


ANALISIS PERFORMA TAPIS PELEWAT RENDAH PITA

View metadata, citation and similar papers at core.ac.uk

brought to you by  CORE

provided by Sebelas Maret Institutional Repository

Muhammad Nizam¹

Abstract: Harmonics are caused by non linear load. When more harmonics-producing loads are being connected to systems which are unbalanced, effect of single phase harmonics-producing loads are also becoming important. Unbalance load in three phases system increases non linear affected energy consumption in power system. This research aims to know how much harmonics affecting unbalance three phase load, to know reduction harmonics by using Broadband Low Pass Filter. Modelling created and simulated using matlab to know broadband filter parameter base on harmonics characteristic in three phases load. Measurements are done to know current and voltage harmonics level at source and system before and after filter installed, and calculated percentage saving of power consumption. This research shows that effect of increasing percentage current harmonic level on load side will increase percentage level of load unbalanced. Installing filter will increase percentage of current harmonic although the fundamental value rms is decrease. The unbalanced current load average increase 22.5% after filter installed, when currents consumption system reduces by 42% in average, power factor increase to 88.3%, Reactive power reduce up to 88.5% and apparent power reduce up to 48.3%.

Keywords : Harmonics, broadband low pass filter, unbalanced load

PENGANTAR

Beban tidak linear yang terhubung pada satu fase dalam sistem tiga fase dapat mengakibatkan ketidakseimbangan arus pada sisi sumber. Dengan adanya distorsi pengaruh tidak seimbang beban akan tambah besar, yang mengakibatkan arus netral menjadi besar. Fenomena ini sekarang bisa menjadi suatu bagian yang penting untuk dicermati terutama bila unsur ini dikaitkan dengan masalah efisiensi energi. Penanganan harmonik pada beban tiga fase tidak seimbang pengaruhnya sangat besar pada penghematan energi. Davis dkk (2000a), telah mengadakan penelitian pengaruh harmonik pada daya aktif, daya semu, total kuadrat harmonik arus, daya semu kuadrat, dengan pemodelan beban seimbang. Terdapat hubungan yang erat antara harmonik dengan penghematan total daya semu (*apparent power*). Davis dkk (2000b), juga meneliti pengaruh harmonik terhadap meter pengukur daya sehingga daya yang terukur

menjadi terdistorsi yang mengakibatkan pengukuran menjadi tidak akurat. Pada penelitian ini penulis ingin mengembangkan untuk mencari seberapa besar pengaruh reduksi harmonik pada beban tiga fase tidak seimbang dalam penghematan energi listrik yakni dari daya nyata (kW) dan daya reaktif (kvar), dan daya semu (kVA).

Reduksi harmonik yang sering dipakai adalah dengan memasang tapis. Tapis yang dipakai adalah dengan menggunakan penapis pita lebar (*Broad band*). Dengan penapisan ini diharapkan penanganan harmonik untuk beberapa tingkatan (orde) dapat dilakukan sekaligus. Pada sistem satu fase pengaruh yang timbul adalah terjadinya distorsi gelombang arus atau tegangan. Akibat langsung yang teramati dari gangguan ini adalah adanya bertambahnya arus yang mengalir pada netral (Stevenson, 1996). Pengaruh lain yang sering timbul berupa distorsi yang menyebabkan

¹ Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik UNS, Surakarta, Email : nizam_kh@mesin.uns.ac.id

Tabel 1. Batas Distorsi Arus untuk Sistem Distribusi (120 volt sampai 69 kV)

Arus distorsi harmonik maksimum dalam persen I_L						
Pada harmonik individual orde ganjil						
I_{sc}/I_L	<11	$11 \leq h < 17$	$17 \leq h < 23$	$23 \leq h < 35$	$35 \leq h$	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
Harmonik orde genap batasannya adalah 25% dari nilai diatas						

dengan :

I_{sc} = maksimum arus Short Circuit pada PCC

I_L = maksimum demand arus beban (pada fundamental frekuensi) Pada PCC.

