

## Siklus Harmonisa di Pelanggan Rumah Tangga untuk Beban Hibrida

Bagus Hari Abrianto\*, Mochammad Facta\*\*

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

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

Correspondence Author: [bagus.abrianto37@gmail.com](mailto:bagus.abrianto37@gmail.com); [mochfacta@gmail.com](mailto:mochfacta@gmail.com)

### Abstract

Peralatan listrik yang digunakan pada rumah tangga saat ini semakin bervariasi seperti komputer, power supply, Air Conditioner (AC), lampu LED, dan lampu LHE. Banyaknya peralatan listrik atau beban bersifat non linier menyebabkan kualitas daya listrik menurun. Parameter kualitas daya listrik terdiri dari keseimbangan arus dan tegangan, harmonik (THD arus dan THD tegangan), faktor daya, dan profil tegangan. Munculnya harmonisa dalam suatu instalasi rumah tangga juga dipengaruhi dengan siklus penggunaan peralatan listrik yang dalam kondisi saat ini merupakan beban campuran atau hibrida. Beban hibrida yang dimaksud merupakan campuran dari beban non linier dan beban linier. Dalam makalah ini dikemukakan hasil penelitian yang menunjukkan bagaimana komposisi daya yang ditarik oleh beban rumah tangga dalam suatu siklus yang umumnya terjadi secara keseharian khususnya untuk beban rumah tangga berdaya 450 VA dan 900 VA.

Keyword: harmonisa, beban linier, beban non linier, beban hibrida, beban rumah tangga, distorsi harmonisa

### 1. PENDAHULUAN

Berdasarkan data dari PLN pada tahun 2021 dari 8 juta pelanggan listrik di Indonesia, terdapat 24,3 juta konsumen rumah tangga dengan daya listrik 450 VA dan 8,2 juta konsumen rumah tangga 900 VA. Peralatan listrik yang digunakan pada rumah tangga saat ini semakin bervariasi seperti komputer, power supply, Air Conditioner (AC), lampu LED, dan lampu LHE. 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. 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. 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 sekering akibat panas yang dihasilkan, menurunkan kapabilitas arus rating komponen dan memperpendek umur peralatan isolasi pada peralatan pensaklaran dan proteksi, mengakibatkan kesalahan pembacaan pada peralatan ukur Listrik [1][2][3].

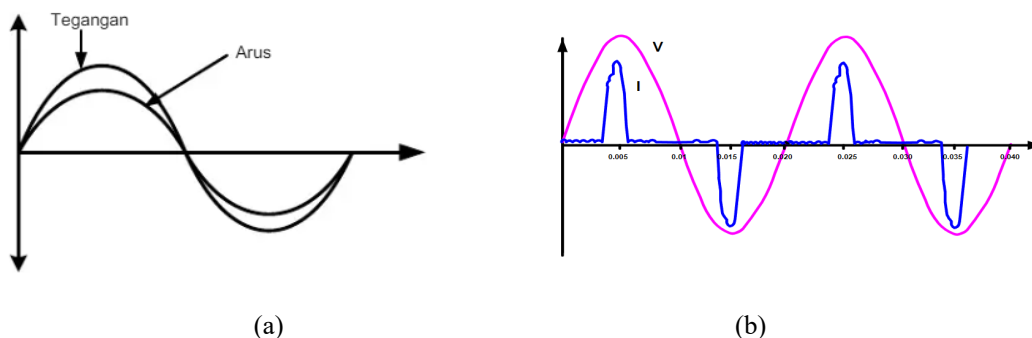
Munculnya harmonisa dalam suatu instalasi rumah tangga juga dipengaruhi dengan siklus penggunaan peralatan listrik yang dalam kondisi saat ini merupakan beban campuran atau hibrida. Beban hibrida yang dimaksud merupakan campuran dari beban non linier dan beban linier. Beberapa referensi menyatakan bahwa beban hibrida akan mempengaruhi pembacaan energi meter, oleh sebab itu dalam penelitian ini akan diamati efek pemasangan filter terhadap pembacaan kWhmeter untuk beban rumah tangga yang menarik daya 450 dan 900VA.

