

EVALUASI PENENTUAN RUGI-RUGI TRANSFORMATOR DALAM PENGARUH ARUS NON-SINUSOIDAL

Erwin Dermawan¹, Arini Marthalia²

¹⁾²⁾ Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Jakarta
Jl. Cempaka Putih Tengah 27 Jakarta Pusat (10510)
Email: Erwin.dermawan@ftumj.ac.id, marthaliaa@yahoo.com

ABSTRAK

Transformator pada umumnya di rancang dan dipergunakan di rating frekuensi dan arus beban sinusoidal sempurna. Adanya beban non-linier yang dibebankan pada transformator, membuat terjadinya rugi-rugi transformator yang mengakibatkan gangguan harmonik. Gangguan lain yang dapat juga muncul adalah pemanasan yang berlebihan pada komponen sistem transformator tersebut, yang membuat kerugian yang lebih besar, kelelahan awal isolasi, serta dapat mengurangi lifetime atau masa hidup suatu transformator. Lifetime atau masa hidup suatu transformator dapat menjadi lebih pendek dikarenakan faktor – faktor yang telah disebutkan diatas tadi, hal tersebut dapat diketahui dari nilai efisiensi (%) nya.

Kata kunci : Rugi-rugi; Beban non-linier; Harmonisa; Efisiensi transformator

PENDAHULUAN

Latar Belakang Masalah

Seiring dengan kemajuan teknologi, makin banyak juga alat elektronik yang digunakan untuk keseharian kehidupan masyarakat. Sedangkan bagi sistem kelistrikan, alat elektronik seperti mempunyai dua sisi, di sisi pertama, alat elektronik dapat memudahkan kehidupan, seperti Lampu LED, CPU Komputer, Server dll. Tetapi di sisi lain, adanya alat elektronik ini dapat mempengaruhi kualitas daya yang didapat dari transformator, karena alat elektronik merupakan beban non-linier.

Beban non-linier merupakan sumber utama dari gangguan harmonisa. Pada transformator, pengaruh adanya gangguan harmonisa adalah bertambahnya rugi – rugi beban (P_{LL}), Rugi I^2R dan rugi *Eddy Current*, sehingga berdampak pada *lifetime* atau masa hidup suatu transformator.

Pada tugas akhir ini, pengukuran dilakukan di Hotel Ambhara, Kebayoran Baru, Jakarta pada tanggal 30 – 31 Oktober 2013. Trafo yang digunakan sudah berusia hampir 20 tahun (1994 ~ 2013) sehingga dinilai perlu untuk dilakukan evaluasi untuk mengetahui apakah trafo tersebut masih layak pakai atau tidak dan berapa nilai efisiensi trafo yang sudah mendekati masa akhir *lifetime* nya.

Perumusan Masalah

Perumusan masalah dari tugas akhir ini adalah :

1. Bagaimana menghitung rugi – rugi pada trafo.
2. Apakah pengaruh *losses* trafo pada *lifetime* trafo.
3. Apakah pengaruh beban non-linier pada *lifetime* trafo.
4. Apakah pengaruh harmonisa terhadap *lifetime* trafo.

Batasan Masalah

Agar pembahasan lebih terarah, maka pada Tugas Akhir ini pembahasan dibatasi sebagai berikut :

Pengambilan data dilakukan selama 2 hari di Hotel Ambhara

Tidak menghitung perkiraan beban tetapi memakai data yang sudah ada.

Kasus gangguan harmonik pada transformator yang diakibatkan oleh beban non-linier dilihat untuk mengetahui efisiensi transformator pada saat dilakukannya pengukuran.

TRANSFORMATOR TENAGA

Transformator

Transformator adalah suatu alat untuk memindahkan / menaikkan atau menurunkan

tegangan daya listrik arus bolak balik dari suatu rangkaian ke rangkaian lainnya secara induksi elektromagnetik. Transformator terdiri dari kumparan dan inti besi, yaitu dua buah kumparan (primer dan sekunder) tidak berhubungan secara fisik tetapi dihubungkan oleh inti besi sebagai medan magnet.



