

ANALISIS TINJAUAN DARI TOTAL HARMONIC DISTORTION ARUS MAUPUN TEGANGAN TERHADAP BEBAN SISI PRIMER DAN SISI SEKUNDER PADA TRANSFORMATOR

Andi Mohammad Ridwan Fikri¹, Muh. Riswan. T², Zahir Zainuddin³, Rizal Aduyo⁴

^{1,2,3,4}Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Makassar

e-mail : andiridwanfikri780@gmail.com, muhriswan839@gmail.com, zahir@unhas.ac.id, rizalduyo@gmail.com

Abstract: Andi Mohammad Ridwan Fikri and Muhammad Riswan T (2025) Analysis of Total Harmonic Distortion Current and Voltage Review of Primary and Secondary Side Loads on Transformers supervised by DR. Ir Zahir Zainuddin, M.T., Rizal A Duyo, S.T., M.T. The purpose of this study is to determine the comparison of linear and non-linear loads to harmonics on single-phase transformers. To determine the active power loss caused by single-phase transformers due to the influence of harmonics. The method used in this study is to conduct research and data collection at Jl. Sultan Alauddin No.259, Gn. Sari, Kec. Rappocini, Makassar City. The results obtained in this study are. With almost the same power, linear and non-linear loads have quite significant differences in terms of Total Harmonic Distortion (THD). THD current and voltage on non-linear loads are relatively greater than on linear loads. On the primary side of the THDi transformer, the linear load is 5.99% while the non-linear load is 68.25%, the THDV of the linear load is 1.51%, while the non-linear load is 1.60%. On the secondary side of the THDi transformer, the linear load is 1.18% while the non-linear load is 72.53%, the THDV of the linear load is 1.81%, while the non-linear load is 11.27%. This is because the non-linear load contains harmonics. The active power loss of the

transformer due to harmonics generated by the non-linear load in this study was 0.024 kW, exceeding the standard set by the IEEE 519 standard, which is more than 10% of the total transformer rating of 0.022 kW. This can cause the transformer to overheat. While at a linear load of 0.019 kW, it can be said to be safe.

Abstract: Current, Voltage and Transformer

Intisari : Andi Mohammad Ridwan Fikri dan Muhammad Riswan T (2025) Analisis Distorsi Harmonik Total Arus dan Tegangan Tinjauan Beban Samping Primer dan Sekunder pada Transformator yang dibimbing oleh DR. Ir Zahir Zainuddin, M.T., Rizal A Duyo, S.T., M.T. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui perbandingan beban linier dan non linier terhadap harmonisa pada transformator satu fasa. Untuk mengetahui rugi-rugi daya aktif yang diakibatkan transformator satu fasa akibat pengaruh harmonisa. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah dengan melakukan penelitian dan pengumpulan data di Jl. Sultan Alauddin No.259, Gn. Sari, Kec. Rappocini, Kota Makassar. Hasil yang diperoleh pada penelitian ini adalah. Dengan daya yang hampir sama, beban linier dan non linier mempunyai perbedaan yang cukup signifikan ditinjau dari Total Harmonic

Distortion (THD). THD arus dan tegangan pada beban non linier relatif lebih besar dibandingkan pada beban linier. Pada sisi primer trafo THDi, beban linier sebesar 5,99% sedangkan beban non linier sebesar 68,25%, THDV beban linier sebesar 1,51%, sedangkan beban non linier sebesar 1,60%. Pada sisi sekunder trafo THDi, beban linier sebesar 1,18% sedangkan beban non linier sebesar 72,53%, THDV beban linier sebesar 1,81%, sedangkan beban non linier sebesar 11,27%. Hal ini disebabkan karena beban non linier mengandung harmonisa. Kehilangan daya aktif trafo akibat harmonisa yang ditimbulkan oleh beban non linier pada penelitian ini adalah sebesar 0,024 kW, melebihi standar yang ditetapkan oleh standar IEEE 519 yaitu lebih dari 10% dari total rating trafo sebesar 0,022 kW. Hal ini dapat menyebabkan trafo menjadi terlalu panas. Sedangkan pada beban linier sebesar 0,019 kW dapat dikatakan aman.

Intisari: Arus, Tegangan Dan Transformator

I. PENDAHULUAN

yang sangat teknologi, tentu terdapat dampaknya Teknologi berkembang pesat di dunia saat ini, salah satu pendukung teknologi yang berkembang pesat adalah energi listrik Energi listrik juga merupakan kebutuhan sehari-hari mutlak. Hampir semua aktivitas kita menggunakan energi listrik. Dibalik semua itu, berkembang pesatnya terhadap energi listrik itu sendiri. Pada saat ini, berkembang pula komponen listrik misalnya pada beban non linier yaitu beban elektronik dan termasuk lampu yaitu lampu hemat energi. Di dalam energi listrik beban non linier sangat berdampak pada kualitas listrik itu sendiri. Dampak yang ditimbulkan akibat beban non linier tersebut salah satunya yaitu harmonisa.

dengan Salah satu faktor yang mempengaruhi kualitas daya adalah harmonisasi

sistem kelistrikan. Interaksi antara sistem gelombang sinusoidal dengan komponen gelombang lain yang memiliki frekuensi kelipatan integer dan komponen fundamentalnya menyebabkan harmonisa. Harmonisa sangat dominan karena tetap ada dan menyebar ke peralatan listrik. Harmonisa ini dapat mempengaruhi transformator, termasuk peralatan listrik. Oleh karena itu, penting untuk mengetahui efek atau pengaruh harmonisa terhadap transformator. Salah satu cara untuk memecahkan masalah ini adalah menganalisis transformator, terutama transformator satu fasa. Tugas akhir ini adalah salah satu solusi untuk masalah ini.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. HARMONISA

1. Pengertian Harmonisa

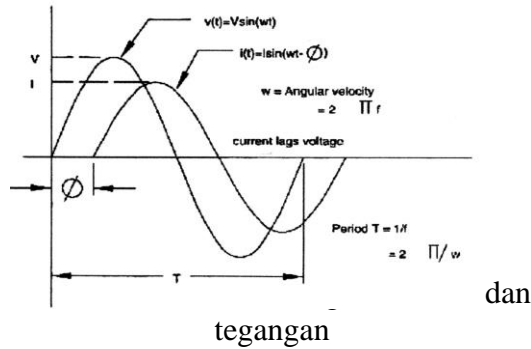
Interaksi antara gelombang sinusoidal sistem dengan bagian gelombang lain yang memiliki frekuensi kelipatan integer dari bagian fundamentalnya menyebabkan harmonisa. Sistem tenaga listrik AC ideal memiliki tingkat tegangan dan frekuensi yang konstan. Namun, ketika beban listrik meningkat, terutama ketika beban non-linier digunakan, bentuk gelombangnya berubah. Hal ini terjadi karena penggunaan beban listrik non-linier menghasilkan gelombang frekuensi tinggi, yang merupakan kelipatan dari frekuensi fundamentalnya. Gelombang cacat, yang merupakan jumlah antara gelombang yang dimulai saat dengan gelombang harmoniknya, terbentuk ketika gelombang frekuensi tinggi menumpang pada gelombang fundamental.