bentuk gelombang sinusoidal terganggu (Lewis dan Houdek, 1999). Penambahan kapasitor yang dipakai untuk menaikkan faktor daya, akan semakin memperkuat distorsi ini pada sistem (IEEE Std 141-1993). Akibat adanya harmonik ini muncul daya aktif harmonik, daya semu harmonik, total kuadrat harmonik arus, daya semu kuadrat, yang frekuensinya bukan fundamental sehingga biaya yang harus dibayar pelanggan menjadi lebih tinggi (Davis dkk, 2000a). Harmonik juga dapat mempengaruhi meter pengukur daya sehingga daya yang terukur menjadi terdistorsi yang mengakibatkan pengukuran menjadi tidak akurat (Davis dkk, 2000b). Penyelesaian masalah harmonik pada level bawah/beban (*down stream*) akan membawa dampak yang sangat berarti pada tingkat atas (*up stream*) (Arrillaga dkk, 2000). Pemakaian tapis dipakai untuk penyelesaian masalah harmonis ini. Menurut Swamy (1999) salah satunya adalah dengan tapis pelewat rendah pita lebar (*low pass broad band filter*) yakni dengan cara mereduksi distorsi harmonik pada semua tingkatan secara merata. Penggunaan tapis pelewat rendah tertala (*low pass tuned filter*) yakni tapis yang didesain dengan dan di setel pada frekuensi tertentu cukup efektif untuk menghilangkan pengaruh harmonik yang khusus (Dugan dkk, 1996).

Di dalam menganalisis harmonik untuk menentukan tingkatan distorsi yang terjadi yang lebih populer dengan sebutan *Total Harmonics Distortion* (THD), yang besarnya adalah :

$$THD = \left(\frac{\text{Jumlah Kuadrat Amplitudo Semua Harmonik}}{\text{Besarnya kuadrat fundamental}} \right)^{1/2} \quad (1)$$

$$V_{THD} = \frac{1}{V_1} \left(\sum_{h=2}^{\infty} V_h^2 \right)^{1/2} \quad (2)$$

$$I_{THD} = \frac{1}{I_1} \left(\sum_{h=2}^{\infty} I_h^2 \right)^{1/2} \quad (3)$$

dengan : V_1, I_1 = Nilai fundamental RMS dari tegangan dan arus.

V_h, I_h = Nilai RMS harmonik dari tegangan dan arus.

Perhitungan daya yang merupakan perkalian dari arus dan tegangan pada fase yang sama disajikan sebagai berikut :

$$P_{Fundamental} = V_{Fundamental} \cdot I_{Fundamental} \cdot \cos\phi_1 \quad (4)$$

