

# ANALISIS TEKNIS DAN EKONOMIS DAMPAK HARMONISA PADA SISTEM INSTALASI LISTRIK DI DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO UNIVERSITAS DIPONEGORO TERHADAP TRAF0 DAYA 630 KVA

Ilham Prima Yudhanto<sup>\*)</sup>, Mochammad Facta dan Denis

Program Studi Sarjana Departemen Teknik Elektro, Universitas Diponegoro  
Jl. Prof. Sudharto, SH, Kampus UNDIP Tembalang, Semarang 50275, Indonesia

<sup>\*)</sup>E-mail: [ilham.ilam59@gmail.com](mailto:ilham.ilam59@gmail.com)

## Abstrak

*Gedung Teknik Elektro Universitas Diponegoro yang terdiri dari 2 gedung dan masing-masing gedung memiliki 3 lantai berfungsi sebagai tempat administrasi dan perkuliahan. Pertumbuhan beban yang terus meningkat khususnya beban non-linier seperti LED, Personal Computer, Printer dll. Dapat memicu timbulnya emisi harmonisa arus dan tegangan yang tinggi. Maka dari itu, pada tugas akhir ini dilakukan Analisis Teknis Dan Ekonomis Dampak Harmonisa Pada Sistem Instalasi Listrik Di Departemen Teknik Elektro Universitas Diponegoro Terhadap Trafo Daya 630 Kva dengan menggunakan ETAP 12.6, yang mengacu pada standar SPLN D5.004-1:2012 ataupun IEEE std C57.110-2008. Pada tugas akhir ini, dampak teknis yang dianalisis adalah rugi-rugi pada trafo dan penurunan kapasitas pada trafo. Menurut SPLN D5.004-1:2012 batas harmonisa arus maksimal adalah 12% dan batas harmonisa tegangan maksimal adalah 5%. Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat menjadi acuan untuk penelitian selanjutnya.*

*Kata kunci: harmonisa, beban non-linier, Trafo 630 kVA, SPLN D5.004-1:2012, IEEE std C57.110-2008, ETAP 12.6.*

## Abstract

*Diponegoro University Electrical Engineering Building which consists of 2 buildings and each building has 3 floors functioning as a place for administration and lectures. The ever-increasing growth of loads, especially non-linear loads such as LEDs, Personal Computers, Printers, etc. Can trigger the emission of high current and voltage harmonics. Therefore, in this final project, an Technical and Economic Analysis of the Effect of Harmonics on Electrical Installation Systems in the Department of Electrical Engineering is carried out on the use of a 630 kVA transformer using ETAP 12.6, which refers to the SPLN D5.004-1:2012 standard or IEEE std C57. 110-2008. In this final project, the technical impact analyzed is the losses in the transformer and a decrease in the capacity of the transformer. According to SPLN D5.004-1:2012 the maximum current harmonic limit is 12% and the maximum voltage harmonic limit is 5%. The results of this study are expected to be a reference for further research.*

*Keywords: harmonics, non-linier loads, 630 kVA Transformer, SPLN D5.004-1:2012, IEEE std C57.110-2008, ETAP 12.6.*

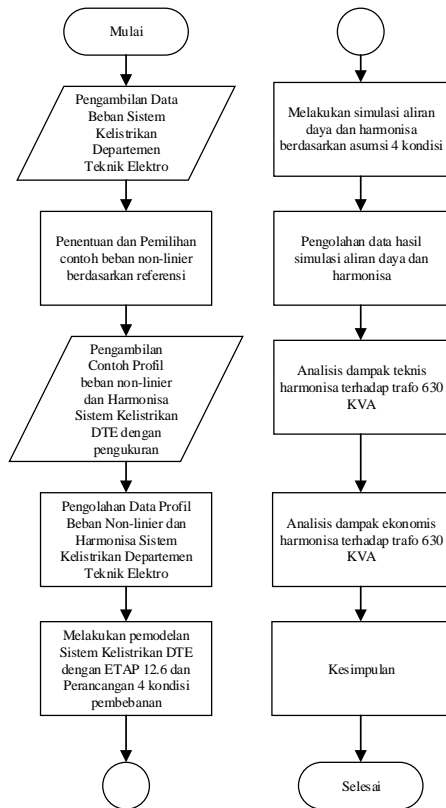
## 1. Pendahuluan

Meningkatnya penggunaan elektronika daya ternyata menimbulkan masalah baru terhadap kualitas energi listrik, yaitu munculnya harmonisa yang menyebabkan terjadinya distorsi gelombang tegangan atau arus. Pada dasarnya sistem tenaga listrik menggunakan frekuensi dasar 50 Hz, namun akibat penggunaan beban non-linier ini muncul arus dan tegangan dengan frekuensi kelipatan dari frekuensi dasarnya.[1] Gelombang dengan frekuensi kelipatan dari frekuensi dasarnya ini akan menyebabkan distorsi pada gelombang dasar sehingga gelombang dasarnya tidak lagi murni sinusoidal. Fenomena yang timbul itulah yang disebut dengan harmonisa. Harmonisa dapat memberikan efek kesalahan pengukuran pada alat ukur.[2] Batasan distorsi tegangan dan arus yang timbul dalam suatu sistem

