

## Penelitian Penyimpangan Alat Ukur Energi Listrik untuk Beban Rumah Tangga

Heri Andi\*, Mochammad Facta\*\*

\* Instruktur Transmission Academy, UPDL Semarang PT. PLN (persero), Semarang, Indonesia

\*\* Departemen Teknik Elektro-Universitas Diponegoro Semarang, Indonesia

Correspondence Author: heri.andi@pln.co.id ; mochfacta@gmail.com

### Abstract

Alat ukur energi listrik seperti kWh meter merupakan alat untuk mengukur energi listrik yang sering digunakan oleh konsumen. Alat ukur ini mengukur transaksi energi listrik berdasar daya aktif dalam satuan Watt persatuan waktu. Alat ukur ini didesain untuk memiliki kinerja yang baik apabila memenuhi kriteria gelombang arus dan tegangan berupa sinusoidal murni agar tidak ada satupun pihak yang dirugikan akibat adanya kesalahan dalam proses pengukuran. Namun saat ini pelanggan rumah tangga yang cukup dominan di Indonesia umumnya memakai beban non linear bercampur dengan beban linier sehingga hal ini dapat menimbulkan masalah yang dapat mempengaruhi hasil pengukuran energi listrik sebenarnya. Tujuan dari tulisan ini adalah mengemukakan hasil penelitian ini untuk melihat dampak harmonisa terhadap kesalahan pengukuran energi listrik pada kWhmeter Analog. Beban non linier yang terdapat di rumah – rumah dengan daya listrik 450 VA dan 900VA menimbulkan harmonisa. Harmonisa ini berdasarkan penelitian yang dilakukan dalam makalah ini, ternyata dapat mengakibatkan perubahan perubahan komposisi daya. Komponen harmonisa menghasilkan daya reaktif harmonisa ke sistem, sehingga daya reaktif total pada sistem akan meningkat. Hasil penelitian menunjukkan semakin besar nilai THD arus maka semakin besar pula persentase kesalahan kWh meter analog jika dibandingkan dengan peralatan Power Quality Analyzer (PQA).

Keyword: kWh Meter Analog , Harmonisa, Pengukuran, Energi Listrik

### 1. PENDAHULUAN

Peralatan listrik yang digunakan pada rumah tangga saat ini semakin bervariasi seperti komputer, power supply, Air Conditioner (AC), lampu LED, lampu LHE, dan sebagainya. Beberapa peralatan tersebut terdiri dari komponen semikonduktor seperti dioda, thyristor, transistor sebagai perangkat AC-DC rectifier, AC-AC converter, DC-DC chopper, maupun DC-AC inverter yang bersifat non linier. Banyaknya peralatan listrik atau beban bersifat non linier menyebabkan kualitas daya listrik menurun. Kualitas daya listrik adalah suatu konsep mengenai baik atau buruknya mutu daya listrik pada suatu bangunan akibat adanya beberapa macam gangguan yang terjadi pada sistem kelistrikan. Parameter kualitas daya listrik terdiri dari keseimbangan arus dan tegangan, harmonik (THD arus dan THD tegangan), faktor daya, dan profil tegangan. Salah satu parameter yang paling penting kualitas daya listrik adalah harmonisa [1][2].

Harmonisa merupakan gangguan yang terjadi dalam sistem tenaga listrik yang disebabkan oleh adanya distorsi gelombang arus dan tegangan. Distorsi gelombang arus dan tegangan ini disebabkan adanya pembentukan gelombang-gelombang dengan frekuensi kelipatan bulat dari frekuensi fundamental-nya. Harmonisa dapat mengakibatkan timbulnya panas berlebih pada transformator sehingga menyebabkan kerusakan, dapat memperpendek usia kapasitor, terjadinya derating pada sekring akibat panas yang dihasilkan, menurunkan kapabilitas arus rating komponen dan memperpendek umur peralatan isolasi pada peralatan pensaklaran dan proteksi, mengakibatkan kesalahan pembacaan pada peralatan metering seperti kWh meter.