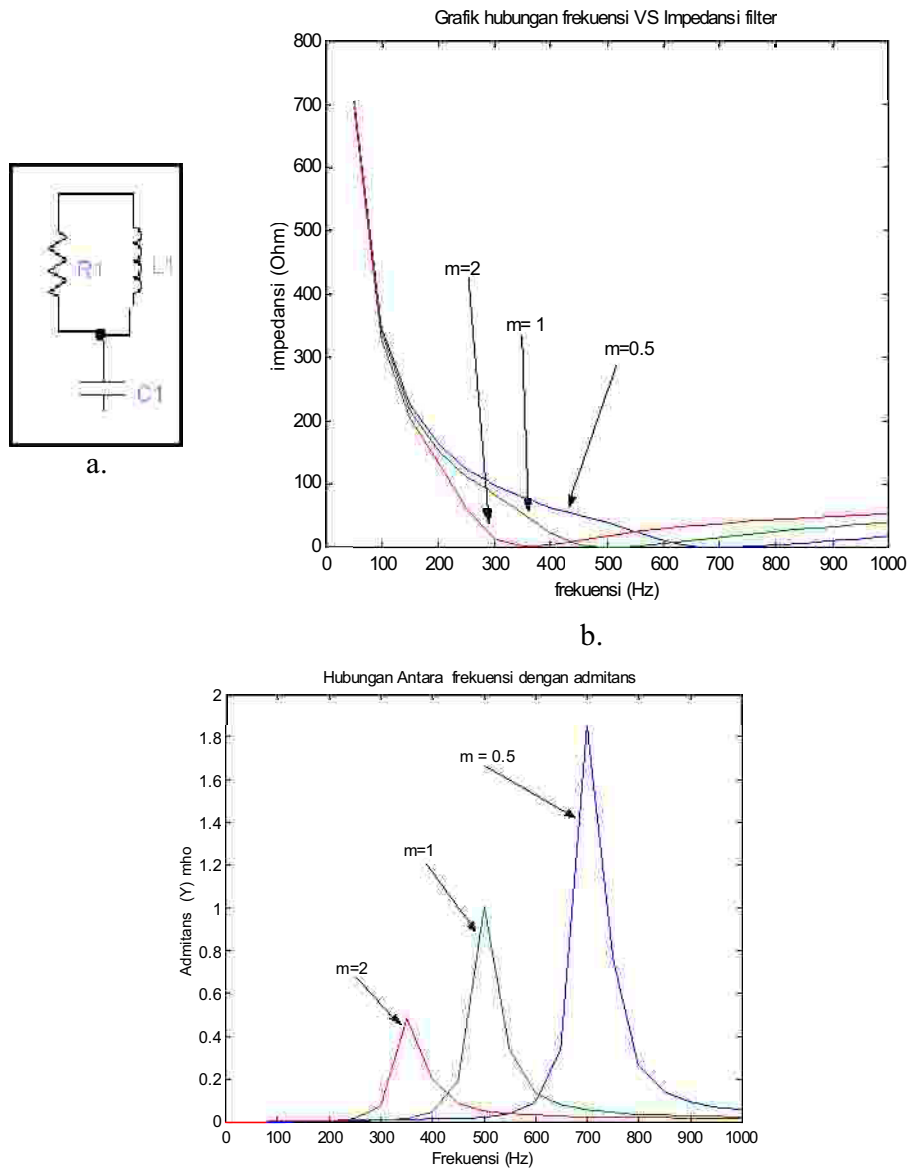
daya pada harmonik dirumuskan sebagai

$$P_h = V_h \cdot I_h \cdot \cos\phi_h \quad (5)$$

atau

$$P_h = I_h^2 \cdot R_h \quad (6)$$

R_h dapat berubah-ubah akibat terjadinya efek kulit, arus stray, arus eddy dan sebagainya. Daya yang timbul akibat harmonik adalah merupakan daya nyata yang harus dibayar ke perusahaan penyedia daya dan tidak bisa digunakan oleh pengguna karena frekuensinya berbeda dengan frekuensi pada peralatan.



Gambar 1.

- a. Tapis peredam pita lebar
- b. Impedansi sebagai fungsi frekuensi dengan m tertentu
- c. Admitansi sebagai fungsi frekuensi dengan m tertentu

Total Demand Distortion (TDD) dari beban ditentukan dari rasio harmonik arus RMS dengan nilai kebutuhan maksimum arus fundamental (*maximum demand fundamental current*). TDD dirumuskan sebagai :

$$TDD = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} I_h^2}}{I_L} \quad (7)$$

dengan
 I_h = Arus harmonik

I_L = Kebutuhan arus beban yang tercatat (15÷30 menit) pada frekuensi dasar dititik PCC

Batas masing-masing individual harmonik dapat dilihat pada tabel 1.

Efek harmonik dapat diminimisasi dengan mempergunakan tapis pasif yang dipasang secara paralel atau shunt pada beban. Penelitian menggunakan tapis pita lebar dengan menggunakan L multi tap pada reaktornya dengan nilai C tertentu. Untuk mendapatkan reduksi harmonik maksimal harus memperhatikan nilai Q. Untuk mengoptimalkan Q pada tapis teredam dicari dengan bantuan dua parameter *Ainsworth* yaitu :

$$f_o = \frac{1}{2pCR} \quad (8)$$

$$m = \frac{L}{R^2C} \quad (9)$$

dengan :

f_o adalah frekuensi resonansi pada tapis (Hz).

C adalah kapasitansi tapis (Farad).

R adalah resistansi tapis (ohm).

L adalah induktansi reaktor tapis (henry).

Nilai tipikal untuk m antara 0.5 dan 2. Untuk suatu kapasitansi tertentu parameter-parameter ini (L dan R) dapat ditentukan. Daya kompleks total yang mengalir ke dalam rangkaian tiga fase melalui tiga saluran a, b dan c adalah :

$$S = P + jQ = V_a I_a^* + V_b I_b^* + V_c I_c^* \quad (10)$$

METODOLOGI

Penelitian ini dilakukan dengan berbagai tahapan yakni :

Penelitian watak harmonik sumber tegangan

Penelitian yang dilakukan pertama kali adalah dengan meneliti watak harmonik pada sumber tegangan. Untai penelitian seperti pada gambar 2 :

Penelitian watak harmonik dan daya beban tiga fase

Penelitian watak harmonik pada masing-masing fase beban. Beban disini diatur supaya tidak seimbang tampak pada gambar 3.

