

**STUDI ANALISIS PENGARUH HARMONISA BEBAN NONLINIER
RUMAH TANGGA TERHADAP HASIL PENUNJUKAN
kWh METER DIGITAL 1 FASA**

PUBLIKASI JURNAL ILMIAH

JURUSAN TEKNIK ELEKTRO



Disusun oleh:

ARFINNA CAHYANI

NIM. 0910633032-63

**KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
MALANG
2014**

LEMBAR PERSETUJUAN

**STUDI ANALISIS PENGARUH HARMONISA BEBAN NONLINIER
RUMAH TANGGA TERHADAP HASIL PENUNJUKAN
kWh METER DIGITAL 1 FASA**

PUBLIKASI JURNAL ILMIAH

JURUSAN TEKNIK ELEKTRO



Disusun oleh:

**ARFINNA CAHYANI
NIM. 0910633032-63**

Telah diperiksa dan disetujui oleh:

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

**Ir. Soeprpto, M.T
NIP. 19561020 198903 1 001**

**Ir. Soemarwanto, M.T
NIP. 19500715 198003 1 002**

Studi Analisis Pengaruh Harmonisa Beban Nonlinier Rumah Tangga Terhadap Hasil Penunjukan kWh Meter Digital 1 Fasa

Arfinna Cahyani¹, Ir. Soeprapto, M.T.², Ir. Soemarwanto, M.T.³

¹Mahasiswa Teknik Elektro, ^{2,3}Dosen Teknik Elektro, Universitas Brawijaya
Jalan MT. Haryono 167, Malang 65145, Indonesia

E-mail: vinaaa.ac@gmail.com

Abstrak—Semakin banyaknya penggunaan peralatan listrik yang bersifat nonlinier menyebabkan semakin banyak harmonisa pada jaringan. Komponen harmonisa yang ditimbulkan berasal dari beban nonlinier tidak terkecuali pada beban-beban rumah tangga. Pada penelitian ini dianalisis seberapa besar pengaruh harmonisa beban nonlinier rumah tangga terhadap hasil penunjukan alat ukur kWh meter digital. Dari hasil pengujian dan analisis perhitungan terbukti bahwa besar prosentase kesalahan hasil penunjukan alat ukur kWh digital terjadi akibat adanya komponen harmonisa yang ditimbulkan. Penjumlahan daya fundamental dan komponen harmonisa membuat pengukuran daya yang terukur menjadi tidak sesuai dengan hasil penunjukan alat ukur kWh Meter Digital. Penjumlahan kedua komponen daya ini juga menunjukkan daya yang benar-benar terpakai sehingga dapat diketahui kerugian oleh adanya harmonisa akibat beban-beban rumah tangga yang bersifat nonlinier.

Kata Kunci— Beban Nonlinier, Harmonisa, THD (*Total Harmonic Distortion*), kWh meter digital.

I. PENDAHULUAN

Di zaman modern ini, alat-alat rumah tangga telah banyak menggunakan rangkaian komponen elektronika daya, seperti televisi dengan monitor LED, komputer/laptop, kipas angin, *air conditioner*(AC), printer, lampu hemat energi dan peralatan listrik lainnya. Peralatan tersebut merupakan beban nonlinier yang dapat menyebabkan munculnya arus / tegangan dengan besar frekuensinya melebihi besarnya frekuensi fundamental atau kelipatannya yang disebut frekuensi harmonik atau harmonisa. Harmonisa yang muncul akibat adanya beban-beban nonlinier tersebut terhubung ke sistem distribusi dan memberikan dampak atau pengaruh yang tidak baik pada sistem ketenagalistrikan tidak terkecuali pada alat ukur pemakaian energi listrik yaitu kWh meter digital.

Prinsip kerja kWh meter digital secara umum yaitu mengkonversi sinyal analog tegangan dan arus yang terukur menjadi sinyal digital atau diskrit dengan mengambil nilai-nilai sampel (*menyampling*) dari sinyal analog tegangan dan arus secara periodik setiap periode *sampling*, sehingga konsumsi energi listrik dapat diketahui dari perhitungan proses perkalian arus dan tegangan setiap selang waktu (*sampling time*) tertentu. Dengan prinsip kerja kWh meter digital yang diketahui tersebut dan makin banyaknya peralatan rumah tangga yang merupakan beban nonlinier, maka pada skripsi ini akan diteliti pengaruh

hasil penunjukan kWh meter digital terhadap beban-beban yang nonlinier.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Daya dan Energi Listrik

