

# Penentuan Pembebanan Maksimum Transformator Daya Yang Menyuplai Personal Computer (PC)

## *Determining The Maximum Loading of Power Transformer Supplying Personal Computer (PC)*

Hari Prasetyo, Hesti Susilawati

<sup>#</sup> Prodi Teknik Elektro Unsoed

*Abstract— Personal computer is electronic equipment that use solid state device, such as rectifiers, so it to be source of harmonic current. Harmonic current is sinusoidal current with multiple frequency of fundamental current which will be increase power losses because increasing effective current and frequency. In electric distribution system, transformer is component with highest power losses. They are consist of DC losses (P<sub>dc</sub>) that influence by effective current, eddy current (PEC) and other stray losses (POSL) which influence by effective current and their frequency. This study involved increasing transformer power losses with assume that transformer supply in full load condition to personal computer. Analyzes following IEEE Std. C57.110-1998 with comparing determination maximum transformer loading use current spectrum from spectrum analyzer equipment and conversion produce Matlab from current wave time domain to current wave frequency domain. The result are maximum transformer loading is 97,84 use spectrum analyzer and 97,84 use Matlab software.*

### PENDAHULUAN

Peningkatan kemajuan teknologi di bidang elektronika daya memperluas penerapan devais solid state seperti diodes, silicon controlled rectifiers (SCRs) dan saklar elektronik lain pada berbagai macam produk berupa peralatan listrik modern berbasis elektronik seperti personal computer (PC). Akibatnya bentuk gelombang arus menjadi terdistorsi karena banyak mengandung harmonisa (Dault et al., 2006). Arus ini disebut arus harmonik dimana frekuensinya kelipatan bulat dari frekuensi fundamentalnya (Grady, 2006) serta hubungan tegangan dan arusnya tidak linier (non linier). Dengan demikian arus yang membebani transformator yang terpasang dalam sistem tenaga listrik memiliki karakteristik gelombang yang berbeda dengan arus yang digunakan pada saat pengujian transformator dalam tahap desain.

Spesifikasi teknis transformator memuat batas pembebanan yang dianjurkan agar umur pakai yang diharapkan tercapai dan pembebanan maksimum yang masih mampu disuplai. Jika pembebanan maksimum terlampaui maka suhu operasi akan menurunkan kemampuan isolasi (degradasi) sehingga dapat menyebabkan hubung singkat (konslet). Oleh karena itu diperlukan cara penentuan pembebanan maksimum transformator menggunakan parameter arus yang menyertakan pengaruh arus harmonik karena peralatan ukur arus konvensional tidak mampu mengukur keberadaan arus tersebut.

Tujuan dari penelitian ini adalah :

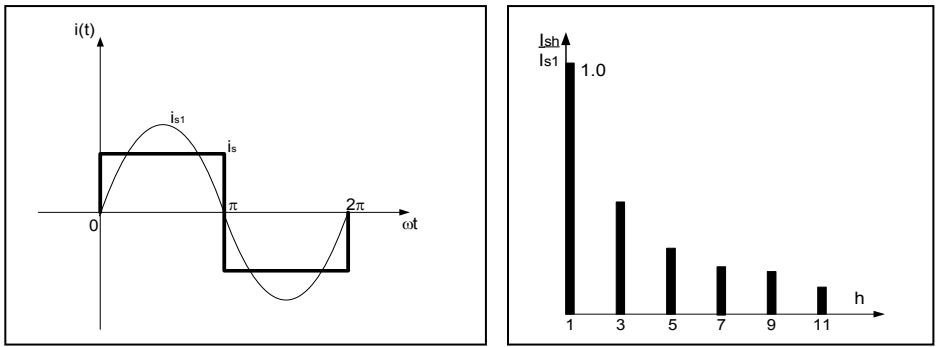
- menentukan persentase pembebanan maksimum transformator yang menyuplai beban personal computer.
- membandingkan metode pengukuran langsung dan metode analisa spektrum harmonik dalam penentuan pembebanan maksimum transformator daya.

Pencapaian tujuan tersebut akan memberikan beberapa manfaat diantaranya memberikan acuan pembebanan maksimum transformator khususnya untuk beban listrik dengan dominasi personal computer.

Pencapaian tujuan tersebut akan memberikan beberapa manfaat diantaranya memberikan acuan pembebanan maksimum transformator khususnya untuk beban listrik dengan dominasi personal computer.

