

## ANALISIS PENGARUH HARMONISA PADA TRANSFORMATOR BHT01 DAN BHT02 RSG GA. SIWABESSY

Koes Indrakoesoema, Yayan Andryanto  
PRSG-BATAN

### ABSTRAK

**ANALISIS PENGARUH HARMONISA PADA TRANSFORMATOR BHT01 DAN BHT02 RSG GA SIWABESSY.** Tingkat harmonisa yang tinggi sangat berpengaruh pada transformator, dan kinerja transformator daya ditentukan melalui parameter rugi-rugi daya. Penurunan kinerja transformator dipengaruhi oleh munculnya harmonisa yang akan berpengaruh pada losses dan penurunan kapasitas kerja transformator (*derating*). Beban-beban yang dicatu melalui transformator BHT01 dan BHT02 kebanyakan adalah motor-motor induksi sehingga keberadaan beban non linier pada sistem tenaga listrik akan menimbulkan efek harmonisa. Pada penelitian ini dilakukan pengukuran harmonisa tegangan dan harmonisa arus serta komponen-komponen harmonisanya menggunakan *Power Quality Analyzer Hioki 3169-20* dengan beban penuh pada jalur BHA dan BHB (transformator BHT01 dan BHT02). Metode analisa yang dipergunakan adalah metoda komparasi antara hasil pengukuran dengan standar IEEE 519-1992, sebagai evaluasi terhadap kualitas daya listrik pada transformator BHT01 dan BHT02 dan dihitung kenaikan rugi-rugi trafo akibat beban yang mengandung harmonik. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa *Total Harmonic Distortion* tegangan (%THD<sub>v</sub>) terendah pada BHT01 adalah 1,07% pada fasa S dan tertinggi adalah 1,90% pada fasa R, sedangkan %THD<sub>v</sub> pada BHT02 terendah adalah 1,05% pada fasa T dan tertinggi adalah 2,08% pada fasa R. Nilai-nilai di atas masih dibawah standar IEEE 519-1992 (5%). *Total Harmonic Distortion* arus (%THD<sub>i</sub>) pada BHT01 adalah terendah 1,21% pada fasa S dan tertinggi 8,22% pada fasa R, sedangkan %THD<sub>i</sub> pada BHT02, terendah 1,33% pada fasa S dan tertinggi 10,29% pada fasa S. Sehingga untuk BHT01 pada fasa R dan BHT02 pada fasa S melebihi standar IEEE 519-1992 (8%). Kenaikan rugi-rugi transformator akibat harmonisa pada BHT01 adalah rugi tembaga 0,093% dan rugi arus Eddy 0,23% sedangkan pada BHT02, kenaikan rugi tembaga adalah 0,047% dan rugi arus Eddy 0,11%.

**Kata kunci :** Transformator, THD (*Total Harmonic Distortion*), *Derating*

### ABSTRACT

**ANALYSIS OF HARMONICS AFFECT ON TRANSFORMER BHT01 AND BHT02 RSG GA SIWABESSY.** High level of harmonics can affect the transformer, and the performance of power transformer can be determined through power loss parameter. Degradation of Transformer which influenced of harmonics will affect the losses and reduction of capacity transformer (*derating*). Loads are supplied from a transformer BHT01 and BHT02 mostly induction motors so that the existence of non-linear loads on the power system will generate harmonics effects. The research was done by measurement the voltage harmonics (%THD<sub>v</sub>) and current harmonics (%THD<sub>i</sub>) as well as the harmonics content by the *Power Quality Analyzer* using *Hioki 3169-20* under load conditions on the line BHA and BHB (transformer BHT01 and BHT02). The comparison method between the result of measurements with the IEEE 519-1992 standard is used to analyze, as an evaluation the quality of electric power of transformers BHT01 and BHT02 and calculated the increase of losses transformer due to the load containing harmonics. The result of measurement was indicated that the lowest *Total Harmonic Distortion* of voltage (THD<sub>v</sub>) BHT01 is 1.07% in phase S and the highest is 1.90% in phase R. For BHT02, the lowest is 1.05% in phase T and the highest is 2.08% in phase R. The harmonic content of the transformer for THD<sub>v</sub> was below the standard (< 5%). *Total Harmonic Distortion* of current (%THD<sub>i</sub>) of BHT01, the lowest is 1.21% in phase S and the highest is 8.22% in phase R while in BHT02, the lowest is 1.33% and the highest is 10.29%, both is phase S. One phase of %THD<sub>i</sub> in BHT01 and BHT02 more than standard (8%), so the increase of Cu losses is 0.093% and Eddy current losses is 0.23% for BHT01 and for BHT02, Cu losses is 0.047% and Eddy current losses is 0.11%.

**Keywords:** Transformer, Total Harmonic Distortion (THD), *Derating*

### PENDAHULUAN

Dalam sistem tenaga listrik dikenal dua jenis beban yaitu beban linier dan beban non linear.

