

ANALISA PERANCANGAN FILTER PASIF UNTUK MEREDAM HARMONIK PADA INSTALASI BEBAN NONLINEAR

ANALYZE OF PASSIVE FILTER DESIGN TO REDUCE HARMONIC AT NON-LINIER LOADS INSTALATION

Hari Prasetijo

Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Sains dan Teknik,
Universitas Jenderal Soedirman
Jl. Mayjen Sungkono Km 5, Blater Purbalingga 53371
Telp. (0281) 6596700
Email: faydinhari@yahoo.com

Abstract

Non-linear loads increasing on a power system results in harmonic distortion (THD) increasing. Harmonic distortion increasing getting bad influences on power system components. Measurement at one of PLN's customer installations with many non-linear loads shows the amount of voltage THD 9.41% and current THD 15.05%. To reduce the harmonic distortion we can use harmonic filters. The filter designed is a single-tuned passive filter. The design of harmonic filters adapted to the dominant order occurred. Filters are not only used to reduce harmonic distortion occurred but also increase power factor. From the simulation results that by installing a single-tuned passive filters on the system, voltage THD has decreased from 9.41% to 6.61% while the current THD decreased from 15.05% to 10.40%. Meanwhile, system power factor increased from 0.971 to 0.992.

Keywords: *Total Harmonic Distortion, Passive Filter, Nonlinear Load*

Pendahuluan

Beban non linear dirancang untuk dapat menghemat penggunaan energi listrik dan lebih efisien karena menggunakan komponen semi konduktor yang dapat diatur waktu penggunaannya. Contoh beban-beban non linier adalah variable speed drive, komputer, peralatan yang menggunakan SCR seperti furnace, konverter-konverter statis kendali motor listrik, komputer, lampu fluorescent dengan balast elektronik, dan peralatan-peralatan otomatis lainnya. Akan tetapi disisi lain, penggunaan dari komponen semi konduktor ini juga menyebabkan

gangguan berupa distorsi sinyal arus dan tegangan yang mengalir kembali ke sistem tenaga listrik. Gangguan ini dikenal dengan sebutan harmonik.

Distorsi harmonik dalam sistem tenaga listrik menimbulkan kerugian berupa penurunan kualitas sistem tenaga listrik antara lain terjadi pemanasan pada peralatan, penurunan faktor daya, masalah resonansi dan lain-lain. Untuk meningkatkan kualitas sistem tenaga listrik maka distorsi harmonik harus ditekan seminimal mungkin. Salah satu cara untuk menekan harmonik adalah dengan menggunakan filter harmonik (Renny Rakhmawati, 2009).

Filter harmonik selain dapat meredam harmonik juga dapat berfungsi sebagai kompensator reaktif pada frekuensi fundamental. Salah satu jenis filter yang cukup sederhana dan dapat digunakan untuk meredam harmonik adalah filter pasif. Aplikasi filter pasif merupakan metode penyelesaian yang efektif dan ekonomis untuk masalah harmonisa karena selain untuk meredam harmonik filter pasif juga digunakan untuk mengkompensasi kerugian daya reaktif akibat adanya harmonik pada sistem instalasi. Filter pasif sebagian besar didesain untuk memberikan bagian khusus untuk mengalihkan arus harmonisa yang tidak diinginkan dalam sistem tenaga.

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui karakteristik tegangan dan arus pada instalasi pelanggan dengan banyak beban nonlinear akibat adanya distorsi harmonik, serta perancangan filter pasif untuk meredam distorsi harmonik tersebut. Dengan kesimpulan awal bahwa pemasangan filter pasif dapat menurunkan distorsi harmonik orde dominan yang timbul. Hasil penelitian ini diharapkan memberikan referensi perancangan filter pasif untuk meredam distorsi harmonik.

Beban Listrik

Di dalam Sistem tenaga listrik dikenal 2 jenis beban yaitu beban linier dan beban non-linear. Beban linear seperti pada merupakan beban yang memiliki sifat nilai impedansi beban tetap walau tegangan yang diberikan kepadanya berubah dari tegangan rendah hingga tegangan tinggi maupun sebaliknya.

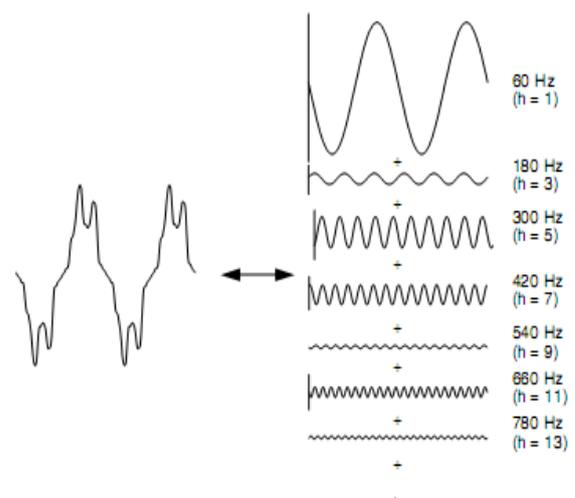
Sedangkan beban non-linear memiliki nilai impedansi beban yang berubah pada saat tegangan mencapai nilai tertentu. Bentuk gelombang arus dari beban non-linear tidak sinusoidal meskipun sumber

tenaga yang dipakai pada saat itu merupakan gelombang sinusoidal yang bagus.

