

PENGUNAAN METODE URUTAN (SEQUENCE METHOD) PADA ANALISIS HARMONISA UNTUK SISTEM KELISTRIKAN TAK-SEIMBANG

I Wayan Rinas
Staf Pengajar Teknik Elektro Fak. Teknik Universitas Udayana,
Kampus Bukit Jimbaran Bali.

Intisari

Peningkatan beban-beban nonlinier yang terpasang pada sistem akan menyebabkan terjadinya distorsi harmonisa. Distorsi harmonisa pada bentuk gelombang tegangan dan arus dapat mengakibatkan kondisi tidak normal pada sistem.

Pada sistem 3 fasa nonlinier, distorsi harmonisa akan menyebabkan kondisi takseimbang. Tegangan takseimbang dapat memunculkan komponen urutan negatif dan urutan nol yang merugikan sistem. Komponen urutan negatif akan mengakibatkan peningkatan panas yang berlebihan, sedangkan komponen urutan nol disamping dapat menyebabkan peningkatan rugi-rugi pada jaringan transmisi juga mengakibatkan gangguan pada sistem proteksi dan masalah interference.

Analisis harmonisa dilakukan untuk mengevaluasi efek distorsi dari arus dan tegangan non-sinusoidal pada sistem daya listrik .

Kata Kunci : *Sequence Method, Distorsi Harmonisa, Tak-seimbang.*

1. PENDAHULUAN

Peningkatan pengoperasian beban-beban nonlinier signifikan dengan timbulnya distorsi pada sistem daya. Pada sistem tiga fasa non-linier, elemen-elemen non-linier akan menimbulkan : harmonisa pada rangkaianannya dan mengakibatkan beban menjadi takseimbang yang disebabkan oleh perbedaan nilai parameter tiga fasa, sehingga seketika tegangan masing-masing fasanya akan berbeda. Arus pada masing-masing fasa juga tidak seimbang. Peralatan listrik didesain untuk digunakan pada sistem daya dengan bentuk gelombang sinus murni [1]. Distorsi harmonisa dapat terjadi salah satunya disebabkan oleh beban non-linier seperti : inverter, konverter, peralatan tanur busur listrik, peralatan kontrol, penggerak peubah kecepatan, peralatan elektronik, dll [7] [8] [14].

Beban tak seimbang akan memunculkan komponen urutan negatif dan nol. Komponen negatif akan mengakibatkan panas yang berlebihan pada : rotor alternator, penjumlahan trafo, menurunkan torsi dari mesin-mesin listrik AC, dan meningkatkan rugi daya pada jaringan transmisi. Komponen urutan nol dapat menyebabkan meningkatnya rugi-rugi pada jaringan transmisi , dan dapat berpengaruh pada kinerja sistem proteksi dan masalah interference [12].

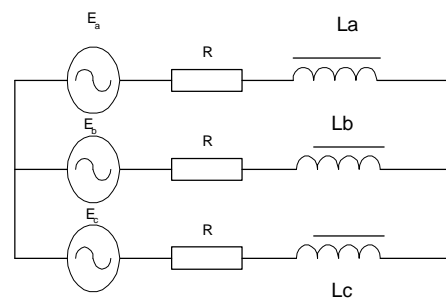
Bila gelombang arus dan tegangan terdistorsi, keadaan ini akan menyebabkan kondisi tidak normal pada sistem daya listrik. Kadar harmonisa yang

tinggi dalam sistem catu daya listrik tidak dikehendaki karena dapat menimbulkan kerugian [7] [8] [14]. Analisis harmonisa dilakukan untuk mengevaluasi efek distorsi dari arus dan tegangan non-sinusoidal pada sistem daya.

