

STUDI PENGURANGAN ARUS HARMONIK *TRIPLEN* DENGAN MENGGUNAKAN TAPIS SERI DAN TRANSFORMATOR *ZERO PASSING*

M. Budiyanto¹, Hamzah Berahim², M. Isnaeni³
^{1,2,3}) Dosen Jurusan Teknik Elektro FT-UGM

. Jl. Grafika No. 2 Komplek Fakultas Teknik UGM Yogyakarta

E-mail: ¹⁾ m.budiyanto@ugm.ac.id, ²⁾ hberahim@mti.ugm.ac.id, ³⁾ isnaeni@te.ugm.ac.id

Abstrack

Electronic ballast is nonlinear load which can creates voltage harmonic distortion. The result is phase current contains harmonic component which causes three phase four wires in balance load of the current in the neutral wire doesn't equal to zero. The neutral current dominated by odd harmonic component of triplen because the sum of vector doesn't cause to be lost each other. The goal of the research is to reduce the current in the neutral wire and per phase triplen harmonic current by applying zero passing transformer and series filter variable (595.5 - 365.5 mH). The result shows that electronic ballast of fluorezen lamp before installing zero passing transformer and series filter creates current in the neutral wire is 0.265 A and the third of harmonic current per phase average is 67%, the ninth is 27%, and the fifteenth is 6%. The most optimal of zero passing transformer and series filter installment is when the value of series filter is 595.5 mH which causes the decrease of the current in the neutral wire became 0.025 A and the decrease of current harmonic average per phase; the third is 91%, the ninth is 96% and the fifteenth is 91%.

Keyword: harmonic, series filter, zero passing transformer

1. PENDAHULUAN

Masalah yang ditimbulkan oleh harmonik pada sistem 3 fase 4 kawat yaitu arus di kawat netral, yang secara teori pada beban seimbang akan sama nol, tetapi tidak sama dengan nol. Arus di kawat netral ini adalah arus harmonik urutan nol, yang terdiri dari harmonik kelipatan ke-3 (*triplen*) (Pekik, dkk, 1997). Kandungan harmonik yang semakin besar akan menimbulkan aspek teknis, biaya, dan keandalan sehingga pengurangan arus harmonik di kawat netral menjadi penting. Pekik (1997) melakukan pendekatan dengan menggunakan transformator zig-zag dan Y- Δ yang terparalelkan dengan beban. Pada penelitian ini digunakan tapis seri dan transformator *zero passing* sebagai upaya untuk pengurangan harmonik. Isnaeni (2000) telah melakukan penelitian dan pengukuran untuk mengetahui nilai harmonik arus netral pada sistem tenaga listrik seimbang dengan beban lampu floresen. Hasil penelitian menunjukkan bahwa arus harmonik netral tersusun atas harmonik ganjil kelipatan tiga. Arus netral dapat diperkecil dengan memasang filter peredam orde satu di kawat netral.

Alasan pemilihan kombinasi ini didasarkan pada karakteristik masing-masing, yaitu tapis seri berperilaku sebagai isolator arus harmonic ke-3 antara sumber dengan beban, sedangkan transformator *zero passing* sebagai pelewat arus harmonik urutan nol. Perumusan masalah didasarkan pada watak arus harmonik dan distorsi harmonik total (*Total Harmonic Distortion/THD*) arus pada pembebanan seimbang 1 (satu) buah balas elektronik sebelum dan sesudah pemasangan kombinasi trafo tapis seri dan *zero passing*. Disamping itu penelitian ini diharapkan dapat mengetahui bagaimana pengaruh nilai induktansi diri tapis seri terhadap pengurangan arus harmonik *triplen* di kawat netral.

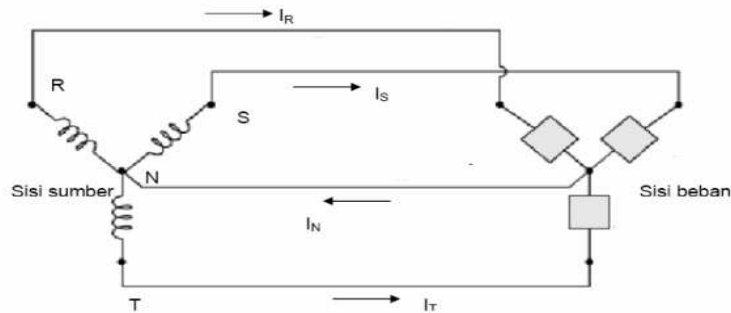
2. FUNDAMENTAL

Model rangkaian 3 fase 4 kawat ditunjukkan Gambar 1. Pada beban seimbang dengan beban linier jumlah arus nilai arus pada kawat netral sama dengan nol. Apabila beban tidak linier, maka arus fase mengandung komponen harmonik, sehingga arus di kawat netral tidak lagi sama dengan nol.

