

# IDENTIFIKASI SUMBER HARMONISA PADA SISTEM DISTRIBUSI INDUSTRI DENGAN MENGGUNAKAN METODE HARMONIC CURRENT VECTOR

Julius Sentosa Setiadji<sup>1,2</sup>, Ontoseno Penangsang<sup>1</sup>, Herlina Rianty<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Jurusan Teknik Elektro, ITS, Surabaya

<sup>2</sup>Jurusan Teknik Elektro, UK Petra, Surabaya, email : [julius@petra.ac.id](mailto:julius@petra.ac.id).

**Abstract** - Pada *Point of Common Coupling (PCC)* yang merupakan titik pertemuan antara sisi pelanggan dan utilitas, mengalir arus dan tegangan yang mengandung harmonisa. Harmonisa arus dan tegangan ini dapat mengganggu kualitas sistem tenaga listrik.

Dengan menggunakan metode *Harmonic Current Vector* dengan impedansi referensi untuk pemisahan kontribusi harmonisa arus dan tegangan dapat diketahui sisi mana yang memberikan kontribusi harmonisa terbesar pada PCC.

Setelah dianalisa, diketahui bahwa komponen skalar harmonisa arus orde 7 pada sisi utilitas ( $I_{U7s}$ ) (36,6 A) lebih besar daripada sisi pelanggan ( $I_{C7s}$ ) (34,5 A), sehingga kontribusi harmonisa arus orde 7 terbesar berasal dari sisi utilitas. Sedangkan, komponen skalar harmonisa tegangan orde 7 pada sisi utilitas ( $U_{U7s}$ ) (47,96 V) lebih besar daripada sisi pelanggan ( $U_{C7s}$ ) (-28,82 V), sehingga kontribusi harmonisa tegangan orde 7 terbesar juga berasal dari sisi utilitas.

**Kata kunci** : Harmonisa, PCC, Harmonic Current Vector

## I. PENDAHULUAN

Gangguan harmonisa bukanlah suatu fenomena yang baru, apalagi sejak teknologi dan industri berkembang pesat terutama penggunaan beban-beban non linier yang merupakan sumber utama harmonisa. Harmonisa menjadi komponen penting dalam analisa dan disain sistem tenaga karena dampak harmonisa dapat mempengaruhi kualitas daya pada suatu industri. Masalah terbesar adalah cara menyederhanakan pengidentifikasian dan pengukuran kontribusi harmonisa pada pelanggan dan utilitas dalam sistem tenaga.

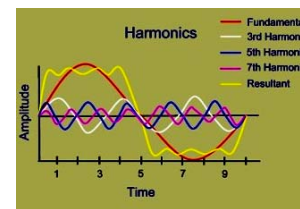
Salah satu teknik untuk mengukur kontribusi pelanggan dan utilitas pada PCC adalah Metode *Harmonic Current Vector*. Metode ini sangat baik, namun masih memiliki kekurangan, yaitu tidak dapat diketahuinya impedansi dan karakteristik dari pelanggan dan utilitas serta tidak bisa mengevaluasi *harmonics amplification* karena kondisi resonansi. Namun, masalah ini dapat diatasi dengan penggunaan impedansi referensi di mana impedansi pelanggan dan utilitas ditempatkan menjadi satu referensi. Metode ini berbasis pada rangkaian ekuivalen Norton dan

Thevenin, di mana impedansi pelanggan aktual dan utilitas digantikan oleh impedansi referensi.

## II. DASAR TEORI

### 2.1. Harmonisa

Harmonisa merupakan suatu fenomena yang timbul akibat pengoperasian beban listrik non linier sehingga terbentuklah gelombang frekuensi tinggi yang merupakan kelipatan dari frekuensi fundamentalnya. Gelombang-gelombang frekuensi tinggi menumpang pada gelombang aslinya (*fundamental wave*) sehingga terbentuk gelombang cacat (*distorted sine wave*) yang merupakan jumlah antara gelombang murni sesaat dengan gelombang harmoniknya.