Instalasi rumah tangga tegangan rendah saat ini masih menggunakan instalasi konvensional, dimana tidak berlaku pada beban non konvensional atau non linier yang terdapat harmonisa. Harmonisa akan mempengaruhi kinerja peralatan utama pada instalasi tegangan rendah yaitu kWh meter sebagai pengukur daya, MCB sebagai peralatan proteksi utama, serta instalasi kabel sebagai penghantar [3].

kWh meter merupakan alat yang digunakan untuk mengukur penggunaan energi listrik selama waktu tertentu. Keakurasian kWh meter sangat penting untuk diperhatikan dengan baik untuk menjaga integritas kepercayaan dan transaksi yang adil, karena kesalahan kecil pada pembacaan tentu akan berdampak secara ekonomi baik bagi perusahaan listrik sebagai produsen maupun konsumen/pengguna. perlu dipastikan apakah kWh membaca dengan benar daya yang digunakan oleh pelanggan dan pelanggan membayar sesuai dengan daya yang terpakai [3][4]. Bisa jadi daya yang terbaca pada kWh meter melebihi daya yang terpakai atau sebaliknya. Apakah yang dirugikan adalah pelanggan pengguna listrik atau PLN sebagai penyedia daya listrik

Menjelaskan Sistem kWh meter adalah alat penghitung pemakaian energi listrik. Alat ini bekerja menggunakan metode induksi medan magnet dimana medan magnet tersebut menggerakkan cakram yang terbuat dari aluminium [3][4]. Pada cakram aluminium itu terdapat poros yang mana poros tersebut akan menggerakkan counter digit sebagaitampilan jumlah kWh nya. kWh meter memiliki dua kumparan yaitu kumparan tegangan dengan koil yang diameternya tipis dengan kumparan lebih banyak dari pada kumparan arus dan kumparan arus dengan koil yang diameternya tebal dengankumparan lebih sedikit. Pada kWh meter juga terdapat magnet permanen yang tugasnya menetralkan piringan aluminium dari induksi medan magnet, medanmagnet memutar piringan aluminium. Arus listrik yang melalui kumparan arus mengalir sesuai dengan perubahan arus terhadap waktu. Hal ini menimbulkan adanya medan di permukaan kawat tembaga pada koil kumparan arus. Kumparan tegangan membantu mengarahkan medan magnet agar menerpa permukaan aluminium sehingga terjadi suatu gesekan antara piringan aluminium dengan medan magnet disekelilingnya.

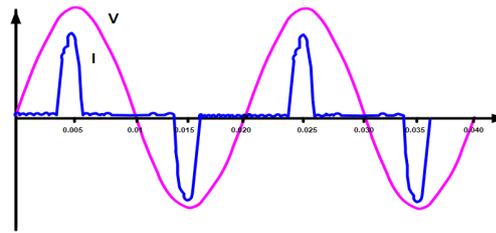
Pada penelitian ini digunakan kWh Meter Pascabayar atau kWh meter Analog sebagaimana Gambar 1. Jenis kWh meter analog ini bekerja dengan memanfaatkan medan magnet yang memutar piringan aluminium, kecepatan putaran dipengaruhi oleh besar kecilnya arus listrik. Pada piringan aluminium yang dipasangkan di kWh meter Analog terdapat poros yang mana poros tersebut akan menggerakkan counter digit sebagai tampilan jumlah kWh-nya. Selain itu, pada piringan aluminium kWh meter analog terdapat lubang atau garis penanda yang digunakan sebagai indicator putaran piringan aluminium. Untuk 1 kWh biasanya setara dengan 900 putaran (ada juga 450 putaran tiap kWh). Bagian utama dari sebuah kWh meter adalah kumparan tegangan, kumparan arus, piringan aluminium, magnet tetap yang tugasnya menetralkan piringan aluminium dari induksi medan magnet dan gear mekanik yang mencatat jumlah perputaran piringan aluminium. Kumparan arus pada kWh meter analog dihubungkan secara seri dengan beban, sedangkan kumparan tegangan dihubungkan secara parallel dengan beban [5][6].



Gambar 1. kWh meter analog

Perancangan dalam penelitian ini menggunakan instalasi beban buatan untuk mensimulasikan instalasi rumah tangga dengan konsumsi daya beban 450 VA dan 900 VA yang disesuaikan dengan kondisi aslinya. Pada penelitian kali ini, digunakan adalah lampu LED dan lampu hemat energi (LHE) sebagai beban non linier penghasil harmonisa.

