

Audit Distorsi Harmonik Pelanggan Listrik Rumah Tangga 450 VA dan 900 VA di Jawa Tengah

Sapto Nisworo¹⁾

*Mahasiswa Doktoral Jurusan Teknik Elektro dan Teknologi Informasi, Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada
Jalan Grafika 2, Yogyakarta 55281 Indonesia*

¹⁾*Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Tidar
Jl. Kapten S. Parman 39 Magelang 56116 Indonesia
saptonisworo@gmail.com*

²⁾**Hamzah Berahim, ²⁾Tumiran, ²⁾Suharyanto**

²⁾*Jurusan Teknik Elektro dan Teknologi Informasi, Fakultas Teknik
Universitas Gadjah Mada, Indonesia*

Abstract -The quality of electrical power basically is all issues relating to the electrical power, including deviation of the normal condition of voltage, current and frequency. The electronic equipment currently used in households generates significant current harmonic distortion. Objective of this research is to mapping the harmonic distortion on household electricity customers 450 VA and 900 VA are using the distribution network together with the industry and customers are separate distribution network with industry. The study was conducted in various regions on Central Java randomly with a load that is used daily and it is divided into two groups. The first group is households with a distribution network separated by a network that is used for industry. The average percentage of total harmonic distortion of current (%THD_i) for an installed power of 900 VA is 37.94%, while customers with 450 VA % THD_i is 49.85%. The second group is households that live around the industry in a network with industry. The average percentage of total harmonic distortion of current (%THD_i) for installed power capacity of 900 VA is 38.83% and for the customer with 450VA have a %THD_i value of 41.29%. Based on the above results and with reference to the IEEE standard number 519 - 1992, really it is to improve the power quality caused by the presence of the harmonic components of current and voltage at the load of household appliances.

Keywords: %THD_i, household load, 3 phase 4 wires

Intisari - Kualitas daya listrik pada dasarnya adalah semua persoalan yang berkaitan dengan daya listrik yang berupa penyimpangan tegangan, arus dan frekuensi dari kondisi normalnya. Perkembangan peralatan elektronik yang dipergunakan pada rumah tangga menghasilkan distorsi harmonik arus yang signifikan. Tujuan penelitian ini adalah untuk memetakan distorsi harmonik pada pelanggan listrik rumah tangga 450 VA dan 900 VA yang menggunakan jaringan distribusi bersama-sama dengan industri dan pelanggan yang jaringan distribusinya terpisah dengan industri. Penelitian dilakukan diperbagai daerah di Jawa Tengah secara acak dengan beban yang dipergunakan sehari-hari dibagi dalam dua kelompok. Kelompok pertama adalah rumah tangga yang jaringan distribusinya terpisah dengan jaringan yang dipergunakan untuk industri. Rata-rata persentase total distorsi harmonik arus (%THD_i) untuk daya terpasang 900 VA adalah 37,94 %, sedang Pelanggan 450 VA %THD_i sebesar 49,85%. Kelompok kedua adalah rumah

tangga yang berdomisili disekitar industri dalam satu jaringan dengan industri. Rata-rata persentase total distorsi harmonik untuk arus (%THD_i) kapasitas daya terpasang 900 VA adalah 38,8 % dan untuk pelanggan 450 VA nilai %THD_i sebesar 41,29%. Berdasarkan hasil penelitian diatas dan dengan mengacu standar IEEE 519 tahun 1992 secara nyata perlu adanya perbaikan kualitas daya listrik yang disebabkan oleh adanya komponen harmonik arus dan tegangan pada beban peralatan rumah tangga.

