

Mereduksi Harmonisa Arus Dan Rugi Daya Akibat Beban Non Linier Dengan Memanage Penggunaan Beban Listrik Rumah Tangga

Hadi Sugiarto

Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Pontianak
e-mail: Hadi.sugiarto09@yahoo.com

Abstract– Peralatan listrik rumah tangga sebagian besar adalah peralatan elektronik yang merupakan beban non linier. Beban ini akan menimbulkan harmonisa yang dapat menyebabkan terdistorsinya arus pada sistim distribusi tenaga listrik. Distorsi arus ini dapat menyebabkan rugi daya dan menurunnya kualitas daya.

Untuk mengurangi distorsi arus dan mengurangi rugi daya akibat beban non linier dapat dilakukan dengan tanpa menggunakan filter, salah satu caranya yaitu dengan memanage/mengkombinasikan beban resistif dan induktif.

Dari hasil simulasi beban yang dilakukan dengan mengkombinasikan beban resistif dan induktif, THDi dapat direduksi berkisar antara 37,45% - 44,75%, faktor daya dapat diperbaiki berkisar antara 14,81% -19,23, rugi daya akibat harmonisa dapat dikurangi berkisar antara 54,07%-97,70% dan rugi daya paling kecil ketika kombinasi beban listrik yang terhubung adalah TV LED, Laptop, lampu LED, rice cooker, kipas angin.

Keywords– Harmonisa, rugi daya, reduksi, beban resistif dan induktif.

1. Pendahuluan

Pada sektor perumahan banyak menggunakan peralatan--peralatan listrik keperluan rumah tangga seperti lampu Hemat Energi (LHE), lampu LED, AC, kulkas, televisi, komputer/laptop, rice cooker, kipas angin, mesin air dan lain-lain.

Sebagian besar peralatan elektronik menggunakan komponen-komponen semi konduktor. Peralatan-peralatan elektronik ini merupakan beban non linier dan akan menimbulkan permasalahan baru, yaitu terjadinya harmonisa pada sistem tenaga listrik. Harmonisa ini dapat menyebabkan gelombang arus dan tegangan menjadi cacat dan tidak sinusoidal lagi, sehingga akan berakibat pada bertambahnya rugi-rugi daya, menurunnya faktor daya dan kualitas daya, serta dapat menimbulkan panas yang berlebihan yang dapat merusak peralatan [7]. Saat ini untuk mengurangi efek harmonisa yang ditimbulkan beban non linier yaitu dengan metode pemasangan filter dimana komponen utama filter adalah komponen R, L atau C, di sisi lain beban listrik yang umum digunakan terdapat beban-beban yang bersifat resistif (R) dan induktif (L).

Pada tesis ini akan dilakukan penelitian mengenai upaya mereduksi harmonisa yang ditimbulkan oleh peralatan-peralatan listrik penghasil harmonisa dengan mengatur penggunaan beban-beban listrik yang bersifat resistif atau induktif.

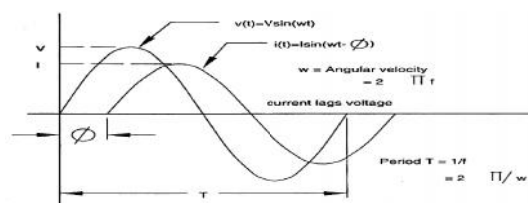
2. Teori Dasar

2.1. Beban Listrik

Pada sistem tenaga listrik dikenal dua jenis beban yaitu beban linier dan beban nonlinier. Sedangkan frekwensi yang digunakan didalam penyaluran daya listrik menggunakan frekwensi tunggal dan konstan serta pada tegangan tertentu, yaitu frekwensi 50 Hz, 220 volt. Beban linier adalah beban yang memberikan bentuk keluaran linier, artinya arus yang mengalir sebanding dengan impedansi dan perubahan tegangan [5].

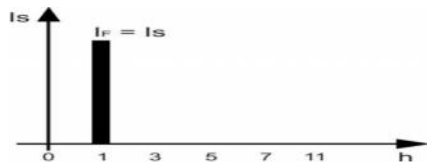
2.1.1. Beban linier

Beban linier adalah beban yang memberikan bentuk keluarannya linier, artinya arus yang mengalir sebanding dengan impedansi dan perubahan tegangan. Gelombang arus yang dihasilkan oleh beban linier akan sama dengan bentuk gelombang tegangan. Apabila diberi tegangan sinusoidal, maka arus yang mengalir ke beban linier juga merupakan sinusoidal sehingga tidak terjadi distorsi dan tidak menimbulkan harmonisa. Beberapa contoh beban linier yang resistif adalah lampu pijar, pemanas, motor induksi kecepatan konstan, seterika, motor sinkron, rice cooker dan lain-lain [6]. Apabila beban-beban linier dihubungkan dengan sumber tegangan sinusoidal, maka gelombang arus dan tegangan yang terjadi seperti ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Gelombang sinus arus dan tegangan

Sedangkan spektrum arus harmonisa pada beban linier yang terjadi pada frekwensi fundamental seperti pada Gambar 2.