2. DASAR TEORI

2.1 Metode Urutan

Dalam analisa harmonisa sistem tiga fasa dengan kondisi sumber dalam keadaan seimbang, dihubungkan dengan beban nonlinier yang memiliki karakteristik yang sama. Rangkaian ekuivalen untuk aliran harmonisanya diberikan seperti Gambar 1. Pada sistem tiga fasa non-linier, elemen non-linier akan menimbulkan harmonisa pada rangkaianannya dan mengakibatkan kondisi takseimbang yang disebabkan oleh perbedaan nilai parameter tiga fasanya.



Gambar 1 Model Sistem Daya tiga fasa.

Persamaan rangkaian simetri tiga fase nonlinier dengan variabel tidak seimbang adalah:

$$\begin{aligned}
 U_a &= U_m \sin w.t \\
 U_b &= U_m \sin(w.t - 240^\circ) \\
 U_c &= U_m \sin(w.t + 120^\circ)
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

$U_a \neq U_b \neq U_c$, keadaan ini menyebabkan parameter inductor L_{abc} pada rangkaian tiga fase bentuknya akan menjadi seperti persamaan berikut :

$$\begin{aligned}
 L_a(U_a(t), i_a(t)); \\
 L_b(U_b(t), i_b(t)); \\
 L_c(U_c(t), i_c(t))
 \end{aligned}
 \tag{2}$$

Dengan kondisi seperti ini, nilai parameter pada sistem daya tiga fase akan berubah, dan sistem akan tidak seimbang. Pada keadaan takseimbang harmonisa masing-masing urutan dapat dibagi menjadi komponen urutan positif, negatif dan nol.

Dengan menggunakan teori substitusi, masing-masing inductor seperti pada Gambar (2.1) bisa diganti dengan sumber arus ekuivalen seperti persamaan berikut [1] :

$$\begin{aligned}
 \sum_{n=1}^{\infty} I_{an} e^{jn\omega t} ; \\
 \sum_{n=1}^{\infty} I_{bn} e^{jn\omega t} ; \\
 \sum_{n=1}^{\infty} I_{cn} e^{jn\omega t}
 \end{aligned}
 \tag{3}$$

Persamaan komponen arus urutan untuk harmonisa h^{th} dapat dibagi menjadi komponen urutan positif, negatif dan urutan nol.. Hubungan komponen urutan dengan metode komponen simetri dapat ditulis

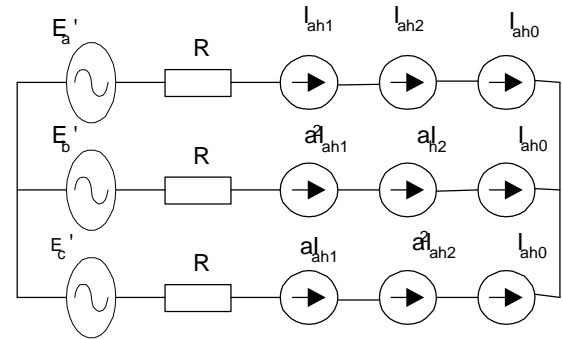
$$\begin{bmatrix} I_{ah1} \\ I_{ah2} \\ I_{ah0} \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_{ah} \\ I_{bh} \\ I_{ch} \end{bmatrix}
 \tag{4}$$

$a = e^{j120^\circ}$; I_{ah} , I_{bh} , I_{ch} : adalah komponen arus harmonik pada fasa a, b, dan c; sedangkan I_{ah1} , I_{ah2} , I_{ah0} adalah arus urutan positif, negatif, dan nol dari harmonisa h^{th} pada fasa.

Persamaan arus harmonisa untuk fasa b dan fasa c dapat ditentukan :

$$\begin{aligned}
 I_{bh1} &= a^2 I_{ah1}; \quad I_{ch1} = a I_{ah1}; \\
 I_{bh2} &= a I_{ah2}; \quad I_{ch2} = a^2 I_{ah2}; \\
 I_{bh0} &= I_{ch0} = I_{ah0}
 \end{aligned}$$

Persamaan model sistem daya untuk harmonisa h^{th} dapat dilihat seperti Gambar 2 :



Gambar 2 Equivalen Model Sistem Daya untuk Harmonisa h^{th}

2.2 Harmonisa pada sistem tenaga listrik.

Cacat gelombang yang disebabkan oleh interaksi antara bentuk gelombang sinusoidal sistem dengan komponen gelombang lain dikenal dengan harmonisa. THD didefinisikan sebagai persentase total komponen harmonisa terhadap komponen fundamentalnya.

