

PERHITUNGAN EFISIENSI TRANSFORMATOR

Oleh: Hery Setijasa¹ dan Triyono²

^{1,2}Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Semarang

Jl. Prof. Sudarto, Tembalang, Semarang, 50275

Email : hery.setijasa@gmail.com, triyonopolines60@gmail.com

Abstrak

Pembahasan pokok masalah dilakukan guna mengetahui efisiensi transformator dan unsur-unsur yang mempengaruhinya. Transformator daya merupakan perangkat listrik yang penting karena berkaitan langsung dengan transmisi dan distribusi tenaga listrik. Dalam praktek selalu muncul masalah yaitu terdapat rugi-rugi pada transformator berupa rugi tembaga dan rugi inti sehingga nilai efisiensi transformator di bawah 100 %. Kedua unsur rugi-rugi itu berpengaruh dominan terhadap efisiensi transformator. Rugi inti itu diakibatkan oleh histeresis dan arus eddy yang bergantung pada frekuensi sinyal sumber tegangan dan jenis bahan inti. Rugi tembaga itu dihasilkan oleh dan bergantung pada arus beban dan resistansi belitan. Distorsi harmonisa yang muncul ketika transformator melayani beban juga merupakan unsur rugi daya pada transformator yang dapat menurunkan kinerja serta kapasitas kerja transformator. Dampak pengaruh semua unsur tersebut dapat dilihat dari nilai persentase (%) efisiensi transformator.

Kata kunci : efisiensi, transformator, rugi inti, rugi tembaga, harmonisa.

Abstract

The main problem is discussed in order to determine the efficiency of transformer and elements that influence it. Power transformers are important electrical devices because they are directly related to the transmission and distribution of electric power. In practice, problems always arise, namely that there are losses in the transformer in the form of copper losses and core losses so that the transformer efficiency value is below 100%. These two elements of losses have a dominant influence on transformer efficiency. The core loss is caused by hysteresis and eddy currents which depend on the signal frequency of the voltage source and type of core material. The copper loss is generated by and dependson the load current and winding resistance. Harmonic distortion that appears when a transformer serves a load is also an element of power loss in the transformer which can reduce the performance and work capacity of the transformer. The impact of the influence of all these elements can be seen from the percentage value (%) of transformer efficiency.

Keywords: efficiency, transformer, core loss, copper loss, harmonics.

1. Pendahuluan

Di era teknologi dan pertumbuhan penduduk yang pesat, kebutuhan listrik akan meningkat, sehingga jaringan listrik akan bertambah luas dan kebutuhan energi listrik yang meningkat Dalam hal ini, analisis saat ini merupakan salah satu solusi utama untuk menentukan perencanaan sistem tenaga masa depan. Pada umumnya dalam pendistribusian energi listrik akan selalu terjadi rugi-rugi.

Ada dua jenis rugi-rugi pada trafo , rugi-rugi teknis dan rugi-rugi non-teknis. Kerugian non teknis yang disebabkan oleh hal selain kinerja sistem, seperti kecelakaan, bencana alam, kelalaian manusia, dan sebagainya.

Selama ini rugi-rugi teknis disebabkan oleh dua hal, yaitu rugi-rugi tembaga (coper losses) dan rugi-rugi inti besi (core losses). Rugi-rugi lain berupa rugi arus eddy dan rugi harmonisa yang dapat menyebabkan panas berlebih dan kelelahan

isolasi .Rugi-rugi teknis trafo menyebabkan rendahnya efisiensi pemasok daya.