Dalam rangkaian listrik, daya dan energi merupakan suatu besaran yang penting. Daya listrik pada suatu elemen adalah hasil kali dari tegangan dan arus yang mengalir pada elemen tersebut. Daya rata-rata P yang diberikan pada rangkaian adalah: [1]

$$P = V \times I \times \cos \phi \quad (1)$$

Umumnya simbol W sebagai tenaga keseluruhan juga didefinisikan sebagai energi listrik dengan simbol E yang dapat dirumuskan sebagai berikut: [2]

$$E = V \times I \times \cos \phi \times t \quad (2)$$

B. Alat Ukur kWh Meter Digital

kWh meter digital merupakan suatu alat pengukuran yang memiliki fungsi utama sama seperti kWh meter analog, yakni mengukur jumlah pemakaian energi atau jumlah pemakaian daya dalam satuan waktu. Jika pada kWh meter analog bekerja berdasarkan induksi, kWh meter digital bekerja berdasarkan program yang dirancang pada mikroprosesor yang terdapat di dalam piranti kWh meter digital tersebut. Pada prinsipnya, sebuah kWh meter digital akan mengkonversi sinyal analog tegangan dan arus yang terukur menjadi sinyal digital atau diskrit dengan mengambil nilai-nilai sampel (*menyampling*) dari sinyal analog tegangan dan arus secara periodik setiap periode *sampling* T_s . [3]
 $v(t) = v_m \sin(\omega t)$ dan $i(t) = i_m \sin(\omega t + \phi)$
 $v(k) = v(k \times T_s)$ dan $i(k) = I(k \times T_s)$
dimana : $k = 0, 1, 2, \dots$ (bilangan bulat) dan
 $T_s =$ periode *sampling*

C. Jenis Beban Listrik

Didalam sistem tenaga listrik dikenal 2 (dua) jenis beban listrik yaitu: Beban listrik linier dan Beban listrik nonlinier. [4]

a. Beban Listrik Linier

Beban Listrik Linier adalah beban yang tidak mempengaruhi karakteristik dari tegangan dan arus. Beban linier merupakan beban yang mengeluarkan bentuk gelombang yang berbentuk linier, dimana arus yang mengalir sebanding dengan tahanan dan perubahan tegangan sehingga bentuk gelombang arus akan mengikuti bentuk gelombang tegangan yang ditimbulkannya.

Contoh-contoh beban listrik linier yaitu, elemen pemanas, pemanasan resistif, lampu-lampu Pijar,

motor-motor induksi dengan putaran konstan, motor-motor sinkron, dan lain-lain.[4]

b. Beban Listrik Nonlinier

Beban nonlinier adalah beban yang mempengaruhi karakteristik dari tegangan dan arus, sehingga bentuk gelombangnya berubah atau bentuk gelombang arus berbeda dengan bentuk gelombang tegangan yang ditimbulkannya. Beban nonlinier inilah yang menimbulkan/menghasilkan harmonisa.

Contoh-contoh beban listrik nonlinier yaitu *static power converter, electronic ballast, arc furnace, Air Conditioner (AC)*, komputer, printer, semikonduktor *switching*, variabel frekuensi, dan lain-lain.

Beban nonlinier terbagi atas 2 (dua) beban:

1. Beban nonlinier yang di industri

- Konverter Daya Tiga fasa
- DC-Drive
- AC-Drive

2. Beban non linier Umum/Komersil

- *Electronic ballast*
- Lampu hemat energi (LHE)
- Komputer
- Alat-alat elektronik
- Alat-alat ukur
- *Air Conditioner (AC)*
- Penerangan gedung pada umumnya

Zaman modern ditandai oleh beban-beban non linier. Beban ini dapat membuat distorsi yang signifikan dari total beban fasilitas yang dapat menimbulkan arus harmonisa ke dalam sistem daya dan menyebabkan distorsi harmonisa pada tegangan. Masalah harmonisa ini dipengaruhi oleh kenyataan bahwa beban non linier ini memiliki faktor daya relatif rendah.[4]

D. Analisis Fourier untuk Bentuk Gelombang

Setiap bentuk gelombang periodik, yaitu yang memiliki bentuk $f(t)=f(t+T)$ dapat dinyatakan oleh sebuah deret Fourier bila memenuhi persyaratan *Dirichlet* :

1. Bila gelombang diskontinyu, hanya terdapat jumlah diskontinuitas yang terbatas dalam periode T
2. Gelombang memiliki nilai rata-rata yang terbatas dalam periode T
3. Gelombang memiliki jumlah maksimum dan minimum yang terbatas dalam periode T

Bila syarat-syarat tersebut dipenuhi, deret Fourier dapat dinyatakan dalam bentuk:[5]

$$f(t) = a_0 + \sum_{n=1}^{\infty} (a_n \cos n\omega t + b_n \sin n\omega t) \quad (3)$$

Dengan:

$$a_0 = \frac{1}{T} \int_0^T f(t) dt \quad (4)$$

$$a_n = \frac{2}{T} \int_0^T f(t) \cos h\omega t dt \quad (5)$$

$$b_n = \frac{2}{T} \int_0^T f(t) \sin h\omega t dt \quad (6)$$

Dimana h adalah orde harmonisa, yaitu bilangan 1,2,3,.. dan seterusnya.