Sementara penyaluran daya listrik menggunakan frekuensi tunggal dan konstan serta pada tegangan tertentu, misalnya pada frekuensi 50 Hz, 220 V atau 380 V. Gelombang arus yang dihasilkan oleh beban

nonlinear tidak sama dengan bentuk gelombang tegangan sehingga terjadi cacat (distorsi). Dengan meluasnya pemakaian beban non linear, gelombang sinusoidal ini dapat mengalami distorsi, sehingga arus balik melalui kawat netral tidak sama dengan nol. Penyebab ketidaksempurnaan ini antara lain adalah harmonisa dari peralatan-peralatan pemakai energy listrik, dimana peralatan tersebut mengeluarkan gelombang sendiri dan menginterferensi gelombang fundamental dan amplitudo dari arus maupun tegangan. Harmonisa ini akan menyebabkan gelombang fundamental maupun amplitudo terdistorsi.

Jalur BHA dan BHB yang dicatu melalui Transformator BHT01 dan BHT02 di RSG GA. Siwabessy merupakan transformator kering penurun tegangan dengan kapasitas masing-masing 1600 kVA. Pemanasan berlebih dapat disebabkan karena meningkatnya rugi-rugi pada trafo, yaitu : rugi berbeban, rugi  $I^2R$ , dan rugi *Eddy Current*. Kinerja transformator daya ditentukan oleh parameter rugi-rugi daya yang terjadi pada transformator serta penurunan kapasitas kerja (*derating*) yang dapat terjadi akibat distorsi harmonisa.

Dalam makalah ini akan dilakukan pengukuran amplitude harmonisa arus dan tegangan pada transformator BHT01 dan BHT02 menggunakan *Power Quality Analyzer* 3169-20, dan dilakukan analisa untuk mengetahui seberapa besar pengaruh yang diakibatkan oleh harmonisa terhadap rugi-rugi yang terjadi pada transformator dimana kebanyakan beban adalah non-linier, yaitu motor-motor induksi.

## TEORI

Beban non linear merupakan peralatan yang menghasilkan gelombang-gelombang arus yang berbentuk sinusoidal berfrekuensi tinggi yang disebut dengan arus harmonisa. Arus harmonisa ini menimbulkan banyak implikasi pada peralatan sistem tenaga listrik. Misal rugi-rugi jaringan akan meningkat, pemanasan yang tinggi pada kapasitor, transformator, dan pada mesin-mesin listrik yang berputar serta kesalahan pada pembacaan alat ukur Root Means Square (RMS).

Harmonisa didefinisikan sebagai suatu gelombang sinusoidal tegangan atau arus yang berfrekuensi tinggi, dimana frekuensinya merupakan kelipatan diluar bilangan satu terhadap frekuensi fundamental (frekuensi 50 Hz atau 60 Hz). Nilai frekuensi dari gelombang harmonisa yang terbentuk merupakan hasil kali antara frekuensi fundamental dengan bilangan harmonisanya ( $f, 2f, 3f, \text{dst}$ ). Bentuk gelombang yang terdistorsi merupakan penjumlahan dari gelombang fundamental dan gelombang harmonisa ( $h_1, h_2, \text{dan seterusnya}$ ) pada frekuensi kelipatannya. Makin banyak gelombang harmonisa yang diikutsertakan pada gelombang fundamentalnya, maka gelombang akan semakin mendekati gelombang persegi atau gelombang akan berbentuk non sinusoidal. Jika frekuensi fundamental suatu sistem tenaga listrik adalah  $f_0$  (50 Hz atau 60 Hz) maka frekuensi harmonisa orde ke- $n$  adalah :  $n \cdot f_0$ .

Harmonisa yang mendistorsi gelombang sinus fundamental dapat terdiri dari beberapa komponen harmonisa, yaitu misalnya harmonisa ke-1, ke-2, ke-3, dan seterusnya. Harmonisa ke-3 artinya harmonisa yang mempunyai frekuensi tiga kali dari frekuensi fundamentalnya. Bila frekuensi fundamental 50 Hz, maka harmonisa ke-3 mempunyai frekuensi 150 Hz atau dapat dituliskan dengan persamaan :

$$f_n = n \times f_0 \dots\dots\dots(1)$$

Dimana :

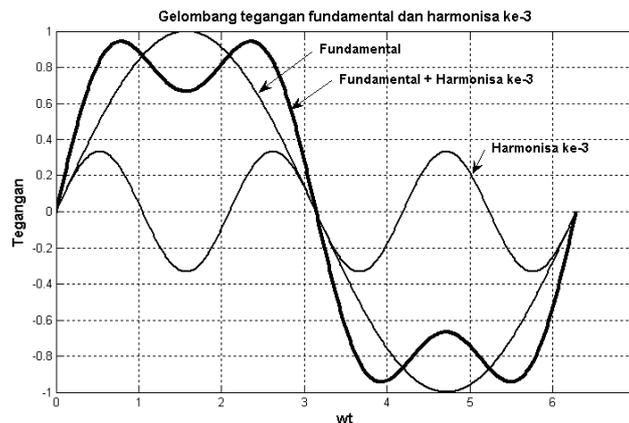
$n$  = bilangan bulat positif

$f_0$  = frekuensi Fundamental

Gelombang harmonisa tersebut menumpang pada gelombang fundamental sehingga berbentuk gelombang cacat yang merupakan jumlah antara gelombang fundamental sesaat dengan gelombang harmonisa.

