

Distorsi Harmonisa Pada Pelanggan Domestik Dengan Daya $250 \text{ VA} \leq \text{daya} \leq 2200 \text{ VA}$

Daniel Rohi, Dion Dwipayana Utomo, Ontoseno Penangsang

Abstrak-Makalah ini memaparkan pengaruh penggunaan beban tidak linear terhadap timbulnya distorsi harmonisa khususnya pada pelanggan yang menggunakan daya rendah atau R-1 dengan kapasitas daya $250 \text{ VA} \leq \text{daya} \leq 2200 \text{ VA}$. Dengan mengambil 5 rumah sebagai sampel untuk mengidentifikasi beban yang digunakan, dan melakukan pengukuran untuk mendeteksi distorsi harmonisa. Data yang diperoleh akan digunakan dalam pemodelan dan prediksi tingkat distorsi harmonisa. Pengukuran dilakukan pada beban tidak linier dan kwh-meter di tiap rumah menggunakan Fluke 41 B. Hasil pengukuran kwh-meter untuk mendapatkan analisa tentang V_{THD} , I_{THD} , faktor daya dan frekuensi. Hasil pengukuran dan perhitungan menunjukkan perbedaan yang kecil artinya metode dan proses yang digunakan sudah tepat. Selain itu, V_{THD} berkisar 1,3% - 4,8% atau rata-rata 2.86%, berarti distorsi harmonisa masih dibawah standar yang ditetapkan yakni 5%, begitu juga dengan I_{THD} diperoleh rata-rata 13.7% berarti masih dibawah standar yakni 15%. Pelanggan dengan kapasitas daya rendah tidak memicu distorsi harmonisa. Besarnya harmonisa berbanding lurus dengan peningkatan penggunaan peralatan elektronik tidak linier.

Kata kunci : Beban Tidak linier, Harmonisa, Total Distorsi

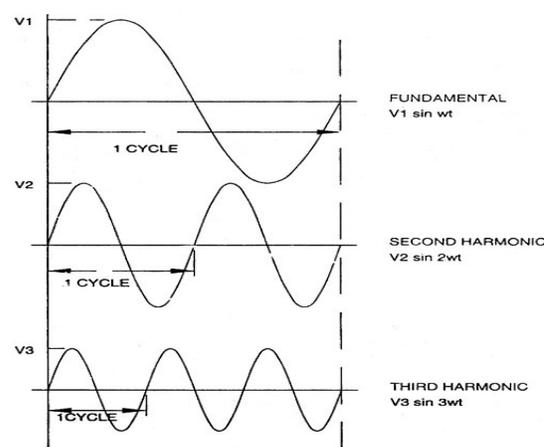
I. PENDAHULUAN

Pelanggan tenaga listrik di sektor domestik menggunakan beban yang variatif seiring dengan perkembangan yang pesat dalam bidang kelistrikan. Penggunaan beban tidak linier seperti; televisi, komputer, microwave, lampu-lampu fluorescent yang menggunakan ballast elektronik, motor-motor listrik yang dikontrol oleh konverter statis terus meningkat dengan pertimbangan efisiensi. Disisi lain, beban tidak linier mengakibatkan mutu daya listrik menjadi menurun salah satunya adalah fenomena harmonisa.

Harmonisa merupakan fenomena yang timbul dari pengoperasian beban listrik yang tidak linier, dimana akan terbentuk gelombang yang berfrekuensi tinggi yang merupakan kelipatan dari frekuensi dasar 50 Hz atau 60 Hz, sehingga bentuk gelombang arus maupun tegangan yang idealnya adalah sinusoidal murni akan menjadi cacat [1].