Penelitian watak harmonik dan daya beban setelah dipasang tapis

Pengukuran dilakukan kembali dengan menggunakan UPA PM 3000A. Gambar untaian penelitian ini adalah sebagai berikut (gambar 4):

Pembuatan program untuk penentuan parameter tapis dan pemodelan

Pembuatan program dilakukan dengan Matlab 5.3.1. Program komputer ini untuk mencari parameter awal yang diperlukan dalam perancangan karakteristik sistem penapisan dan impedansi sistem. Simulasi dengan menggunakan Power System Blockset (PSB) pada Matlab.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian watak harmonik sumber tegangan

Langkah pertama adalah pencarian data untuk menguji watak harmonik pada sumber transformator variac. Pengujian ini penting karena untuk menghindarkan sumber yang mempunyai tingkat harmonik yang tinggi sebagai pemasok beban.

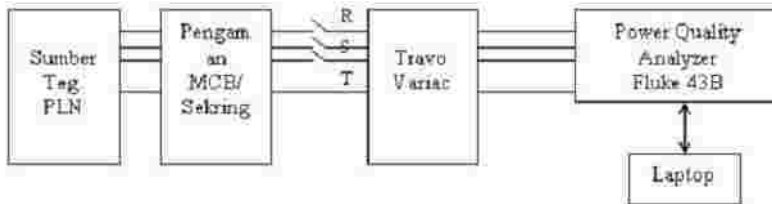
Distorsi sumber tegangan variac adalah sebesar 2.42% pada tegangan 219.1 volt. Menurut *IEEE Standard 519-1992* batas distorsi tegangan yang dinyatakan dengan THD untuk tegangan dibawah 69 kV adalah 5 %. Nilai tersebut masih dibawah THD yang diijinkan oleh IEEE, sehingga transformator variac masih layak untuk digunakan. Watak harmonik tegangan beban pada saat dipasang ke beban dituliskan pada tabel 2.

Spektrum harmonik tegangan digambarkan dengan grafik seperti tampak pada gambar 5.

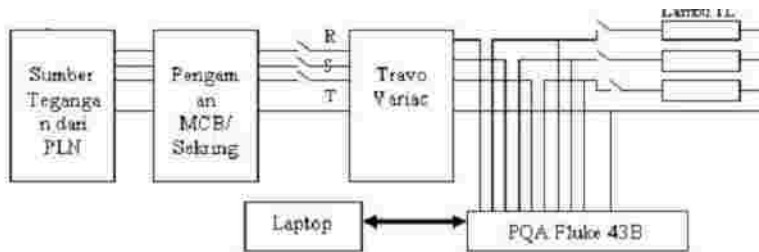
Pengujian watak harmonik arus pada beban tiga fase

Penelitian kedua adalah penelitian watak harmonik pada beban 3 fase. Penelitian dilakukan dengan mengukur secara individual beban pada masing-masing fase dan pada saat beban terhubung ke tiga fase tersebut. Watak distorsi arusnya disajikan dalam tabel 3 sebagai berikut :

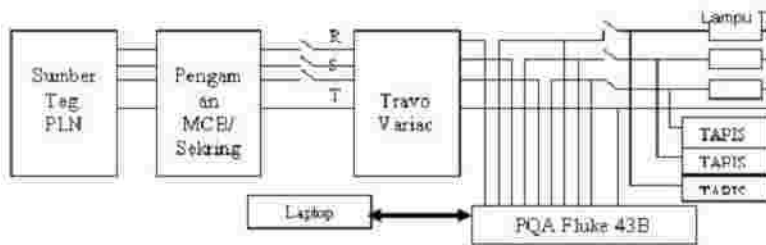
THD untuk arus individual dan saat terhubung keseluruhan ke sistem mempunyai nilai yang berbeda. THD arus pada Ch 1-2-3 atau fase R-S-T 6.01%, 12.32% dan 6.8% untuk individual



Gambar 2. Untai Penelitian Watak Harmonik Sumber Tegangan.



Gambar 3. Untai Penelitian Watak Harmonik Beban Lampu Florescen 3 Fase.



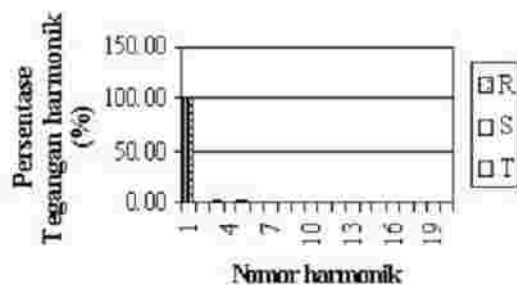
Gambar 4. Untai Penelitian Watak Harmonik Beban Lampu Florescen Dengan tapis terpasang paralel.

