

Penurunan Konsumsi Daya (VA) Peralatan Listrik Rumah Tangga Dengan Mereduksi Distorsi Harmonisa

Irman

Department of Electrical Engineering,
State Polytechnic of Pontianak
e-mail : irmanpolnep @yahoo.co.id

Abstract– Energy consumption is the largest electricity to household customers. Most household electrical load is electronic equipment which is non-linear loads. The load harmonic distortion greatest contributor to the power distribution system. Harmonic distortion leads to wastage of electrical energy due to energy components such as power, power factor, voltage and current conditions deviate from ideal.

Measurement of Total harmonic current distortion (THDi) on some household electrical appliances producing harmonics is performed to determine THDi of each different load. Based on the measurement data, conducted the analysis for later Single Tuned Filter is designed to reduce the current harmonic distortion of each load and the total load.

By comparing THDi, power factor and power consumption (VA) of the load before and after the filter, it was found that the installations of the filter will cause a decrease in THDi to 31.64, increasing the power factor to 0.87, and decreased power consumption (VA) amounted to 10.14% if the filters are installed on every load and 13.75% if the filters are installed to total load.

Keywords– Total Harmonic Current Distortion , Single Tuned Filters

1. Pendahuluan

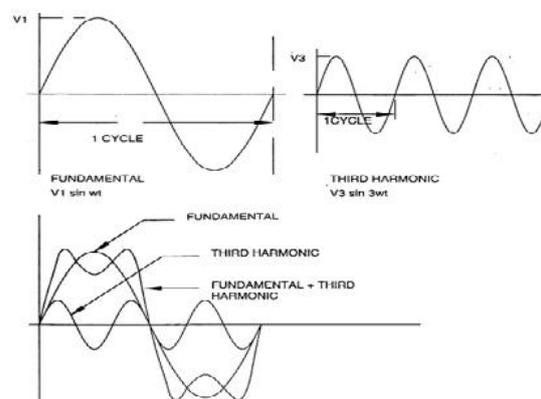
Pelaksanaan konservasi energi diterapkan terhadap semua pengguna energi baik langsung maupun tidak langsung. Konsumsi energi listrik terbesar adalah untuk pelanggan rumah tangga [14], dimana sebagian besar beban listrik rumah tangga adalah peralatan elektronik. Berdasarkan hasil survei CBEMA (Computer and Business Equipment Manufacturing Association) dan LCSE (Liebert Customer Service Engineering) menyatakan bahwa beban listrik yang terdapat pada sistem distribusi tenaga listrik modern, lebih dari 40 % adalah beban non-linier yang didominasi oleh peralatan elektronik. Beban ini menyebabkan arus sistem terdistorsi dengan faktor daya lebih rendah dari 0,67. [11] Diperkirakan beban non-linier ini akan meningkat hingga 85 % pada tahun 2012. [2] Oleh karena itu dalam rangka penerapan konservasi energi khususnya konservasi energi listrik pada sektor rumah tangga, maka distorsi harmonisa harus dikurangi agar kualitas daya listrik menjadi lebih baik, sehingga dapat menghemat energi listrik.

2. Teori Dasar

Distorsi harmonisa merupakan suatu fenomena yang timbul akibat terdistorsinya gelombang sinusoidal secara periodik akibat pengoperasian beban listrik non linier.

Gelombang yang mengandung harmonisa dapat dianggap sebagai penjumlahan beberapa gelombang sinusoidal dengan frekuensi-frekuensi yang merupakan kelipatan bilangan bulat dari frekuensi dasarnya. Frekuensi kelipatan dari frekuensi dasar ini disebut dengan frekuensi harmonisa.

Gelombang harmonisa ini akan berkombinasi dengan gelombang dasarnya, sehingga terbentuk gelombang cacat yang merupakan penjumlahan antara gelombang dasar dengan gelombang harmoniknya. [12]



Gambar 1. Gelombang Terdistorsi Harmonisa [12]

Orde dari harmonisa merupakan perbandingan frekuensi harmonik dengan frekuensi dasarnya. [3]

$$n = F_n / F \quad (1)$$

Dimana : n = orde harmonisa
 F_n = frekuensi harmonisa ke n
 F = frekuensi dasar

Sesuai dengan defenisi diatas maka orde harmonisa frekuensi dasar F adalah 1. Artinya orde ke-1 bukan harmonisa melainkan orde ke-2 sampai orde ke- n .

