

Pengaruh Harmonik Terhadap Peningkatan Panas Pada Transformator 400 kVA di Politeknik Negeri Semarang

Akhmad Jamaah

Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Semarang
E-mail : akhmadjamaah@yahoo.com

Abstrak

Komputer, printer, lampu hemat energi dan peralatan pengatur kecepatan motor yang merupakan 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 peningkatan panas pada trafo distribusi di Polines dengan cara melakukan pengukuran harmonik trafo dalam keadaan keadaan berbeban. Pembebanan trafo sesuai dengan beban yang dibutuhkan Polines dalam melaksanakan kegiatan akademik dan administratif. Dari hasil penelitian ini menunjukkan bahwa trafo dengan kandungan harmonik THD_1 tinggi menyebabkan efek pemanasan yang lebih tinggi.

Kata kunci : harmonik, panas, trafo

Abstract

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. This research was aimed to determine harmonics content and its temperature effect on distribution transformers in Polines by performing measurements on transformers under load conditions. The transformers load was in accordance with the required of Polines load in academic and administrativ activities. The results of the research indicate that, the harmonic content transformer for the THD_1 were higher, this causes higher temperature effect.

Keywords : harmonic, temperature, transformer

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Politeknik Negeri Semarang dalam rangka mendukung tercapainya kompetensi yang telah ditetapkan oleh masing-masing program studi maka disediakan sarana prasarana laboratorium dan bengkel (*workshop*) yang memadai. Diantara laboratorium-laboratorium yang paling banyak adalah laboratorium komputer. Setiap laboratorium komputer dilengkapi dengan pendingin ruangan (AC) dan LCD Proyektor.

Sistem suplai tenaga listrik diperoleh dari PLN melalui trafo tiga-fasa berdaya 400 kVA, 20kV/400V. Pembebanan trafo oleh beban non-linier seperti: komputer, printer, pendingin ruangan dan peralatan-peralatan elektronik lainnya menyebabkan trafo mengalami pemanasan berlebihan (*over heating*) walaupun beban belum nominal. Hal ini diakibatkan karena meningkatnya rugi-rugi pada trafo yaitu rugi beban (P_{LL}), rugi I^2R , rugi *Eddy Current* serta

rugi sasaran lainnya (*other stray*).

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

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh harmonik terhadap panas pada trafo 400 kVA di Politeknik Negeri Semarang.

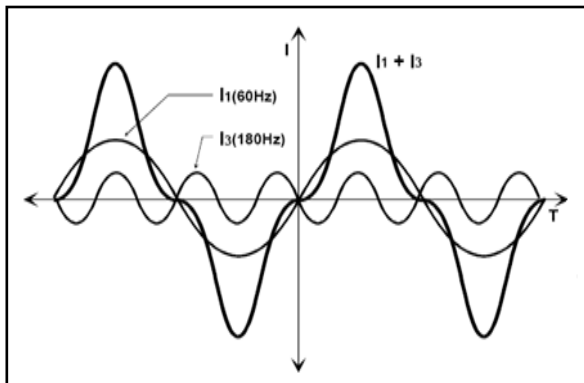
1.2 Tinjauan Pustaka

1.2.1 Teori Harmonik

Harmonik adalah suatu komponen sinusoidal dari suatu periode gelombang yang mempunyai frekuensi yang merupakan kelipatan bulat dari gelombang fundamental-nya [1]. Jika frekuensi fundamental adalah f maka frekuensi harmonik orde ke "n" adalah $n \times f$. Biasanya istilah

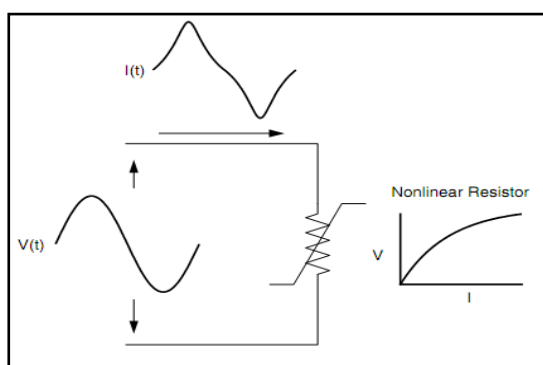
harmonik ini digunakan untuk mendefinisikan distorsi gelombang sinus arus dan tegangan pada amplitudo dan frekuensi yang berbeda.