kelistrikan harus memenuhi standar berlaku yaitu 12% dan 5%[3]. Pada Departemen Teknik Elektro Universitas Diponegoro banyak sekali beban non-linier yang digunakan, seperti Personal Computer (PC), Programmable Logic Controller (PLC), ballast elektronik, Air Conditioner (AC), dan lainnya. Karena itu, timbulnya harmonisa baik pada tegangan maupun arus dapat memberikan dampak pada peralatan-peralatan listrik lain seperti panas lebih pada transformator, meningkatnya rugi-rugi pada transformator[4], dan penggunaan listrik menjadi tidak efisien[5]. Berdasarkan masalah-masalah yang sudah diuraikan diatas, maka penulis pada Tugas Akhir ini akan membahas mengenai Analisis Teknis Dan Ekonomis Dampak Harmonisa Pada Sistem Instalasi Listrik Di Departemen Teknik Elektro Universitas Diponegoro Terhadap Trafo Daya 630 Kva.

## 2. Metode Penelitian

### 2.1. Langkah Penelitian



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

## 2.2. Persamaan yang digunakan

### 2.2.1. True Power Factor

Nilai *true power factor* dinyatakan dalam persen didapat pada persamaan berikut[6][7]:

$$PF_{dist} = \frac{1}{\sqrt{1+(THD_i)^2}} \quad (1)$$

dimana

$THD_i$  = Total Current Harmonic Distortion

### 2.2.2. Daya Distorsi

Daya distorsi adalah daya yang muncul akibat adanya emisi harmonisa yang timbul pada sistem. Dinyatakan dalam  $kVAR_H$  pada persamaan berikut:

$$H(\%) = \sqrt{S^2 - Q^2 - P^2} \quad (2)$$

dimana

S = Daya Semua (kVA)

P = Daya Aktif (kW)

Q = Daya Reaktif (kVAR)

### 2.2.3. Rugi Daya Pada Trafo

Nilai rugi-rugi dalam trafo dapat dipecah menjadi dua komponen, yaitu rugi tanpa beban (rugi besi/ inti) dan rugi berbeban (rugi belitan). Rugi inti bernilai tetap, sedangkan rugi belitan nilainya berubah tergantung pada kondisi beban pada saat itu. Rugi belitan meningkat sebesar besar nilai arus kuadrat maka dari itu rugi belitan dapat juga disebut dengan rugi kuadrat[8]. Untuk nilai rugi besi dan rugi belitan pada transformator distribusi yang dalam keadaan tanpa beban terdapat standar yang berlaku untuk 630 kVA adalah 1300 W dan 6500 W[9].

### 2.2.4. Losses Trafo Akibat Harmonisa

*Losses* pada trafo akibat harmonisa dapat diperoleh dengan persamaan berikut[10].

$$P_{LL}(pu) = I^2 x (1 + F_{HL} P_{EC-R}) \quad (3)$$

dimana

I = Arus fundamental (A)

$F_{HL}$  = Harmonic Loss Factor

$P_{EC-R}$  = Rated Eddy Current

Nilai *rated eddy current*-nya adalah 0.01[11]

### 2.2.5. Derating Trafo Akibat Harmonisa

*Derating* pada trafo akibat harmonisa dapat diperoleh dengan persamaan berikut[10]

$$I_{max}(pu) = \sqrt{\frac{P_{LL-R}(pu)}{1 + F_{HL} x P_{EC-R}(pu)}} \quad (4)$$

dimana

$P_{LL-R}$  = Rated load-loss

$F_{HL}$  = Harmonic Loss Factor

$P_{EC-R}$  = Rated Eddy Current

### 2.2.6. Biaya Akibat Losses Trafo

Biaya *losses* pada trafo akibat harmonisa dapat diperoleh dengan persamaan berikut[12]

$$B_L = P_T x 8760 x B_{kWh} \quad (5)$$

Dimana:

$B_L$  : Biaya losses

$P_T$  : Losses trafo

8760 : Jam operasional trafo setahun

$B_{kWh}$  : Tarif listrik per-kWh

2.2.7. Biaya Akibat Derating Trafo

Biaya *derating* pada trafo akibat harmonisa dapat diperoleh dengan persamaan berikut [13]

$$B_D = D_T \times B_{kVA} \tag{6}$$

Dimana:

- $B_D$  : Biaya *derating*
- $D_T$  : Nilai *derating* trafo
- $B_{kVA}$  : Biaya satuan trafo per-kVA

