

## PENGARUH HARMONIK TERHADAP KENAIKAN TEMPERATUR TRANFORMATOR DAYA 630 kVA DI POLITEKNIK NEGERI SEMARANG

Oleh: Akhmad Jamaah, Amir Subagyo, Iman Suroso  
Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Semarang  
Jl. Prof. Sudharto, SH. Tembalang Semarang 50275  
E-mail : akhmad.jamaah@polines.ac.id

### Abstract

*The Semarang State Polytechnic as an institution of higher vocational education currently has more than 500 units computers which is spread out on 21 computer laboratories/multimedia laboratories. Each laboratory is equipped with air conditioner (AC). Power supply system in Polines is served by 2 transformers. The power capacity of transformer are 630 kVA. Computer, printer, energy-efficient lighting and other appliances with motor speed control are a non-linear loads that cause harmonics in the power system network. High content of harmonics on power system network causes overheating to the distribution transformers. It is not treated immediately will cause the transformer life time becomes shorter. The research was aimed to determine harmonics content and its effect on distribution transformers in Polines by performing measurements on transformers under load conditions. The transformers load was in accordance with the required Polines load in academic and administrative activities. The comparison method between the results of measurements with the IEEE 519-1992 standard and the SPLN 8-2: 1991 standard are used to analyze the problem. By comparing the measurement results with the IEEE 519-1992 standard and the SPLN 8-2: 1991 standard. Based on the results of the research, the harmonic content of the transformer for the total harmonic content of voltage ( $THD_V$ ) was below the standard ( $<5\%$ ) and total harmonic current content (TDD) or IHD for the second transformer was also below the standard. However, due to the fact that transformer was overheating with  $64^\circ\text{C}$ , it means that the heat of the transformer has approached the SPLN 8-2: 1991 standard heat which is  $65^\circ\text{C}$ , then it needs to be calculated transformer losses increase due to load containing harmonics. After observing the results of those measurements, it turns out that the transformer room conditions are not comply with the requirements because of the lack of air circulation.*

*Key words: Non linear, Harmonics, Transformers, Temperature.*

### Abstrak

Politeknik Negeri Semarang sebagai sebuah lembaga pendidikan tinggi vokasi saat ini mempunyai lebih dari 500 unit komputer yang tersebar pada 21 laboratorium komputer/laboratorium multimedia. Setiap laboratorium dilengkapi dengan pendingin ruangan (AC). Sistem catu daya di Polines dilayani oleh 2 (dua) buah trafo yaitu masing-masing ber-daya 630 kVA. Komputer, printer, lampu hemat energi dan pendingin ruangan adalah beban-beban *non linier* yang menyebabkan timbulnya harmonik pada jaringan sistem tenaga listrik. Kandungan harmonik yang tinggi pada jaringan sistem tenaga listrik akan menyebabkan trafo distribusi mengalami panas berlebih dan apabila tidak segera ditangani akan menyebabkan *life time* trafo menjadi pendek. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui besar harmonik dan pengaruhnya terhadap kenaikan temperatur trafo distribusi di Polines dengan cara melakukan pengukuran harmonik trafo dan temperatur dalam keadaan berbeban. Pembebanan trafo sesuai dengan beban yang dibutuhkan Polines dalam melaksanakan kegiatan akademik dan administratif. Metoda analisa yang dipergunakan adalah metoda komperasi antara hasil pengukuran dengan standar IEEE 519-1992 dan standar SPLN 8-2: 1991. Berdasarkan hasil penelitian ini bahwa kandungan harmonik trafo untuk total kandungan harmonik tegangan ( $THD_V$ ) semua di bawah standar ( $< 5\%$ ) dan total kandungan harmonik arus ( $THD_I$ ) maupun IHD di bawah standar. Namun karena pada kenyataannya trafo mengalami pemanasan sebesar  $64,8^\circ\text{C}$  panas ini mendekati standar panas yang diijinkan oleh standar SPLN 8-2: 1991 yaitu  $65^\circ\text{C}$ , maka perlu dicari penyebab lain selain harmonik. Setelah diamati ternyata kondisi ruangan trafo yang tidak sesuai dengan persyaratan yaitu kurangnya sirkulasi udara pendingin.

