

# Peredaman Harmonik Sistem Tenaga Menggunakan Filter Aktif *Hybrid*

Subuh Isnur Haryudo

Electrical Engineering, Faculty of Technology, Hang Tuah University  
Jl. Arif Rahman Hakim 150 Surabaya 60111, Indonesia.

**Abstract:** Development of non linear loading in the application of industry and distribution system as well as harmonic compensation becomes specific attention. Harmonic pollution and reactive power is an important problem in increasing power quality. Hybrid filter combines second order high pass filter and active filter for decreasing harmonic current in the power system. A rectifier is used for generating harmonic current. With this hybrid filter, an harmonic current can be reduced so that the wave current pattern of the source is approximately sinusoidal. Principal of the harmonic current compensation is introduced and proved by simulation. Simulation system with “filter active hybrid single tuned” created gives corelation between harmonic current at the source current and converter current which shows that at active hybrid filter can reduce an harmonic at the source current and in the active filter, there is an harmonic current component.

**Keywords :** *hybrid filter, high pass filter, and harmonic current.*

## PENDAHULUAN

### Polusi Harmonik Dan Kompensasi Daya Reaktif

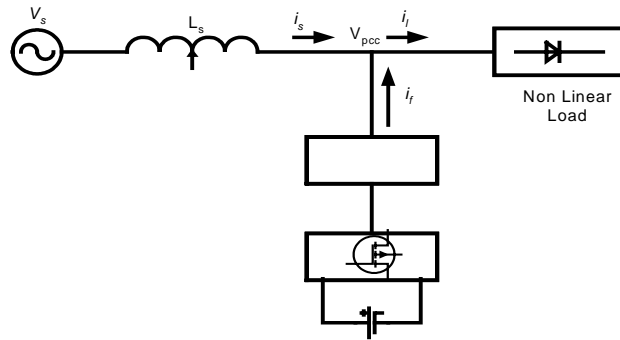
Polusi harmonik dan daya reaktif merupakan masalah penting kualitas daya. Dengan berkembangnya beban-beban non linier di dalam aplikasi industri dan sistem distribusi, kompensasi harmonik semakin menjadi perhatian khusus.

Filter pasif jenis *Damped Filter* Orde Dua sering dipakai karena memiliki beberapa kelebihan diantaranya memberi unjuk kerja yang baik tetapi memiliki rugi-rugi yang lebih besar pada frekuensi fundamental. Dengan digabungkannya *converter* yang dapat dikontrol bisa menyelesaikan permasalahan tersebut. Dari dua gabungan filter ini lebih dikenal dengan Filter Aktif *Hybrid*.

Dalam makalah ini, prinsip dari filter aktif *hybrid* akan dianalisis khususnya filter aktif dengan rangkaian *damped filter* orde dua sederhana yang diperkenalkan. Unjuk kerja sistem yang ditunjukkan dengan hasil simulasi.

### Prinsip Filter Aktif Daya Dengan Rangkaian *High Pass Filter Damped* Orde Dua

Penyederhanaan diagram rangkaian satu fase dari filter aktif daya tiga fasa dengan rangkaian *passive high pass filter damped* orde dua ditunjukkan pada gambar 1. Pada gambar 1 dapat di ketahui bahwa  $i_l$  adalah arus beban,  $v_{ppc}$  tegangan pada PCC,  $Z_s$  impedansi saluran,  $Z_f$  impedansi antara konverter dan PCC,  $v_f$  dan  $i_f$  berturut-turut adalah tegangan dan arus.



**Gambar 1.** Penyederhanaan diagram skema single fasa dari filter daya aktif dengan rangkaian *high pass filter damped* orde dua

