

ANALISIS PENGARUH DISTORSI HARMONISA TERHADAP DEVIASI PENGUKURAN ENERGI LISTRIK PADA KWH METER

Erwin Dermawan¹, Rado Luthfir Rahman²

^{1,2,3} Jurusan Teknik Elektro, Universitas Muhammadiyah Jakarta, Jakarta 10510

E-mail : erwin.dermawan@yahoo.com, radoluthfirrahman@gmail.com

Abstract - Transaksi energi listrik dengan menggunakan kWh meter mempunyai tingkat akurasi yang baik agar tidak ada pihak yang dirugikan akibat kesalahan dalam proses pengukuran. Di sisi lain, semakin banyaknya penggunaan beban non linier oleh konsumen dapat menimbulkan salah satu masalah kualitas daya berupa harmonisa yang dapat mempengaruhi tingkat akurasi hasil pengukuran energi listrik yang terpakai. Penelitian ini dilakukan untuk melihat pengaruh harmonisa terhadap penyimpangan pengukuran energi listrik pada kWh meter analog dan digital. Hasil pengujian menunjukkan semakin banyak beban non linier yang digunakan maka semakin besar nilai %THD, dan semakin besar %THD (%THD-i > 100%) maka penyimpangan akan semakin besar dengan % kesalahan mencapai > -50% dan pengukuran pada kedua jenis kWh meter menjadi tidak akurat.

Kata kunci : Pengukuran Energi Listrik, Harmonisa, kWh Meter Analog & Digital

1 PENDAHULUAN

Pada saat ini semakin berkembangnya alat – alat kelistrikan yang membuat banyak pula peralatan listrik yang termasuk dalam jenis beban – beban non linier. Beban non linier banyak digunakan karena praktis dan memudahkan dalam kegiatan sehari – hari. Di sisi lain, beban non linier pada umumnya berasal dari bahan – bahan semikonduktor dan elemen elektronika daya yang dapat menimbulkan harmonisa pada sistem tenaga listrik.

Harmonisa merupakan suatu fenomena yang terjadi akibat beban listrik non linier. Penyebab utama terjadi gangguan harmonisa akibat banyaknya pemakaian peralatan yang merupakan beban – beban non linier, seperti televisi, komputer, dan lain sebagainya. Dibangkitkan oleh banyaknya pemakaian peralatan elektronika dalam sistem tenaga listrik antara lain inverter dan konverter yang termasuk beban – beban nonlinier. Tingkat harmonisa yang melewati standar dapat menyebabkan terjadinya peningkatan panas pada peralatan. Bahkan pada kondisi terburuk dapat terjadi gangguan bahkan kerusakan permanen pada peralatan elektronik yang sensitif termasuk komputer. Selain itu dapat menyebabkan berkurangnya umur peralatan.

KWh meter merupakan suatu alat yang berfungsi sebagai pengukuran transaksi tenaga listrik juga termasuk peralatan listrik yang tidak terlepas dari pengaruh yang ditimbulkan oleh adanya harmonisa. Pada dasarnya alat ini didesain untuk mengukur dan menghitung daya yang terpakai dengan input berupa arus dan tegangan dengan

bentuk gelombang sinusoidal murni, sehingga dengan masuknya bentuk gelombang yang ideal (sinusoidal murni) maka akan meningkatkan akurasi pengukuran KWh meter tersebut.

Berdasarkan hal tersebut, selanjutnya bahwa kinerja KWh meter sangat bergantung pada gelombang arus dan tegangan yang masuk ke dalamnya. Jika bentuk gelombang input tidak lagi berbentuk sinusoidal murni akan mengakibatkan distorsi harmonisa yang menjadikan kesalahan pengukuran pada alat tersebut.

Dengan demikian skripsi ini dibuat dengan latar belakang keingintahuan penulis mengenai pengaruh harmonisa terhadap kinerja KWh meter analog dan kerugian yang akan terjadi pada sistem tenaga listrik bilamana pada sistem tersebut terdapat fenomena harmonisa.

1.1 Tujuan Penulisan

Tujuan yang ingin dicapai dari penulisan Jurnal ini adalah menganalisa pengaruh dari harmonisa terhadap besarnya selisih pengukuran energi listrik pada KWh meter analog dan digital.

1.2 Batasan Masalah

Dalam penulisan Jurnal ini penulis akan membatasi pokok bahasan masalah mengenai pengaruh distorsi harmonisa pada gelombang arus dan tegangan input pada KWh meter terhadap selisih pengukuran energi listrik yang dilakukan oleh KWh meter tersebut. KWh yang digunakan berupa analog satu fasa yang mempunyai tingkat akurasi kelas 2 dan KWh meter digital.

Selanjutnya analisa yang dilakukan dibatasi hanya pada nilai – nilai parameter yang di anggap penting dalam hal pengukuran dengan menggunakan KWh meter, diantaranya nilai tegangan, arus, faktor daya, daya aktif, daya reaktif, dan daya semu. Di samping itu, akan dibahas mengenai analisis bentuk dan karakteristik gelombang arus serta besarnya pengaruh presentase THD (Total Harmonic Distorsi) terhadap selisih pengukuran energi listrik oleh KWh meter analog dan digital.