Kata kunci : Beban *non linear*, Harmonik, Transformator, Temperatur

## I. PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Peralatan listrik yang dipergunakan di Politeknik Negeri Semarang adalah peralatan listrik yang termasuk beban *non linier* seperti: komputer, *printer*, pendingin ruangan (AC), peralatan listrik dengan *switching* elektronik, Lampu Hemat Energi (LHE) dan *Florescent Lamp* (FL) dengan balas elektronik. Pembebanan trafo distribusi oleh beban non-linier akan menimbulkan distorsi harmonik pada sistem tenaga listrik. Sistem tenaga listrik yang mengandung harmonik berdampak kerugian pada trafo distribusi. Kandungan harmonik yang besar menyebabkan trafo mengalami pemanasan yang berlebih (*over heating*) walaupun beban belum mencapai beban nominal.

Pemanasan berlebih disebabkan karena meningkatnya rugi-rugi pada trafo yaitu: rugi beban ( $P_{LL}$ ), rugi  $I^2R$ , rugi *Eddy Current* serta rugi sasar lainnya (*other stray*).

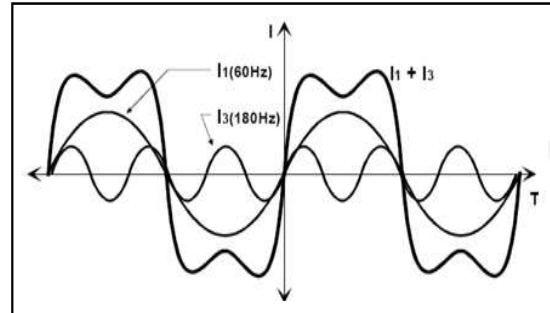
Beban *non-linier*, yaitu beban yang mengakibatkan bentuk gelombang arus tidak sinusoidal walaupun disuplai dengan tegangan yang sinusoidal. Gelombang arus yang tidak sinusoidal atau gelombang arus terdistorsi dinamakan harmonik. Kadar harmonik yang tinggi pada sistem tenaga listrik tidak dihindaki karena merugikan dan dianggap sebagai gangguan dalam sistem tenaga listrik.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui penurunan kapasitas daya trafo karena pengaruh distorsi harmonik dengan cara melakukan pengukuran kandungan distorsi harmonik pada sistem tenaga, perhitungan *derating* dan analisisnya pada trafo distribusi 3 fasa 630 kVA di Politeknik Negeri Semarang.

### 1.2 Tinjauan Pustaka

#### a. Teori Harmonik

Harmonik adalah suatu komponen sinusoidal dari suatu periode gelombang yang mempunyai suatu frekuensi yang merupakan kelipatan bulat dari gelombang fundamental tersebut [1]. Jika frekuensi fundamentalnya  $f$ , frekuensi harmonik orde ke "n" adalah  $n \times f$ . Biasanya istilah harmonik ini digunakan untuk mendefinisikan distorsi gelombang sinus arus dan tegangan pada amplitudo dan frekuensi yang berbeda.



Gambar 1 Gelombang fundamental terdistorsi harmonik ke-3 (Zulkarnaini,2006)

Distorsi harmonik disebabkan karena adanya beban *non-linear* dalam sistem tenaga [2]. Peralatan elektronik seperti komputer, *printer*; peralatan listrik dengan *switching* elektronik, Lampu Hemat Energi (LHE) dan *Florescent Lamp* (FL) dengan balas elektronik merupakan beban *non-linear*.

#### b. Indeks harmonik

Untuk menganalisis pengaruh harmonik terhadap kualitas tegangan dan arus ditentukan oleh indeks harmonik, yaitu THD (*Total Harmonic Distortion*) dan TDD (*Total Demand Distortion*).