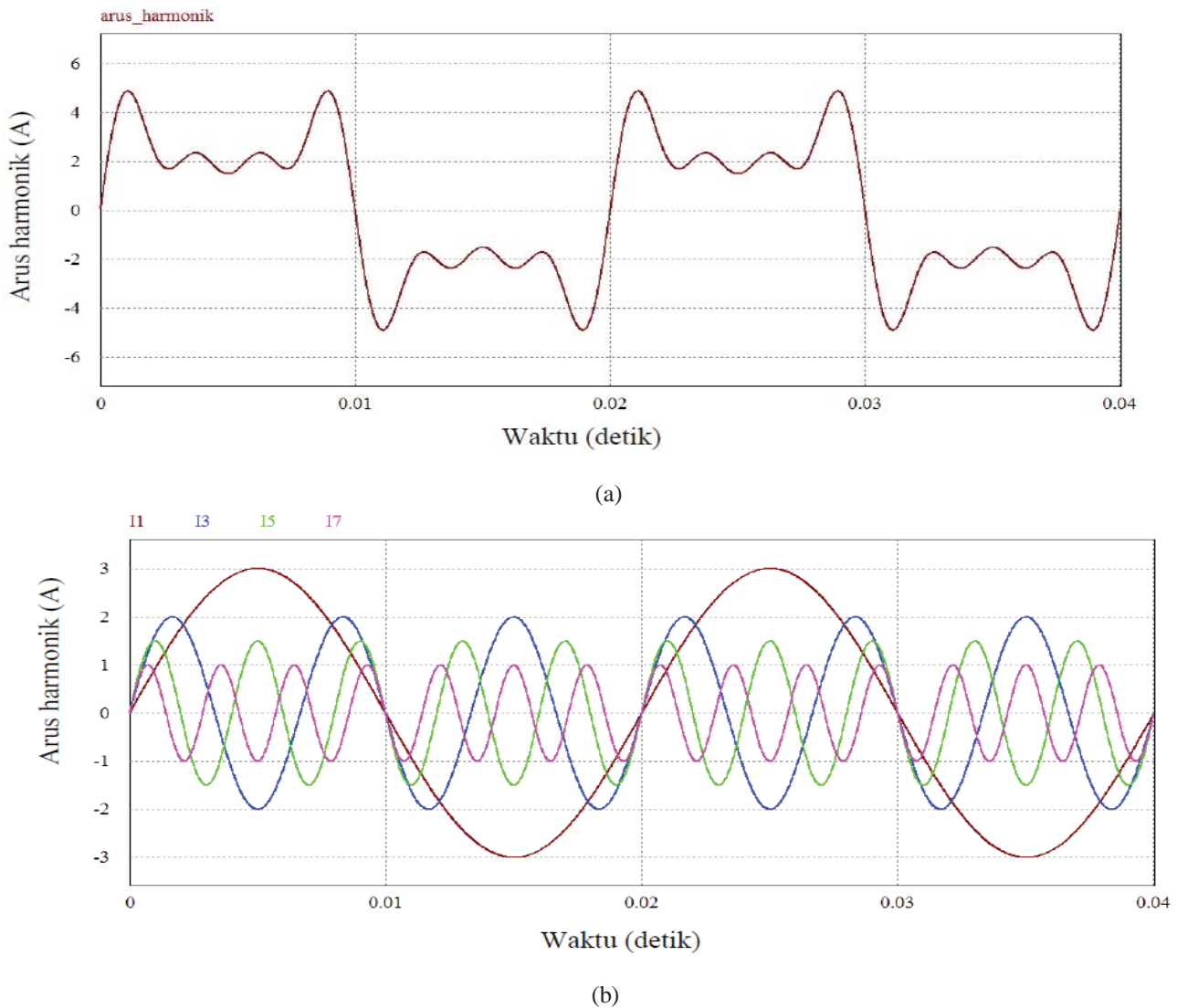
Kata kunci : % THDi, beban rumah tangga, 3 fasa 4 kawat

I. PENDAHULUAN

Kualitas daya listrik telah menjadi fokus utama dalam dekade terakhir sebagai akibat dari peningkatan dalam biaya produksi energi, biaya ke konsumen, serta sebagai perubahan sifat beban listrik. Penggunaan konverter daya elektronik dalam jaringan listrik telah meningkat dalam dekade terakhir, terutama oleh industri, juga oleh konsumen rumah tangga pada umumnya. Sebagai hasilnya semakin memburuknya profil gelombang arus dan tegangan sistem tenaga listrik [1].

Beban pada jaring tenaga listrik terdiri dari 40% beban linear dan 60% beban tidak linier, yang mengakibatkan total distorsi harmonik arus (THD_i) mencapai 86% [2]. Menjadi menarik bahwa jumlah pelanggan listrik rumah tangga di Jawa Tengah dan DIY tahun 2005 untuk semua golongan tarif sebanyak 6.085.753 pelanggan, dengan pelanggan rumah tangga 450 VA sebanyak 3.995.857 pelanggan dan 900 VA sebanyak 1.419.682 pelanggan atau 89% dari total pelanggan. Sampai dengan bulan Mei 2015 tercatat pelanggan tenaga listrik rumah tangga 450 VA sebanyak 5.123.158 pelanggan, dan untuk pelanggan rumah tangga kapasitas daya 900 VA sebanyak 3.192.998 pelanggan atau sebanyak 86% dari total pelanggan listrik PLN (Persero) Jawa Tengah (PT. PLN (persero) Jawa Tengah).