$$I_R = I_0 + I_1 \sin(\omega t + \theta_1) + I_2 \sin(2\omega t + \theta_2) + I_3 \sin(3\omega t + \theta_3) + \dots$$

$$I_S = I_0 + I_1 \sin(\omega t + \theta_1 - 120^\circ) + I_2 \sin(2\omega t + \theta_2 - 240^\circ) + I_3 \sin(3\omega t + \theta_3 - 360^\circ) + \dots$$

$$I_S = I_0 + I_1 \sin(\omega t + \theta_1 + 120^\circ) + I_2 \sin(2\omega t + \theta_2 + 240^\circ) + I_3 \sin(3\omega t + \theta_3 + 360^\circ) + \dots$$



Gambar 1. Jaringan 3-Fase 4 kawat

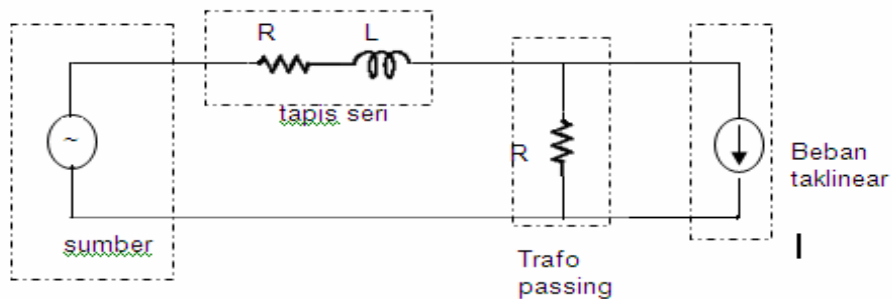
Gelombang arus saat harmonik dituliskan:

$$i(t) = I_0 + \sum_{n=1}^{\infty} I_n \sin(n\omega t + \theta_n) \quad (1)$$

Analisis harmonik terhadap arus ditentukan oleh indek harmonik yaitu THD (*Total Harmonic Distortion*).

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

Kombinasi trafo zero passing dan zero blocking dimaksudkan trafo zero blocking merupakan trafo yang mempunyai impedans urutan nol yang tinggi dan impedans urutan positif-negatif yang rendah. Trafo ini selain berfungsi memblok arus harmonik urutan nol dari beban mengalir ke sumber, juga mencegah arus harmonik urutan nol dari sumber. Agar efektif sebaiknya impedans tapis lebih besar dari pada trafo zero passing seperti pada Gambar 2.



Gambar 2. Konfigurasi tapis seri dan trafo zero passing

3. PELAKSANAAN PENELITIAN

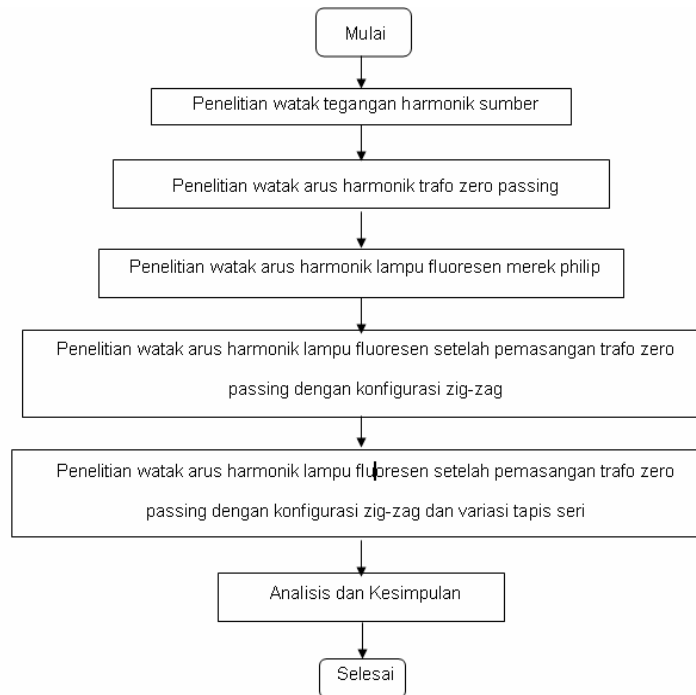
Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah

