

## PENGURANGAN HARMONIK MENGGUNAKAN FILTER PASIF PADA GEN-SET FASE TUNGGAL

Lukman Subekti<sup>1)</sup>, Adlan Bagus Pradana<sup>1)</sup>, Ma'un Budiyo<sup>1)</sup>, Candra Febri Nugraha<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup>Departemen Teknik Elektro Dan Informatika, Sekolah Vokasi, UGM, Sekip Unit III, Yogyakarta, 55281  
E-mail: lukmans@ugm.ac.id

### Abstract

Generator-set which is often abbreviated as Gen-set is a backup power source that will operate when the power supply from PT. PLN outages. Gen-sets installed in laboratories must be able to supply loads consisting of electric motors, and other electronic equipment. It is important to realize that electric motors and electronic equipment are non-linear loads containing harmonic components, therefore when the gene-set operates the voltage waveform is not purely sinusoidal. Electric motors that are supplied with impure sinusoidal voltage will not work optimally. In this research, reducing harmonics is done by installing a filter on the side of the gen-set terminal with a power capacity of 5 kVA. If the gen-set is operated without a load, it has a Total Harmonic Distortion (THD) voltage of 9.2% and increases to 34.6% when the load is 600 VA and is filtered with an inductor ( $L = 1335$  mH) and a capacitor ( $C = 12\mu\text{F}$ ). At the same load after the passive filter is set with the value of the inductor  $L = 2.5$  mH and capacitor  $C = 5\mu\text{F}$ , THD turns out to be reduced to 5.6%.

**Keywords:** *reduction, harmonics, passive filter, gen-set*

### Abstrak

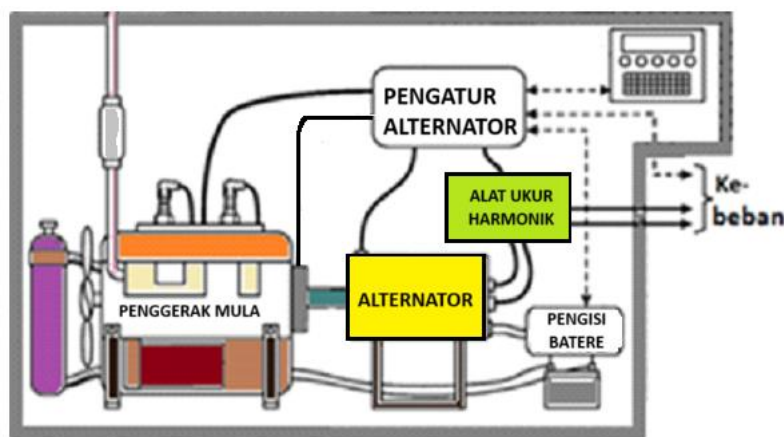
Generator-set yang sering disingkat Gen-set adalah sumber daya cadangan yang akan beroperasi ketika catu daya dari PT. PLN padam. Gen-set yang dipasang di laboratorium harus dapat memasok beban yang terdiri atas motor listrik, dan peralatan elektronik lainnya. Penting untuk disadari bahwa motor listrik dan peralatan elektronik adalah beban non-linier yang mengandung komponen harmonik, oleh karena itu ketika gen-set beroperasi bentuk gelombang tegangannya tidak murni sinusoidal. Motor listrik yang disuplai dengan tegangan sinusoidal tidak murni tidak akan bekerja secara optimal. Dalam penelitian ini, mengurangi harmonik dilakukan dengan memasang filter di sisi terminal gen-set berkapasitas daya 5 kVA. Jika gen-set dioperasikan tanpa beban, *Total Harmonic Distortion* (THD) tegangan yang dimiliki sebesar 9,2% dan meningkat menjadi 34,6% ketika berbeban 600 VA dan difilter dengan induktor ( $L = 1335$  mH) dan kapasitor ( $C = 12\mu\text{F}$ ). Pada beban yang sama setelah filter pasif diatur dengan nilai induktor  $L = 2.5$  mH dan kapasitor  $C = 5\mu\text{F}$ , ternyata THD nya berkurang menjadi 5.6%.