Perbandingan nilai komponen harmonik dengan komponen fundamental biasanya dinyatakan dalam persen, indeks ini disebut dengan THD (*Total Harmonic Distortion*). THD biasanya digunakan untuk menyatakan bentuk penyimpangan bentuk gelombang arus dan tegangan yang mengandung harmonik terhadap gelombang sinusoidal murni dalam satu periode.

$$THD_V = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} V_h^2}}{V_1} \times 100\% \quad (1)$$

$$THD_I = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} I_h^2}}{I_1} \times 100\% \quad (2)$$

Persamaan (1) dan (2) merupakan persamaan untuk menentukan nilai THD tegangan dan arus [2]. Kontribusi masing-masing komponen harmonik terhadap distorsi arus dan tegangan dinyatakan oleh IHD (*Individual Harmonic Distortion*).

Nilai IHD untuk harmonik tegangan dan arus

pada orde ke-n didefinisikan sebagai berikut:

$$\frac{V_h}{V_1} \times 100\% \text{ dan } \frac{I_h}{I_1} \times 100\% \quad (3)$$

Tingkat distorsi arus dapat dilihat dari nilai THD, akan tetapi hal tersebut dapat saja salah saat diinterpretasikan. Aliran arus yang kecil dapat memiliki nilai THD yang tinggi, namun tidak menjadi ancaman yang dapat merusak sistem tenaga listrik. Beberapa analisis mencoba menghindari kesulitan seperti ini dengan melihat THD pada arus beban puncak frekuensi dasar dan bukan melihat sampel sesaat pada frekuensi dasar. Hal ini disebut *total demand distortion* (TDD) dan masuk dalam standar IEEE 519-1992, tentang "Recommended Practices and Requirement for Harmonic Control in Electrical Power System".

Sehingga TDD dapat didefinisikan dengan persamaan sebagai berikut ;

$$TDD = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} I_h^2}}{I_L} \times 100\% \quad (4)$$

dengan,  $I_h$  adalah arus harmonik orde ke-h

$I_L$  adalah arus beban puncak pada frekuensi dasar yang diukur pada PCC (*the maximum demand load current*)

Cara untuk menentukan  $I_L$  yaitu dengan menghitung nilai rata-rata beban maksimum selama periode pengukuran [2].

c. Standar batas distorsi tegangan dan arus

Batas atau standar untuk besarnya tegangan dan arus harmonik yang diijinkan disesuaikan dengan standar IEEE 519-1992.

Tabel 1 Batas distorsi tegangan menurut standar IEEE 519-1992 [3]

Bus voltage at PCC, $V_n$ (kV)	Individual voltage Distortion (%)	Total voltage distortion THD <sub>v</sub> (%)
$V_n \leq 69$	3.0	5.0
$69 < V_n \leq 161$	1.5	2.5
$V_n > 161$	1.0	1.5

Sumber: IEEE Standard 519-1992

Tabel 2 Batas distorsi arus menurut standar IEEE 519-1992 [3]

$V_n \leq 69$ kV						
$I_{sc} / I_L$	h < 11	11 ≤ h < 17	17 ≤ h < 23	23 ≤ h < 35	35 ≤ h	TDD (%)
< 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
$69$ kV < $V_n \leq 161$ kV						
< 20	2.0	1.0	0.75	0.3	0.15	2.5
20 – 50	3.5	1.75	1.25	0.5	0.25	4.0
50 – 100	5.0	2.25	2.0	0.75	0.35	6.0
100-1000	6.0	2.75	2.5	1.0	0.5	7.5
> 1000	7.5	3.5	3.0	1.25	0.7	10.0
$V_n > 161$ kV						
< 50	2.0	1.0	0.75	0.3	0.15	2.5
≥ 50	3.0	1.5	1.15	0.45	0.22	3.75

Sumber: IEEE Standard 519-1992, tabel 10.3, 10.4, 10.5.

dengan :