Misalnya subscript 1, h berturut-turut adalah komponen fundamental dan harmonik. Pernyataan berikut dapat diperoleh :

$$V_{f1} = V_{pcc1} + Z_{f1} \cdot I_{f1} \quad (1)$$

$$V_{fh} = V_{pcc h} + Z_{fh} \cdot I_{fh} \quad (2)$$

Dalam situasi ideal, diasumsikan tegangan frekuensi fundamental pada PCC drop pada  $Z_f$ , kemudian  $V_{f1}$ . Selain itu, filter yang seharusnya menyediakan arus harmonik beban, seperti  $I_{fh} = I_{lh}$ . Apabila tegangan yang diinginkan PCC menjadi sinusoida murni, kemudian  $V_{pcc h} = 0$ , dan (2) menjadi  $V_{fh} = Z_{fh} \cdot I_{lh}$ . Jadi tegangan konverter dan arus sebagai berikut:

$$v_f = \sum_h v_{fh} \quad (3)$$

$$i_f = i_{f1} + \sum_h i_{lh} \quad (4)$$

Dengan jelas bahwa rating VA konverter rendah dapat dicapai dengan mengurangi  $V_f$  dan  $i_f$ . Pemilihan rangkaian *high pass filter damped* orde dua dalam gambar 1 akan mempunyai pengaruh besar pada unjuk kerja filter aktif *hybrid*.

### Penyeleksian Rangkaian *Passive High Pass Filter Damped Orde Dua* Tegangan kapasitor DC

Karakteristik kompensasi dari filter aktif ditentukan oleh banyak faktor. Salah satu faktor yang sangat penting adalah tegangan konstan  $V_{dc}$  dari kapasitor dc di gambar 1. Misalkan rangkaian di gambar 1 meliputi induktor inveter  $L_i$  dan filter pasif, dengan tegangan  $v_{Li}$  dan  $v_F$  secara berurutan, maka secara formulatif dapat dinyatakan melalui persamaan berikut.

$$v_{Li} = v_{ppc} - v_F + kV_{dc} \quad (5)$$

Dimana k dapat bernilai 1/3 atau 2/3 bergantung pada mode operasi *converter*. Dalam situasi ideal,  $V_{pcc}$  hanya meliputi tegangan frekuensi fundamental dan sama dengan yang ada di

$V_F$ . Sebagai hasil,  $V_{Li}$  ditentukan hanya oleh tegangan harmonik  $V_{Fh}$  di filter pasif dan  $kV_{dc}$ . Mengingat situasi nyata, tegangan frekuensi kecil yang ada dan dinyatakan masing-masing sebagai  $V_{la1}$ ,  $V_{lb1}$  dan  $V_{lc1}$ . Sementara itu tegangan harmonik di filter pasif sebagai  $V_{Fah}$ ,  $V_{Fbh}$  dan  $V_{Fch}$ , arus kompensasi tiga fasa masing-masing sebagai  $i_{afa}$ ,  $i_{afb}$  dan  $i_{afc}$ . Persamaan-persamaan berikut dapat ditentukan:

$$\begin{aligned} L_i \frac{di_{afa}}{dt} &= v_{la1} + v_{Fah} + K_a V_{dc} \\ L_i \frac{di_{afb}}{dt} &= v_{lb1} + v_{Fbh} + K_b V_{dc} \\ L_i \frac{di_{afc}}{dt} &= v_{lc1} + v_{Fch} + K_c V_{dc} \end{aligned} \quad (6)$$

Analisis dari karakteristik kompensasi filter aktif *hybrid* adalah sama dengan analisa filter aktif murni. Dengan mengambil fasa A sebagai contoh, persamaan berikut harus dikerjakan untuk memperoleh kompensasi yang baik saat  $K_a = 1/3$ :

$$L_i \frac{di_{afa}}{dt} = v_{la1} + v_{Fah} + K_a V_{dc} \geq 0 \quad (7)$$

Kemudian,

$$V_{dc} \geq 3(v_{la1m} + V_{Fahm}) \quad (8)$$

dengan  $V_{la1m}$  dan  $V_{Fahm}$  adalah nilai puncak dari  $v_{la1}$  dan  $v_{Fah}$  secara berturut-turut.