Gambar 2.1 Bagian – bagian Transformator

Keterangan dari gambar 2.1
 N_p : jumlah lilitan primer
 N_s : jumlah lilitan sekunder
 V_p : tegangan primer
 V_s : tegangan sekunder

Rugi – Rugi Transformator

Rugi – Rugi Histerisis (*Hysterisis losses*)

Kerugian histerisis disebabkan oleh gesekan molekul yang melawan aliran gaya magnet di dalam inti besi. Rugi histerisis dapat dinyatakan dengan sebagai berikut :

$$P_h = k_h f B_{maks} \quad (\text{watt}) \quad (1)$$

Keterangan :

K_h = Konstanta
 B_{maks} = Fluks maximum (Weber)

Rugi - Rugi Arus Eddy (*Eddy Current Losses*)

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 7 berikut ini.



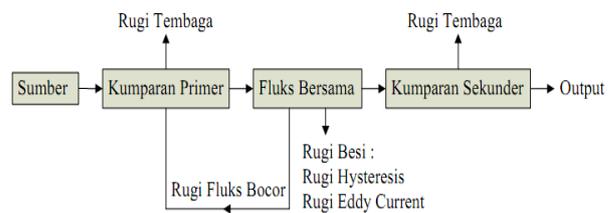
Gambar 2.2 Arus Eddy pada inti besi utuh dan inti besi berlapis

Rugi-rugi Tembaga (*Copper Losses*)

Rugi-rugi tembaga terjadi di kedua kumparan. Pada saat trafo dialiri arus listrik maka hambatan kumparan ini akan mengubah sejumlah kecil arus listrik menjadi panas yaitu sebesar :

$$P_{cu} = I^2 \cdot R \quad (\text{watt}) \quad (2)$$

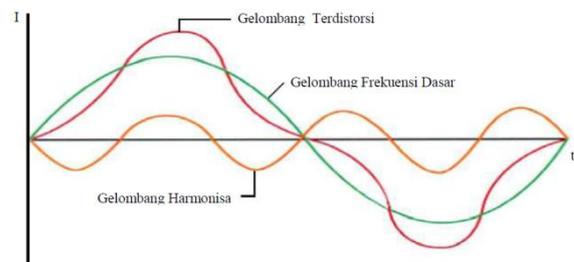
Semakin besar harga R maka semakin besar pula energi panas yang timbul di dalam kumparan. Mutu kawat yang bagus dengan nilai hambatan jenis yang kecil dapat mengurangi rugi-rugi tembaga.



Gambar 2.3 Blok diagram rugi-rugi pada transformator

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 2.4 Uraian gelombang terdistorsi menjadi gelombang frekuensi dasar dan harmonik ke-3

Tingkat kecacatan pada harmonisa seringkali dinyatakan dengan *Total Harmonic Distortion (THD)*, *Total Harmonic Distortion*, digunakan sebagai ukuran untuk melihat berapa besar pengaruh keseluruhan adanya

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:

$$THD_V = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^N V_h^2}}{V_1} \quad (3)$$

Untuk arus nonsinus, THD didefinisikan sebagai

$$THD_i = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^N I_h^2}}{I_1} \quad (4)$$

dengan,

- V_h ; I_h = komponen harmonisa.
- V₁ ; I₁ = komponen fundamental.
- N = harmonisa maksimum.
- H = orde harmonisa.

Untuk presentase total arus harmonisa dapat dituliskan sebagai berikut :

$$THD_i = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} I_{h,rms}^2}}{I_{rms}} \times 100 \quad (5)$$

Dengan :

- THDi = Distorsi harmonisa total (%)
- I_{rms} = Arus frekuensi dasar (A)
- I_h = Arus harmonisa ke - h (A)
- h = Bilangan integer 2, 3, 4, 5,

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 :

$$I_{rms} = \sqrt{\sum_{h=1}^{\infty} I_{h,rms}^2} \quad (6)$$

Total power factor,

$$PF = \frac{P}{V_{1,rms} I_{1,rms} \sqrt{1 + (THD_i/100\%)^2}} \quad (7)$$

Total power faktor kadang disebut power faktor nyata. Pada persamaan dibawah ini merupakan total power faktor yang

memiliki dua komponen. Komponen pertama disebut perpindahan power faktor

$$PF_{disp} = \frac{P}{V_{1,rms} I_{1,rms}} \quad (8)$$

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

$$PF_{dist} = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{THD_i}{100\%}\right)^2}} \quad (9)$$

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

$$PF_{dist} = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{THD_i}{100\%}\right)^2}} \times \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{THD_V}{100\%}\right)^2}} \quad (10)$$

Namun dalam keadaan normal distorsi tegangan diharapkan sangat rendah dibanding distorsi arus. Pembahasan kinerja transformator bebahan telah mengabaikan komponen arus tanpa beban yang mengalir hanya pada lilitan primer saja. Pengabaian ini diperbolehkan dalam standar distribusi transformator tenaga karena I_N (arus netral)

