

# Analisis Pengaruh Ketidakseimbangan Kondisi Beban terhadap Harmonik Arus dan Faktor Daya Generator Sinkron Tiga Fasa

**ISMAIL CUMENTAS, WALUYO, NASRUN HARIYANTO**

Jurusan Teknik Elektro - Institut Teknologi Nasional (ITENAS), Bandung

Email: icumentas46@gmail.com

## ABSTRAK

*Harmonik adalah deretan gelombang arus atau tegangan yang frekuensinya merupakan kelipatan bilangan bulat dari frekuensi dasar arus atau tegangan itu sendiri. Adanya harmonik ini dapat mempengaruhi faktor daya dan kinerja dari peralatan-peralatan listrik yang terpasang pada sistem, terutama pada sumber penghasil energi listrik itu sendiri yaitu generator, hal itulah yang mendasari dilakukannya studi analisis ini. Untuk menganalisisnya, maka dilakukanlah penelitian terhadap salah satu kondisi sistem kelistrikan yang dapat menimbulkan harmonik arus pada sistem tersebut yaitu ketidakseimbangan kondisi beban. Proses penelitian dilakukan dalam empat tahapan, yaitu pengukuran tegangan, arus dan faktor daya generator, pengambilan data gelombang harmonik arus beban, pengolahan data harmonik arus beban dan analisis. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa pada saat kondisi beban seimbang, kandungan harmonik arus beban berkisar (0.2-7.3%) dengan faktor daya (0.13-0.98), sedangkan pada saat kondisi beban tak seimbang, kandungan harmonik arus beban berkisar (0.8-8.4%) dengan faktor daya (0.11-0.75).*

**Kata Kunci:** Ketidakseimbangan kondisi beban, harmonik arus, faktor daya.

## ABSTRACT

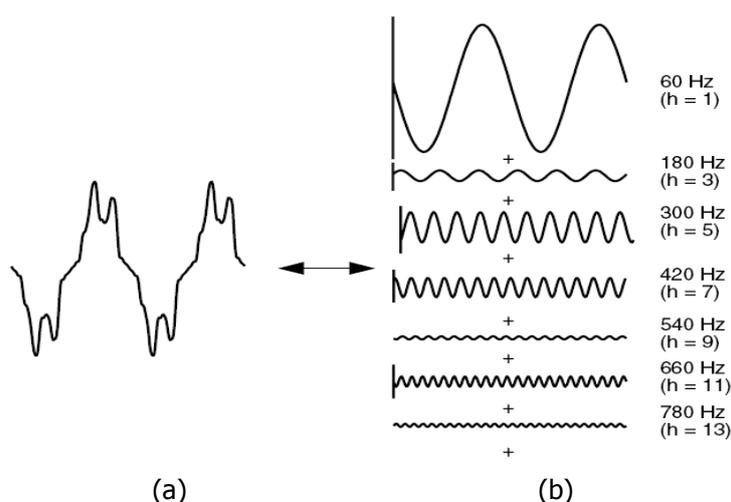
*Harmonics are periodic distortion of sinusoidal voltages or currents whose frequencies are integer multiples of its fundamental frequency. The presence of these harmonics in the power system will give negative effect to power factor and electrical power quality, especially the source of that electrical energy itself, which is generator, and that is the reason why this analysis study was done. To analyze it, a research to one of electrical system condition (unbalanced load condition) that can cause current harmonics was conducted. This research was done in four steps; voltages, currents and power factor measurement, load current harmonics waveform data recording, load current harmonics data processing and analysis. The result shows that under balanced load condition, the total of load current harmonics ranges from (0.2-7.3%) with its power factor (0.13-0.98), while under unbalanced load condition, the total of load current harmonics ranges from (0.8-8.4%) with its power factor (0.11-0.75).*

**Keywords:** Unbalanced load condition, current harmonics, power factor.

## 1. PENDAHULUAN

Seperti yang kita ketahui, di jaman yang serba canggih seperti sekarang ini, kualitas daya listrik mempunyai peranan yang sangat penting di kehidupan kita sehari-hari, baik di bidang industri, telekomunikasi, transportasi, dan lain sebagainya. Istilah kualitas daya listrik itu sendiri adalah suatu konsep yang memberikan gambaran tentang baik atau buruknya mutu daya listrik akibat adanya berbagai jenis gangguan yang terjadi pada suatu sistem kelistrikan. Kualitas daya listrik dikatakan baik jika arus, tegangan dan frekuensinya selalu konstan, akan tetapi pada kenyataannya hal ini tidak selalu demikian (Roger C. Dugan, 2004; Turchan, 2002). Perkembangan teknologi yang begitu pesat serta beragamnya jenis dan kondisi beban yang ada telah mendorong terciptanya berbagai macam gangguan pada sistem kelistrikan. Dan Salah satu permasalahan utama yang sering terjadi atau dijumpai dalam sistem kelistrikan yaitu munculnya harmonik arus ataupun tegangan yang ditimbulkan oleh beban-beban non linier dan ketidakseimbangan kondisi beban.