$I_{sc}$  adalah nilai maksimum arus hubung singkat

$I_L$  adalah arus permintaan maksimum

h adalah orde harmonik

TDD adalah *Total Demand Distortion* (%)

d. Pengaruh harmonik pada rugi-rugi trafo berbeban

Rugi-rugi berbeban terdiri dari rugi tembaga belitan, rugi arus eddy dan rugi sasaran lainnya (*other stray loss*), atau dalam bentuk persamaan dapat dituliskan;

$$P_{LL} = P_{DC} + P_{EC} + P_{OSL} \text{ (watt)} \quad (5)$$

dengan :

$P_{DC}$  = rugi-rugi yang dihasilkan oleh arus beban dan tahanan dc belitan

$P_{EC}$  = rugi-rugi arus eddy belitan

$P_{OSL}$  = rugi-rugi sasaran lain dalam klem, tangki dan lainnya

(1) Pengaruh harmonik pada rugi belitan

Jika harga rms arus beban meningkat dengan adanya komponen harmonik, maka rugi-rugi belitan ( $P_{DC}$ ) akan bertambah dengan kuadrat arus [4].

$$P_{DC} = R_{DC} \times I_A^2 = R_{DC} \times \left( \sum_{h=1}^{h=h \text{ max}} I_{h,rms}^2 \right) \text{ watt} \quad (6)$$

Penambahan faktor yang meningkatkan harga rms arus pada rugi-rugi yang didasarkan pada kandungan harmonik, dengan  $I_R$  adalah arus rating atau arus nominal maka rugi-rugi dapat dituliskan dengan persamaan dalam per-unit.

$$P_{DC}(pu) = R_{DC-R} \sum_{h=1}^{h_{max}} [I_h^2(pu)] \quad (7)$$

dengan :

$$P_{DC} = \text{rugi-rugi tembaga belitan trafo (watt)}$$

$$P_{DC-R} = \text{rugi-rugi tembaga belitan pada rating arus (watt)}$$

$$I_h = \text{arus harmonik (pu)}$$

(2) Pengaruh harmonik pada rugi arus eddy

Rugi-rugi arus eddy yang dibangkitkan oleh fluks elektromagnetik diasumsikan bervariasi dengan kuadrat arus rms dan kuadrat dari frekuensi [5]. Dalam nilai per unit dapat dituliskan sebagai berikut :

$$P_{EC}(pu) = P_{EC-R}(pu) \cdot \sum_{h=1}^{h_{max}} [I_h(pu)]^2 h^2 \text{ pu} \quad (8)$$

dengan:

$$I_h \text{ adalah arus rms pada orde harmonik (pu).}$$

$$P_{EC-R} \text{ adalah rugi arus eddy pada kondisi rating kerja (pu).}$$

Tabel 3 Typical Values of  $P_{EC-R}$  [2]

Type	MVA	Voltage	PEC-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

Sumber: Dugan, Roger C., 2004

e. Hipotesis

Berdasarkan pada landasan teori dan hasil-hasil penelitian yang pernah dilakukan maka penelitian ini mengambil hipotesis sebagai berikut:

1. Trafo dibebani dengan beban *non-linear* seperti: komputer, *printer*, pendingin ruangan (AC), lampu hemat energi (LHE), dan peralatan elektronik lainnya mengakibatkan distorsi harmonik tegangan (THD<sub>v</sub>) dan distorsi harmonik arus (TDD) yang cukup besar.

2. THD<sub>v</sub> dan TDD hasil pengukuran melampaui standar IEEE 519-1992.
3. Diketahui data harmonik maka dapat dihitung kenaikan temperatur Trafo.

II. METODA PENELITIAN

Metoda yang dilakukan dalam penelitian ini adalah metoda komparasi antara hasil pengukuran dengan standar IEEE 519-1992 dan SPLN 8-2: 1991. Apabila hasil pengukuran melebihi standar maka dilakukan perhitungan kenaikan temperatur dan jika hasil pengukuran dibawah standar tidak dilakukan perhitungan.