PENGUKURAN TRANSFORMATOR TENAGA

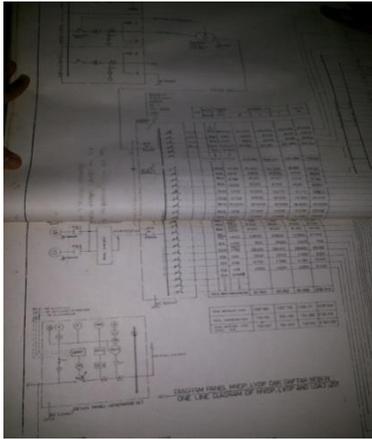
Berikut adalah spesifikasi dari Transformator yang diukur :

- Buatan Pabrik : TRAFINDO
- Tipe : Indoor
- Daya : 2500 KVA
- Tegangan : 20 KV / 0,4 KV
- Arus : 72.17 A / 3608 A
- Impedansi : 7 %
- Frekuensi : 50 Hz
- Hubungan : Dyn 5
- Efisiensi (η) : 98 %

Pengukuran

Berikut adalah tahap - tahap pengukuran yang dilakukan :

- (6) Menyiapkan data single line diagram, menentukan titik pengukuran, dalam hal ini titik pengukuran ada di Incoming ACB 3200 sebagai titik output dari transformer.
- (7)



Gambar 3.1 Foto Single Line Diagram Distribusi di Hotel Ambhara

Menyiapkan alat ukur, dalam hal ini alat ukur yang digunakan, memerlukan dua parameter pengukuran, yaitu tegangan dan arus.

Untuk tegangan, dilakukan dengan memasang clamp tang buaya

Untuk pengukuran arus, dilakukan dengan memasang clamp CT yang dilingkarkan ke masing – masing fasa, dengan rasio yang dicocokkan dengan beban yang akan diukur



Gambar 3.2 Foto Pengukuran Pada Jaringan 3 Fasa

Mengeset parameter pengukuran, dan lamanya waktu pengukuran, dalam hal ini, pengukuran dilakukan dari tanggal 30 Oktober 2013 sampai 31 Oktober 2013.



Gambar 3.3 Foto Pada Saat Pengukuran

Setelah semua parameter di setting, Power Analyzer diletakkan di tempat yang sesuai agar pada saat pengukuran, tidak terjadi interupsi dari efek luar.



Gambar 3.4 Foto Power Quality Analyzer Hioki PW3198

Pengambilan Data

Setelah dilakukan pengukuran selama 2 hari dengan menggunakan *Power Quality Analyzer Hioki PW3198* berikut adalah hasil yang di dapat dari pengukuran di 3 fasa transformator :

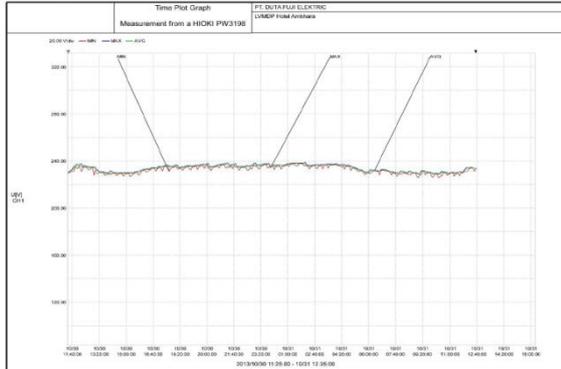
Tabel 3.1 Tabel Data Hasil Pengukuran

Phase 1		Waktu Pengukuran																						
Parameter	Satuan	11:00	12:20	13:00	14:00	15:20	16:00	17:00	18:20	19:00	20:00	21:00	22:20	01:00	02:00	03:00	04:00	05:00	06:00	07:00	08:20	09:20	10:00	11:00
V rms	Volt	230	230	230	230	231	230	230	230	230	230	230	230	230	230	230	230	230	230	230	230	230	230	230
I rms	Ampere	600	700	780	620	610	600	620	600	600	480	440	480	500	600	600	580	680	700					
Frequency	Hz	50	50	50	50	52	50	52	50	54	52	49	52	50	52	49	50	52	49	50				
V THD	%	1,48	1,48	1,46	1,46	1,4	1,52	1,6	1,188	1,218	1,219	1,219	1,219	1,219	1,219	1,219	1,219	1,219	1,219	1,219	1,219	1,219	1,219	1,219
I THD	%	7,2	5,2	5,2	6,2	6,2	5,4	5,4	6,4	6	9,2	8	9,2	8	7,4	6,2	6,2	5,5	5,4					
S	kVA	131	164	168	133	135	130	138	131	104	100	110	114	130	136	150	164							
P	kW	138	160	160	145	140	130	135	148	120	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