Dalam sistem distribusi tenaga listrik, harmonisa terjadi karena distorsi gelombang arus dan tegangan. Distorsi ini menghasilkan gelombang yang memiliki frekuensi kelipatan bulat dari frekuensi fundamentalnya.

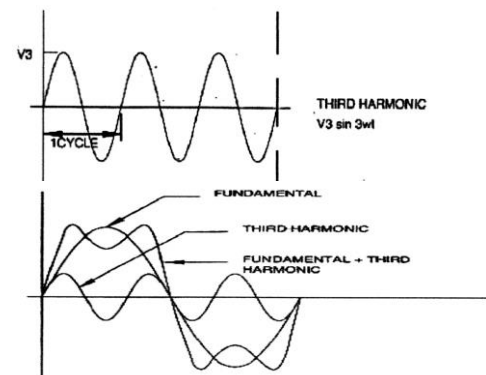
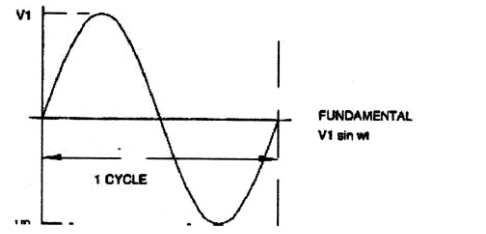
Untuk mengetahui efek apa yang terjadi akibat harmonisa, komponen sistem

kelistrikan yang dapat menghasilkan arus harmonisa harus diperhatikan.

Adanya beban non linier yang terhubung ke sistem distribusi dapat menyebabkan harmonisasi. Beban non linier ini biasanya adalah peralatan elektronik dengan banyak komponen semi konduktor di dalamnya. Dalam proses kerjanya, mereka berfungsi sebagai saklar segal yang berfungsi pada setiap siklus gelombang dan sumber tegangan. Contoh beban non-linier adalah variabel kecepatan penggerak , komputer, printer, dan lampu neon yang menggunakan ballast elektronik.



Gelombang non sinusoidal dapat terbentuk dengan menjumlahkan gelombang - gelombang sinusoidal, seperti terlihat pada gambar 2.



Gambar 2.2 Gelombang fundamental, Gelombang harmonik ketiga, Gelombang basil penjumlahan dari dua gelombang

Sumber. Sankaran C. Power Quality 2002

Standar IEEE 519 membentuk standar harmonisa. Distorsi harmonisa dinilai berdasarkan dua kriteria. Dengan kata lain, batasan harmonisa arus dan tegangan. Rasio ISC/IL untuk standar harmonisa arus penentuannya, sedangkan IL adalah arus beban nominal fundamental, sedangkan ISC adalah arus hubung singkat yang ada pada PCC (Point of Common Coupling).

Tabel 2.1 Standar harmonisa arus

Sumber. Standard IEEE 519

I _{SC} /I _{LOAD}	HARMONIC ORDER					Total Harmonic Distortion
	<11	11-16	17-22	23-24	>35	
< 20	4.0	2.0	1.5	0.6	0.3	5.0
20-50	7.0	3.5	2.5	1.0	0.5	8.0
50-100	10.0	4.5	4.0	1.5	0.7	12.0
100-1000	12.0	5.5	5.0	2.0	1.0	15.0
> 1000	15.0	7.0	6.0	2.5	1.4	20.0

Where I_{SC} = Maximum short circuit current at point of common coupling.
 And I_L = Maximum demand load current (fundamental frequency) at point of common coupling.
 TDD = Total demand distortion (RSS) in % of maximum demand

$$TDD = \frac{I_L}{I_L \text{ demand}} \sqrt{\sum_{h=2}^H I_h^2} \times 100\% = \text{Total harmonic distortion}$$

Tabel 2.2 standar harmonisa tegangan

Sumber. Standard IEEE 519

2. THD (Total Harmonic Distortion)

Nilai root mean square (RMS) komponen harmonik suatu besaran (arus atau tegangan) dibandingkan dengan nilai rms besaran tersebut pada frekuensi dasarnya. Nilai THD, yang biasanya dihitung dalam persen,

digunakan untuk menghitung besarnya nilai efektif komponen harmonik gelombang cacat (terdistorsi), yang dirumuskan sebagai berikut [3].

$$THD = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{h=\max} M_h^2}}{M_1} \dots\dots\dots(2.1)$$

Dimana

THD = Total Harmonic Distortion

M_h = nilai rms komponen harmonik (arus atau tegangan harmonik) ke-h

M_1 = nilai rms arus atau tegangan pada frekuensi dasar.

Batas harmonisa untuk arus (THD_i) dan batas harmonisa untuk tegangan (THD_v) adalah dua standar yang digunakan untuk menilai distorsi harmonisa. Contohnya adalah sebagai berikut:[4]

$$THD_i = \frac{\sqrt{I_3^2 + I_5^2 + I_7^2 - I_n^2}}{I_1} \times 100 \dots\dots\dots(2.2)$$

$$THD_v = \frac{\sqrt{V_3^2 + V_5^2 + V_7^2 - V_n^2}}{V_1} \times 100 \dots\dots\dots(2.3)$$

Dengan I_{rms} dan V_{rms} dapat dinyalakan dengan persamaan sebagai berikut

$$I_{rms} = \sqrt{I_3^2 + I_5^2 + I_7^2 - I_n^2} \dots\dots\dots(2.4)$$

$$V_{rms} = \sqrt{V_3^2 + V_5^2 + V_7^2 - V_n^2} \dots\dots\dots(2.5)$$

Keterangan :

I_{rms} = Arus Efektif

V_{rms} = Tegangan Efektif

3. Efek Harmonisa

Setiap peralatan yang terhubung ke sistem tenaga dan memiliki harmonik akan memiliki efek yang berbeda. Peralatan tersebut dapat kehilangan

kinerja atau bahkan rusak, yang pada akhirnya dapat mempengaruhi kualitas daya sistem tenaga listrik.

B. TRANSFORMATOR

1. Pengertian Transformator

Transformator banyak digunakan. di bidang energi listrik dan elektronika. Dengan menggunakan transformator dalam sistem tenaga, tegangan yang tepat dan hemat biaya dapat dipilih untuk setiap kebutuhan, seperti kebutuhan tegangan tinggi untuk pengiriman daya jarak jauh.

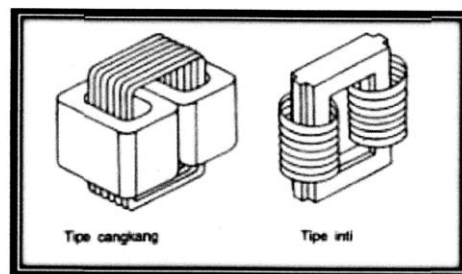
Dalam bidang tenaga listrik, transformator dibagi menjadi kategori berikut: transformator daya; transformator distribusi; dan pengukuran transformator, yang terdiri dari arus transformator dan tegangan.