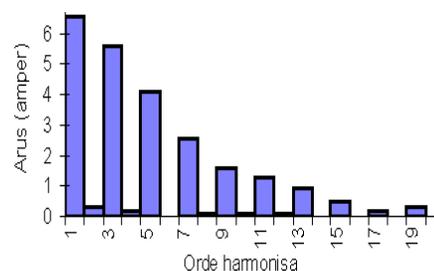
Daniel Rohi dan dua penulis lainnya bekerja pada Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri – Universitas Kristen Petra, Jl. Siwalankerto 121-131 Surabaya 60236. Penulis menyediakan kontak Telp. (031)2983075-77, Fax. (031) 841802, dan email rohi@peter.petra.ac.id

Dalam sistem tenaga listrik arus dan tegangan selalu mengandung harmonisa, karena harmonisa memiliki frekuensi yang berkelipatan *integer* dari komponen gelombang dasarnya [2].



Gambar 1. Signal Sinusoidal Dasar dan Terdistorsi

Gelombang harmonisa yang ketiga terbentuknya menjadi 3(tiga) periode gelombang yang berulang pada saat gelombang yang fundamentalnya masih berlangsung dalam satu periode untuk harmonisa ke-3 dan ke-5 (gambar-1).



Gambar 2. Spektrum Urutan Orde Harmonisa

Harmonisa berdasarkan dari urutan ordenya dapat dibedakan menjadi harmonisa ganjil dan harmonisa genap (Sankaran, p75). Sesuai dengan namanya harmonisa ganjil adalah harmonisa ke 1, 3, 5, 7, 9 dan seterusnya[3]. Perpaduan harmonisa ganjil dengan harmonisa kosong adalah yang paling berbahaya dan merugikan. Harmonisa-harmonisa yang dimaksudkan

adalah harmonisa ke 3, 9, 15 dan seterusnya (gambar-2) [4].

Teori yang dipakai untuk memahami gelombang harmonisa adalah Teori dari deret fourier. Dalam metode fourier series dapat menunjukkan komponen yang genap dan ganjil. Bentuk umum dari persamaan fourier series dapat ditunjukkan ke dalam rumus sebagai berikut [5]:

$$f(t) = A_0 + \sum_{n=1}^{\infty} \left\{ A_n \cos\left(\frac{2\pi n t}{T}\right) + B_n \sin\left(\frac{2\pi n t}{T}\right) \right\} \quad (1)$$

Rumus diatas diperuntukkan untuk gelombang yang berperiode kontinyu yang mana didalam teori fourier menyatakan hal-hal yang mengacu pada persamaan 2 yaitu A_0 (nilai rata-rata dari fungsi $x(t)$), A_n dan B_n (koefisien deret) ketiga koefisien tersebut didapat dengan persamaan :

$$A_0 = \frac{1}{T} \int_{T/2}^{T/2} f(t) dt \quad (2)$$

$$A_n = \frac{2}{T} \int_{T/2}^{T/2} f(t) \cos n\omega t dt \quad (3)$$

$$B_n = \frac{2}{T} \int_{T/2}^{T/2} f(t) \sin n\omega t dt \quad (4)$$

Dimana : n = indeks harmonisa

Berdasarkan persamaan diatas, secara umum harmonisa tegangan dan arus dinyatakan dalam deret fourier :

$$v(t) = \sum_{h=1}^{\infty} A_n \cos (h\omega t + \phi_h) \quad (5)$$

$$i(t) = \sum_{h=1}^{\infty} B_n \cos (h\omega t + \theta_h) \quad (6)$$

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

Total Distorsi Harmonisa (THD) merupakan rasio nilai rms dari komponen harmonisa ke nilai rms dari komponen dasar yang biasanya dinyatakan dalam persen (%). Indeks tersebut digunakan untuk mengukur deviasi dari bentuk gelombang periodik yang mengandung harmonisa dari gelombang sinus sempu Total Distorsi Harmonisa (THD) tegangan dan arus yaitu :

$$V_{THD} = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} V_n^2}}{V_1} \quad (7)$$

Dimana :

V_n = Nilai tegangan harmonisa

V_1 = Nilai fundamental

n = Komponen harmonisa maksimum yang diamati

$$I_{THD} = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} I_n^2}}{I_1} \quad (8)$$