2 DASAR TEORI

2.1 Definisi Harmonisa

Sistem tenaga listrik dirancang untuk beroperasi pada frekuensi 50 atau 60 Hz. Akan tetapi pada aplikasinya beberapa beban menyebabkan munculnya arus / tegangan yang frekuensinya merupakan kelipatan 50 / 60 Hz. Beban tersebut dinamakan beban non linier. Sedangkan frekuensi 50 / 60 Hz disebut dengan frekuensi fundamental dan kelipatannya disebut harmonisa.

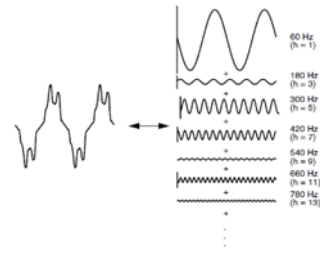
Harmonisa adalah distorsi periodik dari gelombang sinus arus, tegangan, atau daya dengan bentuk gelombang yang frekuensinya merupakan kelipatan diluar bilangan satu terhadap frekuensi fundamental yang mana pada sistem suplai dirancang beroperasi pada 50 Hz / 60 Hz.



Gambar 1. Gambar Gelombang Harmonisa

• **Distorsi Harmonisa**

Distorsi harmonisa adalah setiap perubahan dalam bentuk sinyal yang tidak disengaja dan secara umum keberadaanya tidak diinginkan pada sistem. Harmonisa merupakan salah satu hal yang dapat menyebabkan distorsi pada bentuk gelombang fundamental tegangan dan arus. Fenomena ini timbul akibat pengaruh dari karakteristik beban non linier yang dimodelkan sebagai suatu sumber arus yang menginjeksikan arus harmonisa ke dalam sistem tenaga listrik.



Gambar 2. Penjumlahan Gelombang Harmonisa

• **Persamaan Harmonisa**

Frekuensi dasar suatu sistem tenaga listrik ialah 50 Hz (di Indonesia). Jika terdapat harmonisa ke-2 maka gelombang tersebut mempunyai frekuensi 100 Hz, harmonisa ke-3 mempunyai frekuensi 150 Hz dan seterusnya sehingga menjadi suatu persamaan sebagai berikut :

$$f_h = f_i \times n$$

Dimana :

- f_h = frekuensi harmonisa
- f_i = frekuensi fundamental
- n = bilangan bulat positif

Gelombang harmonisa ini kemudian menumpang pada gelombang murni sehingga menimbulkan cacat gelombang ini merupakan penjumlahan antara gelombang murni sesaat dengan gelombang harmonisanya. Penjumlahan gelombang harmonisa dan gelombang yang terdistorsi ini merupakan gelombang yang bersifat kontinu dan periodik (gelombang tersebut mempunyai periode T bila f(t)=f(t+T) untuk semua t. Jika f(t) periodik, maka karakteristik harmonisa dapat direpresentasikan dengan menggunakan deret Fourier sebagai berikut :

$$f(t) = \frac{a_0}{2} + \sum_{h=1}^{\infty} \{a_h \cdot \cos(h\omega_0 t) + b_h \cdot \sin(h\omega_0 t)\}$$

Keterangan :

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

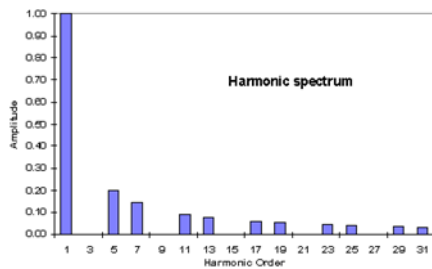
$$a_h = \frac{2}{T} \int_0^T f(t) \cdot \cos(h\omega_0 t) dt$$

$$b_h = \frac{2}{T} \int_0^T f(t) \cdot \sin(h\omega_0 t) dt$$

Selain itu, untuk mengetahui nilai amplitudo dari suatu gelombang harmonisa dapat dicari dengan persamaan :

$$C_h = \sqrt{a_h^2 + b_h^2} \quad \text{Dimana } h \geq 1$$

Untuk nilai C sebagai fungsi h sering kali digambarkan dalam suatu barchart yang disebut dengan “spektrum harmonisa”.



Gambar 3. Spektrum Harmonisa

2.2 Indeks Harmonisa

- THD (Total Harmonic Distortion)

Total Harmonic Distortion (THD) adalah perbandingan antara nilai RMS dari seluruh komponen harmonisa terhadap nilai RMS dari fundamental. THD biasanya dinyatakan dalam bentuk presentase (%THD).

