

AUDIT ENERGI LISTRIK RUMAH TINGGAL: PENGHEMATAN ENERGI LISTRIK RUMAH TINGGAL MENGGUNAKAN FILTER PASIF

Bambang Priyandono
Staf Pengajar Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Bandung
E-mail: bambangpriyandono@gmail.com

Abstrak

Audit energi listrik rumah tinggal adalah salah satu metoda untuk mengetahui dan mengevaluasi efektivitas dan efisiensi pemakaian energi listrik pada rumah tinggal. Hasil audit energi diharapkan mampu menentukan efisiensi penggunaan energi listrik per konsumen (rumah tinggal), sehingga konsumen dapat melakukan penghematan energi listrik, serta diharapkan beban energi yang ada dapat dipakai secara maksimal.

Salah satu cara penghematan energi listrik adalah dengan mengurangi distorsi harmonik pada rangkaian instalasi yang disebabkan karena banyaknya penggunaan peralatan elektronika yang non-linier dalam jaringan instalasi rumah tinggal, mulai dari lampu hingga peralatan rumah tangga. Distorsi harmonik ini akan menyebabkan timbulnya rugi daya pada instalasi. Untuk mengurangi distorsi harmonik tersebut dapat dilakukan dengan memasang filter pasif, yang secara teori dapat dipergunakan untuk mengatasi atau memperbaiki arus harmonisa sehingga dapat memperbaiki faktor daya, yang pada akhirnya dapat memperkecil konsumsi energi listrik.

Kata kunci : energi listrik, distorsi harmonik, filter pasif, faktor daya

Abstract

Residential electrical energy audit is one method to determine and evaluate the effectiveness and efficiency of electrical energy consumption in the residential. Energy audit results are expected to determine the efficiency of energy use per consumer (residential), so that consumers can make savings of electrical energy, as well as the expected load available energy can be used optimally. One way to save the electrical energy is to reduce the harmonic distortion in the installation sequence caused by the heavy use of electronic equipment that is non-linear in a residential installation network, ranging from light to household appliances. The harmonic distortion will cause power losses in the installation. To reduce the harmonic distortion can be done by installing a passive filter, which in theory can be used to overcome or improve harmonic currents so as to improve the power factor, which in turn can reduce electrical energy consumption.

Key words: *electrical energy, harmonic distortion, passive filters, power factor*

Pendahuluan

Audit energi tidak lepas dari standarisasi yang digunakan oleh sebagian negara untuk mengetahui pemakaian energi listrik dalam tiap bangunan (rumah tinggal). Standar-standar yang biasa digunakan secara internasional antara lain:

1.SNI 03-6196-2000; prosedur audit pada bangunan gedung.

2. BOCA, *International energi conservation code 2000.*

3. ASHRAE, *Standard 90.1: energi efficiency.*

4. BOMA, *Standard method for measuring floor area in office Buildings*

Standar-standar diatas menentukan secara umum besarnya energi listrik yang boleh dikonsumsi dalam setiap luasan bangunan yang ada.

Dalam rangkaian instalasi listrik rumah tinggal saat ini banyak beban listrik yang menggunakan peralatan elektronika yang non-linier, mulai dari lampu hingga peralatan rumah tangga lainnya yang akan menyebabkan adanya distorsi harmonik pada gelombang listrik, baik pada arus maupun tegangannya. Untuk mengurangi adanya distorsi harmonik karena adanya beban listrik yang menggunakan peralatan elektronika non linier tersebut dapat dilakukan dengan pemasangan filter pasif, sehingga distorsi harmonik yang ada pada gelombang energi listrik, baik arus maupun tegangannya dapat diredam / dikurangi.

2. Proses Audit Energi

Ada 3 tahapan yang dilakukan untuk melaksanakan Audit Energi, yaitu:

A. Audit Energi Awal

Audit energi awal antara lain meliputi data-data yang diperlukan pada audit energi awal yaitu:

- Dokumentasi bangunan.
- Tingkat hunian bangunan (*occupancy rate*). Menghitung besarnya Intensitas Konsumsi Energi (IKE).