THD tegangannya:

$$THD_V = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} V_h^2}}{V_1}
 \tag{5}$$

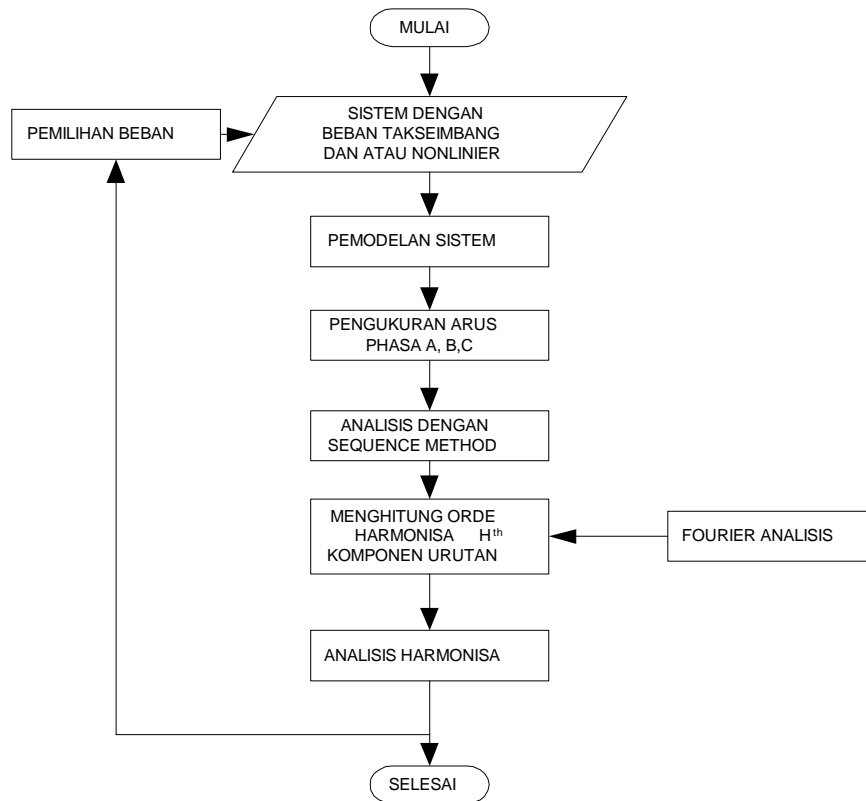
THD Arusnya adalah :

$$THD_I = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} I_h^2}}{I_1}
 \tag{6}$$

V_h ; I_h = komponen harmonisa. V_1 ; I_1 = komponen fundamental.

3. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini pada sistem dengan 2 bus. Untuk simulasi dipilih beban-beban non linier satu fasa yang di-set dengan nilai parameter yang berbeda. Pengukuran dilakukan hanya pada bus 2. Diagram alir penelitian seperti gambar 3.