**Kata Kunci:** *pengurangan, harmonik, filter pasif, gen-set*

## PENDAHULUAN

Gen-set merupakan seperangkat alat gabungan antara generator dan penggerak mula atau engine yang dapat digunakan sebagai pembangkit listrik cadangan pada saat pasokan daya dari PLN terputus. Generator yang digunakan pada gen-set umumnya jenis generator sinkron yang menghasilkan tegangan arus bolak-balik. Bentuk

gelombang yang dihasilkan oleh gen-set biasanya disesuaikan dengan bentuk gelombang tegangan dari sumber PLN, yakni sinusoidal dengan tegangan 220 V dan frekuensi 50 Hz. Generator yang menghasilkan arus bolak-balik sering disebut juga dengan alternator.



Gambar 1. Sekema Unit Gen-set Fase Tunggal

Umumnya di laboratorium berisi peralatan listrik diantaranya : mesin-mesin listrik AC/DC, peralatan elektronik, komputer dan lampu TL yang semuanya termasuk beban tidak linear. Beban tidak linear adalah beban yang menarik gelombang arus tidak sinusoidal ketika dicatu oleh sumber tegangan sinusoidal (IEEE. Std 519, 1992). Jika terdapat arus yang cacat akibat terdistorsi oleh beban tidak linear, maka jatuh tegangan pada jaringan listrik juga akan terdistorsi, sehingga muncul komponen harmonik dalam sistem tenaga listrik (Isnaeni, 2000). Dengan kata lain beban listrik tidak linear adalah merupakan sumber harmonik. Jaringan listrik yang mengandung harmonik ditandai dengan bentuk gelombangnya tidak sinusoidal murni. Apabila gelombang yang terdistorsi tersebut digunakan pada motor-motor listrik AC, maka akan muncul rugi-rugi tambahan yang menjadikan motor listrik tersebut tidak bekerja secara optimal (Klingshirn, E.A. and H.E. Jordan, 1968).

Komponen harmonik yang muncul akan memiliki frekuensi yang besarnya adalah kelipatan dari frekuensi fundamentalnya. Jadi harmonik ke-3 memiliki frekuensi 150 Hz untuk frekuensi sistem 50 Hz, tentu saja harmonik ke-2 dan ke-4 demikian juga, yakni memiliki frekuensi 100 Hz dan 200 Hz. Komponen harmonik dengan kelipatan ganjil sering disebut dengan harmonik gasal, sedangkan harmonik dengan kelipatan genap

disebut dengan harmonik genap. Namun untuk komponen harmonik genap tidak begitu berpengaruh karena saling meniadakan (eliminir).

Permasalahan yang ada di lapangan; seberapa besar distorsi gelombang yang dihasilkan oleh gen-set?. Apakah dengan memasang filter pasif dapat mempengaruhi distorsi gelombang sinusoidalnya?.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui seberapa besar distorsi tegangan yang muncul saat gen-set dioperasikan dan seberapa besar pengaruhnya bila dipasang filter.

Distorsi gelombang sinusoidal dapat dihitung dengan *distortion factor* (DF), yakni

$$DF = \frac{1}{\sqrt{1 + (THD)^2}} \quad (1)$$

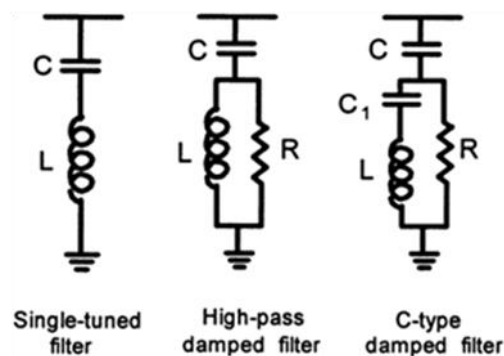
*Total Harmonic Distortion* (THD) adalah distorsi harmonik total tegangan yang dapat dihitung berdasarkan rumus 2 (IEEE. Std 519, 1992).

$$THD = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{50} V_h^2}}{V_1} \times 100\% \quad (2)$$

Secara praktis komponen harmonik tegangan dihitung sampai dengan  $h = 50$ , karena alat ukur yang digunakan hanya mampu mengukur sampai dengan harmonik tegangan yang ke 50. Distorsi harmonik total arus (THDi) dapat dihitung dengan menggunakan rumus 3 (Hart, D.W.,1997).

$$THD_i = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} I_n^2}}{I_1} \times 100\% \quad (3)$$

Untuk mengurangi harmonik pada jaringan listrik ada beberapa cara, salah satunya adalah memasang filter harmonik.



