

## ANALISIS PENGARUH HARMONISA TERHADAP RUGI-RUGI DAYA PADA PENGHANTAR

I Wayan Sudiarta , I Nyoman Sugiarta dan IBK Sugirianta

Jurusan teknik Elektro Politeknik Negeri Bali  
Bukit Jimbaran, PO Box 1064 Tuban Badung-Bali  
Phone (0361) 701981, Fax (0361) 701128

**Abstrak:** Salah satu sumber harmonisa adalah Lampu Hemat Energi ( LHE ), memiliki efisiensi yang tinggi akan tetapi LHE menghasilkan distorsi Harmonisa yang cukup besar yang disebabkan oleh karakteritik kerja ballast elektronik . Distorsi harmonisa ini dapat menyebabkan beberapa kerugian pada sistem instalasi listrik diantaranya dapat menyebabkan rugi-rugi pada penghantar .Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh arus harmonisa terhadap rugi-rugi dari penghantar Dalam penelitian ini, dilakukan pengujian terhadap kabel NYM 2 x1.5 mm<sup>2</sup> yang digunakan sebagai penghantar untuk Lampu Hemat Energi ( LHE ) sebagai beban yang menghasilkan arus harmonisa. Variasi distorsi harmonisa bertujuan untuk menganalisis kontribusi rugi-rugi yang dihasilkan beban dan pengaruhnya terhadap penghantar .Dari hasil penelitian ini diketahui bahwa beban harmonisa berpengaruh terhadap terhadap persentase rugi-rugi yang dihasilkan oleh penghantar akibat adanya arus harmonisa.

**Kata Kunci:** Distorsi Harmonisa , Penghantar , Lampu Hemat Energi ( LHE ).

### *ANALYSIS OF INFLUENCE HARMONICS POWER LOSS ON CONDUCTOR*

**Abstract:** *One source is the Energy Saving Lighting harmonics (LHE), has a high efficiency but LHE generate considerable Harmonic distortion caused by electronic ballasts karateritik work. This harmonic distortion can cause some loss on the electrical installation system which can lead to losses in the conductor. Study aimed to determine the effect of harmonic currents to the loss of conductor In this study, conducted testing of 2 x1.5 mm2 NYM cable used as a conductor for Energy Saving Lamps (LHE) as an expense that produces harmonic currents. Variation of harmonic distortion contribution aims to analyze the resulting losses and expenses pengaruhnya the conductor. From the results of this research note that the burden of harmonic effect on the percentage of losses generated by the conductor due to the harmonic currents.*

**Keywords:** *Harmonic Distortion, Conductor, Energy Saving Lamps (LHE).*

#### I. PENDAHULUAN

Kabel sebagai penghantar berperan sangat penting dalam sistem penyaluran tenaga listrik mulai dari pembangkit, sistem transmisi, distribusi sampai ke konsumen listrik .Oleh karena itu kabel harus mampu mengalirkan arus listrik secara konstan dengan rugi-rugi yang diakibatkan seminimal mungkin. Krisis energi listrik yang melanda Indonesia menyebabkan beberapa persoalan dalam bidang ketanaga listrikan, hal ini dikarenakan daya terpasang dari produsen listrik (PLN) sudah hampir tidak mencukupi memikul beban puncak sehingga terkadang dilakukan pemadaman bergilir. Upaya yang dapat dilakukan untuk mengatasi krisis energi selain dengan pemadaman bergilir adalah dengan membangun pembangkit baru baik dalam skala besar ( seperti PLTA ) maupun dalam skala kecil (

seperti PLTS ) serta melakukan peningkatan efisiensi dari peralatan yang digunakan oleh para konsumen. Beban puncak terjadi pada waktu sekitar pukul 17:00 – 21.00 dimana salah satu beban yang umumnya digunakan pada waktu tersebut adalah beban penerangan pada jenis pelanggan rumah tangga.Salah satu upaya yang dilakukan oleh PLN bekerjasama dengan pemerintah dan pihak swasta ( Produsen Lampu ) untuk meningkatkan efisiensi penggunaan energi listrik pada sektor penggunaan listrik rumah tangga adalah dengan merancang program penggunaan lampu hemat energi menggantikan lampu pijar. Lampu hemat energi yang digunakan adalah jenis lampu flouresence yang menggunakan ballast elektronik sebagai pembatas arus. Ballast elektronik mempunyai