Dalam bidang tenaga listrik pemakaian transformator dikelompokkan menjadi:

- a. transformator daya;
- b. transformator distribusi;
- c. transformator pengukuran: yang terdiri atas transformator arus dan transformator tegangan.

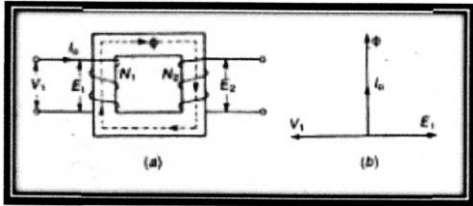
Kerja transformator yang berdasarkan induksi-elektromagnet, menghendaki adanya gandengan magnet antara rangkaian primer dan sekunder. Gandengan magnet ini berupa inti besi tempat melakukan fluks bersama.

Berdasarkan cara melilitkan kumparan pada inti, dikenal dua macam transformator, yaitu tipe inti dan tipe cangkang



Gambar 2.3 Transformator ripe cangkang dan tipe inti

2. Keadaan Transformator Tanpa Beban



Gambar 2.4 Keadaan transformator tanpa beban

Sumber. *Zuhal; 1995*

Arus primer I_0 mengalir melalui kumparan primer transformator ke sumber tegangan V_1 yang sinusoidal. Dengan mempertimbangkan belitan N_1 reaktif murai, I_0 akan tertinggal 90° dari V_1 . Fluks (ϕ) yang sefasa dan sinusoid dihasilkan oleh arus primer I_0 (Hukum Farraday).

$$e_1 = - N_1 \frac{d\phi}{dt}$$

$$e_1 = - N_1 \frac{d(\phi_{maks} \sin wt)}{dt} = - N_1 w \phi_{maks} \cos wt$$

tertinggal 90° dari ϕ

Harga efektifnya

$$E_1 = \frac{N_1 2\pi f \phi_{maks}}{dt} = 4,44 N_1 f \phi_{maks}$$

Pada rangkaian sekunder, fluks (ϕ) bersama tadi menimbulkan

$$e_2 = -N_2 \frac{d\phi}{dt}$$

$$e_2 = -N_2 w \phi_m \cos wt$$

$$e_2 = 4,44 N_2 f \phi_{maks}$$

Sehingga

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{N_1}{N_2}$$

Dengan mengabaikan rugi tahanan dan adanya fluks bocor,

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{V_1}{V_2} = \frac{N_1}{N_2} \dots \dots \dots (2.6)$$

$\alpha =$ perbandingan transformasi

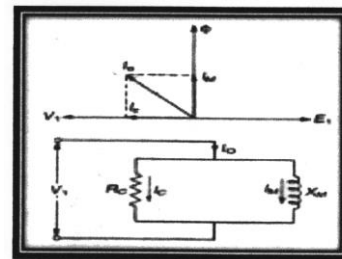
Dalam hal ini tegangan induksi e_1 mempunyai kebesaran yang sama tetapi berlawanan arah dengan tegangan sumber V_1 .

3. Arus Penguat

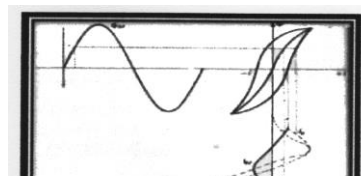
Arus primer I_0 , yang mengalir pada saat kumparan sekunder tidak dibebani disebut arus penguat. Dalam kenyataannya arus primer I_0 bukanlah merupakan arus induktif murni, hingga ia terdiri atas dua komponen (Gambar 2.5).

a. Komponen arus pemagnetan ini, yang menghasilkan fluks (ϕ). Karena sifat besi yang nonlinier (ingat kurva B-H), maka arus pemagnetan ini dan juga fluks (ϕ) dalam kenyataannya tidak berbentuk sinusoid (Gambar 2.6).

b. Komponen arus rugi tembaga I_c , menyatakan daya yang hilang akibat adanya rugi histeresis dan 'arus eddy'. I_c sefasa dengan V_1 , dengan demikian hasil perkaliannya ($I_c \times V_1$) merupakan daya (watt) yang hilang.



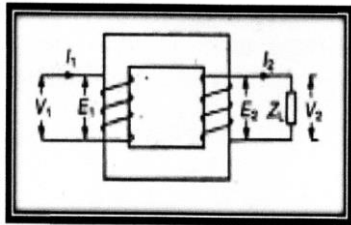
Gambar 2.5 Arus penguat



Gambar 2.6 Arus pemagnetan

4. Keadaan Berbeban

Apabila kumparan sekunder dihubungkan dengan beban Z_L , I_2 mengalir pada kumparan sekunder, dimana $I_2 = V_2/Z_L$ dengan $\theta_2 =$ faktor kerja beban.



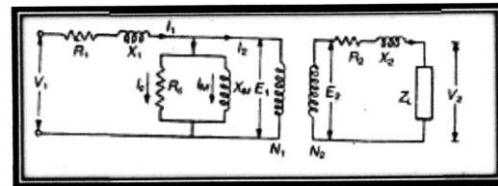
Gambar 2.7 Transformator keadaan berbeban
Sumber. Zuhail; 1995

Gaya gerak magnet (ggm) $N_2 I_2$ yang dihasilkan oleh arus beban I_2 ini akan berlawanan dengan fluks (ϕ) bersama yang telah terbentuk sebagai akibat dari arus pemagnetan ini. Hubungan $N_1 I_M = N_1 I_1 - N_2 I_2$ $N_1 I_M = N_1 (I_1 - I_2)$ Agar fluks bersama tidak berubah sebesar ggm yang dihasilkan oleh arus pemagnetan ini saja, arus I_2 harus mengalir pada kumparan primer secara berlawanan dengan fluks yang Dihasilkan oleh arus beban, sehingga keseluruhan arus yang mengalir pada kumparan primer menjadi : $I_1 = I_1 + I_2$ Jika rugi diabaikan , maka I_1

5. Rangkaian Ekuivalen

Kita mengabaikan tahanan dan kesalahan yang bocor dalam diskusi sebelumnya. Tidak seluruh fluks (ϕ) yang dihasilkan oleh arus pemagnetan I_M dianggap sebagai fluks bersama

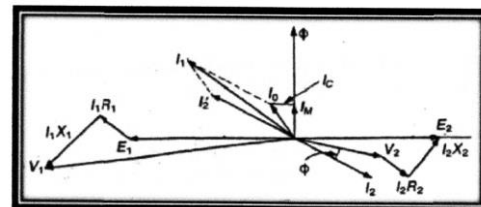
(ϕ_m) dalam analisis selanjutnya. Sebagian besar hanya terdiri dari kumparan primer (ϕ_1) atau kumparan sekunder (ϕ_2). Dalam rangkaian model , atau rangkaian ekuivalen, yang digunakan untuk menganalisis kerja suatu transformator, fluks bocor ϕ_1 dan ϕ_2 ditunjukkan sebagai reaktansi X_1 dan X_2 , dan rugi penahan ϕ_1 dan ϕ_2 ditunjukkan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.8.