Beban nonlinier adalah beban yang mempengaruhi karakteristik dari tegangan dan arus, sehingga bentuk gelombang arus berbeda dengan bentuk gelombang tegangan yang ditimbulkannya. Dalam sistem listrik rumah tangga, beban non-linier umumnya terdiri dari peralatan elektronik seperti komputer, TV, alat-alat elektronik, charger, dan peralatan daya elektronik lainnya. Peralatan-peralatan ini menggunakan elektronik daya, seperti rectifier, inverter, atau switch-mode power supply, yang mengubah tegangan AC menjadi tegangan DC atau sebaliknya [7]. Proses ini melibatkan penggunaan elemen semikonduktor yang bekerja dalam mode non-linear, yang menghasilkan distorsi pada bentuk gelombang sinusoidal fundamental. Pada Gambar 2 pada beban non-linier bentuk gelombang arus tidak linier terhadap tegangan masukannya



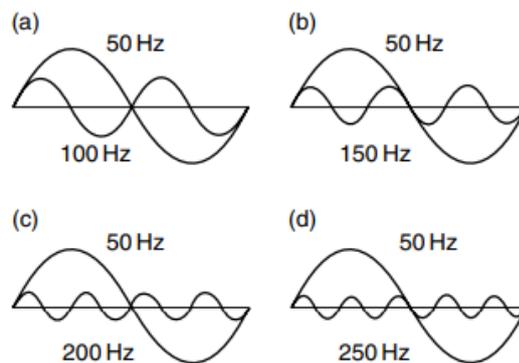
Gambar 2 Gelombang tegangan dan arus beban non-linier

Harmonisa merupakan komponen gelombang sinusoidal (tegangan atau arus) yang berfrekuensi tinggi dengan frekuensi kelipatan bulat (biasa disebut orde harmonisa  $n$ ) dari frekuensi fundamentalnya (frekuensi 50 Hz atau 60 Hz). Nilai frekuensi dari gelombang harmonisa yang terbentuk merupakan hasil kali antara frekuensi fundamental dengan bilangan harmonisanya ( $f, 2f, 3f, \text{dst}$ ). Dapat dirumuskan sebagai berikut [7][8].

$$f_h = f_1 \times n \tag{1}$$

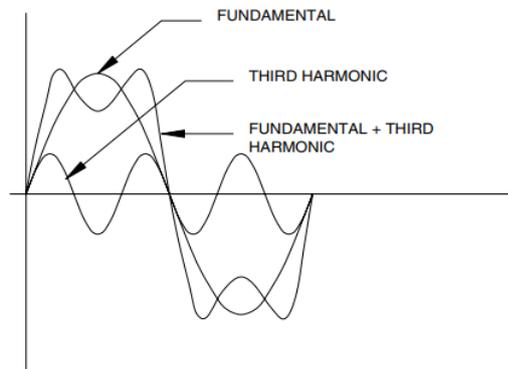
Dimana,

- $f_h$  : frekuensi harmonisa
- $f_1$  : frekuensi fundamental
- $n$  : orde harmonisa (1, 2, 3, ...)



Gambar 3 Gelombang sinusoidal dengan frekuensi fundamental (50 Hz) dan harmonisanya : (a) harmonisa ke-2 ; (b) harmonisa ke-3; (a) harmonisa ke-4; (a) harmonisa ke-5;

Penjumlahan gelombang fundamental dengan gelombang harmonisa akan menghasilkan gelombang non-sinusoidal. Misalnya pada gambar berikut, gelombang tegangan fundamental dijumlahkan dengan harmonisa ke-3 akan diperoleh bentuk gelombang tegangan yang non sinusoidal, sehingga menyebabkan gelombang terdistorsi.



Gambar 4 Penjumlahan gelombang fundamental dan harmonisa ke-3

Distorsi harmonisa secara umum adalah perubahan dalam bentuk gelombang yang terjadi. Salah satu distorsi yang terjadi pada sistem tenaga listrik adalah distorsi harmonisa. Distorsi harmonisa disebabkan oleh

beban-beban nonlinear dalam sistem tenaga listrik. Gelombang arus yang mengandung komponen harmonisa disebut arus yang terdistorsi.