Gambar 3. Metodologi Penelitian

4. HASIL DAN DISKUSI

4.1 Sistem Seimbang

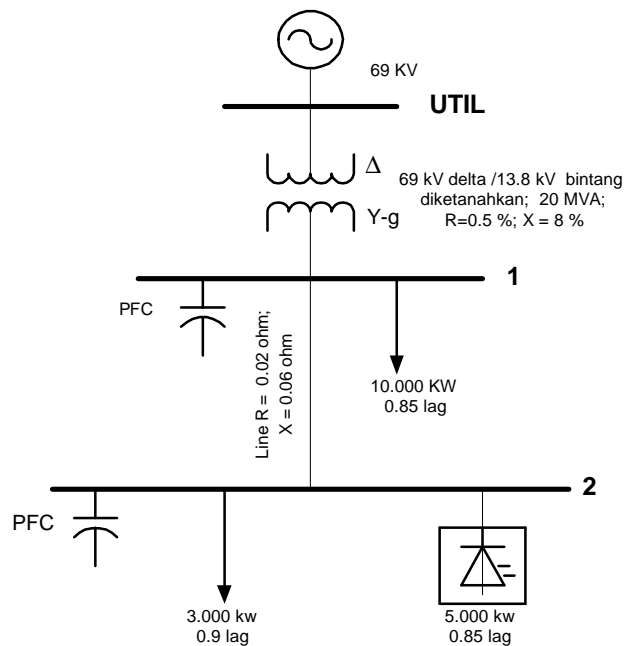
Untuk melakukan study analisa harmonisa digunakan sistem 2 bus dengan 4 kawat seperti Gambar 4.

kVA Base = 10.000kVA ; Impedansi base (pada 13.8 kV) = 19 Ω

Data load flow sistem diberikan pada table 1.

Tabel 1. Branch data

From bus	To bus	R (pu)	X (pu)	ElementType
UTIL	1	0.0025	0.04	Transformator
1	2	0.001	0.0032	Line



Gambar 4. Single line Diagram Sistem

Tabel 2 Hasil load flow

Bus	P-gen	Q-gen	P-load	Q-load	Shunt	V	Phasa
UTIL	1.860	0.152	0	0	0	1.0	0.0
1	0	0	1.0	0.62	0.62	0.922	-4.16
2	0	0	0.8	0.455	0.455	0.991	-4.3

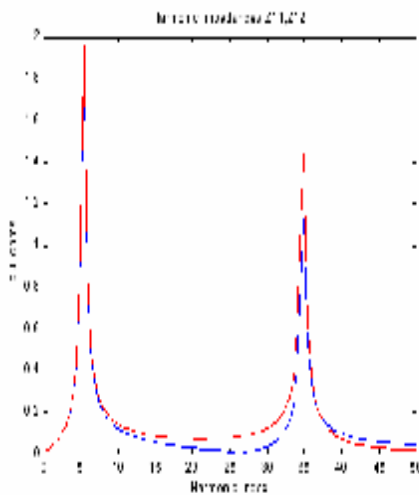
Dari pemodelan sistem nodal matrik admitansi [Y] dan matrik impedansi [Z] dapat dihitung. Maka bentuk matrik admitansi harmoniknya :

$$Y_h = \begin{bmatrix} \frac{1}{Z_{Th}} + \frac{1}{Z_{Lh}} + \frac{1}{Z_{Mh}} + \frac{1}{R_{Rh}} + j0.62h & -\frac{1}{Z_{Lh}} \\ -\frac{1}{Z_{Lh}} & \frac{1}{Z_{Lh}} + \frac{1}{Z_{R2h}} + j0.455h \end{bmatrix} ;$$

$$Z_h = Y_h^{-1} \tag{7}$$

Tegangan harmonic pada bus 1 dan bus 2 :

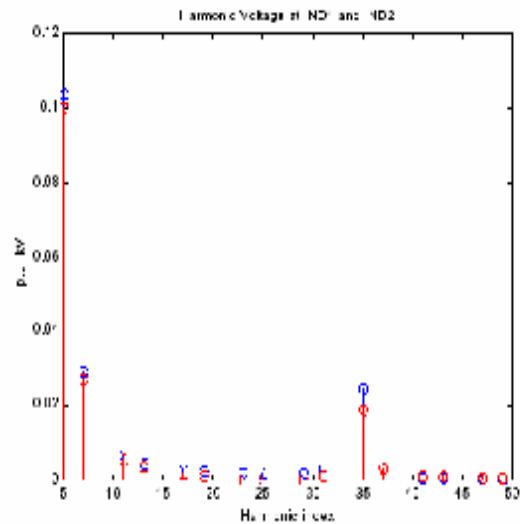
$$\begin{aligned} V_{1h} &= Z_h(1,2)I_{ch} \\ V &= Z_h(2,2)I_{ch} \end{aligned} \tag{8}$$



Gambar 5. Sistem Harmonic Impedance

Gambar 5 memperlihatkan driving point dan transfer impedansi yang terjadi seperti pada persamaan (7).