Arus harmonik adalah arus sinusoida dengan frekuensi kelipatan bulat dari frekuensi fundamental sistem sehingga kombinasi dengan arus fundamentalnya akan menyebabkan distorsi bentuk gelombang. Frekuensi fundamental dihasilkan oleh generator, disebut frekuensi harmonik orde pertama. Dengan frekuensi fundamental 50 Hz maka frekuensi harmonik orde kedua adalah 100 Hz, frekuensi harmonik orde

ketiga adalah 150 Hz dan seterusnya. Gambar 1.(a). menunjukkan kondisi ekstem dimana bentuk gelombang arus sinusoida fungsi waktu terdistorsi menjadi bentuk gelombang segi empat karena kandungan harmonisa arusnya sangat tinggi, seperti ditunjukkan Gambar 1.(b). yang merupakan bentuk gelombang segi empat dalam daerah frekuensi. Terlihat bahwa gelombang segi empat tersebut terdiri dari unsur arus dengan frekuensi kelipatan frekuensi fundamentalnya (50 Hz).



Gambar 1 Transformasi fourier (a) Bentuk gelombang arus, (b) Spektrum arus.

Rugi-rugi transformator adalah daya listrik yang berubah menjadi panas dalam transformator. Rugi-rugi transformator terdiri dari rugi beban nol (no load losses) dan rugi berbeban (load losses). Beban non linier yang menghasilkan arus harmonik akan meningkatkan rugi-rugi pada transformator maupun saluran karena peningkatan besar arus efektif. Pada dasarnya rugi beban nol tidak dipengaruhi arus beban beserta kandungan harmoniknya dan hanya sedikit dipengaruhi oleh tegangan harmonik (Hoevenaars, 2003). Arus harmonik pada transformator akan meningkatkan rugi-rugi  $I^2R$  (P<sub>dc</sub> losses) karena penambahan harga RMS arus beban I, rugi arus eddy pada lilitan (winding eddy current losses) yang besarnya sebanding dengan kuadrat orde frekuensi harmonik dan rugi-rugi sasar lain (other stray losses) pada bagian metal transformator (paretto, 2000). Adanya kenaikan rugi-rugi karena arus harmonik akan menurunkan kemampuan pembebanan transformator (IEEE Std C57.110, 1998).

harmonik dengan orde h (I<sub>h</sub>) dinyatakan dalam besaran per unit dari arus fundamentalnya.

Hasil tabulasi pada baris terakhir berupa  $\sum(I_h/I_1)^2$ ,  $\sum(I_h/I_1)^2 h^2$  dan  $\sum(I_h/I_1)^2 h^{0,8}$  digunakan untuk perhitungan dalam analisa rugi-rugi daya transformator dan pembebanan maksimum transformator daya.

TABEL 1 TABULASI MAGNITUD ARUS HARMONIK

H	(I <sub>h</sub> /I <sub>1</sub> )	(I <sub>h</sub> /I <sub>1</sub> ) <sup>2</sup>	h <sup>2</sup>	(I <sub>h</sub> /I <sub>1</sub> ) <sup>2</sup> h <sup>2</sup>	h <sup>0,8</sup>	(I <sub>h</sub> /I <sub>1</sub> ) <sup>2</sup> h <sup>0,8</sup>
1	1.000	1.0000	1	1.000	1.000	1.000
3						
5						
7						
9						
11						
13						
15						
17						
19						
21						
23						
25						
Σ						

METODE PENELITIAN

A. Rangkaian Eksperimen

Untuk pengambilan data gelombang arus dibuat rangkaian eksperimen seperti gambar yang terdiri dari sumber AC yang menyuplai sekelompok personal computer (4 buah) dan spectrum analyzer seperti dalam Gambar 2.

Dalam penelitian ini rangkaian tersebut dapat diwujudkan dengan memanfaatkan jaringan listrik dan komputer yang ada di laboratorium komputer Program Studi Teknik Elektro Unsoed. Spectrum analyzer digunakan untuk melakukan pengukuran arus listrik dalam daerah waktu dan frekuensi kelompok komputer tersebut.