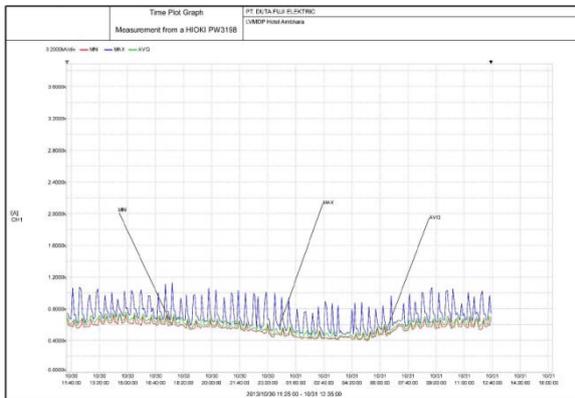
Phase 2		Waktu Pengukuran																						
Parameter	Satuan	11:00	12:20	13:00	14:00	15:20	16:00	17:00	18:20	19:00	20:00	21:00	22:20	01:00	02:00	03:00	04:00	05:00	06:00	07:00	08:20	09:20	10:00	11:00
V rms	Volt	230	230	230	230	231	230	230	230	230	230	230	230	230	230	230	230	230	230	230	230	230	230	230
I rms	Ampere	390	430	400	340	360	370	420	380	400	390	420	400	440	440	440	480	500	540					
Frequency	Hz	50	50	50	50	52	50	52	50	54	52	49	52	49	52	49	50	52	49	50				
V THD	%	1,4	1,5	1,42	1,41	1,42	1,48	1,3	1,166	1,166	1,2	1,21	1,218	1,21	1,218	1,21	1,218	1,21	1,218	1,21	1,218	1,21	1,218	1,21
I THD	%	6,2	5,4	5,8	5,6	6	5,2	4,6	5,5	6	7,8	7,2	6,8	6,8	6,2	5,6	5,2							
S	kVA	145	190	138	128	132	140	130	136	88	88	100	100	122	130	126	140							
P	kW	140	150	140	125	130	140	145	130	88	80	100	100	120	130	125	140							

Phase 3		Waktu Pengukuran																						
Parameter	Satuan	11:00	12:20	13:00	14:00	15:20	16:00	17:00	18:20	19:00	20:00	21:00	22:20	01:00	02:00	03:00	04:00	05:00	06:00	07:00	08:20	09:20	10:00	11:00
V rms	Volt	230	230	230	230	231	230	230	230	230	230	230	230	230	230	230	230	230	230	230	230	230	230	230
I rms	Ampere	550	630	670	540	530	430	580	540	400	390	430	450	500	500	520	620	620	620					
Frequency	Hz	50	50	50	50	52	50	52	50	54	52	49	52	49	52	49	50	52	49	50				
V THD	%	1,14	1,39	1,24	1,1	1,1	1,12	1,14	1,18	1,16	1,1	1,18	1,1	1,18	1,1	1,1	1,18	1,1	1,18	1,1	1,18	1,1	1,18	1,1
I THD	%	6,8	5,2	5,8	6	6	6	7,2	6	8	7,2	6	6,8	6,2	6,2	6,2	6,2	6,2	6,2	6,2	6,2	6,2	6,2	6,2
S	kVA	130	148	150	128	122	130	138	130	100	92	100	102	118	120	140	148							
P	kW	130	145	155	125	135	130	140	125	100	95	100	105	120	120	150	150							

Tabel data tersebut di buat berdasarkan grafik dari hasil pengukuran dengan *Power Quality Analyzer Hioki PW3198*. Berikut beberapa contoh grafik dari hasil laporan data *print out* langsung dari *Power Quality Analyzer Hioki PW3198*.