Gambar 2. Macam Jenis Filter Pasif

Gambar 2. Adalah contoh macam-macam jenis filter pasif. Filter pasif yang sering digunakan untuk memitigasi harmonik adalah jenis filter single-tuned. Filter jenis ini

sederhana dan paling murah dibandingkan dengan filter jenis yang lain. Filter ini terhubung paralel dengan jaringan listrik dan disetel untuk menghasilkan impedansi rendah ke frekuensi harmonik tertentu. Oleh karena itu, arus harmonik dialihkan dari jalur impedansi terkecil melalui filter (Zubair, 2012).

Dalam hal desain filter, pemilihan kapasitas dari kapasitor yang tepat sangat penting dari sudut pandang faktor daya. Hubungan antara reaktansi kapasitor dan daya reaktif dinyatakan dengan rumus 4.

$$Q_{\text{Filter}} = \frac{V_{\text{cap}}^2}{X_c} \quad (4)$$

Nilai kapasitans dari kapasitor diperoleh dengan rumus 5.

$$C = \frac{1}{2\pi f X_c} \quad (5)$$

Nilai induktif dari filter dapat diperoleh dengan rumus 6.

$$L = \frac{1}{(2\pi f)^2 C} \quad (6)$$

dengan ketentuan :

$Q_{\text{Filter}}$  = kapasitas kapasitor dalam Var

$V_{\text{Cap}}$  = tegangan capasitor dalam volt

$X_c$  = reaktans kapasitor dalam  $\Omega$

$X_L$  = reaktans induktif dalam  $\Omega$

$f$  = frekuensi dalam Hz

$L$  = induktans dalam H.

$C$  = kapasitans dalam F

## METODE PENELITIAN

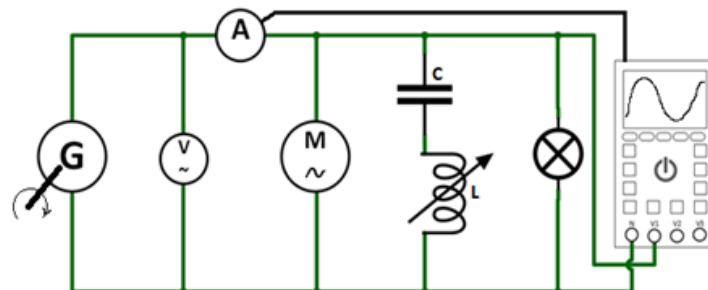
Penelitian ini dilakukan dengan merangkai filter pasif yang menggunakan komponen kapasitor dan induktor. Filter tersebut kapasitasnya disesuaikan dengan tegangan dan frekuensi jaringan yang akan disuplai oleh gen-set. Pengurangan harmonik yang dilakukan perlu disesuaikan dengan kapasitas gen-set dan nilai distorsi harmonik total yang muncul. Gen-set yang digunakan dalam penelitian ini adalah type OH5500CE, yaitu gen-set fase tunggal dengan daya 5 kVA, 220 V, 50 Hz., dan induktor yang digunakan berupa autotrafo. Maksud penggunaan induktor dari autotrafo adalah agar nilai induktans dapat dengan mudah diubah sesuai dengan kebutuhan. Kapasitor yang digunakan adalah kapasitor non-polar dengan kapasitans ; 5  $\mu\text{F}$ , 8  $\mu\text{F}$ ,

dan  $12 \mu\text{F}$ . Instrumen yang digunakan untuk mengukur tegangan, arus, distorsi dan spektrum harmonik adalah Power&Harmonic Analyzer type DW-6095. Gen-set dan power & harmonic analyzer dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Gen-Set dan Alat Ukur Harmonik

Pada penelitian ini menggunakan gen-set fase tunggal, sehingga bebannya berupa motor listrik fase tunggal dan lampu-lampu.