Gambar 2. Spektrum arus harmonisa beban linier (Dugan dan Mc Granaghan.2002)

2.1.2. Beban non-linier

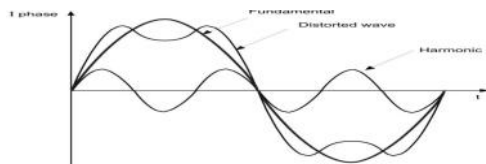
Beban non linier adalah beban yang impedansinya tidak konstan dalam setiap periode tegangan masukan. Dengan impedansinya yang tidak konstan, maka arus yang dihasilkan tidak berbanding lurus dengan tegangan yang diberikan

Beban non-linier yang umumnya merupakan peralatan elektronik yang didalamnya banyak terdapat komponen semi konduktor, dalam proses kerjanya berlaku sebagai saklar yang bekerja pada setiap siklus gelombang dari sumber tegangan. Proses kerja ini akan menghasilkan gangguan atau distorsi gelombang arus yang tidak sinusoidal. Bentuk gelombang ini tidak menentu dan dapat berubah menurut pengaturan pada parameter komponen semi konduktor dalam peralatan elektronik.

Beberapa contoh beban non linier untuk keperluan rumah tangga dan industri[9] adalah;

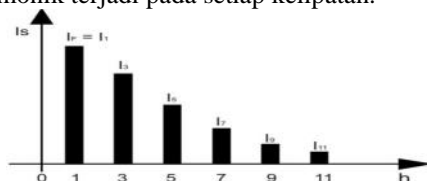
- Peralatan dengan ferromagnetik (transformator, balast magnetik, motor induksi)
- Peralatan yang menggunakan busur api listrik (mesin las, *electric arc furnace*, *induction furnace*)
- Konverter elektronik (penyearah, *charger*, balast elektronik dll)

Apabila beban-beban non linier dihubungkan dengan sumber tegangan sinusoidal, maka gelombang arus dan tegangan yang terjadi seperti ditunjukkan pada Gambar 3. dimana pada gambar tersebut ditunjukkan bentuk gelombang yang terdistorsi akibat adanya penjumlahan gelombang harmonik dan gelombang fundamental.



Gambar 3. Bentuk gelombang fundamental, gelombang harmonisa dan gelombang fundamental yang terdistorsi (Dugan dan Mc Granaghan.2002)

Sedangkan spektrum arus harmonisa pada beban non linier terjadi pada masing-masing kelipatan dari frekwensi fundamental seperti pada Gambar 4 dimana arus harmonik terjadi pada setiap kelipatan.



Gambar 4. Spektrum arus harmonisa beban non-linier (Dugan dan Mc Granaghan.2002)

2.2. Harmonisa

2.2.1. Pengertian harmonisa

Harmonisa merupakan suatu fenomena yang timbul akibat terdistorsinya gelombang sinusoidal secara periodik, yang disebabkan oleh pengoperasian beban listrik yang bersifat nonlinier. Pada dasarnya, gelombang yang mengandung harmonisa, dapat dianggap sebagai penjumlahan gelombang sinusoidal dengan frekuensi-frekuensi yang merupakan kelipatan bilangan bulat dari frekuensi dasarnya. Frekuensi kelipatan dari frekuensi dasar ini disebut dengan frekuensi harmonisa. Bilangan bulat pengali frekuensi dasar tersebut disebut dengan angka urutan harmonisa.

Sebagai contoh jika frekuensi dasar suatu sistem tenaga adalah 50 Hz, maka urutan harmonisa keduanya adalah gelombang dengan frekuensi sebesar 100 Hz (2×50 Hz), harmonisa ketiga adalah gelombang dengan frekuensi sebesar 150 Hz (3×50 Hz), dan seterusnya [4].

$$f_h = n \times f_1 \quad (1)$$

dimana f_h = frekuensi harmonisa
 f_1 = frekuensi fundamental
 n = angka urutan harmonisa

2.2.2. Sumber harmonisa

Harmonisa pada sistem tenaga listrik disebabkan antara lain karena pemakaian beban yang bersifat nonlinier yang berbasis elektronika. Peralatan ini dirancang banyak menggunakan penyearah dan komponen semi konduktor yang dalam proses kerjanya menghasilkan arus dan tegangan non sinusoidal untuk menggunakan arus listrik secara hemat dan efisien karena arus listrik hanya dapat melalui komponen semikonduktor selama priode pengaturan yang telah ditentukan. Di sisi lain hal ini juga akan menyebabkan gangguan gelombang arus dan tegangan yang dapat mempengaruhi kinerja peralatan listrik lainnya.

Peralatan elektronika yang dapat menimbulkan harmonisa antara lain: power supply, televisi, kulkas, sistem AV, laptop, printer, scanner, UPS, *battery charger*, komputer, monitor, oven microwave, lampu fluorescent dengan balast elektronik dll.

2.2.3. Pengaruh harmonisa

Ada beberapa akibat yang ditimbulkan oleh adanya harmonisa dalam sistem tenaga listrik, antara lain adalah [9]:

1. Dengan adanya harmonisa akan meningkatkan nilai efektif (RMS) arus listrik, sehingga rugi-rugi tembaga (I^2R) juga semakin meningkat.
2. Meningkatkan rugi-rugi inti (histeresis dan arus pusar) pada mesin-mesin listrik (misalnya transformator).
3. Meningkatkan nilai efektif tegangan sehingga akan meningkatkan kerapatan medan magnet pada inti besi yang juga akan meningkatkan rugi-rugi inti (transformator).
4. Suhu kerja peralatan juga semakin tinggi dan pada akhirnya akan mengurangi umur peralatan. Selain itu,

meningkatnya rugi-rugi akan menurunkan efisiensi peralatan.