Nilai THD ini akan digunakan untuk mengukur besarnya penyimpangan dari bentuk gelombang periodik yang mengandung harmonisa dari gelombang sinusoidal murninya. Untuk gelombang sinusoidal sempurna nilai THD-nya adalah 0%, sedangkan untuk menghitung THD dari arus dan tegangan yang mengalami distorsi adalah dengan menggunakan persamaan:

$$V_{THD} = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} V_n^2}}{V_1} \times 100\%$$

Dimana :

- Vn = Nilai tegangan harmonisa (V)
- V1 = Nilai tegangan fundamental (V)
- n = komponen harmonisa maksimum yang diamati

$$I_{THD} = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} I_n^2}}{I_1} \times 100\%$$

Dimana :

- In = Nilai arus harmonisa (A)
- I1 = Niali arus fundamental (A)
- n = komponen harmonisa maksimum yang diamati

2.3 Standar Harmonisa

Standar yang membahas mengenai batasan harmonisa antara lain IEEE 519-1992, IEC 61000-2-2, IEC 61000-3-2, IEC 61000-3-4. Standar – standar ini membatasi harmonisa yang diakibatkan dari sisi

beban agar tidak menimbulkan cacat gelombang pada keadaan normal serta untuk membatasi cacay gelombang akibat adanya harmonisa dari sisi utility.

Berdasarkan IEEE 519-1992, bahwa dalam menentukan standar harmonisa terdapat dua kriteria yang digunakan untuk mengevaluasi distorsi harmonisa, yaitu yang pertama adalah batasan haronisa untuk arus (I_{THD}) dan yang kedua adalah batasan untuk harmonisa tegangan (V_{THD}) . Presentase (%) I_{THD} adalah presentase jumlah total arus yang terdistorsi oleh harmonisa terhadap frekuensi fundamentalnya. Besaran untuk harmonisa arus (I_{THD}) ditentukan oleh perbandingan I_{SC} / I_L , dimana I_{SC} merupakan arus hubung singkat yang ada pada PCC (Point of Common Coupling) dan I_L merupakan arus beban fundamental nominal. Berbeda dengan batasan arus, presentase batasan tegangan (V_{THD}) ditentukan dari besarnya tegangan sistem yang terpasang. Tabel berikut memperlihatkan batasan harmonisa arus untuk sistem < 65 kV.

Tabel 1. Batasan Harmonisa Arus untuk Sistem <65 kV

I_{SC}/I_L	Maximum Harmonic Current Distortion (in % of fundamental)					Total Harmonic Distortion (THD %)
	Harmonic Order					
	$h \leq 11$	$11 \leq h < 17$	$17 \leq h < 23$	$23 \leq h < 35$	$35 \leq h$	
	Individual Harmonic Distortion (IHD %)					
< 20	4.0	2.0	1.5	0.6	0.3	5
20 – 50	7.0	3.5	2.5	1.0	0.5	8
50 – 100	10.0	4.5	4.0	1.5	0.7	12
100 – 1000	12.0	5.5	5.0	2.0	1.0	15
> 1000	15.0	7.0	6.0	2.5	1.4	20

Tabel 2. Batasan Harmonisa untuk Tegangan

Maximum Distortion (%)	System Voltage		
	V ≤ 69 kV	69 < V < 138 kV	V > 138 kV
Individual Harmonic	3.0	1.5	1.0
Total Harmonic	5.0	2.5	1.5

3 METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Metodologi Penelitian

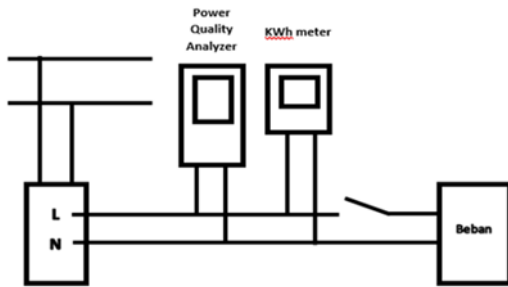
Metode yang digunakan pada penelitian ini berguna untuk mengetahui pengaruh harmonisa terhadap penyimpangan pengukuran KWh meter yaitu dengan cara menciptakan harmonisa pada rangkaian percobaan. Seperti yang sebelumnya sudah dijelaskan bahwa harmonisa timbul akibat beban –

beban non linier. Pada penelitian kali ini, beban yang akan digunakan adalah lampu LED dan lampu hemat energi (LHE).

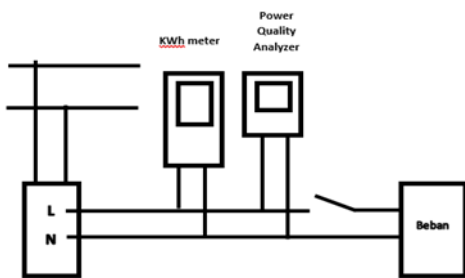
Harmonisa yang dimunculkan dari pemakaian beban non linier selanjutnya diatur dengan melihat besaran nilai THD (Total Harmonic Distortion) yang terukur pada PQ Analyzer. Parameter THD digunakan karena mewakili representasi besaran harmonisa yang ada pada sistem atau rangkaian.