Tabel 2. Watak Harmonik Tegangan Tiga Fase Pada Saat beban terhubung seluruhnya ke sumber

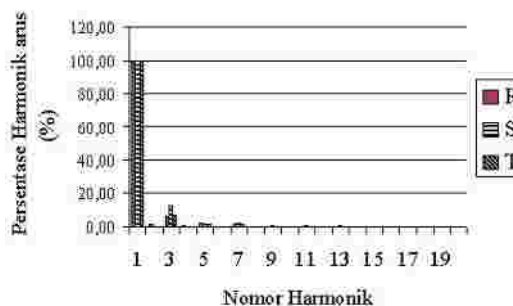
	Channel 1 (%)	Phase (o)	Channel 2 (%)	Phase (o)	Channel 3 (%)	Phase (o)
FUND	219.4V		217.70V	-121	216.60V	-239.9
3	0.64	-237.1	1.2	-284.6	1.03	-280.4
5	2.18	-190.3	2.34	-69.6	2.16	-306
7	0.35	-5.7	0.58	-125.1	0.57	-242.1
9	0.32	-129.3	0.25	-117.1	0.26	-160.8
11	0.16	-258	0.23	-105	0.17	-328.2
13	0.11	-314.8	0.24	-101.8	0.21	-219.9
15	0.07	-132.3	0.23	-133.5	0.05	-173.4
17	0.07	-293.5	0.16	-175.1	0.08	-354.8
19	0.08	-31	0.16	-179.4	0.09	-302.6

dibanding 6.37%, 12.40% dan 7.18%. THD untuk tegangan fase R-S-T 2.27%, 2.75% dan 2.51% untuk individual dibanding 2.34%, 2.78% dan 2.53% pada saat dinyalakan bersama. Hal ini menunjukkan bahwa pada

beban tiga fase dengan pemasangan beban-beban tidak linier akan menyebabkan harmonik tersebut total THD naik. Spektrum harmonik arus tampak di gambar 6.



Gambar 5. Spektrum persentasi harmonik tegangan 3 fase



Gambar 6. Spektrum harmonik arus pada beban tiga fase

Tabel 3. Watak Harmonik Arus dan Netral Pada Saat Beban Tiga Fase Terpasang

	Ch 1 (%)	Phase (o)	Ch 2 (%)	Phase (o)	Ch 3 (%)	Phase (o)	Neutral (%)	Phase (o)
FUND	000.54A	-68	000.39A	-183.1	000.51A	-306.9	000.14A	-30.2
3	5.95	-45.2	12.17	-40.7	6.92	-44.3	83.71	-43
5	1.72	-302.9	1.02	-113.5	1.56	-64.3	5.49	-24
7	0.94	-348.9	2.01	-50.1	1.03	-220.4	4.53	-15.3
9	0.04	-246.8	0.62	-7.5	0.18	-241.9	1.48	-340.6
11	0.19	-307.9	0.47	-37.7	0.16	-29.9	2.11	-14.2
13	0.12	-63.3	0.36	-13.2	0.13	-273	1.25	-7.6
15	0.1	-175.7	0.18	-357	0.12	-287.4	0.5	-300.7
17	0.05	-170.3	0.17	-358.3	0.1	-352.7	0.65	-357.6
19	0.11	-180.7	0.12	-335.5	0.12	-22	0.29	-5.5

Data pada tabel diatas kemudian dijadikan sebagai masukan awal data komputasi numeris dalam perancangan tapis.