Contoh dari beban non linear antara lain komputer, printer, lampu fluorescent yang menggunakan elektronik ballast, kendali kecepatan motor, motor induksi, batere charger, UPS dan sebagainya.

Harmonik

Harmonik merupakan komponen sinusoidal dari sebuah gelombang periodis yang memiliki frekuensi kelipatan bulat dari fundamental frekuensi gelombang periodis tersebut (IEEE Std. 519:1992). Bila terjadi superposisi antara gelombang frekuensi dasar dengan gelombang frekuensi harmonik maka terbentuklah gelombang yang terdistorsi sehingga bentuk gelombang tidak lagi sinusoidal. Pembentukan gelombang non-sinusoidal hasil distorsi harmonik dapat dilihat pada gambar 1 berikut:



Gambar 1. Gelombang hasil distorsi harmonik (Dugan, 2004)

Penjumlahan gelombang-gelombang sinusoidal pada gambar 1 tersebut menjadi gelombang non-sinusoidal dapat dianalisis menggunakan konsep deret fourier, dapat didefinisikan dengan persamaan berikut:

$$Y_{(t)} = Y_0 + \sum_{n=1}^{n=\infty} Y_n \sqrt{2} \sin(n2\pi ft - \phi_n) \dots \dots \dots (1)$$

Dengan:

- Y0 = amplitudo dari komponen DC dimana biasanya dalam jaringan distribusi bernilai nol
- Yn = nilai rms dari harmonik komponen ke-n
- f = frekuensi dasar (50 Hz)
- φn = sudut fasa dari komponen harmonik ke-n

Total Harmonic Distortion (THD)

THD menyatakan besarnya distorsi yang ditimbulkan oleh semua komponen harmonik, dapat didefinisikan dengan persamaan berikut :

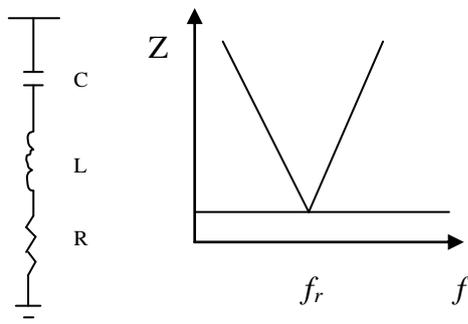
$$THD = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{n=\infty} M_n^2}}{M_1} \dots \dots \dots (2)$$

keterangan:

- THD = Total Harmonic Distortion
- Mn = nilai rms arus atau tegangan harmonik ke-n
- M1 = nilai rms arus atau tegangan pada frekuensi dasar.

Single-Tuned Pasif Filter

Filter ini terdiri dari rangkaian seri kapasitor, reaktor dan resistor (RLC) seperti ditunjukkan pada gambar 2 dibawah ini:



(a) (b)

Gambar 2. (a) Rangkaian Single Tuned Filter

(b) Kurva impedansi terhadap frekuensi Impedansi dari rangkaian gambar 2.8 dinyatakan dalam persamaan :

$$Z_f = R + j \left(\omega L - \frac{1}{\omega C} \right) \dots \dots \dots (3)$$

Pada saat resonansi terjadi nilai reaktansi induktif sama dengan nilai reaktansi kapasitif tetapi berbeda fasa 180° sehingga akan saling menghilangkan. Pada keadaan ini nilai impedansi filter menjadi sangat kecil hanya sebesar nilai R dari induktor sehingga akan mengalirkan arus harmonik ke netral. Frekuensi ini diberikan oleh persamaan :

$$f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \dots \dots \dots (4)$$

Pada prinsipnya, sebuah single tuned filter dipasang untuk setiap harmonik yang akan dihilangkan. Filter-filter ini dihubungkan pada busbar dimana pengurangan tegangan harmonik ditentukan. Bersama-sama, filter-filter ini membentuk filter bank.

Ada dua parameter yang perlu dipertimbangkan dalam menentukan nilai R, L dan C, yaitu :

1. Daya reaktif pada tegangan nominal (var).
2. Frekuensi tuning (Hz).
3. faktor kualitas (Quality factor, Q).
4. Penyimpangan frekuensi relatif (Relative Frequency Deviation, δ).

Langkah-langkah dalam merancang filter pasif adalah sebagai berikut:

1. Menentukan faktor daya awal (pf₀) dan faktor daya yang diinginkan (pf₁)
2. Menentukan nilai kapasitansi kpsitor sesuai dengan kebutuhan kompensasi faktor daya yang dihitung dengan persamaan :

$$Q_c = P(\tan\phi_{awal} - \tan\phi_{akhir}) \dots \dots \dots (5)$$

3. Menentukan frekuensi tuning filter
4. Menentukan nilai kapasitor

$$X_c = \frac{V^2}{Q_c} \dots \dots \dots (6)$$

$$\frac{1}{2\pi f \cdot C} = \frac{V^2}{Q_c}$$

$$C = \frac{Q_c}{2\pi f \cdot V^2} \dots \dots \dots (7)$$

Dengan :

Q_c = Besarnya kompensasi daya reaktif yang diperlukan.

