

# Analisis Reduksi Harmonisa Pada Penyearah Jembatan Tiga Fasa Tak Terkontrol Menggunakan Filter Aktif

Harun Rasyid

**Abstract** - Penyearah jembatan 3 fasa tak terkontrol merupakan beban *non* linier yang akan menimbulkan harmonisa pada sistem tenaga listrik. Orde dan amplitudo gelombang harmonisa ini bervariasi ditentukan oleh beban. Untuk itu filter yang sesuai untuk mereduksi harmonisa ini adalah menggunakan filter aktif. Dalam tesis ini dianalisis suatu filter aktif untuk menghilangkan komponen harmonisa yang dominan dengan cara menginjeksikan arus yang berlawanan dengan komponen harmonisa sistem. Beban penyearah berupa resistor R dan resistor R yang diseri dengan induktor L. Kontrol *proporsional integral* (PI) digunakan untuk mengendalikan arus kompensasi. Analisis dilakukan menggunakan pendekatan simulasi. Hasil simulasi menunjukkan bahwa penggunaan penyearah jembatan 3 fasa tak terkontrol dengan beban resistif 5 ohm menghasilkan tingkat *total harmonic distortion* (THD) sebesar 22,9 % untuk arus dan sebesar 4,4 % untuk tegangan. Setelah dipasang filter aktif terjadi pengurangan harmonisa menjadi sebesar 3,1 % untuk arus dan sebesar 0,84 % untuk tegangan. Untuk hasil simulasi penyearah jembatan 3 fasa tak terkontrol dengan beban resistif 5 ohm dan induktansi 0,1 H menghasilkan tingkat *total harmonic distortion* (THD) sebesar 23,08 % untuk arus dan sebesar 4,05 % untuk tegangan. Setelah dipasang filter aktif terjadi pengurangan harmonisa menjadi sebesar 4,2 % untuk arus dan sebesar 0,83 % untuk tegangan.

## VII. PENDAHULUAN

Pemakaian komponen semikonduktor dalam proses konversi energi listrik misalnya pada penyearah (*rectifier*), chopper dc dan inverter menunjukkan makin berkembang pesat pemakaiannya. Penyearah jembatan tiga fasa tak terkontrol yang menggunakan dioda sebagai komponen *switching* merupakan suatu alat yang digunakan untuk mengubah tegangan bolak-balik ac tiga fasa menjadi tegangan searah dc dan dalam aplikasinya digunakan sebagai sumber tegangan searah pada motor dc, inverter, dc chopper dan lain-lain. Penggunaan penyearah jembatan tiga fasa tak terkontrol sebagai sumber tegangan dc ternyata menimbulkan harmonisa yang dapat mendistorsi gelombang fundamental sistem tenaga listrik.

Harun Rasyid bekerja di Jurusan Teknik Elektro - Politeknik Negeri Malang, dengan alamat korespondensi Jl. Soekarno Hatta No. 9, PO BOX 04 Malang 65141 Telp. (0341) 404424-404425, Fax. (0341) 404420

Arus harmonisa akan menyebabkan bentuk gelombang tegangan berubah, sehingga tidak berbentuk sinusoidal murni lagi. Hal ini sangat mengganggu peralatan listrik yang didesain beroperasi pada gelombang tegangan sinusoidal, sehingga akibatnya banyak kerugian yang dialami. Akibat dari harmonisa akan menyebabkan distorsi tegangan yang dapat menyebabkan peralatan-peralatan listrik menjadi cepat panas, gangguan pada peralatan yang menggunakan *relay* untuk *switching*, arus netral yang lebih besar dari arus *line* pada beban tiga fasa padahal beban masing-masing fasa hampir seimbang. Akurasi pengukuran pada kWh-meter jenis induksi akan berkurang. Bahkan trafo distribusi dapat terbakar walaupun bebannya masih dibawah kapasitas trafo tersebut. Oleh karena itu masalah harmonisa perlu mendapat perhatian serius.

Dalam penelitian ini akan digunakan filter aktif sebagai solusi untuk mereduksi harmonisa sistem tenaga listrik karena penggunaan penyearah jembatan tiga fasa tak terkontrol.

Tujuan penelitian ini adalah menganalisis filter aktif yang dapat mereduksi harmonisa pada sistem tenaga listrik yang ditimbulkan oleh penyearah jembatan tiga fasa tak terkontrol

## VIII. METODE PENELITIAN

### A. Tempat dan Waktu Penelitian

Tempat penelitian dilakukan di Politeknik Negeri Malang, jurusan Teknik Elektro, Program Studi Teknik Listrik. Waktu penelitian kurang lebih 4 bulan mulai bulan Maret-Oktober 2009.

### B. Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah

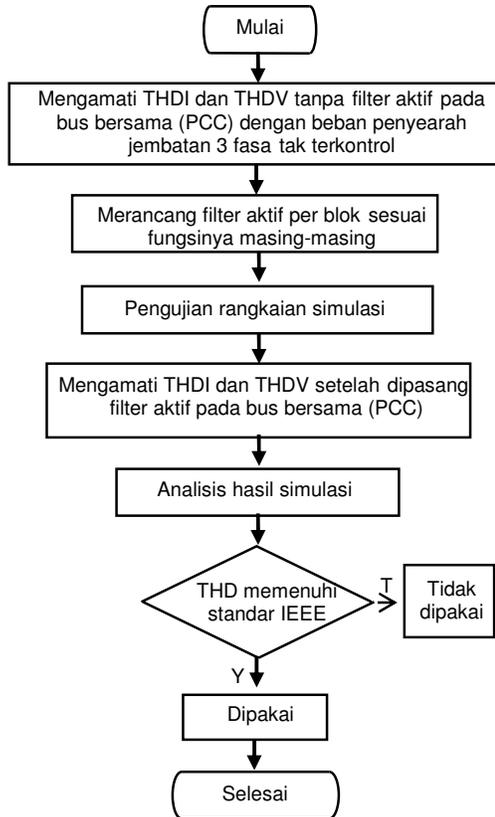
- Komputer
- Software PSIM version 4.1

### C. Metode Penelitian

Penelitian ini dilakukan secara simulasi yaitu merancang filter aktif untuk mereduksi harmonisa. Simulasi dimulai dengan mengamati *total harmonic distortion* (THD) untuk arus (THDI) dan tegangan (THDV) tanpa filter aktif. Selanjutnya dirancang filter aktif yang akan digunakan dalam simulasi. Blok sensor

arus digunakan untuk mensensing arus harmonisa, blok *bandpass filter* (BPF) untuk memisahkan harmonisa murni, blok kontrol PI untuk mengatur sinyal PWM.

