dan referensi yang relevan dari berbagai sumber. Tahap berikutnya adalah perancangan alat, meliputi penentuan spesifikasi komponen, pembuatan gambar rancangan, dan penyusunan Bill of Quantity. Setelah itu, dilakukan pembuatan dan perakitan alat sesuai desain. Dengan hasil akhir seperti gambar 8. Tahapan berikutnya adalah melakukan uji coba terhadap modul yang telah dibuat. Jika uji coba tidak berhasil, perancangan modul perlu diperbaiki dan diuji kembali. Jika uji coba berhasil, data dari hasil uji coba diambil dan dianalisis. Hasil analisis kemudian diperiksa apakah sesuai dengan yang diharapkan. Jika tidak sesuai, modul kembali dirancang dan diuji hingga sesuai dengan yang diharapkan. Setelah hasil analisis menunjukkan kesesuaian, langkah terakhir adalah menyusun laporan akhir dan membuat kesimpulan.



Gambar 8. Modul Transformator 1 Fasa dan 3 Fasa

3.2 Pengujian Transformator 1 Fasa Tanpa Beban

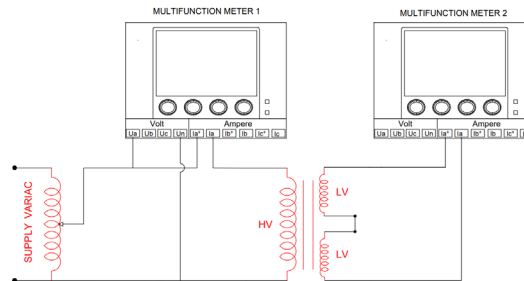
Tujuan dari pengujian ini yaitu untuk mengukur kerugian inti, menentukan arus magnetisasi dan menentukan faktor daya tanpa beban. Berikut rangkaian pengujiannya [11]



Gambar 9. Pengujian Transformator 1 Fasa Tanpa Beban

3.3 Pengujian Transformator 1 Fasa Hubung Singkat

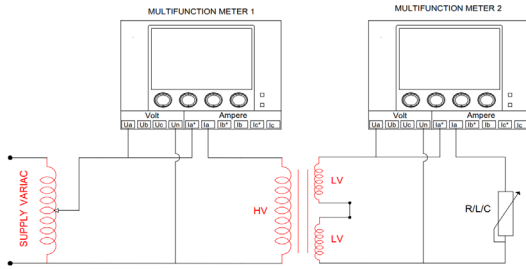
Tujuan pengujian hubung singkat (short-circuit test) pada transformator adalah untuk menentukan berbagai parameter dan karakteristik penting yang berkaitan dengan kerugian tembaga (copper losses) dan impedansi dari transformator saat beroperasi di bawah kondisi beban penuh [14]. Berikut rangkaian pengujiannya.



Gambar 10. Pengujian Transformator 1 Fasa Hubung Singkat

3.4 Pengujian Transformator 1 Fasa Berbeban

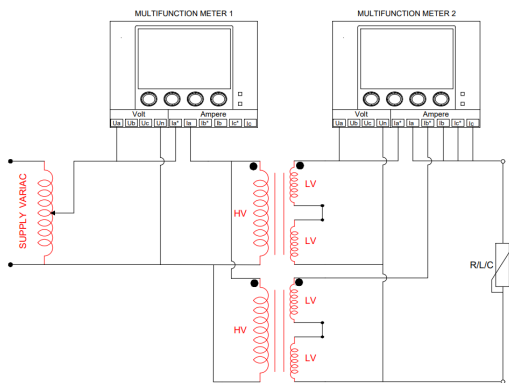
Tujuan pengujian transformator 1 fasa berbeban adalah untuk mengevaluasi kinerja transformator saat beroperasi di bawah kondisi beban nyata. Pengujian ini memberikan informasi penting tentang efisiensi serta regulasi tegangan. Berikut rangkaian pengujiannya [15].