Dari persamaan (8) diketahui bahwa tegangan kapasitor dc dari filter aktif *hybrid* tergantung pada tegangan frekuensi fundamental yang kecil  $v_{la1}$  dan tegangan harmonik  $v_{Fah}$ . Nilai dari  $v_{la1}$  sangat kecil dengan kontrol yang tepat dan dapat diabaikan. Sehingga, tegangan kapasitor dc adalah:

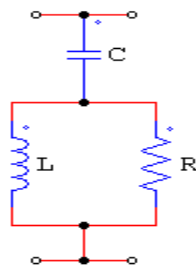
$$V_{dc} \geq 3V_{Fahm} \quad (9)$$

Komponen elektronika daya tegangan rendah atau komponen hubungan seri dapat digunakan dalam converter dengan tegangan kapasitor dc yang kecil. Artinya bahwa rating VA yang rendah dan rugi-rugi yang rendah dari converter frekuensi *switching* tinggi. Kita tahu dari (9) bahwa  $V_{dc}$  ditentukan oleh harga  $V_{Fah}$  dan  $V_{Fah}$  tergantung pada hasil dari arus terkompensasi dan impedansi harmonik dari filter pasif. Oleh karenanya penyeleksian dari rangkaian *passive high pass filter damped* orde dua sangat penting. Menjadi jelas bahwa  $V_{Fah}$  bernilai kecil jika filter *multiple tunes* digunakan. Kendati demikian susunan yang rumit tidak memungkinkan tepat dalam beberapa situasi. Sehingga sebuah filter aktif tipe C, yang mempunyai beberapa keuntungan baik pada susunan yang sederhana maupun pada karakteristik yang baik diajukan

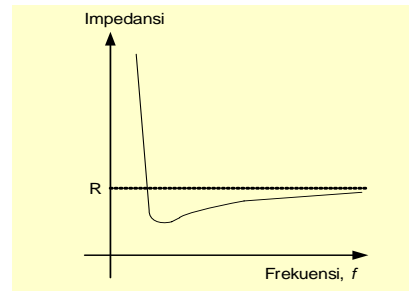
Susunan paling sederhana dari rangkaian *passive high pass filter damped* orde dua dalam gambar 1 dapat disubstitusikan dengan sebuah *leg-tuned high pass filter damped* orde dua pada frekuensi yang cocok, yaitu sebuah filter *single tuned-passive*. Dengan susunan gabungan ini, sebuah kapasitor ditambahkan dibandingkan dengan filter aktif murni. Tegangan kapasitor dc kecil dapat pula ditentukan melalui desain yang tepat dari filter *single-tuned* untuk aplikasi yang khusus. Dengan mempertimbangkan baik struktur yang sederhana maupun karakteristik kompensasi harmonik, filter aktif *hybrid single tuned* yang sederhana merupakan pilihan yang lebih baik dalam berbagai situasi.

### Perencanaan High Pass Filter Damped Orde Dua

*High pass filter damped* orde dua yang terdiri atas resistansi yang diparalel dengan induktor dan diseri dengan kapasitor.



a



b

**Gambar 2.** a. *High pass filter damped* orde dua  
b. Kurva impedansi fungsi frekuensi dari *high pass filter damped* orde dua

Impedansi rangkaiannya:

$$Z = \frac{1}{j\omega C} + \frac{Rj\omega}{R + j\omega L} \quad (10)$$

$$= \frac{\omega^2 RL^2}{R^2 + \omega^2 L^2} + j \left( \frac{R^2 \omega L}{R^2 + \omega^2 L^2} - \frac{1}{\omega C} \right)$$

Pada saat resonansi bagian imajiner = 0, persamaan menjadi

$$\frac{R^2 \omega_0 L}{R^2 + \omega_0^2 L^2} - \frac{1}{\omega_0 C} = 0$$

$$R^2 \omega_0^2 LC = R^2 + \omega_0^2 L^2$$

$$a = \omega_0^2 ; b = R^2 \omega_0^2 C ; c = R^2$$

$$L_{12} = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

$$L_{12} = \frac{R^2 \omega_0^2 C \pm \sqrt{(R^2 \omega_0^2 C)^2 - 4\omega_0^2 R^2}}{2\omega_0^2} \quad (11)$$

Agar terdapat nilai L maka dibawah akar harus  $\geq 0$ , sehingga:

$$R^4 \omega_0^2 C^2 - 4\omega_0^2 R^2 \geq 0$$

$$R \geq \frac{2}{\omega_0 C} \quad (12)$$

sehingga nilai induktansi yang diperoleh menjadi

$$L_{12} = \frac{R^2 C}{2} \pm \sqrt{\frac{R^4 C^2}{4} - \frac{R^2}{\omega_0^2}} \quad (13)$$

Pada saat  $R = \frac{2}{\omega_0 C}$ , nilai induktansi:

$$L = \frac{R^2 C}{2} \quad (14)$$

Pada frekuensi resonansi, nilai reaktansinya:

$$X_0 = \frac{1}{\omega_0 C} \quad (15)$$

Faktor kualitas filter:

$$Q = \frac{R}{X_0} \quad (16)$$

Sedangkan kurva respon impedansi terhadap frekuensi dari *High Pass Filter Damped Orde* Dua dapat dilihat pada gambar 2 b.