Berdasarkan data bangunan dan data energy seperti disebutkan diatas dapat dihitung:

- Rincian luas bangunan dan luas total bangunan (m^2).
- Daya listrik total yang dibutuhkan.
- Biaya pemakaian energy bangunan.

Intensitas Konsumsi Energi (IKE) listrik merupakan istilah yang digunakan untuk mengetahui besarnya pemakaian energy pada suatu sistem (bangunan). Namun energy listrik yang dimaksudkan dalam hal ini adalah energy listrik. Pada hakekatnya Intensitas Konsumsi Energi ini adalah hasil bagi antara konsumsi energy total selama periode tertentu dengan luasan bangunan. Satuan IKE ini telah ditetapkan diberbagai Negara antara lain ASEAN dan APEC.

Menurut hasil penelitian yang dilakukan oleh ASEAN USAID pada tahun 1987 yang dilaporkannya baru dikeluarkan tahun 1992. Target besarnya Intensitas Konsumsi Energi (IKE) listrik untuk Indonesia adalah sebagai berikut:

- IKE untuk perkantoran (komersil): 240 kWh/m² per tahun
- IKE untuk pusat belanja: 330 kWh/m² per tahun
- IKE untuk hotel/apartemen: 300 kWh/m² per tahun

- IKE untuk rumah sakit: 380 kWh/m² per tahun

B. Audit Energi Rinci

Pada proses Audit Energi rinci ini adalah jika ada indikasi pemborosan, baru dilakukan tahapan berikut Lakukan penelitian dan pengukuran konsumsi energi Bandingkan hasil pengukuran dengan standard IKE Identifikasi kemungkinan Peluang Hemat Energi (PHE) Analisis PHE Rekomendasi PHE.

C. Implementasi

Implementasikan rekomendasi dari hasil analisis PHE Re engineering Investasi tambahan Investasi baru Lakukan monitoring dan evaluasi terhadap implementasi Kemungkinan hasil : Baik Ada peluang lebih baik.

3. Intensitas Konsumsi Energi (IKE) Listrik

Konsumsi listrik adalah penggunaan listrik dari setiap peralatan yang memakai energi sebagai konsumsinya, dilakukan perhitungan energi listrik selama satu bulan.

$$\text{Konsumsi listrik (kWh/bulan)} = \text{Daya (watt)} \times \text{waktu pemakaian (jam)} \times 30 \text{ hari} \dots\dots\dots(1)$$

Dan hasil perhitungannya berupa distribusi konsumsi atau penggunaan listrik berdasarkan peralatan yang digunakan.

Intensitas Konsumsi Energi (IKE) adalah perbandingan antara konsumsi energi dengan satuan luas bangunan gedung adapun rumus yang dapat digunakan untuk mendapatkan Intensitas Konsumsi Energi (IKE) adalah sebagai berikut:

$$\text{IKE (kWh/m}^2\text{)} = \frac{\text{Total konsumsi listrik}}{\text{Luas area}} \dots\dots\dots(2)$$

4. Definisi Harmonisa

Harmonisa adalah gangguan yang terjadi pada sistem distribusi tenaga listrik akibat terjadinya distorsi gelombang arus dan tegangan. Gelombang arus dan tegangan ini disebabkan adanya pembentukan gelombang-gelombang dengan frekuensi kelipatan bulat dari frekuensi dasarnya (*fundamental*). Hal ini disebut frekuensi harmonisa yang timbul pada gelombang aslinya sedangkan bilangan bulat pengali frekuensi dasarnya disebut angka urutan harmonik. Misalnya, frekuensi dasar suatu sistem tenaga listrik adalah 50 Hz, maka harmonisa keduanya adalah gelombang dengan frekuensi sebesar 100 Hz, harmonisa ketiga adalah gelombang dengan frekuensi sebesar 150 Hz dan seterusnya. Gelombang-gelombang ini kemudian menumpang pada gelombang murni atau aslinya sehingga terbentuk gelombang cacat yang merupakan jumlah antara gelombang murni sesaat dengan gelombang harmonisanya.