Perhitungan koefisien dari tiap harmonisa dilakukan berdasarkan langkah-langkah prosedur pendekatan numerik berikut ini:[6]

1. Untuk menghitung pendekatan suatu integrasi secara numerik, interval antara batas-batas integrasi dibagi menjadi k bagian yang sama. Bila $f_1, f_2, f_3, \dots, f_k$ menyatakan ordinat $f(t)$ pada batas-batas bagian interval tersebut, sedangkan a dan b menunjukkan batas-batas integrasi maka

$$\int_a^b f(t) dt = \frac{b-a}{k} (f_1 + f_2 + f_3 + \dots + f_k) \quad (7)$$

2. Relasi untuk memperoleh koefisien tiap harmonisa sebagai berikut:

$$a_0 = \frac{2}{k} \sum_{i=1}^k f_i \quad (8)$$

$$a_h = \frac{2}{k} \sum_{i=1}^k f_i \cos(h \frac{i2\pi}{k}) \quad (9)$$

$$b_h = \frac{2}{k} \sum_{i=1}^k f_i \sin(h \frac{i2\pi}{k}) \quad (10)$$

3. Formula untuk sudut fasa adalah:[7]

$$\phi_h = \tan^{-1} \left(\frac{b_h}{a_h} \right) \quad (11)$$

4. Amplitudo dari setiap komponen harmonisa:

$$A = \sqrt{a_h^2 + b_h^2} \quad (12)$$

sehingga persamaannya

$$f(t) = a_0 + \sum_{h=1}^{\infty} [\sqrt{a_h^2 + b_h^2} \cos(h \omega_0 t - \phi_h)] \quad (13)$$

E. Harmonisa Arus dan Tegangan

Tingkat kecacatan seringkali dinyatakan dengan *Total Harmonic Distortion (THD)*, *Total Harmonic Distortion* digunakan sebagai ukuran untuk melihat berapa besar pengaruh keseluruhan adanya harmonisa terhadap sinyal sinus. Pengaruh keseluruhan harmonisa diperbandingkan terhadap komponen fundamental, karena komponen fundamental yang memberikan transfer energi nyata. Untuk tegangan nonsinus, THD didefinisikan sebagai berikut:[8]

$$THD_V = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^N V_h^2}}{V_1} \quad (14)$$

Untuk arus nonsinus, THD didefinisikan sebagai

$$THD_I = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^N I_h^2}}{I_1} \quad (15)$$

dengan,

$V_h ; I_h$ = komponen harmonisa.

$V_1 ; I_1$ = komponen fundamental.

N = harmonisa maksimum

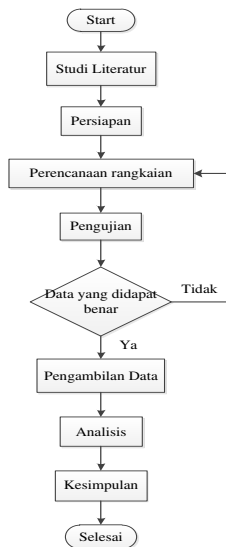
h = orde harmonisa

Karena begitu besar dan bervariasi dampak harmonisa pada peralatan dan sistem secara teknis dan ekonomis maka diperlukan standarisasi harmonisa. Standar yang mengatur distorsi harmonisa ini adalah standar IEEE 512-1992, standar ini mengatur batasan harmonisa yang diijinkan.[9]

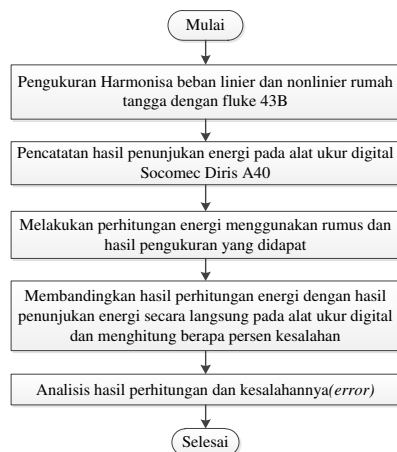
III.METODOLOGI PENELITIAN

Metodologi penelitian yang digunakan secara umum ditunjukkan seperti pada Gambar 1. Pengambilan data dilakukan untuk memperoleh data-data yang diperlukan dalam menyelesaikan penelitian. Data-data yang dikumpulkan berupa data primer dan data

sekunder. Pengambilan data primer adalah dengan melakukan pengujian terhadap penunjukan kWh meter digital yang dihubungkan dengan beban linier dan nonlinier. Langkah-langkah pengambilan data penelitian terlihat pada Gambar 2.



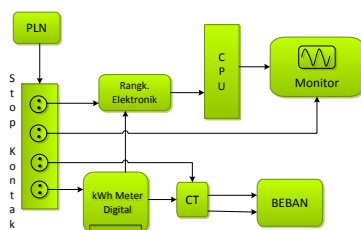
Gambar 1. Diagram Alir Metode Pengerjaan Penelitian



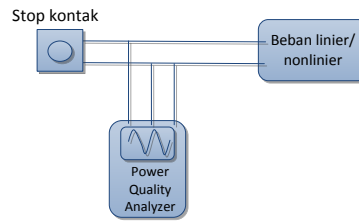
Gambar 2. Diagram Alir Tahap Pengambilan Data

IV. HASIL PENGUJIAN dan ANALISIS

Terdapat dua jenis rangkaian dalam merangkai rangkaian pengujian dalam pengukuran, yaitu pengukuran besaran-besaran listrik dan pengukuran nilai THD arus dan THD tegangan. Gambar rangkaian pengujian seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3 dan Gambar 4.