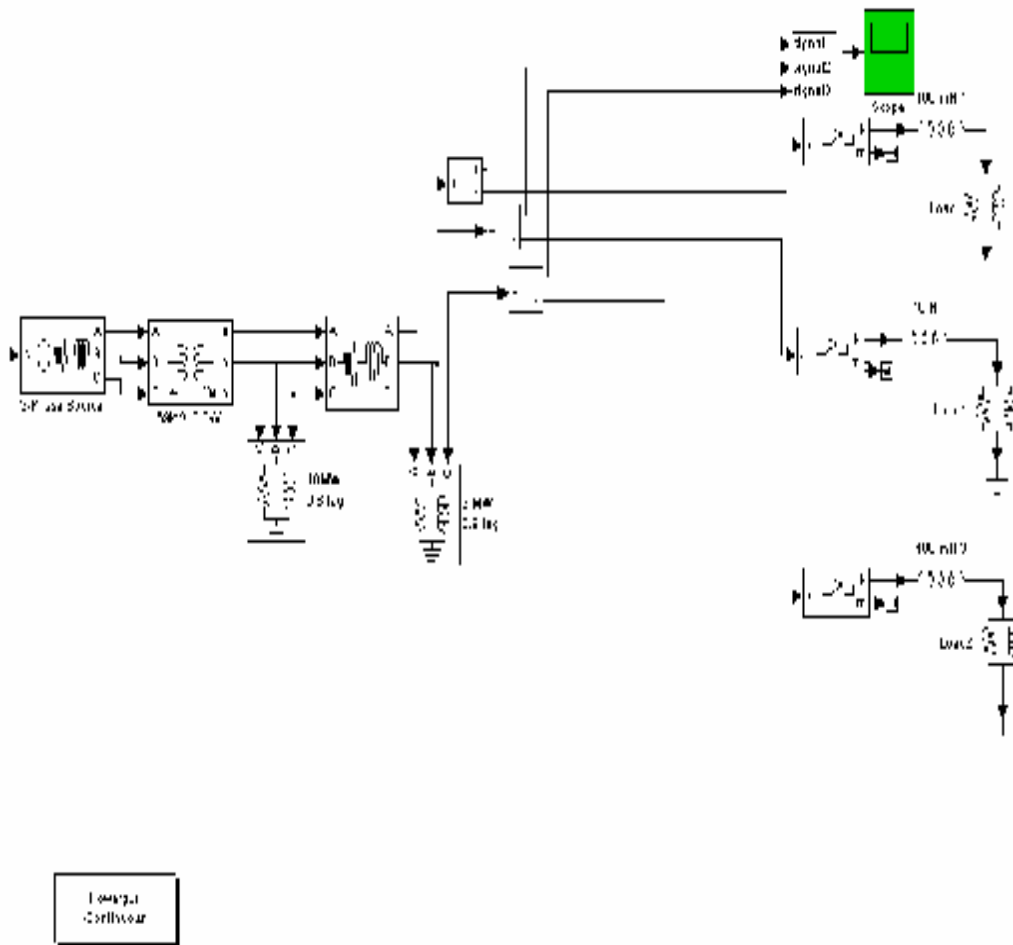
Dari hasil simulasi memperlihatkan pada system terjadi dua resonansi yaitu yang pertama terjadi pada harmonisa ke 5 dan yang kedua pada harmonisa ke 35.