Gambar 2.8 Rangkaian Ekuivalen

Sumber Zuhail : 1995

Dari rangkaian di atas dapat dibuat vektor diagramnya sebagai terlukis pada Gambar 2.9.



Gambar 2.9 Diagram vektor

Sumber. Zuhail; 1995

Dari model rangkaian di atas dapat pula diketahui hubungan penjumlahan vektor:

$$V_1 = E_1 + I_1 R_1 + I_1 X_1$$

$$E_2 = V_2 + I_2 R_2 + I_2 X_2$$

$$E_1/E_2 = N_1/N_2 = \alpha \text{ atau } E_1 \text{ atau } E_1 a E_2$$

Hingga

$$E_1 = \alpha (I_2 Z_L + I_2 R_2 + I_2 X_2)$$

Karena

$$I_1/I_2 = N_1/N_2 I/a \text{ atau } I_1 = aI_2$$

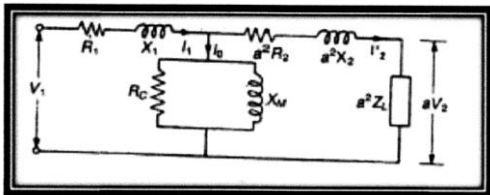
Maka

$$E_1 = a^2 I_2 Z_L + a^2 I_2 R_2 + a^2 I_2 X_2$$

Dan

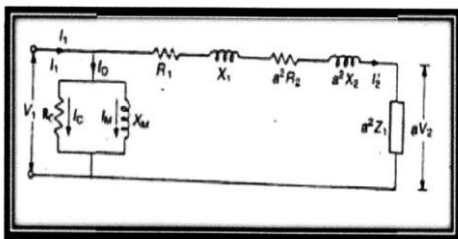
$$V_1 = a^2 I_2 Z_L + a^2 I_2 R_2 + a^2 I_2 X_2 + I_1 R_1 + I_1 X_1 \dots \dots \dots (2.8)$$

Persamaan terakhir menyatakan bahwa apabila parameter rangkaian sekunder berada dalam harga rangkaian primer, harga tersebut harus dikalikan dengan faktor a². Model sekarang rangkaian tampak seperti yang ditampilkan pada gambar 2.10.



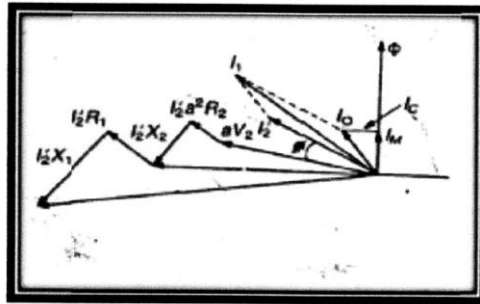
Gambar 2.10 Model rangkaian transformator
 Sumber. Zuhal; 1995

Untuk memudahkan analisis (perhitungan), model rangkaian tersebut dapat diubah menjadi seperti dapat dilihat pada Gambar 2.11.



Gambar 2.11 Model rangkaian yang sudah disederhanakan
 Sumber. Zuhal; 1995

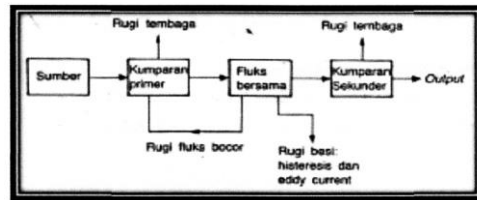
Vektor diagram rangkaian di atas untuk beban dengan faktor kerja terbelakang dapat dilukiskan pada Gambar 2.12.



Gambar 2.12 Diagram vektor untuk beban dengan faktor kerja terbelakang

Sumber. Zuhal; 1995

6. Rugi -rugi Transformator



Gambar 2.13 Diagram alir transformator
 Sumber. Zuhal ; 1995

Terdapat dua jenis rugi transformator : a. Rugi tembaga/rugi inti (Pi), yang terdiri dari dua jenis: 1) Rugi histeresis, yaitu rugi yang disebabkan oleh fluks bolak-balik pada inti besi, yang ditulis sebagai $P_{cu} = I_2 R_2$ (2.9) Karena arus beban berubah -ubah, rugi tembaga juga tidak konstan bergantung pada beban. Dirumuskan sebagai $P_e = K_f B_{maks}$, sehingga rugi besi (rugi inti) adalah $P_i = P_h + P_e$ (2.12)

Untuk mencari rugi daya aktif pada transformator dapat dicari dan perbedaan nilai daya aktif masukkan transformator (primer) P_p

dan keluaran transformator (sekunder) ps sebagai berikut :

$$\Delta P = P_p - P_s \quad (2.13)$$

Dimana

ΔP = total rugi daya

P_p = rugi daya primer

P_s = rugi daya sekunder

7. Efisiensi Transformator

Efisiensi dinyatakan sebagai :

$$\eta = \frac{\text{daya keluar}}{\text{daya masuk}} = \frac{\text{daya keluar}}{\text{daya keluar} + \frac{\Sigma \text{rugi}}{\text{daya masuk}}} = 1 =$$

di mana Σ rugi = $P_{cu} + P_1$

a. Perubahan efisiensi terhadap beban

Perubahan efisiensi terhadap beban dinyatakan sebagai:

$$\eta = \frac{V_2 \cos \phi}{V_2 \cos \phi + I_2 R_{2ek} + \frac{P_1}{I_2}}$$

Agar η maksimum, maka

$$\frac{d}{dt_2} (I_2 R_{2ek} + \frac{P_1}{I_2}) = 0$$

$$\text{Jadi } R_{2ek} = \frac{P_1}{I_2^2}$$

$$P_1 = I_2^2 R_{2ek} = P_{cu} \quad (2.14)$$

Artinya, efisiensi maksimum dicapai ketika rugi tembaga sama dengan rugi inti untuk beban tertentu.

b. Perubahan efisiensi faktor kerja (cos φ) beban

Perubahan efisiensi faktor kerja (cos φ) beban dapat diartikan sebagai berikut:

$$\eta = 1 - \frac{\Sigma \text{rugi}}{V_2 I_2 \cos \phi + \Sigma \text{rugi}}$$

$$\eta = 1 - \frac{\Sigma \text{rugi} / V_2 I_2}{\cos \phi + \Sigma \text{rugi} / V_2 I_2}$$

bila Σ rugi / $V_2 I_2 = X =$ konstan, maka

$$\eta = 1 - \frac{X}{\cos \phi + X} \quad (2.15)$$

$$\eta = 1 - \frac{X}{\cos \phi + X}$$

$$\eta = 1 - \frac{X / \cos \phi}{1 + X \cos \phi} \dots$$

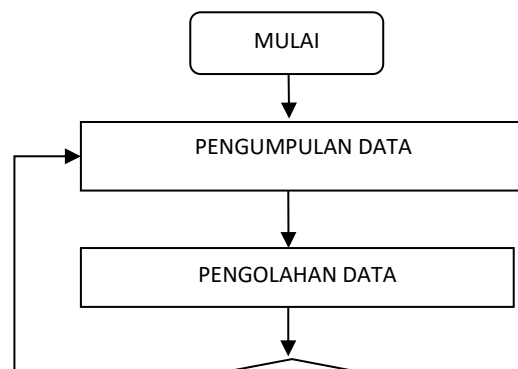
III. METODE PENELITIAN

A. waktu dan tempat

Proyek pengembangan aplikasi dijadwalkan berlangsung selama enam bulan, dari Juni hingga Desember 2024 sesuai jadwal penelitian. Kegiatan penelitian akan dilakukan di Jl. Sultan Alauddin No.259, Gn. Sari, Kec. Rappocini, Kota Makassar.