Simulasi berikutnya mengamati THDI dan THDV dengan menggunakan filter aktif pada bus bersama (PCC). Diagram alir metode penelitian diperlihatkan pada Gambar 3.1.

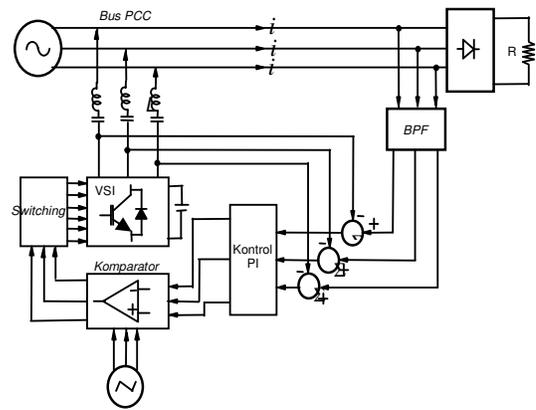


Gambar 3.1 Diagram Alir Metode Penelitian

#### D. Pemodelan Sistem Filter aktif

Pemodelan filter aktif secara keseluruhan diperlihatkan pada Gambar 3.2.

Prinsip kerja filter aktif dalam mereduksi harmonisa adalah sebagai berikut. Sumber tegangan sistem tenaga listrik mempunyai frekuensi tunggal/frekuensi fundamental. Karena adanya beban non linier maka muncul harmonisa. Arus yang mengandung harmonisa disensing oleh CT (current transformer) dan frekuensi fundamental dihilangkan oleh *band pass filter* (BPF), yang tersisa adalah arus harmonisa murni. Sinyal harmonisa murni di *inverse* (dibalik) dan dikuatkan oleh rangkaian daya (inverter). Dari rangkaian daya diinjeksikan ke sistem (PCC).

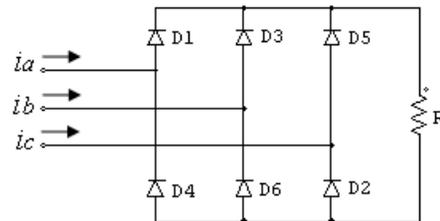


Gambar 3.2 Diagram Blok Sistem Filter Aktif

Dari diagram blok Gambar 3.2 dapat diuraikan sebagai berikut :

##### 1) Beban non Linier

Beban non linier yang digunakan adalah penyearah jembatan 3 fasa tak terkontrol dan modeling penyearah jembatan 3 fasa tak terkontrol seperti yang terlihat pada Gambar 3.3.



Gambar 3.3 Model Penyearah Jembatan 3 Fasa Tak Terkontrol

Arus yang mengalir pada bus PCC setiap fasa terdiri dari arus fundamental  $i_{1a}, i_{1b}, i_{1c}$  dan arus harmonisa

$i_{ha}, i_{hb}, i_{hc}$  dapat ditulis seperti persamaan berikut:

$$i_a = i_{1a} + i_{ha} \quad (2-12)$$

$$i_b = i_{1b} + i_{hb} \quad (2-13)$$

$$i_c = i_{1c} + i_{hc} \quad (2-14)$$

dimana,

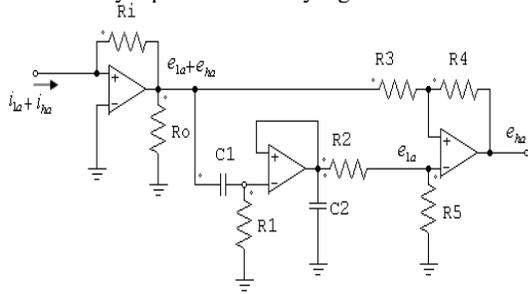
$i_{1a}, i_{1b}, i_{1c}$  adalah arus fundamental untuk fasa a, fasa b dan fasa c

$i_{ha}, i_{hb}, i_{hc}$  adalah arus harmonisa untuk fasa a, fasa b dan fasa c.

##### 2) Band Pass Filter

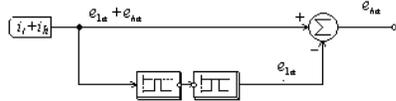
Untuk modeling rangkaian *band pass filter* secara keseluruhan diperlihatkan pada Gambar 3.4. Sinyal arus *input band pass filter* adalah arus fundamental  $i_{1a}, i_{1b}, i_{1c}$  dan arus harmonisa  $i_{ha}, i_{hb}, i_{hc}$  yang disensing oleh *current transformer* (CT). *Input* sinyal arus  $i_1 + i_h$  diubah menjadi sinyal tegangan dengan penguatan tetap sepanjang perbandingan antara resistans  $R_1$  dan  $R_o$  sama dengan satu. Untuk selanjutnya sinyal arus merupakan representasi sinyal tegangan yang sebanding antara keduanya. Sebagaimana fungsi

dari *band pass filter* yang meloloskan sinyal pada frekuensi fundamental 50 Hz yaitu  $e_{1a}$ ,  $e_{1b}$ ,  $e_{1c}$  dan memblok sinyal pada frekuensi yang lain.



Gambar 3.4 Modeling Rangkaian *Band Pass Filter*

Dari Gambar 3.4 dapat disederhanakan menjadi suatu blok diagram seperti pada Gambar 3.5. *Summing op-amp* menjumlahkan arus fundamental yang mengandung harmonisa dengan arus fundamental, dan secara keseluruhan *output summing op-amp* adalah arus harmonisa saja.



Gambar 3.5 Blok Diagram *Band Pass Filter*

Dari *transfer function* untuk rangkaian *band pass filter*, maka *output band pass filter* secara keseluruhan adalah:

$$E_{ha}(s) = E_a(s) \left( 1 - \frac{k.B.s}{s^2 + B.s + \omega_0^2} \right) \quad (2-15)$$

$$E_{hb}(s) = E_b(s) \left( 1 - \frac{k.B.s}{s^2 + B.s + \omega_0^2} \right) \quad (2-16)$$

$$E_{hc}(s) = E_c(s) \left( 1 - \frac{k}{s^2 + B.s + \omega_0^2} \right) \quad (2-17)$$

Keterangan:

$E_{ha}, E_{hb}, E_{hc}$ : tegangan harmonisa fasa a, fasa b dan fasa c.