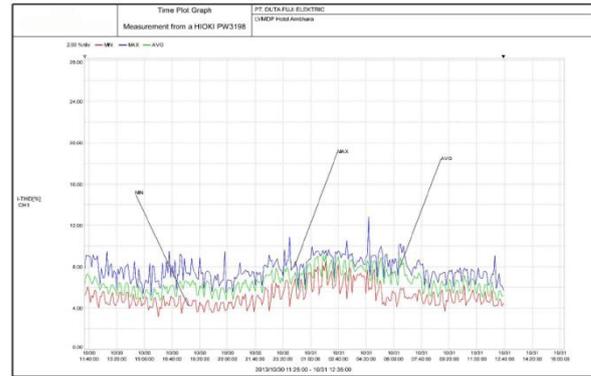


Gambar 3.5 Grafik Hasil pengukuran V_{RMS} di Phase 1

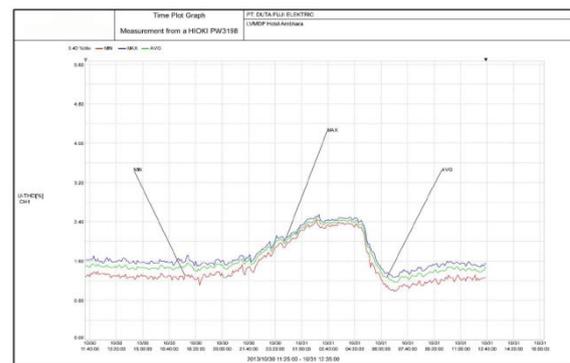


Gambar 3.6 Grafik Hasil pengukuran I_{RMS} di Phase 1

Voltage at PCC	Individual Component Voltage Distortion	Total Voltage Distortion (THD)
$V \leq 69 \text{ kV}$	3,00%	5,00%
$69 \text{ kV} < V \leq 161 \text{ kV}$	1,50%	2,50%
$V \leq 161 \text{ kV}$	1,00%	1,50%



Gambar 3.7 Grafik Hasil pengukuran I_{THD} di Phase 1



Gambar 3.8 Grafik Hasil pengukuran V_{THD} di Phase 1

ANALISA PENGARUH BEBAN HARMONIK PADA TRANSFORMATOR

Harmonisa Pada Transformator

Harmonisa tegangan atau arus diukur dari besarnya masing-masing komponen harmonik terhadap komponen dasarnya yang dinyatakan dalam persentase (%). Untuk memperoleh parameter yang dipakai untuk menilai harmonisa tersebut dipakai THD atau *Total harmonic Distortion*. Berikut adalah persamaan dari THD :

$$THD (\%) = \frac{\sqrt{\sum_{h>1}^{h_{max}} M_h^2}}{M_1} \quad (11)$$

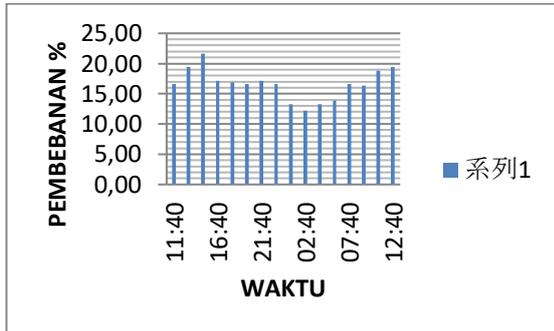
Dimana M_h adalah nilai rms komponen harmonik h dalam jumlah M .

Berikut adalah standar batas distorsi harmonisa yang diijinkan menurut IEEE 519.1992 :

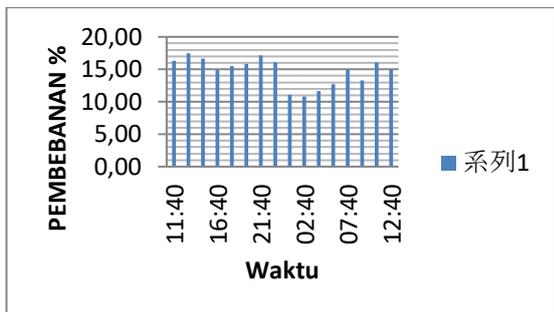
Tabel 4.1 IEEE Standard 519.1992

Analisa Pembebanan

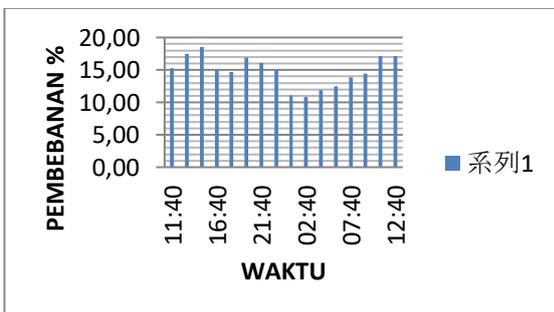
Dari hasil pengukuran dan perhitungan diketahui persentase pembebanan sebagai berikut :