Gambar 3. Rangkaian pengukuran besaran listrik tiap beban



Gambar 4. Rangkaian Pengukuran THD Arus dan THD Tegangan tiap beban

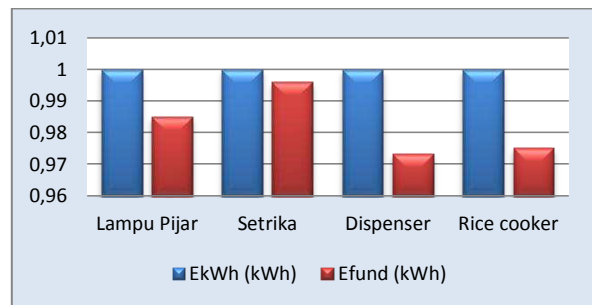
A. Pengujian Beban Linier

Dengan menggunakan rumus 1 maka didapatkan nilai daya fundamental yang data beban-beban linier lainnya ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Perbandingan energi yang terukur dan energi fundamental

Beban Linier	E kWh (kW)	$E_{fundamental}$ (kW)	Efek Pembebanan	Error (%)
Lampu Pijar	1	0,9851	0,0149	1,51
Setrika		0,9960	0,0040	0,4
Dispenser		0,9734	0,0266	2,73
Rice Cooker		0,9752	0,0248	2,54

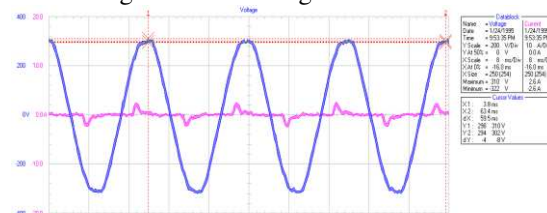
Hasil Penunjukan energi yang terukur lebih besar dari energi fundamentalnya karena tidak dipengaruhi oleh adanya harmonisa, grafik ditunjukkan pada Gambar 5.



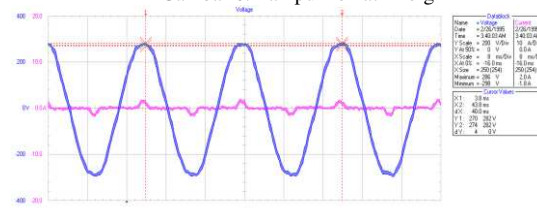
Gambar 5. Perbandingan Hasil Penunjukan Energi Beban Linier

B. Pengujian Beban Nonlinier

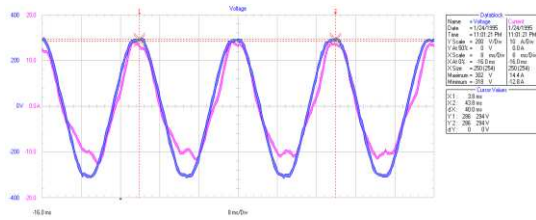
Untuk menganalisis gelombang tegangan dan arus beban nonlinier, hasil tampilan alat ukur *Power Quality Analyzer* Fluke 43 B berupa gelombang yang ditunjukkan pada Gambar 6, 7, 8 akan digambarkan kembali dengan dilakukan segmentasi terlebih dahulu



Gambar 6. Lampu Hemat Energi



Gambar 7. Personal Computer



Gambar 8. Air Conditioner

Dari hasil tampilan gelombang diatas dilakukan penegean masing-masing gelombang dengan lebar segmen adalah 0,3125 ms dalam rentang 1 periode pada frekuensi 50 Hz yaitu sebesar $T_0=20$ ms. Selanjutnya dilakukan perhitungan analisis gelombang dengan prosedur pendekatan numerik. Dari hasil perhitungan didapatkan nilai koefisien tiap harmonisa, komponen harmonisa serta sudut fasa dari masing-masing harmonisa yang ditunjukkan pada Tabel 2 dan 3.

Tabel 2. Hasil Perhitungan Analisis Gelombang Arus

Beban	Order	A _h (ampere)	B _h (ampere)	A (volt)	Φ
Lampu Hemat Energi	1	-0.5201	0.6774	0.6039	-0.916
	2	0.0094	0.0653	0.0466	1.4277
	3	0.5154	0.0767	0.3684	0.1478
	4	-0.0443	-0.0455	0.0449	0.7982
	5	-0.1923	-0.308	0.2567	1.0127
	6	-0.052	0.0535	0.0527	-0.8002
	7	-0.0291	0.2862	0.2034	-1.4694
	8	-0.0578	-0.0073	0.0412	0.1261
Personal Computer	1	0.0192	-0.4314	0.3054	-1.5263
	2	-0.0249	-0.0364	0.0312	0.9715
	3	-0.1800	0.3725	0.2925	-1.1207
	4	0.0493	-0.0300	0.0408	-0.5458
	5	0.2270	-0.2088	0.2181	-0.7437
	6	-0.0456	0.0531	0.0495	-0.8617
	7	-0.2262	0.0624	0.1659	-0.2691
	8	0.0171	-0.0745	0.0540	-1.3453
Air Conditioner (AC)	1	3.0700	-11.885	8.6799	-1.3180
	2	-1.7766	-0.1773	1.2625	0.0994
	3	-0.2869	-0.0789	0.2104	0.2683
	4	0.1577	-0.0291	0.1134	-0.1824
	5	-0.8065	0.0218	0.5705	-0.0270
	6	0.2577	0.0498	0.1856	0.1909
	7	0.1940	0.1986	0.1963	0.7970
	8	-0.1022	0.0718	0.0883	-0.6124