Gambar 6. Sistem Harmonic Voltage

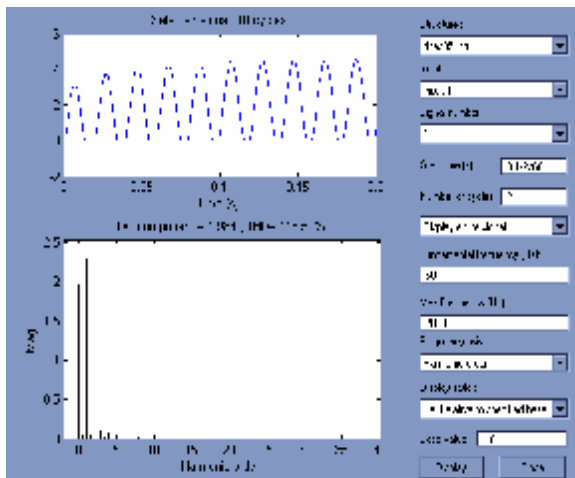
4.2 Sistem Takseimbang

Dengan model sistem sama seperti Gambar 4, disini dibuat beban pada bus 2 dari sistem tidak seimbang dengan memasang beban nonlinier satu fasa dengan nilai parameter berbeda sebanyak 3 buah.

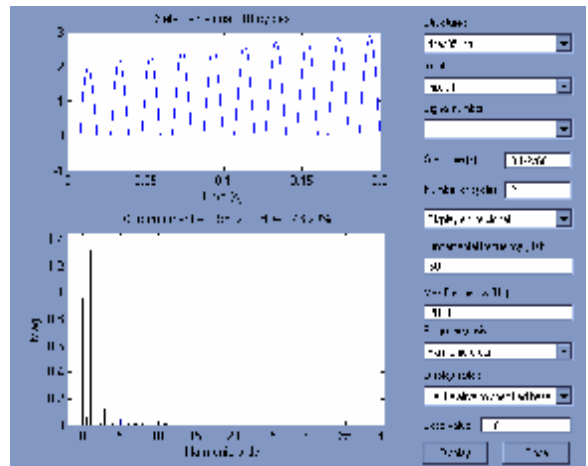


Gambar 7. Diagram Simulink untuk system Tak-seimbang

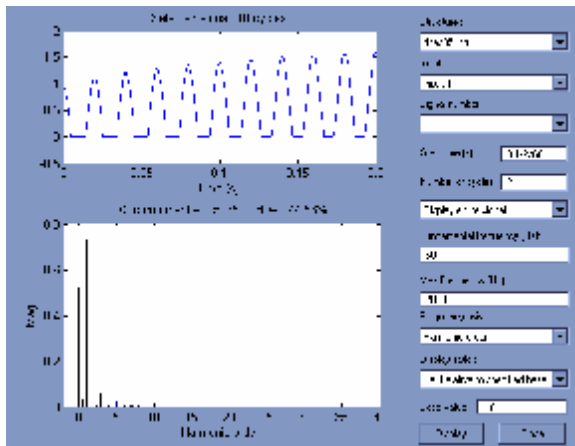
Orde harmonisa arus untuk Phasa a (bus 2)



Orde Harmonisa arus untuk Phasa b (bus 2)



Orde Harmonisa arus untuk Phasa c (bus 2):



Harmonisa dari masing-masing urutan phasa a
Tabel 4.3

Urutan Positif		Urutan Negatif		Urutan Nol	
Orde	Magnetude	Orde	Magnetude	Orde	Magnetude
4	0.06	2	0.13	3	0.11
10	0.01	5	0.04	6	0.01
13	0.01	8	0.02	9	0.01

Harmonisa dari masing-masing urutan phasa b.
Tabel 4.4

Urutan Positif		Urutan Negatif		Urutan Nol	
Orde	Magnetude	Orde	Magnetude	Orde	Magnetude
4	0.01	2	0.31	3	0.11
7	0.01	5	0.04	6	0.02
10	0.01	8	0.02	9	0.0
13	0.01	11	0.01	12	0.0

Harmonisa dari masing-masing urutan phasa c
Tabel 4.5

Urutan Positif		Urutan Negatif		Urutan Nol	
Orde	Magnetude	Orde	Magnetude	Orde	Magnetude
4	0.01	2	0.18	3	0.06
7	0.01	5	0.02	6	0.01
10	0.01	8	0.01	9	0.0
13	0.0	11	0.0	12	0.0

5. SIMPULAN

Analisis pada sistem daya seimbang cukup hanya menganalisa pada komponen urutan positifnya saja. Hasil simulasi memperlihatkan terjadi resonansi pada harmonisa 5 dan 35, ini disebabkan pada sistem ada terhubung elemen nonlinier.