- Power supply 3 fase 4 kawat
- MCB (*Miniature Circuit Breaker*).
- Sekering 10 A
- Balas elektronik merk elite 220 V 50 Hz 40 watt
- Lampu fluoresen
- Lilitan variabel 700 mH buatan Feedback.

Sedangkan alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah

- UPA PM 3000A
- Komputer pentium 4

Pengambilan data penelitian dilakukan seperti pada diagram alir Gambar 3.

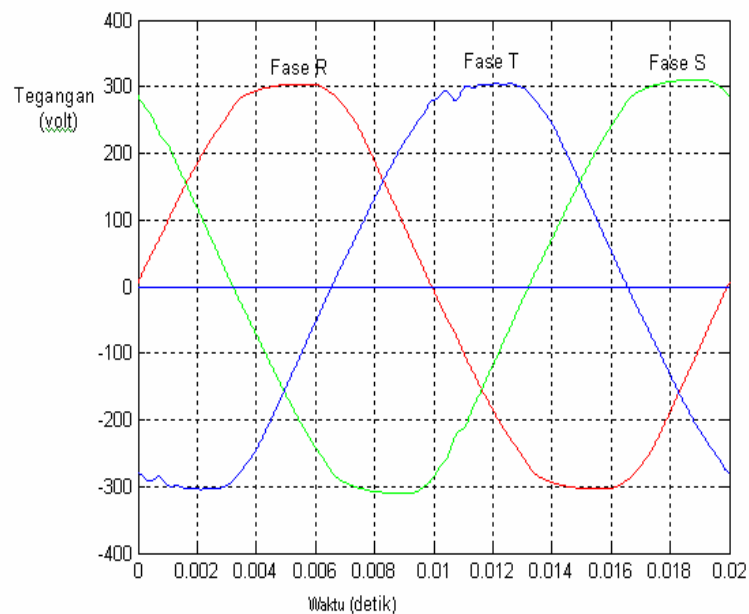


Gambar 3. Diagram alir penelitian

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Watak Harmonik Tegangan Sumber

Hasil pengukuran tegangan sumber pada fase R, S, T masing-masing 3,27%, 2,75%, dan 3,76%. Nilai ini masih dibawah IEEE standart 519-1992 yang menyatakan bahwa THD tegangan dibawah 69 kV adalah 5 %.