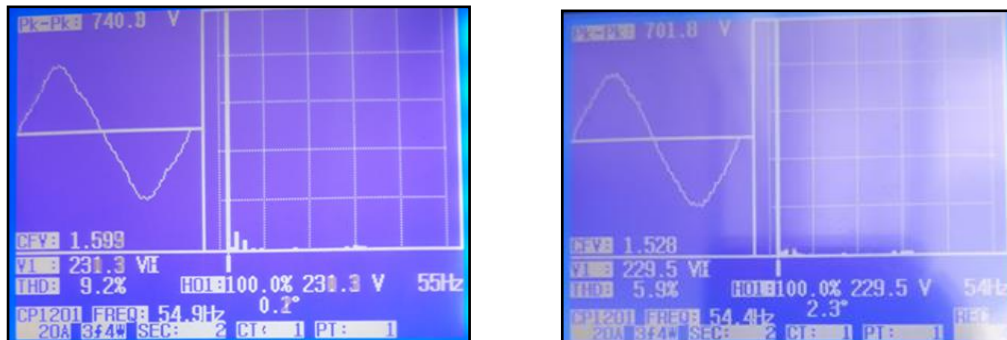
Gambar 4. Rangkaian Pengujian Filter pada Gen-set

Pada Gambar 4. beban dari gen-set diilustrasikan sebagai beban non-linear yang dapat berupa motor listrik dan lampu. Beban juga merupakan sumber harmonik, perubahan beban dapat menghasilkan perubahan harmonik. Untuk mengetahui pengaruh perubahan nilai filter yang digunakan sebagai pengurangan harmonik, maka beban yang terpasang dipertahankan konstan. Variabel kapasitor di pasaran harganya cukup mahal, karenanya pada penelitian ini digunakan kapasitor permanen.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada pengujian gen-set tanpa beban, tidak ada arus yang mengalir, sehingga yang dapat diukur adalah gaya gerak listriknya. Tegangan dan frekuensi gen-set yang terukur

terlihat melampaui nilai nominal, hal ini oleh pihak industrinya dirancang agar supaya saat menerima beban penuh dapat menghasilkan tegangan 220 V, frekuensi 50 Hz.



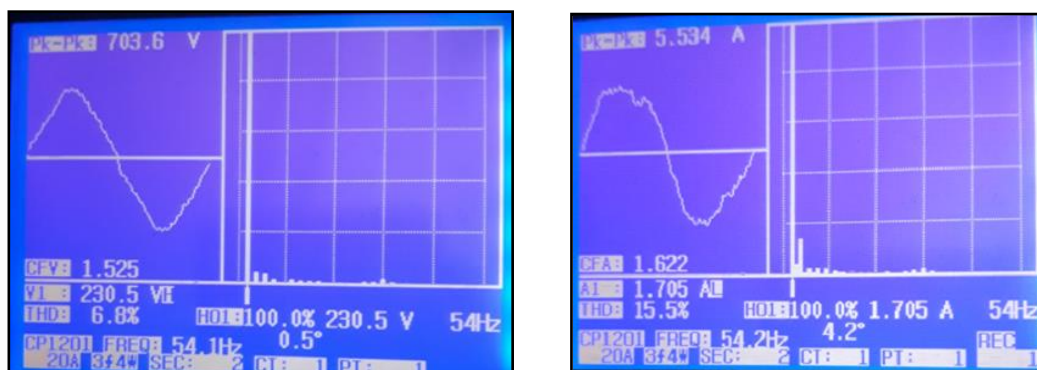
a) Bentuk Gelombang Tanpa Beban

b) Bentuk Gelombang Berbeban Lampu Pijar

Gambar 5. Bentuk Gelombang Tegangan pada Gen-set

Pada Gambar 5.a. diperlihatkan bahwa gen-set yang dioperasikan tanpa beban sudah memiliki harmonik dengan THDv 9,2 % hal ini telah melampaui standar IEEE 519, yakni 5%. Sedangkan Gambar 5.b. adalah pengujian gen-set diberi beban motor induksi dan lampu pijar 100W tanpa filter, tampak THDv nya masih melampaui 5%.

Pengujian gen-set selain berbeban motor dan lampu pijar 100W juga dipasang filter yang terdiri atas kapasitor dan induktor. Pada Gambar 6.a. tampak distorsi justru meningkat menjadi 6,8% saat dipasang filter dengan komponen  $C = 5 \mu\text{F}$  dan  $L=15\text{mH}$ . Tampak pada Gambar 6.b bentuk gelombang arusnya terdistorsi sampai dengan 15,5%.