Gambar 11. Pengujian Transformator 1 Fasa Berbeban

3.5 Pengujian Paralel Transformator 1 Fasa Berbeban

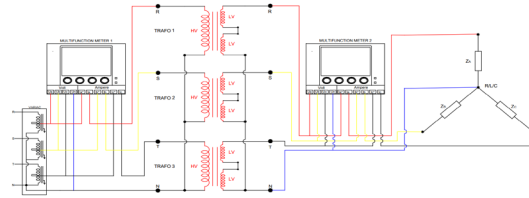
Tujuan pengujian paralel transformator 1 fasa berbeban adalah untuk memastikan bahwa dua atau lebih transformator dapat bekerja bersama secara efisien saat dihubungkan secara paralel dan diberi beban. Pengujian ini penting untuk mengevaluasi distribusi beban, sinkronisasi tegangan, dan arus antara transformator yang beroperasi paralel. Berikut rangkaian pengujiannya.



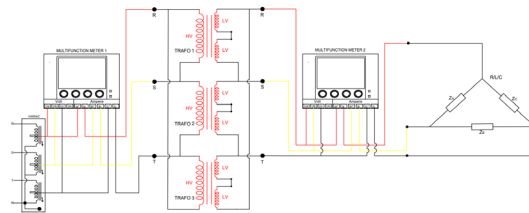
Gambar 12. Pengujian Paralel Trafo 1 Fasa Berbeban

3.6 Pengujian Transformator 3 Fasa Berbeban

Pengujian hubungan transformator 3 fasa berbeban bertujuan untuk mengevaluasi kinerja transformator tiga fasa ketika dioperasikan dengan beban terhubung dalam konfigurasi bintang (Y) atau delta (Δ) transformator 3 fasa dalam konfigurasi bintang (Y) atau delta (Δ) dengan beban resistif atau induktif. Berikut rangkaian pengujiannya [16].



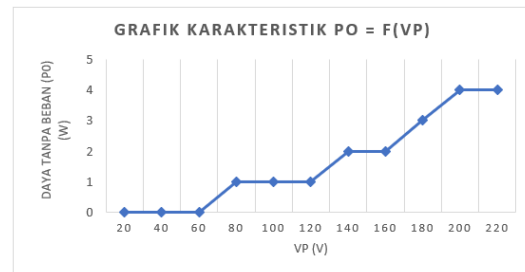
Gambar 13. Rangkaian Pengujian Transformator 3 Fasa Hubung Y-Y berbeban



Gambar 14. Rangkaian Pengujian Transformator 3 Fasa hubung Δ - Δ Berbeban

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

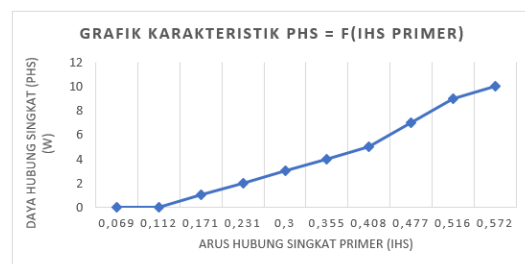
4.1 Hasil Pengujian Transformator 1 Fasa Tanpa Beban



Gambar 15 Grafik Karakteristik $P_o = f(V_p)$

Dari hasil pengujian pada gambar 15 menunjukkan dengan peningkatan tegangan, kerugian inti meningkat secara bertahap hingga mencapai plateau pada tegangan tinggi dengan nilai rugi inti konstan sekitar 4 Watt.