Pengujian watak harmonik arus pada beban tiga fase

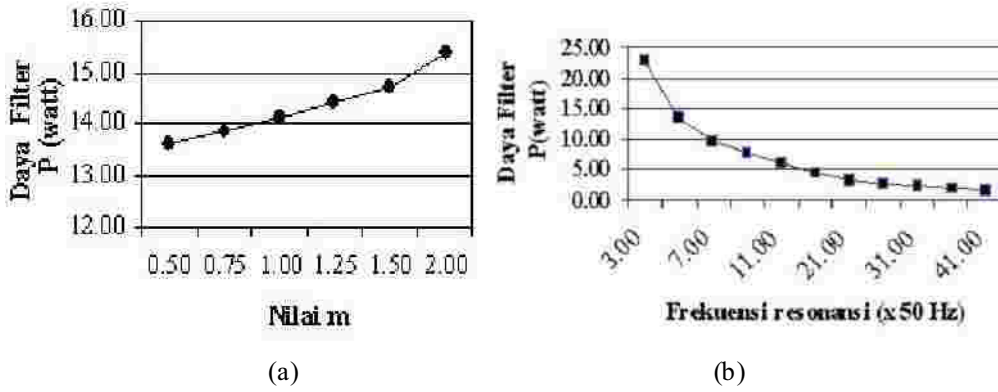
Penelitian ketiga adalah penelitian watak harmonik pada beban fase tidak seimbang pada saat tapis dipasang. Nilai L dan R diubah untuk mendapatkan frekuensi resonansi yang berbeda-beda dan nilai m antara 0.5 dan 2. Hasil ini membuat tingkat peredaman tapis yang berbeda. Terbatasnya nilai kapasitor dipasaran membuat percobaan ini terbatas oleh ukuran nilai kapasitor. Pertama nilai kapasitor ditentukan terlebih dahulu, nilai m dan frekuensi resonansi dengan bantuan program komputer maka untuk menentukan nilai R.

Besarnya m diubah-ubah begitu juga dengan besarnya frekuensi resonansi, disini faktor daya sangat menentukan. Pada keadaan tapis dengan $m = 0.8$, $C = 4.5 \mu F$, Ditala pada $f =$

150Hz menghasilkan kenaikan konsumsi daya dalam watt.

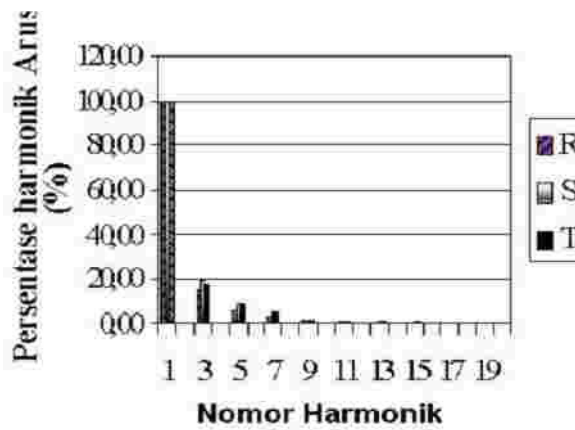
Gambar 8. Spektrum harmonik arus pada beban tiga fase

Gambar 6 dan 8 menunjukkan perbandingan antara karakteristik harmonik arus dan tegangan, yang paling menonjol terlihat pada gambar 6 dan 8. bahwa harmonik ke 3, 5 dan 7 pada total distorsi orde tersebut terlihat paling besar spektrumnya komponen harmonik hampir sama baik dengan tapis maupun tidak. Nilai THD arus nampak semakin besar. Makin besarnya THD arus disebabkan karena pemasangan kapasitor yang mengakibatkan arus fundamental mengecil, sedangkan komponen harmonik tidak berubah cukup berarti. Keadaan ini berarti puncak arus fase akan lebih besar dibanding nilai komponen fundamental. Keadaan semacam inilah yang mengakibatkan konsumsi daya semakin besar.



Gambar 7. Pengaruh perubahan m dan frekuensi resonansi terhadap daya Tapis dengan C = 4.5 uF

- a) Hubungan nilai m terhadap daya tapis (P) dalam watt, fo=250 Hz
- b) Hubungan frekuensi terhadap daya tapis (P) dalam watt, m=0.5



Gambar 8. Spektrum harmonik arus pada beban tiga fase

Percobaan diatas diulangi lagi dengan merubah keadaan m dan fo. Nilai m dipilih sama dengan 0.5 dan nilai fo diset ke 550 Hz dan 2050 Hz. Hasilnya daya filter dapat ditekan menjadi 6.27 watt dan 1.68 watt sedangkan kenaikan daya total pada keadaan ini akan mencapai 1.5-2%. Keadaan ini berarti perubahan m dan fo sangat menentukan besarnya daya tapis.