Pada dasarnya bentuk gelombang tegangan dan arus yang ditransmisikan dan didistribusikan dari sebuah sumber sistem kelistrikan ke beban berupa gelombang sinusoidal murni. Akan tetapi, pada proses transmisi dan distribusi ini seringkali terjadi berbagai macam kondisi dan gangguan yang menyebabkan bentuk gelombang sinusoidal ini menjadi terdistorsi (mengalami harmonik), salah satunya adalah ketidakseimbangan kondisi beban. Ketidakseimbangan kondisi beban pada suatu sistem kelistrikan contohnya sistem tiga fasa empat kawat (*four-wire three-phase system*) dapat menyebabkan munculnya harmonik. Harmonik yang muncul ini adalah harmonik urutan positif, negatif, dan urutan nol. Harmonik-harmonik inilah yang menyebabkan terdistorsinya gelombang arus atau tegangan tersebut. Harmonik sendiri adalah deretan gelombang arus atau tegangan yang frekuensinya merupakan kelipatan bilangan bulat dari frekuensi dasar arus atau tegangan itu sendiri. Harmonik merupakan penyebab utama gelombang arus atau tegangan mengalami kecacatan atau distorsi. Munculnya harmonik pada gelombang *fundamental* dari tegangan atau arus tersebut akan mempengaruhi kualitas daya sistem yaitu dapat menurunkan faktor daya dan kinerja dari peralatan-peralatan listrik yang terpasang pada sistem, terutama sumber penghasil energi listrik itu sendiri yaitu generator.



Gambar 1. (a) Hasil gelombang non sinusoidal yang terbentuk akibat penjumlahan dari gelombang fundamental dan gelombang harmonik (b) penjumlahan gelombang fundamental dan gelombang harmonik ke-3, 5, 7, 9 dan 13. (Roger C. Dugan, 2004)

Gambar 1(a) di atas, menunjukkan hasil gelombang yang terbentuk sebagai akibat dari adanya komponen harmonik yang ikut menginterferensi gelombang *fundamental* dari tegangan atau arus tersebut sehingga menyebabkan bentuknya tidak murni sinusoidal lagi, sedangkan Gambar 1(b) menunjukkan proses penjumlahan dari gelombang *fundamental*-nya (60 Hz) dengan gelombang-gelombang harmonik ke-3, 5, 7, 9 dan 13 yang muncul pada sistem tersebut.

Menurut *Fortesque*, suatu sistem yang tidak seimbang yang terdiri dari  $n$  fasor yang terhubung, dapat diuraikan menjadi  $n$  buah sistem dengan fasor seimbang yang dinamakan komponen-komponen simetris dari fasor aslinya. Satu kesatuan dari  $n$  fasor tak seimbang ini, dipandang sebagai komponen yang terdiri dari  $n$  komponen fasor seimbang, contohnya pada sistem tiga fasa, yaitu : (Firdaus, 1998)

a. Komponen Urutan Positif

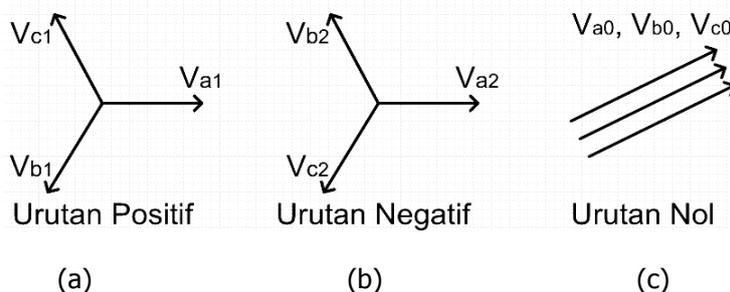
Komponen yang terdiri dari tiga fasa yang sama besarnya, dan terpisah satu sama lainnya dalam fasa sebesar  $120^\circ$ , dengan urutan fasa yang sama seperti fasor aslinya (abc).

b. Komponen Urutan Negatif

Komponen yang terdiri dari tiga fasa yang sama besarnya, dan terpisah satu sama lainnya dalam fasa sebesar  $120^\circ$ , dengan urutan fasa yang berlawanan dengan fasor aslinya (cba).

c. Komponen Urutan Nol

Komponen yang terdiri dari tiga fasa yang sama besarnya, tetapi tidak memiliki perbedaan sudut fasa.