tingkat efisiensi yang baik karena perbandingan daya yang diserap dengan cahaya yang dihasilkan cukup baik ( lumen/watt ) sehingga hal ini menyebabkan penggunaan lampu hemat energi bisa meningkatkan efisiensi. Akan tetapi lampu hemat energi mempunyai beberapa karakteristik diantaranya adalah dihasilkannya distorsi harmonisa arus dan tegangan . Harmonisa arus dan tegangan yang dihasilkan oleh lampu hemat energi memberikan permasalahan baru dalam sistem tenaga listrik diantaranya peningkatan rugi-rugi pada saluran penghantar , rugi-rugi ini disebabkan

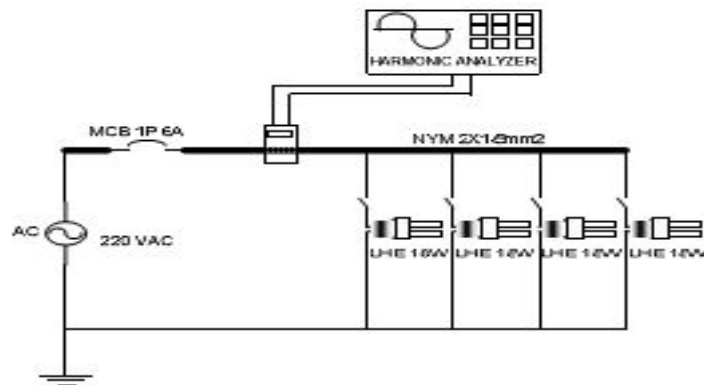
oleh meningkatnya arus rms dan meningkatnya tahanan penghantar akibat frekuensi harmonisa yang lebih tinggi dari frekuensi fundamental dimana efek yang ditimbulkan dikenal sebagai efek kulit ( skin effect) dan efek kedekatan ( proximity effect ) . Dalam tulisan ini dilakukan pengukuran tingkat harmonisa yang dihasilkan oleh beberapa lampu hemat energi serta perpaduan dengan lampu sorot dan dilakukan analisa terhadap rugi-rugi yang dihasilkan pada penghantar supaya diketahui kontribusi rugi-rugi akibat lampu hemat energi terhadap rugi-rugi penghantar

**II. METODE PENELITIAN**

**2.1 Rangkaian Pengukuran .**

Pada penelitian ini dilakukan pengukuran kandungan harmonisa arus dan tegangan listrik dengan menggunakan alat ukur Power Quality Analyzer Fluke 43B. Alat ukur ini dapat digunakan untuk mengukur arus, tegangan, daya, faktor daya,

harmonisa (THD) dan lain-lain. Tampilan hasil pengukuran dari alat ukur Power Quality Analyzer Fluke 43B dapat berbentuk gelombang, spektrum yang terjadi pada tiap-tiap orde harmonisa . Cara pengukuran Harmonisa Tegangan menggunakan Power Quality Analyzer adalah sebagai berikut:



Gambar3.Rangkaian Pengukuran

Gambar rangkaian diatas merupakan rangkaian yang digunakan untuk melakukan pengukuran dimana Lampu Hemat Energi ( LHE ) dipasang paralel terhadap sumber tegangan dan memvariasikan LHE dengan lampu sorot untuk mendapatkan nilai THD-F. Dari hasil pengukuran akan dianalisa tentang pengaruh dari variasi nilai

THD-F tersebut terhadap penghantar yang digunakan. Berdasarkan data yang diperoleh dari standar konstruksi PLN , dan katalog produk dari mekanik dan elektrik dari konstruksi penghantar/kabel instalasi rumah dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 1.Karakteristik Elektris NYM 2x1.5 mm<sup>2</sup>