4.2 Hasil Pengujian Transformator 1 Fasa Hubung Singkat

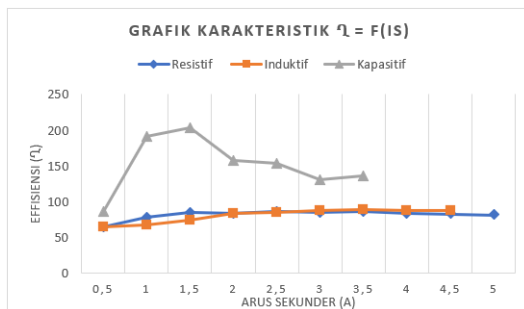


Gambar 16 Grafik Karakteristik $P_{hs} = f(I_{hs \text{ primer}})$

Dari hasil pengujian pada gambar 16 menunjukkan hubungan linier yang jelas antara kerugian tembaga (Pcu) dan arus hubung singkat primer (Ihs). Nilai Pcu meningkat dari 0 W hingga 10 Watt seiring dengan peningkatan arus hubung singkat (Ihs).

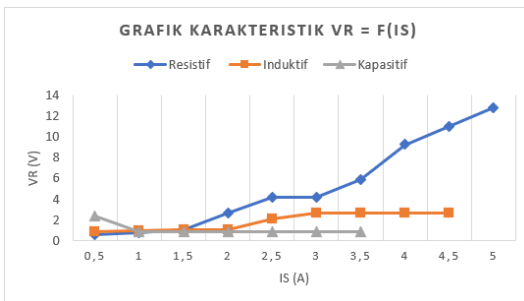
4.3 Hasil Pengujian Transformator 1 Fasa Berbeban

Dari hasil pengujian pada gambar 17 menunjukkan variasi efisiensi dari setiap jenis beban pengujian. Dimana pada saat beban resistif efisiensi maksimum bernilai 86,88%, saat beban induktif bernilai 89,59% dan pada saat beban kapasitif bernilai 202,98%.



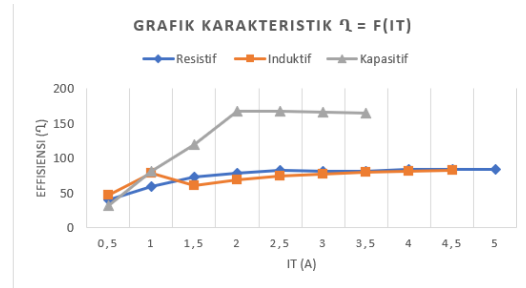
Gambar 17 Grafik Karakteristik $\eta = f(I_s)$

Dari hasil pengujian pada gambar 18 menunjukkan regulasi tegangan dari setiap jenis beban pengujian. Dimana pada saat beban resistif regulasi tegangan bernilai 12,83%, saat beban induktif bernilai 2,6% dan pada saat beban kapasitif bernilai 0,79%.



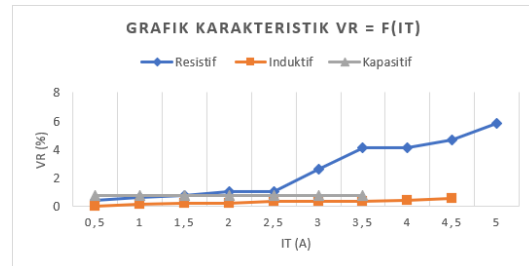
Gambar 18 Grafik Karakteristik $VR = f(I_s)$

4.4 Hasil Pengujian Paralel Transformator 1 Fasa Berbeban



Gambar 19 Grafik Karakteristik $\eta = f(I_T)$

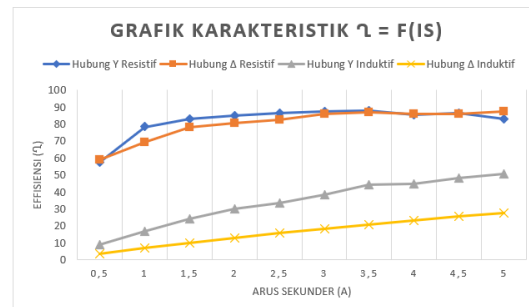
Dari hasil pengujian pada gambar 19 menunjukkan variasi efisiensi dari setiap jenis beban pengujian. Dimana pada saat beban resistif efisiensi maksimum bernilai 84,58%, saat beban induktif bernilai 82,19% dan pada saat beban kapasitif bernilai 168,27%.