Gelombang yang terdistorsi terdiri dari beberapa harmonik, dan harmonik yang pertama dikenal sebagai frekuensi dasar atau fundamental. Selanjutnya harmonik dengan kelipatan ganjil disebut sebagai harmonik ganjil dan harmonik dengan kelipatan genap disebut harmonik genap. Gambar 1 menunjukkan gelombang arus yang merupakan penjumlahan antara gelombang fundamental dengan gelombang harmonik orde ke 3 dengan beda fasa 180°.



Gambar 1 Gelombang Fundamental Terdistorsi Oleh Harmonik Ke 3.

Distorsi harmonik disebabkan karena adanya beban *non-linear* dalam sistem tenaga[2]. Beban *non-linear* adalah jenis peralatan listrik yang berperilaku dapat mengubah bentuk gelombang arus atau tegangan menjadi bentuk tertentu yang tidak sinusoidal, contohnya: komputer, printer, peralatan listrik dengan switching elektronik, Lampu Hemat Energi (LHE) dan *Florescent Lamp* (FL) dengan balas elektronik. Gambar 2. memperlihatkan sebuah beban non-linear disuplai dengan tegangan sinusoidal murni menghasilkan arus yang tidak sinusoidal. Keadaan ini dapat dikatakan bahwa arus mengandung harmonik.



Gambar 2 Beban Non-Linear [2]

Dalam analisis harmonik ada beberapa indeks penting yang digunakan untuk menggambarkan pengaruh harmonik terhadap sistem tenaga listrik 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 sinusoida murni dalam satu perioda.

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

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

Dengan :

V_1 dan I_1 adalah komponen fundamental tegangan dan arus

V_h dan I_h adalah komponen harmonik dari tegangan dan arus.

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 arus dan tegangan pada orde ke-n didefinisikan sebagai berikut:

$$V_h/V_1 \text{ dan } I_h/I_1$$

TDD merupakan distorsi harmonik arus total yang dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$TDD = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} I_h^2}}{I_L} \quad \dots\dots\dots 3)$$

Dengan I_L adalah arus beban maksimum yang dibutuhkan (*the maximum demand load current*)

Rugi-rugi pada transformator terdiri dari rugi-rugi tanpa beban atau rugi-rugi inti dan rugi-rugi berbeban [4]. Rugi-rugi ini dapat ditulis dengan persamaan:

$$P_{TL} = P_{NL} + P_{LL} \text{ (watt) } \dots \dots \dots 4)$$

Dengan :

- P_{NL} = rugi – rugi tanpa beban (watt)
- P_{LL} = rugi – rugi berbeban (watt)
- P_{TL} = rugi – rugi total (watt)

Rugi-rugi tanpa beban terjadi karena adanya tegangan yang diinduksikan dalam inti. Rugi-rugi berbeban terdiri dari rugi-rugi tembaga belitan, rugi-rugi arus eddy dan rugi-rugi sasar lainnya (*other stray loss*), atau dalam bentuk persamaan dapat dituliskan :

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

Dengan:

- P_{DC} = rugi – rugi yang dihasilkan oleh arus beban dan tahanan dc belitan (watt)
- P_{EC} = rugi – rugi arus eddy belitan (watt)
- P_{OSL} = rugi – rugi sasar lain dalam klem, tanki dan lainnya (watt)

1.2.2 Pengaruh Harmonik Terhadap Rugi-Rugi pada Transformator

1.2.2.1 Pengaruh harmonik pada rugi-rugi belitan (*PDC*)

Jika harga rms arus beban meningkat dengan adanya komponen harmonik, maka rugi-rugi ini akan bertambah dengan kuadrat arus. [4]