Gelombang tegangan fundamental mempunyai frekuensi  $f_0$ , harmonisa ke-dua mempunyai frekuensi  $2f_0$ , harmonisa ke-tiga mempunyai frekuensi  $3f_0$  dan harmonisa ke- $h$  mempunyai frekuensi  $hf_0$ .

Bentuk gelombang tegangan fundamental, harmonisa ke-3 dan penjumlahannya seperti terlihat pada Gambar 1.



**Gambar 1.** Gelombang tegangan fundamental, harmonisa ke-3, dan hasil penjumlahannya<sup>4)</sup>

Besar total gangguan dari harmonisa pada suatu sistem tenaga listrik dinyatakan dengan Total Harmonic Distortion (THD), yang didefinisikan sebagai berikut <sup>1)</sup> :

$$THD = \frac{\sqrt{\sum_{h>1}^{hmax} X_h^2}}{X_1} \times 100\% \dots\dots\dots(2)$$

di mana :

X<sub>h</sub> = nilai RMS dari tegangan/arus harmonisa pada orde ke h

X<sub>1</sub> = nilai RMS dari tegangan/arus pada frekuensi dasar (fundamental)

Tingkat harmonisa yang melewati standar dapat menyebabkan terjadinya peningkatan panas pada peralatan. Bahkan pada kondisi buruk dapat terjadi gangguan (*hanging up*) bahkan kerusakan permanen pada beberapa peralatan elektronik. Tabel 1 dan 2 menunjukkan standar distorsi harmonisa berdasarkan IEEE 519-1992 <sup>2)</sup>.

**Tabel 1.** Standar distorsi harmonisa tegangan IEEE 519-1992

Distorsi Tegangan Harmonik dalam % Nilai Fundamental			
Sistem Tegangan	< 69 kV	69 < V ≤ 161 kV	> 161 kV
THD (%)	5,0	2,5	1,5
Individual (%)	3,0	1,5	1,0

**Tabel 2.** Limit distorsi harmonisa untuk system distribusi 120 V – 69 kV

Distorsi Harmonisa Arus Maksimum dalam Persen terhadap I <sub>L</sub>						
I <sub>sc</sub> /I <sub>L</sub>	Orde Harmonisa Individual (Harmonisa Orde Ganjil)					THD (%)
	< 11	11 ≤ h ≤ 17	17 ≤ h ≤ 23	23 ≤ h ≤ 25	h ≥ 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

Indeks THD ini digunakan untuk mengukur besarnya penyimpangan dari bentuk gelombang periodik yang mengandung harmonisa dari gelombang sinusoidal murninya.

Distorsi harmonisa arus terjadi akibat dari pemakaian beban non linear pada penggunaan tenaga listrik. Sedangkan distorsi harmonisa tegangan terjadi karena adanya harmonisa arus yang melewati impedansi di sisi beban.

**Pengaruh Harmonisa Pada Transformator**

Pada transformator, rugi-rugi yang disebabkan harmonisa arus dan tegangan bergantung pada frekuensi. Peningkatan frekuensi menyebabkan peningkatan rugi-rugi. Harmonisa frekuensi tinggi adalah penyebab pemanasan utama dibandingkan dengan harmonisa frekuensi rendah.

Harmonisa arus menyebabkan peningkatan rugi-rugi tembaga dan rugi-rugi fluks. Sedangkan harmonisa tegangan menyebabkan peningkatan rugi-rugi besi dan peningkatan stress pada isolasi. Efek

keseluruhannya adalah pemanasan berlebih bila dibandingkan dengan operasi dengan gelombang sinus murni.

Ada tiga pengaruh yang menimbulkan panas lebih pada trafo ketika arus beban mengandung komponen harmonisa<sup>3)</sup>:

1. Arus rms. Jika trafo kapasitasnya hanya untuk kVA yang dibutuhkan beban, arus harmonisa dapat mengakibatkan arus rms trafo menjadi lebih besar dari kapasitasnya. Arus rms yang meningkat dapat menyebabkan rugi-rugi pada penghantar.
2. *Eddy-current losses*. Di dalam trafo terdapat arus induksi yang timbul karena adanya flux magnetik. Arus induksi ini mengalir di belitan, di inti, dan dibadan penghantar lain yang terlindungi oleh medan magnet dari trafo dan menyebabkan panas lebih. Komponen rugi-rugi trafo ini meningkat dengan kuadrat dari frekuensi arus penyebab *Eddy-current*. Oleh karena itu, ini menjadi komponen yang sangat penting dari rugi-rugi trafo yang menyebabkan pemanasan oleh harmonisa.
3. Rugi inti (*Hysteresis losses*). Peningkatan rugi inti yang disebabkan harmonisa bergantung pada pengaruh harmonisa pada tegangan yang diberikan dan rancangan dari inti trafo. Semakin besar distorsi tegangan maka semakin tinggi pula *Eddy-current* di laminasi inti. Peningkatan rugi inti karena harmonisa tidak sekritis dua rugi-rugi di atas.