Pengaturan beban yang menimbulkan harmonisa dilakukan untuk mengetahui kecenderungan kinerja KWh meter mulai THD terkecil hingga nilai THD terbesar. Dengan demikian dapat diperoleh data hasil percobaan KWh meter melalui THD terkecil hingga terbesar yang akan di analisis dan dibuat kesimpulan dari hasil penelitian.

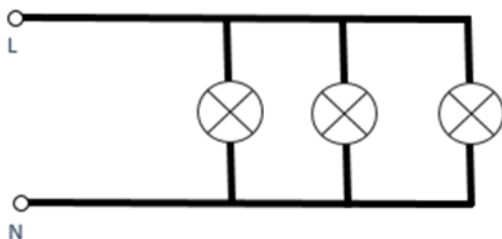
3.2 Rangkaian Penelitian



Gambar 4. Rangkaian Percobaan 1



Gambar 5. Rangkaian Percobaan 2



Gambar 6. Rangkaian Paralel Beban

3.3 Spesifikasi Peralatan

- KWh meter Analog dan Digital

Tabel 3. Spesifikasi KWh meter Analog (1) & Digital (2)

Jenis	Merk
1 1φ FA14A11Z Kelas 2	PT. Fuji Dharma Tahun 2002
2 LB16-0296496	IBAJI

- Power Quality Analyzer

Power Quality Analyzer adalah alat yang digunakan untuk mengetahui dan mengukur besaran harmonisa pada suatu sistem. Selain itu, dapat digunakan untuk mengetahui besaran – besaran lain yang dibutuhkan untuk keperluan penelitian. Pengujian kali ini akan menggunakan Power Quality Analyzer dengan merk FLUKE 1730 Energy Logger



Gambar 7. Power Quality Analyzer

- Beban

Pada pengujian ini beban juga merupakan hal yang penting, dimana beban – beban tersebut berfungsi sebagai alat yang menggunakan energi listrik yang terukur KWh meter. Beban – beban yang digunakan pada percobaan ini sebagai berikut :

- Lampu LED : Lampu LED yang digunakan dalam percobaan kali ini merupakan Lampu LED masing – masing 13W sebanyak 16 buah.
- Lampu Hemat Energi (LHE) : Lampu hemat energi yang digunakan pada percobaan ini masing – masing 36 W sebanyak 6 buah



Gambar 8. Lampu LED & LHE

• **Prosedur Pengujian**

Proses pengujian dilakukan terhadap KWh meter analog dan digital menggunakan beban yang konstan +/- 200 Watt selama 3 jam berturut - turut. Beban yang digunakan adalah Lampu LED yang ditotal memiliki beban sebesar +/- 200 Watt, dan Lampu LHE jika di total memiliki beban sebesar +/- 200 Watt. Hal ini dimaksudkan untuk melihat kecenderungan pengaruh harmonisa terhadap kinerja KWh meter analog dan digital. Untuk variasi beban akan dibahas pada sub bahasan 3.5 mengenai rancangan beban.

Adapun pelaksanaan penelitian pengaruh harmonisa terhadap kinerja KWh meter ini dilakukan dengan prosedur percobaan dengan tahapan sebagai berikut :

1. Membuat rangkaian percobaan seperti pada gambar 3.2 serta memastikan letak fasa dan netral dari sumber tegangan AC agar rangkaian pengujian bekerja dengan baik dan terhidar dari bahaya listrik.
2. Pemasangan beban berupa 6 lampu LHE dengan kapasitas +/- 200 W
3. Memberikan suplai pada rangkaian dengan menekan saklar menjadi “on”
4. Memberi waktu antara 3 jam agar KWh meter dapat membaca besaran energi listrik yang terpakai.
5. Melakukan pencatatan berapa besar KWh yang terpakai.
6. Mencatat berapa besar nilai THD yang ada pada rangkaian tersebut menggunakan PQ meter.
7. Jika telah selesai, mengulangi kegiatan 1 – 7 dengan mengganti beban ke lampu LED

• **Rancangan Beban**

Beban yang digunakan pada percobaan ini adalah beban berupa lampu LHE dan lampu LED yang masing – masing besaran tertera 36W dan 13W. Untuk mempermudah dalam menganalisa pengaruh harmonisa pada pembacaan KWh meter, berikut ini rancangan beban yang digunakan percobaan :

1. Percobaan pertama menggunakan lampu LHE sebanyak 6 buah dengan masing – masing kapasitas sebanyak 36W.
2. Percobaan kedua menggunakan lampu LED sebanyak 16 buah dengan masing – masing kapasitas 13W.