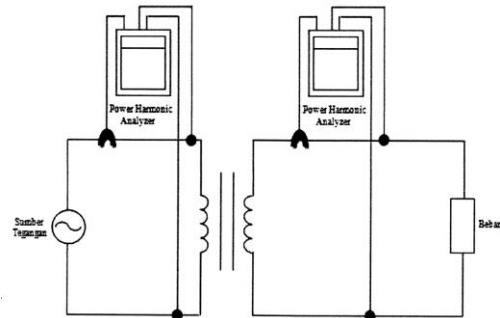
B. Prosedur Penelitian

Untuk menilai dengan benar penambahan gardu induk ke sistem distribusi, laporan penelitian akhir harus mengikuti pendekatan yang terstruktur dan sistematis. Gambar 3.1 menunjukkan diagram alur proses penelitian. Proses ini dimulai dengan pengumpulan data melalui studi literatur, wawancara, observasi, dan dokumentasi. Kemudian, data penelitian dikumpulkan dan dibandingkan dengan perspektif literatur dan rumusan masalah penelitian .



Proyek akhir ini dikembangkan melalui kombinasi metode penelitian perpustakaan dan penelitian lapangan. Penelitian perpustakaan melibatkan pengumpulan informasi dari berbagai literatur, tulisan, dan materi kuliah untuk menjelaskan dasar teoritis yang berkaitan dengan topik pembicaraan. Penelitian lapangan melibatkan studi langsung terhadap objek penelitian, dengan fokus pada sistem listrik, melalui observasi dan wawancara dengan individu yang memiliki pengetahuan tentang materi tersebut.

E. Perancangan sistem



Gambar 3.1 Rangkaian Gambar

Pengukuran

Tesis ini berfokus pada pengukuran Distorsi Harmonik Total (THD) menggunakan Power Harmonic Analyzer 6830 Langlois. Bab ini membahas peralatan dan bahan yang digunakan untuk menentukan THD pada beban linier dan non-linier, serta prosedur pengukuran. Analisis dan pengukuran THD serta penentuan kerugian di transformator untuk laporan akhir dilakukan di Departemen Teknik Elektro, Universitas Muhammadiyah Makassar. Desain dan pengukuran dilakukan dari tanggal 16 Oktober 2015 hingga 30 Oktober 2015.

F. Peralatan

Alat Analisa Harmonik Daya 6830

Langlois

Analisis Harmonik Daya 6830 Langlois adalah alat

Gambar 3.1 *flow chart* penelitian

C. Teknik Pengumpulan data

Metode pengumpulan data yang digunakan dalam studi ini meliputi tinjauan pustaka, wawancara, observasi langsung, dan dokumentasi. Tinjauan pustaka melibatkan penggunaan berbagai referensi seperti buku, tesis, jurnal penelitian, dan dokumen online atau perpustakaan digital. Wawancara dilakukan dengan sumber yang berpengetahuan terkait topik penelitian, fokus pada menjelaskan informasi yang tidak diketahui atau tidak jelas. Observasi dilakukan secara sistematis untuk mengamati dan mencatat fenomena yang terkait dengan masalah penelitian. Dokumentasi melibatkan pengumpulan data terkait topik penelitian, dengan data yang diperoleh dari lokasi database yang sudah ditentukan.

D. Metode Penulisan

canggih untuk mengukur gangguan harmonik pada beban non-linear dalam sistem energi listrik dan peralatan elektronik di instalasi rumah tinggal atau kantor.



Gambar 3.2 Power harmonic analyzer 6830

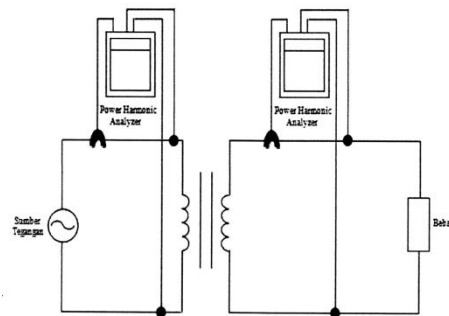
langlois

Alat ini dapat mengukur berbagai parameter, seperti frekuensi, faktor daya (total dan per fase), arus total, fase, dan netral, tegangan total, fase-fase, dan netral, daya total (aktif, reaktif, dan tampak), energi (aktif, reaktif, dan tampak), dan THD (arus dan tegangan). Analisis ini dimaksudkan untuk membantu pengguna menganalisis konsumsi energi, meningkatkan sistem penghalusan energi, mengurangi waktu henti dalam aktivitas penelitian, menyelesaikan masalah, dan menghindari masalah kualitas daya. Alat ini meliputi berbagai pengukuran, evaluasi energi 3 fase, analisis data, penilaian kualitas daya, alarm, dan kemampuan I/O dalam satu perangkat. karakteristik utama Analisis Harmonik Daya 6830 Langlois mencakup kemampuan untuk menampilkan 35 parameter pada satu layar, melakukan analisis harmonik hingga

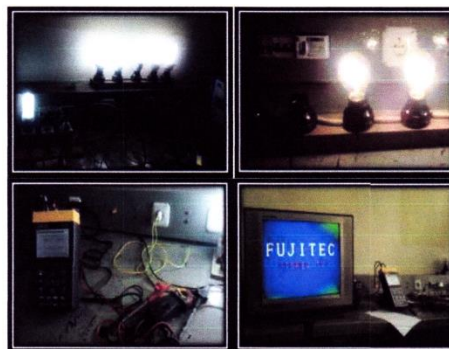
urutan ke-99, melihat 50 harmonik bersama dengan gelombang, menampilkan 28 fitur transien dengan ambang batas yang dapat disesuaikan, menampilkan diagram vektor yang berisi detail sistem tiga fase, menawarkan Layar LCD Matriks Titik besar dengan lampu latar, menampilkan gelombang keluaran, parameter daya, dan harmonik di Jendela Perintah, menyediakan Dengan penyimpanan memori 512 KB, hasil pengukuran dapat ditampilkan dalam format teks dan sebagai gelombang dan spektra dari setiap urutan harmonik.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Gambar Rangkaian Pengukuran



Gambar 4.1 Rangkaian pengukuran



Gambar 4.2 Foto rangkaian pengukuran

Bab ini membahas tentang pengukuran harmonisa pada beban linier dan non linier satu fasa, serta analisis hasil pengukuran dan perhitungan harmonisa. Ini juga mencakup cara menghitung rugi daya aktif transformator yang dipengaruhi oleh harmonisa.