$E_a, E_b, E_c$ : tegangan fundamental dan harmonisa fasa a, fasa b dan fasa c.

$B$ : lebar pita (*band width*).

$K$ : gain.

$\omega_0$ : center frequency.

Parameter blok *band pass filter* orde 2 terdiri dari :

*Center frequency*  $f_o = \frac{\omega_0}{2\pi}$ , disetting 50 Hz karena

frekuensi fundamental sumber tegangan adalah 50 Hz.

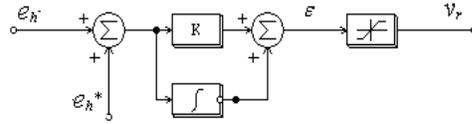
Gain  $k$  disetting sama dengan satu agar sinyal yang *output band pass filter* sama dengan sinyal *inputnya*.

Lebar frekuensi (*band width*)  $f_b = \frac{B}{2\pi}$ , disetting 50

Hz agar dapat meloloskan frekuensi fundamental 50 Hz saja dan akan memblok semua frekuensi selain frekuensi 50 Hz.

### 3) Kontrol *Proportional Integral (PI)* dan *Limiter*

Blok diagram kontrol *proportional integral* diperlihatkan pada Gambar 3.6.



Gambar 3.6 Blok Diagram Kontrol *Proportional Integral*

Sinyal *input* pada kontrol *proportional integral*  $e_e$  adalah selisih antara sinyal harmonisa dari *band pass filter*  $e_h$  dengan sinyal *output* inverter  $e_h^*$  yang merupakan umpan balik negatif, dan dapat dituliskan persamaannya untuk masing-masing fasa sebagai berikut:

$$e_{ea}(t) = e_{ha}(t) - e_{ha}^*(t) \quad (2-18)$$

$$e_{eb}(t) = e_{hb}(t) - e_{hb}^*(t) \quad (2-19)$$

$$e_{ec}(t) = e_{hc}(t) - e_{hc}^*(t) \quad (2-20)$$

Modeling kontrol *proportional integral (PI)* diperlihatkan pada Gambar 2-16. Sinyal *output* dari kontrol *proportional integral* pada masing-masing fasa

$\mathcal{E}_a, \mathcal{E}_b, \mathcal{E}_c$  adalah:

$$\mathcal{E}_a(t) = k_p . e_{ea}(t) + k_i \int e_{ea}(t) \quad (2-21)$$

$$\mathcal{E}_b(t) = k_p . e_{eb}(t) + k_i \int e_{eb}(t) \quad (2-22)$$

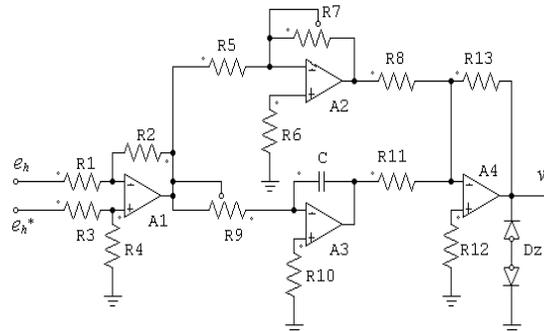
$$\mathcal{E}_c(t) = k_p . e_{ec}(t) + k_i \int e_{ec}(t) \quad (2-23)$$

Keterangan :

$$\text{Gain proportional } K_p = \frac{R_7}{R_5}$$

$$\text{Gain integral } K_i = \frac{1}{R_9 C}$$

$\mathcal{E}_a, \mathcal{E}_b, \mathcal{E}_c$ : tegangan *output* kontrol PI masing masing untuk fasa a, fasa b dan fasa c



Gambar 3.7 Modeling Kontrol *Proportional Integral*

Sinyal *output* dari kontrol *proportional integral* selanjutnya sebagai *input* pada *limiter* yang dalam Gambar 3.7 digambarkan dengan dua buah dioda zener anti parallel dan diberi notasi Dz. *Limiter* berfungsi untuk membatasi tegangan yang masuk pada komponen

elektronik berikutnya yaitu komparator.

4) *Inverter PWM*

Inverter PWM terdiri dari komparator, sinyal *carrier* dan inverter sumber tegangan VSI. Komparator berfungsi membandingkan antara sinyal dari kontrol *output limiter* masing-masing fasa yaitu  $v_{ra}$ ,  $v_{rb}$  dan  $v_{rc}$  dengan sinyal *carrier*  $V_c$ . Setelah kedua sinyal dibandingkan, *output* komparator masing-masing fasa akan mempunyai kondisi sebagai berikut:

$$S_a(t) \begin{cases} \text{Positif (+) untuk } v_{ra}(t) > V_c \\ \text{Negatif (-) untuk } v_{ra}(t) < V_c \end{cases} \quad (2-24)$$

$$S_b(t) \begin{cases} \text{Positif (+) untuk } v_{rb}(t) > V_c \\ \text{Negatif (-) untuk } v_{rb}(t) < V_c \end{cases} \quad (2-25)$$

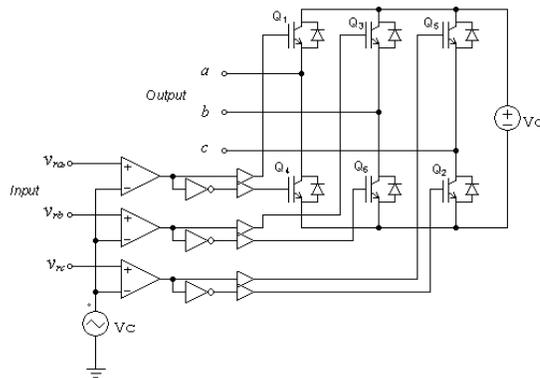
$$S_c(t) \begin{cases} \text{Positif (+) untuk } v_{rc}(t) > V_c \\ \text{Negatif (-) untuk } v_{rc}(t) < V_c \end{cases} \quad (2-26)$$

dimana,

$S_a, S_b, S_c$  : Sinyal *output* komparator masing-masing untuk fasa a, fasa b dan fasa c

$V_c$  : Sinyal *carrier*

Apabila sinyal *input* pada komparator lebih besar dari  $V_c$  maka sinyal *output* komparator  $S_a$  adalah positif (+), dan apabila sinyal *input* pada komparator lebih kecil dari  $V_c$  maka sinyal *output* komparator  $S_a$  adalah negatif (-). Sinyal *output* komparator selanjutnya digunakan sebagai *switching* inverter, dimana pada inverter terdapat 6 buah IGBT yaitu Q1, Q2, Q3, Q4, Q5, Q6 seperti diperlihatkan pada Gambar 3.8. Sinyal positif *output* komparator akan membuat IGBT konduksi, dan sinyal negatif *output* komparator membuat IGBT non konduksi.