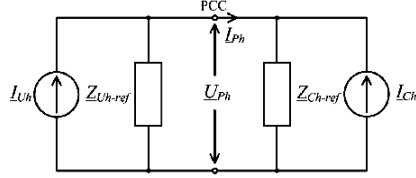
Gambar 1. Hasil Penjumlahan Gelombang-Gelombang Non Sinusoidal [2]

Sumber utama harmonisa adalah beban non linier yang menyebabkan arus menjadi pulsa yang tidak beraturan. Pulsa ini kemudian melewati sistem impedansi yang kemudian menyebabkan terjadinya distorsi tegangan yang menimbulkan arus harmonisa pada peralatan lainnya. Contoh beban non linier adalah konverter, reaktor, *rectifier*, *variable speed drives*, komputer, *uninterruptible power supplies* (UPS), lampu *fluorescent*, transformator saat saturasi, *arc furnace*, dan lain-lain.

### 2.2. Metode Harmonic Current Vector

Metode *Harmonic Current Vector* merupakan salah satu teknik untuk mengukur kontribusi harmonisa pelanggan dan utilitas di PCC. Metode ini menggunakan rangkaian pengganti Norton dan Thevenin untuk memisahkan harmonisa arus dan tegangan di PCC menjadi dua komponen, komponen utilitas dan pelanggan, sehingga kontribusi harmonisa utilitas dan pelanggan terhadap

PCC dapat ditentukan. Rangkaian Norton dengan impedansi referensi terlihat pada gambar 2.

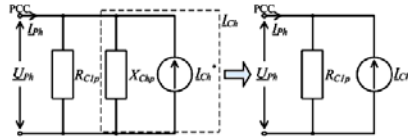


Gambar 2. Rangkaian Norton dengan Impedansi Referensi [1]

dengan:

- $I_{Ch}$  = Arus pelanggan (ampere)
- $I_{Uh}$  = Arus utilitas (ampere)
- $Z_{Ch-ref}$  = Impedansi referensi di pelanggan ( $\Omega$ )
- $Z_{Uh-ref}$  = Impedansi referensi di utilitas ( $\Omega$ )
- $I_{Ph}$  = Arus di PCC (ampere)
- $U_{Ph}$  = Tegangan di PCC (volt)

Komponen beban resistif pelanggan menggambarkan impedansi referensi dan dapat dihitung secara langsung dari data pengukuran. Ketika dihubungkan dengan kontribusi arus harmonisa, maka impedansi pelanggan dapat diwakilkan dengan memparalelkan resistor dan reaktansi seperti pada gambar 3.



Gambar 3. Arus Reaktansi Ditransformasi ke Dalam Penambahan Sumber Harmonisa Arus [1]

dengan:

- $R_{C1p}$  = Komponen resistansi beban di pelanggan (ohm)
- $X_{Chp}$  = Komponen reaktansi beban di pelanggan (ohm)

Saat tidak adanya daya aktif pada sisi pelanggan, referensi impedansi pelanggan dapat dihitung dari daya aktif  $P$  dan tegangan  $U_{P1}$  sehingga:

$$Z_{Ch-ref} = R_{C1p} = \frac{|U_{P1}|^2}{P} = \frac{|U_{P1}|}{|I_{P1}| \cdot \cos \gamma_{P1}} \quad (1)$$

dengan:

- $P$  = Daya aktif (watt)
- $U_{P1}$  = Tegangan (volt)
- $I_{P1}$  = Arus (ampere)
- $\gamma_{P1}$  = Sudut fasa antara frekuensi arus & tegangan fundamental

Sedangkan untuk menentukan sumber arus harmonisa pelanggan digunakan rumus:

$$I_{Ch} = \frac{U_{Ph}}{R_{C1p}} - I_{Ph} \quad (2)$$

Dengan menggunakan penurunan rumus impedansi referensi utilitas ( $Z_{Uh-ref}$ ), maka sumber harmonisa utilitas dapat dihitung dengan menggunakan rumus:

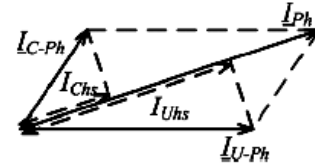
$$I_{Uh} = \frac{U_{Ph}}{Z_{Uh-ref}} + I_{Ph} \quad (3)$$