Dimana :

I_n = Nilai arus harmonisa

I_1 = Nilai fundamental

n = Komponen harmonisa maksimum yang diamati

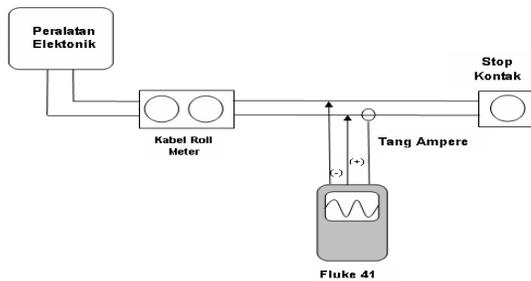
Distorsi harmonisa individu (IHD) adalah rasio antara nilai rms dari harmonisa individual terhadap nilai rms dari dasar. Standar harmonisa yang digunakan adalah standar IEEE-519 [6]. Ada dua kreteria yang biasa digunakan untuk mengevaluasi distorsi harmonisa yaitu; batasan harmonisa pada arus dan batasan harmonisa untuk tegangan. Presentasi (%) I_{THD} adalah presentase jumlah total arus yang terdistorsi oleh harmonisa terhadap frekuensi fundamentalnya. Untuk menentukan presentasi (%) I_{THD} tergantung dari besarnya rasio dari I_{sc} dan I_L . V_{THD} adalah persentase jumlah total tegangan yang terdistorsi oleh harmonisa terhadap frekuensi fundamentalnya. Presentasi (%) V_{THD} ditentukan tergantung pada tegangan sistem yang dipakai.

Untuk mengidentifikasi kehadiran harmonisa pada sistem distribusi dapat diketahui melalui langkah-langkah sebagai berikut [7]: Pertama identifikasi jenis beban. Jenis Menginventarisir peralatan apa yang dipakai oleh konsumen yang berpotensi menimbulkan harmonisa terdapat pada instalasi konsumen tersebut. Kedua pemeriksaan transformator Untuk transformator yang memasok beban non linier arus sekundernya perlu dilihat baik pada fasa maupun netral. Apabila arus netralnya lebih besar, maka dapat diperkirakan adanya triplen harmonisa. Ketiga pemeriksaan tegangan netral tanah. Terjadinya arus lebih pada kawat netral (untuk sistem 3 fasa dan 4 kawat) dapat diketahui dengan melihat tegangan netral-tanah pada keadaan berbeban. Apabila tegangan yang terukur lebih besar dari 2 V, maka terdapat indikasi adanya masalah harmonisa. Ketiga langkah tersebut akan menjadi acuan untuk memeriksa timbulnya masalah harmonisa disisi pelanggan.

II. METODE

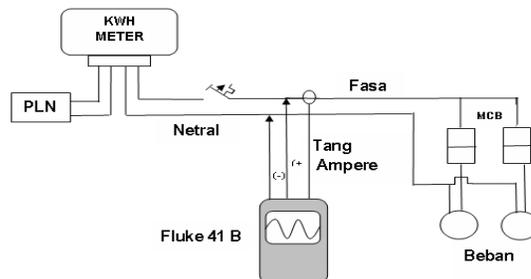
Pengambilan data melalui pengukuran yang dilakukan pada peralatan beban tidak linier pada setiap rumah secara individu (gambar-3) dan secara keseluruhan dalam setiap rumah (gambar-4) data yang diambil

dibatasi hanya 5 (lima) rumah. Alat ukur yang adalah *Power Harmonics Analyzer Fluke 41 B*. Alat ukur *power harmonics analyzer* digunakan untuk mengukur besarnya tegangan, arus, daya, *power factor* (faktor daya) dan tingkatan kandungan harmonisa[6]. Pengukuran pada Kwh-meter di setiap rumah dilakukan pada waktu beban puncak yang berada pada pukul 17.00-20.00. Hal tersebut dilakukan karena pada waktu beban puncak sebagian besar peralatan elektronik difungsikan.