Dalam pengukuran harmonisa dua indeks yang paling umum digunakan untuk mengukur kandungan harmonik dari bentuk gelombang adalah *Total Harmonic Distortion* (THD) dan *Total Demand Distortion* (TDD). Keduanya adalah ukuran nilai efektif (rms) dari bentuk gelombang dan dapat diterapkan pada tegangan atau arus [8][9][10].

- Individual dan Total Harmonic Distortion (THD)  
Individual Harmonic Distortion (IHD) merupakan perbandingan antara nilai rms dari individual harmonisa terhadap nilai rms fundamentalnya [8][9].

$$IHD_n = \frac{I_n}{I_1} = \frac{V_n}{V_1} \quad (2)$$

Dimana,

$IHD_n$  : Individual Harmonic Distortion orde ke-n  
 $I_n$  &  $V_n$  : arus dan tegangan rms pada harmonisa ke-n  
 $I_1$  &  $V_1$  : arus dan tegangan rms pada frekuensi fundamental

Total Harmonic Distortion (THD) adalah rasio antara nilai rms dari seluruh komponen harmonisa terhadap nilai rms nilai fundamentalnya.

$$THD = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} (X_n)^2}}{X_1} \quad (3)$$

Keterangan,

$X_n$  : nilai rms komponen harmonisa  
 $X_1$  : nilai rms komponen fundamental  
 $n$  : orde harmonisa (2, 3, 4, ... dan seterusnya.)

Indeks THD ini digunakan untuk mengukur besarnya penyimpangan dari bentuk gelombang periodik yang mengandung harmonisa dari gelombang sinusoidal murninya. Untuk gelombang sinusoidal sempurna nilai dari THD adalah bernilai 0%. Harmonisa terdiri dari distorsi harmonisa arus (THD<sub>I</sub>) dan distorsi harmonisa tegangan (THD<sub>V</sub>).

$$THD_I = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} (I_n)^2}}{I_1} \quad (4)$$

$$THD_V = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} (V_n)^2}}{V_1} \quad (5)$$

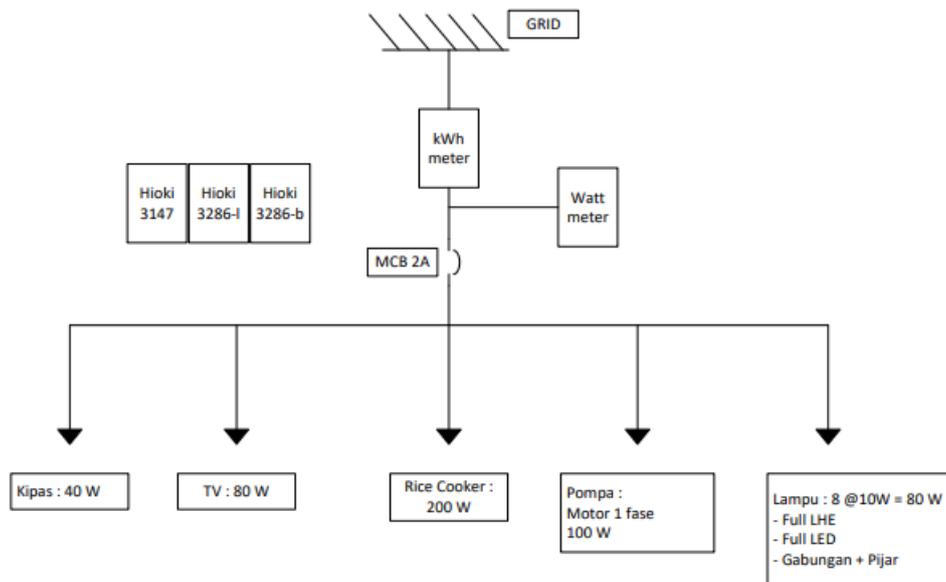
- Total Demand Distortion (TDD)  
Tingkat distorsi arus dapat ditandai dengan nilai THD, seperti yang telah dijelaskan, namun hal ini seringkali bisa menyesatkan. Sebuah arus kecil mungkin memiliki nilai THD yang tinggi namun tidak menjadi ancaman signifikan bagi sistem. Untuk menghindarinya dengan mengacu pada THD terhadap fundamental dari arus beban puncak daripada fundamental dari sampel saat ini. Ini disebut Total Demand Distortion (TDD) merupakan rasio antara nilai rms dari seluruh komponen harmonisa terhadap nilai arus beban puncak pada frekuensi fundamental yang dapat dinyatakan dalam rumus sebagai berikut.