### Pengaruh Harmonisa pada Rugi-Rugi Trafo Berbeban

Rugi-rugi berbeban ( $P_{LL}$ ) terdiri dari rugi tembaga belitan dan rugi arus eddy, dalam per unit (p.u), dapat ditulis dalam bentuk persamaan:

$$P_{LL} = \sum I_h^2 + (\sum I_h^2 \times h^2) \times P_{EC-R} \text{ (p.u)} \dots\dots\dots(3)$$

Dimana  $P_{EC-R}$  adalah *factor eddy current loss*, h adalah angka harmonisa dan  $I_h$  adalah arus harmonisa.

$\sum I_h^2$  merupakan komponen rugi  $I^2R$  dalam p.u, sedangkan  $(\sum I_h^2 \times h^2) \times P_{EC-R}$  merupakan *factor Eddy current loss*. Faktor *Eddy current loss* dapat dilihat pada Tabel 3.

**Tabel 3.** Nilai dari  $P_{EC-R}$ <sup>(1)</sup>

Type	MVA	Voltage	% $P_{EC-R}$
Dry	$\leq 1$	-	3 – 8
	$\geq 1,5$	5 kV HV	12 – 20
	$\leq 1,5$	15 kV HV	9 – 15
Oil-filled	$\leq 2,5$	480 V LV	1
	2,5 – 5	480 V LV	1 – 5
	$> 5$	480 V LV	9 – 15

### Perhitungan Derating Pada Transformator Akibat Harmonisa

Harmonisa arus menimbulkan pemanasan pada bagian-bagian transformator sehingga akan mengakibatkan peningkatan rugi-rugi dan penurunan efisiensi pada transformator. Dengan adanya penurunan efisiensi transformator maka akan terjadi penurunan kapasitas daya terpasang (*derating*) pada transformator tersebut.

Untuk melakukan perhitungan penurunan kapasitas daya terpasang transformator, digunakan metode perhitungan nilai THDF (*Transformer Harmonic Derating Factor*). THDF merupakan sebuah nilai atau faktor pengali yang digunakan untuk menghitung besar kapasitas baru (kVA baru) transformator. Pada dasarnya, THDF pada suatu Transformator dipengaruhi oleh adanya THD dalam transformator tersebut sebagai akibat dari adanya penggunaan beban non-linier pada sisi beban. Besarnya THD ditentukan terlebih dahulu melalui pengukuran. Sedangkan Nilai THDF dapat ditentukan dengan menggunakan rumus:

$$THDF = 1,414 \times \frac{\text{arus phase rms}}{\text{arus maksimum}} \times 100\% \dots\dots\dots(4)$$

$$= 1,414 \times \frac{\frac{1}{3}(I_R + I_S + I_T),rms}{\frac{1}{3}(I_R + I_S + I_T),maksimum} \times 100\% \dots\dots\dots(5)$$

$$KVA \text{ baru} = THDF \times KVA \text{ nominal}$$

Dimana THDF adalah faktor *derating* pada transformator akibat harmonisa. Dalam keadaan ideal (gelombang sinusoidal murni) dimana tidak terdapat gangguan harmonisa, nilai THDF = 1, sehingga tidak terjadi penurunan kapasitas pada transformator.

### METODE PENELITIAN

Pada penelitian ini dilakukan pengukuran kandungan harmonisa arus dan tegangan dengan menggunakan *Power Quality Analyzer Hioki 3169-20*. Alat ukur ini dapat digunakan untuk mengukur arus, tegangan, daya (daya real, daya reaktif dan daya semu), faktor daya, orde harmonisa dan THD.

Pengukuran dilakukan saat reaktor beroperasi dimana 2 buah motor pompa sistem pendingin, yaitu sistem pendingin primer dan sistem pendingin sekunder beroperasi. Beban-beban yang dicatu oleh transformator BHT01 dan BHT02 dapat dilihat pada Tabel 4. Titik pengukuran diambil pada sisi sekunder transformator 3 fasa, 1600 kVA, 20 kV/400 V, dan  $Z_{sc} = 6,4\%$ , seperti terlihat pada Gambar 2.

**Tabel 4.** Beban yang dicatu oleh Transformator BHT01 dan BHT02

No.	Sistem	BHT01		BHT02	
		Daya (kW)	Cos $\phi$	Daya (kW)	Cos $\phi$
1.	Sistem Pendingin Primer : a. JE-01 AP001 b. JE-01 AP002	160 -	0,84 -	- 160	- 0,84
2.	Sistem Pendingin Sekunder a. PA-01 AP001 b. PA-02 AP001	220 -	0,86 -	- 220	- 0,86
3.	<i>Cooling Tower</i> a. PA-01 AH001 b. PA-02 AH001 c. PA-01 AH002 d. PA-02 AH002	30 30	0,86 0,86	- - 30 30	- - 0,86 0,86
4.	Sistem Pemurnian Air Kolam Reaktor a. KBE01 AP001 b. KBE01 AP002	7,5 -	0,87 -	- 7,5	- 0,87
5.	Sistem Lapisan Air Hangat Kolam Reaktor a. KBE02 AP002	-	-	4	0,86
6.	Sistem Pemurnian Air Kolam Bahan Bakar Bekas a. FAK01 AP001 b. FAK01 AP002	4 -	0,86 -	- -	- -

**Gambar 2.** Transformator kering BHT01/02

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Total harmonisa tegangan (%THD<sub>v</sub>) fasa R, S dan T pada BHT01 dan BHT02 dapat dilihat pada Tabel 5, dan %THD<sub>i</sub> pada Tabel 6.