Kontribusi harmonisa utilitas ( $I_{U-Ph}$ ) dan pelanggan ( $I_{C-Ph}$ ) untuk mengukur arus  $I_{Ph}$  dapat ditentukan dengan menggunakan prinsip superposisi seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.7. serta dapat dihitung dengan menggunakan rumus:

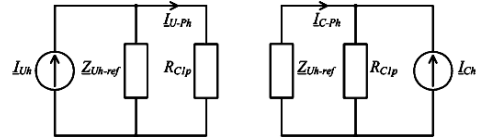
$$I_{U-Ph} = \frac{Z_{Uh-ref}}{Z_{Uh-ref} + R_{C1p}} \cdot I_{Uh} \quad (4)$$

$$I_{C-Ph} = -\frac{R_{C1p}}{Z_{Uh-ref} + R_{C1p}} \cdot I_{Ch} \quad (5)$$

Pengukuran arus harmonisa phasor  $I_{Ph}$  adalah penambahan vektor kontribusi pelanggan dan utilitas.



Gambar 4. Contoh Kontribusi Utilitas dan Pelanggan Untuk Mengukur Arus Vektor di PCC [10]



Gambar 5. Penentuan Kontribusi Harmonisa Arus Pelanggan dan Utilitas Menggunakan Prinsip Superposisi [3]

Total arus di PCC ( $I_{Ph}$ ) dapat diuraikan ke dalam dua komponen skalar seperti pada gambar 4. Dengan proyeksi dari arus harmonisa phasor utilitas ( $I_{U-Ph}$ ) dan pelanggan ( $I_{C-Ph}$ ) pada arus harmonisa phasor  $I_{Ph}$ , nilai skalar kontribusi untuk utilitas ( $I_{Uhs}$ ) dan pelanggan ( $I_{Chs}$ ) dapat ditentukan dengan rumus:

$$I_{Uhs} = |I_{U-Ph}| \cdot \cos(\varphi_{U-Ph} - \varphi_{Ph}) \quad (6)$$

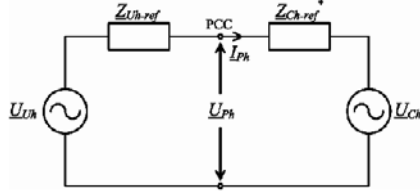
$$I_{Chs} = |I_{C-Ph}| \cdot \cos(\varphi_{C-Ph} - \varphi_{Ph}) \quad (7)$$

dengan:

- $\varphi_{U-Ph}$  = Argumen dari kontribusi harmonisa arus pada sisi utilitas
- $\varphi_{C-Ph}$  = Argumen dari kontribusi harmonisa arus pada sisi pelanggan

$\varphi_{Ph}$  = Argumen dari arus harmonisa

Rangkaian Thevenin digunakan untuk menentukan kontribusi harmonisa tegangan dengan gambar rangkaian sebagai berikut:



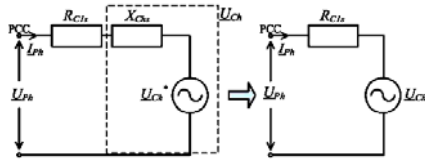
Gambar 6. Rangkaian Thevenin Dengan Menggunakan Impedansi Referensi [1]

dengan :

$\underline{U}_{Uh}$  = Sumber harmonisa tegangan pada sisi utilitas (volt)

$\underline{U}_{Ch}$  = Sumber harmonisa tegangan pada sisi pelanggan (volt)

Komponen beban resistif dapat diperkenalkan sebagai impedansi referensi dan reaktansi tegangan drop yang ditransformasi ke dalam penambahan sumber harmonisa.



Gambar 7. Reaktansi Voltage Drop yang Ditransformasikan ke Penambahan Sumber Harmonisa Tegangan [3]

Pada rangkaian gambar 7 penentuan impedansi pelanggan dapat dihitung dari daya aktif P dengan rumus:

$$\underline{Z}_{Ch-ref} = R_{C1s} = \frac{P}{|\underline{I}_{P1}|^2} = \frac{|\underline{U}_{P1}| \cdot \cos \varphi_{P1}}{|\underline{I}_{P1}|}$$

sedangkan, tegangan sumber harmonisa pada sisi utilitas dan pelanggan dapat ditentukan dengan rumus:

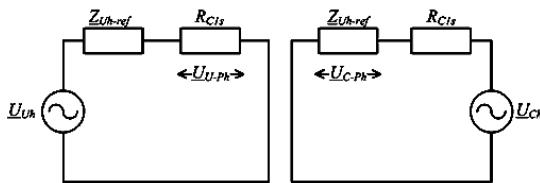
$$\underline{U}_{Ch} = \underline{U}_{Ph} - \underline{I}_{Ph} \cdot R_{C1s} \quad (9)$$

$$\underline{U}_{Uh} = \underline{U}_{Ph} + \underline{I}_{Ph} \cdot \underline{Z}_{Uh-ref} \quad (10)$$

Kontribusi tegangan harmonisa utilitas ( $\underline{U}_{U-Ph}$ ) dan pelanggan ( $\underline{U}_{C-Ph}$ ) dapat dihitung dengan teorema superposisi (Gambar 8) dengan menggunakan rumus:

$$\underline{U}_{U-Ph} = \frac{R_{C1s}}{\underline{Z}_{Uh-ref} + R_{C1s}} \cdot \underline{U}_{Uh} \quad (11)$$

$$\underline{U}_{C-Ph} = \frac{\underline{Z}_{Uh-ref}}{\underline{Z}_{Uh-ref} + R_{C1s}} \cdot \underline{U}_{Ch} \quad (12)$$



Gambar 8. Penentuan Kontribusi Harmonisa Tegangan pada Sisi Utilitas dan Pelanggan Menggunakan Prinsip Superposisi [3]

Jumlah tegangan di PCC dapat diuraikan menjadi dua besaran skalar. Jika tegangan phasor pelanggan ( $\underline{U}_{U-Ph}$ ) dan utilitas ( $\underline{U}_{C-Ph}$ ) adalah proyeksi untuk pengukuran tegangan phasor  $\underline{U}_{Ph}$ , maka nilai skalar kontribusi tegangan harmonisa dapat ditentukan dengan rumus:

$$U_{Uhs} = |\underline{U}_{U-Ph}| \cdot \cos(\delta_{U-Ph} - \delta_{Ph}) \quad (13)$$

$$U_{Chs} = |\underline{U}_{C-Ph}| \cdot \cos(\delta_{C-Ph} - \delta_{Ph}) \quad (14)$$

dengan:

$U_{Uhs}$  = Tegangan harmonisa pada sisi utilitas (volt)

$\delta_{U-Ph}$  = Argumen kontribusi harmonisa tegangan pada sisi utilitas

$\delta_{Ph}$  = Argumen harmonisa tegangan

$U_{Chs}$  = Tegangan harmonisa pada sisi pelanggan (volt)

$\delta_{C-Ph}$  = Argumen kontribusi harmonisa tegangan pada sisi pelanggan

### III. DATA DAN ANALISA DATA

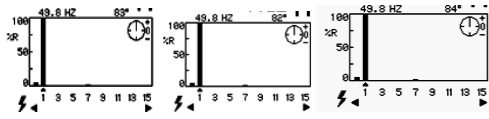
#### 3.1. Pengumpulan Data

##### Spesifikasi Trafo di sisi utilitas:

Tipe	: Outdoor
Daya	: 60.000 kVA
Tegangan Kerja	: 150 kV // 20 kV
Arus	: 1,7 – 230,9 A
Hubungan	: YNyn0
Impedansi	: 12,8 %
Phasa	: 3
Frekwensi	: 50 Hz
Tipe Pendinginan	: ONAN/ONAF

**Tabel 1. Hasil Pengukuran di PCC**

			Phasa		
			R	S	T
V Mag (V)	Harmo- nics	1	11.286	12.778	11.308
		7	62	74	54
V Angle ( $^{\circ}$ )	Harmo- nics	1	0	0	0
		7	115	71	113
I Mag (A)	Harmo- nics	1	740	724	640
		7	0,07	0,07	0,05
I Angle ( $^{\circ}$ )	Harmo- nics	1	83	82	84
		7	-172	142	178



Gambar 9. Tampilan Hasil Pengukuran Arus dan Tegangan pada Fasa R, S & T dengan Menggunakan Fluke 41B