5. Standar Harmonisa

Standar harmonisa berdasarkan standar *Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE)* 519-1992, ada dua kriteria yang digunakan untuk mengevaluasi distorsi harmonisa. Yang pertama adalah batasan untuk harmonisa arus, dan yang kedua adalah batasan untuk harmonisa tegangan. Untuk standar harmonisa arus, ditentukan oleh rasio I_{SC}/I_L . I_{SC} adalah arus hubung singkat yang ada pada PCC (*Point of Common Coupling*), sedangkan harmonisa tegangan ditentukan oleh tegangan sistem yang dipakai.

6. Deret Fourier

Fourier menyatakan bahwa setiap fungsi periodik yang berulang dalam interval waktu T dapat direpresentasikan sebagai penjumlahan dari komponen *sinusoidal* fundamental dengan komponen deret harmoniknya pada frekuensi yang merupakan hasil kali antara bilangan bulat (*integer*) dengan frekuensi fundamentalnya. Gelombang dikatakan memenuhi syarat jika gelombang tersebut periodik dengan periode T bila $f(t) = f(t + T)$ untuk semua t . Jika $f(t)$ periodik, maka deret fourier adalah,

$$f(t) = a_0 - \sum_{h=1}^{\infty} (a_h \cos h\omega t + b_h \sin h\omega t) \dots\dots\dots(3)$$

dengan koefisien a_0, a_h, b_h masing masing adalah:

$$a_0 = \frac{1}{T} \int_0^T f(t) dt \dots\dots\dots(4)$$

$$a_h = \frac{2}{T} \int_0^T f(t) \cos h\omega t. d\omega.t \dots\dots\dots(5)$$

$$b_h = \frac{2}{T} \int_0^T f(t) \sin h\omega t. d\omega.t \dots\dots\dots(6)$$

Berdasarkan deret fourier diatas didapatkan bahwa gelombang yang mengintrodusir harmonisa-harmonisa ganjil yaitu harmonisa ketiga, kelima, ketujuh dan seterusnya.

Tingkat kecacatan seringkali dinyatakan dengan *Total Harmonic Distortion* (THD) yang merupakan perbandingan antara nilai harmonisa terhadap nilai *fundamental*, yang dinyatakan dengan persamaan.

$$THD_i = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} I_h^2}}{I_1} \times 100 \dots\dots\dots(7)$$

$$THD_u = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} U_h^2}}{U_1} \times 100 \dots\dots\dots(8)$$

Dengan I_{rms} dan V_{rms} dapat dinyatakan dengan persamaan sebagai berikut :

$$I_{rms} = \sqrt{I_1^2 + I_2^2 + I_3^2 \dots + I_n^2} \dots\dots\dots(9)$$

$$V_{rms} = \sqrt{V_1^2 + V_2^2 + V_3^2 \dots + V_n^2} \dots\dots\dots(10)$$

9. Faktor daya

Bila arus dan tegangan berbentuk sinusoidal, maka faktor daya (power factor-pf) didefinisikan sebagai cosinus sudut yang dibentuk antara simpangan nol (*zero-crossing*) tegangan dan simpangan nol arus, dengan nol tegangan sebagai acuan.

$$tpf = \frac{1}{\sqrt{((THD_i / 100)^2 + 1)}} \times dpf \dots\dots\dots(11)$$

Tpf merupakan ukuran dari kemampuan daya rangkaian, dengan mencakup seluruh komponen harmonisa. Nilai tpf selalu lebih kecil atau sama dengan dpf (yaitu dalam kasus arus dan tegangan sinusoidal),