Gambar 2. Komponen fasor seimbang dari fasor tegangan tiga fasa tak seimbang (a)urutan positif (b) urutan negatif (c) urutan nol. (Sudirham, 2012)

Gambar 2(a) di atas menunjukkan tentang komponen fasor seimbang dari fasor tegangan tiga fasa tak seimbang urutan positif, sedangkan Gambar 2(b) menunjukkan tentang komponen fasor seimbang dari fasor tegangan tiga fasa tak seimbang urutan negatif dan Gambar 2(c) menunjukkan tentang komponen fasor seimbang dari fasor tegangan tiga fasa tak seimbang urutan nol. Dapat dilihat bahwa baik komponen urutan positif maupun negatif, masing-masing memiliki selisih sudut fasa sebesar  $120^\circ$ , artinya kemunculan tegangan berselisih  $120^\circ$  secara berurutan. Sedangkan komponen urutan nol tidak memiliki selisih sudut fasa, yang berarti gelombang tegangan di ketiga fasa muncul dan memiliki besar yang bervariasi secara bersamaan. (Sudirham, 2012)

Tabel 1. Urutan (*sequence*) masing-masing komponen harmonik untuk setiap ordenya. (Glen, 1998)

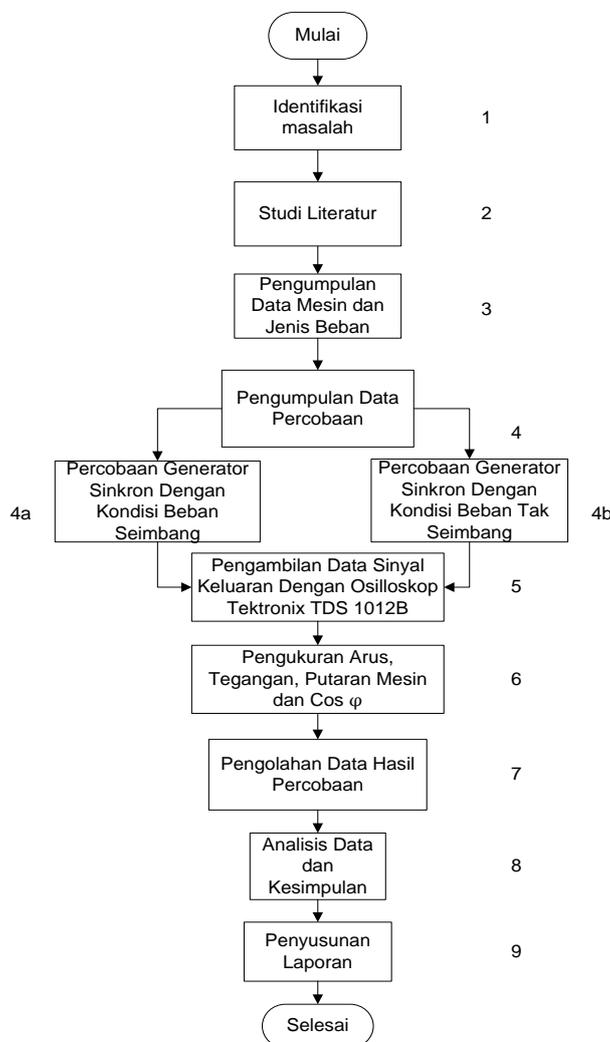
Orde (n)	Frekuensi [Hz]	Urutan
1 (Fundamental)	50	+
2	100	-
3	150	0
4	200	+
5	250	-
6	300	0
7	350	+

Tabel 1 di atas menunjukkan tentang urutan komponen harmonik tegangan atau arus yang muncul pada ketidakseimbangan kondisi suatu sistem kelistrikan. Dapat dilihat bahwa urutan tersebut terus berulang untuk setiap komponen harmonik sampai harmonik orde ke-n.

Seperti yang telah disebutkan sebelumnya, ketidakseimbangan kondisi beban khususnya pada sistem tiga fasa empat kawat (*four-wire three-phase system*) dapat menyebabkan munculnya harmonik. Oleh karena itu, untuk mengetahui dampak yang ditimbulkan oleh ketidakseimbangan kondisi beban tersebut terhadap faktor daya dan harmonik, khususnya harmonik arus, maka dilakukanlah analisis melalui pengujian generator sinkron tiga fasa dalam kondisi beban seimbang dan tak seimbang. Dengan melakukan pengujian tersebut, penulis berharap dapat menganalisis dan memperoleh dampak yang ditimbulkan dari ketidakseimbangan kondisi beban terhadap harmonik arus dan faktor daya generator, memperoleh besar tingkat kandungan harmonik arusnya dan memperoleh besar perubahan faktor daya yang terjadi pada setiap perubahan bebannya.