5. Tegangan efektif yang meningkat akibat adanya harmonisa ini juga akan meningkatkan kuat medan listrik yang dipikul oleh isolasi peralatan.
6. Menimbulkan panas yang berlebih pada isolasi kapasitor.
7. Efek kulit (*skin effect*) akan meningkat pada kabel sehingga menaikkan resistansi AC (R_{ac}) yang dapat meningkatkan rugi-rugi.
8. Alat proteksi tidak bekerja secara tepat.
9. Menimbulkan kesalahan pengukuran pada alat ukur.
10. Menimbulkan interferensi pada saluran komunikasi radio, telepon, PLC (*power line carrier*) melalui kopling induktif.
11. Memperburuk faktor daya.

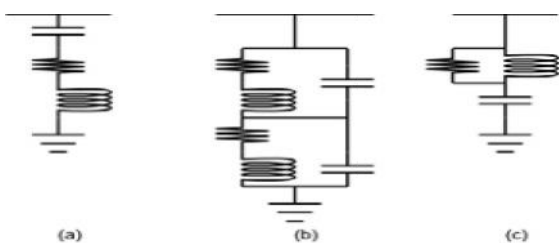
2.2.4. Usaha mereduksi harmonisa

Usaha yang dilakukan untuk mereduksi permasalahan akibat harmonisa dapat bersifat preventif ataupun kuratif. Pendekatan preventif biasanya dilakukan pada masing-masing beban non linear sedangkan pendekatan kuratif dilakukan terhadap harmonisa yang telah menjalar ke sistem tenaga listrik. Dari sudut pandang yang berbeda, investigasi harmonisa dapat juga dilihat berdasarkan pihak yang melakukannya: pengguna listrik atau perusahaan listrik. Pengguna listrik akan menggunakan pendekatan preventif dan perusahaan listrik bertanggung jawab untuk melakukan pendekatan kuratif [9].

Pendekatan kuratif dapat dilakukan dengan menggunakan filter dan reorganisasi jaringan listrik. Dengan filter, harmonisa-harmonisa tertentu dapat dikurangi amplitudonya sampai ke tingkat yang dapat diterima.

2.2.5. Mereduksi harmonisa dengan Filter

Filter-filter harmonik dapat dibagi menjadi dua kelompok: filterpasif(FP) dan filteraktif (FA). Filter pasifterdiri dari susunan kapasitor (C), induktor (L) dan resistor (R). Beberapa konfigurasi filter pasif ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Tiga alternatif filter harmonisa pasif

2.3. Batasan Harmonisa

Batasan sebagai Standar harmonisa yang digunakan pada penelitian ini adalah standar dari IEEE 519-1992. Ada dua kriteria yang digunakan untuk mengevaluasi distorsi harmonisa yaitu batas harmonisa untuk arus (THDi) dan batas harmonisa untuk tegangan (THDv). Batas untuk harmonisa arus ditentukan oleh

perbandingan I_{sc}/I_L . I_{sc} adalah arus hubung singkat yang ada pada PCC (*Point of Common Coupling*), sedangkan I_L adalah arus beban fundamental. Untuk batas harmonisa tegangan ditentukan dari besarnya tegangan sistem yang terpasang atau dipakai. Standar harmonisa yang diizinkan untuk arus berdasarkan IEEE Std 519-1992 dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. IEEE Std 519-1992 Batas Distorsi Arus Pada Sistem Distribusi (120 V sampai 69000 V)

Distorsi Arus Harmonisa Maksimum (% dari I_L)						
Harmonisa Individu (Harmonisa Ganjil)						
I_{sc}/I_L	<11	11< I_{sc}/I_L <17	17< I_{sc}/I_L <23	23< I_{sc}/I_L <35	35>	THD
<20*	4.0	2.0	1.5	0.6	0.3	5.0
20<30	7.0	3.5	2.5	1.0	0.5	8.0
50<100	10.0	4.5	4.0	1.5	0.7	12.0
100<1000	12.0	5.5	5.0	2.0	1.0	15.0
1000>	15.0	7.0	6.0	2.5	1.4	20.0

Harmonisa genap dibatasi 25% di atas batas harmonisa ganjil.
 * Semua peralatan pembangkit dibatasi pada nilai distorsi arus, lebih kurang nilai sebenarnya dari I_{sc}/I_L .
 Dimana:
 I_{sc} = arus hubung singkat maksimum pada PCC
 I_L = arus beban maksimum (pada frekuensi fundamental) pada PCC
 h = harmonic
 PCC = titik kopling terpusat (Point of common coupling)

2.4. Total Harmonic Distortion (THD)

Total harmonic distortion (THD) adalah rasio antara nilai rms dari seluruh komponen harmonik (arus dan tegangan) dan nilai rms dari fundamental [10].

$$THD_V = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} V_h^2}}{V_1} \tag{2}$$

$$THD_I = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} I_h^2}}{I_1} \tag{3}$$