Atau bisa juga dengan persamaan [14]:

$$F_i = \frac{1}{\sqrt{1+0.1(\sum_{h=2}^n h^{1.6} T_h^2)}} \tag{7}$$

Dimana:

$$T_h = \frac{I_h}{I_1} \tag{8}$$

2.3. Kondisi Penelitian

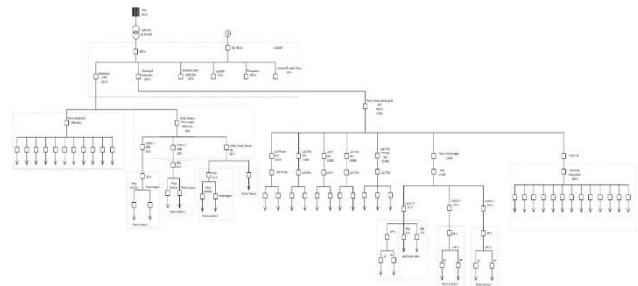
Pada penelitian ini terbagi menjadi 4 kondisi pembebanan yang dijelaskan pada tabel dibawah ini:

Tabel 1. Kondisi Penelitian

Kondisi	Keterangan dan Asumsi	Referensi Metode dan Perhitungan
1	Perhitungan Dampak dari harmonisa orde 1 s.d. 20 menggunakan metode IEEE C57.110 dengan kondisi beban gd. Teknik Elektro 100% ditambah dengan gd. Teknik Perkapalan 40%, gd. Teknik Geodesi 40%, dan gd. Dekanat Lama 40%	Losses Trafo: - IEEE C57.110-2008 Faktor Derating Trafo: - IEEE C57.110-2008
	Perhitungan Dampak dari harmonisa orde 1 s.d. 20 menggunakan metode IEEE C57.110 dengan kondisi beban Teknik Elektro 100% (Gd A 100% dan Gd. B 100%)	Losses Trafo: - IEEE C57.110-2008 Faktor Derating Trafo: - IEEE C57.110-2008
	Perhitungan Dampak dari harmonisa orde 1 s.d. 20 menggunakan metode IEEE C57.110 dengan kondisi beban Teknik Elektro 80% (Gd A 100% dan Gd. B 60%)	Losses Trafo: - IEEE C57.110-2008 Faktor Derating Trafo: IEEE C57.110-2008
	Perhitungan Dampak dari harmonisa orde 1 s.d. 20 menggunakan metode IEEE C57.110 dengan kondisi beban Teknik Elektro 65% (Gd A 100% dan Gd. B 30%)	Losses Trafo: - IEEE C57.110-2008 Faktor Derating Trafo: IEEE C57.110-2008

2.4. Data Penelitian

2.4.1. Single Line Diagram Teknik Elektro Undip



Gambar 2. SLD Teknik Elektro Undip

2.4.2. Data Trafo

Tabel 2. Data Nameplate Trafo

Transformator	
Jenis Trafo	3 fasa
Frekuensi	50 Hz
Nominal Rating	630 kVA
Nominal Voltage	20 kV/400V
Nominal Current	18,187 A/908,327 A
Cooling	ONAN
Impedance (%)	4.05

2.4.3. Data Hasil Pengukuran

Tabel 3. Data Nilai IHDi Tiap Kondisi

Orde	Nilai IHDi (A)			
	Kondisi			
	1	2	3	4
1	149	195.5	257.7	375
2	0	0.1	0.2	0.2
3	0	0	0	0
4	0	0	0.1	0
5	6.2	14.9	26.2	33.9
6	0	0	0	0
7	1.8	9.6	13.3	41.3
8	0	0	0	0
9	0	0	0	0
10	0	0	0	0
11	6.4	10.3	13	16.4
12	0	0	0	0
13	4.4	1.8	1	14.2
14	0	0	0	0
15	0	0	0	0
16	0	0	0	0
17	1.4	2.9	3.8	6.2
18	0	0	0	0
19	0.9	0.6	0.8	5.9
20	0	0	0	0

Tabel 4. Nilai THDi Semua Kondisi

Kondisi	Nilai THDi (%)
1	15.63
2	13.22
3	10.27
4	6.6

Tabel 5. Nilai THD<sub>v</sub> Semua Kondisi

Kondisi	Nilai THD <sub>v</sub> (%)
1	2.63
2	1.55
3	1.14
4	0.9

### 3. Hasil dan Analisis

#### 3.1. Analisa Sistem Kelistrikan Teknik Elektro Kondisi Existing Ke-Empat Kondisi

Data *existing* yang didapat sebelumnya disimulasikan dengan *software* ETAP 12.6. Tabel dibawah ini memperlihatkan data hasil simulasi kondisi *existing* yang didapat pada bus 2:

Tabel 6. Hasil simulasi kondisi *existing*

Kondisi	Power factor (%)	Daya Aktif (kW)	Daya Semu (kVA)	Daya Reaktif (kVAR)	THDi (%)	THDv (%)	V (%)	I <sub>L</sub> (A)	I <sub>hs</sub> (A)
1	93.4	219.3	234.8	83.8	15.63	2.63	98.73	343.3	21.8
2	92.62	150.6	162.6	61.3	13.22	1.55	99.1	236.8	21.8
3	92.08	114.2	124.1	48.4	10.27	1.14	99.32	180.3	21.8
4	91.49	87.1	95.2	38.4	6.6	0.9	99.47	138.1	21.8