## 2. METODOLOGI PENGUKURAN

Dalam penelitian ini, proses pengerjaannya dibagi dalam beberapa tahap. Tahap-tahap tersebut diuraikan secara skematis dan sistematis seperti yang terlihat pada diagram alir (*flowchart*) di bawah ini :



Gambar 3. *Flowchart* proses penelitian

Gambar 3 di atas menunjukkan tentang diagram alir (*flowchart*) dari penelitian harmonik arus beban. Diagram alir tersebut menjelaskan tentang proses dan tahapan-tahap yang dilakukan mulai dari pengukuran harmonik arus beban dan faktor daya, sampai penyusunan laporan hasil penelitian. Adapun proses penelitian pengaruh ketidakseimbangan kondisi beban terhadap harmonik arus dan faktor daya generator sinkron tiga fasa ini terdiri dari beberapa tahapan, yaitu sebagai berikut :

### 2.1 Pengumpulan Data Mesin dan Jenis Beban

#### 2.1.1 Spesifikasi Mesin

Untuk menggerakkan generator sinkron, diperlukan sebuah peralatan pendukung yaitu mesin DC yang difungsikan sebagai penggerak mula (*prime mover*). Percobaan dilakukan pada mesin sinkron tiga fasa. Berikut data-data teknis dari mesin yang digunakan tersebut :

- Mesin DC :
  - Daya Keluaran : 3 HP = 746 x 3 = 2238 Watt
  - Armature : 180 V / 10 A
  - Eksitasi : 200 V / 2 A
  - Kecepatan Putar : 1500 rpm
- Mesin Sinkron :
  - Kapasitas : 3 kVA
  - Tegangan : 220 / 380 V
  - Eksitasi : 40 V / 4 A
  - Frekuensi : 50 Hz
  - Fasa : 3
  - Kecepatan Putar : 1500 rpm

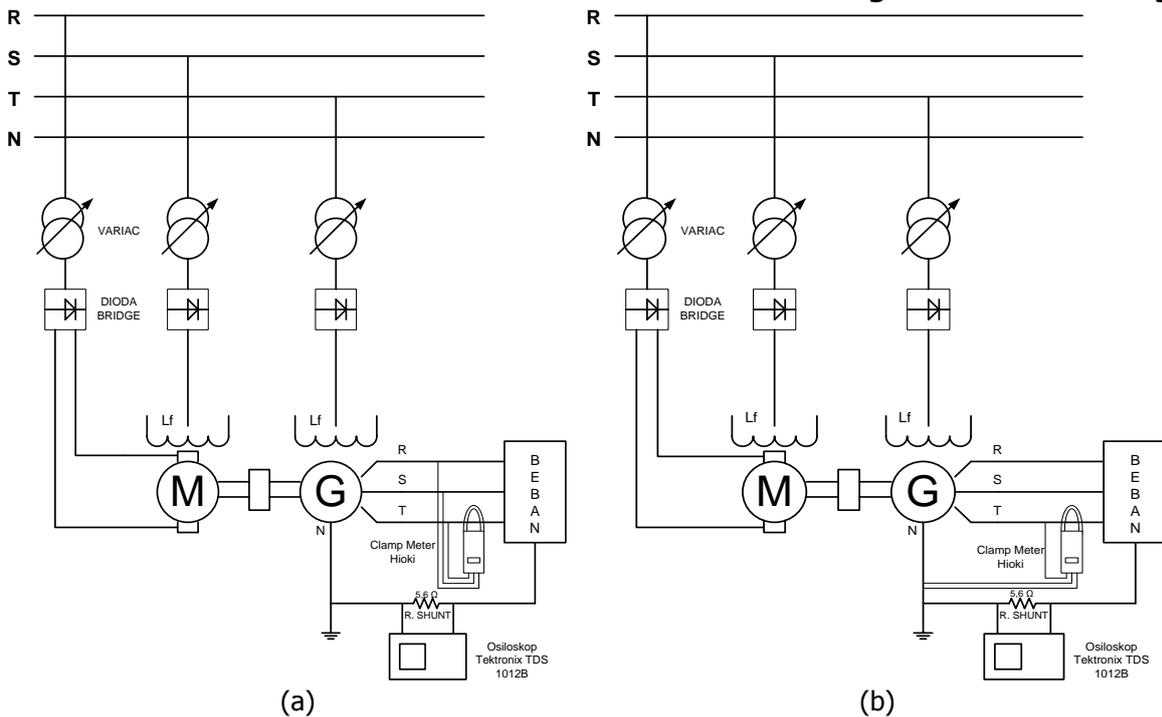
**2.1.2 Jenis Beban**

Adapun jenis beban yang digunakan dalam percobaan ini adalah lampu pijar, dengan spesifikasi sebagai berikut :

- Merk : Philips
- Power : 25 W dan 100 W
- Voltage : 220 – 240 V

**2.2 Pengumpulan Data Percobaan**

**2.2.1 Percobaan Generator Sinkron Kondisi Beban Seimbang Dan Tak Seimbang**



Gambar 4. Rangkaian percobaan generator sinkron (a) kondisi beban seimbang (b) kondisi tak seimbang