### 3.2. Analisa Kontribusi Harmonisa Arus

Untuk perhitungan kontribusi harmonisa arus di PCC digunakan Rangkaian Norton dengan impedansi referensi (Gambar 2).

$$\begin{aligned}
 \bullet \quad \underline{I}_{Ph} &= \underline{I}_{PCC\_R} + \underline{I}_{PCC\_S} + \underline{I}_{PCC\_T} \\
 &= 90,2 + j.734,5 + 100,76 + j.716,95 + 66,89 + j.636,5 \text{ A} \\
 &= 257,85 + j. 2.087,95 \text{ A} = 2.103,8 \angle 82,96^{\circ} \text{ A}
 \end{aligned}$$

$$|\underline{I}_{Ph}| = 2.103,8 \text{ A}$$

$$\begin{aligned}
 \bullet \quad \underline{U}_{Ph} &= \frac{\underline{U}_{PCC\_R} + \underline{U}_{PCC\_S} + \underline{U}_{PCC\_T}}{3} \text{ V} \\
 &= \frac{11.286 + 12.778 + 11.308}{3} \text{ V} \\
 &= 11.790,67 \text{ V}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \bullet \quad \underline{Z}_{Ch-ref} &= R_{C1P} = \frac{|\underline{U}_{P1}|^2}{P} = \frac{|\underline{U}_{P1}|}{|\underline{I}_{P1}| \times \cos \phi_{P1}} \\
 &= \frac{11.790,67}{2.103,8 \times \cos 82,96} = 45,73 \Omega
 \end{aligned}$$

$$\bullet \quad \underline{Z}_{Uh-ref} = \underline{Z}_{trafo} + \underline{Z}_{hubung\ singkat}$$

$$= (\underline{Z}_{trafo\_pu} \times \underline{Z}_{Base}) + \frac{\sqrt{3} \times V}{MVA_{hs}}$$

$$= (0,128 \times 375) + \frac{\sqrt{3} \times 150.000}{50.000.000} \Omega$$

$$= 48,005196 \Omega \approx 48 \Omega$$

Dari hasil pengukuran diketahui bahwa harmonisa orde ke-7 memiliki nilai arus paling besar sehingga untuk menentukan sumber arus harmonisa ke-7 digunakan rumus 2.

$$\begin{aligned}
 \bullet \quad \underline{U}_{P7} &= \frac{\underline{U}_{P7\_R} + \underline{U}_{P7\_S} + \underline{U}_{P7\_T}}{3} \\
 &= \frac{-26,2 + j.56,19 + 24,1 + j.69,96 - 21,1 + j.49,7}{3} \\
 &= \frac{-23,2 + j.175,85}{3} = -7,73 + j.58,6 \text{ V} \\
 &= 59,1 \angle 97,5^{\circ} \text{ V}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \bullet \quad \underline{I}_{P7} &= \underline{I}_{P7\_R} + \underline{I}_{P7\_S} + \underline{I}_{P7\_T} \\
 &= -27,73 - j.3,89 - 22,06 + j.17,2 - 19,98 + j.0,69 \\
 &= -69,77 + j.14 \text{ A} = 71,16 \angle 168,65^{\circ} \text{ A}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \bullet \quad \underline{I}_{C7} &= \frac{\underline{U}_{P7}}{R_{C1P}} - \underline{I}_{P7} \\
 &= \frac{-7,73 + j.58,6}{45,73} - (-69,77 + j.14) \\
 &= -0,169 + j.1,28 + 69,77 - j.14 \\
 &= 69,601 - j.12,72 = 70,75 \angle -10,35^{\circ} \text{ A}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \bullet \quad \underline{I}_{U7} &= \frac{\underline{U}_{P7}}{\underline{Z}_{Uh-ref}} + \underline{I}_{P7} \\
 &= \frac{-7,73 + j.58,6}{48} - 69,77 + j.14 \\
 &= -0,161 + j.1,22 - 69,77 + j.14 \\
 &= -69,931 + j.15,22 = 71,57 \angle 167,72^{\circ} \text{ A}
 \end{aligned}$$