##### 3.1.1. Kondisi 1

Dari tabel 6. didapatkan nilai THD<sub>i</sub> sebesar 15.63% dan nilai THD<sub>v</sub> sebesar 2.63%. Nilai THD<sub>i</sub> yang timbul ini tidak memenuhi standar SPLN D5.004-1: 2012 yang dimana batas toleransi total harmonisa arus dengan nilai I<sub>hs</sub>/I<sub>L</sub> sebesar 63.5 yaitu 12% yang dapat dilihat pada tabel 2.4. Sedangkan untuk nilai THD<sub>v</sub> yang timbul sudah sesuai dengan standar SPLN D5.004-1: 2012 dimana untuk system dibawah 66 kV batas toleransinya adalah 5% yang dapat dilihat pada tabel 2.3. Hal ini terjadi karena pada kondisi 1 ini banyak terdapat beban non-linier seperti komputer, lampu LED, AC dengan inverter, dll.

Pada kondisi 1 ini kita juga dapat menghitung nilai *true* PF nya sebagai berikut:

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

$$PF_{dist} = 0.98$$

$$PF_{true} = PF_{disp} \times PF_{dist}$$

$$PF_{true} = 0.934 \times 0.98$$

$$PF_{true} = 0.915$$

Dari hasil perhitungan diatas maka didapat nilai PF yang sebenarnya dalam sistem pada kondisi 1 adalah 91.5%. Selanjutnya dibawah ini adalah perhitungan untuk mengetahui nilai dari daya distorsi harmonisa:

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2 + H^2}$$

$$234.8 = \sqrt{(219.3)^2 + (83.8)^2 + H^2}$$

$$H = 4.014 \text{ kVAR}_H$$

Dari perhitungan diatas didapat nilai daya distorsi harmonisa pada kondisi 1 adalah 4.014 kVAR<sub>H</sub>, sehingga hubungan dari keempat daya pada kondisi 1 ini dapat dilihat pada tabel dibawah ini:

Tabel 7. Hasil Analisa Daya Kondisi 1

Kondisi	S (kVA)	P (kW)	Q (kVAR)	H (kVAR <sub>H</sub> )	PF <sub>true</sub> (%)
1	234.8	219.3	83.8	4.014	91.5

##### 3.1.2. Kondisi 2

Dari tabel 6. didapatkan nilai THD<sub>i</sub> sebesar 13.22% dan nilai THD<sub>v</sub> sebesar 1.55%. Nilai THD<sub>i</sub> yang timbul ini tidak memenuhi standar SPLN D5.004-1: 2012 yang dimana batas toleransi total harmonisa arus dengan nilai I<sub>hs</sub>/I<sub>L</sub> sebesar 92.1 yaitu 12% yang dapat dilihat pada tabel 2.4. Sedangkan untuk nilai THD<sub>v</sub> yang timbul sudah sesuai dengan standar SPLN D5.004-1: 2012[15] dimana untuk sistem dibawah 66 kV batas toleransinya adalah 5% yang dapat dilihat pada tabel 2.3.

Pada kondisi 2 ini kita dapat menghitung nilai *true* PF nya sebagai berikut:

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

$$PF_{dist} = 0.992$$

$$PF_{true} = PF_{disp} \times PF_{dist}$$

$$PF_{true} = 0.926 \times 0.992$$

$$PF_{true} = 0.919$$

Dari hasil perhitungan diatas maka didapat nilai PF yang sebenarnya dalam sistem pada kondisi 2 adalah 91.9%. Selanjutnya dibawah ini adalah perhitungan untuk mengetahui nilai dari daya distorsi harmonisa:

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2 + H^2}$$

$$162.6 = \sqrt{(150.6)^2 + (61.3)^2 + H^2}$$

$$H = 0.843 \text{ kVAR}_H$$

Dari perhitungan diatas didapat nilai daya distorsi harmonisa pada kondisi 2 adalah 0.843 kVAR<sub>H</sub>, sehingga hubungan dari keempat daya pada kondisi 2 ini dapat dilihat pada tabel dibawah ini:

Tabel 8. Hasil Analisa Daya Kondisi 2

Kondisi	S (kVA)	P (kW)	Q (kVAR)	H (kVAR <sub>H</sub> )	PF <sub>true</sub> (%)
2	162.6	150.6	61.3	0.843	91.9

##### 3.1.3. Kondisi 3

Dari tabel 6. didapatkan nilai THD<sub>i</sub> sebesar 10.27% dan nilai THD<sub>v</sub> sebesar 1.14%. Nilai THD<sub>i</sub> yang timbul ini

sudah memenuhi standar SPLN D5.004-1: 2012 yang dimana batas toleransi total harmonisa arus dengan nilai  $I_{hs}/I_L$  sebesar 120.9 yaitu 15% yang dapat dilihat pada tabel 2.4. Sedangkan untuk nilai  $THD_v$  yang timbul sudah sesuai dengan standar SPLN D5.004-1: 2012 dimana untuk sistem dibawah 66 kV batas toleransinya adalah 5% yang dapat dilihat pada tabel 2.3.