Analisa harmonisa untuk sistem daya listrik pada kondisi tegangan takseimbang dapat dilakukan pada sistem dengan beban antar phasanya tidak seimbang atau pada sistem dengan beban nonlinier.

Sistem tiga fase nonlinier akan takseimbang disebabkan oleh parameter tiga phasanya. Karena itu untuk rangkaian harmonisanya dibuat dalam bentuk tiga rangkaian simetri. Ketika elemen nonlinier mengandung n orde harmonik yang terhubung ke sistem, 3n set rangkaian simetri digunakan untuk menggambarkan karakteristik elemen nonlinier tersebut.

6. DAFTAR ACUAN

- [1]. Yunping Chen; Qing Chang; Luojiang Qian & Ning Ma, "Studies of the Squence Circuits of Harmonics in Three-Phase Power System" IEEE Transaction on Power Aparatus and System, 2000.
- [2]. M. Fauri, " Harmonic Modelling of Non-Linear Load by means of Crossed Frequency Admittance Matrix ", IEEE Transaction on Power Systems, vol. 12, no. 4, November 1997.
- [3]. J. Lundquist; M.H.J. Bollen, " Harmonic Active Power Flow in Low and Medium Voltage Distribution System ", IEEE Transaction on Power Systems, 2000.
- [4]. Task Force on Harmonics Modelling and Simulation, " Modelling and Simulation of the Propagation of Harmonics in Electric Power Networks ", IEEE Transaction on Power Delivery, vol. 11, No. 1, January 1996.
- [5]. R.D. Shultz; R.A. Smith; G.L. Hickey, " Calculation of Maximum harmonic Current and Voltages on Transmition Lines ", IEEE Transaction on Power Apparatus and System , vol. Pas-102, No.4, April 1983.
- [6]. Ir. Surya Hadi Msc, " Harmonisa dan Pengaruhnya pada Peralatan System Distribusi ", SAINTEK ITM No 10 tahun VI, ISSN: 0854-4468.
- [7]. W. Meilczarski; G.J. Anders; M.F. Conlon; W.B. Lawrance; H. Khalsa; G. Michalik, " Quality of Electricity Supply Management of Network Losses ", Melbourne 1997.

- [8]. R. C. Dugan; M.F. Mc Granaghan,” Electrical Power System Quality “, The McGraw-Hill Companies, 1976.
- [9]. Irwin Lazar,” Electrical Systems Analysis and Design for Industrial Plants “, McGraw-Hill Company, 1980.
- [10]. Ding Hongfa; Duan Xiangzhong, “A New Method for Multi-Bus Unbalanced Voltages Synthetic Compensation” IEEE Transaction on Power Aparatus and System, 2000.
- [11]. Yaw-Juen Wang; Ming-Jer Yang, “ Probabilistic Modeling of Three-phasas Voltage Unbalance Caused by Load Fluctuation”, IEEE Transaction on Power Aparatus and System, 2000.
- [12]. Ding Hongfa; Duan Xiangzhong, “ A Novel Compensator for Unbalance Three Phase Distribution Feeders”, IEEE Transaction on Power Aparatus and System, 2000.
- [13]. J. Arrillaga; D.A. Bradley; P.S. Bodger, “ Power System Harmonic”, John Wiley and Sons, 1985.
- [14]. Bruce L. Gravis,” Short-Circuit, Coordination, and Harmonic Studies”, IEEE Industry Applications Magazine, March / April 2001.