7. Filter pasif

Semakin meningkatnya permasalahan mengenai harmonisa (distorsi tegangan dan arus) yang disebabkan semakin banyaknya penggunaan peralatan elektronika yang non-linier untuk mengontrol peralatan listrik dalam sistem distribusi listrik, maka perlu dibuat suatu alat untuk dapat mengatasi permasalahan tersebut. Tujuan pokok dari filter harmonisa adalah untuk mereduksi amplitude frekuensi-frekuensi tertentu dari sebuah tegangan atau arus. Dengan penambahan filter harmonisa pada suatu sistem tenaga listrik yang mengandung sumber-sumber harmonisa, maka penyebaran arus harmonisa ke seluruh jaringan dapat ditekan sekecil mungkin. Selain itu filter harmonisa pada frekuensi fundamental dapat mengkompensasi daya reaktif dan dipergunakan untuk memperbaiki faktor daya sistem.

Filter pasif merupakan salah satu alat yang dapat digunakan untuk mengatasi atau meminimalisasi arus harmonisa dan untuk memperbaiki faktor daya. Filter pasif terdiri dari komponen pasif seperti induktor, kapasitor, dan resistor yang dirangkai dengan komponen harmonisa untuk meminimalisasi arus harmonisa. Filter pasif memiliki beberapa macam bentuk tipe, yaitu : *series passive filter*, *shunt passive filter* dan *low pass broad band passive filter*. *Series* dan *shunt filter* biasanya digunakan dengan ditala hanya pada salah satu frekuensi.

$$f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \dots\dots\dots(12)$$

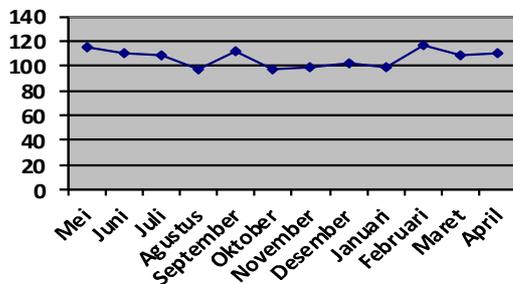
Keterangan:

f_r = frekuensi *setting* (Hz)
 L = induktor (H)
 C = Kapasitor (F)

8. Intensitas Konsumsi Energi Listrik

Untuk bangunan rumah tinggal ini diketahui luas bangunan adalah 63 m² dengan total konsumsi rata-rata perbulan adalah 107,33 kWh/bulan (nilai ini berdasarkan pembayaran rekening listrik rata-rata perbulan dengan nilai sebesar Rp. 68.200,-). Maka untuk menentukan Intensitas Energinya dapat dicari dengan perhitungan sebagai berikut:

$$IKE = \frac{107,33 \text{ kWh/bulan}}{63 \text{ m}^2} = 1,703 \text{ kWh/m}^2/\text{bulan}$$



Gambar 1. Grafik Konsumsi Energi

Tabel 1. Profil Beban Elektronika

No	Nama Peralatan Elektronik	Jumlah (unit)	Daya /unit	Daya Total
1	Lemari Es	1	146 W	146 W
2	Komputer	1	133 W	133 W
3	Pompa air	1	100 W	100 W
4	Lampu HE	9	25 W	225 W
Daya Total				604 W

9. Potensi Penghematan

Dari hasil perhitungan IKE, jika bangunan rumah tinggal ini termasuk kedalam kategori bangunan yang intensitas konsumsinya cukup efisien, sesuai dengan standar PLN, dengan rata-rata pembayaran per bulan Rp. 68.200 didapatkan PHE sebagai berikut:

$$PHE = (1,703-1) \cdot (1\% \times \text{biaya listrik}) \times \text{Luas bangunan} = (1,703 - 1) \cdot (0,01 \times \text{Rp. } 68.200) \times 63 = \text{Rp. } 30.205,-$$

$$\text{Besar penghematan} = \text{biaya rata-rata /bulan} - PHE = \text{Rp. } 68.200 - \text{Rp. } 30.205 = \text{Rp. } 37.995,-$$

Spesifikasi Filter Pasif

- Daya : 900 VA

- Tegangan kerja : 220 volt
- Arus : 0,787 ampere
- Frekuensi : 50 Hz
- Kapasitor : 10 µF ± 5%
- Induktor : 41,68 mH