Pada kondisi 3 ini kita dapat menghitung nilai *true* PF nya sebagai berikut:

$$PF_{dist} = \frac{1}{\sqrt{1 + (THD_I)^2}}$$

$$PF_{dist} = 0.994$$

$$PF_{true} = PF_{disp} \times PF_{dist}$$

$$PF_{true} = 0.92 \times 0.994$$

$$PF_{true} = 0.914$$

Dari hasil perhitungan diatas maka didapat nilai PF yang sebenarnya dalam sistem pada kondisi 3 adalah 91.4%. Selanjutnya dibawah ini adalah perhitungan untuk mengetahui nilai dari daya distorsi harmonisa:

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2 + H^2}$$

$$124.1 = \sqrt{(114.2)^2 + (48.4)^2 + H^2}$$

$$H = 4.076 \text{ kVAR}_H$$

Dari perhitungan diatas didapat nilai daya distorsi harmonisa pada kondisi 3 adalah 4.076 kVAR<sub>H</sub>, sehingga hubungan dari keempat daya pada kondisi 3 ini dapat dilihat pada tabel dibawah ini:

Tabel 9. Hasil Analisa Daya Kondisi 4

Kondisi	S (kVA)	P (kW)	Q (kVAR)	H (kVAR <sub>H</sub> )	PF <sub>true</sub> (%)
3	124.1	114.2	48.4	4.076	91.4

### 3.1.4. Kondisi 4

Dari tabel 6. didapatkan nilai  $THD_i$  sebesar 10.27% dan nilai  $THD_v$  sebesar 1.14%. Nilai  $THD_i$  yang timbul ini sudah memenuhi standar SPLN D5.004-1: 2012 yang dimana batas toleransi total harmonisa arus dengan nilai  $I_{hs}/I_L$  sebesar 157.8 yaitu 15% yang dapat dilihat pada tabel 2.4. Sedangkan untuk nilai  $THD_v$  yang timbul sudah sesuai dengan standar SPLN D5.004-1: 2012 dimana untuk sistem dibawah 66 kV batas toleransinya adalah 5% yang dapat dilihat pada tabel 2.3.

Lalu, pada kondisi 4 ini kita juga dapat menghitung nilai *true* PF nya sebagai berikut:

$$PF_{dist} = \frac{1}{\sqrt{1 + (THD_I)^2}}$$

$$PF_{dist} = 0.998$$

$$PF_{true} = PF_{disp} \times PF_{dist}$$

$$PF_{true} = 0.914 \times 0.998$$

$$PF_{true} = 0.912$$

Dari hasil perhitungan diatas maka didapat nilai PF yang sebenarnya dalam sistem pada kondisi 4 adalah 91.2%. Selanjutnya dibawah ini adalah perhitungan untuk mengetahui nilai dari daya distorsi harmonisa:

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2 + H^2}$$

$$95.2 = \sqrt{(87.1)^2 + (38.4)^2 + H^2}$$

$$H = 1.44 \text{ kVAR}_H$$

Dari perhitungan diatas didapat nilai daya distorsi harmonisa pada kondisi 1 adalah 1.439 kVAR<sub>H</sub>, sehingga hubungan dari keempat daya pada kondisi 4 ini dapat dilihat pada tabel dibawah ini:

Tabel 10. Hasil analisa daya kondisi 4

Kondisi	S (kVA)	P (kW)	Q (kVAR)	H (kVAR <sub>H</sub> )	PF <sub>true</sub> (%)
4	95.2	87.1	38.4	1.44	91.2

## 3.2. Analisis Dampak Teknis Harmonisa Terhadap Trafo

### 3.2.1. Kondisi 1

#### 1. Perhitungan Losses

$$F_{HL} = 2.449633/1.024126 = 2.392$$

Sehingga didapat nilai rugi-rugi pada trafo adalah:

$$P_{LL(pu)} = (I_h/i)^2 \times (1 + F_{HL} \times P_{EC-R(pu)})$$

$$= 1.024126 \times (1 + 2.392 \times 0.01)$$

$$= 1.049 \text{ pu}$$

Maka, total losses pada trafo akibat harmonisa adalah

$$P_{LL(w)} = (P_{LL(pu)} - 1) \times S \times \text{Cos phi} / \sqrt{3}$$

$$= (1.049 - 1) \times 630 \text{ kVA} \times 0.93 / \sqrt{3}$$

$$= 0.049 \times 630 \times 0.93 / \sqrt{3}$$

$$= 16.57 \text{ kW}$$

Dan total keseluruhan losses pada trafo adalah:

$$\text{Losses tanpa beban} + \text{losses akibat harmonisa} = 1.3 + 16.57 = 17.87 \text{ kW}$$

#### 2. Perhitungan Derating Trafo

Dari table diatas dapat kita hitung derating trafo dengan rumus sebagai berikut:

$$I_{max} = \sqrt{\frac{P_{LL-R} (pu)}{1 + F_{HL} \times P_{EC-R} (pu)}}$$

$$I_{max} = 0.993 \text{ pu}$$

Maka trafo hanya bekerja 99.3% dari kapasitas aslinya atau terjadi derating sebesar 0.7%.