Gambar 1a ditunjukkan gelombang arus yang terdistorsi dan menghasilkan gelombang harmonik, sedang gambar 1b adalah uraian gelombang harmonik yang dimaksud.



- I1 = arus fundamental frekuensi 50 Hz
 I3 = arus harmonik orde 3 frekuensi 150 Hz
 I5 = arus harmonik orde 5 frekuensi 250 Hz
 I7 = arus harmonik orde 7 frekuensi 350 Hz

Gambar 1(a) Representasi gelombang terdistorsi dan (b) uraian gelombang (a)

Pengkajian dampak harmonik beban perumahan modern disistem distribusi tenaga listrik sambungan rumah, banyak menjadi perhatian para pengguna, antara lain dampak lampu hemat energi (LHE) yang mengakibatkan peningkatan %THD_v sekitar 10% [3].

Penggunaan lampu LHE dan lampu LED dewasa ini telah menggantikan lampu pijar biasa pada penerangan rumah tangga. Dampak lebih luas pengaruh penggunaan peralatan yang bersifat tidak linier pada rumah tangga mengakibatkan kualitas daya listrik menurun. Sistem 3 fasa 4 kawat menyebabkan arus harmonik pada saluran netral meningkat [4].

Hampir semua peralatan rumah tangga berbasis komponen elektronik yang menghasilkan komponen harmonik yang menyuntikkan arus harmonik ke sistem jaringan. Harmonik mengalirkan arus ke jaringan dan

mempengaruhi gelombang tegangan dan arus menjadi terdistorsi, menyimpang dari sinyal sinusoida yang murni [5]. Batasan kandungan distorsi harmonik secara internasional mengacu pada standar *The International Electrotechnical Commission* (IEC) dengan peraturan IEC 6100-3-2 dan sandard IEEE nomer 519 tahun 1992.

Pengukuran distorsi harmonik untuk berbagai jenis beban pada beberapa jenis industri meliputi karakteristik dan tingkat kandungan distorsi harmonik pada jaringan tegangan menengah 20 kV dan tegangan pemakaian. Pengukuran THD_i pada saluran fasa jaringan distribusi pada industri diperoleh nilai 5% sampai dengan 70%, pada saluran netral transformator distribusi diperoleh nilai di atas 5%[6] [7]. Teknik pengukuran harmonik pada rumah tangga disebabkan karena beban tidak linier pada

peralatan rumah tangga dan dari sumber PLN dilakukan setelah kWh meter [8].

Pengurangan kandungan distorsi harmonik pada jaringan sistem tenaga listrik pada beban rumah tangga akibat meluasnya penggunaan beban tidak linier dapat menyebabkan distorsi tegangan dan arus pada pelanggan lainnya dan pada jaringan distribusi. Sistem distribusi 3 fasa 4 kawat arus harmonik orde 3 dan kelipatannya (triplen) mengakibatkan arus pada saluran netral meningkat [9].