Kualitas daya (power quality) memiliki banyak perspektif dan definisi yang berbeda. Kualitas daya yang baik bagi satu perangkat belum tentu baik bagi perangkat lainnya. Peralatan listrik yang semakin kecil dan sensitif terhadap penyimpangan kualitas daya menambah kompleksitas masalah. Kemampuan suatu peralatan listrik untuk bekerja dengan optimal sesuai dengan spesifikasi peralatan adalah salah satu definisi dari kualitas daya listrik. Kualitas daya listrik didefinisikan sebagai tolok ukur kemampuan sistem untuk memberikan pelayanan daya listrik kepada pengguna sehingga peralatan-peralatan yang digunakan pengguna dapat bekerja sesuai dengan spesifikasi dari peralatan tersebut secara kontinu. Namun, pada akhirnya, yang terpenting adalah bagaimana masalah kualitas daya tersebut mempengaruhi peralatan pelanggan.

Kualitas daya mengacu pada keadaan di mana sistem listrik beroperasi dengan tegangan, arus, dan frekuensi yang sesuai dengan standar yang ditentukan. Kualitas daya yang baik penting untuk memastikan kinerja optimal dari peralatan listrik, mencegah kerusakan pada peralatan, dan menghindari gangguan pada sistem listrik. Parameter kualitas daya listrik terdiri dari profil tegangan, arus, faktor daya, frekuensi, dan harmonik dalam bentuk nilai Total Harmonics Distortion (THD) untuk arus dan tegangan [4].

Instalasi rumah tangga termasuk instalasi tegangan rendah adalah instalasi dalam bangunan yang digunakan sebagai tempat tinggal. Yaitu instalasi listrik yang dipasang pada tegangan fasa ke netral 220 Volt sebagai tempat tinggal, ruang kantor, hotel dan sebagainya, serta digunakan sebagai penerangan dan keperluan alat-alat rumah tangga. Yang dimaksud alat-alat rumah tangga adalah peralatan atau perabot rumah tangga yang memerlukan energy listrik untuk memfungsikannya. Contohnya: televisi, pompa air, mesin cuci, blender, lemari es, dan setrika listrik. Instalasi tegangan rendah (Low Voltage, LV) merujuk pada sistem listrik yang mengoperasikan beban dengan tegangan yang relatif rendah [5][6].

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. Proses ini melibatkan penggunaan elemen semikonduktor yang bekerja dalam mode non-linear, yang menghasilkan distorsi pada bentuk gelombang sinusoidal fundamental.



Gambar 1 (a) gelombang tegangan dan arus beban linier; (b) gelombang tegangan dan arus beban non-linier

Pada Gambar 1, pada beban linier (a), bentuk gelombang arus linier terhadap tegangan tegangan masukannya walaupun terkadang terdapat perbedaan sudut fasa antara tegangan dan arus (lagging atau leading). Sedangkan pada beban non-linier (b) bentuk gelombang arus tidak linier terhadap tegangan masukannya.

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) [6][7][8]. Keduanya adalah ukuran nilai efektif (rms) dari bentuk gelombang dan dapat diterapkan pada tegangan atau arus. 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 ( $THD_I$ ) dan distorsi harmonisa tegangan ( $THD_V$ ) ditunjukkan dalam formulasi matematis di Persamaan (1) dan (2)

$$THD_I = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} (I_n)^2}}{I_1} \quad (1)$$

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

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 maka dikenal Total Demand Distortion (TDD) [7][8]. Parameter ini merupakan rasio antara nilai rms dari seluruh komponen harmonisa terhadap nilai arus beban puncak pada frekuensi fundamental yang dapat dinyatakan dalam Persamaan (3).

$$TDD = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} (I_n)^2}}{I_L} \quad (3)$$

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

## 2. METODOLOGI DAN PERALATAN PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan instalasi beban buatan untuk mensimulasikan instalasi rumah daya 450 VA dan 900 VA yang disesuaikan dengan kondisi aslinya. 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. Pada penelitian ini, digunakan lampu LED dan lampu hemat energi (LHE) sebagai beban non linier seperti dalam Gambar 2.