Dimana V_1 = tegangan fundamental

V_h = tegangan pada harmonisa ke-h

I_1 = arus fundamental

I_h = arus pada harmonisa ke h

Secara umum persamaan untuk menentukan V_{rms} dan I_{rms} pada keadaan tanpa harmonisa maupun ada harmonisa adalah :

$$V_{rms} = V_{1rms} \sqrt{1 + \left(\frac{THD_V}{100}\right)^2} \tag{4}$$

$$I_{rms} = I_{1rms} \sqrt{1 + \left(\frac{THD_I}{100}\right)^2} \tag{5}$$

Pada keadaan tidak ada harmonisa

$$V_{rms} = V_{1rms} \text{ dan } I_{rms} = I_{1rms}$$

Dimana : V_{1rms} = tegangan rms fundamental

I_{1rms} = arus rms fundamental

THDv = total harmonic distortion tegangan

THDi = total harmonic distortion arus

2.5. Faktor Daya

Beberapa pengertian yang harus diketahui tentang faktor daya [5]:

1. Faktor daya displacement (Pf_{disp}) adalah perbandingan daya aktif dan daya kompleks pada kondisi normal atau dapat dikatakan faktor daya displacement adalah selisih sudut antara arus dan tegangan pada kondisi normal.
2. Faktor daya distorsi (pf_{dist}) adalah faktor daya yang terjadi akibat adanya distorsi tegangan dan distorsi arus pada kondisi harmonisa.

3. Faktor daya sebenarnya (Pf_{true}) adalah perbandingan antara daya aktif dan daya kompleks pada kondisi harmonisa

2.5.1. Faktor daya beban linier

Bila arus dan tegangan berbentuk sinusoidal, maka PF (*Power Faktor*) didefinisikan sebagai sudut yang dibentuk antara arus dengan tegangan atau sebagai rasio daya aktif dengan daya semu, atau

$$P = V.I. \text{ Cos} \quad \text{atau} \quad P = S. \text{ Cos} \quad (6)$$

Atau $PF = P/S$
 dimana $PF =$ faktor daya
 $P =$ daya aktif
 $S =$ daya semu

2.5.2. Faktor daya beban nonlinier

Bila arus atau tegangan tidak sinusoidal, ada dua definisi umum yang digunakan yaitu *True Power Factor* (Pf_{true}) dan *Distorsi Power Factor* (Pf_{dist}). *True Power Factor* (Pf_{true}) adalah faktor daya sebenarnya akibat adanya harmonisa (beban nonlinier). *True Power Factor* (Pf_{true}) dipengaruhi oleh THD [10].

$$pf_{true} = \frac{P_{avg1}}{V_{rms}I_{rms}} \quad (7)$$

$$pf_{true} = \frac{P_{avg1}}{V_{rms}I_{rms}} \cdot \frac{1}{\sqrt{1+(\frac{THD_V}{100})^2} \sqrt{1+(\frac{THD_I}{100})^2}} \quad (8)$$

dimana :

$Pf_{true} =$ faktor daya sebenarnya pada kondisi beban nonlinier

THD_v = distorsi harmonisa total dari tegangan (%)

THD_i = distorsi harmonisa total dari arus (%)

$P_{avg1} =$ daya rata-rata pada beban nonlinier

$V_{rms} =$ tegangan pada kondisi beban nonlinier

$I_{rms} =$ arus pada kondisi beban nonlinier

Oleh karena THD_v biasanya tidak melebihi 10 % [10] maka faktor daya sebenarnya menjadi

$$pf_{true} = \frac{P_{avg1}}{V_{rms}I_{rms}} \cdot \frac{1}{\sqrt{1+(\frac{THD_V}{100})^2}} = \frac{Pf_{disp}}{\sqrt{1+(\frac{THD_I}{100})^2}} \quad (9)$$

$$\text{Atau} \quad PF = \frac{DPF}{\sqrt{1+(\frac{THD_I}{100})^2}} \quad (10)$$

$$\text{dimana} \quad Pf_{disp} = \frac{P_{avg1}}{V_{rms}I_{rms}} \quad (11)$$

$$Pf_{dist} = \frac{1}{\sqrt{1+(\frac{THD_I}{100})^2}} \quad (12)$$

Dan pada kondisi beban tanpa harmonik $Pf_{true} = Pf_{disp}$

3. Hasil Exsprimen

Untuk mengetahui pengaruh penggunaan peralatan rumah tangga yang bersifat reistif dan induktif dalam mereduksi THD yang disebabkan oleh peralatan listrik

rumah tangga penyebab harmonisa, akan dilakukan simulasi beban rumah tangga yang akan digunakan.

Beban non linier penyebab harmonisa yang digunakan adalah TV analog , TV LED, laptop, lampu LHE dan lampu LED. *Rice cooker* dan kipas angin digunakan sebagai pereduksi harmonik dari THD yang disebabkan oleh beban non linier tersebut. Simulasi beban dilakukan dengan mengatur beban yang akan digunakan. Pengaturan beban listrik peralatan rumah tangga dibagi 2 kelompok, masing-masing terdiri dari beban dasar, beban kombinasi dan beban pereduksi seperti yang diberikan pada tabel dibawah ini.