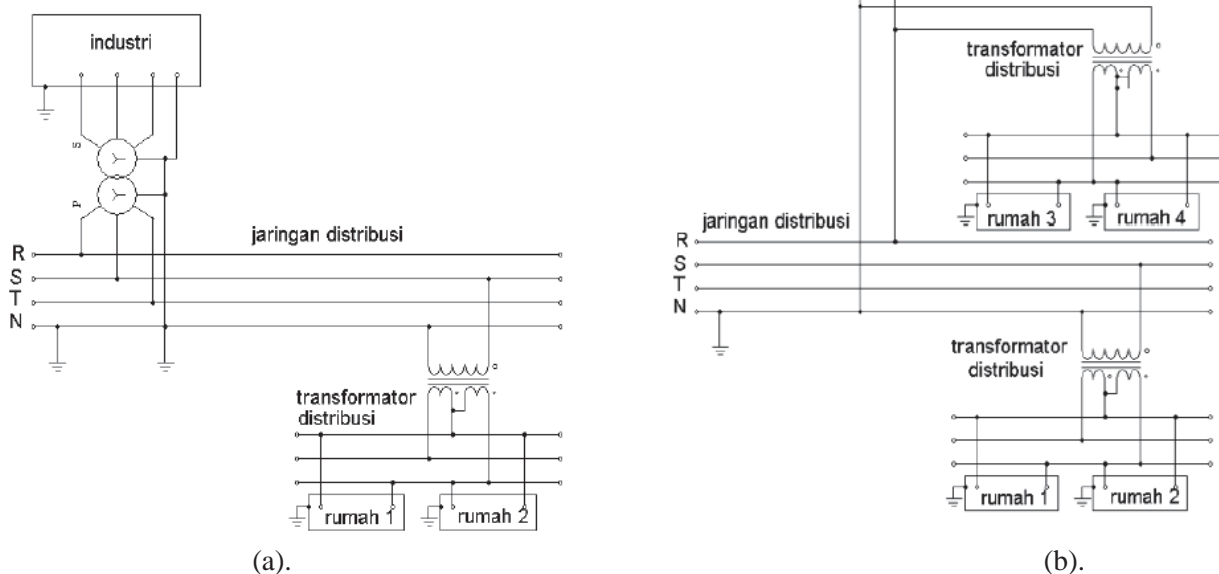
Walaupun berbagai penelitian terkait telah dilakukan, akan tetapi penelitian kandungan harmonik pada pelanggan listrik rumah tangga dengan kapasitas daya terpasang 450 VA dan 900 VA sampai saat ini belum memperoleh jawaban yang memuaskan. Kontribusi yang diberikan dapat menghasilkan kandungan distorsi harmonik sesuai dengan hasil pengukuran %THDi pada pelanggan listrik 900 VA dan 450 VA, sehingga pada saatnya nanti dapat dilakukan upaya untuk mengurangi

kandungan harmonik pelanggan rumah tangga yang dimaksud.

II. PENYALURAN TENAGA LISTRIK KE PELANGGAN

Distribusi tenaga listrik di Jawa Tengah dengan frekuensi kerja 50 Hz menggunakan sistem tiga fasa empat kawat, tegangan antar fasa pada jaringan distribusi 20 kV menggunakan konfigurasi Y-Y dan untuk pencabangan dimungkinkan menggunakan sistem 1 fasa dua kawat dengan pentanahan multi.

Gambar 2a ditunjukkan sistem penyambungan dari jaringan distribusi ke sambungan pelanggan rumah tangga sejarangan distribusi dengan industri dan Gambar 2b adalah sambungan jaringan rumah tangga tidak sejarangan distribusi



Gambar 2 Penyambungan tenaga listrik dari jaringan distribusi ke pelanggan

- Pelanggan rumah tangga sejarangan distribusi dengan industri
- Pelanggan rumah tangga tidak sejarangan distribusi dengan industri

Penurunan tegangan distribusi menjadi tegangan pemakaian menggunakan transformator distribusi. Transformator industri sisi primernya tiga fasa empat kawat dan pada sisi sekunder terdiri dari tiga kawat fasa dan satu kawat netral, sedang penurunan tegangan distribusi menjadi tegangan pemakaian pada rumah tangga menggunakan transformator dengan sisi primer terdiri dari saluran fasa-netral dan belitan sekunder terdiri dari terminal netral dan dua terminal fasa yang satu sama lainnya berbeda sudut 180 derajat.

Gelombang harmonik selalu didefinisikan suatu gelombang distorsi tunak dari gelombang arus dan atau tegangan secara periodik yang tercampur dengan gelombang fundamental. Nilai harmonik selalu diikuti dengan kelipatan bilangan bulat frekuensi fundamentalnya.