A. Hasil Pengukuran

Tabel 4.1 Pengukuran Daya Listrik pada sisi primer transformator

Beban	Daya	Tegangan (V)	Arus (A)
	P(Kw)	V_{rms}	I_{rms}
Linier	0,213	219,12	0,977
Non linier	0,212	216,72	0,889

Tabel 4.2 Pengukuran Daya Listrik pada sisi sekunder transformator

Beban	Daya	Tegangan (V)	Arus (A)
	P(Kw)	V_{rms}	I_{rms}
Linier	0,194	212,83	0,911
Non linier	0,188	224,11	1,08

Tabel 4.3 Data Harmonisa Arus pada sisi primer transformator

Beban	Pengukuran Harmonisa							
	TH Di (%)	Arus (A)						
		I_1	I_3	I_5	I_7	I_9	I_{11}	I_{13}
Linier	1,51	219,1	2,4	0,5	1,5	1,4	0,9	0,0
Non linier	1,60	216,7	2,6	0,0	1,2	1,7	0,9	0,4

Linier	5,99	0,976	0,056	0,014	0,004	0,008	0,004	0,0
Non linier	68,25	0,735	0,448	0,133	0,081	0,134	0,087	0,034

Tabel 4.4 Data Harmonisa Tegangan pada sisi primer transformator

Beban	Pengukuran Harmonisa							
	TH DV (%)	Tegangan (V)						
		V_1	V_3	V_5	V_7	V_9	V_{11}	V_{13}
Linier	1,51	219,1	2,4	0,5	1,5	1,4	0,9	0,0
Non linier	1,60	216,7	2,6	0,0	1,2	1,7	0,9	0,4

Tabel 4.5 Data Harmonisa arus pada sisi sekunder transformator

Beban	Pengukuran Harmonisa							
	TH Di (%)	Arus (A)						
		I_1	I_3	I_5	I_7	I_9	I_{11}	I_{13}
Linier	1,18	0,911	0,004	0,004	0,007	0,006	0,0	0,0
Non linier	72,53	0,875	0,568	0,173	0,126	0,164	0,083	0,024

Tabel 4.6 Data Harmonisa Tegangan pada sisi sekunder transformator

Beban	Pengukuran Harmonisa							
	Tegangan (V)							
Linier	1,51	219,1	2,4	0,5	1,5	1,4	0,9	0,0
Non linier	1,60	216,7	2,6	0,0	1,2	1,7	0,9	0,4

	TH D, (%)	V ₁	V ₃	V ₅	V ₇	V ₉	V ₁₁	V ₁₃
Linier	1,8 1	21 2,8	3,0	1,6	1,3	1,1	0,7	0,0
Non linier	11, 27	22, 2,7	22, 5	10, 6	0,0	3,1	1,6	0,0

B. Hasil Perhitungan

1. Perhitungan THD_i

Hasil perhitungan Total Harmonic Distortion arus (THD_i) menggunakan persamaan (2.2) adalah sebagai berikut:

a. THD_i beban linier pada sisi primer transformator

$$\begin{aligned} \text{THD}_i &= \frac{\sqrt{I_3^2 + I_5^2 + I_7^2 + I_9^2 + I_{11}^2 + I_{13}^2}}{I_1} \times 100 \\ &= \frac{\sqrt{0,0056^2 + 0,014^2 + 0,004^2 + 0,003^2 + 0,004^2 + 0^2}}{0,976} \times 100 \\ &= \frac{\sqrt{0,0031 + 0,002 + 0,000016 + 0,0001 + 0,000016 + 0}}{0,976} \times 100 \\ &= \frac{\sqrt{0,003432}}{0,976} \times 100 \\ &= \frac{0,0585}{0,976} \times 100 \\ &= 5,98\% \end{aligned}$$

b. THD_i beban non linier pada sisi primer transformator

$$\begin{aligned} \text{THD}_i &= \frac{\sqrt{I_3^2 + I_5^2 + I_7^2 + I_9^2 + I_{11}^2 + I_{13}^2}}{I_1} \times 100 \\ &= \frac{\sqrt{0,448^2 + 0,133^2 + 0,081^2 + 0,134^2 + 0,087^2 + 0,034^2}}{0,735} \times 100 \\ &= \frac{\sqrt{0,2007 + 0,0177 + 0,0066 + 0,018 + 0,0076 + 0,0012}}{0,735} \times 100 \\ &= \frac{\sqrt{0,2518}}{0,735} \times 100 \end{aligned}$$

$$= \frac{0,5017}{0,735} \times 100$$

$$= 68,25\%$$

a. THD_i beban linier pada sisi sekunder transformator

$$\begin{aligned} \text{THD}_i &= \frac{\sqrt{I_3^2 + I_5^2 + I_7^2 + I_9^2 + I_{11}^2 + I_{13}^2}}{I_1} \times 100 \\ &= \frac{\sqrt{0,004^2 + 0,004^2 + 0,007^2 + 0,006^2 + 0^2 + 0^2}}{0,911} \times 100 \\ &= \frac{\sqrt{0,000016 + 0,000016 + 0,000049 + 0,000036 + 0 + 0}}{0,911} \times 100 \\ &= \frac{\sqrt{0,000117}}{0,911} \times 100 \\ &= \frac{0,0108}{0,911} \times 100 \\ &= 1,18\% \end{aligned}$$

b. THD_i beban non linier pada sisi sekunder transformator

$$\begin{aligned} \text{THD}_i &= \frac{\sqrt{I_3^2 + I_5^2 + I_7^2 + I_9^2 + I_{11}^2 + I_{13}^2}}{I_1} \times 100 \\ &= \frac{\sqrt{0,568^2 + 0,173^2 + 0,126^2 + 0,164^2 + 0,083^2 + 0,024^2}}{0,875} \times 100 \\ &= \frac{\sqrt{0,3226 + 0,0299 + 0,0159 + 0,0269 + 0,0069 + 0,0006}}{0,875} \times 100 \\ &= \frac{\sqrt{0,4028}}{0,875} \times 100 \\ &= \frac{0,6346}{0,875} \times 100 \\ &= 72,53\% \end{aligned}$$