Gambar 20 Grafik Karakteristik $VR = f(I_T)$

Dari hasil pengujian pada gambar 20 menunjukkan regulasi tegangan dari setiap jenis beban pengujian. Dimana pada saat beban resistif regulasi tegangan bernilai 5,82%, saat beban induktif bernilai 0,55% dan pada saat beban kapasitif bernilai 0,79%..

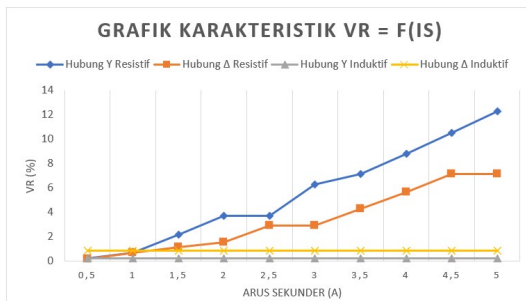
4.5 Hasil Pengujian Transformator 3 Fasa Berbeban



Gambar 21 Grafik Karakteristik $\eta = f(I_s)$

Dari hasil pengujian pada gambar 21 menunjukkan variasi efisiensi dari setiap jenis beban dan hubungan transformator saat pengujian. Dimana pada saat beban resistif hubung Y efisiensi maksimum bernilai 87,83%,

saat beban resistif hubung Δ bernilai 87,33%, saat beban induktif hubung Y efisiensi bernilai 53,91% dan pada saat beban induktif hubung Δ efisiensi bernilai 29,95%.



Gambar 22 Grafik Karakteristik VR = f(Is)

Dari hasil pengujian pada gambar 22 menunjukkan variasi regulasi tegangan dari setiap jenis beban dan hubungan transformator saat pengujian. Dimana pada saat beban resistif hubung Y regulasi tegangan bernilai 12,29%, saat beban resistif hubung Δ bernilai 7,14%, saat beban induktif hubung Y efisiensi bernilai 0,23% dan pada saat beban induktif hubung Δ efisiensi bernilai 0,84%.

5. KESIMPULAN

1. Modul pembelajaran transformator ini dirancang untuk pengujian transformator 1 fasa dan transformator 3 fasa dengan mencakup pengujian tanpa beban, pengujian hubung singkat, pengujian berbeban, pengujian paralel, dan pengujian autotransformator. Modul ini dapat digunakan sebagai alat bantu praktikum di laboratorium untuk mahasiswa teknik listrik, yang mana dapat memudahkan pemahaman konsep melalui pengujian langsung dengan aman karena dilengkapi dengan proteksi berupa MCB dan *emergency push button*.
2. Modul pengujian telah dibuat sesuai dengan rancangan yang telah direncanakan. Pengujian dilakukan dengan transformator 1 fasa dan 3 fasa, mencakup berbagai jenis beban (resistif, induktif, kapasitif) dan berbagai konfigurasi rangkaian pengujian (hubungan bintang, delta). Dengan terealisasinya modul ini, mahasiswa dapat melakukan pengujian nyata dan mendapatkan data empiris untuk analisis lebih lanjut, meningkatkan keterampilan praktis dan pemahaman teoretis.

3. Pada saat pengujian menunjukkan bahwa modul berfungsi sesuai dengan fungsi yang akan dicapai, dengan memberikan hasil yang akurat dan konsisten dalam berbagai jenis pengujian, seperti pengujian trafo 1 fasa tanpa beban memberikan hasil rugi inti sebesar 4 watt, pengujian trafo 1 fasa hubung singkat memberikan hasil rugi tembaga sebesar 10 watt, pengujian trafo 1 fasa berbeban memberikan hasil efisiensi maksimum sebesar 89,59% dan regulasi tegangan sebesar 2,6% (beban induktif), pengujian paralel trafo 1 fasa berbeban memberikan hasil efisiensi maksimum sebesar 84,58% dan regulasi tegangan sebesar 5,82% (beban resistif), dan pengujian hubungan trafo 3 fasa memberikan hasil efisiensi maksimum sebesar 87,83 dan regulasi tegangan sebesar 12,29% (beban resistif, hubung Y). Hasil dari pengujian tersebut memvalidasi bahwa kinerja modul ini siap digunakan dalam kegiatan praktikum yang dapat memberikan data yang reliabel untuk analisis karakteristik transformator