$$KVA_{\text{derating}} = 630 \text{ kVA} \times 0.7\% = 4.41 \text{ kVA.}$$

### 3.2.2. Kondisi 2

#### 1. Perhitungan Losses

$$F_{HL} = 1.761047/1.015757 = 1.734$$

Sehingga didapat nilai rugi-rugi pada trafo adalah:

$$\begin{aligned} P_{LL(pu)} &= (I_h/i)^2 \times (1+F_{HL} \times P_{EC-R(pu)}) \\ &= 1.015757 \times (1+1.734 \times 0.01) \\ &= 1.033 \text{ pu} \end{aligned}$$

Maka, total losses pada trafo akibat harmonisa adalah

$$\begin{aligned} P_{LL(w)} &= (P_{LL(pu)} - 1) \times S \times \cos \phi / \sqrt{3} \\ &= (1.033 - 1) \times 630 \text{ kVA} \times 0.93 / \sqrt{3} \\ &= 0.033 \times 630 \times 0.93 / \sqrt{3} \\ &= 11.16 \text{ kW} \end{aligned}$$

Dan total keseluruhan losses pada trafo adalah:

$$\text{Losses tanpa beban} + \text{losses akibat harmonisa} = 1.3 + 11.16 = 12.46 \text{ kW}$$

#### 2. Perhitungan Derating Trafo

Dari table diatas dapat kita hitung derating trafo dengan rumus sebagai berikut:

$$\begin{aligned} I_{max} &= \sqrt{\frac{P_{LL-R} (pu)}{1 + F_{HL} \times P_{EC-R} (pu)}} \\ I_{max} &= 0.996 \text{ pu} \end{aligned}$$

Maka trafo hanya bekerja 99.6% dari kapasitas aslinya atau terjadi derating sebesar 0.4%.

$$KVA_{\text{derating}} = 630 \text{ kVA} \times 0.4\% = 2.52 \text{ kVA.}$$

### 3.2.3. Kondisi 3

#### 1. Perhitungan Losses

$$F_{HL} = 1.683905/1.011302 = 1.665$$

Sehingga didapat nilai rugi-rugi pada trafo adalah:

$$\begin{aligned} P_{LL(pu)} &= (I_h/i)^2 \times (1+F_{HL} \times P_{EC-R(pu)}) \\ &= 1.011302 \times (1+1.665 \times 0.01) \\ &= 1.028 \text{ pu} \end{aligned}$$

Maka, total losses pada trafo akibat harmonisa adalah

$$\begin{aligned} P_{LL(w)} &= (P_{LL(pu)} - 1) \times S \times \cos \phi / \sqrt{3} \\ &= (1.028 - 1) \times 630 \text{ kVA} \times 0.93 / \sqrt{3} \\ &= 0.028 \times 630 \times 0.93 / \sqrt{3} \\ &= 9.47 \text{ kW} \end{aligned}$$

Dan total keseluruhan losses pada trafo adalah:

$$\text{Losses tanpa beban} + \text{losses akibat harmonisa} = 1.3 + 9.47 = 10.77 \text{ kW}$$

#### 2. Perhitungan Derating Trafo

Dapat kita hitung derating trafo dengan rumus sebagai berikut:

$$\begin{aligned} I_{max} &= \sqrt{\frac{P_{LL-R} (pu)}{1 + F_{HL} \times P_{EC-R} (pu)}} \\ I_{max} &= 0.997 \text{ pu} \end{aligned}$$

Maka trafo hanya bekerja 99.7% dari kapasitas aslinya atau terjadi derating sebesar 0.3%.

$$KVA_{\text{derating}} = 630 \text{ kVA} \times 0.3\% = 1.89 \text{ kVA}$$

### 3.2.4. Kondisi 4

#### 1. Perhitungan Losses

$$F_{HL} = 1.459736/1.004719 = 1.45288$$

Sehingga didapat nilai rugi-rugi pada trafo adalah:

$$\begin{aligned} P_{LL(pu)} &= (I_h/i)^2 \times (1+F_{HL} \times P_{EC-R(pu)}) \\ &= 1.004719 \times (1+1.45288 \times 0.01) \\ &= 1.019 \text{ pu} \end{aligned}$$

Maka, total losses pada trafo akibat harmonisa adalah

$$\begin{aligned} P_{LL(w)} &= (P_{LL(pu)} - 1) \times S \times \cos \phi / \sqrt{3} \\ &= (1.019 - 1) \times 630 \text{ kVA} \times 0.93 / \sqrt{3} \\ &= 0.063 \times 630 \times 0.93 / \sqrt{3} \\ &= 6.43 \text{ kW} \end{aligned}$$

Dan total keseluruhan losses pada trafo adalah:

$$\text{Losses tanpa beban} + \text{losses akibat harmonisa} = 1.3 + 6.43 = 7.73 \text{ kW}$$