V = Tegangan sistem yang digunakan.

f = frekuensi fundamental

5. Menentukan nilai induktor yang dicari berdasarkan prinsip resonansi pada orde tuningnya.

$$X_L = \frac{X_c}{n^2}$$

$$L = \frac{X_L}{(2\pi f)} \dots \dots \dots (8)$$

Dengan n = orde harmonic yang difilter

6. Faktor kualitas (Q) filter didefinisikan sebagai perbandingan antara induktansi (atau kapasitansi) pada saat resonansi dengan besaran resonansi .

$$Q = \frac{X_o}{R} \dots \dots \dots (9)$$

Perancangan *Sigle-Tunned Filter*

Untuk merancang suatu filter, terlebih dahulu diperlukan proses identifikasi terhadap orde harmonik yang akan dilakukan eliminasi. Data harmonik tegangan terbesar digunakan untuk menentukan harmonik dari orde berapa yang akan difilter dari sistem. Kriteria yang didasarkan pada tegangan harmonik

lebih tepat untuk desain filter. Hal ini disebabkan karena lebih mudah menjamin berada dalam batas tegangan yang layak daripada membatasi tingkat arus akibat adanya perubahan impedansi jaringan AC (Dugan, 2003).

Berdasarkan data pengukuran, diperoleh nilai daya aktif (P) sebesar 4200 watt, daya kompleks (S) 4400 VA, tegangan nominal (V) 218,4 V harmonik tegangan dan arus terbesar dan melebihi standar ada pada orde 3 sehingga filter pasif akan didesain untuk mereduksi harmonik orde 3.

Setelah melakukan proses identifikasi terhadap orde yang akan dilakukan eliminasi, langkah selanjutnya adalah menentukan nilai faktor daya (PF). Dari pengukuran didapatkan nilai faktor daya sebesar 0,971. Perancangan filternya adalah sebagai berikut :

- 1) Menentukan faktor daya awal dan akhir

$$PF \text{ awal} = 0,971 \quad \phi = 13,83^\circ$$

$$PF \text{ akhir} = 0,985 \quad \phi = 9,94^\circ$$

- 2) Menentukan daya reaktif

$$Q_c = 4200 \times (\tan\phi_{awal} - \tan\phi_{akhir})$$

$$= 4200 \times (\tan 13,83 - \tan 9,94)$$

$$= 4200 \times (0,25 - 0,17)$$

$$= 336 \text{ VAR}$$

- 3) Menentukan frekuensi tuning, untuk faktor keamanan filter di tuning 5% dibawah orde aslinya.

$$3 - (5\% \times 3) = 2,85$$

- 4) Menentukan nilai kapasitor

$$X_c = \frac{V^2}{Q_c} = \frac{218,4^2}{336} = 141,96 \Omega$$

$$C = \frac{1}{2\pi \cdot f \cdot X_c} = \frac{1}{2\pi \cdot 2,3,14 \cdot 50 \cdot 141,96} = 2,24 \times 10^{-5} F$$

- 5) Menentukan nilai induktor

$$X_L \frac{X_c}{n^2} = \frac{141,96}{2,85^2} = 17,48 \Omega$$

$$L = \frac{X_L}{2\pi \cdot f} = \frac{17,48}{2\pi \cdot 2,3,14 \cdot 50} = 55,67 \times 10^{-3} H$$

Nilai-nilai komponen filter hasil perancangan seperti tabel 1 berikut :

Tabel 1. Spesifikasi filter hasil perancangan

Spesifikasi	Nilai
L	55,67 mH
X_L	17,48 Ω
C	22,4 μF
X_C	141,96 Ω
Q_{VAR}	336 VAR
Rating Tegangan	0,22 KV
Q factor	80

Analisa Perhitungan

Setelah perancangan filter diatas kemudian dilakukan analisa menggunakan perhitungan tentang pengaruh dari pemasangan filter pasif tersebut. Analisa perhitungannya sebagai berikut :
Menentukan arus fundamental yang melalui filter.

$$I_{f(1)} = \frac{V_S}{|X_{C(1)} - X_{L(1)}|}$$

$$= \frac{218,4}{|141,96 - 17,48|}$$

$$= 1,75 \text{ A}$$

Menentukan arus beban keseluruhan.

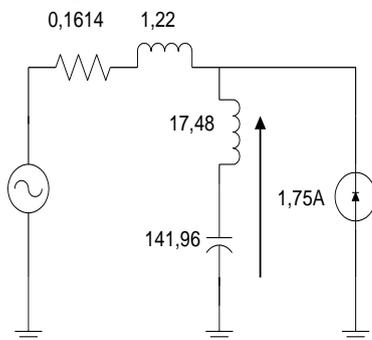
$$I_L = \frac{S}{V}$$

$$= \frac{4400}{218,4}$$

$$= 20,146 \text{ A}$$

$$I_1 = 20,146 - 1,75 = 18,396 \text{ A}$$

Rangkaian pengganti untuk menghitung arus harmonik pada filter



Gambar 3. Rangkaian pengganti untuk menghitung arus harmonik pada filter Arus orde ke-3 pada filter