Gambar 2 Rangkaian Percobaan

Percobaan dilakukan pengukuran secara langsung berupa nilai tegangan, arus, daya, kWh, THD tegangan, THD arus. Pada tiap pengujian akan divariasikan beban non linier yang digunakan yaitu LHE, LED, dan gabungan keduanya. Pada penelitian ini dibagi menjadi beberapa langgam atau model dengan periode waktu dan jenis beban saja menyala pada instalasi rumah dalam 24 jam / 1 hari, sebagaimana ditunjukkan dalam Tabel 1 untuk beban 450 VA dan Tabel 2 untuk beban 900VA.

Tabel 2. Pembagian Langgam Beban 450 VA

No	Waktu	Beban	Jumlah	Daya
1.	05.00-10.00	Lampu*	8	44 W
		TV	1	100 W
		Pompa	1	100 W
		Charger	1	30 W
		Rice Cooker	1	350 W
2.	10.00-14.00	Rice cooker	1	100 W
		Kipas	1	100 W
3.	14.00-17.00	Setika	1	300W
		Rice cooker	1	100 W
		TV	1	100 W
4.	17.00-22.00	Lampu*	8	44 W
		TV	1	100 W
		Pompa	1	100 W
		Charger	2	75 W
		Rice Cooker	1	350 W
5.	22.00-05.00	Kipas	1	100W
		Charger	2	45 W
		Lampu*	3	10 W

Tabel 1. Pembagian Langgam Beban 900 VA

No	Waktu	Beban	Jumlah	Daya
1.	05.00-10.00	Lampu*	16	82 W
		TV	1	100 W
		Motor Pompa	1	100 W
		Charger	1	45 W
		Rice Cooker	1	350 W
2.	10.00-14.00	Kulkas	1	100 W
		Rice cooker	1	100 W
		Kipas	2	200 W
		Mesin Cuci	1	200 W
		Setrika	1	300 W
3.	14.00-17.00	Kulkas	1	100 W
		Pompa	1	100W
		Rice cooker	1	100 W
		TV	1	100 W
		Kulkas	1	100 W
4.	17.00-22.00	Kipas	1	100 W
		Lampu*	16	82 W
		TV	1	100 W

### 3. HASIL PERCOBAAN

Hasil percobaan pengukuran untuk beban hibrida , dapat dilihat dalam Tabel 1 dan 2. Selanjutnya disaatyang sama saat pengukuran harmonisa di ukur pula daya aktif (P), daya reaktif (Q) dan daya komplehs (S) untuk mendapatkan daya reaktif harmonisa (D) dengan satuan Var-Harmonisa atau VarH [9][10][11][12]. Hubungan keempat daya tersebut dinyatakan dengan Persamaan (4)

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2 + D^2} \quad \text{atau} \quad D = \sqrt{S^2 - P^2 + Q^2} \quad (4)$$

Tabel 3. Hasil Perhitungan Daya Reaktif Asli dan Daya Reaktif Harmonisa Beban 450 VA

Langgam	Lampu	THD <sub>i</sub>	Q asli	D
05:00 - 10:00	LED	11,8	24,889	60,038
	LHE	16,7	38,579	93,031
	Pijar	2,8	31,180	11,262
10:00 - 14:00	NO	6,1	58,925	7,674
14:00 - 17:00	NO	15,1	42,612	54,076
	LED	17,4	36,594	92,671
17:00 - 22:00	LHE	17,5	44,815	97,425
	Pijar	3,9	295,859	26,838
	LED	34	53,558	37,504
22:00 - 05:00	LHE	37,3	44,37	41,065
	Pijar	1,9	0	0

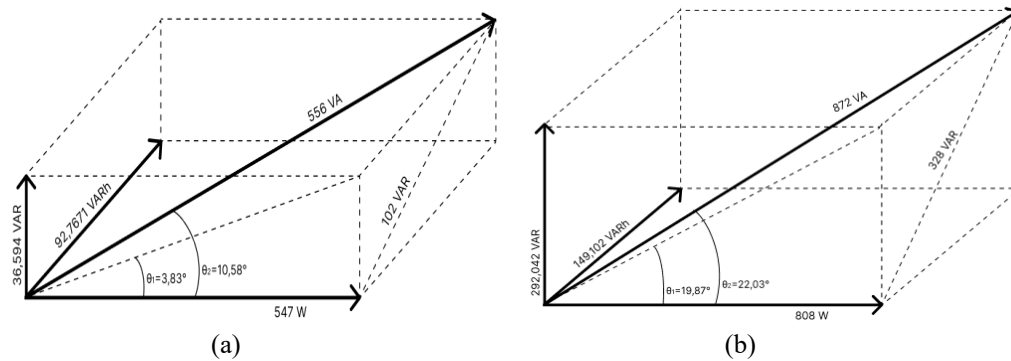
Tabel 10. Hasil Perhitungan Daya Reaktif Asli dan Daya Reaktif Harmonisa Beban 900 VA