#### 2. Perhitungan Derating Trafo

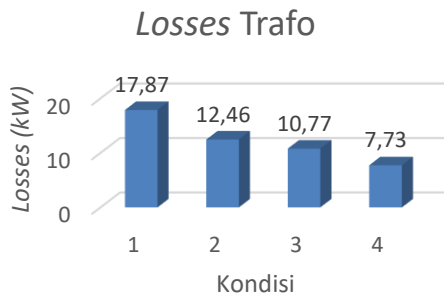
Dapat kita hitung derating trafo dengan rumus sebagai berikut:

$$\begin{aligned} I_{max} &= \sqrt{\frac{P_{LL-R} (pu)}{1 + F_{HL} \times P_{EC-R} (pu)}} \\ I_{max} &= 0.998 \text{ pu} \end{aligned}$$

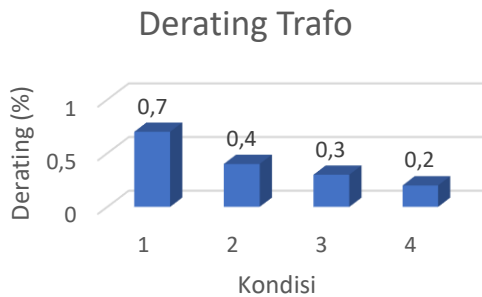
Maka trafo hanya bekerja 99.8% dari kapasitas aslinya atau terjadi derating sebesar 0.2%.

$$KVA_{\text{derating}} = 630 \text{ kVA} \times 0.2\% = 1.26 \text{ kVA}$$

**3.3. Kurva Analisis Dampak Teknis Harmonisa Keempat Kondisi Terhadap Trafo**



Gambar 3. Grafik perbandingan losses trafo



Gambar 4. Grafik perbandingan derating trafo

Dari 2 grafik diatas dapat dilihat bahwa kondisi 1 trafo memiliki losses terbesar yaitu 17.87 kW dan *derating* terbesar yaitu 0.7%, dan kondisi 4 memiliki losses terkecil yaitu 7.73 kW dan *derating* terkecil yaitu 0.2%. Hal ini disebabkan karena pada kondisi 1 trafo mendapat supply arus harmonisa terbesar dibanding semua kondisi yaitu sekitar 15.63% dan kondisi 4 mendapat supply arus harmonisa terkecil yaitu sekitar 6.6%.

**3.4. Analisis Dampak Ekonomis Harmonisa Terhadap Trafo**

**3.4.1. Kondisi 1**

1. Perhitungan Ekonomis akibat losses trafo  
Dapat kita cari sesuai dengan rumus diatas yaitu:

$$B_L = (17.87 \times 8760 \times 680)$$

$$B_L = \text{Rp. } 162.100.000,00 \text{ pertahun}$$

2. Perhitungan ekonomis akibat derating  
Dapat kita cari sesuai dengan rumus diatas yaitu:

$$B_D = 4410 \times 365.08$$

$$B_D = \text{Rp. } 1,610,002.8$$

**3.4.2. Kondisi 2**

1. Perhitungan Ekonomis akibat losses trafo  
Dapat kita cari sesuai dengan rumus diatas yaitu:

$$B_L = (12.46 \times 8760 \times 680)$$

$$B_L = \text{Rp. } 113.100.000,00 \text{ pertahun}$$

2. Perhitungan ekonomis akibat derating  
Dapat kita cari sesuai dengan rumus diatas yaitu:

$$B_D = 2520 \times 365.08$$

$$B_D = \text{Rp. } 920,001.6$$

**3.4.3. Kondisi 3**

1. Perhitungan Ekonomis akibat losses trafo  
Dapat kita cari sesuai dengan rumus diatas yaitu:

$$B_L = (10.77 \times 8760 \times 680)$$

$$B_L = \text{Rp. } 97.720.000,00 \text{ pertahun}$$

2. Perhitungan ekonomis akibat derating  
Dapat kita cari sesuai dengan rumus diatas yaitu:

$$B_D = 1890 \times 365.08$$

$$B_D = \text{Rp. } 690,001.2$$

**3.4.4. Kondisi 4**

1. Perhitungan Ekonomis akibat losses trafo  
Dapat kita cari sesuai dengan rumus diatas yaitu:

$$B_L = (7.73 \times 8760 \times 680)$$

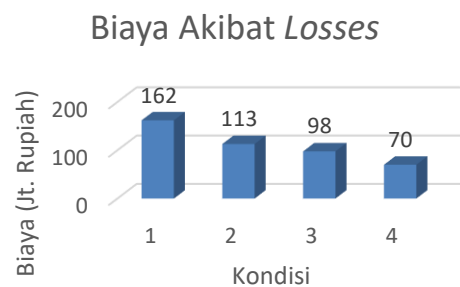
$$B_L = \text{Rp. } 70.140.000,00 \text{ pertahun}$$