Arus orde 3 pada filter

$$X_{L(3)} = 3\omega L(1)$$

$$= 3X_{L(1)}$$

$$= 3 \times 17,48$$

$$= 52,44 \Omega$$

$$X_{C(3)} = \frac{1}{3\omega C(1)}$$

$$= \frac{X_{C(1)}}{3}$$

$$= \frac{141,96}{3}$$

$$= 47,32 \Omega$$

$$X_{hs(3)} = 3X_{hs(1)}$$

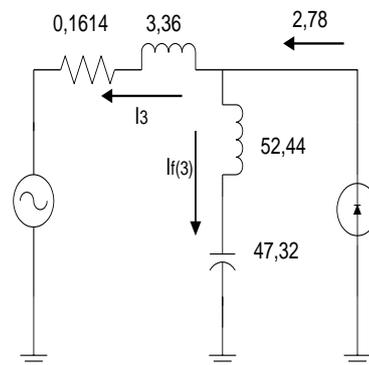
$$= 1,22 \times 3$$

$$= 3,36 \Omega$$

$$R_{hs(3)} = R_{hs(1)} = 0,1614 \Omega$$

$$I_3^{TH} = 0,138 \times 20,146 = 2,78 \text{ A}$$

Rangkaian pengganti untuk menghitung arus harmonik orde ke-3 pada filter



Gambar 4. Rangkaian pengganti untuk menghitung arus harmonik orde ke-3 pada filter

$$Z_{hs} = \sqrt{0,1614^2 + 3,36^2} = 3,364 \Omega$$

$$I_{f(3)} = \frac{3,364}{3,364 + |52,44 - 47,32|} \times 2,78$$

$$= 0,3965 \times 2,78$$

$$= 1,10277 \text{ A}$$

$$I_3 = 2,78 - 1,10277 = 1,6773 \text{ A}$$

Perbandingan arus harmonik orde 3 dengan arus fundamental :

$$I_3/I_1 = \frac{1,6773}{20,146} \times 100\% = 8,33 \%$$

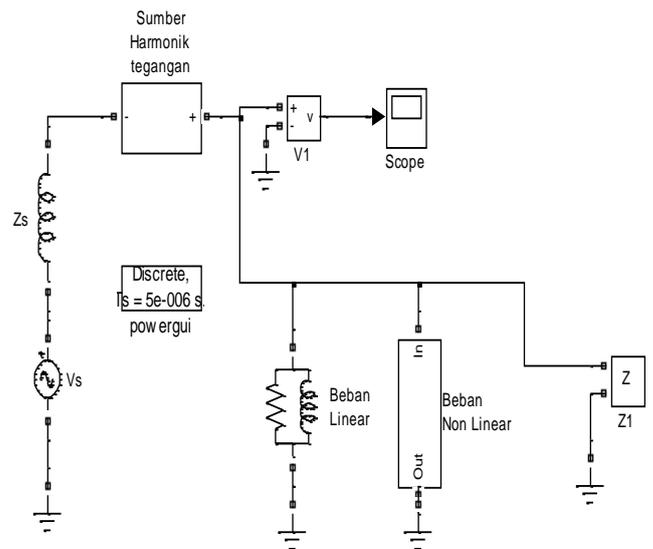
Dengan pemasangan filter pasif orde 3 harmonik mengalami penurunan dari 13,8% menjadi 8,33%.

8. Simulasi

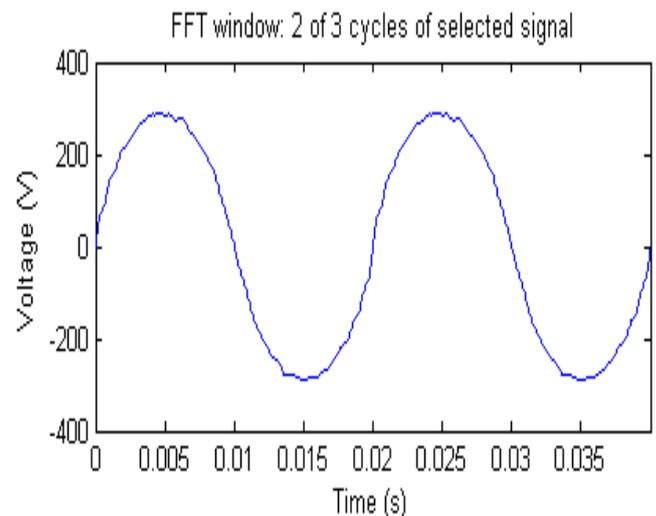
Simulasi diperlukan sebagai perbandingan analisa hasil perhitungan pada perancangan. Simulasi menggunakan software MATLAB Simulink 7.0.1 dengan blok diagram yang ada pada SimPowerSystem. Dengan simulasi nantinya akan dapat diketahui hasil perancangan apakah sesuai dengan tujuan atau tidak. Pendekatan dilakukan dalam simulasi karena dalam simulasi kondisinya ideal tidak seperti dalam pengukuran maka akan sulit memperoleh hasil simulasi sama dengan hasil pengukuran pada beban.