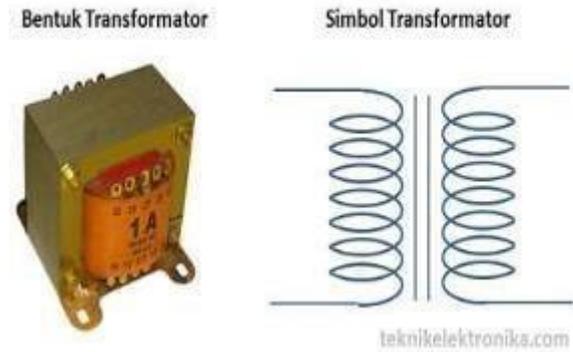
2. Studi Pustaka

2.1. Transformator

Trafo adalah suatu alat listrik yang dapat mengubah besaran tegangan ke tingkat yang lain, menurunkan tegangan AC (alternating current/AC) dari 220V menjadi 12V, menaikkan tegangan dari 110V menjadi 220V,dan sebagainya. Transformator beroperasi berdasarkan prinsip induksi elektromagnetik. Transformator memegang peranan yang sangat penting dalam pendistribusian energi listrik. Sebuah transformator menaikkan tegangan pembangkit listrik PLN menjadi ratusan kilovolt (kV) untuk distribusi, dan kemudian transformator lain menurunkan tegangan ke tegangan yang dibutuhkan oleh semua rumah dan kantor biasanya menggunakan 220/380 Volt.

2.2. Prinsip Kerja Transformator

Trafo sederhana pada dasarnya terdiri dari 2 lilitan atau lilitan berinsulasi, yaitu primer dan sekunder. Kebanyakan transformator memiliki lilitan kumparan terisolasi di sekitar sepotong besi yang disebut inti. Gambar 2.1. menunjukkan bentuk dan simbol transformator

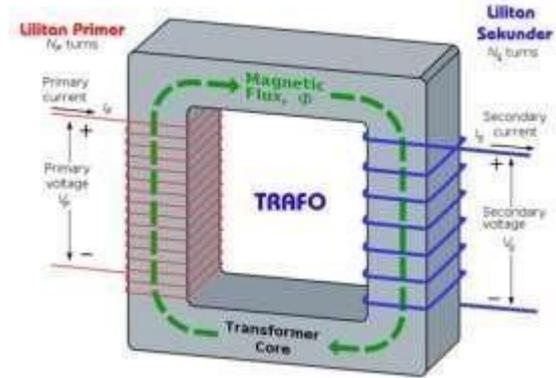


Gambar 2.1. Bentuk dan Simbol Transformator

Ketika kumparan primer diberi energi oleh arus bolak-balik, medan magnet atau fluks dihasilkan di sekitar kumparan. Kekuatan medan magnet dipengaruhi oleh jumlah arus yang mengalir melaluinya. Semakin besar arus, semakin besar medan magnet. Osilasi medan magnet di sekitar kumparan pertama (primer) menghasilkan gaya gerak listrik (EMF) pada kumparan kedua (sekunder) dan daya ditransfer dari primer ke sekunder. Dengan demikian terjadi perubahan level tegangan baik dari tegangan rendah ke tegangan tinggi maupun dari tegangan tinggi ke tegangan rendah.

Sementara inti besi dari sebuah transformator umumnya terdiri dari kumpulan lembaran besi tipis yang diisolasi dan diikat berlapis-lapis untuk memudahkan lewatnya fluks akibat arus dalam kumparan. Gambar 2.2.

menunjukkan fluks yang dihasilkan dalam transformator.



Gambar 2.2. Fluksi pada Transformator

2.3. Bagian Bagian Transformator

1) Inti Besi

Inti besi berfungsi untuk mempermudah jalan fluksi, yang ditimbulkan oleh arus listrik yang melalui kumparan. Inti besi ini terbuat dari lempengan lempengan besi tipis terisolasi, untuk mengurangi panas (sebagai rugi rugi besi) yang ditimbulkan oleh arus eddy.



gambar.2.3. Inti Besi Transformator

2) Kumparan Transformator

Kumparan trafo adalah beberapa lilitan kawat berisolasi akan membentuk suatu kumparan. Kumparan itu diisolasi baik terhadap inti besi maupun terhadap

kumparan lain dengan isolasi padat seperti karton, pertinax dan lain lain.