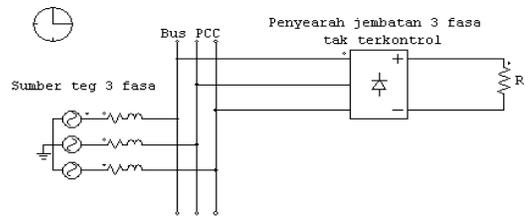


Gambar 3.8 Modeling Inverter PWM

IX. HASIL SIMULASI DAN ANALISIS

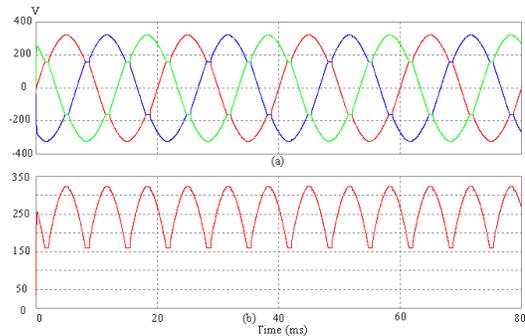
A. *Simulasi Tanpa Filter Aktif Dengan Beban R*

Model simulasi penyearah jembatan 3 fasa tak terkontrol tanpa filter aktif diperlihatkan pada Gambar 4.1. Suplai tegangan tiga fasa sisi generator 380 V antar fasa, frekuensi 50 Hz, impedansi generator dan jaringan diilustrasikan  $Z = R + jX_L$  dengan nilai resistans  $R = 0,5$  ohm, induktans  $L = 0,1$  mH. Penyearah jembatan 3 fasa tak terkontrol dihubungkan ke bus PCC, dan beban pada sisi keluaran penyearah adalah resistor dengan nilai 5 ohm.

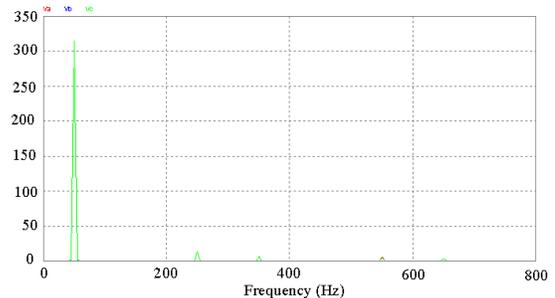


Gambar 4.1 Simulasi Tanpa Filter Aktif Dengan Beban R

Hasil simulasi dari rangkaian Gambar 4.1 berupa bentuk gelombang tegangan sisi bus PCC dan sisi *output* penyearah diperlihatkan pada Gambar 4.2, sedangkan spektrum harmonisa tegangan diperlihatkan pada Gambar 4.3.



Gambar 4.2 Bentuk Gelombang Tegangan Penyearah Jembatan 3 Fasa Tak Terkontrol Dengan Beban R Tanpa Filter Aktif (a) Sisi Bus PCC (b) *Output* Penyearah



Gambar 4.3 Spektrum Harmonisa Tegangan (THDV) sisi Bus PCC Penyearah Jembatan 3 Fasa Tak Terkontrol Dengan Beban R Tanpa Filter Aktif

Bentuk gelombang tegangan sisi bus PCC pada Gambar 4.2 (a) terlihat bahwa tegangan *input* penyearah jembatan tiga fasa tak terkontrol berbentuk tidak sinusoidal murni, hal ini disebabkan akibat dari arus komutasi pada induktans  $L_s$ . Dan dari spektrum harmonisa tegangan pada Gambar 4.3 dapat diuraikan masing-masing harmonisanya seperti pada Tabel 4.1. Berdasarkan Tabel 4.1 terlihat bahwa tegangan harmonisa pada masing-masing fasa dan nilai rata-rata yang paling besar ada pada harmonisa ke 5 (250 Hz) dengan rata-rata nilainya sebesar 11,65 V dan harmonisa ke 7 (350 Hz) dengan rata-rata nilainya sebesar 5,6 V serta harmonisa ke 11 (550 Hz) dengan rata-rata nilainya sebesar 5,14 V.

TABEL 4.1 HARMONISA TEGANGAN SISI BUS PCC TANPA FILTER

	AKTIF			
	$V_1$	$V_5$	$V_7$	$V_{11}$
	(V)	(V)	(V)	(V)
$V_a$	315	11,64	5,67	5,14
$V_b$	315	11,66	5,61	5,05
$V_c$	315	11,64	5,52	4,95
Rata-rata	315	11,65	5,60	5,05

Keterangan:

$V_1$ : Tegangan fundamental

$V_5$ : Tegangan harmonisa orde 5 pada frekuensi 250 Hz

$V_7$ : Tegangan harmonisa orde 7 pada frekuensi 350 Hz

$V_{11}$ : Tegangan harmonisa orde 11 pada frekuensi 550 Hz

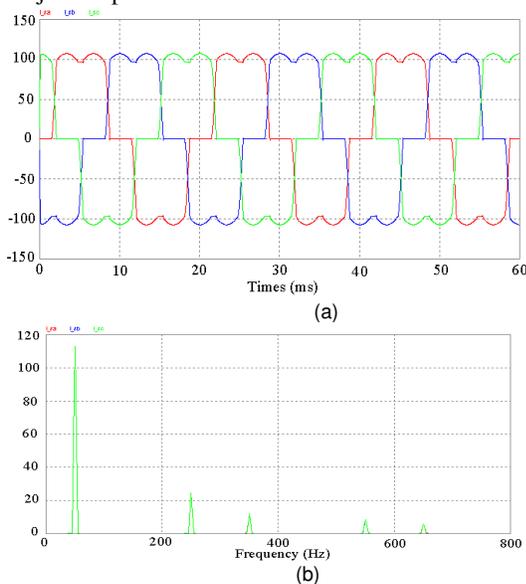
$V_a, V_b, V_c$ : Tegangan masing-masing untuk fasa a, fasa b dan fasa c.