Spektrum adalah distribusi dari semua amplitudo komponen harmonisa sebagai fungsi dari orde harmonisanya, dan diilustrasikan dengan menggunakan histogram. Spektrum merupakan perbandingan arus atau tegangan frekuensi harmonisa dengan arus atau tegangan frekuensi dasar. Spektrum sebagai dasar

merencanakan filter yang akan digunakan untuk mereduksi harmonisa, terutama yang digunakan filter pasif.

Total Harmonic Distortion (THD)

THD adalah ukuran nilai efektif dari komponen-komponen harmonisa pada suatu gelombang yang terdistorsi. Nilai ini dapat dihitung dengan persamaan berikut, baik untuk arus maupun tegangan. [3]

$$THD = \frac{\sqrt{\sum_{n>1}^{maximum} M_n^2}}{M_1} \quad (2)$$

Dimana : M_n = Nilai rms dari komponen harmonisa ke-n (arus atau tegangan)

M_1 = nilai rms arus atau tegangan pada frekuensi fundamental

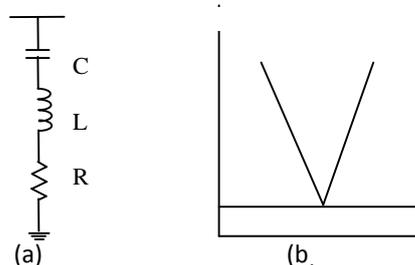
Standar IEC 61000-3-4 untuk maksimum arus harmonisa yang diizinkan seperti diperlihatkan pada tabel 1 berikut ini :

Tabel 1 Batas Maksimum THD arus yang Diizinkan			
Orde	Maks THDi Yang diizinkan*	Orde	Maks THDi Yang diizinkan*
3	21,6	19	1,1
5	10,7	21	0,6
7	7,2	23	0,9
9	3,8	25	0,8
11	3,1	27	0,6
13	2,0	29	0,7
15	0,7	31	0,7
17	1,2	33	0,6

Ket : *) % dari arus fundamental masukan

Single Tuned Filter

Rangkaian single tuned filter dan kurva impedansi terhadap frekuensi seperti diperlihatkan pada gambar 2.3 berikut ini. [4]



Gambar 2. (a) Rangkaian Single Tuned Filter
(b) Kurva Impedansi terhadap Frekuensi

Impedansi Single Tuned filter diberikan oleh persamaan

$$Z_f = R + j \left(\omega L - \frac{1}{\omega C} \right) \quad (3)$$

Untuk magnitude impedansi single tuned filter adalah :

$$|Z| = \sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C} \right)^2} \quad (4)$$

Resonansi terjadi pada saat nilai reaktansi sama dengan kapasitansi. Filter diatur pada frekuensi f_r yang menghasilkan resonansi seri, seperti persamaan berikut.

$$f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (5)$$

Pada frekuensi f_r single tuned filter akan memiliki impedansi minimum, dimana besarnya adalah sebesar resistansi R dari induktor. Filter ini akan menyerap semua arus harmonisa yang dekat dengan frekuensi f_r yang diinjeksikan.

Batasan Komponen Filter

Ada dua komponen filter dalam single tuned filter, yaitu kapasitor dan induktor. Sebagai komponen filter ada batasan beban yang diperbolehkan berdasarkan standar IEEE 519-1992.

a. Kapasitor

Batas beban kapasitor yang diperbolehkan sebagai komponen filter berdasarkan standar IEEE 519-1992 adalah sebagai berikut :

KVAR	= 135 %
Tegangan Efektif	= 110 %
Jumlah Tegangan Puncak	= 120 %
Arus Efektif	= 180 %

Walaupun dalam standar batas arus efektif adalah 180 %, tetapi aplikasinya bisa lebih rendah karena masing-masing unit kapasitor diproteksi pada 125-165% dari rating arusnya.

b. Induktor

Induktor yang digunakan untuk aplikasi filter biasanya dari tipe inti udara yang memberikan karakteristik linier berkenaan dengan frekuensi dan arus. Toleransi reaktansi ± 5 % untuk aplikasi sistem tenaga listrik di industri.