Langgam	Lampu	THD <sub>i</sub>	Q asli	D
05:00 - 10:00	LED	12,30	36,849	81,597
	LHE	22,70	76,986	156,452
	Pijar	2,70	0	0
10:00 - 14:00	NO	4,30	384,162	40,152
14:00 - 17:00	NO	5,20	340,736	60,689
17:00 - 22:00	LED	17,10	292,042	149,102
	LHE	20,80	254,418	186,953
	Pijar	1,70	33,695	22,218
22:00 - 05:00	LED	30,90	23,549	66,381
	LHE	40,10	34,348	109,541
	Pijar	4,8	43,993	5,709

Pada tabel diatas terlihat, nilai THD arus akan mempengaruhi nilai daya reaktif dan faktor daya yang sebenarnya pada sistem. Hal ini disebabkan karena komponen harmonisa menghasilkan daya reaktif tambahan, sehingga akan memperbesar daya reaktif total pada sistem.

Siklus pembesaran harmonisa terjadi ketika beban nonlinier mendominasi beban Listrik di rumah dengan daya 450 VA dan 900VA.

Selanjutnya hubungan antara keempat daya dalam bentuk *phase vector* atau phasor ketika pembebanan terjadi diwaktu pukul dengan pembebanan di pukul 17.00 – 22.00 untuk beban rumah tangga 450 VA dan 900 VA dapat disimak pada Gambar 1 (a) dan 1 (b). Berdasarkan ilustrasi tersebut, maka komposisi daya yang terjadi bukan merupakan diagram daya konvensional dalam bentuk segitiga daya, tetapi keberadaan harmonisa membuat hubungan antar daya menjadi tetrahedron.



Gambar 3 (a) Diagram fasor daya 450 VA ketika  $THD_1$  sebesar 17,40%  
(b) Diagram fasor daya 900 VA ketika  $THD_1$  sebesar 17,10%

Dari Tabel 3 dan 4 serta Gambar 3(a) dan 3 (b) 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 adalah 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] S. Sutrisno and D. Suhardi, "Kajian Harmonisa Jaringan Kelistrikan Gedung Kuliah Bersama Kampus C Universitas Airlangga Surabaya," Semin. Keinsinyuran Progr. Stud. Progr. Profesi Ins., vol. 2, no. 1, pp. 12–21, 2022, doi: 10.22219/skpsppi.v3i1.4956.
- [2] 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,
- [3] I. W. A. Merta, I. G. N. Janardana, and I. W. A. Wijaya, "Analisis Pemasangan Filter Pasif Untuk Menanggulangi Distorsi Harmonisa Terhadap Beban Non Linier Di Pt. Wisesa Group," Maj. Ilm. Teknol. Elektro, vol. 16, no. 2, p. 88, 2017, doi: 10.24843/mite.2017.v16i02p16.
- [4] 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.
- [5] S. Raza, S.; Ahmad, M.; Perveiz, "Performance of Energy Meters under Harmonic Generating Environment," Sci. Int., vol. 26, no. 5, pp. 2063–2069, 2014,

- [6] 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.
  - [7] 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.
  - [8] S. P. P. (Persero), "SPLN 57-4:1994 Meter Statis Energi Aktif Arus Bolak-Balik Kelas 1 dan 2," 1994.
  - [9] M. Grady, Understanding power System Harmonics.pdf, no. June. Dept. of Electrical & Computer Engineering University of Texas at Austin, 2006.
  - [10] A. Baggini, Handbook of Power Quality. 2008. doi: 10.1002/9780470754245.
  - [11] 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.
  - [12] IEEE, "IEEE Std 519-2014 (Revision of IEEE Std 519-1992), IEEE Recommended Practice and Requirements for Harmonic Control in Electric Power Systems," IEEE Std 519-2014 (Revision IEEE Std 519-1992), vol. 2014.
-