Tabel 3. Hasil Perhitungan Analisis Gelombang Tegangan

Beban	Order	A _h (volt)	B _h (volt)	A (volt)	Φ
Lampu Hemat Energi	1	46.6837	-303.804	217.344	-1.4183
	2	5.1127	13.4294	10.1609	1.207
	3	-2.5827	2.5913	2.587	-0.7871
	4	-2.7816	3.586	3.2091	-0.9111
	5	-2.8954	9.0352	6.7089	-1.2607
	6	-0.7224	3.2886	2.3808	-1.3546
	7	2.3769	2.0499	2.2194	0.7117
	8	-1.6831	1.9326	1.8121	-0.8543
Personal Computer	1	50.7110	-280.587	201.619	-1.3920
	2	4.8547	11.5792	8.8783	1.1738
	3	-1.3695	3.8797	2.9092	-1.2315
	4	-2.4652	4.1520	3.4144	-1.0350
	5	-2.1149	9.5483	6.9153	-1.3528

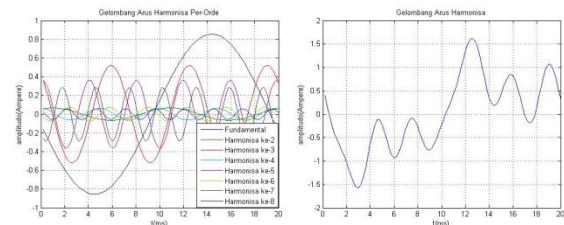
Air Conditioner (AC)	6	-0.7201	3.0186	2.1944	-1.3366
	7	2.1542	3.6995	3.0271	1.0435
	8	-1.4401	2.7286	2.1816	-1.0852
	1	47.9217	-297.988	213.417	-1.4113
	2	7.1217	12.5015	10.1736	1.0530
	3	-1.9276	4.0508	3.1721	-1.1267
	4	-3.4690	3.5813	3.5256	-0.8013
	5	-3.8468	7.4672	5.9396	-1.0951
6	-0.3036	1.8959	1.3577	-1.4120	
7	1.2769	0.8064	1.0679	0.5633	
8	-1.0262	1.9535	1.5603	-1.0871	

Dari Tabel 4.1 dan 4.2, bentuk gelombang diuraikan menjadi jumlah dari beberapa komponen fundamental dan harmonisa orde ganjil dengan amplitudo, sudut fasa dan frekuensi yang berlainan dalam kawasan waktu. Komponen fundamental dan harmonisa pembentuk gelombang didapatkan dengan cara menghitung koefisien fundamental dan koefisien tiap harmonisa serta sudut fasa dari masing-masing gelombang sehingga diperoleh persamaan dari bentuk gelombang tersebut.

1. Analisis Gelombang Harmonisa Arus

Gelombang Harmonisa Arus Beban Lampu Hemat Energi :

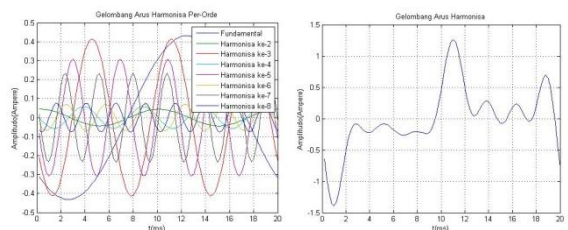
$$i(t) = 0.6039 \cos(\omega_0 t + 0.916) + 0.0466 \cos(2\omega_0 t - 1.4277) + 0.3684 \cos(3\omega_0 t - 0.1478) + 0.0449 \cos(4\omega_0 t - 0.7982) + 0.2567 \cos(5\omega_0 t - 1.0127) + 0.0527 \cos(6\omega_0 t + 0.8002) + 0.2034 \cos(7\omega_0 t + 1.4694) + 0.0412 \cos(8\omega_0 t - 0.1261) + 0.6039 \sin(\omega_0 t + 0.916) + 0.0466 \sin(2\omega_0 t - 1.4277) + 0.3684 \sin(3\omega_0 t - 0.1478) + 0.0449 \sin(4\omega_0 t - 0.7982) + 0.2567 \sin(5\omega_0 t - 1.0127) + 0.0527 \sin(6\omega_0 t + 0.8002) + 0.2034 \sin(7\omega_0 t + 1.4694) + 0.0412 \sin(8\omega_0 t - 0.1261)$$



Gambar 9. Gelombang harmonisa arus per-orde dan Gelombang Fundamental yang Terdistorsi

Gelombang Harmonisa Arus Beban Personal Computer :

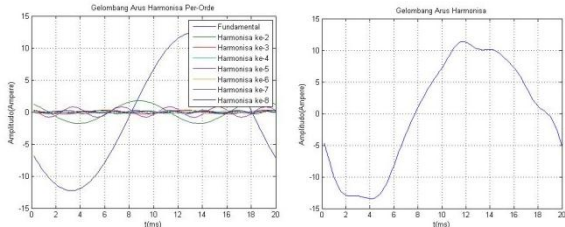
$$i(t) = 0.3054 \cos(\omega_0 t + 1.5263) + 0.0312 \cos(2\omega_0 t - 0.9715) + 0.2925 \cos(3\omega_0 t + 1.1207) + 0.0408 \cos(4\omega_0 t + 0.5458) + 0.2181 \cos(5\omega_0 t + 0.7437) + 0.0495 \cos(6\omega_0 t + 0.8617) + 0.1659 \cos(7\omega_0 t + 0.2691) + 0.0540 \cos(8\omega_0 t + 1.3453) + 0.3054 \sin(\omega_0 t + 1.5263) + 0.0312 \sin(2\omega_0 t - 0.9715) + 0.2925 \sin(3\omega_0 t + 1.1207) + 0.0408 \sin(4\omega_0 t + 0.5458) + 0.2181 \sin(5\omega_0 t + 0.7437) + 0.0495 \sin(6\omega_0 t + 0.8617) + 0.1659 \sin(7\omega_0 t + 0.2691) + 0.0540 \sin(8\omega_0 t + 1.3453)$$