Gambar 4(a) di atas menunjukkan tentang rangkaian pengukuran harmonik arus beban dan faktor daya pada kondisi beban seimbang, sedangkan Gambar 4(b) menunjukkan tentang rangkaian pengukuran harmonik arus beban dan faktor daya pada saat kondisi beban tak seimbang. Jika dilihat secara sekilas, kedua rangkaian pengukuran harmonik arus beban seperti yang ditunjukkan pada kedua Gambar 4(a) dan 4(b) di atas sama-sama memiliki

rangkaian yang sama, akan tetapi kedua rangkaian tersebut memiliki perbedaan, yaitu dalam hal pengukuran arus, tegangan dan faktor dayanya dengan menggunakan alat ukur digital *Clamp On Power Hitester* Hioki3286-20 . Seperti yang dijelaskan pada *manual bookClamp On Power Hitester*Hioki 3286-20 mengenai penggunaan alat ukur tersebut dengan benar, disarankan pada kondisi seimbang, ketiga keluaran kabel (R, S, T) dari alat ukur dapat langsung dihubungkan ke tiga titik fasa sistem yang ingin diukur, sedangkan untuk kasus kondisi tak seimbang, disarankan kedua keluaran kabel fasa (S dan T) dari alat ukur dihubungkan ke titik fasa netral sistem dan fasa R-nya dihubungkan ke titik fasa yang ingin diukur.

### 2.3 Pengolahan Data Harmonik Arus Beban dan Faktor Daya

Dalam menganalisis kandungan harmonik arus atau tegangan pada suatu sistem kelistrikan, ada dua kriteria yang umumnya digunakan, yaitu batas harmonik untuk arus (THDI) dan batas harmonik untuk tegangan (THDV). Adapun standar harmonik yang digunakan pada penelitian ini adalah standar dari IEEE 519-1992.

Untuk mencari batas harmonik arus dan tegangan tersebut, kita dapat menggunakan persamaan berikut : (De La Rosa, 2006)

$$THDI = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} I_h^2}}{I_1} \times 100\% \quad (1)$$

$$THDV = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} V_h^2}}{V_1} \times 100\% \quad (2)$$

Selain itu, adanya harmonik arus pada sebuah sistem kelistrikan dapat menyebabkan nilai rms total dari arus tersebut menjadi meningkat, sehingga menyebabkan menurunnya faktor daya (*power factor*) dari sistem tersebut. Hal ini dapat dilihat dari hubungannya antara arus total rms dengan *distortion power factor* pada persamaan berikut ini : (Skvarenina, 2004)

$$Pf_{har} = \left( \frac{1}{\sqrt{1 + (THD)^2}} \right) \quad (3)$$

## 3. DATA PENGUKURAN DAN PEMBAHASAN

### 3.1 Percobaan Generator Sinkron Kondisi Beban Seimbang Dan Tak Seimbang

- Pengambilan data sinyal harmonik arus dibatasi sampai dengan orde ke-20.
- Pengukuran arus dan tegangan keluaran serta faktor daya generator diukur dengan menggunakan alat ukur digital *Clamp On Power Hitester* Hioki 3286-20. Sedangkan pengambilan data sinyal keluaran generator sinkron dengan menggunakan Osiloskop

Tektronix TDS 1012B.

- Pengambilan data menggunakan osiloskop Tektronix TDS 1012B dibantu dengan memasang resistor shunt sebesar 5,6 Ohm;10 Watt untuk keamanan osiloskop pada saat proses pengambilan data.
- Pengambilan data harmonik arus beban menggunakan osiloskop Tektronix TDS 1012B dilakukan pada sisi netral antara generator dan beban.
- Kecepatan putar dan tegangan generator dijaga konstan pada nilai nominalnya.

Tabel 2. Data pembebanan generator, (a)kondisi beban seimbang (b)kondisi beban tak seimbang

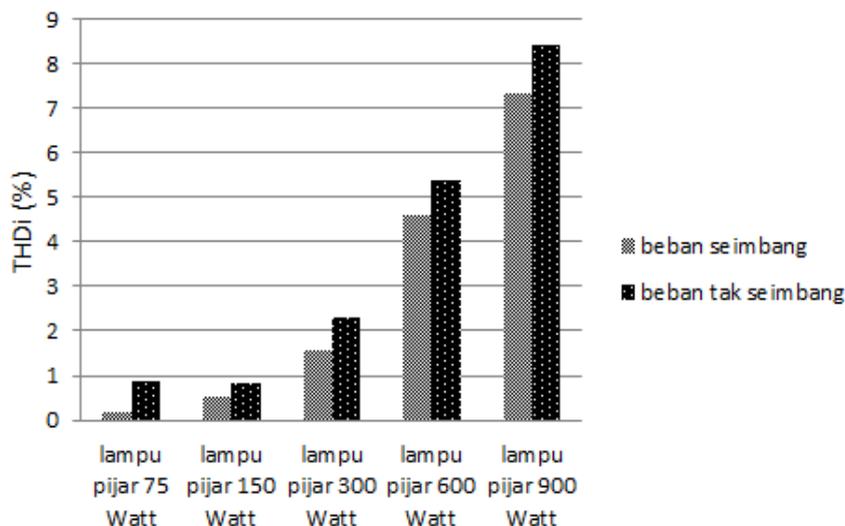
Beban [Watt]			Io [A]			THD [%]	Pf dist	Beban [Watt]			Io [A]			THD [%]	Pf dist
R	S	T	R	S	T			R	S	T	R	S	T		
25	25	25	0.11	0.11	0.10	0.185	0.98	75	-	-	0.36	0.11	0.08	0.858	0.75
50	50	50	0.24	0.21	0.22	0.512	0.89	100	25	25	0.42	0.11	0.11	0.845	0.76
100	100	100	0.40	0.41	0.44	1.562	0.54	150	100	50	0.65	0.31	0.28	2.323	0.40
200	200	200	0.85	0.83	0.87	4.635	0.21	300	200	100	1.22	0.77	0.36	5.377	0.18
300	300	300	1.28	1.27	1.25	7.352	0.13	400	300	200	1.58	1.08	0.64	8.433	0.11