2. Perhitungan THD_v

Hasil perhitungan Total Harmonic Distortion tegangan (THD_v) menggunakan persamaan (2.3) adalah sebagai berikut:

a. THD_v beban linier pada sisi primer transformator

$$\begin{aligned} \text{THD}_v &= \frac{\sqrt{V_3^2 + V_5^2 + V_7^2 + V_9^2 + V_{11}^2 + V_{13}^2}}{V_1} \times 100 \\ &= \frac{\sqrt{2,4^2 + 0,5^2 + 1,4^2 + 0,9^2 + 0,9^2 + 0^2}}{219,1} \times 100 \\ &= \frac{\sqrt{5,76 + 0,25 + 2,25 + 1,96 + 0,81 + 0}}{219,1} \times 100 \\ &= \frac{\sqrt{11,03}}{219,1} \times 100 \\ &= \frac{3,3211}{219,1} \times 100 \\ &= 1,51\% \end{aligned}$$

b. THD_v beban non linier pada sisi primer transformator

$$\begin{aligned} \text{THD}_v &= \frac{\sqrt{V_3^2 + V_5^2 + V_7^2 + V_9^2 + V_{11}^2 + V_{13}^2}}{V_1} \times 100 \\ &= \frac{\sqrt{2,6^2 + 0^2 + 1,2^2 + 1,7^2 + 0,9^2 + 0,4^2}}{216,7} \times 100 \\ &= \frac{\sqrt{6,76 + 0 + 1,44 + 2,89 + 0,81 + 0,16}}{216,7} \times 100 \\ &= \frac{\sqrt{12,06}}{216,7} \times 100 \\ &= \frac{3,472}{216,7} \times 100 \\ &= 1,60\% \end{aligned}$$

a. THD_v beban linier pada sisi sekunder transformator

$$\begin{aligned} \text{THD}_v &= \frac{\sqrt{V_3^2 + V_5^2 + V_7^2 + V_9^2 + V_{11}^2 + V_{13}^2}}{V_1} \times 100 \\ &= \frac{\sqrt{3^2 + 1,6^2 + 1,3^2 + 1,1^2 + 0,7^2 + 0^2}}{212,8} \times 100 \\ &= \frac{\sqrt{6,76 + 0 + 1,44 + 2,89 + 0,81 + 0,16}}{212,8} \times 100 \\ &= \frac{\sqrt{14,95}}{212,8} \times 100 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} &= \frac{3,866}{212,8} \times 100 \\ &= 1,81\% \end{aligned}$$

b. THD_v beban non linier pada sisi sekunder transformator

$$\begin{aligned} \text{THD}_v &= \frac{\sqrt{V_3^2 + V_5^2 + V_7^2 + V_9^2 + V_{11}^2 + V_{13}^2}}{V_1} \times 100 \\ &= \frac{\sqrt{22,5^2 + 10,6^2 + 0^2 + 3,1^2 + 1,6^2 + 0^2}}{222,7} \times 100 \\ &= \frac{\sqrt{506,25 + 112,36 + 0 + 9,61 + 2,56 + 0}}{222,7} \times 100 \\ &= \frac{\sqrt{630,78}}{222,7} \times 100 \\ &= \frac{25,11}{222,7} \times 100 \\ &= 11,27\% \end{aligned}$$

3. Perhitungan I_{rms}

Hasil perhitungan arus efektif (Inns) menggunakan persamaan (2.4) adalah sebagai berikut:

a. I_{rms} beban linier pada sisi primer transformator

$$\begin{aligned} I_{\text{rms}} &= \sqrt{I_3^2 + I_5^2 + I_7^2 + I_9^2 + I_{11}^2 + I_{13}^2} \\ &= \sqrt{0,976^2 + 0,056^2 + 0,014^2 + 0,004^2 + 0,008^2 + 0,004 + 0^2} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} &= \sqrt{0,952 + 0,003 + 0,0001 + 0,000016 + 0,000064 + 0,000016 + 0} \\ &= \sqrt{0,9551} \\ &= 0,977 \text{ A} \end{aligned}$$

b. I_{rms} beban non linier pada sisi primer transformator

$$I_{\text{rms}} = \sqrt{I_3^2 + I_5^2 + I_7^2 + I_9^2 + I_{11}^2 + I_{13}^2}$$

$$= \sqrt{\frac{0,735^2 + 0,448^2 + 0,133^2 + 0,081^2 + 0,134^2 + 0,087^2 + 0,034^2}{0,54 + 0,20 + 0,017 + 0,0066 + 0,018 + 0,0076 + 0}, 0012}$$

$$= \sqrt{0,792}$$

$$= 0,889 \text{ A}$$

a. I_{rms} beban linier pada sisi sekunder transformator

$$I_{\text{rms}} = \sqrt{I_3^2 + I_5^2 + I_7^2 + I_9^2 + I_{11}^2 + I_{13}^2}$$

$$= \sqrt{0,911^2 + 0,004^2 + 0,004^2 + 0,007^2 + 0,006^2 + 0^2 + 0^2}$$

$$= \sqrt{0,8299 + 0,000016 + 0,000016 + 0,000049 + 0,000036 + 0 + 0}$$

$$= \sqrt{0,83}$$

$$= 0,911 \text{ A}$$

b. I_{rms} beban Non inier pada sisi sekunder transformator

$$I_{\text{rms}} = \sqrt{I_3^2 + I_5^2 + I_7^2 + I_9^2 + I_{11}^2 + I_{13}^2}$$

$$= \sqrt{0,875^2 + 0,568^2 + 0,173^2 + 0,126^2 + 0,164^2 + 0,083^2 + 0,024^2}$$

$$= \sqrt{0,76 + 0,32 + 0,0299 + 0,0159 + 0,0269 + 0,0069 + 0,0006}$$

$$= \sqrt{1,1684}$$

$$= 1,08 \text{ A}$$

4. Perhitungan V_{rms}

Hasil perhitungan tegangan efektif (V_{rms}) menggunakan persamaan (2.5) adalah sebagai berikut:

a. V_{rms} beban linier pada sisi primer transformator

$$V_{\text{rms}} = \sqrt{V_3^2 + V_5^2 + V_7^2 + V_9^2 + V_{11}^2 + V_{13}^2}$$

$$= \sqrt{219,1^2 + 2,4^2 + 0,5^2 + 1,5^2 + 1,4^2 + 0,9^2 + 0^2}$$

$$= \sqrt{\frac{48004,81 + 5,76 + 0,25 + 2,25 + 1,96 + 0,81 + 0}{2,25 + 1,96 + 0,81 + 0}}$$