A. Simulasi I

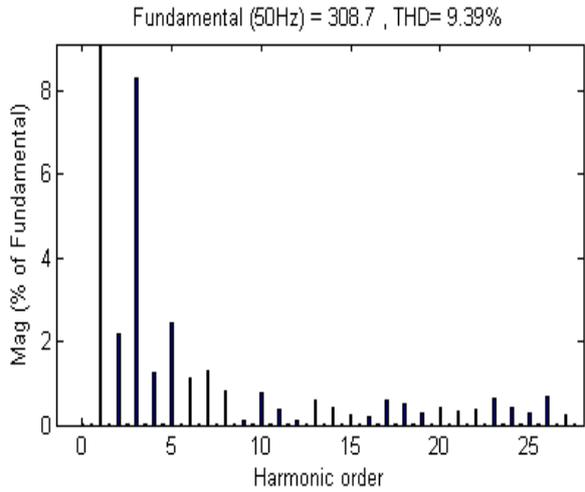
Simulasi 1 merupakan simulasi sebelum pemasangan filter pasif. Simulasi ini terdiri dari simulasi distorsi harmonik tegangan (gambar 5) dan simulasi harmonik arus. Dimana hasil simulasi ditunjukkan pada gambar 6 dan spektrum harmonik ditunjukkan pada gambar 7.



Gambar 5. Rangkaian simulasi distorsi harmonik tegangan

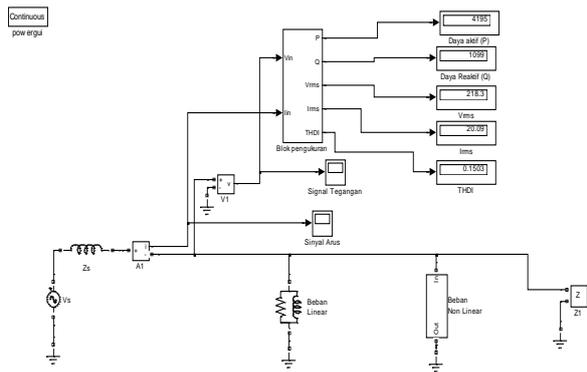


Gambar 6. Sinyal THD tegangan sebelum pemasangan filter



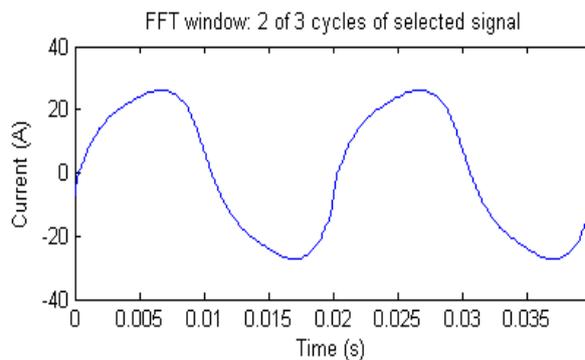
Gambar 7. Spektrum THD tegangan sebelum pemasangan filter

Rangkaian simulasi distorsi harmonik arus seperti terlihat pada gambar 8 berikut.

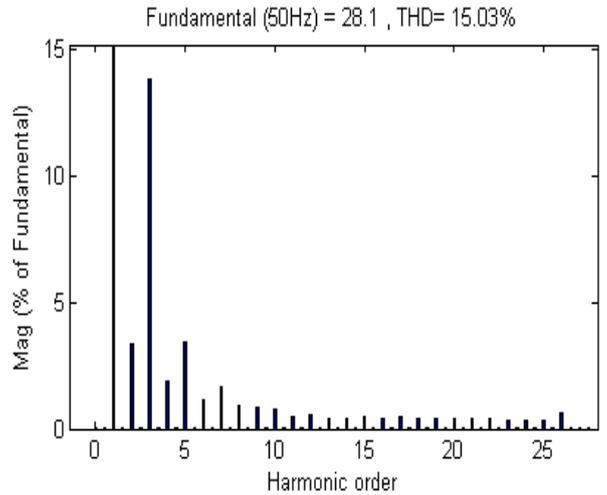


Gambar 8. Rangkaian simulasi distorsi harmonik arus

Hasil simulasi distorsi harmonik arus dan spektrum seperti gambar 9 dan 10 berikut :



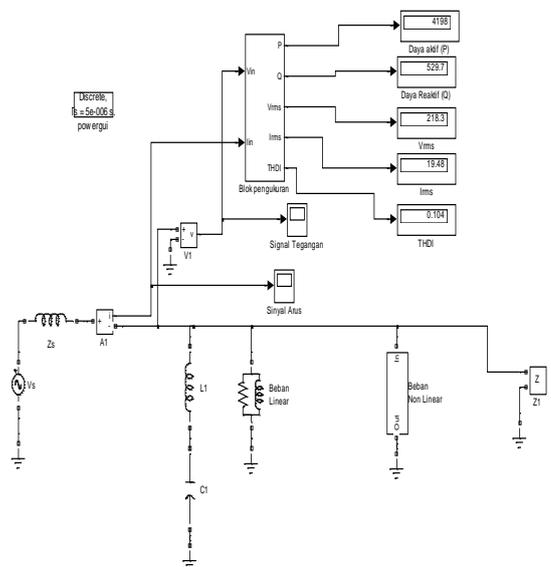
Gambar 9. Sinyal THD arus sebelum pemasangan filter



Gambar 10. Spektrum THD arus sebelum pemasangan filter

B. Simulasi II

Pada simulasi ini akan ditambahkan filter hasil dari perancangan sebelumnya. Namun karena dalam simulasi kondisinya ideal, filter yang sebelumnya di tune pada orde 2,85 di perhitungan pada simulasi akan ditune pada orde 3 agar dapat diketahui pengaruhnya. Rangkaian simulasi dapat dilihat seperti gambar 11 berikut.