Tabel 2(a) di atas menunjukkan tentang hasil pengukuran data pembebanan generator pada saat kondisi beban seimbang lampu pijar, dengan daya nominal 75 Watt, 150 Watt, 300 Watt, 600 Watt dan 900 Watt. Sedangkan Tabel 2(b) menunjukkan tentang hasil pengukuran data pembebanan generator pada saat kondisi beban tak seimbang lampu pijar, dengan daya nominal 75 Watt, 150 Watt, 300 Watt, 600 Watt dan 900 Watt. Seperti yang terlihat, pembagian beban untuk kondisi beban seimbang, masing-masing dari ke-tiga fasa memiliki nilai beban yang sama besar, sedangkan pembagian beban untuk kondisi beban tak seimbang, masing-masing fasanya memiliki nilai beban yang berbeda-beda.

Tabel 3. Data THD arus terhadap perubahan beban pada kondisi seimbang dan tak seimbang

Beban [Watt]	THDi [%]	
	Seimbang	Tak Seimbang
75	0.185	0.858
150	0.512	0.845
300	1.562	2.323
600	4.635	5.377
900	7.352	8.433

Tabel 3 di atas menunjukkan ringkasan hasil pengukuran besar THD arus yang terjadi terhadap setiap perubahan bebannya pada saat kondisi beban seimbang dan kondisi beban tak seimbang. Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya, pembagian beban untuk kondisi beban seimbang, masing-masing dari ke-tiga fasa memiliki nilai beban yang sama besar, sedangkan pembagian beban untuk kondisi beban tak seimbang, masing-masing fasanya memiliki nilai beban yang berbeda-beda.



Gambar 5. Grafik THDi terhadap perubahan beban pada kondisi seimbang dan tak seimbang

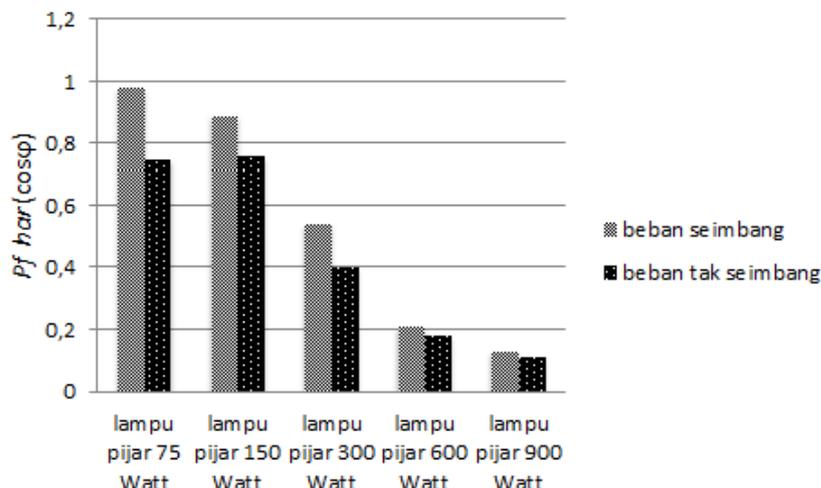
Seperti yang terlihat pada grafik perbandingan kandungan harmonik arus (THDi) antara kondisi beban seimbang dan tak seimbang pada Gambar 5 di atas, dapat dilihat bahwa kondisi beban yang tak seimbang pada sebuah sistem kelistrikan yang disuplai oleh generator sinkron tiga fasa cenderung memiliki kandungan harmonik arus (THDi) yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan sistem dengan kondisi beban yang seimbang. Hal ini dikarenakan, ketidakseimbangan kondisi beban pada suatu sistem tiga-fasa empat-kawat (*four-wire three phase system*), dapat menyebabkan munculnya harmonik arus kelipatan ke-tiga (*Triplen Current Harmonics*), yaitu harmonik arus yang merupakan sumber harmonik utama dalam sistem tersebut. Harmonik arus kelipatan ke-tiga ini merupakan harmonik urutan nol (*Zero sequence Harmonics*).