Tabel 2. Kelompok Beban I

No	Simulasi	Peralatan Listrik	Keterangan Reduksi
1	Beban 1	TV LED, laptop, 4 lampu LED	Sebelum
		TV LED, laptop, 4 lampu LED, <i>rice cooker</i> , kipas angin	Sesudah
2	Beban 2	TV LED, laptop, 4 lampu LHE	Sebelum
		TV LED, laptop ,4 lampu LHE, <i>rice cooker</i> , kipas angin	Sesudah
3	Beban 3	TV LED, laptop, 2 lampu LHE, 2 lampu LED	Sebelum
		TV LED, laptop, 2 lampu LHE, 2 lampu LED, <i>rice cooker</i> , kipas angin	Sesudah

Tabel 3. Kelompok Beban II

No	Simulasi	Peralatan Listrik	Keterangan Reduksi
4	Beban 4	TV Analog, laptop, 4 lampu LED	Sebelum
		TV Analog, laptop, 4 lampu LED, <i>rice cooker</i> , kipas angin	Sesudah
5	Beban 5	TV Analog, laptop, 4 lampu LHE	Sebelum
		TV Analog, laptop, 4 lampu LHE, <i>rice cooker</i> , kipas angin	Sesudah
6	Beban 6	TV Analog, laptop, 2 lampu LHE, 2 lampu LED	Sebelum
		TV Analog, laptop, 2 lampu LHE, 2 lampu LED, <i>rice cooker</i> , kipas angin	Sesudah

3.1. Hasil Pengukuran Simulasi Beban

Hasil pengukuran dari masing-masing Simulasi beban diberikan pada Tabel 4 dan Tabel 5.

Tabel 4. Data Hasil Pengukuran Daya, Faktor Daya Dan Frekwensi

No	Simulasi	P(Watt)	S(VA)	Q(VAR)	PF	DPF	THDi	Frekwensi
1	Beban 1	174	217,7	130,13	0,8	0,98	57,2	50,2
		343	361	112,72	0,95	1,00	31,6	50,3
2	Beban 2	179	229,6	143,66	0,78	0,97	54,9	50,1
		348	374,2	137,13	0,93	1,00	31,7	50,2
3	Beban 3	177	215,9	123,58	0,82	0,98	52,9	50,2
		346	364,2	113,72	0,95	1,00	30,1	50,0
4	Beban 4	198	247,6	148,53	0,80	1,0	60,7	50,2
		367	394,6	145,03	0,92	1,0	38,3	49,9
5	Beban 5	203	266,27	159,76	0,80	1,0	56,6	49,7
		282	306,4	159,76	0,92	1,0	35,4	49,8
6	Beban 6	201	249,3	146,17	0,81	1,0	57,7	50,3
		370	397,8	146,97	0,93	1,0	35,8	50,2

Tabel 5. Data Hasil Pengukuran Tegangan, Arus dan Total Harmonik Distorsi (THD)

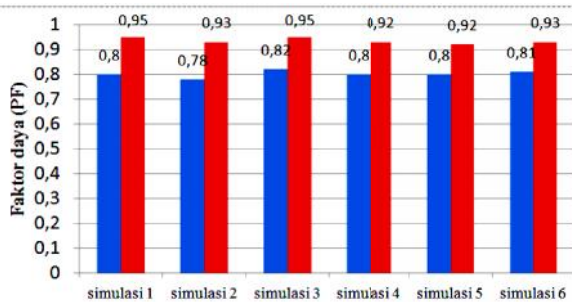
No. Simulasi	Vrms	Irms	THDi	THDv	Kondisi Reduksi
1 Beban 1	198,7	0,95	57,30	7,0	sebelum
	201,8	1,70	31,40	7,3	sesudah
2 Beban 2	200,7	1,00	54,40	8,3	sebelum
	202	1,76	31,70	8,7	sesudah
3 Beban 3	203,3	0,93	52,40	10,0	sebelum
	199,6	1,74	30,0	10,5	sesudah
4 Beban 4	200,4	1,05	60,70	10,6	sebelum
	201	1,82	38,40	10,4	sesudah
5 Beban 5	206,9	1,06	56,40	10,6	sebelum
	206,6	1,88	35,40	10,6	sesudah
6 Beban 6	205,8	1,04	57,70	10,0	sebelum
	206,5	1,80	35,30	10,2	sesudah

4. Analisis Faktor Daya

Berdasarkan data hasil pengukuran pada Tabel 4. didapat nilai faktor daya beban tiap-tiap simulasi beban sebelum dan sesudah direduksi, seperti diperlihatkan pada Tabel 6.

Tabel 6. Persentase Perbaikan Faktor Daya

No.	Simulasi	Perbaikan Faktor Daya (%)
1	Beban 1	18,7
2	Beban 2	19,23
3	Beban 3	15,23
4	Beban 4	16,25
5	Beban 5	15,00
6	Beban 6	14,81



Gambar 6. Faktor daya sebelum dan sesudah THDi direduksi

Dari Tabel 6 dan Gambar 6 menunjukkan bahwa penambahan beban bersifat resistif dan induktif pada beban yang mengandung harmonisa dapat menaikkan faktor daya. Hal ini disebabkan karena penambahan beban yang bersifat resistif atau induktif pada sistem akan menurunkan nilai THDi sistem. Berkurangnya THDi akan meningkatkan faktor daya

4.1. Analisis Rugi Daya

Untuk mengetahui pengaruh beban linier dalam mengurangi rugi daya akibat beban non linier, yaitu dengan menghitung besarnya daya pada frekwensi fundamental dan pada frekwensi harmonisa.