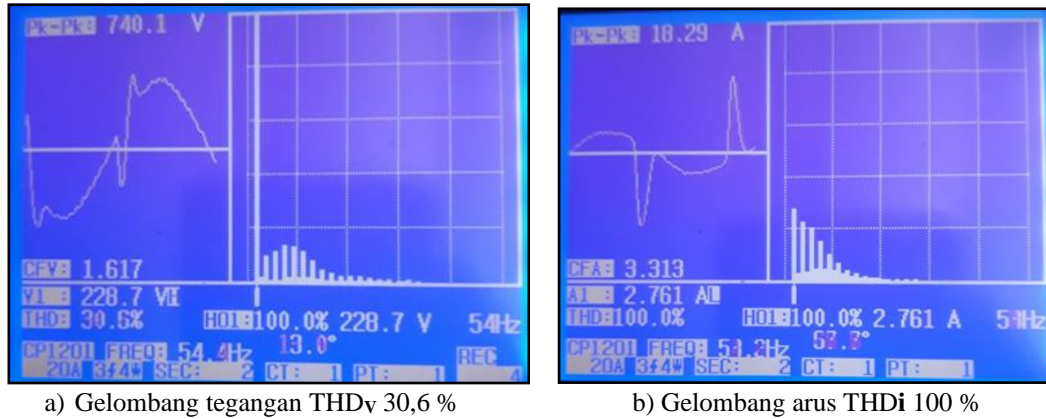
a) Gelombang tegangan THDv 6,8%

b) Gelombang arus THDi 15,5 %

Gambar 6. Pengujian Berbeban 600 VA dengan Filter  $C = 5 \mu\text{F}$ ,  $L=15\text{mH}$ 

Selanjutnya bila nilai kapasitor dan induktornya dinaikkan, akan meningkatkan distorsi seperti pada Gambar 7. Terlihat pada Gambar 7.a menunjukkan bahwa pemasangan filter dengan komponen yang berlebihan justru mengakibatkan kenaikan

nilai distorsi harmonik totalnya. Pada Gambar 7.b menunjukkan bahwa saat itu gelombang arus terdistorsi mencapai nilai maksimal dengan  $THD_i = 100\%$ .



Gambar 7. Gen-Set Berbeban 600 VA dengan Filter  $C=12\ \mu$  dan  $L=1048\text{mH}$