Gambar 4.1 Grafik Persentase Beban di Fase 1



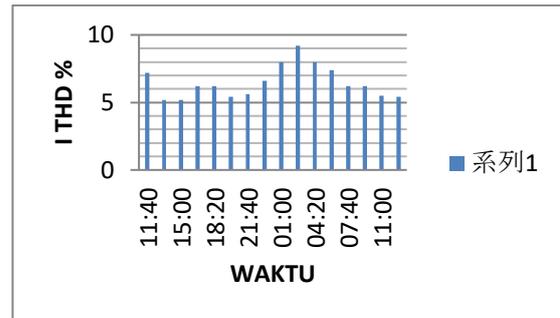
Gambar 4.2 Grafik Persentase Beban di Fase 2



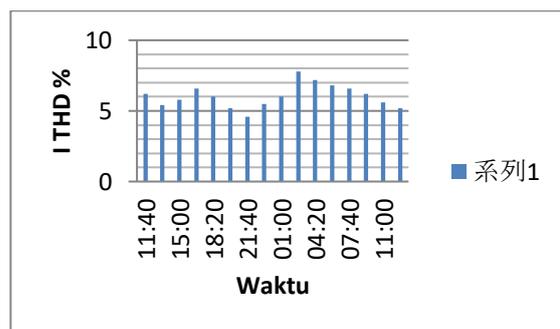
Gambar 4.3 Grafik Persentase Beban di Fase 3

Analisa THD Arus

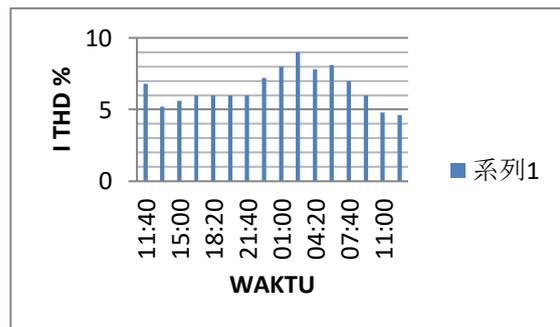
Dari hasil pengukuran dan perhitungan diketahui persentase THD Arus sebagai berikut :



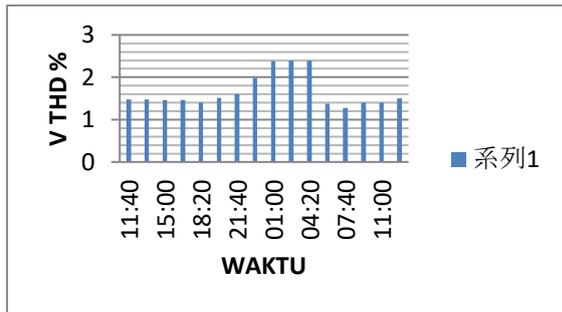
Gambar 4.4 Grafik Persentase I THD di Fase 1



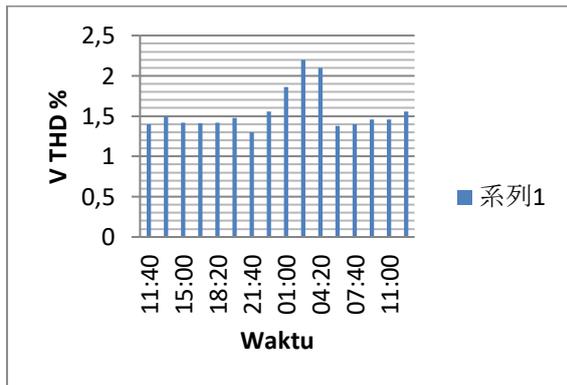
Gambar 4.5 Grafik Persentase I THD di Fase 2