4 PENGUJIAN DAN ANALISA

4.1 Analisis dan Hasil Pengujian

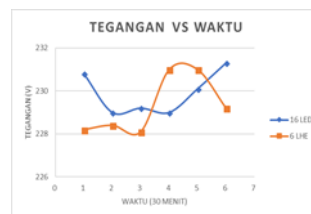
Berdasarkan dari hasil percobaan yang diperoleh suatu keterangan bahwa adanya harmonisa pada system kelistrikan dapat menyebabkan

gelombang sinusoidal arus atau tegangan mengalami distorsi sehingga bentuk gelombang mengalami perubahan dengan bentuk awalnya. Besar atau kecil perbedaan bentuk gelombang awal dengan gelombang yang terdistorsi tergantung dari presentase THD nya. Semakin besar presentase THD yang terukur maka bentuk gelombang tegangan / arus yang terdistorsi akan semakin menjauh dari bentuk sinusoidal murni.

• **Analisis Tegangan**

Tabel 4. Tegangan terhadap perubahan waktu KWh meter Analog

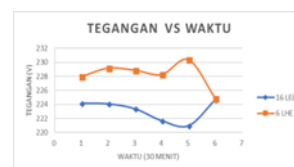
Waktu (30 Menit)	16 LED	6 LHE
1	230,8	228,2
2	229	228,4
3	229,2	228,1
4	229	231
5	230,1	231
6	231,3	229,2



Gambar 9. Tegangan terhadap perubahan waktu KWh meter Analog

Tabel 5. Tegangan terhadap perubahan waktu KWh meter Digital.

Waktu (30 Menit)	16 LED	6 LHE
1	224,2	228
2	224,1	229,2
3	223,4	228,9
4	221,7	228,3
5	221	230,4
6	224,7	224,9



Gambar 10. Tegangan terhadap perubahan waktu KWh meter Digital.

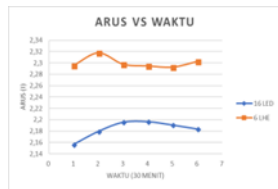
Pada pengujian terhadap KWh meter analog, tegangan tertinggi 231,3 Volt (16 LED) sedangkan terendah 228,1 Volt (6 LHE). Dengan demikian range tegangan yang digunakan untuk pengujian KWh meter analog ialah (220 ± 10) Volt.

Sedangkan pada pengujian yang dilakukan terhadap KWh meter digital, tegangan tertinggi 230,4 Volt (6 LHE) dan terendah 221 Volt (16 LED). Dengan demikian range tegangan yang digunakan pada pengujian KWh meter digital ialah (220 ± 10) Volt.

- Analisis Arus

Tabel 6. Arus terhadap perubahan waktu KWh meter Analog

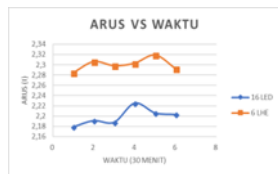
Waktu (30 Menit)	16 LED	6 LHE
1	2,157	2,296
2	2,18	2,318
3	2,196	2,298
4	2,197	2,295
5	2,191	2,293
6	2,184	2,303



Gambar 11. Grafik Arus terhadap perubahan waktu KWh meter Analog

Tabel 7. Arus terhadap perubahan waktu KWh meter Digital

Waktu (30 Menit)	16 LED	6 LHE
1	2,179	2,284
2	2,191	2,306
3	2,188	2,298
4	2,225	2,303
5	2,206	2,319
6	2,203	2,292



Gambar 12. Grafik Arus terhadap perubahan waktu KWh meter Digital

Pada kedua grafik terlihat bahwa arus pada LHE cenderung lebih tinggi daripada Lampu LED. Namun disamping itu semua, dalam proses pengukuran energi oleh KWh meter, arus juga dipengaruhi oleh besarnya presentase THD yang sangat signifikan.

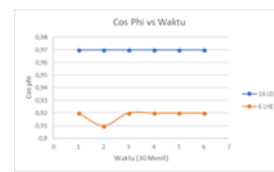
Sebagai contoh sebuah lampu LHE mempunyai arus sebesar 0.163 A berdasarkan perhitungan pada percobaan 6 LHE maka

$I_{in}=6(0,163 A)=0,981 A$, namun pada tabel diatas nilai arus rata – rata 2,2 A. yang berarti terdapat perbedaan nilai arus dan penyimpangan ini dipengaruhi oleh harmonisa.

- Analisis Faktor Daya

Tabel 8. Faktor Daya terhadap perubahan waktu KWh meter Analog

Waktu (30 Menit)	16 LED	6 LHE
1	0,97	0,92
2	0,97	0,91
3	0,97	0,92
4	0,97	0,92
5	0,97	0,92
6	0,97	0,92



Gambar 13. Grafik Faktor Daya terhadap perubahan waktu KWh meter Analog

Tabel 9. Faktor Daya terhadap perubahan waktu KWh meter Digital

Waktu (30 Menit)	16 LED	6 LHE
1	0,96	0,92
2	0,96	0,91
3	0,96	0,92
4	0,96	0,91
5	0,96	0,92
6	0,96	0,91



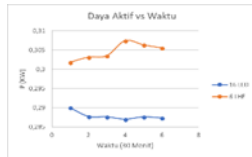
Gambar 14. Grafik Faktor Daya terhadap perubahan waktu KWh meter Digital

Dari grafik tersebut dijelaskan bahwa sudut θ_1 pada variasi beban 16 LED lebih kecil daripada sudut θ_2 pada variasi 6 LHE, sehingga faktor daya pada variasi beban 16 LED mempunyai nilai lebih besar. Seperti yang diketahui bahwa menurunnya nilai faktor daya akan sangat merugikan pihak produsen, sehingga semakin banyak konsumen menggunakan beban non linier (LHE) tanpa di imbangi beban induktif maka nilai cos phi akan cenderung menurun.