Berdasarkan spektrum harmonisa pada Tabel 4.1 dapat dihitung *total harmonic distortion* (THD) tegangan dengan menggunakan persamaan (2-2) sebagai berikut :

$$THDV = \frac{\sqrt{(11,65)^2 + (5,6)^2 + (5,05)^2}}{315} \times 100\% = 4,4\%$$

Nilai THDV 4,4% masih berada dibawah standar IEEE 519-1992 yaitu sebesar 5 % untuk tegangan sampai 69 kV.

Hasil simulasi berupa bentuk gelombang arus pada bus PCC dan spektrum harmonisa arus (THDI) ditunjukkan pada Gambar 4.4.



Gambar 4.4 (a) Bentuk Gelombang Arus (b) Spektrum Harmonisa Arus (THDI) sisi Bus PCC Penyearah Jembatan 3 Fasa Tak Terkontrol Dengan Beban R Tanpa Filter Aktif

Dari Gambar 4.4 (a) terlihat bahwa bentuk gelombang

arus pada masing-masing fasa tidak sinusoidal murni, artinya bahwa arus sistem sudah terdistorsi oleh harmonisa akibat beban non linier yaitu penyearah jembatan 3 fasa. Dan dari spektrum harmonisa arus pada Gambar 4.4 (b) dapat diuraikan masing-masing harmonisanya seperti pada Tabel 4.2, dan terlihat bahwa arus harmonisa yang paling besar ada pada harmonisa orde 5 (250 Hz) dengan rata-rata nilainya = 22,01 A dan harmonisa orde 7 (350 Hz) dengan rata-rata nilainya = 10,35 A.

TABEL 4.2 HARMONISA ARUS SISI BUS PCC TANPA FILTER AKTIF

	$I_1$	$I_5$	$I_7$	$I_{11}$
	(A)	(A)	(A)	(A)
$I_a$	113,18	22,02	10,34	8,41
$I_b$	113,1	22	10,35	8,48
$I_c$	113,1	22	10,36	8,46
Rata-rata	113,13	22,01	10,35	8,45

Keterangan:

$I_1$ : Arus fundamental

$I_5$ : Arus harmonisa orde 5 pada frekuensi 250 Hz

$I_7$ : Arus harmonisa orde 7 pada frekuensi 350 Hz

$I_{11}$ : Arus harmonisa orde 11 pada frekuensi 550 Hz

$I_a, I_b, I_c$ : Arus masing-masing untuk fasa a, fasa b dan fasa c.

Berdasarkan spektrum harmonisa pada Tabel 4.2 dapat dihitung *total harmonic distortion* (THDI) arus dengan menggunakan persamaan (2-2) sebagai berikut:

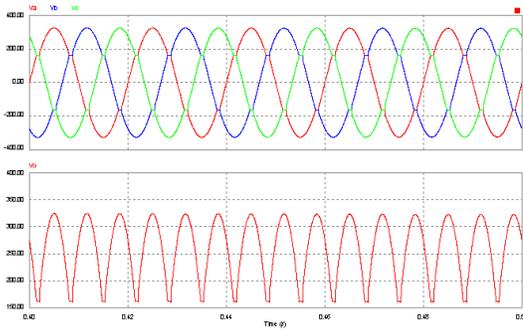
$$THDI = \frac{\sqrt{(22,01)^2 + (10,35)^2 + (8,45)^2}}{113,13} \times 100\% = 22,9\%$$

Menurut standar IEEE 519-1992 telah ditetapkan bahwa batas THDI yang diijinkan sebesar 15 %. Dari hasil perhitungan, *total harmonic distortion* (THDI) telah melampaui standar yang telah ditetapkan.

#### B. 4.2 Simulasi Tanpa Filter Aktif Dengan Beban R dan L

Model simulasi penyearah jembatan 3 fasa tak terkontrol tanpa filter aktif dengan beban R dan L diperlihatkan pada Gambar 4.1 dengan menambah L yang diseri dengan R.

Hasil simulasi bentuk gelombang tegangan sisi bus PCC dan *output* penyearah diperlihatkan pada Gambar 4.5.



Gambar 4.5 Bentuk Gelombang Tegangan Penyearah Jembatan 3 Fasa Tak Terkontrol Dengan Beban R dan L Tanpa Filter Aktif (a) Sisi Bus PCC (b) Output Penyearah

TABEL 4.3 HARMONISA TEGANGAN SISI BUS PCC DENGAN BEBAN R DAN L TANPA FILTER AKTIF

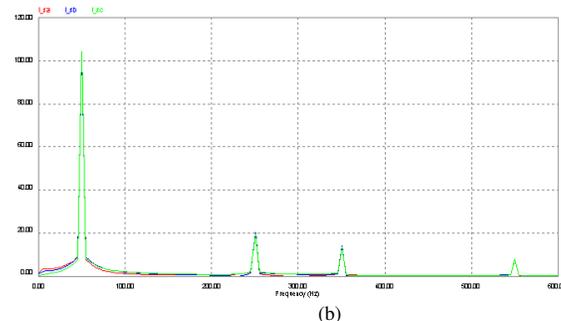
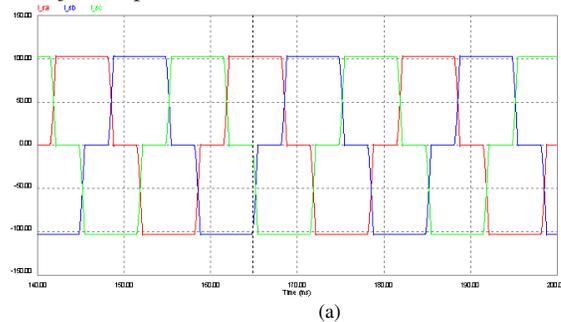
	$V_1$	$V_5$	$V_7$	$V_{11}$
	(V)	(V)	(V)	(V)
$V_a$	319,55	9,7	7,3	4,6
$V_b$	320	9,8	7,4	4,7
$V_c$	319,3	9,5	7,1	4,6
Rata-rata	319,62	9,67	7,27	4,63

Berdasarkan spektrum harmonisa pada Tabel 4.3 dapat dihitung *total harmonic distortion* (THD) tegangan dengan menggunakan persamaan (2-2) sebagai berikut :

$$THDV = \frac{\sqrt{(9,67)^2 + (7,27)^2 + (4,63)^2}}{319,62} \times 100\% = 4,05\%$$

Nilai THDV 4,4% masih berada dibawah standar IEEE 519-1992 yaitu sebesar 5 % untuk tegangan sampai 69 kV.