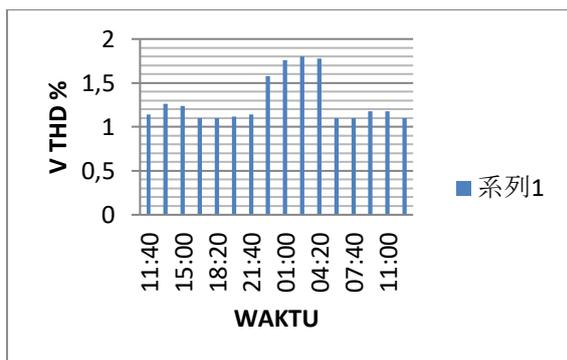
G



Gambar 4.7 Grafik Persentase V THD di Phasa 1



Gambar 4.8 Grafik Persentase V THD di Phasa 2



Gambar 4.9 Grafik Persentase V THD di Phasa 3

Analisis Losses Trafo Sebelum Terpengaruh Harmonisa

S (kVA) = 2500 kVA

Cos ϕ rata-rata = 0,9956

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100 \quad (12)$$

$$= \frac{P_{in}}{S_{out} \times 0,9956} \times 100\%$$

$$P_{in} = \frac{P_{out}}{\eta} \times 100\% \quad (13)$$

$$P_{loss} = P_{in} - P_{out} \quad (14)$$

WBP (Waktu Beban Puncak)

Phasa R

P loss (kW) = 180 kW

P loss (kVA) = 134 kVA

Pada waktu beban puncak, kVA baru Trafo

= 2500 kVA – 134 kVA = 2366 kVA

P base = 2500 × 0,9566 = 2391,5 kW

Phasa S

P loss (kW) = 140 kW

P loss (kVA) = 138 kVA

Pada waktu beban puncak, kVA baru Trafo

= 2500 kVA – 138 kVA = 2362 kVA

P base = 2500 × 0,9566 = 2391,5 Kw

Phasa T

P loss (kW) = 155 kW

P loss (kVA) = 150 kVA

Pada waktu beban puncak, kVA baru Trafo

= 2500 kVA – 150 kVA = 2350 kVA

P base = 2500 × 0,9566 = 2391,5 kW

Analisa Losses Transformator Setelah Terpengaruh Harmonisa

S = 2500 kVA

Cos ϕ rata-rata = 0,9956

$$P_{Base\ satu\ phasa} = S \cdot \cos \phi \text{ rata-rata} / \sqrt{3}$$

$$= (2500 \text{ kVA} \times 0,9956) / \sqrt{3}$$

$$= 1437,02 \text{ kW}$$

$$P_{Base\ tiga\ phasa} = S \cdot \cos \phi \text{ rata-rata}$$

$$= (2500 \text{ kVA} \times 0,9956)$$

$$= 2489 \text{ kW}$$

Tabel Perhitungan losses per phasa pada jam 11:40 :

Tabel 4.2 Perhitungan Losses Pada phasa R

Orde	I_h (%)	I_h (A)	I_h (p.u)	I_h^2 (p.u)	$I_h^2 \times h^2$ (p.u)
1	100,00	3608,00	1,0000	1,000000	1,0000
3	5,59	201,80	0,0559	0,003128	0,0282
5	2,76	99,70	0,0276	0,000764	0,0191
7	2,38	85,90	0,0238	0,000567	0,0278
8	1,79	64,70	0,0179	0,000322	0,0206
11	1,34	48,30	0,0134	0,000179	0,0217
13	0,86	31,00	0,0086	0,000074	0,0125
15	0,50	18,10	0,0050	0,000025	0,0057
17	0,39	13,92	0,0039	0,000015	0,0043
19	0,02	0,86	0,0002	0,000000	0,0000
Jumlah				1,005073	1,139745

$I_h = \text{Arus Harmonisa}$
 $PLL = 1,005073 + 1,1139745 \times 0,01 = 1,016471 \text{ p.u}$
 PLL = Perhitungan rugi-rugi beban
 Penambahan losses per fasa akibat harmonisa untuk:
 Rugi Tembaga
 $P_{cu} = 0,005073 \text{ p.u} \times 1437,02 = 7,291 \text{ kW}$
 Rugi eddy current
 $P_i = 0,00139745 \text{ p.u} \times 1437,02 = 2,008 \text{ kW}$
 Losses per fasa = $P_{cu} + P_i = 7,291 + 2,008 = 9,299 \text{ kW}$

Dengan cara yang sama, dilakukan juga pengukuran dan perhitungan di Fasa S dan Fasa T. Maka di peroleh tabel perhitungan losses setelah terpengaruh harmonisa di 3 Fasa sebagai berikut :