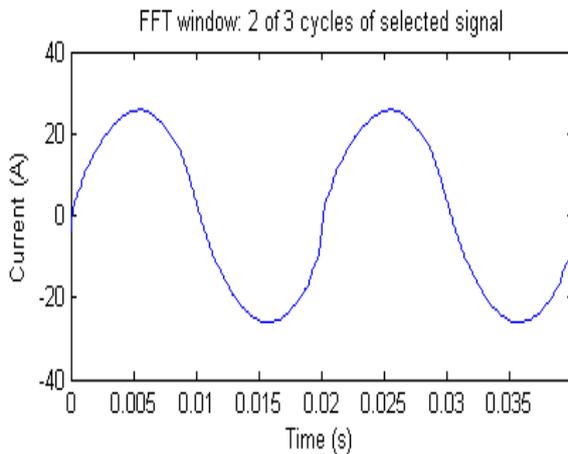
Gambar 11. Rangkaian simulasi distorsi harmonik arus setelah pemasangan filter pasif orde 3.

Setelah simulasi dijalankan didapatkan hasil sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 P &= 4198 \text{ watt} \\
 Q &= 529,7 \text{ VAR} \\
 S &= \sqrt{P^2 + Q^2} = \sqrt{4198^2 + 529,7^2} \\
 &= 4231 \text{ VA}
 \end{aligned}$$

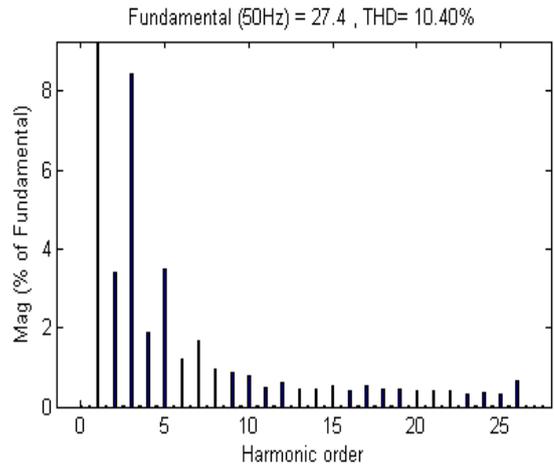
$$\begin{aligned}
 PF &= P/S = 4198/4231 = 0,992 \\
 I &= 19,48 \text{ Arms}
 \end{aligned}$$

Dari hasil simulasi di atas dengan pemasangan filter pasif faktor daya naik dari 0,967 menjadi 0,992, sedangkan arusnya menurun dari 20,09 Arms menjadi 19,48 Arms. Bentuk signal arusnya seperti terlihat pada gambar 12.



Gambar 11. Sinyal THD arus setelah pemasangan filter

Dengan menggunakan FFT Analysis pada simulink dapat diketahui pengaruh pemasangan filter pada harmonik orde 3 dari spektrum arusnya

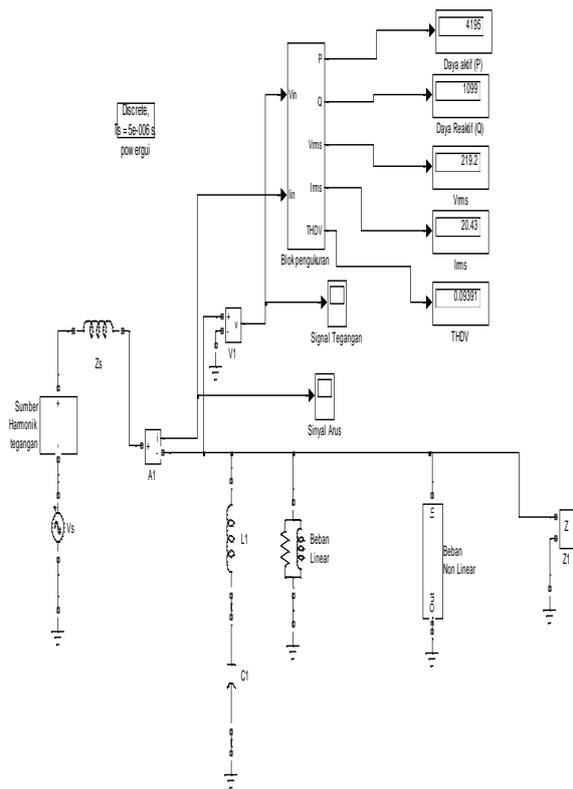


Gambar 12. Spektrum THD arus setelah pemasangan filter

Dapat dilihat pada gambar 12 spektrum harmonik THD arus turun dari 15,03% sebelum pemasangan filter menjadi 10,40% setelah pemasangan filter yang artinya filter bekerja dengan baik. Karena filter di tune pada orde 3 maka harmonik orde 3 yang paling banyak mengalami penurunan yaitu dari 13,8% menjadi 8,41%.