Besarnya daya pada frekwensi fundamental P_1 dapat ditentukan dengan Persamaan 6. Dari data pada Tabel 4 dan 5. Pada Simulasi 1, besarnya:

$$P_1 = 198,7 \times 0,95 \times 0,98 = 184,99 \text{ W}$$

Besarnya daya pada frekwensi harmonisa P dapat ditentukan dengan Persamaan 4, 5 dan 6. Dari data pada Tabel 4 dan 5. Pada Simulasi 1, besarnya:

$$V_{rms} = 198,7 \sqrt{1 + \left(\frac{7,0}{100}\right)^2} = 199,19 \text{ V}$$

$$I_{rms} = 0,95 \sqrt{1 + \left(\frac{57,2}{100}\right)^2} = 1,09 \text{ A}$$

$$P = 199,19 \times 1,09 \times 0,8 = 173,69 \text{ W}$$

$$\begin{aligned} \text{Rugi daya} &= P_1 - P \\ &= 184,99 - 173,69 \text{ W} \\ &= 11,3 \text{ W} \end{aligned}$$

Dengan cara yang sama dapat ditentukan besarnya V_{rms} , I_{rms} , P_1 , P dan rugi daya untuk Simulasi 2 sampai dengan 6. Hasil perhitungan diberikan pada Tabel 7.

Tabel 7. Hasil Perhitungan Rugi Daya

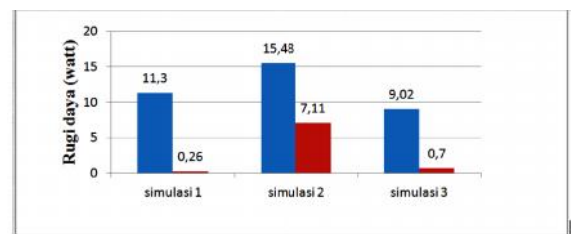
No Simulasi	Vrms (Volt)	Irms (Amper)	P_1 (Watt)	P (Watt)	Rugi Daya (Watt)	Reduksi Rugi Daya (%)	Keterangan Reduksi
1 Beban 1	199,19	1,09	184,99	173,69	11,30	97,70	sebelum
	202,40	1,78	343,06	342,80	0,26		sesudah
2 Beban 2	202,69	1,14	194,68	179,20	15,48	54,07	sebelum
	202,91	1,85	355,52	348,41	7,11		sesudah
3 Beban 3	204,01	1,05	185,29	176,29	9,02	92,23	sebelum
	200,78	1,82	347,30	346,60	0,70		sesudah
4 Beban 4	201,52	1,23	210,42	198,02	12,40	76,85	sebelum
	203,08	1,95	365,82	362,95	2,87		sesudah
5 Beban 5	208,06	1,22	219,31	202,73	16,58	56,57	sebelum
	205,76	1,99	388,41	381,19	7,22		sesudah
6 Beban 6	207,83	1,20	214,03	201,15	12,88	79,58	sebelum
	207,07	1,91	371,07	369,07	2,63		sesudah

4.2. Rugi Daya Kelompok I

Dari Tabel 7, rugi daya kelompok I adalah seperti ditunjukkan pada Tabel 8 dan Gambar 7.

Tabel 8. Hasil Perhitungan Rugi Daya Kelompok I Sebelum dan Sesudah THD Direduksi

No	Simulasi	Peralatan Litrik	Rugi Daya (Watt)	Keterangan (Reduksi)
1	Beban 1	TV LED, Laptop, 4 lampu LED	11,30	Sebelum
		TV LED, Laptop, 4 lampu LED, rice cooker, kipas angin	0,26	Sesudah
2	Beban 2	TV LED, Laptop, 4 lampu LHE	15,48	Sebelum
		TV LED, Laptop, 4 lampu LHE, rice cooker, kipas angin	7,11	Sesudah
3	Beban 3	TV LED, Laptop, 2 lampu LED, 2 LHE	9,02	Sebelum
		TV LED, Laptop, 2 lampu LED, 2 LHE, rice cooker, kipas angin	0,70	Sesudah



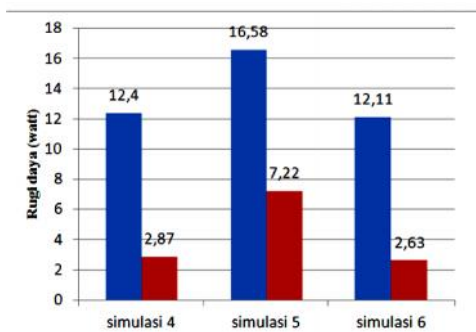
Gambar 7. Rugi daya sebelum dan sesudah direduksi

4.3. Rugi Daya Kelompok II

Dari Tabel 7, rugi daya kelompok II adalah seperti ditunjukkan pada Tabel 9 dan Gambar 8.