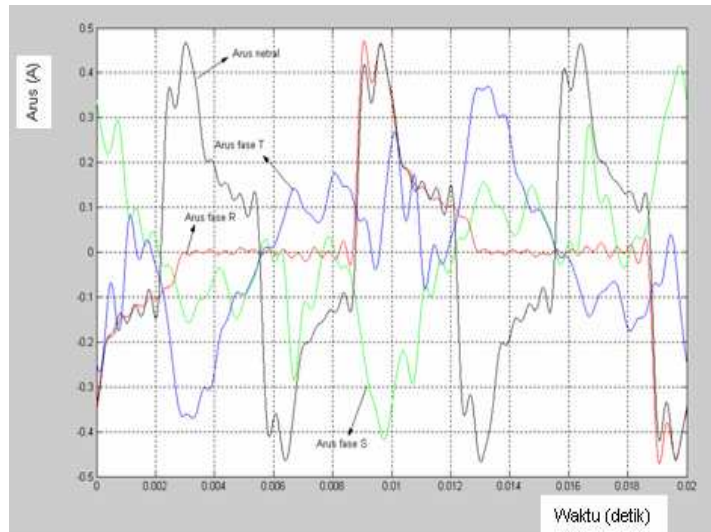


Gambar 4. Bentuk gelombang tegangan sumber fase R, S, T

4.2. Watak arus harmonik beban seimbang balas elektronik lampu fluorezen 40 watt

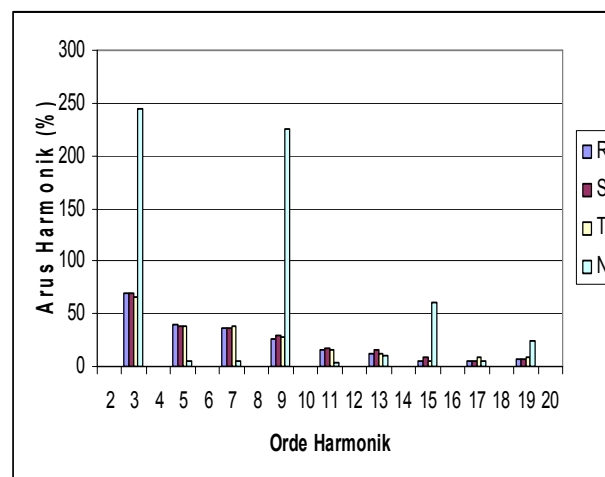
4.2.1. Tanpa pemasangan tapis seri dan trafo zero passing

Hasil pengamatan arus harmonik terlihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Bentuk arus harmonik balas elektronik lampu fluorezen 40 watt

Arus harmonik di fase R, S, dan T menyebabkan adanya arus di kawat netral sebesar 0,265 A. Arus harmonik di kawat netral untuk orde ke-3, ke-9 dan ke-15 masing-masing sebesar 245%, 226%, dan 60%. Spektrum arus harmonik terlihat pada Gambar 6.



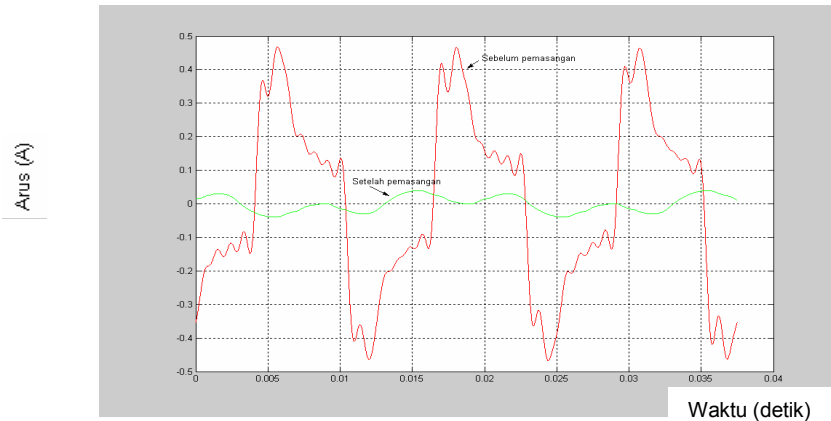
Gambar 6. Spektrum arus harmonik balas elektronik lampu fluorezen 40 watt

Dari hasil pengukuran terlihat bahwa arus harmonik *triplen* mendominasi di kawat netral, dan nilainya melebihi batas standart IEEE sehingga harus dikurangi.

4.2.2 Pemasangan trafo variasi tapis seri dan zero passing

4.2.2.1 Tapis seri dengan nilai $L = 595,5$ mH

Bentuk gelombang arus harmonik pada rangkaian dengan tapis seri sebesar $L = 595,5$ mH diperlihatkan Gambar 7.



Gambar 7. Bentuk gelombang arus harmonik di kawat netral dengan tapis seri sebesar $L = 595,5$ mH

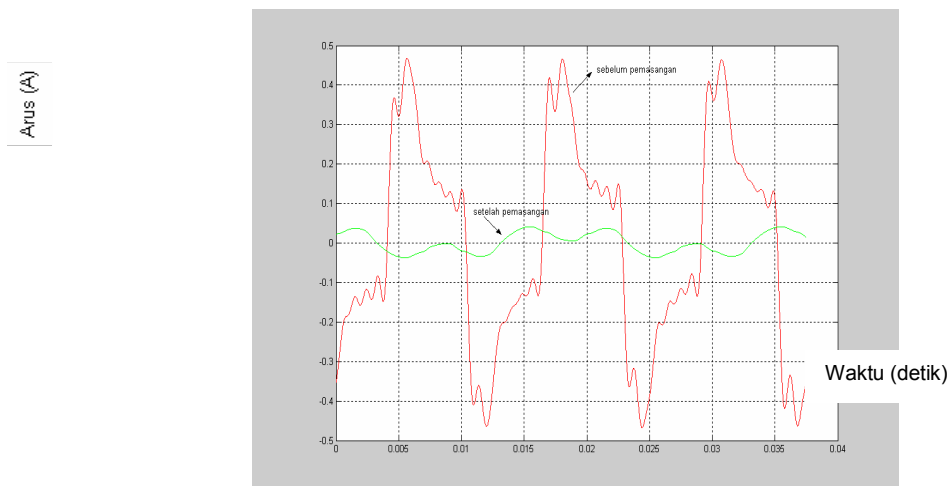
Pemasangan tapis seri dan trafo zero paasing menyebabkan bentuk gelombang arus harmonik di kawat netral menjadi lebih baik. Arus di kawat netral mengalami penurunan dari 0,265 menjadi 0,025 A atau sebesar 90,5 %. Penurunan arus di kawat netral ini dikarenakan adanya penurunan arus harmonik orde ke-3, 9 dan 15 seperti terlihat pada Tabel 2.