$$TDD = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} (I_n)^2}}{I_L} \quad (6)$$

$I_L$  merupakan arus beban puncak / arus maksimum pada frekuensi komponen fundamental

## 2. METODOLOGI DAN PERALATAN PENELITIAN

Perancangan kualitas daya pada penelitian ini menggunakan instalasi beban buatan untuk mensimulasikan instalasi rumah daya 450 VA dan 900 VA yang disesuaikan dengan kondisi aslinya. Perancangan dimulai dengan pembuatan denah instalasi dan penentuan beban yang biasa digunakan pada instalasi rumah tangga. Beban listrik akan dihitung dan disesuaikan dengan kapasitas daya yang terpasang. Instalasi beban buatan terdiri dari kWh meter, MCB, kabel penghantar, dan beban rumah tangga. Setelah total beban diketahui, dibuat rig rangkaian percobaan yang akan diuji dan diukur. Pada penelitian kali ini, digunakan adalah lampu LED dan lampu hemat energi (LHE) sebagai beban non linier penghasil harmonisa.



Gambar 5 Rancangan Rangkaian Penelitian untuk Beban 450 VA

Selanjutnya dilakukan pengukuran secara langsung berupa nilai tegangan, arus, daya, kWh, THD tegangan, THD arus menggunakan berbagai alat ukur sebagai validasi serta data sekunder yaitu spesifikasi komponen peralatan listrik. Pada tiap pengujian akan divariasikan beban non linier yang digunakan yaitu LHE (lampu hemat energi), LED, dan gabungan keduanya. Data yang diperoleh tersebut kemudian dianalisis untuk mengetahui nilai harmonik yang dihasilkan oleh beban non linier dan dampak yang ditimbulkan akibat adanya harmonik terhadap peralatan. Berikut peralatan yang digunakan dalam merealisasikan penelitian ini, yakni:

1. Software PSIM
2. Ms. Word
3. Ms. Excel
4. Personal Computer / Laptop
5. PQA (Power Quality Analyzer)
6. MCB
7. kWh meter
8. Alat ukur yaitu : Voltmeter, Amperemeter, Wattmeter, clamp meter, multimeter, clamp power meter
9. Instalasi buatan yakni lampu pijar, lampu LED, lampu LHE, motor, kabel

### 3. HASIL PERCOBAAN

Pada penggunaan beban non-linier bentuk gelombang arus dan tegangan akan berubah akibat harmonisa sehingga mengakibatkan kesalahan pembacaan pada kWh meter. Perhitungan persentase kesalahan pembacaan kWh meter berdasarkan hasil pengukuran kWh meter yang diuji yang dibandingkan data pengukuran kWh pada PQA sebagai acuan. kWh meter uji yang digunakan yaitu kWh meter analog. Untuk menghitung besarnya error digunakan Persamaan (7)

$$\%error = \frac{\text{energi yang diukur} - \text{energi sebenarnya}}{\text{energi sebenarnya}} \times 100\% \quad (7)$$

Dengan perhitungan menggunakan persamaan diatas, didapatkan hasil kesalahan (error) pembacaan pada kWh meter berdasarkan langgam beban pada Tabel 13 dan Tabel 14.

Dari Tabel 13 dan 14 dapat dilihat nilai  $THD_I$  akan mempengaruhi besar persentase kesalahan pembacaan kWh meter. Semakin besar nilai  $THD_I$  maka semakin besar pula persentase kesalahan kWh meter. Hal itu dikarenakan kWh meter beroperasi pada gelombang arus dan tegangan sinusoidal murni. Pada kondisi harmonisa yang tinggi akan mengakibatkan kesalahan pembacaan pada kWh meter.

Pada pengujian beban daya 450 VA didapatkan persentase kesalahan pembacaan kWh meter terbesar terdapat ketika variasi lampu LHE yang memiliki  $THD_I$  terbesar yaitu 37,2%, dimana persentase kesalahan pembacaan kWh meter analog adalah sebesar 16,67%.