Gambar 3. Rangkaian Pengukuran Pada Peralatan Elektronik

Data yang telah didapat untuk dimodelkan di dalam perangkat lunak ETAP PowerStation versi 4.0.0 C. Data yang telah dimodelkan akan disimulasikan dalam perangkat lunak ETAP PowerStation versi 4.0.0 C. Dari hasil simulasi akan dilakukan prediksi terhadap beban-beban yang terdapat pada pelanggan domestik.



Gambar 4. Rangkaian Pengukuran Pada Kwh-Meter 1 Fasa

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

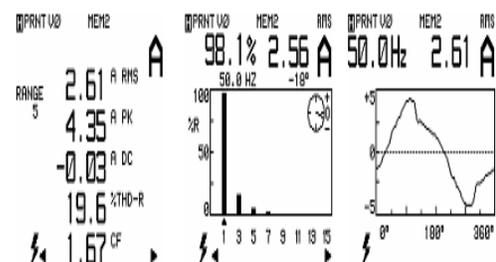
Hasil pengukuran dan perhitungan dibandingkan untuk kemudian dievaluasi berdasarkan standar harmonisa yang telah ditetapkan. Pengukuran dilakukan sebanyak dua kali yakni pertama secara individu yaitu mengukur setiap beban tidak linier yang ada di rumah masing-masing dan kedua mengukur di KWH meter untuk mengetahui efek harmonisa secara sistem di satu rumah.

Perhitungan dilakukan untuk mendapatkan perbandingan arus hubung sigkat (I_{sc}) dan arus beban (I_L), dan I_{THD} . Hasil pengukuran dan perhitungan (tabel-1). Hasil perhitungan dan pengukuran menunjukkan hasil yang relatif hampir sama artinya peralatan yang dipakai untuk melakukan pengukuran cukup presisi

Tabel 1. Evaluasi Total Distorsi Arus Harmonisa (I_{THD})

Dari kelima rumah yang diukur diperoleh total distorsi arus harmonisa berkisar antara $6,97\% \leq I_{THD} \leq 21,80\%$ sedangkan hasil perhitungan berkisar antara $6,56\% \leq I_{THD} \leq 21,90\%$. Kalau diambil rata-rata, maka untuk perhitungan diperoleh prosentasi I_{THD} sebesar 13,89% sedangkan hasil pengukuran diperoleh prosentasi I_{THD} sebesar 13,52%. Selisih antar perhitungan dan pengukuran hanya 0,37%. Perbedaan yang tidak signifikan antara pengukuran dan perhitungan menunjukkan bahwa proses perhitungan dan pengukuran telah dilakukan dengan tepat. Kalau diambil rata-rata, maka baik perhitungan maupun pengukuran masih dibawah satandard yang diijinkan atau dalam ambang batas aman yakni 15%. Secara terpisah atau masing-masing terlihat bahwa dua rumah yang memiliki harmonisa melebihi standar baik secara pengukuran maupun perhitungan. Hal ini disebabkan jumlah peralatan tidak linier yang dipergunakan lebih banyak dibandingkan ketiga rumah yang lain, jumlah beban tidak linier akan menghasilkan gelombang yang kemudian menimbulkan harmonisa pada gelombang arus fundamental.

Kelebihan juga tidak seberapa yakni hanya sekitar 4,2% dan untuk perhitungan sebesar 32%. Dengan demikian untuk rumah golongan R-1 gangguan harmonisa arus berpotensi besar untuk terjadi sekitar 40% dari keseluruhan rumah yang diamati. Dengan demikian rumah berdaya rendah berpotensi terjadi gangguan harmonisa apabila penggunaan beban tidak linier bertambah.