Gambar2.4. Kumparan Transformator

Umumnya pada trafo terdapat kumparan primer dan kumparan sekunder. Bila kumparan primer dihubungkan dengan tegangan/ arus bolak balik maka pada kumparan tersebut timbul fluksi. Fluksi ini akan menginduksikan tegangan, dan bila pada rangkaian sekunder ditutup maka akan menghasilkan arus pada kumparan ini. Jadi kumparan sebagai alat transformasi tegangan arus.

2.4. Rugi-Rugi Transformator

Pada dasarnya ketika energi listrik yang tembaga juga tidak konstan karena masuk ke trafo tidak akan sama dengan tergantung pada nilai beban. energi listrik yang keluar dari trafo. Hal ini disebabkan rugi-rugi, yaitu arus yang hilang ketika melewati transformator. Rugi-rugi ini dapat dibedakan menjadi dua, yaitu: rugi inti (core) dan rugi tembaga (tembaga).

Ketika kondisi beban nol atau nol, kerugian keuntungan hanya kerugian di inti. Beban variabel tidak berpengaruh pada kehilangan inti. Jumlah core loss antara tanpa beban dan beban penuh akan terus memiliki nilai yang sama.

Secara umum total rugi-rugi pada transformator dirumuskan pada persamaan berikut :

$$P_{losses} = P_{copper} + P_{core} \quad (1)$$

Dimana :

P_{losses} = Total Rugi-rugi transformator (W)

P_{copper} = Rugi-rugi kumparan transformator (W)

P_{core} = Rugi-rugi Inti besi transformator (W)

Rugi yang disebabkan oleh arus yang mengalir pada kawat tembaga. Rugi-rugi tembaga akan sebanding dengan besarnya beban, sehingga meningkatkan arus beban juga akan meningkatkan rugi-rugi tembaga. Kerugian ini dapat ditulis sebagai berikut:

$$P_{cu} = I_p^2 \cdot R_1 + I_s^2 \cdot R_2 \quad (2)$$

Dimana :

P_{cu} = rugi – rugi tembaga (watt)

I_p = arus primer (A)

I_s = arus sekunder (A)

R_1 = resistansi kumparan primer (Ω)

R_2 = resistansi kumparan sekunder (Ω)

Rumus di atas hanya untuk tujuan perkiraan. Karena arus beban terus berubah, rugi

1. Rugi Inti

Kenaikan nilai core losses umumnya tidak terlalu besar. Itu tergantung pada jenis rolling dan inti besi yang digunakan serta desain inti transformator.

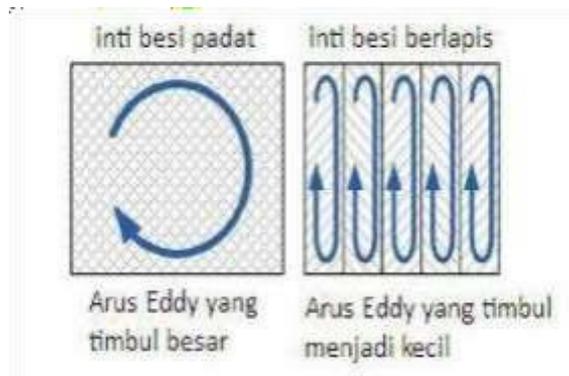
2. Rugi Tembaga

Komponen dari rugi tembaga pada trafo adalah I^2R , dimana arus akan memiliki nilai yang lebih tinggi karena adanya komponen harmonik. Sama halnya dengan nilai resistor (R), ketika terjadi distorsi harmonik, nilai R juga berubah menjadi nilai resistansi (R_{dc}) plus (R_{ac}) biasanya dilambangkan dengan (R_c), adalah nilai resistansi yang ditambahkan nilai tetap karena efek kulit (skin effect) dan efek kedekatan (close

effect) karena adanya frekuensi harmonik, sehingga nilai resistor dapat diketahui untuk frekuensi harmonik driver selama distorsi (Rh).