- Analisa Daya Aktif

Tabel 10. Daya Aktif terhadap perubahan waktu KWh meter Analog

Waktu (30 Menit)	16 LED	6 LHE
1	0,29	0,3018
2	0,2877	0,3031
3	0,2876	0,3035
4	0,287	0,3074
5	0,2876	0,3063
6	0,2873	0,3055



Gambar 15. Daya Aktif terhadap perubahan waktu KWh meter Analog

Tabel 11. Daya Aktif terhadap perubahan waktu KWh meter Digital

Waktu (30 Menit)	16 LED	6 LHE
1	0,2889	0,2991
2	0,2888	0,3021
3	0,2884	0,3018
4	0,2882	0,3012
5	0,2879	0,3049
6	0,2878	0,294



Gambar 16. Daya Aktif terhadap perubahan waktu KWh meter Digital

Dari kedua grafik di atas dapat dilihat bahwa semakin banyak pemakaian LHE daya aktif cenderung lebih besar bisa disebabkan lampu tersebut termasuk beban non linier yang menghasilkan harmonisa yang tinggi yang menyebabkan arus lampu tersebut semakin besar dan besar pula daya yang dihasilkan, hal ini disebabkan oleh beberapa faktor, diantaranya :

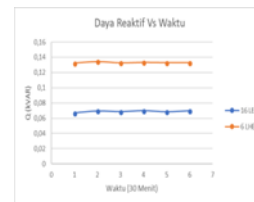
1. Nilai cos phi yang kecil. Pada percobaan ini, karena tidak adanya beban induktif yang digunakan sehingga beban kapasitif (LHE) menyebabkan nilai cos phi mengecil.
2. Adanya distorsi harmonisa, harmonik juga merupakan hal yang menyebabkan pengukuran

daya aktif menjadi tidak akurat pada kWh meter. Hal ini dapat dilihat pada tabel sub bab 4.2.8 bahwa nilai distorsi harmonik (THD-arus) mencapai lebih dari 100% yang tentu saja akan berpengaruh secara signifikan pada pengukuran oleh kWh

- Analisis Daya Reaktif

Tabel 12. Daya Reaktif terhadap perubahan waktu KWh meter Analog

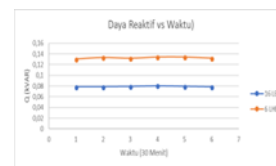
Waktu (30 Menit)	16 LED	6 LHE
1	0,0671	0,1325
2	0,0696	0,1344
3	0,0687	0,1327
4	0,07	0,1334
5	0,0685	0,133
6	0,0699	0,133



Gambar 17. Daya Reaktif terhadap perubahan waktu KWh meter Analog

Tabel 13. Daya Reaktif terhadap perubahan waktu KWh meter Digital

Waktu (30 Menit)	16 LED	6 LHE
1	0,0786	0,1306
2	0,0788	0,1334
3	0,0794	0,132
4	0,0806	0,1342
5	0,0796	0,1342
6	0,0786	0,1322



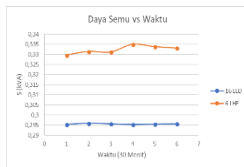
Gambar 18. Grafik Daya Reaktif terhadap perubahan waktu KWh meter Digital

Berdasarkan hasil percobaan menunjukkan bahwa dengan semakin banyak pemakaian LHE maka akan menyebabkan nilai VAR (daya reaktif) yang semakin besar. Karena daya reaktif tersebut bernilai negative, maka LHE diketahui sebagai beban kapasitif.

- Analisis Daya Reaktif

Tabel 14. Daya Semu terhadap perubahan waktu KWh meter Analog

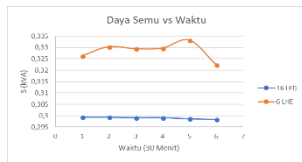
Waktu (30 Menit)	16 LED	6 LHE
1	0,2955	0,3297
2	0,296	0,3315
3	0,2957	0,3312
4	0,2954	0,3351
5	0,2956	0,3339
6	0,2957	0,3332



Gambar 19. Daya Semu terhadap perubahan waktu KWh meter Analog

Tabel 15. Daya Semu terhadap perubahan waktu KWh meter Digital

Waktu (30 Menit)	16 LED	6 LHE
1	0,2994	0,3263
2	0,2994	0,3303
3	0,2992	0,3294
4	0,2992	0,3297
5	0,2987	0,3332
6	0,2984	0,3224



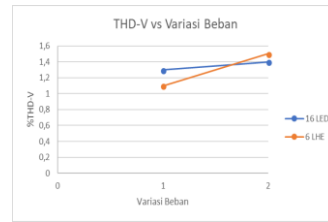
Tabel 16. Daya Semu terhadap perubahan waktu KWh meter Digital

Data di atas dapat dilihat bahwa besarnya daya semu mengikuti besaran daya aktif, daya reaktif, serta faktor daya. Dari hasil percobaan diperoleh bahwa semakin banyak menggunakan beban LHE maka semakin besar daya semu yang digunakan.