2.1 Alat Penelitian

Alat-alat penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Transformator 3 phasa, Produk PT. TRAFINDO, 630 kVA, 20kV/380V, YNyn6, Impedansi (4%), milik Polines .
2. *Power Quality Analyzer* KEW 6310 Ver. 2.10 produk Kyoritsu Electrical Instrument Works, LTD. Tokyo Japan, peralatan ini dipergunakan untuk mengukur besarnya THD pada transformator (*real-time*) dengan tampilan digital.
3. *Clamp probe/sensor* M-8129, *Range measures:* 300A, 1000A, 3000A, Ø 150 mm, peralatan ini dipergunakan untuk sensor arus beban.
4. *Noncontact InfraRed Thermometer*, KW06-304 produk Krisbow, *wide temperature measures:* -50° C to 750° C. Peralatan ini dipergunakan untuk mengukur suhu trafo.
5. Seluruh peralatan yang terdapat dalam ruang teori maupun laboratorium yang suplai listriknya diambil dari trafo sebagai obyek penelitian.

2.2 Jalannya Penelitian

Dalam melaksanakan penelitian ini langkah-langkah yang ditempuh adalah sebagai berikut:

1. Pengambilan Data
  - a. Mengukur kandungan harmonik tegangan dan arus dari sisi sekunder trafo 630 kVA dengan beban sesuai dengan keadaan beban di Polines.
  - b. Mengukur temperatur trafo saat beban tertinggi.
2. Penyajian Data
  - a. Menampilkan data pengukuran kandungan harmonik dan temperatur trafo.
  - b. Memilih standar uji kandungan harmonik

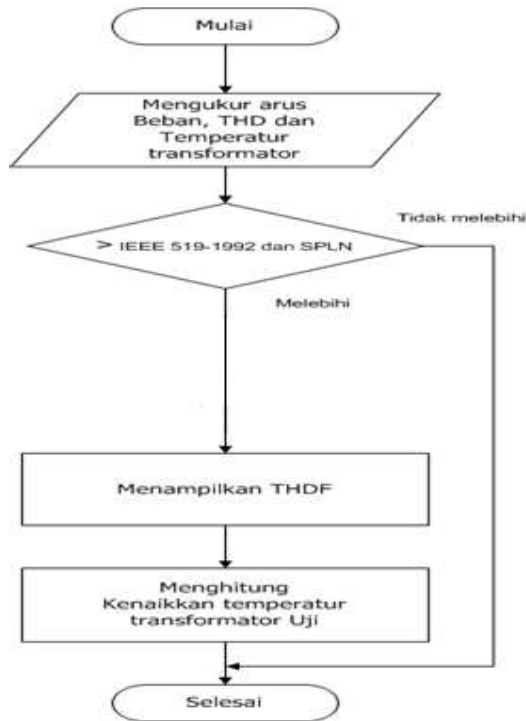
hasil pengukuran pada standar IEEE 519-1992 dan SPLN 8-2: 1991

### 3. Analisis Data

- Menentukan metoda analisis data pengukuran yakni metoda komperasi antara hasil pengukuran dengan standar IEEE 519-1992 dan SPLN 8-2: 1991.
- Membandingkan hasil pengukuran dengan standar IEEE 519-1992 dan menentukan perlu atau tidak dilakukan perhitungan kenaikan temperatur trafo.
- Hasil pengukuran kandungan harmonik dibawah standar, tidak perlu dilakukan perhitungan kenaikan temperatur.

### 4. Membuat kesimpulan penelitian.

Diagram alir pelaksanaan penelitian ini ditunjukkan pada gambar 2.



Gambar 2. Diagram alir penelitian

## III. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 3.1 Pengumpulan data

Spesifikasi trafo uji adalah sebagai berikut:

Pabrik pembuat	: PT. TRAFINDO
Tipe	: Indoor
Daya (S)	: 630 kVA
Tegangan kerja (V)	: 21/20,5/20/19,5/19

kV//400V	
Impedansi (Z)	: 4 %
Sistem Pendingin	: ONAN

Perhitungan arus hubung singkat ( $I_{SC}$ ), arus beban penuh ( $I_{FL}$ ) dan arus permintaan maksimum ( $I_L$ ) trafo adalah:

$$I_{SC} = \frac{630 \text{ kVA} \times 100}{4 \times \sqrt{3} \times 0,4 \text{ kV}} = 22.733,2 \text{ A}$$