3. Rugi Arus Eddy

Kerugian karena eddy current disebabkan oleh aliran sirkulasi arus yang menginduksi logam. Perbedaan induksi arus eddy di dalam inti besi tunggal dengan inti besi berlapis dapat dilihat pada gambar berikut ini



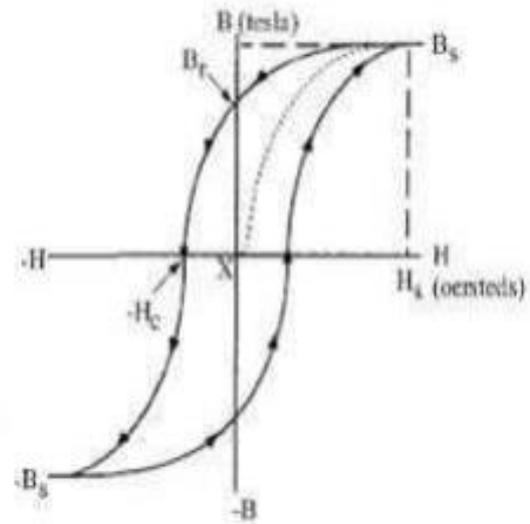
Gambar 2.5. Arus Eddy pada inti besi utuh dan inti besi berlapis

Rugi-rugi arus eddy harus diperhatikan karena distorsi arus beban yang relatif lebih tinggi. Dengan arus dengan frekuensi harmonik yang lebih tinggi, kerugian dalam inti meningkat secara proporsional dengan kuadrat arus beban efektif dan kuadrat frekuensi. Konsentrasi arus eddy tertinggi pada kedua ujung belitan transformator karena pengaruh rapat medan magnet bocor pada belitan. Peningkatan rugi arus eddy akibat harmonik berpengaruh signifikan terhadap suhu operasi transformator. Hal ini dapat dilihat pada rugi daya aktual (watt) akibat arus eddy ini.

4. Histerisis losses

Kerugian histeresis disebabkan oleh gesekan molekul terhadap aliran gaya magnet di inti besi. Gesekan molekul dalam inti besi menghasilkan panas. Panas yang dilepaskan merupakan kehilangan energi, karena

sebagian kecil dari energi listrik tidak ditransfer tetapi diubah menjadi panas.



Gambar2.6. Grafik Histerisis Umum
Panas yang tinggi juga dapat merusak trafo, sehingga trafo yang mentransmisikan daya listrik yang besar harus didinginkan dengan pendingin. Biasanya digunakan oli khusus untuk mendinginkan trafo ini. Transformator dirancang untuk beroperasi dalam rentang frekuensi tertentu. Mengurangi frekuensi arus dapat meningkatkan rugi-rugi histeresis dan mengurangi daya (VA) transformator.

5. Harmonisa

Harmonis adalah gangguan yang terjadi pada sistem distribusi tenaga listrik akibat distorsi gelombang arus dan tegangan. Distorsi gelombang arus dan tegangan disebabkan oleh pembentukan gelombang multi-cincin dari frekuensi dasar. Salah satu efek umum dari gangguan harmonik adalah panas berlebih pada kabel netral dan trafo dan munculnya kehilangan daya pada trafo. Frekuensi harmonik yang lebih tinggi dari frekuensi kerja akan mengurangi efisiensi atau kehilangan daya. Pada dasarnya, transformator dirancang untuk memberi daya pada beban dengan kerugian sekecil mungkin pada frekuensi dasar. Distorsi

harmonik arus dan tegangan akan menyebabkan efek termal yang signifikan. Tegangan pada transformator melebihi 5% menunjukkan bahwa transformator mengalami perlambatan karena harmonik.

3. Pembahasan

3.1. Perhitungan Rugi-Rugi

Rugi-rugi daya transformator berupa rugi inti atau rugi besi dan rugi tembaga yang terdapat pada kumparan primer maupun kumparan sekunder. Untuk memperkecil rugi-rugi tembaga harus diambil kawat tembaga yang penampangnya cukup besar untuk mengalirkan arus listrik yang diperlukan.