NO of Cores	Size	Conductor		Insulation Thickness	Jacket Thickness	Approx Overall Dia	Approx Net weight	Standart Reel Length
		Construction	No of wire					
2	1.5	re (rm)	3(7)	0.7	1.2	10.0	112	500
	2.5	re (rm)	3(7)	0.8	1.2	11.5	152	500
	4	re (rm)	3(7)	0.8	1.2	13.0	206	500
	6	re (rm)	3(7)	0.8	1.2	13.7	263	500
	10	re (rm)	3(7)	1.0	1.4	17.1	426	500
	16	rm	7	1	1.4	20.0	632	500
	25	rm	7	1.2	1.4	24.0	943	500
	35	rm	7(19)	1.2	1.6	27.5	1300	500

**2.2 Data Hasil Pengukuran**

1. Data Hasil Pengukuran Variasi THD

Tabel 2 : Hasil Pengukuran Variasi THD

NO	BEBAN			I <sub>rms</sub> (A)	I THD-F (%)	V THDF (%)	PF
	LHE (Buah)	LS (Buah)	LP (Buah)				
1	1	2	3	5.0724	1.82	1.87	-0.9998
2	5	2	2	4.9443	4.25	1.98	-0.9991
3	10	2	1	5.0495	7.05	1.94	-0.9978
4	15	2	1	5.0309	11.23	1.75	0.9949
5	25	2	0	5.0105	17.34	1.83	0.9893
6	40	1	3	5.0975	27.10	2.21	-0.9814
7	55	1	2	4.9992	37.03	2.26	-0.9669
8	65	1	1	5.1342	43.76	2.33	-0.9555
9	70	0	3	5.0922	58.42	2.38	-0.8162
10	85	0	2	5.0983	66.72	2.44	-0.9031
11	100	0	1	5.1024	77.56	2.52	-0.9088

2. Data Hasil Pengukuran Lampu A

Tabel 3 Hasil Pengukuran Lampu A

NO	BEBAN	I <sub>rms</sub> (A)	I THD-F (%)	V THDF (%)	Power Factor
	LHE (Buah)				
1	1	0.1409	110.24	1.63	-0.8999
2	2	0.2840	110.28	1.67	-0.8997
3	4	0.5846	110.64	1.71	-0.9034
4	6	0.9178	111.30	1.77	-0.9073
5	8	1.2531	112.65	1.11	-0.9081
6	10	1.5932	112.93	1.23	-0.9082

3. Data Hasil Pengukuran Lampu B

Tabel 4 : Hasil Pengujian Lampu B

NO	BEBAN	I <sub>rms</sub> (A)	I THD-F (%)	V THDF (%)	Power Factor
	LHE (Buah)				
1	1	0.0528	72.87	1.80	-0.8301
2	2	0.1025	75.27	1.78	-0.8362
3	4	0.2094	77.28	1.84	-0.8398
4	6	0.3084	78.44	1.84	-0.8417
5	8	0.4151	79.28	1.84	-0.8418
6	10	0.5126	78.52	1.95	-0.8471
7	15	0.7193	79.84	2.01	-0.8499
8	25	1.2199	79.92	2.05	-0.8535
9	35	1.7214	79.76	2.13	-0.8573
10	45	2.1975	80.66	2.36	-0.8637
11	55	2.6780	80.80	2.40	-0.8665
12	75	3.6837	80.70	2.43	-0.8657
13	85	4.1338	80.09	2.45	-0.8665

Apabila lampu hemat energi yang digunakan mempunyai karakteristik arus seperti yang telah diuji pada tabel diatas maka dapat dihitung total

arus harmonisa untuk semua lampu dalam satu kali pengujian ke penghantar yang mengalirkan arus ke beban tersebut.