10. Analisis THDi

Misalnya pada hasil pengukuran gabungan terlihat terdapat 1,99A arus rms fundamental ($I_{rms}=I_1$), pada harmonik ke-3 diperoleh 1,02A, harmonik ke-5 0,33A, harmonik ke-7 diperoleh 0,53A, ... , dan harmonik ke-19 diperoleh 0,06 maka:

$$I_{rms} = \sqrt{I_1^2 + I_3^2 + I_5^2 + \dots + I_n^2} = \sqrt{1,99^2 + 1,01^2 + 0,61^2 + \dots + 0,06^2} = 2,31 \text{ A}$$

Penambahan arus ini ($I_{rms}>I_1$) menyebabkan % THDi menjadi tinggi. Sesuai persamaan, maka dapat diperoleh:

$$THDi = \frac{\sqrt{I_3^2 + I_5^2 + I_7^2 + \dots + I_n^2}}{I_1} \times 100 = \frac{\sqrt{1,01^2 + 0,61^2 + 0,48^2 + \dots + 0,06^2}}{1,99} \times 100 = 64,08 \%$$

11. Analisis THDv

Misalnya pada hasil pengukuran gabungan terdapat 217,7V tegangan *fundamental* ($V_{rms}=V_1$), pada harmonik ke-3 diperoleh 1,0 V, harmonik ke-5 6,8V, harmonik ke-7 2,1 V, ... , dan harmonik ke-19 diperoleh 0 V, maka:

$$V_{rms} = \sqrt{V_1^2 + V_3^2 + V_5^2 + \dots + V_n^2} = \sqrt{217,7^2 + 1,0^2 + 6,8^2 + \dots + 0^2} = 217,8 \text{ V}$$

Penambahan tegangan ini ($V_{rms}>V_1$) mempengaruhi % THDv. Sesuai dengan persamaan, maka dapat diperoleh:

$$THDv = \frac{\sqrt{V_3^2 + V_5^2 + V_7^2 + \dots + V_n^2}}{V_1} \times 100 = \frac{\sqrt{1,0^2 + 6,8^2 + 2,1^2 + \dots + 0^2}}{217,1} \times 100 = 3,3 \%$$

12. Pengaruh Harmonisa Pada Faktor Daya

Karena besaran hasil pengukuran dengan menggunakan HIOKI untuk faktor daya adalah nilai *power faktor nyata* (tpf), maka untuk nilai

displacement power factor akan dihitung untuk melihat perbandingan terhadap nilai *tpf* faktor daya nyata. Pengukuran pada Kulkas, LHE, Laptop, dan Jetpump adalah sebagai berikut :

$$tpf = \frac{1}{\sqrt{((THD_i / 100)^2 + 1)}} \times dpf$$

$$0.805 = \frac{1}{\sqrt{(0,6408)^2 + 1}} \times dpf$$

$$dpf = 0,805 \times 1,168$$

$$dpf = 0,94$$

13. Pengaruh harmonisa terhadap rugi daya pada beban

Pada sistem distribusi listrik aliran harmonik menurunkan kualitas daya sehingga akan menimbulkan beberapa masalah. Secara garis besar pengaruh harmonik terhadap sistem tergantung dari sumber harmonik.

Dari hasil pengukuran, terlihat jelas bahwa harmonisa pada arus lebih besar jika dibandingkan dengan harmonisa pada tegangan. Sehingga harmonisa arus memiliki implikasi yang besar pula. Dampak utama yang ditimbulkan dari pengaruh harmonisa pada arus adalah mengakibatkan bertambahnya harga nilai rms *fundamental* (awalnya $I_{rms} = I_1$).