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

dengan :

- P_{DC} = rugi-rugi tembaga belitan trafo (watt)
- R_{DC} = tahanan dc belitan trafo (Ω)
- I_h = arus harmonik (A)
- I_R = arus rating (A)

Penambahan faktor yang meningkatkan harga rms arus pada rugi-rugi *PDC* didasarkan pada besar kandungan harmonik

1.2.2.2 Pengaruh harmonik pada rugi arus Eddy (*PEC*)

Rugi-rugi arus eddy yang dibangkit-kan oleh fluks elektromagnetik diasumsikan bervariasi dengan kuadrat arus rms dan kuadrat dari

frekuensi:

$$P_{EC} = P_{EC-R} \sum_{h=1}^{h=\max} \left[\left(\frac{I_h(A)}{I_R(A)} \right)^2 h^2 \right] \text{ (watt) } \dots 7)$$

dengan:

- I_h = arus rms pada orde harmonik
- I_R = arus rms pada frekuensi rating dan kondisi berbeban
- P_{EC} = rugi-rugi arus eddy
- P_{EC-R} = rugi-rugi arus eddy pada kondisi rating kerja (watt)
- h = orde harmonik

1.2.2.3 Pengaruh harmonik pada rugi-rugi sasar lainnya (*POSL*)

Rugi-rugi sasar lain diasumsikan berubah dengan kuadrat arus rms dan frekuensi harm-onik untuk daya 0,8.

$$P_{OSL} = P_{OSL-R} \sum_{h=1}^{h=\max} h^{0,8} \left(\frac{I_h}{I_R} \right)^2 \dots \dots \dots 8)$$

Faktor rugi-rugi harmonik untuk rugi-rugi sasar lain dapat dituliskan dalam bentuk yang sama seperti untuk arus eddy belitan:

$$F_{HL-STR} = \frac{P_{OSL}}{P_{OSL-R}} = \frac{\sum_{h=1}^{h=\max} \left[\frac{I_h}{I} \right]^2 h^{0,8}}{\sum_{h=1}^{h=\max} \left[\frac{I_h}{I} \right]^2} = \frac{\sum_{h=1}^{h=\max} \left[\frac{I_h}{I_1} \right]^2 h^{0,8}}{\sum_{h=1}^{h=\max} \left[\frac{I_h}{I_1} \right]^2} \dots 9)$$

Oleh karena itu pada beban-beban harmonik, rugi-rugi sasar lain harus dikalikan dengan faktor rugi-rugi harmonik [3]. Berdasarkan riset dan kajian pabrik untuk rugi-rugi sasar (*other stray losses*) tidak berpengaruh kritis pada belitan trafo type kering (*dry type*) maka rugi-rugi ini dapat diabaikan atau sama dengan nol.

II. METODA PENELITIAN

Metoda yang dilakukan dalam penelitian ini adalah dengan mengukur besar kandungan harmonik dan panas trafo untuk mengetahui apakah ada korelasi antara keduanya.

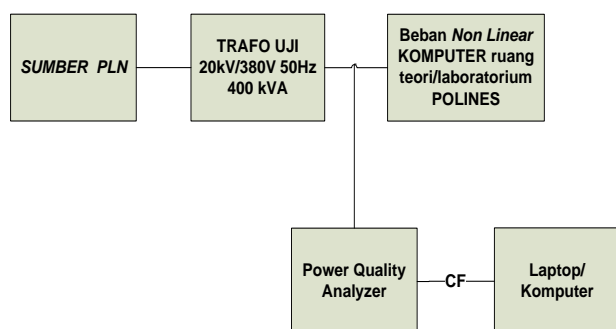
2.1 Alat Penelitian

Alat-alat penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Trafo 3 phasa, Produksi PT. UNINDO, 400
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 M-8129, Range measures: 300A, 1000A, 3000A, Ø 150 mm.
4. Noncontact InfraRed Thermometer, KW 06-304 produk Krisbow, wide temperature measures: -50°C to 750°C .
5. Seluruh peralatan yang terdapat di ruang teori maupun laboratorium yang suplai listriknya diambil dari trafo sebagai obyek penelitian.