Tabel 1. Penurunan arus harmonik saat tapis seri dengan $L = 595,5$ mH

Harmonik	R (%)	S (%)	T (%)
ke-3	95,6	92,7	85
ke-9	96,3	96,8	96,8
ke-15	86,7	94,7	97,2

4.2.2.2 Tapis seri dengan nilai $L = 587,5$ mH

Bentuk gelombang arus harmonik untuk rangkaian dengan tapis seri bernilai $L = 587,5$ mH diperlihatkan gambar 8.



Gambar 8. Bentuk gelombang arus harmonik di kawat netral dengan tapis seri $L = 587,5$ mH

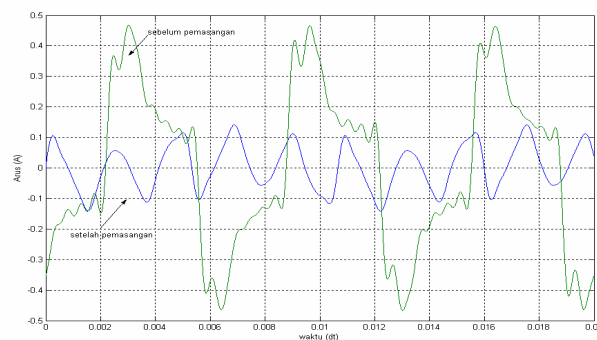
Nilai arus di kawat netral mengalami penurunan dari 0.265 menjadi 0.026 A atau sebesar 90%. Penurunan arus harmonik orde ke-3, 9 dan 15 terlihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Penurunan arus harmonik saat tapis seri dengan L= 587,5 mH

Harmonik	R (%)	S(%)	T(%)
ke-3	95,6	92,7	84,7
ke-9	96,3	97,3	97
ke-15	80,3	68,2	48,8

4.2.2.3 Tapis seri dengan nilai L = 564,5 mH

Bentuk gelombang arus di kawat netral untuk rangkaian dengan L = 564,5 mH diperlihatkan Gambar 9.



Gambar 9. Bentuk gelombang arus harmonik di kawat netral dengan tapis seri L = 564,5 mH

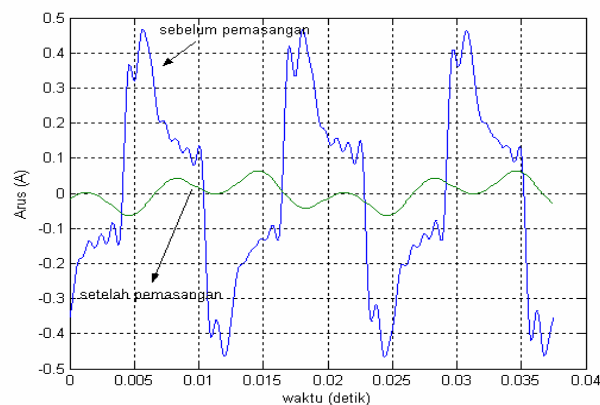
Nilai arus di kawat netral mengalami penurunan dari 0,265 menjadi 0,035 A atau sebesar 86 %. Penurunan arus harmonik orde ke-3, 9 dan 15 terlihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Penurunan arus harmonik saat tapis seri L= 564,5 mH

Harmonik	R (%)	S (%)	T (%)
ke-3	95,4	90,9	88,3
ke-9	98,7	96,2	95,7
ke-15	95,2	93,3	90,4

4.2.2.4 Tapis seri dengan nilai L = 532,4 mH

Bentuk gelombang arus harmonik di kawat netral untuk rangkaian dengan L = 532,5 mH diperlihatkan Gambar 10.