C. Simulasi III

Simulasi ini merupakan simulasi untuk mengetahui pengaruh pemasangan filter pada distorsi harmonik tegangan. Parameter yang digunakan sama dengan simulasi distorsi harmonik arus. Rangkaian simulasinya tampak seperti gambar 13 berikut :



Gambar 13. Rangkaian simulasi distorsi harmonik tegangan setelah pemasangan filter pasif orde 3.

Simulasi dijalankan selama 3 periode gelombang atau sekitar 60 mS dan didapatkan hasil :

$$P = 4198 \text{ watt}$$

$$Q = 529,6 \text{ VAR}$$

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} = \sqrt{4198^2 + 529,6^2}$$

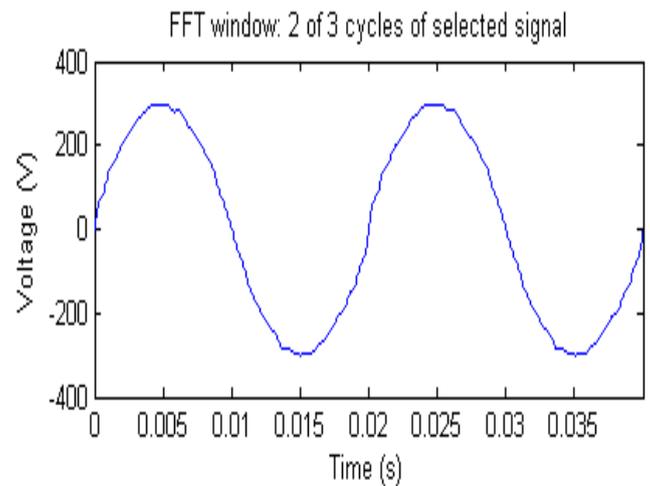
$$= 4231 \text{ VA}$$

$$PF = P/S = 4198/4231 = 0,992$$

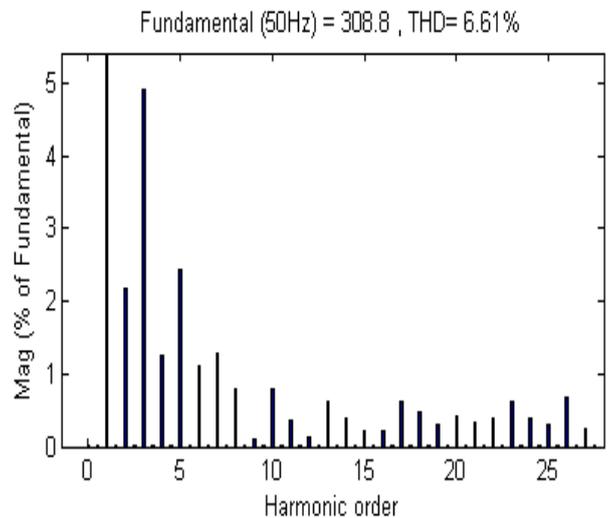
$$I = 103,2 \text{ Arms}$$

Terjadi peningkatan arus yang sangat besar ketika filter pasif dipasang yakni dari 20,09 Arms menjadi 103,2 Arms. Hal ini disebabkan adanya penambahan arus akibat adanya harmonik tegangan orde ke 3. Karena filter di tune pada orde ke 3 pada

harmonik tegangan orde 3 filter mempunyai impedansi yang sangat kecil sehingga akan menarik arus yang cukup besar melebihi ratingnya. Hal ini harus dihindari pada aplikasi untuk menghindari kerusakan filter. Oleh karena itu untuk faktor keamanan dalam perancangan filter di tune 5-15% dibawah ordenya. Sedangkan bentuk sinyal dari tegangannya seperti di bawah ini.



Gambar 14. Sinyal THD tegangan setelah pemasangan filter



Gambar 15. Spektrum THD tegangan setelah pemasangan filter.

Dari spektrum diatas pemasangan filter pasif dapat menurunkan distorsi harmonik tegangan dari 9,39% menjadi 6,61%

Pengaruh Pemasangan Filter Terhadap Pengukuran Energi Pada KWH meter elektromekanik

Pemasangan filter pasif yang dilakukan pada simulasi dapat menurunkan arus rms dari sistem. Dari simulasi II diketahui penurunan arus rms sebesar 0,61 A yaitu dari 20,09 A menjadi 19,48 A. Hal ini berarti dengan pemasangan filter karena arus rmsnya menurun maka torsi dari piringan juga akan menurun. Karena torsi menurun kecepatan putaran dari piringan (*disk*) menurun yang berakibat menurunnya pembacaan energi pada kwh meter mendekati keadaan sebenarnya. Jika daya yang mengalir ke beban konstan, maka untuk suatu KWH meter dapat kita tulis hubungan

$$E = Pt = N/C$$

Dimana :

N = Jumlah putaran piringan

C = Konstanta KWH-meter (put/KWH)