Dalam melakukan perhitungan, standar yang dipakai adalah standar dari IEEE 519-1992. Waktu melakukan perhitungan THD tegangan digunakan standar untuk tegangan dibawah 69 kV, kemudian dari hasil pengukuran yang telah diperoleh dilakukan perbandingan dengan standar yang sesuai untuk tegangan dibawah 69 kV. Dari hasil perbandingan tersebut dapat diketahui apakah nilai dari hasil pengukuran yang telah dilakukan melebihi batas yang diijinkan atau tidak. Berdasarkan data yang dikumpulkan terlihat bahwa total distorsi tegangan harmonisa untuk rumah daya kecil (R-1) masih dibawah standar (tabel 2).

Untuk memperjelas akan diberikan contoh perhitungan untuk mendapatkan V_{THD} pada rumah di Jalan Diponegoro yaitu :

$$\begin{aligned}
 V_{THD} &= \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^k V_n^2}}{V_1} \times 100\% \\
 &= \frac{\sqrt{V_3^2 + V_5^2 + V_7^2 + V_9^2 + \dots + V_{31}^2}}{V_1} \times 100\% \\
 &= \frac{\sqrt{1,17^2 + 2,04^2 + 1,45^2 + 0,59^2 + \dots + 0,01^2}}{99,94} \times 100\% \\
 &= \frac{2,86175}{99,94} \times 100\% \\
 &= 2,86\%
 \end{aligned}$$

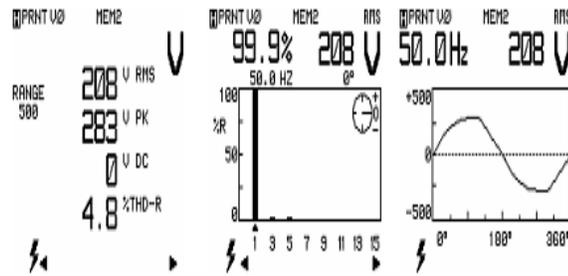
TABEL 2. EVALUASI TOTAL DISTORSI TEGANGAN HARMONISA (V_{THD})

Lokasi Rumah	V_{THD} (%)			Evaluasi
	Pengukuran	Perhitungan	Standar	
Jl. Diponegoro	2.9	2.86	5	Dibawah Standar
Jl. Dr.Wahidin	4.8	4.75	5	Dibawah Standar
Jl. Pattimura	1.8	1.97	5	Dibawah Standar
Jl. Kutisari Utara	3.4	3.38	5	Dibawah Standar
Jl.Kutisari Selatan	1.4	1.41	5	Dibawah Standar

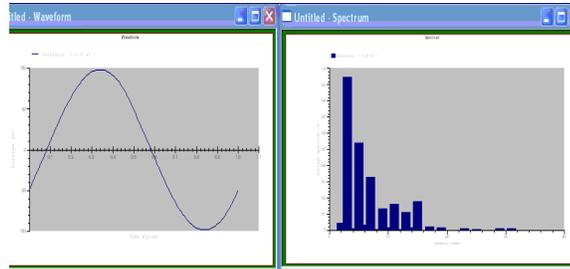
Hasil perhitungan diperoleh prosentasi V_{THD} berkisar antara 1.4%-2.9%, kalau dirata-rata diperoleh prosentasi V_{THD} 2.86%. Hasil perhitungan diperoleh prosentasi V_{THD} berkisar 1.4%-4.8%, kalau diambil rata-rata maka, Prosentasi V_{THD} 2.87%. Data ini menunjukkan perbedaan antara perhitungan dan pengukuran hampir tidak ada karena hanya selisih 0.01%. Hal ini menunjukan bahwa hasil yang diperoleh sangat baik atau asumsi yang dipakai untuk perhitungan sudah sangat tepat. Dengan demikian metode dan formula yang dipakai untuk perhitungan dapat dipertanggungjawabkan.