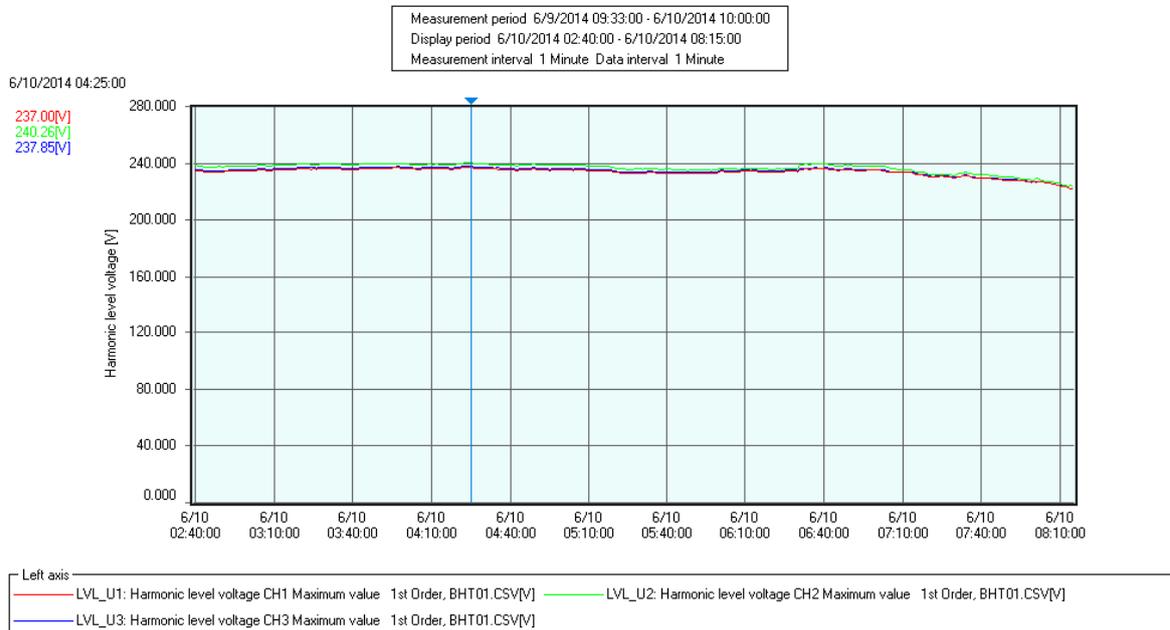
**Tabel 5.** Total Harmonisa Tegangan (%THD<sub>v</sub>)

Fasa	Total Harmonic Distortion (%THD <sub>v</sub> )			
	BHT01		BHT02	
	Min	Max	Min	Max
R	1,26	1,90	1,27	2,08
S	1,07	1,80	1,11	2,02
T	1,09	1,72	1,05	1,89

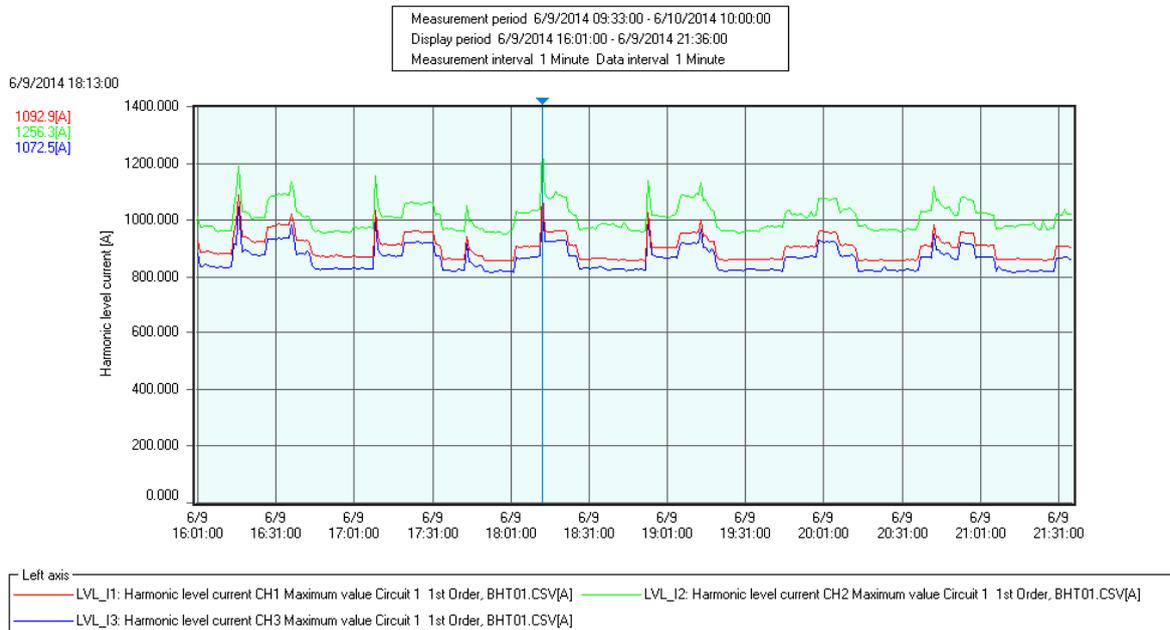
**Tabel 6.** Total Harmonisa Arus (%THD<sub>i</sub>)

Fasa	Total Harmonic Distortion (%THD <sub>i</sub> )			
	BHT01		BHT02	
	Min	Max	Min	Max
R	1,47	8,22	1,61	6,35
S	1,21	5,66	1,33	10,29
T	1,67	7,84	1,40	10,19

Gambar 3 dan 4 memperlihatkan profil total harmonisa distorsi tegangan dan arus BHT01 untuk masing-masing fasa R, S, dan T.