$$I_{FL} = \frac{\text{kVA}}{\sqrt{3} \times \text{kV}}$$

$$= \frac{630 \text{ kVA}}{\sqrt{3} \times 0,4 \text{ kV}} = 909,33 \text{ A}$$

Besar arus permintaan maksimum (*maximum demand load current*) atau  $I_L$  selama pengukuran trafo pada hari Senin s/d Jumat tanggal 4 s/d 8 Nopember 2019 terjadi pada hari Kamis tanggal 7 Nopember 2019 jam 12.00 yaitu,

$$I_L = \frac{637,1 + 561,5 + 465,2}{3} = 554,6 \text{ A.}$$

(nilai rata-rata tertinggi/maksimum sampel pengukuran).

### 3.2 Pemilihan standar uji harmonik tegangan dan arus

Untuk meninjau hasil pengukuran TDD dan IHD arus pada standar IEEE 519-1992 maka dihitung nilai  $I_{SC}/I_L$  yaitu:

$$\frac{I_{SC}}{I_L} = \frac{22.733,2 \text{ A}}{554,6 \text{ A}} = 40,99$$

Dari hasil perhitungan  $I_{SC}/I_L = 40,99$  maka tabel standar yang diambil sebagai dasar tinjauan adalah sebagai berikut:

$I_{SC}/I_L$	= 20 – 50
TDD	= 8,0 %
IHD Orde < 11	= 7,0 %
IHD Orde 11–16	= 3,5 %
IHD Orde 17-22	= 2,5 %
IHD Orde 23-34	= 1 %
IHD Orde $\geq 35$	= 0,5 %

Untuk meninjau standar harmonik tegangan  $THD_V$  maka nilai tegangan pengenal yang dilihat adalah sisi sekunder trafo sebesar  $400 \text{ V} < 69 \text{ kV}$  sehingga tabel standar yang diambil sebagai dasar tinjauan adalah  $THD_V = 5 \%$ .

Hasil pengukuran harmonik trafo seperti ditunjukkan pada table 4.

Tabel 4 Data pengukuran trafo

Hari, Tgl	Waktu (WIB)	THD <sub>I</sub> (%)			THD <sub>V</sub> (%)			I <sub>RMS</sub> (A)			I <sub>L</sub> Rata2 (A)	Suhu (°C)
		R	S	T	R	S	T	R	S	T		
Senin 4/11/19	11.20	3,16	2,41	3,21	3,67	3,1	3,64	513	606	377	498,7	62,3
Selasa 5/11/19	11.00	3,16	3,35	3,6	3,67	3,10	3,7	515	607	425	515,6	63,8
Rabu 6/11/19	12.50	3,1	3,3	5,9	3,5	2,8	3,1	560	579	461	533,3	63,1
Kamis 7/11/19	12.00	2,57	3,57	2,79	3,52	2,82	2,93	637	561	465	554,3	64,8
Jumat 8/11/19	11.00	2,16	3,41	2,2	3,15	3,47	2,55	361	376	411	382,7	61,1

Pada saat mengukur  $THD_I$  dan  $THD_V$ , sekaligus terukur juga  $IHD_I$  dan  $IHD_V$  dari orde ke 1 sampai orde ke 63.

### 3.3 Analisis data $THD_V$ dan $THD_I$

Metoda evaluasi yang dipergunakan dalam menganalisis hasil pengukuran  $THD_V$  dan  $THD_I$  adalah metoda komperasi antara hasil pengukuran dengan standar. Jika hasil pengukuran  $\leq$  standar maka trafo tidak perlu dihitung kenaikan temperatur, dan jika hasil pengukuran  $>$  standar maka trafo harus dihitung kenaikan temperaturnya.