Tabel 4.3 Perhitungan Losses setelah terpengaruh harmonisa

Losses = $P_{CU} + P_I$

Hari, Tanggal	Waktu	Fasa	P_{CU} (kW)	P_i (kW)	Losses (kW)
Hari ke-1	11:40	R	7,291	2,008	9,299
		S	5,537	2,078	7,615
		T	6,616	2,391	9,006
	13:20	R	3,883	1,635	5,518
		S	3,905	1,377	5,282
		T	3,883	1,635	5,518
	15:00	R	3,883	1,635	5,518
		S	4,835	1,554	6,390
		T	4,543	1,690	6,232
	16:40	R	5,537	2,078	7,615
		S	6,321	2,523	8,845
		T	5,250	1,860	7,110
	18:20	R	5,537	2,078	7,615
		S	5,250	1,860	7,110
		T	5,250	1,860	7,110
	20:00	R	3,905	1,377	5,282
		S	3,883	1,635	5,518
		T	5,250	1,860	7,110
	21:40	R	4,417	1,464	5,882
		S	3,045	0,917	3,963
		T	5,250	1,860	7,110
	23:20	R	6,321	2,523	8,845
		S	4,348	1,305	5,653
		T	7,291	2,008	9,299

Analisa Nilai Efisiensi Transformator

Dilihat dari grafik pembebanan, waktu beban puncak pada pengukuran hari pertama adalah pada pukul 15.00 WIB. Untuk mengetahui nilai efisiensi trafo dapat dilihat dengan cara berikut :

$$P_{\text{loss}} = 18,14 \text{ kW}$$

$$P_{\text{out}} = 445 \text{ kW (tertera pada name plate)}$$

Dari data diatas, dapat diketahui

$$P_{\text{in}} = P_{\text{out}} + P_{\text{loss}}$$

$$P_{\text{in}} = (445 + 18,14) \text{ kW} = 463,14 \text{ kW}$$

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

$$\eta = \frac{445 \text{ kW}}{463,14 \text{ kW}} \times 100\% = 96\%$$

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Nilai efisiensi transformator dari pengujian rugi-rugi transformator secara keseluruhan (losses tembaga dan inti), efisiensi transformator tersebut adalah 96 %.

Secara ideal jika transformator dirawat dengan baik serta digunakan dengan efisien, seharusnya nilai efisiensi dari transformator tersebut masih sama dengan nilai efisiensi transformator baru yaitu 98 %.

Dilihat dari nilai efisiensi tersebut, sebanyak 2 % telah terjadi penurunan.

Saran

Agar transformator tersebut masih dapat berfungsi dengan baik sampai dengan akhir masa kerjanya (± 30 tahun) harus di lakukan *maintenance* preventif dan prediktif.

DAFTAR PUSTAKA

- Amit Gupta & Ranjana Singh., 2011. Computation Of Transformer Losses Under The Effects Of Non-Sinusoidal Currents. ACIJ, Vol.2,No.6, November 2011.
- I Wayan Rinas., 2012. Studi Analisis Losses dan Derating Akibat Pengaruh THD Pada Gardu Transformator Daya Di Fakultas Teknik Universitas Udayana. Teknologi Elektro, Vol. 11, No. 1, Januari – Juni 2012.
- Zulkarnain, Iskandar., “Analisis Pengaruh Harmonisa Terhadap Arus Netral, Rugi-rugi dan Penurunan Kapasitas Pada Transformator Distribusi”, Makalah Seminar Tugas Akhir Teknik Elektro UNDIP, Semarang, 2009
- Zahro, Laelatus., “Analisa Arus Magnetisasi Fenomena Harmonisa dan Power Faktor Sebagai Indikator Kejenuhan Inti (Core Saturation) Pada Transformator 3 Fasa”, Tugas Akhir S1 Teknik Elektro UMJ, Jakarta, 2015

- Zuhail. 1992. Dasar Teknik Tenaga Listrik dan Elektronika Daya. Jakarta : Gramedia.
- Gusnita, Novi., "Analisis Harmonik pada Sistem Distribusi", Tesis S2 Teknik Elektro UGM, Yogyakarta, 2005
- IEEE Std 519-1992, *IEEE Recommended Practice And Requirement For Harmonic Control Power System*
- Muhammad Mokhzaini, Syafrudin Masri dan Mohamad Kamarol, "Design of Power Transformer For Sinusoidal And Nonsinusoidal Current Condition", Journal of Theoretical and Applied Information Technology, Vol. 34, No. 1, Desember 2011
- Aditya Prayoga, Benson Marnatha S, Edison Marulitua S, M. Nahar, "Transformer", Makalah Teknik Elektro UI, Depok, 2010