Tabel 5 : Orde Harmonisa untuk Beban THD 66.72%

Beban	85LHE,05L,1LP											
THD-F	66.72 %											
Orde	1	3	5	7	9	11	13	15	17	19	21	
IHD(A)	3.78	1.87	1.04	0.99	0.48	0.33	0.27	0.34	0.44	0.32	0.30	
%	100	49.74	27.91	26.49	12.18	8.97	7.48	9.54	11.52	8.65	8.26	

Untuk menghitung rugi-rugi pada penghantar/kabel yang mengalirkan arus ke LHE maka perlu dihitung pengaruh skin effect( efek kulit = KSE) dan proximity effect( efek kedekatan = KPE) pada penghantar/kabel tersebut . Perhitungan peningkatan tahanan Arus bolak-balik (IAC) dapat dilakukan dengan melihat karakteristik

penghantar/kabel NYM 2x1.5mm<sup>2</sup> pada tabel 1 dengan menggunakan persamaan diatas makadidapat seperti tabel 6 dibawah ini dan dengan Karakteristik peningkatan tahanan IAC maka perhitungan rugi-rugi pada suatu penghantar / kabel untuk masing-masing nilai THD-F adalah sebagai tabel berikut.

Tabel 6 : Perhitungan peningkatan tahanan IACakibat frekuensi

Orde	H	Frekuensi (Hz)	Konstanta (X)	Peningkatan Tahanan		Rac / Rdc	h
				K <sub>SE</sub>	K <sub>PE</sub>		
1	1	50	0.056	0.0051	0.0052	1.0104	0.484
3	1	150	0.097	0.0011	0.0012	1.0023	0.484
5	1	250	0.126	0.0003	0.0003	1.0005	0.484
7	1	350	0.149	0.0008	0.0008	1.0016	0.484
9	1	450	0.169	0.0021	0.0022	1.0043	0.484
11	1	550	0.187	0.0041	0.0042	1.0083	0.484
13	1	650	0.203	0.0086	0.0087	1.0133	0.484
15	1	750	0.218	0.0096	0.0097	1.0193	0.484
17	1	850	0.232	0.0131	0.0130	1.0260	0.484
19	1	950	0.245	0.0169	0.0166	1.0335	0.484
21	1	1050	0.258	0.0212	0.0205	1.0417	0.484

Tabel 7 : Perhitungan rugi pada penghantar untuk THD 66.72%

I rms (A)	5.10	I - Fund	3.7750			
P rms (W)	15.725	Beban	85LHE,05L,1LP			
Orde	Frekuensi (Hz)	Rac / Rdc	R <sub>ac</sub> dan R <sub>dc</sub> (Ω)	R <sub>impedansi</sub> (Ω)	I <sub>ac</sub> (A)	Rugi-rugi (Watt)
3	150	1.0023	0.605	0.6064	1.8653	2.110
5	250	1.0005	0.605	0.6054	1.0425	0.638
7	350	1.0016	0.605	0.6060	0.9543	0.599
9	450	1.0043	0.605	0.6076	0.4566	0.127
11	550	1.0083	0.605	0.6100	0.3255	0.065
13	650	1.0133	0.605	0.6131	0.2657	0.043
15	750	1.0193	0.605	0.6167	0.3374	0.070
17	850	1.0260	0.605	0.6207	0.4404	0.120
19	950	1.0335	0.605	0.6253	0.3321	0.065
21	1050	1.0417	0.605	0.6302	0.2977	0.056
Rugi - Rugi ( P <sub>r</sub> )						3.912
Kontribusi Rugi-rugi thd P rms						24.88%

**III. ANALISA HASIL PENGUJIAN**

Berdasarkan hasil perhitungan rugi-rugi pada penghantar / kabel diperoleh data besarnya rugi-

rugi seperti pada tabel perhitungan diatas. Rugi-rugi akibat arus fundamental (50Hz) dapat diperoleh dengan mengalikan arus dan frekuensi

fundamentalnya dengan tahanan penghantar / kabel untuk frekuensi fundamental tersebut. Dengan mengacu pada rancangan sistem bahwa untuk arus yang mengalir pada sistem di usahakan tetap, jadi dapat dihitung besarnya  $P_k = I_f^2 \times R_{DC}$