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada Politeknik Negeri Bandung melalui dosen pengajar yang telah memberikan bimbingan serta pengetahuan lebih sehingga penulis bisa menyelesaikan karya ilmiah ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] W. Ujang, "Analisa Pengujian Transformator 2 MVA 33, 42/0,575 KV," *Elektro*, vol. VII, no. 2, pp. 57-67, 2019.
- [2] N. R. BR, "Studi Karakteristik Transformator Daya Listrik dengan Multisim 12.0," *JE-Unisla*, vol. III, no. 1, pp. 5-7, 2018.
- [3] H. R. Silitonga, "Pemodelan Dan Simulasi Transformator Pada Kondisi Open-Circuit Pada Salah Satu Fasanya," *Jurnal Online Mahasiswa fakultas Teknik*, vol. IV, no. 1, 2017.
- [4] Tondok, Y. P., "Perencanaan Transformator Distribusi 125 kVA," *Jurnal Teknik Elektro dan Komputer*, vol. VIII, no. 2, pp. 83-92, 2019.
- [5] Al Afgani, M. I., "Rancang Bangun Trainer Trafo Step Up dan Step Down Dalam Satu Sistem," *Jurnal rekayasa mesin*, vol. V, no.

- 1, pp. 73-77, 2018.
- [6] Lahamuddin, I., "Rancang Bangun Media Pembelajaran Mesin Listrik Dasar," *Journal of Electrical Engineering*, vol. I, no. 1, pp. 22-31, 2020.
- [7] Theraja, B.L., *A Text Book of Electrical Technology Volume 2*, New Dehli: S. Chand & Company LTD, 1995.
- [8] D. Y. Sukma, "Perancangan Transformator Satu Fasa Dan Tiga Fasa Menggunakan Perangkat Lunak Komputer," *urnal Online Mahasiswa fakultas Teknik*, vol. III, no. 2, 2016.
- [9] Putri, M., "Analisis Pengujian Karakteristik Dan Perbandingan Transformasi Pada Trafo 1 Fasa," *Jurnal ilmiah teknik mesin, industry, elektro dan sipil*, vol. II, no. 1, pp. 44-47, 2021.
- [10] Abhiyaksa, M., "Analysis Efficiency Performance Capability Transformator," *Journal of Educational Engineering and Environment*, pp. 7-11, 2022.
- [11] U. Nnochiri Ifeoma, "Design And Implementation Of A Digital Transformer Trainer," *International Journal Of Innovations In Engineering Research And Technology*, pp. 180-187, 2021.
- [12] J. Siburian, "Karakteristik transformator," *Jurnal Teknologi Energi Uda: Jurnal Teknik Elektro*, vol. VIII, no. 1, pp. 21-28, 2019.
- [13] Sutopo, A., "Development of 3 Phase Transformer Module Using Isolation Transformer for Simulation of Electrical Power System," *Proceedings of the 4th International Conference on Innovation in Education, Science and Culture*, 2022.
- [14] Luo, X., "Research on Single-phase Power Supply in Short-circuit Test of Transformer on Magnetic-force Coupling Field," *Journal of Physics*, vol. 2170, no. 1, 2022.
- [15] Napitupulu, J., "Studi Efisiensi Transformator Tiga Fasa," *Jurnal Teknologi Energi Uda: Jurnal Teknik Elektro*, pp. 8-16, 2021.
- [16] Kamaruddin, S., "Star/Delta Three Phase System: Educational Trainer," *Journal of Social Sciences and Humanities*, vol. VII, no. 1, pp. 75-84, 2022.