Tabel 9. Hasil Perhitungan Rugi Daya Kelompok 2 Sebelum dan Sesudah THD Direduksi

No	Simulasi	Peralatan Listrik	Rugi Daya (Watt)	Keterangan Reduksi
4	Beban 1	TV Analog, Laptop, 4 lampu LED	12,40	Sebelum
		TV Analog, Laptop, 4 lampu LED, rice cooker, kipas angin	2,87	Sesudah
5	Beban 2	TV Analog, Laptop, 4 lampu LHE	16,58	Sebelum
		TV Analog, Laptop, 4 lampu LHE, rice cooker, kipas angin	7,22	Sesudah
6	Beban 3	TV Analog, Laptop, 2 lampu LED, 2 LHE	12,11	Sebelum
		TV Analog, Laptop, 2 lampu LED, 2 LHE, rice cooker, kipas angin	2,63	Sesudah



Gambar 8. Rugi daya sebelum dan sesudah direduksi

Berdasarkan hasil pengukuran dan hasil perhitungan pada Tabel 8. dan Tabel 9, ketika beban yang terhubung merupakan beban non linier, rugi daya yang terjadi lebih besar dari rugi daya ketika beban non linier dikombinasikan dengan beban linier. Hal ini menunjukkan bahwa beban linier dapat mengurangi rugi daya yang disebabkan oleh beban non linier.

4.4. Analisis THDi

Berdasarkan hasil pengukuran pada masing-masing simulasi beban sebelum dan sesudah direduksi, diperoleh THDi rata-rata dan THDi masing-masing orde harmonisa seperti diperlihatkan pada Tabel 10.

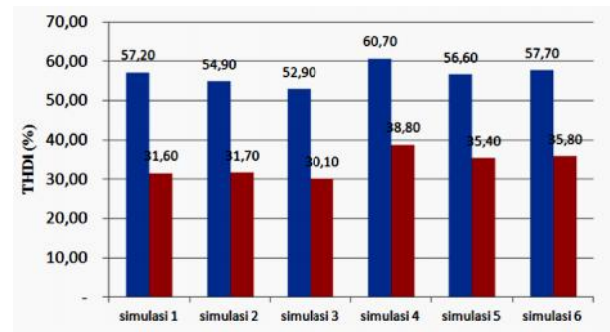
Tabel 10. THDi Simulasi Pada Orde Harmonisa

Simulasi	THDi Rata-rata (%)	THDi Orde ke (%)						Keterangan Reduksi
		1	3	5	7	9	11	
Beban 1	57,2	8,90	4,15	3,82	2,16	0,90	0,23	sebelum
	31,6	17,13	3,93	3,48	1,94	0,64	0,47	sesudah
Beban 2	54,9	10,15	5,79	1,66	2,47	1,17	0,51	sebelum
	31,7	18,27	5,23	1,56	2,10	1,45	0,64	sesudah
Beban 3	52,9	8,96	4,37	2,35	2,12	0,98	0,51	sebelum
	30,1	17,60	4,40	2,38	2,09	0,5	0,42	sesudah
Beban 4	60,7	10,63	6,13	4,31	2,40	0,60	0,83	sebelum
	38,3	19,80	6,13	4,28	2,33	0,7	0,84	sesudah
Beban 5	56,6	12,31	6,99	3,14	2,77	0,81	1,15	sebelum
	35,4	21,07	6,76	2,94	2,59	0,75	1,12	sesudah
Beban 6	57,7	11,14	6,15	3,60	2,55	0,87	0,82	sebelum
	35,8	20,24	6,06	3,57	2,48	0,58	0,95	sesudah

Tabel 11. Persentase Reduksi THDi

No	Simulasi	Reduksi THDi (%)
1	Beban 1	44,75
2	Beban 2	42,25
3	Beban 3	41,50
4	Beban 4	36,90
5	Beban 5	37,45
6	Beban 6	37,95

Dari data pada Tabel 10, penambahan beban listrik bersifat resistif dan induktif dapat mereduksi THDi. Hal ini dapat dilihat pada Gambar 9.



Gambar 9. Penurunan THDi

Dari hasil data pada Tabel 10, ketika beban non linier dikombinasikan dengan beban linier, terjadi penurunan THDi (distorsi harmonik arus). Pada simulasi 1 sebelum beban linier dihubungkan, THDi yang terjadi sebesar 57,20 % dan ketika beban resistif dihubungkan, THDi berkuang menjadi 31,60%. Demikian juga pada Simulasi 2, 3, 4, 5, 6 terjadi penurunan THDi seperti ditunjukkan pada Gambar 9.

Untuk mengevaluasi standar harmonisa arus pada masing-masing simulasi ditentukan dengan rasio I_{sc} / I_L , dimana I_{sc} adalah arus hubung singkat pada panel, sedangkan I_L adalah arus beban. Besar I_{sc} ditentukan dari rating MCB yang terpasang di rumah (obyek penelitian), yaitu $I_{sc} = I_{MCB} = 4 A$. Sedang I_L dihitung menggunakan Persamaan 6 dan data pada Tabel 4 sampai 10.

Untuk Simulasi 1:

$P = 174 \text{ watt}$

$V = 199,19 \text{ volt}$

$PF = 0,8$

$I_L = P / V \cdot PF$

$I_L = 174 / (199,19 \times 0,8) = 1,09 A$

$I_{sc} / I_L = 4 / 1,09 = 3,66$

$$THDi = \frac{\sqrt{I_3^2 + I_5^2 + I_7^2 + I_9^2 + I_{11}^2}}{I_1}$$

$$THDi = \frac{\sqrt{4,15^2 + 3,82^2 + 2,16^2 + 0,90^2 + 0,23^2}}{8,9}$$

$THDi = 2,05$

Dengan cara yang sama dapat dihitung THDi untuk Simulasi 2 sampai dengan 6 hasil perhitungan diberikan pada Tabel 12.