Hasil simulasi berupa bentuk gelombang arus pada bus PCC dan spektrum harmonisa arus (THDI) ditunjukkan pada Gambar 4.6.



Gambar 4.6 (a) Bentuk Gelombang Arus (b) Spektrum Harmonisa Arus (THDI) sisi Bus PCC Penyearah Jembatan 3 Fasa Tak Terkontrol Dengan Beban R dan L Tanpa Filter Aktif

Dari Gambar 4.6 (a) terlihat bahwa bentuk gelombang arus pada masing-masing fasa tidak sinusoidal murni, artinya bahwa arus sistem terdistorsi oleh harmonisa akibat beban non linier yaitu penyearah jembatan 3 fasa. Dan dari spektrum harmonisa arus pada Gambar 4.6 (b) dapat diuraikan masing-masing harmonisanya seperti pada Tabel 4.4, dan terlihat bahwa arus harmonisa yang paling besar ada pada harmonisa orde 5 (250 Hz) dengan rata-rata nilainya adalah 18,31 A, harmonisa orde 7 (350 Hz) dengan rata-rata nilainya adalah 13,3 A dan harmonisa orde 11 (550 Hz) dengan rata-rata nilainya adalah 17,66 A.

TABEL 4.4 HARMONISA ARUS SISI BUS PCC PENYEARAH JEMBATAN 3 FASA TAK TERKONTROL DENGAN BEBAN R DAN L TANPA FILTER AKTIF

	$I_1$	$I_5$	$I_7$	$I_{11}$
	(A)	(A)	(A)	(A)
$I_a$	103,74	18,36	13,17	7,56
$I_b$	102,73	18,7	13,63	7,7
$I_c$	104,1	17,87	13,1	7,77
Rata-rata	103,52	18,31	13,30	7,68

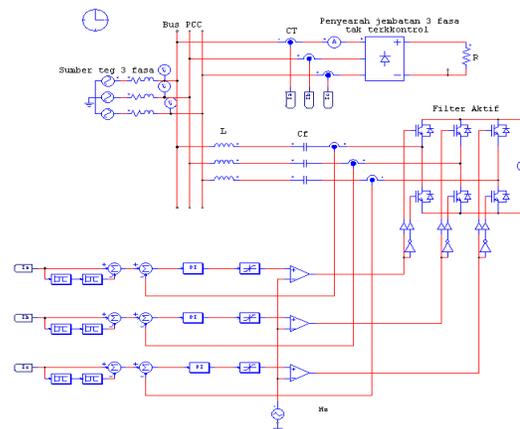
Berdasarkan spektrum harmonisa pada Tabel 4.4 dapat dihitung *total harmonic distortion* (THD) arus dengan menggunakan persamaan (2-2) sebagai berikut :

$$THDI = \frac{\sqrt{(18,31)^2 + (13,3)^2 + (7,68)^2}}{103,52} \times 100\% = 23,08\%$$

Menurut standar IEEE 519-1992 telah ditetapkan bahwa batas THDI yang diijinkan sebesar 15 %. Dari hasil perhitungan, *total harmonic distortion* (THDI) telah melampaui standar yang telah ditetapkan.

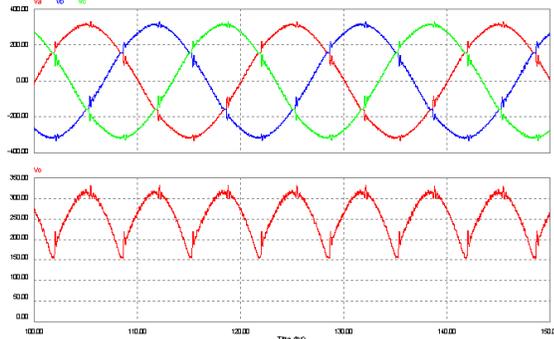
C. Simulasi Dengan Filter Aktif Untuk Beban R

Gambar 4.7 menunjukkan rangkaian simulasi penyearah jembatan 3 fasa tak terkontrol dengan filter aktif untuk beban R.



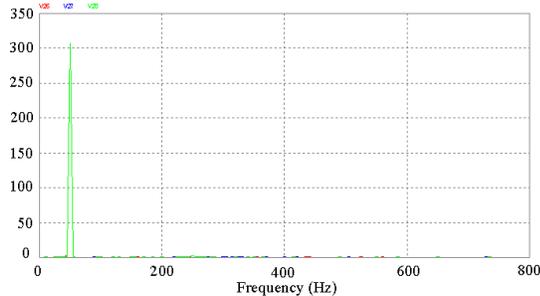
Gambar 4.7 Model Simulasi Filter Aktif

Hasil simulasi penyearah jembatan 3 fasa tak terkontrol dengan beban penyearah adalah  $R$  sebesar 5 ohm diperlihatkan pada Gambar 4.7, berupa bentuk gelombang tegangan pada sisi bus PCC dan tegangan *output* penyearah.



Gambar 4.8 Bentuk Gelombang Tegangan Penyearah Jembatan 3 Fasa Tak Terkontrol Dengan Beban  $R$  Menggunakan Filter Aktif (a) Sisi Bus PCC (b) *Output* Penyearah

Sedangkan hasil simulasi spektrum harmonisa tegangan ditunjukkan pada Gambar 4.8.



Gambar 4.9 Spektrum Tegangan pada Sisi bus PCC Setelah Dipasang Filter Aktif

Dari Gambar 4.8 (a) terlihat bahwa bentuk gelombang tegangan mendekati sinusoidal, tetapi terdistorsi dengan sinyal frekuensi tinggi, hal ini disebabkan karena filter  $LC$  dirancang untuk mereduksi harmonisa hanya sampai pada frekuensi 550 Hz, jadi untuk frekuensi harmonisa diatas frekuensi 550 Hz tidak dapat diredam.