Sebelum ditapis dari data beban diperoleh faktor daya untuk fase R-S-T masing-masing 0.37, 0.46 dan 0.51, THD I dalam persen (%) masing-masing 10.6, 8.26 dan 12.34, sedangkan THD V dalam persen (%) menunjukkan untuk masing-masing fase adalah 2.46, 2.77 dan 2.67. Setelah pemasangan tapis dan dilakukan pengukuran, didapatkan hasil yang disajikan pada tabel 4.

Percobaan dengan skenario tapis yang berbeda, data skenario seperti tabel diatas dari atas ke bawah diberi nomor skenario 1 sampai 4. Hubungan antara reduksi daya yang dipakai sistem dengan sebelum dan setelah dipasang tapis secara rinci dituliskan seperti pada tabel 5.

Persentase (-) menunjukkan tidak terjadi reduksi daya, yang terjadi adalah penambahan konsumsi daya.

Penghematan daya nyata pada beban tiga fase tidak seimbang pada kasus ini dapat dikatakan tidak ada karena adanya faktor konsumsi daya pada tapis.

Tabel 4. Tabel Faktor Daya (PF), THD-I (%), dan THD-V (%) Setelah dipasang Tapis

Spesifikasi Tapis			R			S			T		
Fo-orde	C (uF)	M	PF	THD-I (%)	THD-V (%)	PF	THD-I (%)	THD-V (%)	PF	THD-I (%)	THD-V (%)
3.00	4.50	1.00	0.85	25.16	2.55	0.99	28.76	2.71	0.88	30.00	2.88
5.00	4.50	0.50	0.81	17.02	2.46	0.99	22.20	2.72	0.85	20.16	2.77
11.00	4.50	0.50	0.77	11.44	2.40	0.98	17.70	2.72	0.81	13.42	2.69
41.00	4.50	0.50	0.74	8.14	0.36	0.98	15.04	2.72	0.79	9.43	2.64

Tabel 5. Tabel Reduksi Daya Sebelum dan Sesudah Dipasang Tapis

	Fase	Sebelum Ditapis	Skenario							
			Tapis 1		Tapis 2		Tapis 3		Tapis 4	
Daya			Nilai	reduksi (%)	Nilai	reduksi (%)	Nilai	Reduksi (%)	Nilai	Reduksi (%)
P (watt)	R	44.05	69.21	-57.12	58.53	-32.87	50.27	-14.12	45.71	-3.77
	S	39.64	64.45	-62.59	54.42	-37.29	45.77	-15.46	41.28	-4.14
	T	43.19	68.44	-58.46	57.23	-32.51	49.25	-14.03	44.31	-2.59
Q (var)	R	109.51	42.43	61.25	41.32	62.27	41.34	62.25	41.80	61.83
	S	75.80	9.63	87.30	13.44	82.27	8.81	88.38	8.72	88.50
	T	102.05	36.61	64.13	36.70	64.04	35.80	64.92	35.70	65.02
S (VA)	R	118.03	81.18	31.22	71.64	39.30	65.08	44.86	61.94	47.52
	S	85.54	65.17	23.81	56.05	34.48	46.61	45.51	56.06	34.46
	T	110.81	77.63	29.94	67.98	38.65	67.98	38.65	57.29	48.30

KESIMPULAN

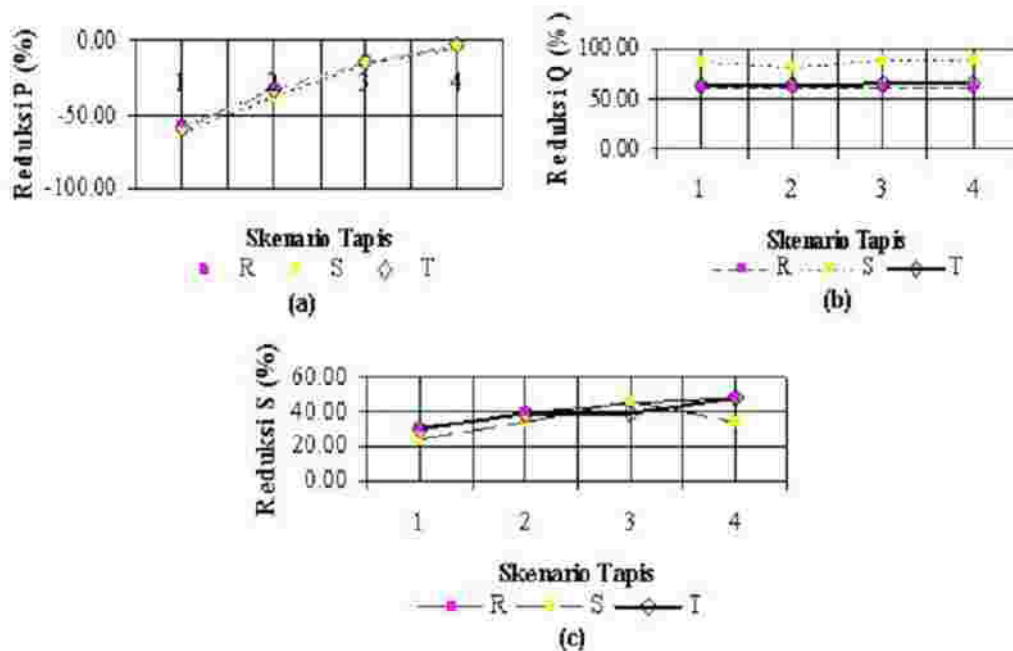
Harmonik pada beban tiga fase tidak seimbang akan mempengaruhi tingkat ketidakseimbangan beban. Kenaikan persentase tingkat harmonik pada beban akan menaikkan tingkat ketidakseimbangan beban.