Pada pengujian beban daya 900 VA didapatkan persentase kesalahan pembacaan kWh meter terbesar ketika beban dengan variasi lampu LHE yang memiliki  $THD_I$  terbesar yaitu 40,1%, dimana persentase kesalahan pembacaan kWh meter analog adalah sebesar 13,636%.

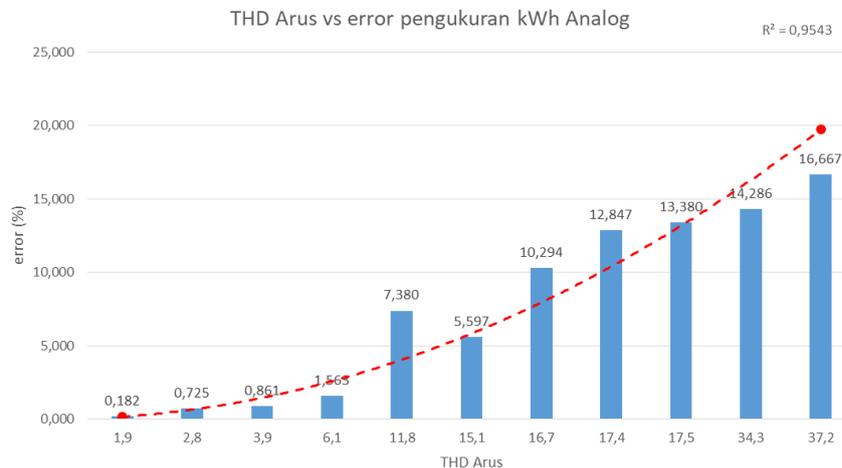
Tabel 13. Persentase Kesalahan Pembacaan kWh Meter Beban Daya 450 VA

Langgam	Jenis Lampu	THD Arus	% Kesalahan
05:00 - 10:00	LED	11,8	7,38
	LHE	16,7	10,29
	Pijar	2,8	0,72
10:00 - 14:00	NO	6,1	1,56
	NO	15,1	5,60
17:00 - 22:00	LED	17,4	12,85
	LHE	17,5	13,38
	Pijar	3,9	0,86
22:00 - 05:00	LED	34,3	14,29
	LHE	37,2	16,67
	Pijar	1,9	0,18

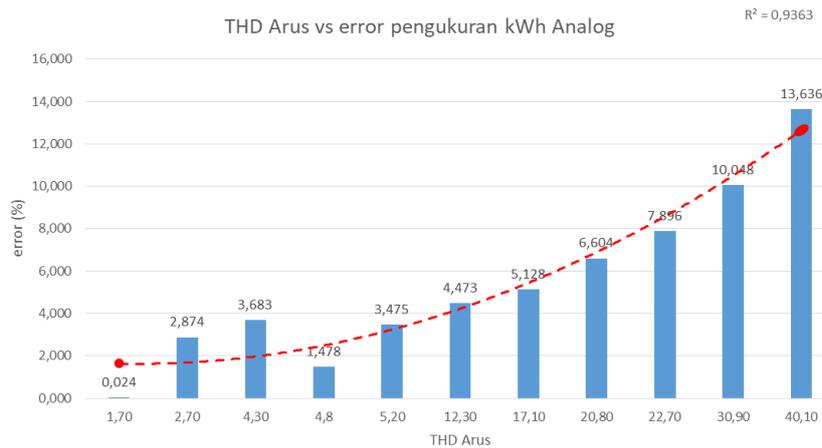
Tabel 14. Persentase Kesalahan Pembacaan kWh Meter Beban Daya 900 VA

Langgam	Jenis Lampu	THD Arus	% Kesalahan
05:00 - 10:00	LED	11,8	4,47
	LHE	16,7	7,90
	Pijar	2,8	2,87
10:00 - 14:00	NO	6,1	3,68
	NO	15,1	3,47
17:00 - 22:00	LED	17,4	5,13
	LHE	17,5	6,60
	Pijar	3,9	0,02
22:00 - 05:00	LED	34,3	10,05
	LHE	40,1	13,64
	Pijar	1,9	1,48

Dari Tabel 13 dan 14 diatas, diperoleh grafik persentase kesalahan kWh meter analog berdasarkan THD arus yang terukur dinyatakan dalam Gambar 6 dan 7.