$$= \sqrt{4801,84}$$

$$= 219,12 \text{ V}$$

b. V_{rms} beban non linier pada sisi primer transformator

$$V_{\text{rms}} = \sqrt{V_3^2 + V_5^2 + V_7^2 + V_9^2 + V_{11}^2 + V_{13}^2}$$

$$= \sqrt{216,7^2 + 2,6^2 + 0^2 + 1,2^2 + 1,7^2 + 0,9^2 + 0,4^2}$$

$$= \sqrt{46958,89 + 6,76 + 0 + 1,44 + 2,89 + 0,81 + 0,16}$$

$$= \sqrt{46970,95}$$

$$= 216,72 \text{ V}$$

a. V_{rms} beban linier pada sisi sekunder transformator

$$V_{\text{rms}} = \sqrt{V_3^2 + V_5^2 + V_7^2 + V_9^2 + V_{11}^2 + V_{13}^2}$$

$$= \sqrt{212,8^2 + 3,0^2 + 1,6^2 + 1,3^2 + 1,1^2 + 0,7^2 + 0^2}$$

$$= \sqrt{45283,84 + 9 + 2,56 + 1,69 + 1,21 + 0,49 + 0}$$

$$= \sqrt{45298,79}$$

$$= 212,83 \text{ V}$$

b. V_{rms} beban linier pada sisi sekunder transformator

$$V_{\text{rms}} = \sqrt{V_3^2 + V_5^2 + V_7^2 + V_9^2 + V_{11}^2 + V_{13}^2}$$

$$= \sqrt{222,7^2 + 22,5^2 + 10,6^2 + 0^2 + 3,1^2 + 1,6^2 + 0^2}$$

$$= \sqrt{49595,29 + 506,25 + 112,36 + 0 + 9,61 + 2,56 + 0}$$

$$= \sqrt{50226,07}$$

$$= 224,11 \text{ V}$$

C. Pembahasan

1. Analisa Perbandingan Beban Linier dan Non Linier

Data dari tabel di atas menunjukkan bahwa nilai Distorsi Harmonik Total (THD) untuk arus dan tegangan pada beban non-linear umumnya lebih tinggi dibandingkan dengan beban linear. Di sisi primer transformator, THD untuk beban linear adalah 5,99%, sedangkan untuk beban non-linear adalah 68,25%. THDV untuk beban linear adalah 1,51% dan untuk beban non-linear adalah 1,60%. Di sisi sekunder transformator, THD untuk beban linear adalah 1,18% dan untuk beban non-linear adalah 72,53%. THDV untuk beban linear adalah 1,81% dan untuk beban non-linear adalah 11,27%. Hal ini disebabkan oleh beban non-linear yang mengandung harmonik. Untuk beban linear, distorsi arus harmonik total (THD/I) di input transformator lebih tinggi daripada output, sementara untuk beban non-linear, kebalikannya. Nilai distorsi tegangan harmonik total (THDV) untuk beban linear dan non-linear pada input transformator relatif lebih rendah dibandingkan dengan output.

2. Analisa Rugi Daya Aktif

Untuk mencari rugi daya aktif pada transformator dapat dicari dengan menggunakan persamaan (2.13) yaitu $AP = PP - ps$. Maka didapatlah hasil pengukuran dari tabel 4.1 dan tabel 4.2.

Pada beban linier dengan THD_i 1,18 % dan THDV 1,81 %,

Sehingga,

$$\Delta P = 0,213 \text{ kW} - 0,194 \text{ kW}$$

$$= 0,019 \text{ kW}$$

Pada beban non linier dengan THD_i 72,53 % dan THDV_v 11,27 % maka

$$\Delta P = 0,212 \text{ kW} - 0,188 \text{ kW}$$

$$= 0,024 \text{ kW}$$

Dari hasil perhitungan tersebut diatas dapat dianalisa berdasarkan standar IEEE 519 yang mengatakan bahwa normalnya rugi daya sebuah transformator akibat harmonisa tidak lebih dari 10 % total rating transformator. Jadi dari spesifikasi transformator yang digunakan sebesar 1 A maka nilai maksimum rugi daya transformator adalah sebesar 0,022 kW. Pada beban linier dihasilkan rugi daya aktif sebesar 0,019 kW yang artinya rugi daya aktif tersebut masih dalam tahap wajar karena tidak melebihi rugi daya aktif transformator sebesar 0,022 kW. Kemudian pada beban non linier dihasilkan rugi daya aktif sebesar 0,024 kW yang artinya melebihi batas standar nilai rugi daya transformator. Jadi beban non linier dapat menyebabkan THD meningkat dan dari analisa tersebut rugi daya aktif transformator akibat pengaruh harmonisa pada beban non linier melampaui batas standar yang telah ditentukan yaitu sebesar 10 % dari total rating transformator, itu semua dapat menyebabkan transformator menjadi panas (overheating).

V. KESIMPULAN

Hasil pengukuran dan perhitungan menunjukkan perbedaan yang signifikan dalam Distorsi Harmonik Total (THD) antara beban linear dan non-linear. Beban non-linear menunjukkan tingkat THD yang lebih tinggi baik untuk arus maupun tegangan dibandingkan dengan beban linear. Secara khusus, THD_i di sisi primer trafo adalah 5,99% untuk beban linear dan 68,25% untuk beban non-linear, sedangkan THDV adalah 1,51% untuk beban linear dan 1,60% untuk beban non-linear. Demikian pula, di sisi sekunder, THD_i adalah 1,18% untuk beban linear dan 72,53% untuk beban non-linear, dengan THDV pada 1,81% untuk beban linear dan 11,27% untuk beban non-linear. Perbedaan ini terutama disebabkan oleh keberadaan harmonisa

pada beban non-linear. Kehadiran harmonisa dari beban non-linear mengakibatkan kerugian daya aktif sebesar 0,024 kW pada trafo, yang melebihi standar IEEE 519 sebesar 0,022 kW (lebih dari 10% dari rating total trafo). Kerugian daya yang meningkat ini berpotensi menyebabkan trafo overheating. Sebaliknya, beban linear menunjukkan kerugian daya aktif yang lebih rendah yaitu 0,019 kW, yang masih dalam batas aman.

DAFTAR PUSTAKA

- F. Suryatmo, 2023, Teknik Listrik Instalasi Penerangan Jakarta, Renika Cipta.
- Hamzah Berahim, Ir. Pengantar Teknik Tenaga Listrik. Andi Offset Yogyakarta, 2023.
- Iskandar, ST. Sistem Pembangkit pada Sarana Bantu Navigasi Pelayaran, 2022.
- Instalasi Listrik Arus Kuat n, Bina Cipta Bandung, 2022
- Moh. Taib Sutan Sa'ti. Fisika. CV. Mandar Maju. Peraturan Umum Instalasi Listrik, LIPI, Jakarta 2022.
- M. G - Say., 2022., Electrical Engineering Reference Handbook, 13 Thed, London, Bufferworth.
- Marjunikadang, Jon. 2022. Studi efek harmonisa akibat penggunaan lampu hemat energi (LHE) di rumah tinggal atau rumah toko (ruko). Other thesis, Petra Christian University.
- Peraturan Umum Instalasi Listrik Indonesia 2020 (PUIID, Panitia Revisi PUIL Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia, Jakarta.
- Philips, 2022., Compact Lighting Catalogue, Jakarta.
- P. Van Harten & E. Setiawan Ir, 2022., Instalasi Listrik Arus Kuat I, Bandung, Bina Cipta.
- Roger C. Dugan. Mark F. McGranaghan, Surya Santoso, H. Wayne Beaty. 2022. Electrical Power System Quality, Second Edition. New York : McGraw- Hill.
- Terrell Croft; Clifford C. Corr; John Watt, 2021, American Electricians Hand Book,
- Terrell Croft; Clifford C. Corr; John Watt, 2021, American Electricians Hand Book,
- Zuhal, 1995. Dasar Teknik Tenaga Listrik dan Elektronika Daya. Jakarta : PT. Gramedia Pustaka Utama
- Syafrudin, Dahaman. 2021. Effect of harmonic current componen to active power losses on power transformer.Proceeding 10th International Conference on Quality in Research (QIR). Depok : Engineering Center University of Indonesia