Pada keadaan tanpa beban, besarnya daya adalah :

$$P = V I \cos\phi \dots\dots\dots (3)$$

Dimana $\cos \phi$ = faktor kerja

Dari persamaan diatas juga didapat

$$S = V \cdot I$$

Maka

$$\cos\phi = \frac{P(W)}{S(VA)} \dots\dots\dots (4)$$

a) Perhitungan Rugi Tembaga

Rugi tembaga adalah rugi yang disebabkan karena adanya arus beban yang mengalir pada kawat tembaga.

Besarnya rugi tembaga yang dihasilkan adalah sebesar:

$$P_{cu} = I^2 R \dots\dots\dots (5)$$

Karena arus beban berubah-ubah, maka rugi tembaga juga tidak konstan, tergantung pada beban. Besarnya rugi-rugi tembaga pada setiap perubahan beban dapat ditentukan dengan persamaan :

$$P_{cu} = I^2 R$$

$$P_1 = I_1^2 \cdot R$$

$$P_2 = I_2^2 \cdot R$$

$$\frac{P_1}{P_2} = \frac{I_1^2 R}{I_2^2 R}$$

$$\frac{P_1}{P_2} = \frac{I_1^2}{I_2^2}$$

$$S_1 = V \cdot I_1$$

$$S_2 = V \cdot I_2$$

$$\frac{S_1}{S_2} = \frac{V \cdot I_1}{V \cdot I_2}$$

$$\frac{S_1}{S_2} = \frac{I_1}{I_2}$$

$$\frac{P_1}{P_2} = \left(\frac{I_1}{I_2}\right)^2 = \left(\frac{S_1}{S_2}\right)^2 = \frac{I_1^2}{S_1 I_2} = \frac{I_2}{S_2}$$

$$\frac{P_1}{P_2} = \left(\frac{S_1}{S_2}\right)^2$$

$$P_2 = \left(\frac{S_2}{S_1}\right)^2 \cdot P_1$$

$$P_{t2} = \left(\frac{S_2}{S_1}\right)^2 \cdot P_{t1} \dots\dots\dots (6)$$

Keterangan

Pt2 = rugi-rugi tembaga pada saat pembebanan tertentu

Pt1 = rugi-rugi tembaga beban penuh

S2 = beban yang dioperasikan

S1 = nilai pengenalan

b) Perhitungan Rugi Inti(Besi)

rugi inti (rugi besi) dalam keadaan normal selalu konstan tidak tergantung terhadap besarnya perubahan beban dan rugi ini dapat dikelompokkan dalam dua bagian yaitu:

1. Rugi Histeresis (Ph)

Rugi ini akibat dari inti besi menerima fluksi bolak-balik, yang dinyatakan dengan persamaan :

$$Ph = K_h \cdot f \cdot B_{mask}^{1.6} \text{ Watt} \dots\dots\dots (7)$$

Keterangan :

Ph = rugi arus pusar [w/kg]

Kh = konstanta material inti

f = frekuensi [Hz]

Bmask = nilai puncak medan magnet [T]

2. Rugi Eddy Current (Pe)

Rugi Eddy Current terjadinya disebabkan pusar pada inti besi. Dapat dinyatakan dengan persamaan berikut ini:

$$Pe = K_e \cdot f^2 \cdot B^2_{mask} \dots\dots\dots (8)$$

Keterangan :

Pe = rugi arus pusar [w/kg]

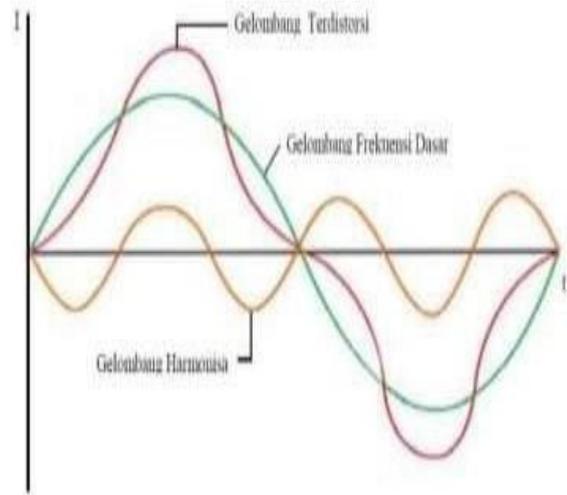
Ke = konstanta material inti

F = frekuensi [Hz]

Bmask = nilai puncak medan magnet [T]

3.2. Harmonisa

Harmonisa yang ditimbulkan oleh peralatan yang digunakan menyebabkan perubahan pada bentuk gelombang. Berikut adalah contoh perbandingan dari bentuk gelombang dasar dan gelombang harmonisa (pendistorsi).