Faktor Daya Beban Nonlinier

Beban non linier apabila dihubungkan dengan sumber tegangan sinusoidal akan menghasilkan arus non-sinusoidal atau gelombang sinusoidal yang terdistorsi, contohnya komputer, inverter, penyearah terkendali, pengendali putaran motor, mesin las dan sebagainya.

Faktor daya untuk beban nonlinier dipengaruhi oleh total harmonic distortion (THD). [15]

$$PF = DPF \cdot \frac{1}{\sqrt{1+THDv^2}} \cdot \frac{1}{\sqrt{1+THDi^2}} \quad (6)$$

Dimana : PF : faktor daya

DPF : Faktor daya pergeseran

THDv : Distorsi harmonisa total dari tegangan (%)

THDi : Distorsi harmonisa total dari arus (%)

Oleh karena THD tegangan biasanya tidak lebih dari 10 % maka faktor dayanya menjadi :

$$PF = DPF \cdot \frac{1}{\sqrt{1+THDi^2}} \quad (7)$$

$\frac{1}{\sqrt{1+THDi^2}}$ didefinisikan sebagai faktor daya distorsi.

Mean Aritmatik Terbobot (Weighted Arithmetic Mean)

Istilah rata-rata (average) ini sebenarnya meliputi beberapa ukuran pemusatan. Rata-rata adalah nilai khas yang mewakili sifat tengah, atau posisi pusat dari suatu kumpulan data. Terdapat beberapa ukuran yang termasuk rata-rata, salah satunya adalah *mean aritmatik terbobot*. [6]

Seringkali suatu persoalan masing-masing nilai mempunyai nilai bobot / timbangan tertentu, misalnya X_1 dengan timbangan W_1 , X_2 dengan timbangan W_2 , dan seterusnya sampai X_n dengan timbangan W_n . Oleh karena itu nilai rata-rata yang menggunakan timbangan tersebut disebut *rata-rata tertimbang*.

$$X = \frac{\sum_{i=1}^n W_i \cdot X_i}{\sum_{i=1}^n W_i} \quad (8)$$

Dimana : X = Mean aritmatik terbobot
 X_i = Nilai dari suatu data
 W_i = Faktor pembobotan

Apabila terdapat sejumlah beban linier dan non-linier pada penggunaan listrik rumah tangga dengan kapasitas atau bobot (daya), maka dapat dibentuk suatu formulasi praktis yang dapat digunakan untuk memprediksi distorsi harmonisa arus (THDi) dan DPF total pada utility tersebut, yaitu seperti berikut ini :

$$THDi_{total} = \frac{\sum_{n=1}^n P_n \cdot THDi_n}{\sum_{n=1}^n P_n} \quad (9)$$

Dimana : $THDi_{total}$ = Distorsi harmonisa total arus dari semua beban/peralatan
 $THDi_n$ = Distorsi harmonisa setiap beban
 P_n = Daya setiap beban

Demikian juga dengan DPF total, yaitu dengan mengganti THDi dengan DPF pada persamaan berikut :

$$DPF_{total} = \frac{\sum_{n=1}^n P_n \cdot DPF_n}{\sum_{n=1}^n P_n} \quad (10)$$

Dimana : DPF_{total} = Distorsi harmonisa total dari semua beban/peralatan

DPF_n = Distorsi harmonisa setiap beban

P_n = Daya setiap beban

3. Hasil Eksperimen

Pengukuran dilakukan secara langsung pada peralatan listrik rumah tangga (peralatan elektronika). Skenario jenis beban pada penelitian ini adalah lampu Swaballast (LHE) merk Phillips 23W;170-250V, Televisi merk LG 32LS3400;100-240V, DVD-Player merk LG;HT304SU-A2;110-240V, Water Dispenser merk SANKEN; HWE-69C; 220V, laptop merk Lenovo 3000 N100, printer merk HP Deskjet 1050, kulkas merk LG GN-M352YVQ;220-250V dan Personal Computer (PC) dengan suplai daya 350W.