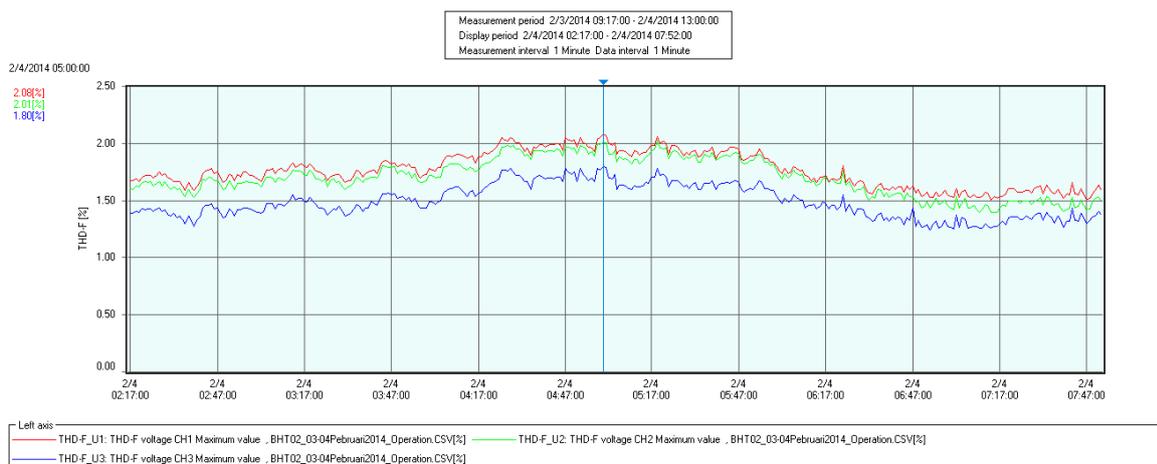


**Gambar 3.** THD tegangan masing-masing fasa trafo BHT01

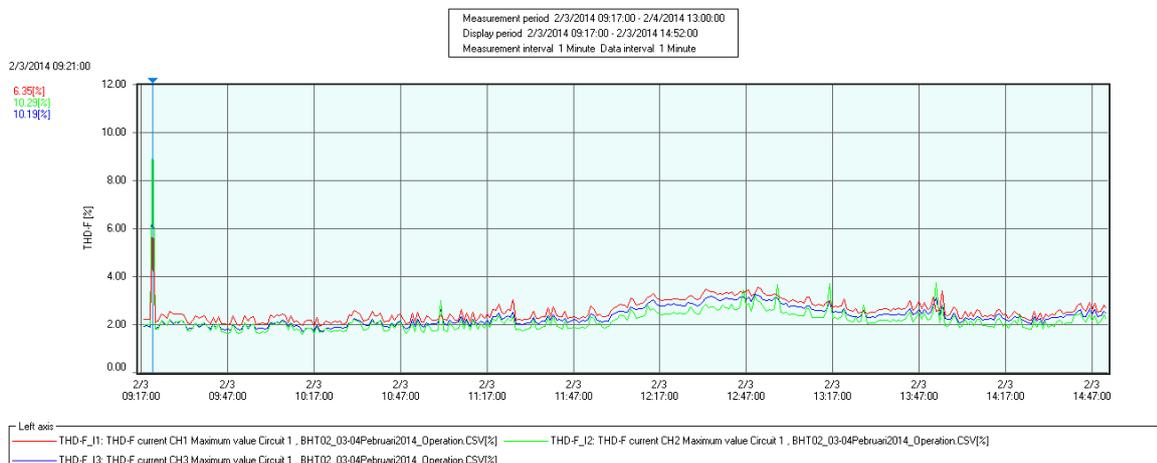


**Gambar 4.** THD arus masing-masing fasa trafo BHT01

Gambar 5 dan 6 memperlihatkan profil total harmonisa distorsi tegangan dan arus BHT02 untuk masing-masing fasa R, S dan T.



Gambar 5. THD tegangan masing-masing fasa trafo BHT02



Gambar 6. THD arus masing-masing fasa trafo BHT02

Besarnya komponen harmonisa arus untuk masing-masing fasa pada transformator BHT01 dan BHT02 dapat dilihat pada Tabel 7.