2.2 Diagram Blok Rangkaian Pengukuran

Diagram blok rangkaian pengukuran diperlihatkan pada gambar 3.



Gambar 3 Diagram Blok Pengukuran

2.3 Jalannya Penelitian

1. Pengambilan Data
2. Penyajian Data
Menampilkan data pengukuran kandungan harmonik dan suhu trafo dalam bentuk tabel.
3. Analisa Data
Melakukan analisis data apakah ada korelasi antara besar harmonik dengan panas pada trafo uji.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Pengumpulan Data Trafo uji

Spesifikasi Trafo uji adalah sebagai berikut:

Pabrik pembuat	: PT. UNINDO
Tipe	: Indoor
Daya (S)	: 400 kVA
Tegangan kerja (V)	: 20kV/400V
Arus kerja (I_{FL})	: 11,56 / 577,37 A
Hubungan belitan	: YNyn6
Impedansi (Z)	: 4 %

kVA 20kV/380V YNyn6 Impedansi (4%)

3.2 Data Hasil Pengukuran Trafo

Pelaksanaan pengambilan data pengukuran pada trafo dilakukan pada hari Senin dan Selasa, tanggal 14 dan 15 Nopember 2011 dengan interval waktu masing-masing sampel adalah 1 jam menggunakan power quality analyzer KEW 6310. Data terekam langsung pada Compact Flash (CF) dan dibaca melalui USB 2.0 Card Reader. Hasil pengukuran ditunjukkan pada tabel 1.

Pada saat sama diukur suhu trafo pada bagian badan trafo non sirip menggunakan Noncontact InfraRed Thermometer KW06-304. Data hasil pengukuran ditunjukkan pada tabel 1.

Pada saat pengukuran THD_1 , terukur juga IHD_1 dari orde ke 1 sampai orde ke 63. Pada gambar 4 dan gambar 5 diperlihatkan spektrum harmonik orde ganjil dan orde genap untuk pengukuran tanggal 14 Nopember 2011 jam 14.00. Pada gambar grafik tersebut terlihat bahwa sebagai variabel bebas (sumbu x) adalah harmonik orde ke "n" dan variabel terikat (sumbu y) adalah nilai rms harmonik dalam satuan ampere.

3.3. Analisa Data Hasil Pengukuran

Dari hasil pengukuran THD_1 tanggal 14 dan 15 Nopember 2011 dari tabel 2 dan tabel 3 terlihat, bahwa THD_1 rata-rata untuk masing-masing fasa selama pengukuran diperoleh data bahwa pengukuran pada tanggal 14 Nopember 2011 mempunyai harga THD_1 rata-rata lebih tinggi dari pengukuran pada tanggal 15 Nopember 2011.

Data tersebut menunjukkan bahwa trafo dengan kandungan harmonik yang lebih tinggi maka mengakibatkan panas yang lebih tinggi walaupun beban arus lebih kecil.