Kontribusi harmonisa arus terhadap  $\underline{I}_{PCC}$  dapat ditentukan dengan prinsip superposisi seperti yang ditunjukkan oleh gambar 5

$$\begin{aligned}
 \bullet \quad \underline{I}_{U-P7} &= \frac{\underline{Z}_{Uh-ref}}{\underline{Z}_{Uh-ref} + R_{C1P}} \times \underline{I}_{U7} \\
 &= \frac{48}{48 + 45,73} \times 71,57 \angle 167,72^{\circ} \text{ A} \\
 &= 36,65 \angle 167,72^{\circ} \text{ A} = -35,81 + j.7,79 \text{ A}
 \end{aligned}$$

$$|\underline{I}_{U-P7}| = 36,65 \text{ A}$$

$$\bullet \quad \underline{I}_{C-P7} = -\frac{R_{C1P}}{\underline{Z}_{Uh-ref} + R_{C1P}} \times \underline{I}_{C7}$$

$$= -\frac{45,73}{48 + 45,73} \times 70,75 \angle -10,35^\circ \text{ A}$$

$$= -33,95 + j.6,2 \text{ A} = 34,5 \angle 169,6^\circ \text{ A}$$

$$|I_{C-P7}| = 34,51 \text{ A}$$

Total arus di PCC dapat diuraikan ke dalam dua komponen skalar seperti gambar 4

- $I_{Uh7} = |I_{U-P7}| \times \cos(\phi_{U-P7} - \phi_{P7})$   
 $= 36,65 \times \cos(167,72^\circ - 168,65^\circ) = 36,645 \text{ A}$
- $I_{Ch7} = |I_{C-P7}| \times \cos(\phi_{C-P7} - \phi_{P7})$   
 $= 34,51 \times \cos(169,6^\circ - 168,65^\circ) = 34,5 \text{ A}$

Dari perhitungan di atas terlihat bahwa nilai  $I_{U7s}$  lebih besar daripada nilai  $I_{C7s}$  maka kontribusi harmonisa arus ke PCC yang terbesar berasal dari sisi utilitas.

### 3.3. Analisa Kontribusi Harmonisa Tegangan

Untuk perhitungan kontribusi harmonisa tegangan di PCC digunakan Rangkaian Thevenin (Gambar 6). Dari hasil pengukuran diketahui bahwa harmonisa orde ke-7 memiliki nilai tegangan paling besar sehingga untuk menentukan sumber tegangan harmonisa ke-7 digunakan gambar 6. dan 7.

- $Z_{Ch-ref} = R_{C1s} = \frac{P}{|I_{P1}|^2} = \frac{|U_{P1}| \times \cos \phi_{P1}}{|I_{P1}|}$   
 $= \frac{11.790,67 \times \cos 82,96^\circ}{2.103,8} = 0,68 \Omega$
- $U_{C7} = U_{P7} - I_{P7} \cdot R_{C1s}$   
 $= -7,73 + j.58,6 - ((-69,77 + j.14) \cdot 0,68)$   
 $= -7,73 + j.58,6 + 47,4 - j.9,52 \text{ V}$   
 $= 39,67 + j.49,08 \text{ V} = 63,1 \angle 51,05^\circ \text{ V}$
- $U_{U7} = U_{P7} + I_{P7} \cdot Z_{Uh-ref}$   
 $= -7,73 + j.58,6 + ((-69,77 + j.14) \cdot 48) \text{ V}$   
 $= -3.356,69 + j.730,6 \text{ V}$   
 $= 3.435,28 \angle 167,72^\circ \text{ V}$
- $U_{U-P7} = \frac{R_{C1s}}{Z_{Uh-ref} + R_{C1s}} \times U_{U7}$   
 $= \frac{0,68}{48 + 0,68} \times 3.435,28 \angle 167,72^\circ \text{ V}$   
 $= 47,98 \angle 167,72^\circ \text{ V} = -46,88 + j.10,2 \text{ V}$   
 $|U_{U-P7}| = 47,97 \text{ V}$

- $U_{C-P7} = \frac{Z_{Uh-ref}}{Z_{Uh-ref} + R_{C1s}} \times U_{C7}$   
 $= \frac{48}{48 + 0,68} \times 63,1 \angle 51,05^\circ \text{ V}$   
 $= 62,22 \angle 51,05^\circ \text{ V} = 39,1 + j.48,38 \text{ V}$   
 $|U_{C-P7}| = 62,2 \text{ V}$

Untuk menentukan kontribusi harmonisa tegangan, jumlah tegangan di PCC dapat diuraikan menjadi dua besaran skalar yaitu tegangan phasor pelanggan ( $U_{U-P7}$ ) dan utilitas ( $U_{C-P7}$ ) sehingga nilai skalar kontribusi harmonisa tegangan dapat ditentukan dengan rumus 13 dan 14.