Rugi-rugi daya pada beban total yang diukur :

$$I_{rms} = 2,31 A$$

$$P_{rugi-rugi(harmonisa)} = (I_{rms})^2 \times R$$

$$= (2,31)^2 \times R$$

$$= 5,3361R \text{ Watt}$$

$$P_{rugi-rugi(sebelum harmonisa)} = (I_1)^2 \times R$$

$$= (1,99)^2 \times R$$

$$= 3,9601R \text{ Watt}$$

$$Loses\% = \frac{P_{rugi-rugi harmonisa} - P_{rugi-rugi}}{P_{rugi-rugi harmonisa}} \times 100\%$$

$$= \frac{5,3361R - 3,9601R}{5,3361R} \times 100\% = 25,78\%$$

14. Analisis Penggunaan Filter Pasif

Dari hasil pengukuran gabungan yang telah terfilter maka dapat di hitung arus RMS yang mengalir pada beban dan juga total arus harmonisanya, yaitu:

$$I_{rms} = \sqrt{I_1^2 + I_3^2 + I_5^2 + \dots + I_n^2}$$

$$= \sqrt{1,99^2 + 1,02^2 + 0,33^2 + \dots + 0,06^2}$$

$$= 2,26 A$$

$$THDi = \frac{\sqrt{I_3^2 + I_5^2 + I_7^2 + \dots + I_n^2}}{I_1} \times 100$$

$$= \frac{\sqrt{1,02^2 + 0,33^2 + 0,33^2 + \dots + 0,06^2}}{1,99} \times 100$$

$$= 60,17 \%$$

Dari perhitungan di atas di dapatkan hasil perhitungan beban setelah di filter arus harmonisa yang terjadi menjadi 60,17 %, dimana total arus harmonisa ini telah diminimalisasi. Di bandingkan tanpa penggunaan filter pasif total arus harmonisa sebesar 64,08%, dimana hanya terjadi penurunan sebesar 3,91% arus harmonisa. Nilai ini masih sangat jauh dibandingkan standar Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) yaitu sebesar 20 %.

15. Penutup

Dari hasil analisis pemasangan filter pasif pada instalasi listrik rumah tinggal 900 VA, didapatkan kesimpulan:

1. Untuk bangunan rumah tinggal dengan luas bangunan 63 m², biaya rata-rata perbulan Rp. 68.200, konsumsi energy listrik 107,33 kWh/bulan (nilai ini berdasarkan pembayaran rekening listrik rata-rata perbulan), maka didapatkan IKE sebesar 1,703 kWh/m²/bulan. Bangunan rumah tinggal tersebut termasuk kategori **rumah tinggal dengan Intensitas Konsumsi Energi cukup efisien**, karena nilai IKE antara 1,67 kWh/m²/bulan – 2,5 kWh/m²/bulan (Standar PLN).
2. Nilai Harmonisa Tegangan pada beban elektronik yang digunakan pada percobaan masih dalam batas yang diizinkan (sesuai standar IEEE 519-1992) yaitu berkisar 3,4% sampai 4,7%.
3. Pengujian menggunakan filter pasif sama halnya dengan pengujian beban biasa, hanya saja pada sisi sumber di paralelkan dengan filter untuk mereduksi harmonisa. Dengan adanya filter pasif ini, nilai THDi menjadi turun dari 64,08% menjadi 60,17%.

Daftar Pustaka

- Departemen Pertambangan dan Energi, Direktorat Jenderal Listrik dan Pengembangan Energi, *Petunjuk Teknik Penghematan Energi*. Jakarta
- Departemen Energi dan Sumber Daya Mineral, *Penghematan Energi & Air Pada Gedung Perkantoran*. Jakarta

Heriani Hera, Analisa Penghematan Energi Listrik Bidang Pencahayaan di Universitas Widyatama Bandung, 2008

-----, *Harmonisa Pada Lampu Hemat Energi, - http://www.Petra_Christian_universitas_libtrary/junkpe/s1/Elkt/2006/harmonisa.pdf, 2006*

Marjunikadang, Jon. Studi efek harmonisa akibat penggunaan lampu hemat energi (LHE) di rumah tinggal atau rumah toko (ruko).other thesis, Petra Christian University, 2006