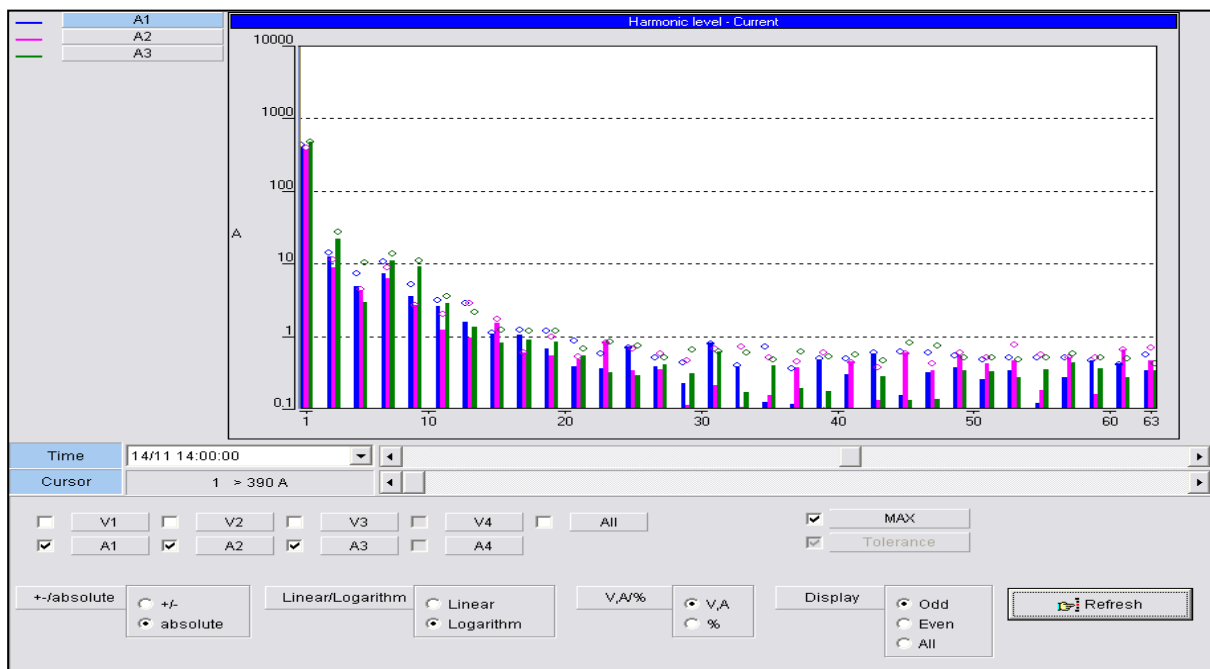
IV. KESIMPULAN

Hasil penelitian ini memberikan simpulan bahwa:

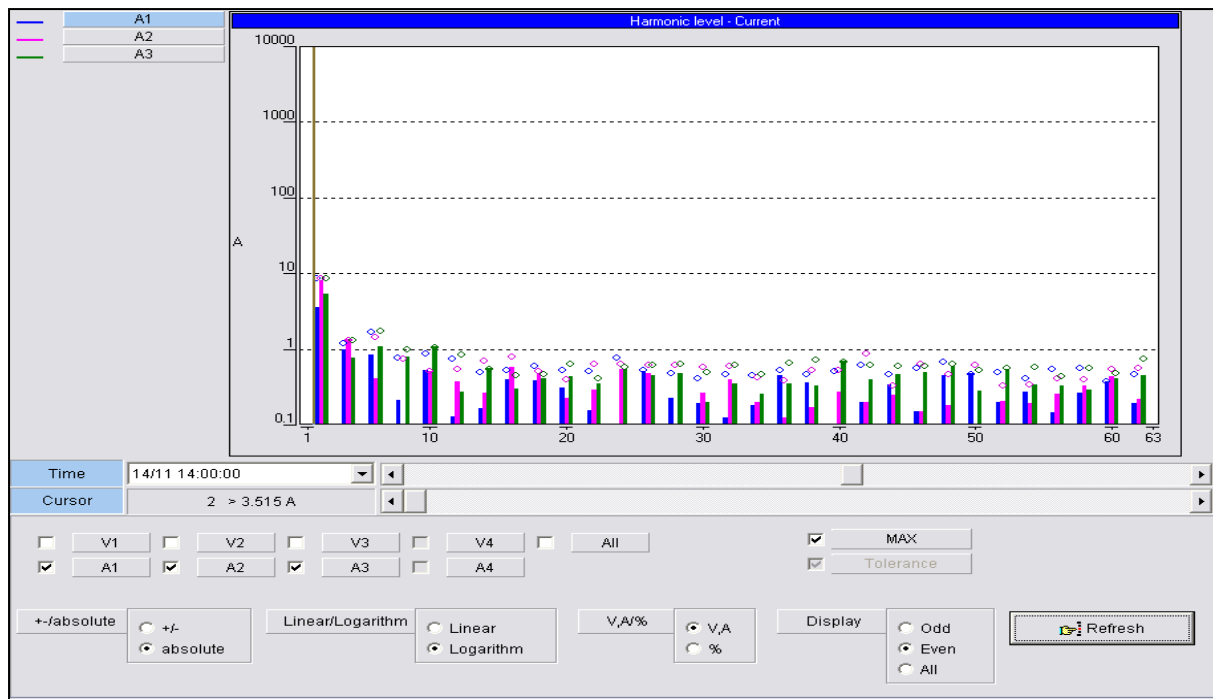
1. Arus listrik yang mengandung harmonik mengakibatkan penambahan pemanasan pada trafo.
2. Semakin besar kandungan harmonik arus maka panas yang ditimbulkan semakin tinggi.