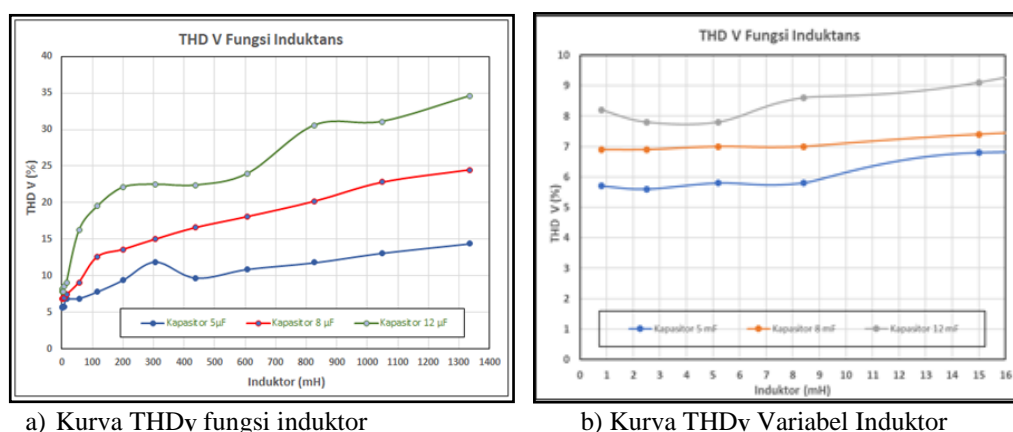
Tabel 1

Nilai  $THD_v$  dan  $THD_i$  sebagai Fungsi dari Induktor dan Kapasitor

| No | L (mH) | C= 5 $\mu$ F |             | C= 8 $\mu$ F |             | C= 12 $\mu$ F |             |
|----|--------|--------------|-------------|--------------|-------------|---------------|-------------|
|    |        | $THD_v$ (%)  | $THD_i$ (%) | $THD_v$ (%)  | $THD_i$ (%) | $THD_v$ (%)   | $THD_i$ (%) |
| 1  | 0,8    | 5,7          | 13,4        | 6,9          | 16,3        | 8,2           | 23,5        |
| 2  | 2,5    | 5,6          | 11,9        | 6,9          | 16,7        | 7,8           | 27,9        |
| 3  | 5,2    | 5,8          | 13,8        | 7            | 16,8        | 7,8           | 39,2        |
| 4  | 8,4    | 5,8          | 14,8        | 7            | 16,8        | 8,6           | 50,3        |
| 5  | 15     | 6,8          | 15,5        | 7,4          | 33,4        | 9,1           | 76,2        |
| 6  | 56     | 6,9          | 23,3        | 9,1          | 35,3        | 16,2          | 100         |
| 7  | 116    | 7,8          | 36,5        | 12,6         | 86,8        | 19,5          | 100         |
| 8  | 200    | 9,4          | 39,9        | 13,6         | 92,2        | 22,1          | 100         |
| 9  | 306    | 11,9         | 41,7        | 15           | 95,6        | 22,5          | 100         |
| 10 | 438    | 9,7          | 44,7        | 16,6         | 100         | 22,4          | 100         |
| 11 | 608    | 10,9         | 48,4        | 18,1         | 100         | 24            | 100         |

Pada Tabel 1 ditampilkan prosentase  $THD_v$  dan  $THD_i$  sebagai fungsi dari variasi nilai induktor dan kapasitor yang dipasang pada terminal gen-set dengan beban sekitar 600 VA. Karakteristik prosentase  $THD_v$  sebagai fungsi dari nilai induktor dan kapasitor dapat ditunjukkan oleh Gambar 8a. Tampaklah jika pemasangan induktor dan kapasitor yang berlebihan justru akan meningkatkan distorsi harmonik total tegangannya.





a) Kurva THDv fungsi induktor

b) Kurva THDv Variabel Induktor

Gambar 8. Distorsi Tegangan Gen-Set Berbeban 600 VA dengan Variasi Filter

Gambar 8.b. menunjukkan bahwa gen-set berbeban 600 VA jika di pasang filter pasif dengan komposisi induktor 2,5 mH dan kapasitor 5  $\mu$ F akan menghasilkan distorsi harmonik total tegangan yang paling rendah, yakni 5,6 %.

## SIMPULAN

Pengurangan harmonik pada gen-set dipengaruhi oleh jenis dan besarnya beban, serta komposisi filter yang dipasang. Gen-set type OH5500CE dengan rating daya 5 kVA, 220 V, 50 Hz ketika dioperasikan tanpa beban memiliki THDv sebesar 9,2%. Jika gen-set tersebut diberi beban motor dan lampu pijar dengan daya total 600VA, maka distorsinya menjadi lebih parah dengan THDv sebesar 34,6 %. Jika gen-set tersebut diberi beban 600VA dan dipasang filter dengan  $C=5 \mu$ F dan  $L=2,5$ mH, maka THDv menurun menjadi 5,6%. Penelitian lebih lanjut dapat dilakukan dengan filter aktif.

## DAFTAR PUSTAKA

- Hart, D.W.,1997, *Introduction To Power Electronics*, 1 ed, 38-43, Prentice-Hall International, London.
- IEEE. Std 519, 1992, IEEE Recommended Practice and Requirements for Harmonic Control in Electrical Power Systems, pp. 63-85, IEEE Inc., New York. NY 10017, USA.
- Isnaeni, Muhammad, 2000, *Pengurangan Arus Harmonik Netral pada Untai 3 fase 4 kawat Berbeban Lampu Fluoresen*, thesis, Pasca Sarjana, UGM, pp. 7-14.
- Klingshirn, E.A. and H.E. Jordan, 1968, Polyphase Induction Motor Performance and Losses on Non-Sinusoidal Voltage Source, *IEEE Trans. Power App and Syst. Vol. PAS-87(3)*, 624-631.
- Zubair Ahmed Memon, Mohammad Aslam Uquali, Mukhtiar Ali Unar, 2012, Harmonics Mitigation of Industrial Power System Using Passive Filters, *Mehran University, Research Journal of Engineering & Technology*, Volume 31, No. 2, April, 2012 [ISSN 0254-7821].