Data yang diambil, yaitu : THDi (*Current Total Harmonic Distortion*), daya aktif (W), daya semu (VA), daya reaktif (VAR), PF (*power factor*), dan DPF (*Displacement Power Factor*).

Tabel 2. Pengukuran Daya dan Faktor Daya pada masing-masing beban

No. Peralatan	Jlh	Daya			PF	DPF
		P(watt)	S(VA)	Q(VAR)		
1 Lampu LHE	1	20	28	20	0,71	0,87
2 Televisi	1	40	52	33	0,76	0,97
3 DVD Player	1	10	13	8	0,76	1,00
4 Water Disps	1	50	68	46	0,74	0,95
5 PC	1	120	156	100	0,77	1,00
6 Laptop	1	10	13	8	0,77	1,00
7 Printer	1	15	20	13	0,76	0,99
8 Kulkas	1	130	159	92	0,82	0,96
Total	:	395	509	320		

Dari data pada tabel 2 dan dengan persamaan dapat dihitung faktor daya total dari seluruh beban dengan persamaan $\cos = P_{total}/S_{total}$ yaitu sebesar 0,78.

Dari hasil perhitungan didapat nilai faktor daya pergeseran (DPF) rata-rata untuk beban keseluruhan adalah : 0,98. (2.18)

Tabel 3. Pengukuran THDi pada masing-masing beban Sebelum Difilter

No. Peralatan	THDi avg (%)	THDi orde ke (%)				
		3	5	7	9	11
1 Lampu LHE	70,30	59,10	27,26	18,19	16,73	13,64
2 Televisi	77,60	54,55	41,00	31,82	18,18	9,10
3 DVD Player	86,00	40,91	36,36	36,29	27,28	18,17
4 Water Disps	79,30	52,16	37,50	25,00	12,50	12,35
5 PC	82,70	50,00	41,67	25,16	20,83	12,50
6 Laptop	83,80	48,60	43,80	36,20	27,50	17,70
7 Printer	83,60	46,70	41,30	36,20	28,60	21,50
8 Kulkas	61,80	11,00	9,68	7,10	4,70	2,10

Tabel 4. Hasil Perhitungan THDi rata-rata pada beban total

No. Peralatan	THDi avg (%)	THDi rata-rata orde ke (%)				
		3	5	7	9	11
Beban total	75,79	31,55	29,01	19,96	16,17	10,76

Berdasarkan hasil perhitungan desain filter, untuk pengujian digunakan komponen filter dengan spesifikasi induktor (L) = 75 mH dengan nilai induktansi

(X_L) = 23,56 , dan kapasitor (C) = 16 μ F dengan nilai kapasitansi (X_C) = 198,94 .

Tabel 5. Pengukuran Daya, PF dan DPF pada tiap beban Setelah Diferter

No. Peralatan	Jlh	Daya			PF	DPF
		P(watt)	S(VA)	Q(VAR)		
1 Lampu LHE	1	20	23	11	0,86	0,87
2 Televisi	1	40	44	18	0,91	0,97
3 DVD Player	1	10	12	7	0,87	1,00
4 Water Disps	1	50	57	27	0,88	0,95
5 PC	1	120	135	62	0,89	1,00
6 Laptop	1	10	12	7	0,83	1,00
7 Printer	1	15	17	8	0,87	0,99
8 Kulkas	1	130	155	84	0,84	0,96
Total		395	456	320		

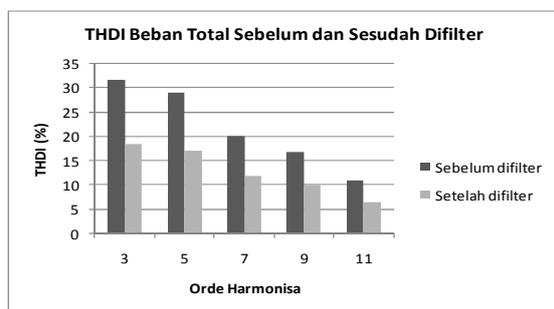
Faktor daya seluruh beban setelah difilter menjadi 0.87.