Tabel 4. Data faktor daya terhadap perubahan beban pada kondisi beban seimbang dan tak seimbang

Beban [Watt]	<i>Pf har</i>	
	Seimbang	Tak Seimbang
75	0.98	0.75
150	0.89	0.76
300	0.54	0.40
600	0.21	0.18
900	0.13	0.11

Catatan : har = harmonik

Tabel 4 di atas menunjukkan tentang ringkasan hasil pengukuran faktor daya yang terjadi terhadap setiap perubahan bebannya pada saat kondisi beban seimbang dan kondisi beban tak seimbang. Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya, pembagian beban untuk kondisi beban seimbang, masing-masing dari ke-tiga fasa memiliki nilai beban yang sama besar, sedangkan pembagian beban untuk kondisi beban tak seimbang, masing-masing fasanya memiliki nilai beban yang berbeda-beda.



Gambar 6. Grafik faktor daya terhadap perubahan beban pada kondisi seimbang dan tak seimbang

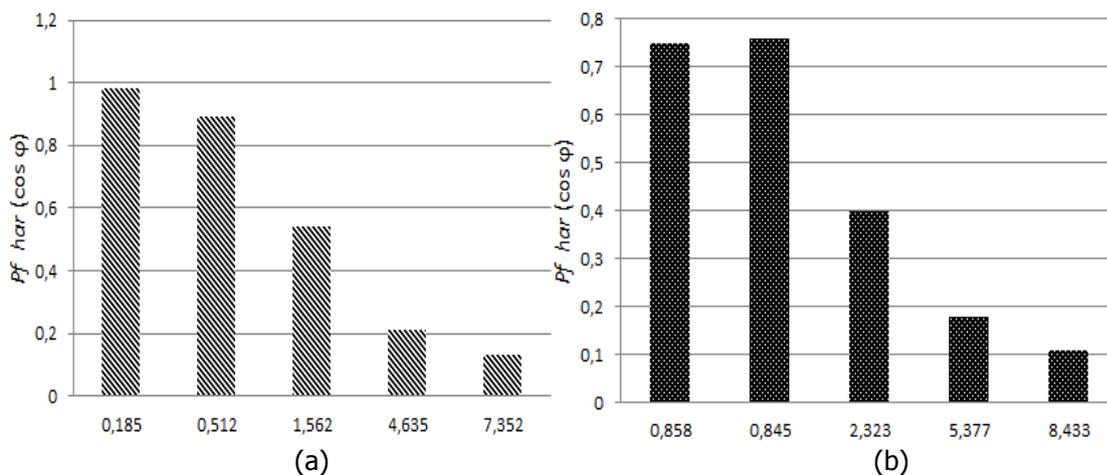
Seperti yang terlihat pada grafik faktor daya antara kondisi beban seimbang dan tak seimbang pada Gambar 6 di atas, dapat dilihat bahwa faktor daya dari generator sinkron tiga fasa pada saat kondisi beban tak seimbang cenderung memiliki faktor daya yang lebih rendah jika dibandingkan pada sistem dengan kondisi seimbang. Pada saat kondisi seimbang, faktor dayanya berada pada kisaran (0.13-0.98), sedangkan pada kondisi tak seimbang, faktor dayanya menjadi turun pada kisaran (0.11-0.75). Hal ini dikarenakan adanya kandungan harmonik arus pada sistem tersebut. Adanya harmonik arus pada sebuah sistem kelistrikan dapat menyebabkan nilai total arus rms ( $I_{rms\ total}$ ) pada sistem tersebut menjadi naik. Kenaikan arus total rms inilah yang menyebabkan menurunnya faktor daya tersebut, hal ini dapat dilihat dari hubungannya antara arus total rms dengan *Distortion Power Factor (Pf har)* seperti yang telah dijelaskan sebelumnya.

Tabel 5. Data pengukuran THD arus dan faktor daya terhadap perubahan beban pada kondisi beban seimbang dan tak seimbang

Beban [Watt]	Kondisi Seimbang		Kondisi Tak Seimbang	
	THD [%]	<i>Pf har</i>	THD [%]	<i>Pf har</i>
75	0.185	0.98	0.858	0.75
150	0.512	0.89	0.845	0.76
300	1.562	0.54	2.323	0.40
600	4.635	0.21	5.377	0.18
900	7.352	0.13	8.433	0.11

Catatan : har = harmonik

Tabel 5 di atas menunjukkan tentang ringkasan hasil pengukuran THD arus dan faktor daya yang terjadi terhadap setiap perubahan bebannya pada saat kondisi beban seimbang dan kondisi beban tak seimbang. seperti yang telah dijelaskan sebelumnya, pembagian beban untuk kondisi beban seimbang, masing-masing dari ke-tiga fasa memiliki nilai beban yang sama besar, sedangkan pembagian beban untuk kondisi beban tak seimbang, masing-masing fasanya memiliki nilai beban yang berbeda-beda.