2. Perhitungan ekonomis akibat derating  
Dapat kita cari sesuai dengan rumus diatas yaitu:

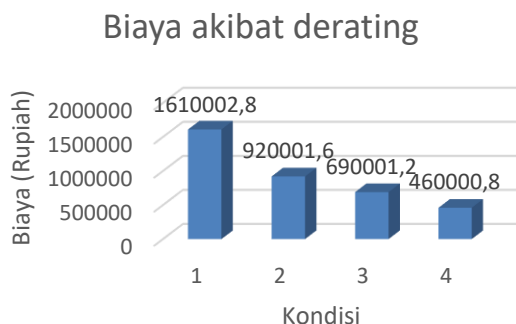
$$B_D = 1260 \times 365.08$$

$$B_D = \text{Rp. } 460,000.8$$

**3.5. Kurva Analisis Dampak Ekonomis Harmonisa Keempat Kondisi Terhadap Trafo**



Gambar 5. Grafik perbandingan dampak ekonomis akibat losses



**Gambar 6. Grafik perbandingan dampak ekonomis akibat derating trafo**

Dari grafik diatas dapat dilihat bahwa kondisi 1 trafo memiliki biaya *losses* tertinggi yaitu Rp. 162,100,000.00 dan juga biaya *derating* tertinggi yaitu Rp. 1,620,002.8, dan kondisi 4 memiliki biaya *losses* terendah yaitu Rp. 70,140,000.00 dan juga biaya *derating* terendah yaitu Rp. 460,000.8. Hal ini disebabkan karena pada kondisi 1 trafo mendapat supply arus harmonisa terbesar dibanding semua kondisi yaitu sekitar 15.63% dan kondisi 4 mendapat supply arus harmonisa terkecil yaitu sekitar 6.6%.

#### 4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis, setelah dilakukan peninjauan dan perhitungan pada kondisi 1 memiliki dampak terburuk pada sistem dengan nilai rugi-rugi trafo sebesar 17.87 kW dan nilai derating trafo 4.41 kVA, sehingga total kerugian biayanya adalah sekitar Rp. 163,710,002.8 rupiah. Dan pada kondisi 4 memiliki dampak yang paling kecil dengan nilai rugi-rugi trafo sebesar 7.73 kW dan nilai derating trafo sebesar 1.26 kVA, sehingga total kerugian biayanya adalah sekitar Rp. 70,600,000.8 rupiah. Melihat kondisi tersebut maka sangat perlu dilakukannya mitigasi harmonisa yang lebih mendalam.

#### Referensi

- [1]. Tanoto, Y. 2005. Simulasi Active Filter dan Sistem Kerja Rangkaian Dalam Meredam Harmonisa pada Vacuum Casting Induction Furnace Dengan Daya 9 kW, 13.8 kVA, 200 V, 3 Fasa , 50/60 Hz. Surabaya: Jurusan Teknik Elektro Universitas Kristen Petra.
- [2]. J. Arrillaga, N,R Watson , *Subject Definitio and Objective*, "Power System Harmonics Second Edition", 2003.
- [3]. IEEE Power and Energy Society. 519-2014. IEEE Recommended Practice and Requirement for Harmonic Control in Electric Power System. New York: 2014.
- [4]. Dhavitra, R., Firdaus., Feranita. Analisis Dampak Total Harmonic Distortion Terhadap Losses dan Derating Pada Transformator Distribusi di Fakultas Teknik Universitas Riau. Jom FTEKNIK Volume 2 No. Februari 2015.
- [5]. Suweden, Rinas. 2009. Analisa Penanggulangan Thd Dengan Filter Pasif Pada Sistem Kelistrikan Di Rsup Sanglah. Jurnal Teknologi Elektro, Vol. 8 No.2 Juli - Desember 2009.
- [6]. Grady W. M., Gilleskie R. J., "Harmonics And How They Relate To Power Factor". San Diego. 1993.
- [7]. Pomeroy, P., and Marais, S. Explaining Distortion Power Factor. Reg. No. IT 1637/97.
- [8]. C. W. T. McLyman, *Transformer and Inductor Design Handbook*. 2004.
- [9]. IEC, "IEC 60076 About Power Transformer," *Communication*, 2000.
- [10]. IEEE C57.110-2008 standard", IEEE Recommended Practice for Establishing Liquid-Filled and Dry- Type Power and Distribution Transformer Capability When Supplying Nonsinusoidal Load Currents,"2008.
- [11]. SPLN 50:1997. Spesifikasi Transformator Distribusi.
- [12]. Abdurrahman S., "Analisis Rugi-Rugi Energi Listrik Akibat Menurunnya Performa Trafo Distribusi Satu Fasa Di PT. PLN Semarang Selatan". Universitas Semarang.
- [13]. Marison, Ear. 2011. "Menentukan Kerugian Minimum Akibat Emisi Harmonisa Pada Populasi Konsumen Industri". Tesis. Departemen Teknik Elektro. Fakultas Teknik. Universitas Indonesia.
- [14]. UTE C15-112. Main Effects of Harmonic in Installation.
- [15]. SPLN D5.004-1:2012 Power Quality (Regulasi Harmonisa, Flicker, dan Ketidakseimbangan Tegangan.