Tabel 6 . Pengukuran THDi pada tiap beban Setelah Diferter

No. Peralatan	THDi avg (%)	THDi orde ke (%)				
		3	5	7	9	11
1 Lampu LHE	26,20	22,03	10,16	6,78	6,24	5,08
2 Televisi	31,37	22,05	16,57	12,86	7,35	3,68
3 DVD Player	57,50	27,35	24,31	24,26	18,24	12,15
4 Water Disps	41,07	27,01	19,42	12,95	6,47	6,40
5 PC	50,82	30,73	25,61	15,46	12,80	7,68
6 Laptop	66,67	38,67	34,85	28,80	21,88	14,08
7 Printer	55,56	31,04	27,45	24,06	19,01	14,29
8 Kulkas	54,40	9,68	8,52	6,25	4,14	1,85

Tabel 7. THDi rata-rata pada beban total Setelah Diferter

No. Peralatan	THDi avg (%)	THDi rata-rata orde ke (%)				
		3	5	7	9	11
1. Beban total	44,15	18,38	16,90	11,63	9,42	6,27

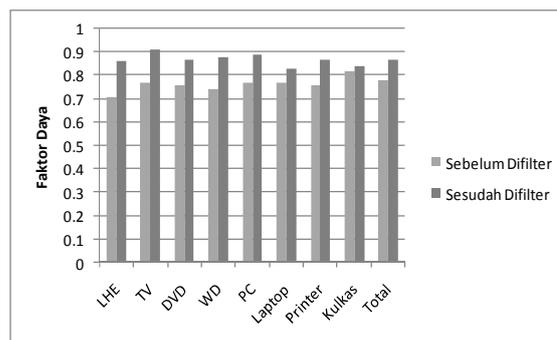


Gambar 3. THDi Beban Total sebelum dan Sesudah Diferter

Dari gambar spektrum distorsi harmonisa pada beban total, memperlihatkan bahwa filter bekerja pada semua orde harmonisa dengan orde 3 sebagai orde kerja efektif filter. Hal ini ditunjukkan dengan penurunan THDi terbesar yaitu pada orde harmonisa ke-3 dibanding dengan orde harmonisa lainnya.

Tabel 8. Faktor Daya Sebelum dan Sesudah Filter

Beban	Faktor Daya (PF)	
	Sebelum Diferter	Sesudah Diferter
Total	0,78	0,87
LHE	0,71	0,86
Televisi	0,77	0,91
DVD Player	0,76	0,87
Water Disps	0,74	0,88
PC	0,77	0,89
Laptop	0,77	0,83
Printer	0,76	0,87
Kulkas	0,82	0,84



Gambar 4. Faktor Daya Sebelum dan Sesudah Diferter

penambahan filter pada setiap beban atau pada beban secara keseluruhan dapat memperbaiki faktor daya. Hal ini disebabkan karena penambahan filter pada sistem akan menurunkan nilai THDi sistem. Berkurang THDi akan meningkatkan faktor daya.

Dengan meningkatnya faktor daya, maka akan menurunkan konsumsi daya (VA) dari setiap beban maupun beban secara keseluruhan.

Tabel 9. Konsumsi Daya (VA) Beban Total Sebelum dan Sesudah Diferter

Beban	Sebelum Diferter	Setelah Diferter	Selisih
	S_1 (VA)	S_2 (VA)	$S_3 = S_2 - S_1$ (VA)
Total	509	439	70

Daya (VA) yang dapat dihemat untuk filter yang dipasang pada tiap-tiap beban adalah sebesar 10,41 %. Sedangkan untuk filter yang dipasang pada beban secara keseluruhan adalah sebesar 13,75 %. Hal ini menunjukkan bahwa penempatan filter untuk beban secara keseluruhan lebih baik dan lebih efektif dibandingkan dengan filter yang dipasang pada setiap beban, karena dapat menurunkan daya (VA) beban lebih besar.