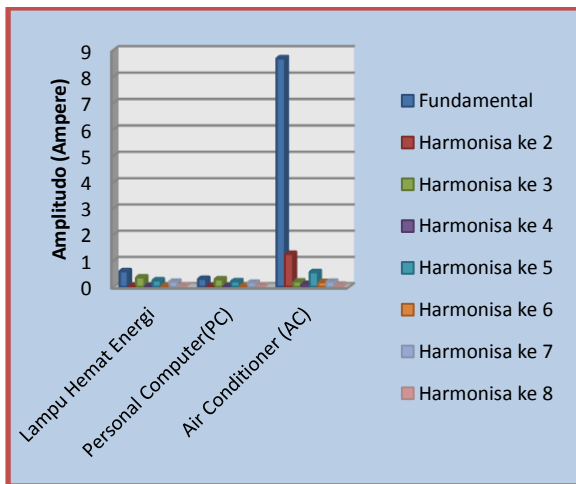
Gambar 10. Gelombang harmonisa arus per-orde dan Gelombang Fundamental yang Terdistorsi

Gelombang Harmonisa Arus Beban Air Conditioner (AC) :

$$i(t) = 8.6799 \cos(1\omega_0t + 1.3180) + 1.2625 \cos(2\omega_0t - 0.0994) + 0.2104 \cos(3\omega_0t - 0.2683) + 0.1134 \cos(4\omega_0t + 0.1824) + 0.5705 \cos(5\omega_0t + 0.0270) + 0.1856 \cos(6\omega_0t - 0.1909) + 0.1963 \cos(7\omega_0t - 0.7970) + 0.0883 \cos(8\omega_0t + 0.6124) + 8.6799 \cos(1\omega_0t + 1.3180) + 1.2625 \cos(2\omega_0t - 0.0994) + 0.2104 \cos(3\omega_0t - 0.2683) + 0.1134 \cos(4\omega_0t + 0.1824) + 0.5705 \cos(5\omega_0t + 0.0270) + 0.1856 \cos(6\omega_0t - 0.1909) + 0.1963 \cos(7\omega_0t - 0.7970) + 0.0883 \cos(8\omega_0t + 0.6124)$$



Gambar 11. Gelombang harmonisa arus per-orde dan Gelombang Fundamental yang Terdistorsi



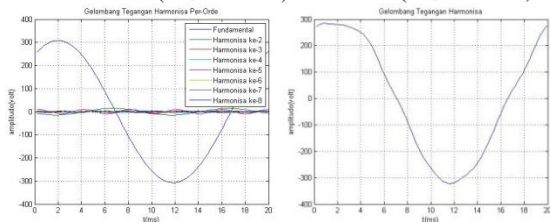
Gambar 12. Grafik Perbandingan Harmonisa Arus

Hasil perbandingan besar amplitude harmonisa arus orde yang ditunjukkan pada Gambar 12 dan pengujian yang telah dilakukan membuktikan bahwa beban nonlinier rumah tangga memberikan kontribusi harmonisa arus yang cukup besar.

2. Analisis Gelombang Harmonisa Tegangan

Gelombang Harmonisa Tegangan Beban Lampu Hemat Energi:

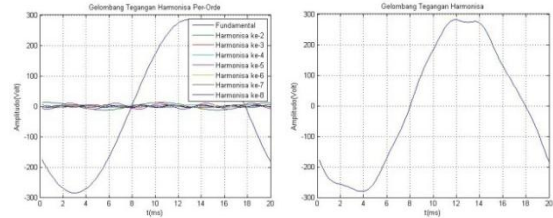
$$v(t) = 217.344 \cos(1\omega_0t + 1.4183) + 10.1609 \cos(2\omega_0t - 1.207) + 2.587 \cos(3\omega_0t + 0.7871) + 3.2091 \cos(4\omega_0t + 0.9111) + 6.7089 \cos(5\omega_0t + 1.2607) + 2.3808 \cos(6\omega_0t + 1.3546) + 2.2194 \cos(7\omega_0t - 0.7117) + 1.8121 \cos(8\omega_0t + 0.8543) + 217.344 \sin(1\omega_0t + 1.4183) + 10.1609 \sin(2\omega_0t - 1.207) + 2.587 \sin(3\omega_0t + 0.7871) + 3.2091 \sin(4\omega_0t + 0.9111) + 6.7089 \sin(5\omega_0t + 1.2607) + 2.3808 \sin(6\omega_0t + 1.3546) + 2.2194 \sin(7\omega_0t - 0.7117) + 1.8121 \sin(8\omega_0t + 0.8543)$$