Tabel 7. Nilai komponen arus harmonisa

Orde Harmonisa (h)	BHT01 Fasa			BHT02 Fasa		
	R (A)	S (A)	T (A)	R (A)	S (A)	T (A)
1	1108,3	1256	1072,5	1491,50	1591,30	1451
3	11	11,9	16,6	6,30	13,70	14,60
5	29,9	18,5	17,3	24,00	19,10	25,70
7	8,9	11,6	8,8	5,70	5,30	9,40
9	4,7	3,7	1,7	2,70	1,50	2,00
11	3,6	2,5	2,1	1,90	3,30	2,80
13	3,2	3,2	2,8	2,30	2,00	3,50

Dari Tabel 5, Gambar 3 dan Gambar 5 dapat dilihat bahwa maksimum THD tegangan adalah 1,90% untuk trafo BHT01 dan 2,08% untuk trafo BHT02, dimana nilai tersebut masih jauh dibawah

standar IEEE 519-1992, seperti terlihat pada Tabel 1 (5%), sehingga tidak dilakukan *derating*.

THD arus pada trafo BHT01 seperti terlihat pada Tabel 6, Gambar 4 dan Gambar 6, adalah 8,22% dan pada trafo BHT02 adalah 10,29% dimana

nilai ini melebihi standar, sehingga perlu dilakukan perhitungan rugi-rugi pada transformator, sebagai berikut :

Untuk transformator BHT01 :

Arus short circuit ( $I_{sc}$ ) =  $(1600 \times 100)/(6,4 \times \sqrt{3} \times 0.4) = 36084,39$  A

Arus beban penuh ( $I_{fl}$ ) =  $1600/(\sqrt{3} \times 0.4) = 2309,40$

Arus beban ( $I_l$ ) = rata-rata arus maksimum/3

$$= (918+1020+884)/3 = 940,66 \text{ A}$$

$$I_{sc}/I_l = 36084,39/940,66$$

$$= 38,36$$

Dengan perbandingan sebesar 38,36, dan dari Tabel 2 maka THDnya adalah 8%. Hasil perhitungan variable rugi-rugi trafo BHT01 seperti terlihat pada Tabel 8 dan rugi-rugi trafo BHT02 pada Tabel 9.

**Tabel 8.** Perhitungan rugi-rugi BHT01

**Harmonisa arus fasa R**

Orde Harmonisa (h)	Arus Harmonisa (I <sub>h</sub> ) (A)	I <sub>h</sub> (pu)	I <sub>h</sub> (pu) <sup>2</sup>	I <sub>h</sub> (pu) <sup>2</sup> xh <sup>2</sup>
1	1108.3	1	1	1
3	11	0.00992511	9.85078E-05	0.00088657
5	29.9	0.02697825	0.000727826	0.018195656
7	8.9	0.00803032	6.4486E-05	0.003159813
9	4.7	0.00424073	1.79838E-05	0.001456686
11	3.6	0.00324822	1.05509E-05	0.001276661
13	3.2	0.0028873	8.33653E-06	0.001408873
		<b>Jumlah =</b>	<b>1.000927691</b>	<b>1.026384261</b>

**Harmonisa arus fasa S**

Orde Harmonisa (h)	Arus Harmonisa (I <sub>h</sub> ) (A)	I <sub>h</sub> (pu)	I <sub>h</sub> (pu) <sup>2</sup>	I <sub>h</sub> (pu) <sup>2</sup> xh <sup>2</sup>
1	1256	1	1	1
3	11.9	0.00947452	8.97666E-05	0.000807899
5	18.5	0.0147293	0.000216952	0.005423806
7	11.6	0.00923567	8.52976E-05	0.004179581
9	3.7	0.00294586	8.67809E-06	0.000702925
11	2.5	0.00199045	3.96187E-06	0.000479387
13	3.2	0.00254777	6.49114E-06	0.001097002
		<b>Jumlah =</b>	<b>1.000411148</b>	<b>1.012690601</b>

**Harmonisa arus fasa T**

Orde Harmonisa (h)	Arus Harmonisa (I <sub>h</sub> ) (A)	I <sub>h</sub> (pu)	I <sub>h</sub> (pu) <sup>2</sup>	I <sub>h</sub> (pu) <sup>2</sup> xh <sup>2</sup>
1	1072.5	1	1	1
3	16.6	0.01547786	0.000239564	0.002156076
5	17.3	0.01613054	0.000260194	0.006504855
7	8.8	0.00820513	6.73241E-05	0.003298882
9	1.7	0.00158508	2.51248E-06	0.000203511
11	2.1	0.00195804	3.83393E-06	0.000463905
13	2.8	0.00261072	6.81587E-06	0.001151882
		<b>Jumlah =</b>	<b>1.000580245</b>	<b>1.013779112</b>

Tabel 9. Perhitungan rugi-rugi BHT02

Harmonisa arus fasa R				
Orde Harmonisa (h)	Arus Harmonisa (Ih) (A)	Ih(pu)	Ih(pu) <sup>2</sup>	Ih(pu) <sup>2</sup> xh <sup>2</sup>
1	1491.5	1	1	1
3	6.3	0.00422394	1.78416E-05	0.000160575
5	24	0.01609118	0.000258926	0.006473155
7	5.7	0.00382166	1.46051E-05	0.000715648
9	2.7	0.00181026	3.27703E-06	0.00026544
11	1.9	0.00127389	1.62278E-06	0.000196357
13	2.3	0.00154207	2.37799E-06	0.00040188
		<b>Jumlah:</b>	<b>1.000298651</b>	<b>1.008213053</b>