- $U_{U7s} = |U_{U-P7}| \times \cos(\delta_{U-P7} - \delta_{P7})$   
 $= 47,97 \times \cos(167,72^\circ - 168,65^\circ) = 47,96 \text{ V}$
- $U_{C7s} = |U_{C-P7}| \times \cos(\delta_{C-P7} - \delta_{P7})$   
 $= 62,2 \times \cos(51,05^\circ - 168,65^\circ) = -28,82 \text{ V}$

Dari perhitungan di atas terlihat bahwa nilai  $U_{U7s}$  lebih besar daripada nilai  $U_{C7s}$  maka kontribusi harmonisa tegangan ke PCC yang terbesar berasal dari sisi utilitas.

## 4. KESIMPULAN

Berdasarkan analisa data di atas, terlihat bahwa Metode *Harmonic Current Vector* dengan impedansi referensi mampu digunakan untuk mengidentifikasi kontribusi harmonisa arus dan tegangan terbesar pada *Point of Common Coupling* secara spesifik. Komponen skalar harmonisa arus dan tegangan orde 7 pada sisi utilitas ( $I_{U7s}, U_{U7s}$ ) lebih besar dari sisi pelanggan ( $I_{C7s}, U_{C7s}$ ) sehingga dapat diketahui bahwa kontribusi harmonisa arus orde 7 terbesar pada *Point of Common Coupling* berasal dari sisi utilitas

## DAFTAR REFERENSI

- [1] Blažič, B., T. Pfajfar, and I. Papič. "Harmonic Contributions Evaluation With the Harmonic Current Vector Method." *IEEE Trans. Power Delivery*. Vol. 23 No. 1. Jan. 2008. 425-433.
- [2] New York. Hershey Energy Systems. *Power Quality: Harmonics*. 2005. 21 Agustus 2008.  
[http://www.hersheyenergy.com/images/Harmonics\\_Graph.jpg](http://www.hersheyenergy.com/images/Harmonics_Graph.jpg)
- [3] Blažič, B., T. Pfajfar, and I. Papič. "Harmonic Current Vector Method with Reference Impedances - Field Measurements Verification." *9th International Conference on*

- Electrical Power Quality and Utilisation*. Barcelona. 9-11 October 2007.
- [4] Kurylo, Kazimierz. "Practical Application of a Method for Determining Customer and Utility Harmonic Contributions." *9th International Conference on Electrical Power Quality and Utilisation*. Barcelona. 9-11 October 2007.
  - [5] Carnovale, Daniel J., and Thomas M Blooming. "Application of IEEE Std 519-1992 Harmonic Limits". North Carolina. 21 October 2006.
  - [6] Noel, Qillon and Pierre, Roccia. *Harmonic in Industrial Network*. 1994. Merlin Gerin, 3 September 2004.  
<<http://www.cn.co.kr/enuser/power/powerpdf/ect152.pdf>>.
  - [7] Arrilaga, Jos and Watson, Neville. *Power System Harmonics*. Chicester: John Walley and Sons, 2003.
  - [8] Das, J. S., *Power System Analysis Short Circuit Load Flow and Harmonics*. New York: Marcel Dekker Inc., 2002.
  - [9] Sankaran, C. *Power Quality*. Boca Raton: CRC Press LLC, 2002.
  - [10] Xu, W., and Y. Liu. "A method for Determining Customer and Utility Harmonic Contributions at the point of Common Coupling." *IEEE Trans. Power Delivery*. Vol. 15. Apr. 2000. 804-811.
  - [11] Mazur, Glen A., *Power Quality Measurements and Troubleshooting*. Illinois: Fluke Corporation, 1998.
  - [12] Geradino, Pete. *Electronic Power Systems Manual*. Illinois: McGraw-Hill, 1992.