Gambar 10 Bentuk gelombang arus harmonik di kawat netral dengan tapis seri L = 532,4 mH

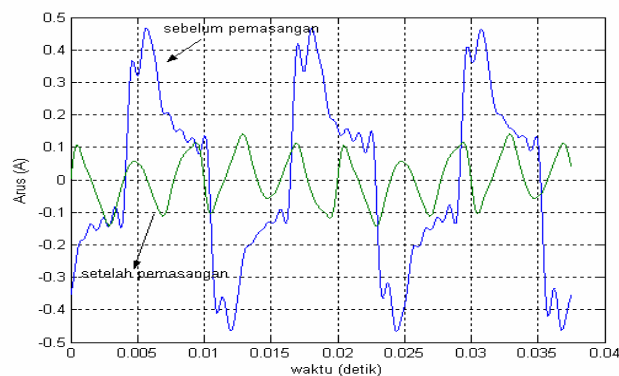
Nilai arus di kawat netral mengalami penurunan dari 0,265 menjadi 0,035 A atau sebesar 86%. Penurunan arus harmonik orde ke-3, 9 dan 15 terlihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Penurunan arus harmonik saat tapis seri dengan L= 532,4 mH

Harmonik	R (%)	S (%)	T (%)
ke-3	95,0	90,5	87,4
ke-9	98,8	96,0	95,9
ke-15	95,3	92,5	88,8

4.2.2.5 Tapis seri dengan nilai L = 492,5 mH

Bentuk gelombang arus harmonik di kawat netral untuk rangkaian dengan L = 492.5 mH diperlihatkan Gambar 11.



Gambar 11. Bentuk gelombang arus harmonik di kawat netral dengan tapis seri sebesar L= 492,5 mH

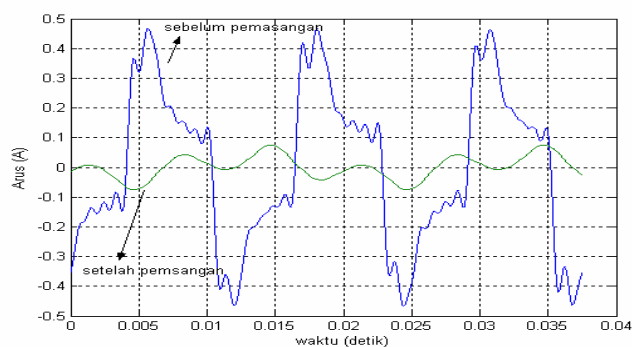
Nilai arus di kawat netral mengalami penurunan dari 0,265 menjadi 0,039 A atau sebesar 85%. Penurunan arus harmonik orde ke-3, 9 dan 15 terlihat pada Tabel 6.

Tabel 6. Penurunan arus harmonik saat tapis seri dengan L= 492,5 mH

Harmonik	R(%)	S(%)	T(%)
ke-3	94,5	90,2	86,3
ke-9	99,0	95,7	96,1
ke-15	95,8	91,9	88,2

4.2.2.6 Nilai tapis seri sebesar 450 mH

Bentuk gelombang arus harmonik di kawat netral untuk rangkaian dengan L = 450 mH diperlihatkan Gambar 12.



Gambar 12. Bentuk gelombang arus harmonik di kawat netral dengan tapis seri L = 450 mH

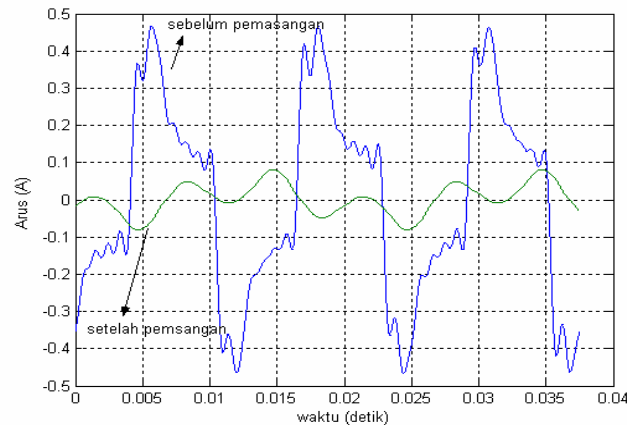
Nilai arus di kawat netral mengalami penurunan dari 0,265 menjadi 0,042 A atau sebesar 84%. Penurunan arus harmonik orde ke-3, 9 dan 15 terlihat pada Tabel 7.