Kenyataan ini membuktikan bahwa pada pelanggan kecil dengan kapasitas daya yang rendah tidak rentan terhadap distorsi harmonisa, karena rumah golongan R-1. Prosentasi V_{THD} berkisar antara 1.4% - 4.8% dan kalau dirata-rata menjadi 2.86%. Angka ini, masih dibawah standar yang diijinkan yakni 5% dengan silisih berkisar antara 0.2%-4.6%. Dengan kata lain pengaruh distorsi harmonisa tidak signifikan untuk pelanggan dengan daya yang kecil. Kalaupun presentasinya besar mendekati standar disebabkan oleh besarnya jumlah peralatan tidak linier yang dipakai. Adapun spektrum distorsi harmonisa tidak menunjukan masalah yang berarti atau berbahaya (gambar-5).

Sedangkan hasil simulasi menggunakan perangkat lunak ETAP PowerStatuion versi 4.0.0 C menunjukan hasil yang mendekati hasil perhitungan dan juga hasil pengukuran (gambar 7). Tegangan harmonisa tidak terlalu membahayakan untuk rumah dengan daya yang rendah.



Gambar 6. Spektrum distorsi tegangan harmonisa hasil pengukuran



Gambar 7. Spektrum distorsi tegangan harmonisa hasil simulasi

IV. SIMPULAN

Rata-rata hasil pengukuran dan perhitungan diperoleh bahwa pelanggan dengan daya rendah atau golongan rumah R1 masih dalam ambang batas terhadap distorsi harmonisasi.

Kapasitas distorsi harmonisasi berbanding lurus dengan jumlah peralatan tidak linier yang digunakan oleh pelanggan. Semakin banyak peralatan tidak linier digunakan, maka semakin besar distorsi harmonisa yang ditimbulkan.

Hasil pengukuran dan perhitungan baik untuk prosentasi V_{THD} dan prosentasi I_{THD} didapat tidak ada perbedaan yang signifikan. Hal ini menunjukan proses perhitungan dan pengukuran sudah tepat.

Kelima rumah yang diukur diperoleh total distorsi arus harmonisa berkisar antara $6,97\% \leq I_{THD} \leq 21,80\%$ sedangkan hasil perhitungan berkisar antara $6,56\% \leq I_{THD} \leq 21,90\%$. Data ini menunjukan 40% melebihi standar IEEE yaitu 15%.

Dari hasil simulasi oleh perangkat lunak ETAP PowerStatuion versi 4.0.0 C ditunjukkan bahwa V_{THD} yang dihasilkan dengan perhitungan maupun pengukuran berkisar 1.4% - 4.8% masih dibawah standar IEEE yaitu 5%, walaupun terdapat perbedaan tetapi perbedaan tersebut masih dapat ditoleransi.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Arrilaga, Jos and Watson, Neville. *Power System Harmonics*. Chichester: John Walley and Sons, 2003.
- [2] Skvarenia, Timothy.L and Dewitt, William.E. *Electrical Power and Controls*. New Jersey : Prentice hall. 2001
- [3] Sankaran, C. *Power Quality*. Florida : CRC Press LLC, 2002.
- [4] Buhron, Hernadi and Sutanto, Justin. *Implikasi Harmonisa Dalam Sistem Tenaga Listrik dan Alternatif Solusinya*. PLN Distribusi Jabar. 20 Januari 2007 http://www.plnkc.or.id/library/download/attach_harmonisa%20_yus_her_pln_20%jabar.doc
- [5] Dugan, Roger.C and McGranaghan, Mark.F. *Electrical Power Systems Quality*. New York : McGraw-Hill. 2003.
- [6] *Manual Book Power Harmonics Analyzer Fluke 41B*. New York: Fluke Corporation, July 1995.
- [7] Tribuana, Nanan and Wanhar. *Pengaruh Harmonik Pada Transformator Distribusi*. 1999. 20 Januari 2007.<<http://www.elektroindonesia.com/elektro/ener25.html>>
- [8] Syafrudin, Masri. *Pemodelan dan Prediksi Distorsi Harmonisa Pada Utiliti Listrik Perumahan Yang Disebabkan Oleh Beban Tidak linier*. 2004. 8 Januari 2007. <http://www.les.Eepis-its.edu>