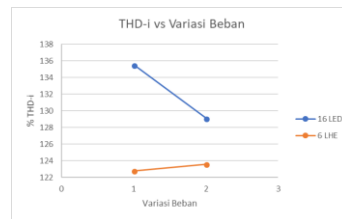
- Analisis (%) THD-v dan (%) THD-i

Tabel 17. % THD-v dan % THD-i terhadap perubahan variasi beban

	Beban	Analog	Digital
THD V (%)	16 LED	1,3	1,4
	6 LHE	1,1	1,5
THD I (%)	16 LED	135,5	129,1
	6 LHE	122,8	123,6



Gambar 20. % THD-v terhadap perubahan variasi beban



Gambar 21. % THD-i terhadap perubahan variasi beban

Berdasarkan kedua grafik THD di atas bahwa nilai % THD tegangan itu tidak begitu signifikan, dibandingkan dengan nilai % THD arus yang besarnya mencapai > 100 %. Hal ini dikarenakan bahwa harmonisa disebabkan oleh jenis beban non linier, dan semua beban non linier direpresentasikan oleh arus, sehingga harmonisa (%THD) pada arus mempunyai nilai lebih tinggi daripada (%THD) tegangan.

Pada grafik %THD tegangan nilai yang tertinggi dan terendah terdapat pada variasi beban 6 LHE sedangkan pada grafik %THD arus, nilai terendah terdapat pada variasi beban 6 LHE dan yang tertinggi terdapat pada variasi beban 16 LED.

- Analisis Pengaruh Harmonisa terhadap proses pengukuran oleh KWh Meter

Harmonisa pada system tenaga listrik dianggap dapat menyebabkan kesalahan pada pengukuran energi listrik yang di pakai pada sisi beban / konsumen. Penelitian ini merupakan salah satu metode untuk mengetahui kebenaran dari pernyataan (hipotesa) tersebut. Pada penelitian ini digunakan beban sebesar +/- 200 W dan masing – masing pengukuran dilakukan selama 3 jam. Berdasarkan data tersebut maka dapat dihitung besarnya energi yang digunakan dengan menggunakan persamaan :

$$W = Pxt$$

$$W = 200 \text{ Watt} \times 3 \text{ hours}$$

$$W = 600 \text{ Wh}$$

$$W = 0,6 \text{ kWh}$$

Dimana :

W = Energi listrik yang terpakai (Wh)

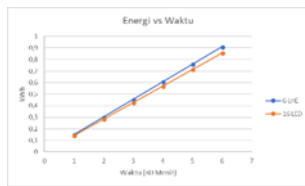
P = Daya Aktif (Watt)

T = Waktu (Jam atau Hours)

Selain itu hasil pengukuran energi menunjukkan nilai yang bervariasi seperti yang tegambar pada kedua.

Tabel 18. Energi (kWh) vs Waktu pada Pengujian kWh meter Analog

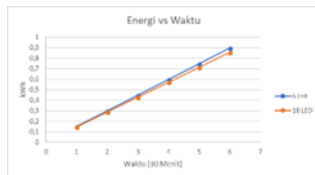
Waktu (30 Menit)	6 LHE	16 LED
1	0,1507	0,1432
2	0,3029	0,2861
3	0,4558	0,429
4	0,6078	0,5719
5	0,7598	0,7148
6	0,9114	0,8577



Gambar 22. Energi (kWh) vs Waktu pada Pengujian kWh meter Analog

Tabel 19. Energi (kWh) vs Waktu pada Pengujian kWh meter Digital

Waktu (30 Menit)	6 LHE	16 LED
1	0,1491	0,1427
2	0,2982	0,2853
3	0,447	0,4278
4	0,5963	0,5701
5	0,7465	0,7123
6	0,897	0,8545



Gambar 23. Energi (kWh) vs Waktu pada Pengujian kWh meter Digital

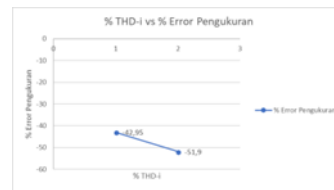
Pada kedua grafik energi vs waktu di atas dapat dilihat bahwa pengukuran energi pada semua variasi beban akan bertambah sesuai dengan lamanya waktu yang diterapkan. Grafik pengukuran energi dari masing – masing variasi memiliki tingkat kemiringan (gradien) yang tidak terlalu berbeda. Sebagai contoh variasi beban 16 LED memiliki tingkat perubahan energy (kWh) yang lebih kecil daripada beban 6 LHE. Sehingga hasil pengukuran pada variasi beban 6 LHE lebih besar daripada beban 16 LED.