Dan dari spektrum harmonisa tegangan pada Gambar 4.9 dapat diuraikan masing-masing harmonisa nya seperti pada Tabel 4.5

TABEL 4.5 HARMONISA TEGANGAN SISI BUS PCC DENGAN BEBAN  $R$  SETELAH DIPASANG FILTER AKTIF

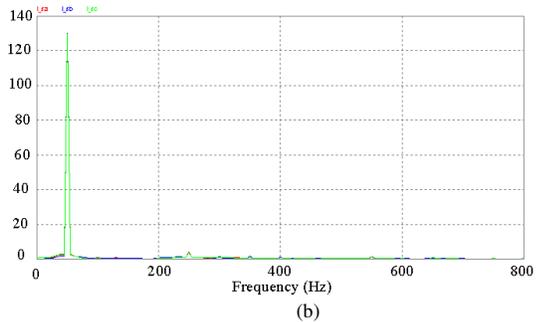
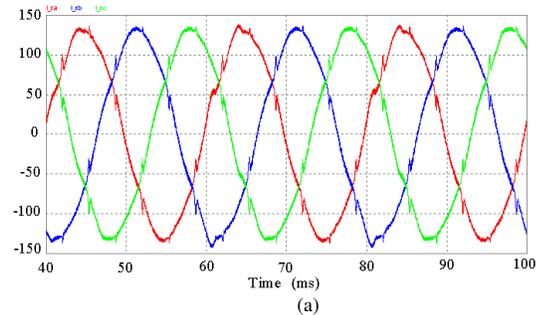
	$V_1$	$V_5$	$V_7$	$V_{11}$
	(V)	(V)	(V)	(V)
$V_a$	307,54	1,94	1,35	0,88
$V_b$	306,86	2,45	1,26	0,72
$V_c$	307,02	2,06	0,74	0,96
Rata-rata	307,14	2,15	1,12	0,85

$$THDV = \frac{\sqrt{(2,15)^2 + (1,12)^2 + (0,85)^2}}{307,14} \times 100\% = 0,84\%$$

Total harmonic distortion tegangan (THDV) pada sisi

bus PCC saat sebelum dipasang filter aktif sebesar 4,4 % dan setelah dipasang filter aktif THDV turun menjadi 0,84%.

Hasil simulasi berupa gelombang arus dan spektrum harmonisa arus sisi bus PCC ditunjukkan pada Gambar 4.10.



Gambar 4.10 Bentuk Gelombang Arus dan Spektrum Harmonisa Arus (THDI) Sisi Bus PCC Dengan Filter Aktif

Dari Gambar 4.10 (a) terlihat bahwa bentuk gelombang arus mendekati sinusoidal. Dan dari spektrum harmonisa arus dapat diuraikan masing-masing harmonisa nya seperti pada Tabel 4.6.

TABEL 4.6 HARMONISA ARUS SISI BUS PCC DENGAN BEBAN  $R$  SETELAH DIPASANG FILTER AKTIF

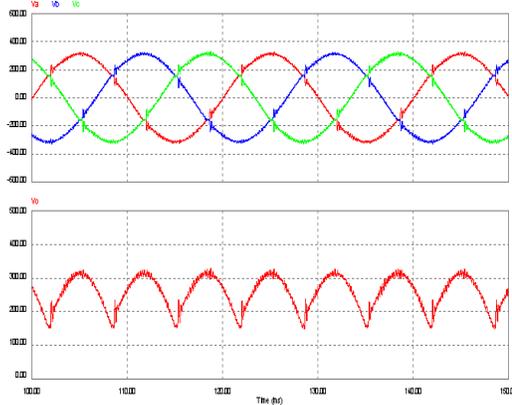
	$I_1$	$I_5$	$I_7$	$I_{11}$
	(A)	(A)	(A)	(A)
$I_a$	129,35	3,76	1,74	1,17
$I_b$	130,07	3,54	1,68	1,24
$I_c$	129,79	3,36	0,87	1,31
Rata-rata	129,74	3,55	1,43	1,24

$$THDI = \frac{\sqrt{(3,55)^2 + (1,43)^2 + (1,24)^2}}{129,74} \times 100\% = 3,1\%$$

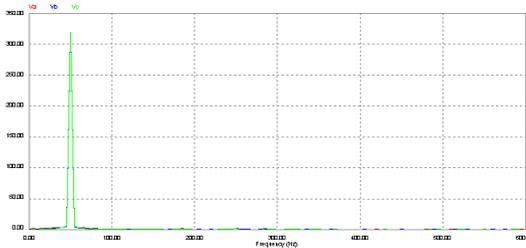
Total harmonic distortion arus (THDI) pada sisi bus PCC dengan beban penyearah berupa resistor, saat sebelum dipasang filter aktif sebesar 22,9 % dan setelah dipasang filter aktif THDV turun menjadi 3,1%.

D. Simulasi Dengan Filter Aktif Untuk Beban R dan L

Hasil simulasi bentuk gelombang tegangan dan spektrum harmonisa tegangan (THDV) sisi bus PCC pada penyearah jembatan 3 fasa tak terkontrol dengan beban R dan L setelah dipasang filter aktif dapat dilihat pada Gambar 5.16. Sedangkan hasil simulasi unruk spektrum harmonisa tegangan diperlihatkan pada Gambar 5.17.



Gambar 4.11 Bentuk Gelombang Tegangan Penyearah Jembatan 3 Fasa Tak Terkontrol Dengan Beban R dan L Menggunakan Filter Aktif (a) Sisi Bus PCC (b) Output Penyearah



Gambar 4.12 Spektrum Harmonisa Tegangan pada Sisi bus PCC Setelah Dipasang Filter Aktif

Dan dari spektrum harmonisa tegangan pada Gambar 4.12 dapat diuraikan masing-masing harmonisa nya seperti pada Tabel 4.7