TABEL 1
DATA PENGUKURAN

Hari, Tgl	Waktu (WIB)	THD ₁ (%)			I _{RMS} (A)			Suhu (°C)
		R	S	T	R	S	T	
Senin 14/11/2011	10.00	3,5	3,8	7,9	424	350	440	45,8
	11.00	3,7	3,8	6,5	422	389	478	48,3
	12.00	4,6	4,4	5,9	424	386	475	54,6
	13.00	3,6	3,8	5,7	412	394	470	60,2
	14.00	4,3	4,2	5,7	390	355	471	67,5
	15.00	4,9	4,6	6,5	366	325	419	62,3
	16.00	4,1	5,0	5,0	327	285	384	59,2
	17.00	5,6	4,6	8,1	204	172	212	54,1
	Avg	4,3	4,3	6,4	371	332	419	
Selasa 15/11/2011	08.15	3,1	3,3	5,9	445	376	411	45,1
	09.15	3,8	3,3	5,5	441	375	435	48,5
	10.15	3,6	4,4	5,5	447	399	464	53,6
	11.15	3,7	3,9	4,8	466	426	481	57,1
	12.15	3,9	3,5	5,6	420	439	483	59,6
	13.15	4,0	3,2	5,4	450	440	507	60,1
	14.15	4,4	3,5	6,3	420	419	471	62,5
	15.15	4,2	4,2	6,2	370	367	407	66,4
	16.15	4,7	3,5	4,6	298	261	314	62,2
	17.15	7,9	3,5	7,3	163	185	182	59,6
Avg	4,3	3,6	5,7	392	369	416		



Gambar 4 Spektrum Harmonik Orde Ganjil



Gambar 5 Spektrum Harmonik Orde Genap

TABEL 2
PENGUKURAN TANGGAL 14 NOPEMBER 2011

Fasa	THD _I rata-rata	Arus (I) _{rata-rata} amper
R	4,3	371
S	4,3	332
T	6,4	419

Suhu tertinggi = 67,5 °C

TABEL 3
PENGUKURAN TANGGAL 15 NOPEMBER 2011

Fasa	THD _I rata-rata	Arus (I) _{rata-rata} amper
R	4,3	393
S	3,6	369
T	5,7	416

Suhu tertinggi = 66,4 °C

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Gusnita, Novi., *Analisis Harmonik Pada Sistem Distribusi*, Tesis S2 Teknik Elektro UGM, Yogyakarta, 2005.
- [2] Dugan, Roger C., Mc Granaghan, Mark F., Santoso ,Surya., Beaty, H.Wyne., *Electrical Power Systems Quality*, The McGraw-Hill Companies, NewYork, 2004.
- [3] Geduldt, Owen Christoper., *The Impact of Harmonic Distortion on Power Transformer Operating Near The Thermal Limit*, Dissertation, University of Johannesburg, 2005.
- [4] IEEE Std C57.110-1998, *IEEE Recommended Practice for Establishing Transformer Supplying Nonsinusoidal Load Currents*, IEEE-SA. Standard Board, Piscataway, New-York USA, 2004.