B. Tabulasi Arus Harmonik

Spektrum arus harmonik dalam daerah frekuensi yang teridentifikasi melalui pengukuran dan konversi gelombang arus menggunakan discrete fourier transform ditabulasikan seperti dalam Tabel 1, untuk diolah menjadi arus efektif (I) sehingga dapat digunakan untuk menghitung rugi-rugi daya transformator uji. Arus fundamental (I<sub>1</sub>), arus dengan frekuensi sistem, digunakan sebagai current base. Arus

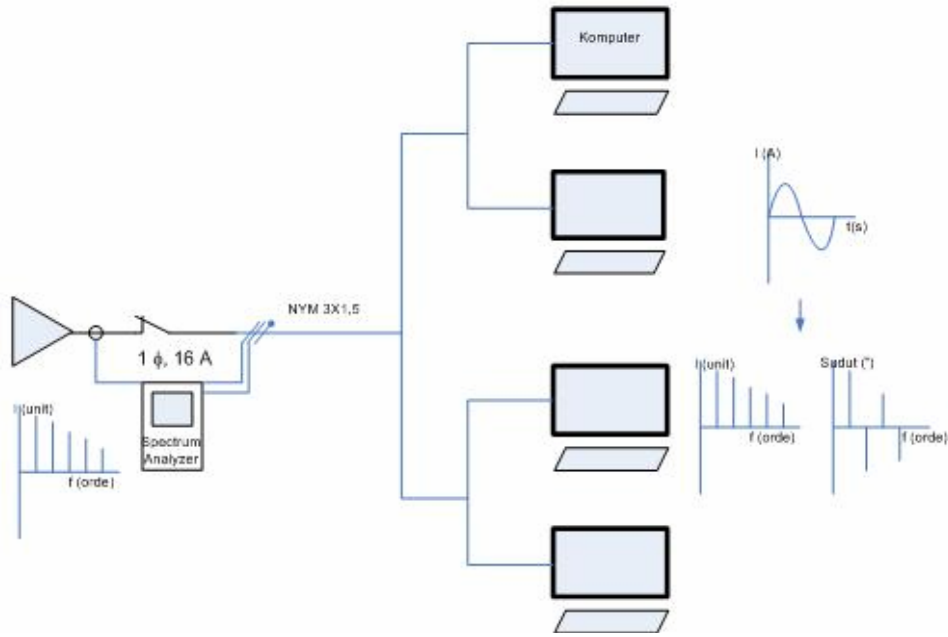
C. Analisis Hasil

Analisa dimulai menghitung rugi-rugi transformator yang meliputi :

1) Rugi dc (P<sub>dc</sub>) : Rugi dc merupakan rugi pada lilitan primer dan sekunder transformator akibat adanya tahanan dc (R<sub>dc</sub>) dan arus beban pada masing-masing lilitan, besarnya:

$$P_{dc} = P_{dc-R} \left( \frac{\sum_{h=1}^{\infty} I_h^2}{I_R^2} \right) \dots\dots\dots (1)$$

dengan ,  
 $P_{dc-R}$  = rugi dc kondisi rating arus beban dan frekuensi fundamental



Gambar 2 Rangkaian percobaan.

$I_h$  = arus harmonik orde ke-h  
 $I_R$  = rating rms arus beban pada frekuensi fundamental

2) Rugi arus eddy pada lilitan ( $P_{EC}$ ) : Rugi arus eddy pada lilitan merupakan rugi-rugi lilitan transformator akibat fluks bolak balik yang dihasilkan oleh aliran arus beban pada lilitan transformator, besarnya:

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

dengan  $P_{EC-R} = P_{EC}$  kondisi rating arus beban dan frekuensi fundamental

3) Rugi arus eddy lain (Other stray losses /  $P_{OSL}$ ) : Rugi arus eddy eddy pada bagian transformator selain lilitan disebut rugi arus eddy lain ( $P_{OSL}$ ), besarnya:

$$P_{OSL} = P_{OSL-R} \max_{h=1}^{\infty} h^{0,8} \left( \frac{I_h}{I_R} \right)^2 \dots\dots\dots (3)$$

dengan  $P_{OSL} = P_{OSL}$  kondisi rating arus beban dan frekuensi fundamental

Setelah mengetahui rugi-rugi transformator maka pembebanan maksimum transformator dapat dihitung sbb:

$$I_{max} (pu) = \sqrt{\frac{P_{LL-R} (pu)}{1 + [F_{HL} \times P_{EC-R} (pu)] + [F_{HL-OSL} \times P_{OSL-R}]} \dots (4)$$

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

Hasil perhitungan menggunakan persamaan (1) sampai (4) dalam dengan cara pengukuran dan menggunakan alat

bantu dengan Matlab dirangkum dalam Tabel 2 dan 3 berikut :