Hasil pengukuran menunjukkan bahwa tidak ada harga  $THD_V$  yang melampaui standar yakni semua dibawah standar ( $< 5,0\%$ ) dan temperatur terukur masih dibawah temperatur standar, sehingga trafo tidak perlu dilakukan perhitungan kenaikan temperaturnya

Perhitungan  $THD_I$  dan  $IHD$  dilakukan dengan menerapkan persamaan (3) dan (4) menghasilkan nilai  $\sum I_h^2 = 219,91$  maka:

$$1). TDD = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} I_h^2}}{I_L} \times 100\%$$

$$= \frac{\sqrt{225,8}}{554,6} \times 100\%$$

$$= 2,70\%$$

2).  $IHD$  mulai orde ke 2 sampai dengan orde ke 63 dirangkum pada tabel 5.

Tabel 5 Hasil perhitungan TDD dan  $IHD$  trafo

Orde Harm	TDD /IHD pengkrn (%)	TDD /IHD stand (%)	Ket
TDD	2,70	8,0	< standar
< 11	5,2	7,0	< standar
$11 \leq h < 17$	0,54	3,5	< standar
$17 \leq h < 23$	0,35	2,5	< standar
$23 \leq h < 35$	0,4	1,0	< standar
$35 \leq h$	0,27	0,5	< standar

Dari hasil perhitungan nilai TDD maupun

$IHD$  semua dibawah standar, hal ini mengandung pengertian bahwa trafo tidak perlu dilakukan perhitungan kenaikan temperatur disamping itu temperatur trafo juga masih dibawah standar.

### 3.4 Analisis pengaruh harmonik pada trafo

Pengaruh harmonik pada trafo saat berbeban adalah meningkatnya nilai rugi-rugi. Untuk mengetahui besar rugi-rugi trafo saat berbeban dengan beban yang mengandung harmonik maka dihitung variabel-variabel yang mempengaruhi besar kecilnya rugi-rugi itu. Dari penelitian menunjukkan bahwa harmonik dan temperatur yang ditimbulkan dari pembebanan di Polines semua masih dibawah standar.

Temperatur trafo tertinggi selama pengukuran  $64,6^\circ C$  yang mendekati standar SPLN 8-2: 1991 ( $65^\circ C$ ) disebabkan karena ruang trafo yang sirkulasi udaranya kurang baik, sehingga perlu dibuat ventilasi udara atau dipasang exhaust fan pendinginan trafo secara alamiah dapat berjalan dengan baik.

## IV. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian pengaruh harmonik terhadap kenaikan temperatur trafo distribusi di Politeknik Negeri Semarang, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Trafo dengan frekuensi pengukuran sebanyak 5 (lima) kali dalam seminggu perkuliahan menghasilkan  $THD$  tegangan tertinggi  $3,7\%$  dan TDD arus adalah  $2,7\%$ .
2.  $THD$  tegangan dan TDD arus dari trafo tidak melebihi standar IEEE 519-1992 maka tidak perlu dilakukan perhitungan kenaikan temperatur.
3. Trafo dengan beban berpolusi harmonik mengakibatkan panas yang mendekati standar SPLN 8-2: 1991 disebabkan ruang trafo yang kurang baik sirkulasi udaranya.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Gusnita, Novi., 2005, *Analisis Harmonik Pada Sistem Distribusi*, Tesis S2 Teknik Elektro UGM, Yogyakarta.
- [2] Dugan, Roger C., Mc Granaghan, Mark F., Santoso, Surya., Beaty, H. Wyne., 2004, *Electrical Power Systems Quality*,

- [3] The McGraw-Hill Companies, New York. IEEE Std 519-1992, 1993, *IEEE Recommended Practices and Requirements for Harmonic Control Power System*, IEEE-SA. Standard Board, Piscataway, USA.
- [4] Geduldt, Owen Christoper., 2005, *The Impact of Harmonic Distortion on Power Transformer Operating Near The Thermal Limit*, Dissertation, University of Johannesburg.
- [5] IEEE Std C57.110-1998 (R2004), *IEEE Recommended Practice for Establishing Transformer Supplying Nonsinusoidal Load Currents*, IEEE-SA. Standard Board, Piscataway, New-York USA.
- [6] De Keuleaer, Hans, 2008, *Transformer derating*, Leonardo Energy's flagship publication, Brussels, Belgium.