Gambar 3.1. Uraian Gelombang Terdistorsi Menjadi Frekuensi Dasar Dan Harmonik

Tingkat cacat dari harmonisa arus seringkali dinyatakan dengan Total Harmonic Distortion (THD). Total Harmonic Distortion digunakan sebagai ukuran untuk melihat berapa besar pengaruh keseluruhan adanya 9 harmonisa terhadap sinyal sinus. Pengaruh keseluruhan harmonisa diperbandingkan terhadap komponen fundamental, karena komponen fundamental yang memberikan transfer energi nyata. Untuk tegangan nonsinus, THD didefinisikan sebagai berikut:

$$THD_V = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^N V_h^2}}{V_1}$$

Untuk arus nonsinus, THD didefinisikan sebagai

$$THD_i = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^N I_h^2}}{I_1} \dots\dots\dots (9)$$

Dimana

Vh ; Ih = komponen harmonisa.

V1 ; I1 = komponen fundamental.

N = harmonisa maksimum.

H = orde harmonisa.

Karena begitu besar dan bervariasi dampak harmonisa pada peralatan dan sistem secara teknis dan ekonomis maka

diperlukan standarisasi harmonisa. Standar yang mengatur distorsi harmonisa ini adalah standar IEEE 512-1992, standar ini mengatur batasan harmonisa yang diijinkan.

Dimana I_h , rms merupakan amplitude dari komponen harmonisa dan I_{rms} adalah nilai dari total harmonisa, yang dapat direpresentasikan sebagai berikut :

$$I_{rms} = \sqrt{\sum_{h=1}^{\infty} I_{h,rms}^2} \dots\dots(10)$$

Total power factor

$$PF = \frac{P}{V_{1,rms} I_{1,rms} \sqrt{1 + (\frac{THD_i}{100\%})^2}} \dots\dots(11)$$

Total power faktor disebut juga dengan power faktor nyata. Pada persamaan dibawah ini merupakan total power faktor yang memiliki dua komponen. Komponen pertama disebut perpindahan power faktor

$$PF_{disp} = \frac{P}{V_{1,rms} I_{1,rms}} \dots\dots(12)$$

Komponen kedua disebut distorsi power faktor yang merupakan hasil dari komponen arus harmonisa :

$$PF_{dist} = \frac{1}{\sqrt{1 + (\frac{THD_i}{100\%})^2}} \dots\dots(13)$$

Jika tegangan memiliki komponen harmonisa, maka distorsi power factor akan menghasilkan 2 produk seperti persamaan dibawah ini, satu untuk tegangan dan satu untuk arus

$$PF_{dist} = \frac{1}{\sqrt{1 + (\frac{THD_v}{100\%})^2}} \times \frac{1}{\sqrt{1 + (\frac{THD_i}{100\%})^2}}$$

3. 3. Efisiensi Transformator

Efisiensi menunjukkan tingkat keefisienan kerja suatu peralatan dalam hal ini transformator yang merupakan perbandingan rating output (keluaran) terhadap input (masukan) dan dinyatakan dengan persamaan dibawah ini :

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100 \%$$

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{out} + \sum \text{rugi-rugi}} \times 100 \% \dots\dots(14)$$

Keterangan : P_{in} = Daya input transformator
 P_{out} = Daya output transformator
 $\sum \text{rugi-rugi}$ = $P_{cu} + P_i$