Kesimpulan

Dari hasil penelitian dan perhitungan yang telah dilakukan pada peralatan listrik rumah tangga, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Pemasangan Single Tuned Filter untuk beban keseluruhan lebih efektif mereduksi distorsi harmonisa arus dibanding dengan pemasangan pada tiap-tiap beban peralatan listrik rumah tangga.
2. Pemasangan Single Tuned Filter untuk beban peralatan listrik rumah tangga secara keseluruhan dapat menurunkan distorsi harmonisa dari 75,79% menjadi 44,15%, dan memperbaiki faktor daya dari 0,78 menjadi 0,87
3. Penurunan Konsumsi daya (VA) dari pemasangan single tuned filter untuk beban keseluruhan pada peralatan listrik rumah tangga sebesar 13,75%, lebih besar dibanding pemasangan pada tiap-tiap beban, yaitu sebesar 10,14%.

Referensi

- [1] A.Bhatia,B.E, *Power Factor in Electrical Energy Management*, PDH Centre, 2012
- [2] A.Priyadharshini, N.Devarajan, AR.Umasaranya, R.Anitt, *Survey of Hmonics in Non Linear Loads*, International Journal of Recent Technology and Engineering (IJRTE) ISSN : 2277-3878, Volume-1, Issue-1. 2012
- [3] Dugan, R.C., Mc Granaghan, M.F dan Beaty, H.W. *Electrical Power System Quality*. New York: Mc Graw-Hill. 2002
- [4] Endi.S, *Perancangan Single Tuned Filter Untuk Mereduksi Harmonik Arus Dengan Simulasi program Etap Powerstation 5.0.3*, Universitas Indonesia, Jakarta
- [5] Fika Priliasari, Herri Gusmedi, *Studi pengaruh Harmonisa pada Arus Listrik Terhadap Besarnya Penurunan Kapasitas Daya (KVA) Terpasang Transformator Distribusi*, Electrician Jurnal Rekayasa dan Teknologi Elektro Volume 1 No.1 edisi September 2007
- [6] Harinaldi, *Prinsip-Prinsip Statistik Untuk Teknik dan Sains*, Erlangga, Jakarta, 2005
- [7] IEEE Std 519-1992. *IEEE Recommended Practices and Requirements for Harmonic Control in Electric Power Systems*. © Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc. 1993
- [8] Keppres Nomor : 43 tahun 1991 “ *Konservasi Energi*”
- [9] M.Syahwil, M.Tola, Salama.M, *Studi Dampak Harmonisa Terhadap Susut Teknis Pada Industri Semen (kasus Industri Semen Tonasa)*, Media Elektrik Volume 5 Nomor 2 Desember 2010, Universitas Hasanudin, Makasar, 2010.
- [10] Novalio Daratha. *Harmonisa dalam Sistem Daya Listrik*. Program Studi Teknik Elektro, Universitas Bengkulu.
- [11] Riza.W, Herisajani, Witrionanda, *Prediksi Distorsi Harmonisa Pada Utility Listrik Perumahan Yang Disebabkan Oleh Beban Nonlinier Menggunakan Statistik Perbandingan Linier*, Elektron Vol No.1,Edisi Juni 2009.
- [12] Slamet.R, Emmanuel.A.N, *Kajian Tapis Daya Aktif Paralel Dengan Menggunakan Inverter Bertingkat Sebagai Metode Perbaikan Arus Sumber*, Sari kajian Ilmiah volume 14 nomor 2, Universitas Diponegor, Semarang., Nopember 2011
- [13] Sankaran, C. *Power Quality*. Florida: CRC Press LLC, 2002
- [14] Sekretariat Perusahaan PT PLN (Persero), *Statistik PLN 2011*
- [15] W.Mark Grady, *Harmonics and How They Relate To Power Factor*, EPRI Power Quality Issue & Opportunities Conference, San Diego, 1993

Biography

Irman, lahir di Sekura Kalimantan Barat pada tanggal 6 September 1964. Menyelesaikan Pendidikan DIII Teknik Elektro di Politeknik ITB Bandung dan S-1 Teknik Pengaturan dan saat ini sedang menyelesaikan pendidikan S-2 pada Program Magister Manajemen Energi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Tanjungpura Pontianak,