Tabel 7. Penurunan arus harmonik saat tapis seri dengan nilai L= 450 mH

Harmonik	R(%)	S(%)	T(%)
ke-3	93,6	89,7	85,2
ke-9	99,3	95,5	96,6
ke-15	96,9	91,9	88,0

4.2.2.7 nilai tapis seri sebesar 365,5 mH

Bentuk gelombang arus harmonik di kawat netral untuk rangkaian dengan L = 365,5 mH diperlihatkan Gambar 13.



Gambar 13. Bentuk gelombang arus harmonick di kawat netral dengan tapis seri L = 365,5 mH

Nilai arus di kawat netral mengalami penurunan dari 0,265 menjadi 0,045 A atau sebesar 85%. Penurunan arus harmonik orde ke-3, 9 dan 15 terlihat pada tabel 8.

Tabel 8. Penurunan arus harmonik saat tapis seridengan nilai L= 365,5 mH

Harmonik	R(%)	S(%)	T(%)
ke-3	92,7	89,0	83,6
ke-9	99,5	95,6	97,0
ke-15	97,8	91,5	86,8

5. KESIMPULAN

1. Watak arus harmonik balas elektronis didominasi oleh harmonik ganjil yaitu harmonik ke-3, ke-5, ke-7, ke-9, ke-11 dan ke-15.
2. Besar THD arus fase R, S, dan T balas elektronis lampu fluoresen 40 W sebesar 96,71%, 99,14%, 94,88%.
3. Besar arus harmonik *triplen* balas elektronis di kawat netral adalah 245% untuk harmonik ke-3, 226% untuk harmonik ke-9, dan 60% untuk harmonik ke-15.
4. Penurunan THD arus balas elektronis setelah pemasangan trafo *zero passing* dan tapis seri yaitu sebesar 84% pada fase R, 89% pada fase S, dan 82% pada fase T.
5. Perubahan nilai induktansi diri berpengaruh pada penurunan arus di kawat netral yaitu dengan nilai L = 595,5 mH sebesar 90,5%, nilai L = 587,5 mH sebesar 90%, nilai L = 564,5 mH sebesar 86%, nilai L = 532,4 mH sebesar 86%, nilai L = 492,5 mH sebesar 85%, nilai L = 450 mH sebesar 84%, nilai L = 365,5 mH sebesar 85%.

6. DAFTAR PUSTAKA

- Acha, Madrigal, 2001, *Power System Harmonic, Computer Modelling and Analysis*, John Wiley and Sons, LTD, New York.
- Ashari M., 26 Juli 2005, *Dampak munculnya harmonisa akibat program DSM Terang terhadap efisiensi saluran listrik*, Seminar Siap hadapi kemarau 2005 dan songsong kondisi 2006 yang lebih baik, PLN.
- Dugan R.C., McGranaghan M.F., Beaty H.W., 1996, *Electrical Power System Quality*, pp. 123-187, McGraw-Hill, New York.
- IEEE, 1993, *IEEE Recommended Practice and Requirement for Harmonic Control in Electrical Power System* (IEEE Std. 519-1992), Published by the Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc., New York.
- Isnaeni, B.S., 2000, *Pengurangan Arus Harmonik Netral pada Untai 3 Fase 4 Kawat Berbeban Lampu Flourecent*, Tesis, Program Pascasarjana Program Studi Teknik Elektro UGM, Yogyakarta.
- Khoirun M., N., Haryono, T., Isneni, M., BS., 2005, *Studi Perbandingan Antara Lampu Hemat Energi dan TL Standar Ditinjau Dari Segi Distribusi Lux, Efikasi, Tegangan Operasi Minimum dan Harmonik Arus*, Media Elektro, Vol. 17, Juni – Agustus 2005.
- Pekik, dkk., 1997, *A practical Approach to minimize the Zero-Sequence Current Harmonics in Power Distribution Systems*, Department of Electrical Engineering, Bandung Institute of Technology, Indonesia.