Tabel 12. Hasil Perhitungan THD Orde Harmonisa

No	Simulasi	I_L	I_{sc}/I_L	THDi Orde <11	Standar THDi	Kondisi Reduksi	Keterangan
1	Beban 1	1,09	3,66	2,05	4,0	sebelum	Memenuhi Syarat
		1,78	2,24	1,37	4,0	sesudah	Memenuhi Syarat
2	Beban 2	1,14	3,51	2,08	4,0	sebelum	Memenuhi Syarat
		1,84	2,17	1,40	4,0	sesudah	Memenuhi Syarat
3	Beban 3	1,06	3,79	1,84	4,0	sebelum	Memenuhi Syarat
		1,81	2,21	1,31	4,0	sesudah	Memenuhi Syarat
4	Beban 4	1,23	3,26	2,43	4,0	sebelum	Memenuhi Syarat
		1,95	2,05	1,77	4,0	sesudah	Memenuhi Syarat
5	Beban 5	1,22	3,28	2,63	4,0	sebelum	Memenuhi Syarat
		1,48	2,71	1,73	4,0	sesudah	Memenuhi Syarat
6	Beban 6	1,20	3,33	2,30	4,0	sebelum	Memenuhi Syarat
		1,92	2,09	1,79	4,0	sesudah	Memenuhi Syarat

Berdasarkan hasil perhitungan seluruh simulasi yang diberikan pada Tabel 12, harmonisa yang terjadi pada semua simulasi masih memenuhi syarat, karna THDi yang terjadi masih dibawah 4 berdasarkan syarat THDi yang ditentukan.

5. Kesimpulan

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Penggunaan kombinasi beban linier (kipas angin dan rice cooker) dan non linier (TV, laptop, lampu LHE dan LED) dapat memperkecil distorsi harmonisa arus total (THDi) yang dihasilkan oleh beban non linier. Reduksi THDi oleh beban linier berkisar antara 37,45% - 44,75%.
2. Penggunaan kombinasi beban linier dan non linier dapat memperbaiki faktor beban berkisar antara 14,81% - 19,23%.
3. Pengaruh yang diberikan oleh beban linier memberkan efek pengurangan rugi daya harmonisa yang ditimbulkan oleh beban non linier berkisar antara 54,07% - 97,70%.
4. Rugi daya paling kecil ketika kombinasi beban listrik yang terhubung adalah TV LED, Laptop, lampu LED, rice cooker, kipas angin dan rugi daya paling besar ketika beban yang terhubung adalah TV Analog, Laptop, lampu LHE.

Referensi

- [1]. Dugan C Roger, McGranaghan F. Mark, Santoso surya, Beaty H. Wayne. 2002. *Electrical Power System Quality*. New York: McGraw-Hill.
- [2]. Endi sopyandi, 2010, *Perancangan Single Tuned Filter Untuk Mereduksi Harmonik Arus Dengan Simulasi Program Etap Power Station 5.0.3*, Electrical Engineering Departement, Univesitas Indonesia
- [3]. E.R. "Randy"Collins, Jr., PhD, PE. 2006. *Standardizing Power Quality Monitoring and Measurement Methods*. Dallas: Clemson University Department of Electrical and Computer Engineering.
- [4.] Fika Priliasari, Herri Gusmedi, 2007, *Studi pengaruh Harmonisa pada Arus Listrik Terhadap Besarnya Penurunan Kapasitas Daya (KVA) Terpasang Transformator Distribusi*, Electrician Jurnal Rekayasa dan Teknologi Elektro Volume 1 No.1 edisi September 2007
- [5]. Fluke 43B. April 2001. *Power Quality Analyzer.Applications Guide*. © 2001 Fluke Corporation, All rights reserved. Printed in The Netherlands, All product names are trademarks of their respective companies.
- [6]. Julius Sentosa Setiadji Dkk. 2009. *Pengaruh Harmonisa Pada Gardu Trafo Tiang Daya 100 KVA dDi PLN APJ Surabaya Selatan*. Fakultas Teknologi Jurusan Teknik Elektro Universitas Kristen Petra
- [7]. IEEE Std 519-1992. 1993. *IEEE Recommended Practices and Requirements for Harmonic Control in Electric Power Systems*. © Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc.
- [8]. P.T. PLN, 1995, Standar Perusahaan Listrik Negara 1, Jakarta
- [9]. Ramli Abidin. 2011.*Studi Kualitas Daya Listrik Di Pabrik Pengolahan Minyak SawitParindu PT. Perkebunan Nusantara XII*Studi Kualitas Daya Listrik Di Pabrik Pengolahan Minyak Sawit Parindu PT. Perkebunan Nusantara XIII. Universitas Tanjungpura.
- [10]. Sankaran, C. 2002.*Power Quality*. Florida: CRC Press LLC.

Biografi

Hadi Sugiarto, lahir di Pontinak, 9 mei 1961, Strata 1 di UNTAN tahun 1991, Strata 2 di UNTAN tahun 2015, Sebagai pengajar di Politeknik sejak 1992 hingga sekarang.