Representasi arus listrik bolak balik ditunjukkan pada persamaan (1).

$$i(t) = \frac{1}{2} a_0 + \sum_{k=1}^{\infty} \{a_k \cos(k\omega t) + b_k \sin(k\omega t)\} \quad (1)$$

dengan :

- $i(t)$ = arus listrik periodik fungsi waktu (A);
- a_0 = komponen amplitudo arus searah;
- a_k = komponen amplitudo harmonik fungsi cosinus;
- b_k = komponen amplitudo harmonik fungsi sinusoida;
- k = koefisien harmonik bernilai bulat 1, 2, 3, 4 dan seterusnya

Dengan perbedaan sudut fasa antara arus dan tegangan, maka persamaan (1) menjadi persamaan (2).

$$i(t) = I_{dc} + \sum_{k=1}^{\infty} I_k \cos(k\omega t + \theta_k) \quad (2)$$

dengan:

- $v(t)$ = tegangan pada saat t detik (V);
- V_{dc} = tegangan searah dalam (V);

- V_k = tegangan puncak harmonik ke-k dalam (V);
 ω = kecepatan sudut pada frekuensi dasar (radian/detik);
 θ_k = sudut fase harmonik (derajat);
 k = koefisien harmonik bernilai bulat 1, 2, 3, 4 dan seterusnya.

Total distorsi harmonik (total harmonic distortion = THD) pada sistem tenaga listrik untuk harmonik orde k dari tegangan puncak-puncak pada masing-masing fasa dihitung dengan persamaan

$$\%THD_i = \frac{\sqrt{\sum_{k=2}^{\infty} I_k^2}}{I_1} \quad (3)$$

dengan :

- THD_i = total distorsi harmonik arus dalam satuan dasar A;
 I_1 = nilai arus frekuensi fundamental dalam satuan dasar A;
 I_k = nilai arus harmonik orde k dalam satuan dasar A.

dan untuk harmonik tegangan adalah

$$\%THD_v = \frac{\sqrt{\sum_{k=2}^{\infty} V_k^2}}{V_1} \quad (4)$$

dengan :

- THD_v = total distorsi harmonik tegangan dalam satuan dasar V;
 V_1 = nilai tegangan frekuensi fundamental dalam satuan dasar V;
 V_k = nilai tegangan harmonik orde k dalam satuan dasar V.

Kandungan harmonik arus pada sistem tenaga listrik sistem 3 fasa 4 kawat akan menimbulkan banyak persoalan, antara lain besaran harmonik tersebut akan dijumlahkan pada saluran netral.

III METODE PENELITIAN

A. Obyek Penelitian

Kriteria pelanggan tenaga listrik yang dipergunakan sebagai obyek penelitian disertasi ini adalah:

1. Pelanggan tenaga listrik rumah tangga dengan kapasitas daya terpasang 450 VA dan 900 VA.
2. Pelanggan tenaga listrik rumah tangga yang dimaksud mengijinkan untuk dilakukan pengukuran.
3. Sambungan rumah tenaga listrik untuk pelanggan rumah tangga yang dimaksud terpisah dengan jaringan distribusi yang dipergunakan untuk industri/pabrik, atau sejarangan distribusi dengan industri dengan jarak 10 kms.
4. Pelanggan tenaga listrik rumah tangga yang berdomisili disekitar industri, sambungan rumah untuk pelanggan yang dimaksud dipilih dengan jarak tidak lebih 20 meter dari transformator daya yang dipergunakan.
5. Sampel pelanggan yang diteliti untuk kapasitas daya 450 VA dan 900 VA masing-masing sebanyak 10 pelanggan.
6. Pengukuran harmonik di satu pelanggan dengan pelanggan lainnya dipastikan dengan transformator distribusi yang berbeda.

7. Penelitian harmonik dilakukan secara acak dengan sampel pelanggan PT. PLN (Persero) Kodia Magelang, Kabupaten Magelang, Kabupaten Temanggung, Kabupaten Banjarnegara, Kabupaten Purworejo, Kodia Salatiga, Kabupaten Semarang, Kabupaten Boyolali dan Kabupaten Karanganyar.

B. Metode Penelitian

Penelitian harmonik pada pelanggan tenaga listrik rumah tangga dilakukan meliputi pengukuran kandungan distorsi harmonik pada pelanggan langsung. Penelitian kandungan harmonik pada pelanggan tenaga listrik kapasitas terpasang 450 VA dan 900 VA di wilayah kerja PT. PLN. (Persero) Jawa Tengah meliputi:

- a. Mencari informasi data pelanggan ke-PT. PLN. (Persero) APJ kota setempat.
- b. Mencari ijin dan berkoordinasi dengan petugas PT. PLN (Persero) APJ kota/kabupaten setempat.
- c. Melakukan survei ke-pelanggan yang akan diambil datanya.
- d. Melakukan wawancara dengan pelanggan daya listrik yang akan diambil datanya, tentang maksud dan tujuan pengukuran yang akan dilakukan.
- e. Melakukan pendataan kapasitas daya, tegangan, arus, faktor daya dan sistem operasi alat rumah tangga dan lainnya yang sedang operasi.
- f. Melakukan pengukuran harmonik di konsumen dengan alat yang dipersiapkan, dengan titik pengukuran sesudah kWh meter.
- g. Data dari pelanggan antar kelompok daya dan lokasi dilakukan kalkulasi awal, dari jumlah pelanggan yang diukur antar kelompok terdiri dari 12 pelanggan untuk 450RT, 17 pelanggan listrik untuk 900RT, 22 pelanggan listrik untuk 450IND dan 15 pelanggan listrik untuk 900IND. Hasil perhitungan statistik untuk jumlah data yang berbeda-beda diperoleh nilai yang relatif sama, untuk memudahkan dilakukan penyamaan jumlah pelanggan yang digunakan untuk acuan perhitungan statistik selanjutnya yaitu masing-masing kelompok menggunakan 10 (sepuluh) pelanggan listrik.

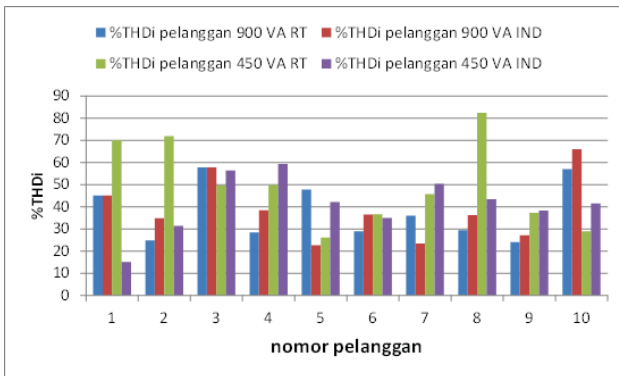
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Pengukuran Harmonik di Pelanggan Rumah Tangga

Selanjutnya pengukuran harmonik pada pelanggan tenaga listrik kapasitas 900 VA sebanyak 10 pelanggan dan 450 VA sebanyak 10 pelanggan. Pelanggan yang dimaksud adalah dalam satu jaringan distribusi dengan yang dipergunakan pada industri, dengan transformator berbeda, dan rumah tangga yang dimaksud berada disekitar industri (pelanggan 900 VA IND dan 450 VA IND).

Perlakuan pemisahan pelanggan tenaga listrik rumah tangga yang sejarangan dengan industri dan pelanggan yang tidak sejarangan dengan industri dimaksudkan untuk melihat apakah ada perbedaan %THD_i yang signifikan antar keduanya. Demikian pula untuk rumah tangga yang berlangganan kapasitas daya 900 VA dan 450 VA bisa

diindikasikan peralatan yang dipergunakan pelanggan 900 VA bisa lebih banyak dan beragam. Berikut gambar 3 ditunjukkan hasil pengukuran dalam bentuk grafis.



Gambar 3 Grafik %THDi pelanggan listrik rumah tangga

Dari nilai THDi Gambar 3 dengan analisis statistik diperoleh informasi bahwa rata-rata %THDi untuk kelompok beban rumah tangga kapasitas daya 900 VA dan kelompok pelanggan tenaga listrik rumah tangga kapasitas daya 900 VA berdomisili disekitar industri dengan jaringan distribusi bersama-sama dengan industri dan kelompok beban dengan kapasitas daya terpasang 450 VA dengan jaringan distribusinya terpisah dengan industri atau sejaring distribusi tetapi dengan jarak minimal 10 kms dan yang terakhir kelompok beban dengan daya terpasang 450 VA dengan lokasi disekitar industri dan menggunakan jaringan distribusi bersama-sama dengan industri diolah dengan statistik ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1 Hasil deskriptif %THDi untuk 4 kelompok Sampel 900RT, 900IND, 450 RT dan 450IND

% THDi	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
					Lower Bound	Upper Bound		
900RT	10	37.9400	13.00574	4.11278	28.6363	47.2437	24.00	57.80
900IND	10	38.8300	14.14379	4.47266	28.7121	48.9479	22.70	66.00
450RT	10	49.8500	19.16265	6.05976	36.1419	63.5581	26.10	82.50
450IND	10	41.2900	12.80282	4.04861	32.1314	50.4486	15.10	59.30
Total	40	41.9775	15.18215	2.40051	37.1220	46.8330	15.10	82.50