Jika misalkan daya keluaran adalah $V_2 I_2 \cos \theta$ dan rugi-rugi adalah rugi besi (P_i) sedangkan rugi tembaga (P_{cu}) dinyatakan dengan $I_2^2 R_{2ek}$, maka efisiensi dapat dinyatakan :

$$\eta = \frac{V_2 I_2 \cos \Phi}{V_2 I_2 \cos \Phi + V_2^2 R_{2ek} + P_i}$$

$$\eta = \frac{V_2 \cos \Phi}{V_2 \cos \Phi + V_2^2 R_{2ek} + \frac{P_i}{I_2}}$$

agar efisiensi dapat maksimum maka

$$\frac{d}{dI_2} (I_2^2 R_{2ek} + \frac{P_i}{I_2}) = 0$$

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

$$P_i = I_2^2 R_{2ek} = P_{cu} \dots\dots(15)$$

Artinya :

Untuk beban tertentu, efisiensi maksimum terjadi ketika rugi tembaga = rugi inti.

Contoh perhitungan efisiensi :

Contoh 1

Sebuah trafo 5kV mempunyai core loss 35 W dan loss copper 40 W pada saat beban penuh. Dioperasikan pada rating kVA dan faktor daya 0,8 lagging selama 6 jam, one-half rated kVA dan faktor daya lagging untuk 12 jam dan tanpa beban selama 6 jam. Berapa efisiensi sepanjang harinya?

Jawab

Cu loss beban penuh = 40 W
 Cu loss beban penuh untuk 6 jam
 = 6 X 40 = 240 Wh
 Co loss setengah beban penuh
 = (1/20)² X 40 = 10 W
 Cu loss setengah beban penuh untuk 12 jam
 = 12 X 10 = 120 Wh
 Total Cu loss untuk 24 jam
 = 240+120 = 360Wh = 0,36 kWh
 Iron loss untuk 24 jam
 = 24X35=840Wh = 0,84 kWh
 Total loss dalam satu hari
 = 0,36 + 0,84 = 1,2 kWh
 Energi output trafo dalam 24 jam:
 = (6 X output beban penuh) + (12 X
 setengah beban penuh)
 = 6 (5 X 0,8) + 12 (2,5 X 0,5)
 = 39 kWh
 η sepanjang hari
 = 39/(39+1,2) = 0,97 atau 97%

Contoh 2

Sebuah trafo distrbusi 5 kVA mempunyai efisiensi beban penuh saat p.f 95 %, copper dan iron losses bernilai sama. Hitung efisiensi sepanjang hari jika pembebanan selama 24 jam sebagai berikut:

Tidak berbeban selama 10 jam, seperempat beban selama 7 jam, setengah selama 5 jam, beban penuh selama 2 jam. Faktor daya beban diasumsikan unity.

Hitung efisiensi sepanjang hari dari sebuah trafo 15 kVA yang memiliki efisiensi maksimum 98% dengan faktor daya unity dan berbeban sebagai berikut :

12 jam – 2 kW 0,5 pf lag
 6 jam – 12 kW 0,8 pf lag
 6 jam – tidak bebean

Jawab

Output = 15 X 1 = 15 kW
 Input = 15/0,98

Losses = (15 – 15/0,98)
 = 0,306 kW = 306 W

Saat efisiensi maksimum, antara losses Cu dan losses iron bernilai sama.