TABEL 2 PEMBEBANAN MAKASIMUM TRANSFORMATOR DENGAN BEBAN IDENTIK 4 KOMPUTER (PC)

	Pengukuran	Mathlab
Pembebanan Maksimum	97,84%	97,81%

Tabel 2 menunjukkan bahwa transformator sudah dalam kondisi terbebani penuh (100% kapasitas daya atau arus) meskipun ampere meter konvensional menunjukkan 97,84% dari kapasitas arus beban penuh transformator. Dengan bantuan Matlab pembebanan maksimum adalah 97,81%. Hal tersebut memberikan informasi bahwa dengan 2 cara pembebanan maksimum menunjuk angka yang relatif sama sehingga penggunaan spectrum analyzer dianggap cukup akurat.

TABEL 3 KENAIKAN RUGI-RUGI TRANSFORMATOR AKIBAT ARUS IDENTIK 4 KOMPUTER (PC)

Rugi	Pengukuran Langsung			Konversi dengan matlab	
	Desain (W)	Pengaruh Harmonik	Kenaikan (%)	Pengaruh harmonik	Kenaikan (%)
$P_{dc}$	385	504	30,9	501	30,1
$P_{EC}$	5	21,5	330	22	340
$P_{OSL}$	11,5	20,4	77,4	20	73,9

Dengan melihat Tabel 3, dari data pengukuran ditunjukkan bahwa rugi daya terbesar dalam transformator adalah rugi dc yaitu 385 watt karena sebanding dengan kuadrat arus efektif ( $I^2R$ ) demikian pula kuantitas kenaikan rugi daya  $504-385 = 119$  watt. Sementara persentase kenaikan rugi daya akibat arus harmonik terhadap data rugi

daya desain transformator menunjukkan bahwa rugi arus eddy ( $P_{EC}$ ) mengalami peningkatan sangat signifikan 330% karena kenaikan rugi arus eddy sebanding dengan kuadrat

frekuensi arus  $P_{EC} = P_{EC-R} \sum_{h=1}^{\max} h^2 \left( \frac{I_h}{I_R} \right)^2$ . Kondisi serupa

juga terjadi untuk spektrum arus yang diperoleh dengan bantuan Matlab.

### KESIMPULAN DAN SARAN

Dari pembahasan di atas dapat disimpulkan beberapa hal :

1. Dengan cara pengukuran spektrum arus harmonik, pembebanan maksimum transformator yang dibebani penuh oleh beban tipikal komputer adalah 97,84% sedangkan jika spektrum arus harmonik diperoleh dengan Matlab adalah 97,81%.
2. Rugi daya terbesar pada transformator adalah rugi dc karena sebanding dengan kuadrat arus efektif, sedangkan kenaikan terbesar rugi daya transformator adalah rugi arus eddy karena sebanding dengan kuadrat frekuensi arus.

3. Alat ukur spectrum analyzer relatif baik digunakan untuk pengukuran spektrum arus karena setelah diverifikasi dengan cara lain (program matlab dengan logika discrete fourier transform) menunjukkan hasil identik.

### REFERENSI

- Dault, I., Syafruddin, Ali, R., Samila, M., Haziah, H. "Effects of Harmonic Componen on Transformer Losses of Sinusoidal Source Supplying Non-Linier Loads". American Journal of Applied Sciences 3 (12), 2006, pp. 2131-2133.
- Elmoudi, A. "Evaluation of Power System Harmonic effect on Transformer". Helsinki University of Technology, Finland, 2006.
- Grady, M. "Understanding Power System Harmonics". www.ece.utexas.edu/~grady, Juni 2006.
- Hoevenaars, T. "Energy Savings with an Energy Star Compliant Harmonic Mitigating Transformer". MIRUS International Inc., 28-10-2003.
- IEEE Std C57.110-1998, IEEE Recommended Practice for Establishing Transformer Capability when Supplying Nonsinusoidal Load Current.
- Peretto, L. "Measurement of Harmonic Losses in Transformers Supplying Nonsinusoidal Load Currents". IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, Vol. 49, No. 2, April 2000.
- R.C. Dugan, M.F. McGranaghan, H.W. Beaty, S. Surya. "Electrical Power Systems Quality". McGraw Hill, USA, 2003.
- Wellard, Allan, "Transformer Study Committee 12 report back on the 39th Paris session of the International Conference. Cigre Large HV Electric Systems 8th Open Seminar, 2002.
- Karris, S.T., "Signals and Systems". Orchard Publication, California, 2003.