Dari Tabel 1 diperoleh informasi (*descriptive*):

- pelanggan 900 VA dengan jaringan terpisah dengan industri (900RT):
 - jumlah masing-masing kelompok data adalah 10;
 - rata-rata THDi sebesar 37,94%;
 - deviasi standar 13,00574;
 - standar error 4,11278;
 - % THDi minimum 24%;
 - % THDi maksimum 57,8%;
 - dengan tingkat kepercayaan 95% atau signifikansi 5%, rata-rata %THDi adalah pada range 28,6363% sampai 47,2437%.
- pelanggan 900 VA dalam satu jaringan dengan industri (900IND):
 - jumlah masing-masing kelompok data adalah 10;
 - rata-rata THDi sebesar 38,83%;

- deviasi standar 14,14379;
- standar error 4,47266;
- % THDi minimum 22,7%;
- % THDi maksimum 66%;
- dengan tingkat kepercayaan 95% atau signifikansi 5%, rata-rata %THDi adalah pada range 28,7121% sampai 48,9479%.

- pelanggan 450 VA dengan jaringan terpisah dengan industri (450RT):
 - jumlah masing-masing kelompok data adalah 10
 - rata-rata THDi sebesar 49,85%;
 - deviasi standar 19,16265;
 - standar error 6,05976;
 - % THDi minimum 26,1%;
 - % THDi maksimum 82,5%;
 - dengan tingkat kepercayaan 95% atau signifikansi 5%, rata-rata %THDi adalah pada range 32,1314% sampai 46,8330%.
- pelanggan 450 VA dalam satu jaringan dengan industri (450IND):
 - jumlah masing-masing kelompok data adalah 10;
 - rata-rata THDi sebesar 41,29%;
 - deviasi standar 12,80282;
 - standar error 4,04861;
 - % THDi minimum 15,1%;
 - % THDi maksimum 59,3%;
 - dengan tingkat kepercayaan 95% atau signifikansi 5%, rata-rata %THDi adalah pada range 32,1314% sampai 50,4486%

Hasil analisis % THDi dengan ANOVA dari 4 (empat) kelompok pelanggan listrik rumah tangga ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2 Hasil tes ANOVA %THDi untuk 4 kelompok sampel 900RT, 900IND, 450 RT dan 450IND

% THDi	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	886.571	3	295.524	1.313	.285
Within Groups	8102.839	36	225.079		
Total	8989.410	39			

Selanjutnya diajukan hipotesis hasil perhitungan:

Ho: tidak terdapat perbedaan %THDi untuk keempat kelompok pelanggan rumah tangga 900RT, 900IND, 450RT dan 450IND;

Ha: terdapat perbedaan %THDi untuk keempat kelompok pelanggan rumah tangga 900RT, 900IND, 450RT dan 450IND;

Pengambilan keputusan adalah bilamana nilai sig > 0,05, maka Ho diterima dan bila nilai sig < 0,05, maka Ho ditolak atau jika F hitung < F Tabel, maka Ho diterima, dan jika F hitung > F Tabel maka Ho ditolak.

Dari hasil perhitungan nilai sig adalah 0,285, angka tersebut lebih besar dari 0,05, maka Ho diterima.

Hasil hitung F adalah 1,313, sedang untuk F Tabel dihitung dengan V1 adalah jumlah kelompok dikurangi 1, adalah 4 dikurangi 1 diperoleh nilai 3, dan untuk nilai V2 adalah jumlah kasus dikurangi dengan jumlah kelompok, maka diperoleh 40 dikurangi dengan 4 hasilnya adalah 36.

Dengan derajat kesalahan 5%, melihat Tabel F diperoleh nilai 2,866, sehingga diperoleh nilai 1,313 < 2,866, dengan hasil tersebut maka H_0 diterima.

Dengan hasil sig yang dibandingkan dengan tingkat kepercayaan 95% dan dengan membandingkan F hitung dan F Tabel, maka diperoleh informasi tidak terdapat perbedaan secara signifikan %THD_i semua pelanggan listrik 450 VA dan 900 VA baik yang menjadi satu jaringan distribusi maupun yang terpisah jaringan distribusinya.