Cu loss saat 15 kVA
 = 306/2 = 153 W

Iron loss = 153 W
 2 kW saat 0,5 pf = 4 kVA

Cu loss saat 4 kVA
 = 153 (4/15)² = 10,9 W

Cu loss selama 12 jam
 = 12 X 10,9 = 131 W

12 kW saat 0,8 pf
 = 12/0.8 = 15 kVA

Cu loss saat 15 kVA = 153W

Cu loss selama 6 jam
 = 6 X 153 = 918 Wh

Total Cu loss selama 24 jam
 = 131 + 918 = 1050 Wh = 1,05 kWh

Iron loss selama 24 jam
 = 24 X 153 = 3,672 Wh = 3,672 kWh

Output selama 24 jam
 = (2 X 12) + (6 X 12) = 96 kWh

Input dalam 24 jam
 = 96 + 1,05 + 3,672 = 100,72 kWh

η sepanjang hari
 = 96 X100/100,72 = 95,3%

4. Penutup

4.1. Kesimpulan

1. Rugi-rugi pada transformator terdiri dari: rugi tembaga, rugi inti , rugi arus eddy, dan rugi histerisis serta gangguan lain berupa distorsi harmonisa.
2. Rugi-rugi dapat menyebabkan turunnya nilai efisiensi karena besarnya nilai rugi-rugi berbanding terbalik dengan efisiensi.
3. Rugi inti terdiri atas rugi arus eddy dan rugi histerisis, sehingga nilai dari rugi inti adalah penjumlahan dari rugi arus eddy dan rugi histerisis
4. Semakin besar beban yang diterima oleh transformator, menyebabkan rugi-rugi menjadi besar dan menyebabkan temperatur

dari transformator meningkat. Hal ini dapat menyebabkan rugi-rugi menjadi besar sehingga efisiensi transformator menurun. Efisiensi maksimum terjadi ketika rugi tembaga sama dengan rugi inti pada beban tertentu.

5. Harmonisa memicu frekuensi harmonik lebih tinggi dari pada frekuensi kerja sehingga menurunkan efisiensi transformator.

4.2. Saran

1. Membuat inti dalam bentuk lembaran-lembaran yang dilaminasi dan saling diisolasi satu sama lainnya untuk mengurangi rugi arus pusar (eddy).

2. Mengurangi beban pada transformator untuk mengurangi rugi-rugi akibat beban penuh dengan cara paralel transformator sehingga beban tidak dipikul sendirian.

DAFTAR PUSTAKA

Agusman. C, 2011, *Analisa Perhitungan Rugi-Rugi Daya Transformator Karena Harmonisa*, Depok, Universitas Indonesia.

Akhmad Jamaah. F, 2013, *Pengaruh Distorsi Harmonisa Terhadap Penurunan Kapasitas Daya Transformator Distribusi 3 Fasa 400 kVA di Politeknik Negeri Semarang*, Politeknik Negeri Semarang.

Darma, S, Alferon, H, 2021, *Analisa Perhitungan Efisiensi dan Rugi-Rugi Pada Transformator Distribusi Kilang Fraksinasi PT. Perta -Sanitan Gas*,

Jurnal Teknik Elektro, 11(2), 32-44, <https://doi.org/10-36546/jte.v11i2.491>.

Efendy Luthfe, 2005, *Analisis Rugi-Rugi Pada Transformator Daya Akibat Harmonisa*, Teknik Elektro, Universitas Indonesia.

I. Wayan Rinas, 2012, *Studi Analisis Losses dan Derating Akibat Pengaruh THD Pada Gardu Transformator Daya Di Fakultas Teknik Universitas Udayana*, Teknik Elektro, Vol.11, No.1, Januari-Juni 2012.

Johanes Ohoiwutun, M, 2016, *Analisis Rugi Daya Transformator 100 kVA Gardu Rufe Pantai di PT. PLN Wilayah Papua dan Papua Barat Area Sorong*.

Urnaen Jemjem, *Pengaruh Harmonisa Pada Rugi-Rugi Daya Sistem Tenaga Listrik*, PT.PLN P3B Bali.

Anonim, 2014, *Rugi-Rugi Pada Transformator*, diakses 30 september 2023 dari https://diaryelektro.blogspot.com/2014/07/rugi-rugi_pada_transformator.

Djukarna, 2013, *Transformator*, diakses 30 september 2023 dari <https://djukarna.wordpress.com/2013/10/transformator>.

Hari, 2016, *Kerugian-Kerugian Dan Efisiensi Kerja Transformator*, Harianja Uniks, diakses 30 september 2023 dari https://www.uniksharianja.com/2016/02/kerugian_kerugian_dan_efisiensi_kerja_transformator.html.

IEEE Std 519-1992, *IEEE Recommended Practices and Requirements for Harmonic Controll Power System*.