Gambar 13. Gelombang harmonisa tegangan per-orde dan Gelombang Fundamental yang Terdistorsi

Gelombang Harmonisa Tegangan Beban Personal Computer :

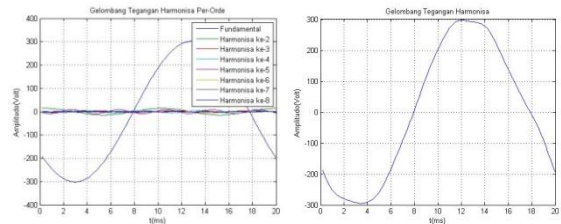
$$v(t) = 201.6193 \cos(1\omega_0t + 1.3920) + 8.8783 \cos(2\omega_0t - 1.1738) + 2.9092 \cos(3\omega_0t + 1.2315) + 3.4144 \cos(4\omega_0t + 1.0350) + 6.9153 \cos(5\omega_0t + 1.3528) + 2.1944 \cos(6\omega_0t + 1.3366) + 3.0271 \cos(7\omega_0t - 1.0435) + 2.1816 \cos(8\omega_0t + 1.0852) + 201.6193 \sin(1\omega_0t + 1.3920) + 8.8783 \sin(2\omega_0t - 1.1738) + 2.9092 \sin(3\omega_0t + 1.2315) + 3.4144 \sin(4\omega_0t + 1.0350) + 6.9153 \sin(5\omega_0t + 1.3528) + 2.1944 \sin(6\omega_0t + 1.3366) + 3.0271 \sin(7\omega_0t - 1.0435) + 2.1816 \sin(8\omega_0t + 1.0852)$$



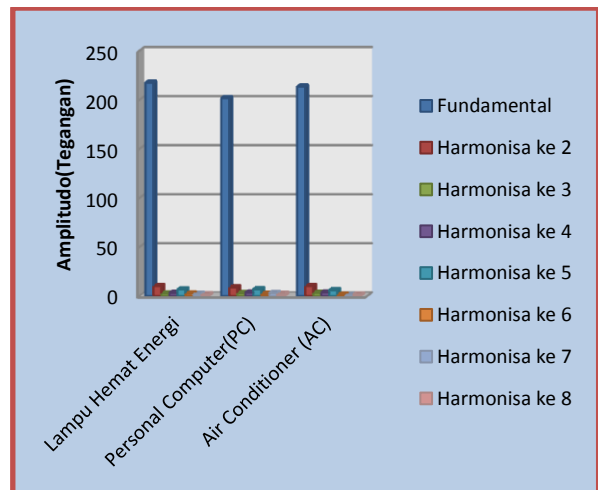
Gambar 14. Gelombang harmonisa tegangan per-orde dan Gelombang Fundamental yang Terdistorsi

Gelombang Harmonisa Tegangan Beban Air Conditioner (AC):

$$v(t) = 213.4169 \cos(1\omega_0t + 1.4113) + 10.1736 \cos(2\omega_0t - 1.0530) + 3.1721 \cos(3\omega_0t + 1.1267) + 3.5256 \cos(4\omega_0t - 0.8013) + 5.9396 \cos(5\omega_0t + 1.0951) + 1.3577 \cos(6\omega_0t + 1.4120) + 1.0679 \cos(7\omega_0t - 0.5633) + 1.5603 \cos(8\omega_0t + 1.0871) + 213.4169 \sin(1\omega_0t + 1.4113) + 10.1736 \sin(2\omega_0t - 1.0530) + 3.1721 \sin(3\omega_0t + 1.1267) + 3.5256 \sin(4\omega_0t - 0.8013) + 5.9396 \sin(5\omega_0t + 1.0951) + 1.3577 \sin(6\omega_0t + 1.4120) + 1.0679 \sin(7\omega_0t - 0.5633) + 1.5603 \sin(8\omega_0t + 1.0871)$$



Gambar 15. Gelombang harmonisa tegangan per-orde dan Gelombang Fundamental yang Terdistorsi



Gambar 16. Grafik Perbandingan Harmonisa Tegangan

Hasil perbandingan besar amplitude harmonisa tegangan orde yang ditunjukkan pada Gambar 16 dan pengujian yang telah dilakukan membuktikan bahwa beban nonlinier rumah tangga memberikan kontribusi harmonisa tegangan yang kecil. Terbukti pada nilai THD arus yang lebih besar dari THD tegangannya.

3. Analisis Pengaruh Harmonisa terhadap error Hasil Penunjukan alat ukur kWh Meter Digital

Berdasarkan rumus 14 dan 15, perhitungan nilai arus dan tegangan harmonisa total untuk beban lampu hemat energi adalah:

$$\begin{aligned}
 THD_V &= \frac{\left[\sum_{h=2}^N V_h^2\right]^{\frac{1}{2}}}{V_1} \times 100\% \\
 2,5\% &= \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^N V_h^2}}{V_1} \times 100\% \\
 \sqrt{\sum_{h=2}^N V_h^2} &= \frac{2,5\%}{100\%} \times 223,2 \text{ V} \\
 \sum_{h=2}^N V_h^2 &= \left[\frac{2,5\%}{100\%} \times 223,2\right]^2 \\
 \sum_{h=2}^N V_h^2 &= [5,58]^2 \\
 \sum_{h=2}^N V_h^2 &= 31,1364 \text{ V} \\
 THD_I &= \frac{\left[\sum_{h=2}^N I_h^2\right]^{\frac{1}{2}}}{I_1} \times 100\% \\
 68,4\% &= \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^N I_h^2}}{I_1} \times 100\% \\
 \sqrt{\sum_{h=2}^N I_h^2} &= \frac{68,4\%}{100\%} \times 0,6 \text{ A} \\
 \sum_{h=2}^N I_h^2 &= \left[\frac{68,4\%}{100\%} \times 0,6\right]^2 \\
 \sum_{h=2}^N I_h^2 &= [0,4104]^2 \\
 \sum_{h=2}^N I_h^2 &= 0,1684 \text{ A}
 \end{aligned}$$

Kenaikan nilai tegangan dan arus harmonisa tiap-tiap beban nonlinier ditunjukkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Kenaikan Tegangan dan Arus Harmonisa Berdasarkan Perhitungan

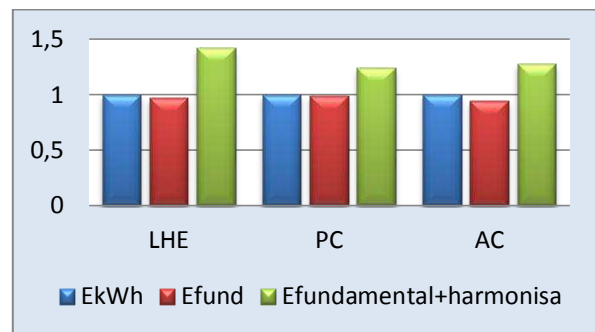
Beban Nonlinier	Tegangan Harmonisa	Arus Harmonisa
LHE	31,1364 V	0,1684 A
Personal Computer	29,4979 V	0,0263 A
Air Conditioner (AC)	18,7835 V	2,1917 A

Tabel 5. Perbandingan energi yang terukur, energi fundamental dan saat terdapat harmonisa

Beban Nonlinier	E _{kWh} (kW)	E _{fundamental} (kW)	E _{fundamental+harmonisa} (kW)
LHE	1	0,9715	1,4173
Personal Computer		0,9867	1,2395
AC		0,9397	1,2766

Dari Tabel 5 terlihat adanya perbedaan hasil penunjukan energi yang terukur pada kWh meter digital, energi fundamental saja dengan energi fundamental dan harmonisa, dimana dari hasil perhitungan energi fundamental dan harmonisa lebih besar dari pada perhitungan energi fundamental. Berbeda dengan perbandingan hasil penunjukan energi

pada beban linier yang tidak dipengaruhi oleh adanya harmonisa sehingga hasil penunjukan energi beban nonlinier yang terukur pada kWh meter digital lebih kecil dari energi setelah adanya harmonisa.



Gambar 17. Perbandingan Hasil Penunjukan Energi yang terukur untuk Beban Nonlinier

Pada Gambar 17 menunjukkan bahwa tiap beban nonlinier memiliki error kesalahan hasil penunjukan yang cukup besar karena adanya pengaruh komponen harmonisa yang ditimbulkan.

V. KESIMPULAN

Dari hasil analisis dan pengujian di laboratorium Dasar Elektrik dan Pengukuran, dapat ditarik kesimpulan bahwa nilai THD arus nonlinier rumah tangga sangat besar dibandingkan THD arus beban linier. THD arus yang muncul pada beban linier diakibatkan karena adanya faktor eksternal, sehingga nilai THD yang muncul dapat diabaikan. Selain itu, besar prosentase kesalahan hasil penunjukan alat ukur kWh digital terjadi akibat adanya komponen harmonisa yang ditimbulkan. Penjumlahan daya fundamental dan komponen harmonisa membuat pengukuran daya yang terukur selama kurun waktu(t) menjadi tidak sesuai dengan hasil penunjukan energi alat ukur kWh Meter Digital 1 Fasa.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Mismail, Budiono. 1995. *Rangkaian Listrik Jilid Pertama*. Bandung: ITB.
- [2] Zuhail. 1992. *Dasar Teknik Tenaga Listrik dan Elektronika Daya*. Jakarta: Gramedia.
- [3] Muchlis, Imamul & Santoso, Adi. *Watt-hour Meter Digital*. PUSLITBANG KIM-LIPI
- [4] Dugan, Roger C & Mc Granaghan, Mark F. 2003. *Electrical Power Systems Quality*. McGraw-Hill: Digital Engineering Library. [www.digitalengineeringlibrary.com]
- [5] Mismail, Budiono. 1997. *Rangkaian Listrik Jilid Kedua*. Bandung: ITB.
- [6] Margunadi, A R. 1994. *Dasar-dasar Rangkaian Listrik*. Jakarta: Erlangga.
- [7] Sudirham, Sudaryatno. 2010. *Analisis Rangkaian Listrik Jilid 3*. Bandung: ITB.
- [8] Arrillaga, Jos & Naveille, R Watson. 2004. *Power System Harmonics*, second edition, John Wiley & Sons, Ltd.
- [9] IEEE Std 519-1992. *Recommendee Practice And Requirement For Harmonic Control In Electric Power System*.