Harmonisa arus fasa S				
Orde Harmonisa (h)	Arus Harmonisa (Ih) (A)	Ih(pu)	Ih(pu) <sup>2</sup>	Ih(pu) <sup>2</sup> xh <sup>2</sup>
1	1591.3	1	1	1
3	13.7	0.00860931	7.41203E-05	0.000667082
5	19.1	0.01200277	0.000144066	0.003601659
7	5.3	0.00333061	1.1093E-05	0.000543555
9	1.5	0.00094263	8.88543E-07	7.1972E-05
11	3.3	0.00207378	4.30055E-06	0.000520366
13	2	0.00125683	1.57963E-06	0.000266958
		<b>Jumlah :</b>	<b>1.000236048</b>	<b>1.005671593</b>

Harmonisa arus fasa T				
Orde Harmonisa (h)	Arus Harmonisa (Ih) (A)	Ih(pu)	Ih(pu) <sup>2</sup>	Ih(pu) <sup>2</sup> xh <sup>2</sup>
1	1451	1	1	1
3	14.6	0.010062026	0.000101244	0.000911199
5	25.7	0.017711923	0.000313712	0.007842805
7	9.4	0.006478291	4.19683E-05	0.002056444
9	2	0.00137836	1.89988E-06	0.00015389
11	2.8	0.001929704	3.72376E-06	0.000450574
13	3.5	0.00241213	5.81837E-06	0.000983304
		<b>Jumlah:</b>	<b>1.000468367</b>	<b>1.012398218</b>

Hasil perhitungan rugi-rugi transformator BHT01 seperti terlihat pada Tabel 8 menunjukkan kenaikan rugi tembaga akibat beban yang mengandung harmonik adalah pada fasa R yaitu 0,000927 pu atau 0,093% dan kenaikan rugi arus eddy dapat diperoleh dari persamaan (3) (nilai  $P_{EC}$  diambil 9%, dari Tabel 3), yaitu  $(1.026384261-1) \times 9\% = 0,00237458$  pu atau 0,23%.

Untuk rugi-rugi pada BHT02 seperti terlihat pada Tabel 9, kenaikan rugi tembaga terjadi pada fasa T, yaitu 0,000468 atau 0,047%, sedangkan kenaikan rugi arus eddy adalah  $(1.012398218 - 1) \times 9\% = 0,00111584$  pu atau 0,11%

## KESIMPULAN

Transformator BHT01 dan BHT02 tidak perlu dilakukan perhitungan penurunan kapasitas transformator (*derating*) karena nilai  $THD_v$  masih dibawah standar IEEE 519-1992, yaitu untuk BHT01 adalah 1,90% dan BHT02 adalah 2,08%, sedangkan  $THD_i$  hanya 1 fasa yang mengalami kenaikan. Timbulnya harmonisa arus yang melebihi standar IEEE 519-1992 pada BHT01 dan BHT02, yaitu untuk BHT01 adalah 8,22% (fasa R) dan BHT02 adalah 10,29% (fasa S) akan menimbulkan rugi-rugi transformator, yaitu rugi tembaga dan rugi arus *Eddy*. Kenaikan yang hanya terjadi pada satu fasa pada masing-masing transformator menun-

jujukan beban non linier pada fasa tersebut lebih besar dari fasa lainnya. Pada BHT01 kenaikan rugi tembaga adalah 0,093% dan kenaikan rugi arus *Eddy* adalah 0,23%, sedangkan pada BHT02 kenaikan

rugi tembaga adalah 0,047% dan kenaikan rugi arus eddy adalah 0,11%.

#### DAFTAR PUSTAKA

1). **DUGAN, ROGER.C., Mc.GRANAGHAN, MARK F., SANTOSO, SURYA, BEATY, H.W.**, Electrical Power System Quality, The McGraw-Hill Companies, New York, 2004.

2). **IEEE Std. 519-1992, IEEE Recommended Practices and Requirements for Harmonic Control Power System**, IEEE-SA. Standard Board, Piscataway, USA, 1993.

3). **ARRILAGA, J, BRADLEY, D.A.,BODGER, P.S.**,1985, Power System Harmonic, London: british Library.

#### DISKUSI :

**Nama Penanya : Endang Susilowati (PRSG)**

**Pertanyaan :**

Apa tindak lanjut dengan adanya kerugian harmonisa pada transformator?

**Jawaban :**

Karena nilai yang didapat dari hasil pengukuran masih lebih kecil dari standar IEEE 519-1992, maka tidak diperlukan penanganan lebih lanjut, artinya perlu ke dalam transformator tersebut tidak diperlukan perhitungan penurunan kapasitas daya terpasang (derating)

**Nama penanya : Teguh S (PRSG)**

**Pertanyaan :**

Orde berapa yang digunakan sebagai bahan acuan sebagai perhitungan

**Jawaban :**

Orde maksimum yang melebihi standard IEEE 519-1992, digunakan sebagai acuan dalam menghitung rugi-rugi berbenan ( $P_{LL}$ )