Gambar 6. Grafik persentase kesalahan kWh meter analog berdasarkan THD arus pada beban daya 450 VA sebelum pemasangan filter



Gambar 7. Grafik persentase kesalahan kWh meter analog berdasarkan THD arus pada beban daya 900 VA sebelum pemasangan filter

Dari tabel dan gambar diatas dapat dilihat nilai  $THD_1$  akan mempengaruhi besar persentase kesalahan pembacaan kWh meter. Semakin besar nilai  $THD_1$  maka semakin besar pula persentase kesalahan kWh meter. Hal itu dikarenakan kWh meter beroperasi pada gelombang arus dan tegangan sinusoidal murni. Pada kondisi harmonisa yang tinggi akan mengakibatkan kesalahan pembacaan pada kWh meter.

#### 4. KESIMPULAN

Kemunculan harmonisa dapat mengakibatkan perubahan perubahan komposisi daya. Komponen harmonisa menghasilkan daya reaktif harmonisa ke sistem, sehingga daya reaktif total pada sistem akan meningkat. Hasil penelitian menunjukkan semakin besar nilai THD arus maka semakin besar pula persentase kesalahan kWh meter analog jika dibandingkan dengan peralatan Power Quality Analyzer (PQA). Untuk beban 450 VA persentase kesalahan pembacaan kWh meter terbesar 16,67% dengan THD arus sebesar 37,3%. Untuk beban 900 VA persentase kesalahan pembacaan kWh meter terbesar adalah 13,636% dengan THD arus sebesar 40,1%.

#### ACKNOWLEDGEMENTS

Penulis dan peneliti berterimakasih atas kerjasama penelitian dan karya ilmiah yang dilakukan antara UPDL Semarang PT. PLN (persero) dengan Departemen Teknik Elektro Universitas Diponegoro melalui perjanjian kerjasama yang telah ditandatangani di tahun 2023 dengan dukungan dana karya ilmiah instruktur dan dana penelitian dari pihak PT. PLN (persero).

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] R. P. Mandi and U. R. Yaragatti, "Power Quality Issues in Electrical Distribution system and Industries," *Asian J. Eng. Technol. Innov. Spec. Conf. Issue*, vol. 2016, no. 3, pp. 64–69, 2016,
- [2] T. Michalec, M. Jasiński, T. Sikorski, Z. Leonowicz, Ł. Jasiński, and V. Suresh, "Impact of harmonic currents of nonlinear loads on power quality of a low voltage network—review and case study," *Energies*, vol. 14, no. 12, 2021, doi: 10.3390/en14123665.
- [3] S. Raza, S.; Ahmad, M.; Perveiz, "Performance of Energy Meters under Harmonic Generating Environment," *Sci. Int.*, vol. 26, no. 5, pp. 2063–2069, 2014,
- [4] F. H. Amien Rahardjo, Iwa Garniwa MK, "Analysis of Harmonic Distortion Effect on Diviation Measurement of Electrical Energy in kWh Meter," *Proceeding Conf. Appl. Electromagn. Technol.*, vol. 2, no. 5, pp. 11–15, 2018.
- [5] Standar PT. PLN (Persero), "SPLN 57-1:1991 kWh Meter Arus Bolak-Balik Kelas 0,5; 1 Dan 2," *Spln 57-11991*, pp. 1–50, 1991.
- [6] S. P. P. (Persero), "SPLN 57-4:1994 Meter Statis Energi Aktif Arus Bolak-Balik Kelas 1 dan 2," 1994.
- [7] M. Grady, *Understanding power System Harmonics.pdf*, no. June. Dept. of Electrical & Computer Engineering University of Texas at Austin, 2006.
- [8] A. Baghini, *Handbook of Power Quality*. 2008. doi: 10.1002/9780470754245.
- [9] R. C. Dugan, M. F. McGranaghan, S. Santoso, and H. W. Beaty, *Electrical Power Systems Quality*. 2012. doi: 10.1007/978-3-319-51118-4\_1.
- [10] IEEE Recommended Practice and Requirements for Harmonic Control in Electric Power Systems," *IEEE Std 519-2014 (Revision IEEE Std 519-1992)*