VI. KESIMPULAN

Hasil analisis statistik dari hasil pengukuran %THD_i diperoleh hasil untuk pelanggan rumah tangga kapasitas daya 900 VA dengan jaringan terpisah dengan industri (900RT) diperoleh nilai rata-rata THD_i sebesar 37,94%, %THD_i. Hasil diskriptif pelanggan 900 VA dalam satu jaringan dengan industri (900IND), rata-rata THD_i sebesar 38,83%, %. Sedangkan untuk pelanggan 450 VA dengan jaringan terpisah dengan industri (450RT), rata-rata THD_i sebesar 49,85%, dan untuk pelanggan 450 VA dalam satu jaringan dengan industri (450IND), rata-rata THD_i sebesar 41,29%.

Hasil analisis statistik uji ANOVA diperoleh berkesimpulan tidak terdapat perbedaan %THD_i untuk beban alat rumah tangga untuk keempat kelompok pelanggan rumah tangga.

Dengan hasil tersebut, maka dapat ditarik kesimpulan semua pelanggan tenaga listrik rumah tangga yang berdomisili sejarangan distribusi dengan industri maupun pelanggan yang terpisah jaringan distribusinya dengan industri, berdasar hasil analisis statistik tidak ada perbedaan satu sama lain dalam hal %THD_i. Berdasar dari data pengukuran diperoleh informasi bahwa watak harmonik pada beban peralatan rumah tangga muncul pada orde ganjil. Selanjutnya untuk dapat gambaran

pengurangan harmonik, dapat dilakukan dengan menggunakan satu macam filter harmonik untuk 4 kelompok beban peanggan listrik rumah tangga.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] José Baptista and António M. Moura, "A computer tool for harmonic distortion prediction in low voltage power systems", IEEE, 978-1-4673-0378-1/11, 2011,
- [2] Masri, S., 2004, Analisis Kualitas Daya Sistem Distribusi Tenaga Listrik Perumahan Modern, *Jurnal Rekayasa Elektrika*, Vol. 3 No. 2, pp 1- 6;
- [3] Chen Jiang, Diogo Salles, Wilsun Xu dan Walmir Freitas, "Assessing the Collective Harmonic Impact of Modern Residential Loads—Part II: Applications", IEEE TRANSACTIONS ON POWER DELIVERY, VOL. 27, NO. 4, October 2012, pp. 1947-1955.
- [4] R. K. Rayudu, R. Rigo-Mariani dan M. S. Witherden, "Effect of Multiple Compact Fluorescent Lamp Usage on Residential Power Quality", IEEE, 978-1-4673-2868-5/12, 2012, pp. 1-6.
- [5] Rémy Rigo-Mariani, Ramesh K. Rayudu, Mike S. Witherden dan Edmund M-K. Lai, "Power Quality Indices of Compact Fluorescent Lamps for Residential Use – A New Zealand Study", IEEE, 978-1-4244-6890-4/10, 2010, pp. 647-652.
- [6] Agus Purwadi, Anang Mawardi, Pranyoto, Muhammad Firmansyah, Nana Heryana and Dadan Nurafiat, "Harmonic Characteristics on 20 kV – Medium Voltage Distribution and Low Voltage Network in PT. PLN Distribution West Java and Banten", International Conference on Electrical Engineering and Informatics, Bandung, Indonesia. 17-19 July 2011, pp. E7-1.
- [7] Agus Purwadi, Nana Heryana, Dadan Nurafiat, Anang Mawardi2, Pranyoto and Muhammad Firmansyah, "A Study of Harmonic Impacts on High Voltage, Medium Voltage and Low Voltage Networks in PT. PLN Distribution System", IEEE, 978-1-4673-0378-1/11, 2011.
- [8] José Antenor Pomilio and Sigmar Maurer Deckmann, "Characterization and Compensation of Harmonics and Reactive Power of Residential and Commercial Loads", IEEE TRANSACTIONS ON POWER DELIVERY, VOL. 22, NO. 2. April 2007, pp. 1049 – 1055.
- [9] Hooman E. Mazin, Edwin E. Nino, Wilsun Xu and Jing Yong, 2011, A Study on the Harmonic Contributions of Residential Loads, *IEEE TRANSACTIONS ON POWER DELIVERY*, VOL. 26, NO. 3, July 2011, pp. 1592-1599.