Pemakaian tapis akan menaikkan tingkat persentase harmonik arus. Kenaikan persentase harmonik arus mengakibatkan ketidakseimbangan beban semakin besar. Percobaan diatas memperlihatkan sebelum dipasang tapis ketidakseimbangan arus beban rata-rata mencapai 19.42% setelah dipasang tapis ketidakseimbangan arus beban ini naik menjadi 23.79%.

Pemakaian tapis menghasilkan penurunan konsumsi arus sistem. Percobaan diatas memperlihatkan penurunan arus yang terjadi rata-rata 42%. Faktor daya naik 117%. Penghematan akan nampak pada daya reaktif sampai dengan 88.5% dan daya semunya berkurang sebesar 48.3%, sedangkan penghematan daya nyata pada beban tiga fase tidak seimbang pada kasus ini tidak ada karena adanya faktor konsumsi daya pada tapis.

DAFTAR PUSTAKA

- Arrillaga J., Bradley D.A., Bodger P.S., 1985, "Power System Harmonics", John Wiley & Sons, pp. 215-324, New York
- Davis E.J., Emanuel A.E., Pileggi D.J., 2000a, "Evaluation of Single-Point Measurements Method for Harmonic Pollution Cost Allocation", IEEE Transaction on Power Delivery, 15(1), 14-18, January 2000, New York
- Davis E.J., Emanuel A.E., Pileggi D.J., 2000b, "Harmonic Pollution Metering : Theoretical Considerations", IEEE Transaction on Power Delivery, 15(1), 19-23, January 2000, New York
- Dugan R.C., McGranaghan M.F., Beaty H.W., 1996, "Electrical Power Systems Quality", pp. 123-187, McGraw-Hill, New York.
- Lewis F.A. & Houdek J.A., 1999, "Reactor Provide a Low Cost Solution to Inverter/Drive Power Quality", -, MTE Corp., Menomonee, WI.



Gambar 9. Persentase Reduksi Daya Terhadap Skenario Tapis
 a. Skenario Tapis terhadap Reduksi P
 b. Skenario Tapis terhadap Reduksi Q
 c. Skenario Tapis terhadap Reduksi S

IEEE Std. 141-1993, 1993, “*IEEE Recommended Practice For Electric Power Distribution For Industrial Plants*”, pp. 443-473, IEEE Inc., New York

Stevenson, W.D. J.r., alih bahasa Ir. Kamal Idris 1996, “*Analisis Sistem Tenaga Listrik*”, edisi 4, pp.260-315, Penerbit Erlangga, Jakarta

Swamy M.M. Ph.D., 1999, “*Harmonic Reduction Using Broad Band Harmonic Filter*”, - MTE. Corp., Menomonee Falls, WI, USA

Xu W. and Ranade S.J., 2000, “*Analysis of Unbalanced Harmonic Propagation in Multiphase Power System*”, IEEE Product #EC 102 ISBN 0-7803-4597-5, Chap. 8, pp. 1-14, IEEE Inc., NewYork.

Xu W. and Ranade S.J., 2000, “*An Overview of Harmonics Modeling and Simulation*”, IEEE Product #EC 102 ISBN 0-7803-4597-5, Chap. 1, pp 1-12, IEEE Inc., NewYork.