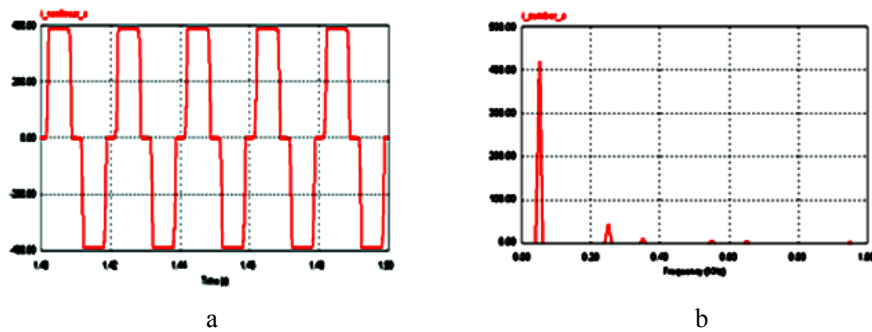
## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Studi Simulasi

Sistem simulasi dengan filter aktif *hybrid single tuned* dibentuk. Parameter dari rangkaian simulasi adalah sebagai berikut: tegangan line 380 V, 50 Hz, nilai kapasitor dan induktor filter

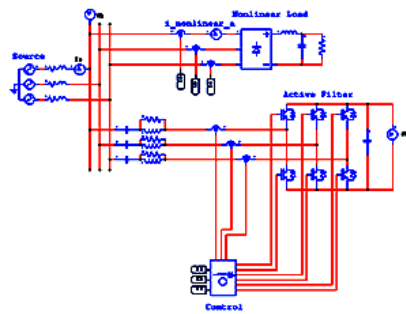
pasif adalah  $500 \mu\text{F}$  dan  $0,378 \text{ mH}$  secara berurutan. Nilai kapasitor dc adalah  $500 \mu\text{F}$  dan beban adalah penyearah enam pulsa dengan daya  $61 \text{ kW}$ .

Hasil-hasil simulasi sebelum ada filter ditunjukkan pada gambar 3.

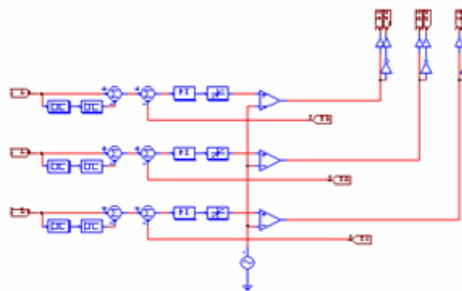


**Gambar 3.** a. Arus pada beban dan sumber  
b. Harmonik arus pada beban dan sumber sebelum ada filter

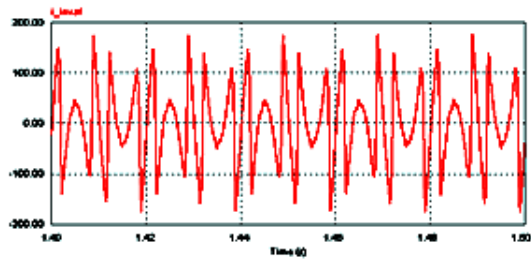
Gambar 6, 7, 8, 9, dan 10 memberikan hubungan arus harmonik pada arus sumber dan arus *converter* yang menunjukkan bahwa pada filter aktif *hybrid* tidak muncul harmonisa pada arus sumber sedangkan pada filter aktif masih ada komponen arus harmonik.