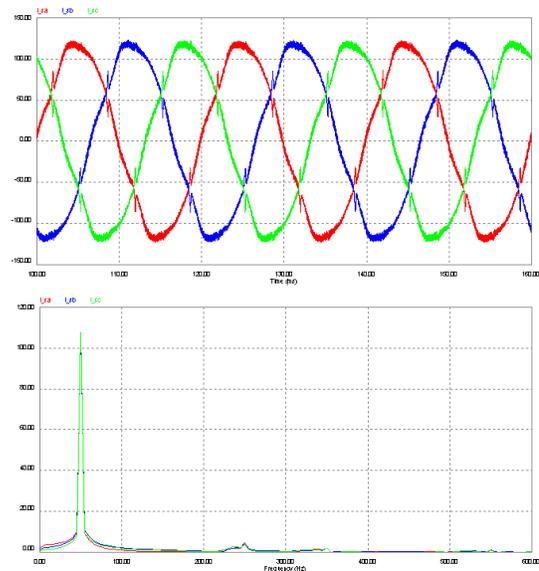
TABEL 4.7 HARMONISA TEGANGAN SISI BUS PCC DENGAN BEBAN R DAN L SETELAH DIPASANG FILTER AKTIF

	$V_1$	$V_5$	$V_7$	$V_{11}$
	(V)	(V)	(V)	(V)
$V_a$	314,91	11,79	6,37	4,88
$V_b$	314,8	11,73	6,43	4,95
$V_c$	314,78	11,67	6,33	4,84
Rata-rata	314,83	11,73	6,38	4,89

$$THDV = \frac{\sqrt{(11,73)^2 + (6,38)^2 + (4,89)^2}}{314,83} \times 100\% = 0,83\%$$

Total harmonic distortion tegangan (THDV) pada sisi bus PCC saat sebelum dipasang filter aktif sebesar 4,4 % dan setelah dipasang filter aktif THDV turun menjadi 0,83%.

Hasil simulasi berupa gelombang arus dan spektrum harmonisa arus sisi bus PCC ditunjukkan pada Gambar 4.13.



Gambar 4.13 Bentuk Gelombang Arus dan Spektrum Harmonisa Arus (THDI) Sisi Bus PCC Dengan Beban R dan L Menggunakan Filter Aktif

Dari Gambar 4.13(a) terlihat bahwa bentuk gelombang arus mendekati sinusoidal. Dan dari spektrum harmonisa arus dapat diuraikan masing-masing harmonisa nya seperti pada Tabel 4.8.

TABEL 4.8 HARMONISA ARUS SISI BUS PCC DENGAN BEBAN R DAN L SETELAH DIPASANG FILTER AKTIF

	$I_1$	$I_5$	$I_7$	$I_{11}$
	(A)	(A)	(A)	(A)
$I_a$	106,77	4,1	1,8	1,1
$I_b$	106,1	4,2	1,9	1
$I_c$	107,8	3,6	1,7	1,2
Rata-rata	106,89	3,97	1,80	1,10

Dari Tabel 4.8 dapat dihitung besarnya THD arus,

$$THDI = \frac{\sqrt{(3,97)^2 + (1,8)^2 + (1,1)^2}}{106,89} \times 100\% = 4,2\%$$

Total harmonic distortion arus (THDI) pada sisi bus PCC dengan beban penyearah berupa resistor, saat sebelum dipasang filter aktif sebesar 23,08% dan setelah dipasang filter aktif THDV turun menjadi 4,2%.

## X. KESIMPULAN DAN SARAN

## A. Kesimpulan

Adapun kesimpulan dari hasil penelitian ini adalah :

1. Penyearah jembatan 3 fasa tak terkontrol dapat menimbulkan harmonisa pada sistem tenaga listrik karena arus yang mengalir melewati dioda hanya satu arah saja, yang menyebabkan arus sumber tidak berbentuk sinusoidal lagi dan terdistorsi arus yang mengalir pada dioda tersebut.
2. Sebelum dipasang filter aktif, pada beban R untuk nilai resistan sebesar 5 ohm besarnya THDI 22,9 % dan THDV 4,4 %. Pada beban R yang diseri dengan L untuk L sebesar 0,1 H dan resistan 5 ohm besarnya THDI 23,08 % dan THDV 4,05 %.
3. Setelah dipasang filter aktif, pada beban R untuk nilai resistan sebesar 5 ohm besarnya THDI 3,1 % dan THDV 0,84 %. Pada beban R yang diseri dengan L untuk L sebesar 0,1 H dan resistan 5 ohm besarnya THDI 4,2 % dan THDV 0,83 %.

## B. Saran

Untuk mereduksi harmonisa banyak sekali macam filter harmonisa yang dapat digunakan, dari penelitian ini dapat dikembangkan lagi dan dibandingkan dengan macam-macam filter yang lainnya

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Arrillaga, J, Bradley, D.A. dan Bodger, P.S. 1985. Power Sistem Harmonic, John Wiley, New York
- [2] C. Dugan, R. ; Mark, F. M. dan. Beaty, W. 2002. Electrical Power Sistem Quality, New York.
- [3] Erhaneli, M. B.S.. 2003. Pengurangan Harmonik pada Konverter-Inverter dengan Menggunakan Filter Pasif, Tesis, Program Pasca Sarjana Program Studi Teknik Elektro UGM, Yogyakarta.
- [4] Ghosh , Arindam, 2002, Power Quality Enhancent Using Custem Power Device, New York.
- [5] Rashid, H. Muhammad. 2004. Power Electronics Circuits, Devices, and Applications, Third Edition, International Edition.
- [6] IEEE, 1992, IEEE Recommended Practices and Requirements Harmonic Kontrol in Electric Power System (IEEE Std. 519-1992), IEEE Inc., New York, 10017-2393, USA.
- [7] Kusko, Alexander dan Thomson, T, Marc. 2007. Power Quality in Electriacal Sistem. Mc Graw Hill, New York.
- [8] PE. Jonathan. 2002. Advanced Power Technology, Tutorial IGBT. Columbia
- [9] Salam, Z.; Cheng, P.T. dan Jusoh, A. 2006. Harmonic Mitigation Using Active Power Filter : A Technological Review. Elektriika. Volume 8. Nomor 2; halaman 17-26.
- [10] Schneider Electric, Harmonic Detection And Filtering.
- [11] Suriadi dan Masri, S. 2004. Minimasi Harmonisa Pada Jaringan Tiga Fasa Dengan Metode Pergeseran Fasa. Rekayasa Elektriika. Volume 3. Nomor 2; halaman 1-4.
- [12] Sutanto, Jusmin dan Buhron, Hernadi.2006. Implikasi Harmonisa dalam Sistem Tenaga Listrik dan Alternatif Solusinya. Dept. Teknik Energi Politeknik Negeri Bandung dan Dept. Teknik Elektro Universitas Siliwangi Tasikmalaya