P = Daya (KW)

t = Waktu (det)

kecepatan piringan wathourmeter ω tertentu :

$$\omega = N/t = CP.....(10)$$

dengan $P = VI\cos\phi$

maka

$$\omega = N/t = C VI\cos\phi.....(11)$$

Dari simulasi dan persamaan (10) tersebut dapat dihitung besarnya penurunan kecepatan putaran KWH meter. Pada instalasi beban nonlinear tempat penelitian menggunakan KWH meter dengan konstanta 900 putaran per KWH, perhitungannya sebagai berikut :

Sebelum pemasangan filter pasif

C = 900 put/KWH

V = 218,4 V

I = 20,09 A

$$\cos \phi = 0,971$$

Maka

$$\begin{aligned} \omega &= 900 \times (218,4 \times 20,09 \times 0,971) / 1000 \\ &= 3834,37 \text{ putaran/jam} \end{aligned}$$

Setelah pemasangan filter pasif arus berkurang menjadi 19,48 dan faktor daya naik menjadi 0,992 sehingga

$$\begin{aligned} \omega &= 900 \times (218,4 \times 19,48 \times 0,992) / 1000 \\ &= 3798,36 \text{ putaran/jam} \end{aligned}$$

Dari perhitungan penurunan yang terjadi tidak cukup signifikan hanya sekitar 36 putaran/jam, hal ini dikarenakan penurunan arus rms yang cukup kecil. Walaupun demikian pemasangan filter pasif sedikit bisa mengoreksi pengukuran energi pada kwh meter elektromekanik.

Kesimpulan

Berdasarkan penelitian dan pembahasan yang dilakukan, dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Pada instalasi beban non linear dengan mayoritas beban peralatan yang menggunakan SMPS (Switch Mode Power Supply) yaitu komputer harmonik dominan yang timbul adalah harmonik orde 3, 5, dan 7.
2. Salah satu jenis filter pasif yang digunakan untuk merdam harmonik adalah *Single Tunned Filter*.
3. *Single Tunned Filter* dirancang untuk meredam harmonik hanya pada satu orde saja.
4. Untuk menghindari frekuensi resonansi yang tidak diinginkan serta short circuit, filter pasif orde 3 dirancang 5 % dibawah ordenya yaitu 142,5 Hz. Dengan nilai induktor sebesar 55,67 mH dan nilai kapasitor sebesar 22,4 uF untuk perbaikan faktor daya dari 0,971 menjadi 0,985.
5. Dengan analisa perhitungan pemasangan filter dapat menurunkan besarnya harmonik

- arus orde 3 dari 13,8 % menjadi 8,33 % sehingga di bawah standar.
6. Dari hasil simulasi, pemasangan filter pasif dapat menurunkan besarnya harmonik arus orde 3 dari 13,8 % menjadi 8,41 % serta menurunkan THD tegangan dari 9,39 % menjadi 6,61 %.
 7. Dari hasil simulasi pemasangan filter pasif dapat menurunkan penurunan torsi putaran piringan pada kwh meter elektromekanik serta mengurangi pengukuran besaran harmonik pada kwh meter elektronik.

Daftar Pustaka

- Ali, Mohammad Mahendra et all. Tanpa tahun. *Analisis Of Fully Controlled 12 Pulse Converter System And Single Tuned Passive Filter Design To Reduce Harmonics*. Jurnal. Surabaya: Department of Electrical Engineering , Faculty of Industrial Technology.
- Cahyadi, Rifky. 2007. *Upaya Penghematan Energi Listrik Dengan Cara Mereduksi Distorsi Harmonik Menggunakan Single Tuned Notch Filter*. Skripsi. Depok :Program sarjana Fakultas Teknik UI.
- Ferracci, Ph., 2001.*Power Quality*. Cahier Technique Merlin Gerin No:199.
- D. William & Stevenson Jr, 1983. *Analisis Sistem Tenaga Listrik edisi keempat*. Erlangga : Jakarta.
- Dugan, McGranaghan Beaty. 2004. *Electrical Power Systems Quality*. USA : McGraw - Hill.
- Ferracci, Ph., 2001.*Power Quality*. Cahier Technique Merlin Gerin No:199
- Pramnamto, Aris. 2008. *Analisis Penggunaan Single Tuned Filter Sebagai Salah Satu Solusi Masalah Harmonik Pada Beban Rumah Tangga*. Skripsi. Depok : Program sarjana Fakultas Teknik UI.
- Rakhmawati, Renny. 2009. *Filter Pasif untuk Meredam Harmonik Ke 5 dalam Sistem Tenaga Listrik*. Surabaya : Jurusan Teknik Elektro Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Suweden, I Nengah., I Wayan Rinas. 2009. *Analisa Penanggulangan THD dengan Filter Pasif Pada Sistem Kelistrikan di RSUP Sanglah*. Bali : Jurusan Teknik Elektro Universitas Udayana.
- Tanoto, 2005. *Simulasi Filter Pasif dan Perbandingan Unjuk Kerjanya dengan Filter Aktif dan Filter Aktif Hibrid dalam Meredam Harmonisa pada Induction Furnace*. Surabaya : Jurusan Teknik Elektro Universitas Kristen Petra.
- Zuhal, 1990. *Dasar Teknik Tenaga Listrik dan Elektronika Daya*. PT Gramedia: Jakarta.