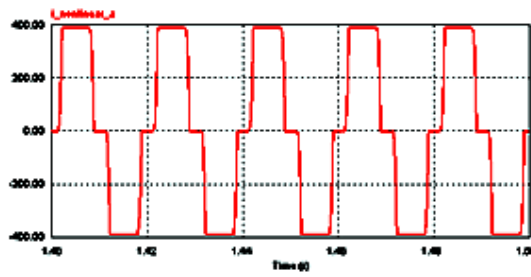
**Gambar 4.** Rangkaian filter aktif *hybrid*



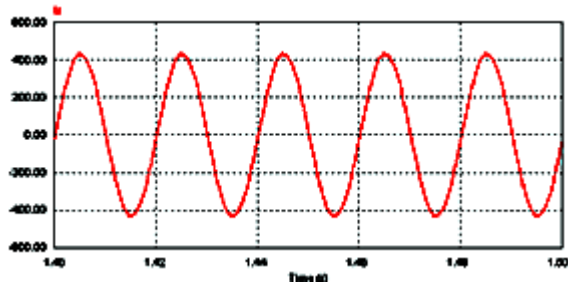
**Gambar 5.** Rangkaian kontrol PI



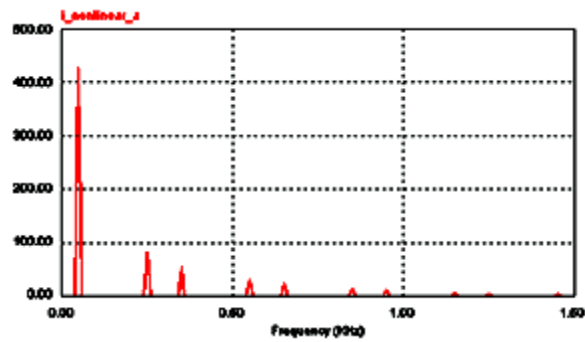
Gambar 6. Arus kompensasi aktual dari konverter



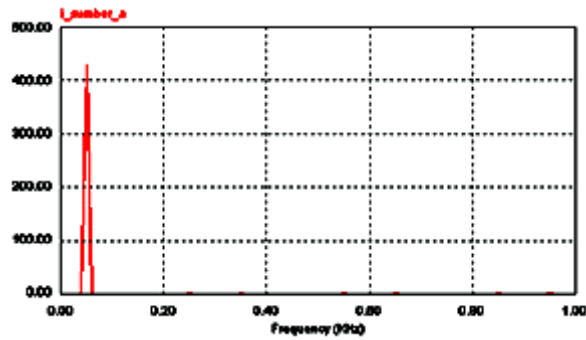
Gambar 7. Arus beban



Gambar 8. Arus sumber sesudah kompensasi



Gambar 9. Spektrum harmonik arus beban dengan filter



Gambar 10. Spektrum harmonic arus sumber dengan filter

## KESIMPULAN

Prinsip dari filter aktif *hybrid* dan penyeleksian dari rangkaian *high pass filter damped* orde dua yang digunakan di filter aktif *hybrid* dianalisa. Filter aktif *hybrid single tuned* adalah pilihan paling baik untuk banyak aplikasi dalam sistem tenaga dengan beban non linier, sehingga dapat memperbaiki kualitas daya yang dihasilkan. Keefektifan kompensasi dari daya reaktif dan harmonik yang dibuktikan dengan simulasi.

## DAFTAR PUSTAKA

- Ashari, M. *Harmonics in Power System*. Surabaya: Dept. of Electrical Engineering-FTI-ITS.
- Balbo, N. Penzo, R. Sella, D. Malesani, L. Mattavelli, P and Zuccato, A. 1994. *Simplified Hybrid Active Filter for Harmonic Compensation in Low Voltage Industrial Application*. Italy: Proceedings of the International Conference on Harmonics in Power System. pp.263-269. September 21-23. Bologna.
- Fujita, H. Yamasaki, T dan Akagi, H. 2000. *A hybrid Active Filters for Damping of Harmonic Resonance in Industrial Power System*. IEEE Trans. On Power Electronics.15 (2). pp.215-222.
- Rastogi, M. Mohan, N and Edris, A. A. 1995. *Hybrid Active Filtering of Harmonic Systems*. IEEE Trans. Power Delivery. vol. 10. no.5. October. pp.1994-2000.
- Xiao, X. Xu, Y. dan Liu, H. 2002. *A Hybrid Active Filter For Filtering Power System Harmonics*. Beijing: IEEE Power System and Communication Infrastructures for the Future. September.