Gambar 7. Grafik perbandingan THD arus dan faktor daya terhadap perubahan beban, (a) kondisi beban seimbang (b) kondisi beban tak seimbang

Gambar 7(a) di atas menunjukkan tentang grafik perbandingan THD arus dan faktor daya terhadap perubahan beban pada saat kondisi beban seimbang, sedangkan Gambar 7(b) menunjukkan tentang grafik perbandingan THD arus dan faktor daya terhadap perubahan beban pada saat kondisi beban tak seimbang. Seperti yang terlihat pada kedua Gambar 7(a) dan 7(b) di atas, dapat dilihat bahwa nilai faktor daya dari setiap perubahan beban akan semakin menurun seiring dengan meningkatnya THD arus. Peningkatan tingkat kandungan harmonik arus ini menandakan bahwa adanya peningkatan pada arus total rms-nya. Kenaikan arus total rms inilah yang menyebabkan menurunnya faktor daya tersebut, hal ini dapat dilihat dari hubungannya antara arus total rms dengan *distortion power factor* ( $Pf_{har}$ ) seperti yang telah dijelaskan sebelumnya.

#### 4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian dan analisis ketidakeimbangan kondisi beban terhadap harmonik arus dan faktor daya generator sinkron tiga fasa, dapat disimpulkan diantaranya:

1. Generator sinkron tiga fasa yang dibebani dengan beban lampu pijar pada kondisi tak seimbang cenderung mengalami harmonik arus yang lebih tinggi jika dibandingkan pada saat generator dibebani beban lampu pijar pada kondisi seimbang. Hal ini dikarenakan, ketidakeimbangan kondisi beban pada suatu sistem tiga-fasa empat-kawat (*four-wire three phase system*), dapat menyebabkan munculnya harmonik arus kelipatan ke-tiga (*Triplen Current Harmonics*), yaitu harmonik arus yang merupakan sumber harmonik utama dalam sistem tersebut. Harmonik arus kelipatan ke-tiga ini merupakan harmonik urutan nol (*Zero sequence Harmonics*).
2. Orde harmonik arus yang paling dominan muncul adalah orde ganjil, khususnya orde ke-3. Dengan kata lain, orde ke-3 merupakan orde yang paling berpengaruh dalam kecacatan yang terjadi pada gelombang arus keluaran generator tersebut.
3. Adanya harmonik arus pada sebuah sistem kelistrikan dengan kondisi beban yang tak seimbang dapat mempengaruhi faktor dayanya. Hal ini dikarenakan adanya kandungan harmonik arus pada sistem tersebut. Adanya harmonik arus pada sebuah sistem kelistrikan dapat menyebabkan nilai total arus rms (*I<sub>rms total</sub>*) pada sistem tersebut menjadi naik. Kenaikan arus total rms inilah yang menyebabkan menurunnya faktor daya tersebut. Hal ini dapat dilihat, pada kondisi seimbang, faktor dayanya berada pada

kisaran (0.13-0.98), sedangkan pada kondisi tak seimbang, faktor dayanya menjadi turun pada kisaran (0.11-0.75).

4. Kandungan harmonik arus yang terjadi pada saat kondisi beban seimbang berada pada kisaran (0.2-7.3%), sedangkan pada kondisi beban tak seimbang berada pada kisaran (0.8-8.4%). Walaupun demikian, harmonik arus yang terjadi masih di bawah batasan nilai standar seperti yang ditetapkan pada standarisasi *IEEE-159* yaitu 15%.

#### DAFTAR RUJUKAN

- Roger C. Dugan, Mark F, Mc. Granaghan, H. Wayne Beaty., (2004). *Electrical Power System Quality*, USA: Mc. Graw-Hill.
- Turchan., (2002). *Studi Efek Harmonisa terhadap Kualitas Daya Listrik di PT. Easterntex*, Surabaya: Petra University.
- Firdaus, Hendra., (1998). *Studi Tentang Sistem Rele Proteksi Pada Transformator Daya Tiga Fasa*, Bandung: ITENAS.
- Sudirham, Sudaryatno., (2012). *Analisis Sistem Tenaga*, Bandung: Darpublic.
- Glen, A. Mazur., (1998). *Power Measurement and Troubleshooting*, USA: Fluke Corporation.
- De La Rosa, Francisco C., (2006). *Harmonics and Power Systems*, New York: Taylor & Francis.
- Skvarenina, Timothy L. and William E, DeWitt., (2004). *Electrical Power and Controls*, New Jersey: Prentice Hall.