Dengan mengetahui daya yang dapat disuplay oleh penghantar/kabel maka dapat dihitung rugi-rugi pada penghantar / kabel yang disebabkan distorsi harmonisa ( selain orde ke-1 ) adalah sebesar

$$P_k - THD = P_k - P_h$$

$$P_k - THD = 16.173 \text{ W} - 3.0412 \text{ W}$$

$$P_k - THD = 12.32 \text{ W} = 82 \%$$

Dari hasil perhitungan diatas didapatkan bahwa total daya yang disuplay oleh penghantar/kabel ke beban hanya mencapai 82% dari total daya yang seharusnya bisa disuplay atau dengan kata lain 18% rugi-rugi daya akibat dari distorsi harmonisa LHE. Rugi-rugi yang dihasilkan oleh lampu hemat energi juga sangat berpengaruh pada penghantar/kabel , beban yang menghasilkan distorsi harmonisa dapat dilihat pada orde ke 3,5,7,9,11,13,15,17,21 dan orde ke-1 sebagai acuan ( orde fundamental ) hal ini dapat dilihat pada gambar grafik berikut



Gambar 4 : Pengaruh Frekuensi Harmonisa terhadap efek kulit ( KSE) dan efek kedekatan ( KPE)

Dari gambar 4 dapat dilihat bahwa efek kulit dan efek kedekatan sangat mempengaruhi besarnya rugi-rugi pada kabel/penghantar. Pada grafik warna biru mulai dilihat pada orde ke-3 ( Frekuensi 150Hz ) efek kulit dari penghantar sebesar 0.0012 dan terus mengalami peningkatan seiring dengan peningkatan frekuensi harmonisa , dengan meningkatnya efek kulit (KSE) maka efek

kedekatan ( KPE) juga semakin meningkat. Untuk kabel berdiameter kecil terlihat bahwa efek kedekatan (KPE) lebih dominan daripada efek kulit yang terlihat hampir pada semua frekuensi harmonisa. tabel berikut melihat Kontribusi rugi-rugi yang dihasilkan oleh penghantar pada Variasi THD.

Tabel 8 : kontribusi rugi yang dihasilkan oleh penghantar

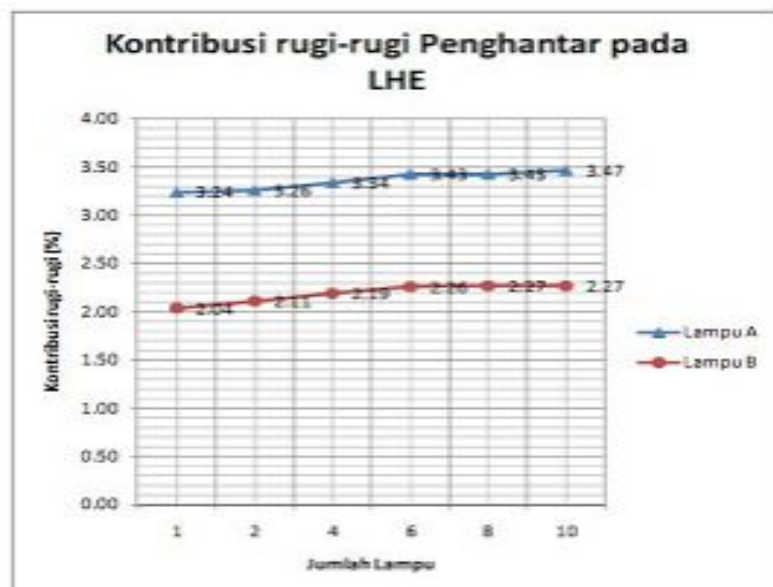
NO	THD_F (%)	Prms ( Watt )	Ph ( Watt )	Kontribusi Rugi - Rugi (%)
1	1.82	15.57	0.01	0.03%
2	4.25	14.79	0.03	0.17%
3	7.05	15.43	0.08	0.49%
4	11.23	15.31	0.19	1.23%
5	17.34	15.19	1.02	6.71%
6	27.10	15.72	1.63	10.35%
7	37.03	15.12	1.85	12.25%
8	43.57	16.17	3.04	18.80%
9	58.42	15.69	3.07	19.55%
10	66.72	15.73	3.91	24.88%
11	77.56	15.37	4.99	32.47%