Dengan semakin banyak beban non linier (LHE) yang digunakan maka semakin besar nilai kesalahan antara perhitungan dan pengujian. Kesalahan antara perhitungan dan pengujian

mengindikasikan bahwa terjadi kesalahan pengukuran oleh kWh meter. kWh tersebut menjadi tidak akurat dan presisi ketika gelombang input telah terdistorsi oleh harmonisa (yang diwakili oleh nilai %THD). Berikut hasil perhitungan nilai kesalahan dari masing – masing percobaan :

Tabel 20. %THD-i terhadap besaran kesalahan KWh Analog

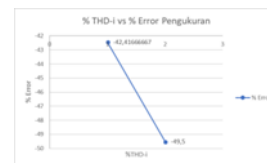
% THD-i	kWh	perhitungan kWh	% kesalahan
135,5	0,8577	0,6	-42,95
122,8	0,9114	0,6	-51,9



Gambar 24. %THD-i terhadap besaran kesalahan KWh Analog

Tabel 21. %THD-i terhadap besaran kesalahan KWh Digital

% THD-i	kWh	perhitungan kWh	% kesalahan
129,1	0,8545	0,6	-42,41666667
123,6	0,897	0,6	-49,5



Gambar 25. %THD-i terhadap besaran kesalahan KWh Digital

Berdasarkan kedua grafik di atas, dapat dikatakan beban non linier yang menimbulkan harmonisa dan mengakibatkan besarnya nilai % THD maka pengukuran oleh kWh meter sebagai alat transaksi tenaga listrik akan mengurangi tingkat ketelitian dalam proses pengukuran. Jika terjadi hal demikian maka dapat dipastikan perusahaan listrik mengalami kerugian.

Memang menjadi dilema ketika LHE dianggap variasi dalam penghematan energi, namun disisi lain LHE menimbulkan harmonisa yang memiliki dampak buruk yang menyebabkan kerugian yang lebih besar, seperti kerugian dari sisi perusahaan

listrik karena kesalahan pengukuran serta akumulasi dari adanya harmonisa yang dapat merusak peralatan kelistrikan lainnya, seperti overheating dan derating pada trafo.

Fakultas Teknik Elektro. Universitas Indonesia: Depok.

5 KESIMPULAN

1. Kinerja kWh meter dipengaruhi oleh bentuk gelombang masukan arus dan tegangan sehingga jika bentuk gelombang mengalami distorsi maka akan terjadi kesalahan dalam proses pengukuran.
2. Besar kesalahan berupa penyimpangan pengukuran energi oleh kWh meter analog dan digital dipengaruhi oleh komponen harmonik dalam sistem tersebut. Berdasarkan pengujian. Nilai % THD-i pada beban non linier (LHE) memiliki kesalahan lebih besar daripada % THD-i pada lampu LED. Sebagai contoh nilai % THD-i sebesar 135,5 % mempunyai tingkat kesalahan sebesar -42,95 % serta pada % THD-i sebesar 122,8 % mempunyai tingkat kesalahan sebesar -51,9% (pada tabel 4.16).
3. Setelah dilakukan penelitian ini dapat diketahui bahwa tidak ada perbedaan yang signifikan antara kinerja kWh analog dan digital dalam hal pengukuran energi listrik yang terdapat harmonisa di dalamnya.

DAFTAR PUSTAKA

- Dugan, Roger C., Mark F. McGranaghan, Surya Santoso dan H. Wayne Beaty. 2004. *Electrical Power Systems Quality, Second Edition*, McGraw-Hill.
- Mulyana, Elih. 2008. "Pengukuran Harmonisa Tegangan dan Arus Listrik di Gedung Direktorat TIK Universitas Pendidikan Indonesia". Bandung: Jurusan Pendidikan Teknik Elektro FPTK Universitas Pendidikan Indonesia.
- Tobing, Cristof Naek Halomon. 2008 "Pengaruh Harmonik pada Transformator Distribusi". Skripsi. Tidak Diterbitkan. Fakultas Teknik Elektro. Universitas Indonesia: Depok.
- Rahardjo, Amien, Iwa Garniwa MK dan Faiz Husnayain. 2011. "Analisis of Harmonic Distortion Effect on Diviation Measurement of Electrical Energy in kWh Meter". *Proceeding Conference on Applied Electromagnetic Technology (AEMT), G201*.
- Kurniawan, Irfan. 2012 "Analisis Pengaruh Harmonisa Terhadap Penyimpangan Pengukuran Energi Listrik Pada kWh meter Analog dan Digital". Skripsi. Tidak Diterbitkan.