Sesuai dengan metode pengujian pada untuk THD 58.42% 66.72% dan 77.56% adalah pemakai dengan beban lampu hemat energi yang mendominasi akibatnya persentase rugi-rugi yang dihasilkan besar. Untuk THD 27.10% , 37,03% dan 43.57% memvariasikan lampu hemat energi dan lampu sorot serta lampu pijar terlihat seperti pada grafik diatas persentase kontribusi rugi-rugi akibat arus harmonisa mulai menurun dan sedangkan untuk THD 1.82% sampai dengan THD 17.34% sudah memakai lampu hemat energi dan dikombinasikan dengan lampu pijar sebagai kombinasi beban dan terlihat pada grafik diatas bahwa kontribusi rugi-rugi akibat arus harmonisa minimum dan perbandingan untuk lampu yang berbeda diketahui bahwa Lampu tipe A

menghasilkan rugi-rugi pada penghantar lebih tinggi dibanding dari Lampu tipe B , dapat juga dilihat dari spektrum harmonisa dari kedua lampu tersebut dimana pada lampu tipe A arus orde ke-3 mencapai 76% dari arus fundamental sedangkan dalam kondisi yang sama pada lampu tipe B arus orde ke-3 hanya mencapai 60% dari arus fundamental atau dengan kata lain arus yang terdistorsi pada lampu tipe A besar dibanding lampu tipe B yaitu mencapai  $\pm 20\%$  . Mengacu padapersamaan 2-3 bahwa nilai THD merupakan peerbandingan antara jumlah semua arus harmonisa terhadap arus fundamental semakin tinggi arus yang terdistorsi sedangkan arus fundamentalnya konstan maka semakin besar THD nya dan ini akan berdampak pada rugi-rugi penghantar.



Gambar 5 : Kontribusi rugi-rugi penghantar pada Variasi THD



Gambar 6 : Kontribusi rugi-rugi penghantar pada LHE yang berbeda

#### IV. SIMPULAN

Dari pembahasan dan analisis yang telah dilakukan dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut :

1. Frekuensi harmonik menyebabkan peningkatan tahanan pada penghantar/kabel akibat efek kulit (KSE) dan efek kedekatan (KPE) dan bernilai sama untuk semua THD.
2. Kontribusi masing-masing orde harmonik terhadap rugi-rugi kabel/penghantar sangat dipengaruhi oleh tahanan arus harmonik (IAC) akibat pengaruh efek kulit dan efek kedekatan untuk beban lampu hemat energi dimana

kontribusi rugi-rugi terbesar terjadi pada orde harmonik ke-3 dan ke-5.

3. Untuk variasi nilai THD-F bahwa semakin besar beban harmonik yang disupply oleh penghantar maka semakin besar pula rugi-rugi yang dihasilkan oleh penghantar tersebut dimana peningkatan Kse dan Kpe sebanding dengan frekuensi harmonik (semakin tinggi nilai frekuensi harmonik semakin tinggi nilai KSE dan KPE).
4. Rugi-rugi penghantar tidaklah sama untuk semua jenis lampu hemat energi, dimana rugi-rugi penghantar pada Lampu A lebih tinggi  $\pm 1.5$  kali dari lampu B.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Setiabudy, Rudy, "Material Teknik Listrik" Februari 2007, Depok UI Press, Indonesia.
- [2] Fuchs, Ewald F., dan Masoum, Mohammad A.S., "Power Quality in Power Systems and Electrical Machines". March 2008, Perth, Australia.
- [3] "Industrial cable wire". Di akses dari [http://www.kabelindo.co.id/industrial\\_cable\\_wire/NYM.html](http://www.kabelindo.co.id/industrial_cable_wire/NYM.html) pada tanggal 10 september 2010
- [4] Thomas Key "Cost and Benefits of Harmonic Current Reduction for Switch Mode Power Supplies in a Commercial Office Building" March 2004.