

ANALISIS PENGARUH PEMASANGAN *FILTER* PASIF TERHADAP PENURUNAN HARMONIK PADA SISTEM MULTI MESIN 9 BUS *IEEE*

Heri Irawan
Dr. Ir. Hermawan, DEA
Ir. Tejo Sukmadi, MT.

Abstract

Harmonics are a problem that should be solved in electric power system. It will influence on electric power system quality, because it will causes the distortion both of current and voltage due to non-linear load at electric network. So that it is needed a filter to reduce harmonic of current and voltage.

One of method to reduce harmonic is by using passive filter installed at the electric network. In this research the passive filters used are single tuned, double tuned, second order high-pass, and c-type high-pass that designed by using simulink matlab 7.6. In designing of passive filter needs reactive power compensation exactly to determine parameter of R, L, C filter in order to reduce harmonic in optimal. The parameter of R, L, C passive filter will be calculated by using GUI (Grafical User Interface) matlab 7.6. After that, passive filter will be tested into a model of network IEEE 9 bus that designed by using simulink matlab 7.6. Whereas the performance of passive filter will be analyzed by comparing of harmonic which stated in Total Harmonic Distortion (THD) of current and voltage before and after installed the filter due to converter 6 pulse and converter 12 pulse to IEEE 152-1992 standard.

The results obtained show that THD of current and voltage by using converter 6 pulse are higher than converter 12 pulse. After installing passive filter, THD of current and voltage for converter 6 pulse and converter 12 pulse will reduce to limit IEEE 152-1992 standard. The results of research also show that passive filter has the best performance for reducing THD of voltage and current respectively are the combination of c-type high-pass filter with second order high-pass filter and the combination of double tuned filter with second order high-pass filter for converter 6 pulse and the combination of single tuned filter with second order high-pass filter and the combination of c-type high-pass filter with second order high-pass filter for converter 12 pulse. On the other hand, installation of passive filter also increase the ability of instrument (converter) to reach maximum power capacity for supplying load.

Keywords: harmonic, non-linear load, passive filter, total harmonic distortion, converter 6 pulse, converter 12 pulse

I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Permasalahan kualitas daya listrik dalam sistem tenaga listrik memerlukan suatu perhatian khusus. Kualitas daya yang buruk akan menimbulkan banyak kerugian bagi perusahaan tenaga listrik. Salah satu permasalahan kualitas daya listrik adalah permasalahan harmonik.

Dalam sistem tenaga listrik terdapat beban linear dan *non-linear*. Beban linear merupakan suatu beban yang memiliki bentuk gelombang yang *sinusoidal*, sedangkan beban *non-linear* memiliki bentuk gelombang yang *non-sinusoidal* karena telah terdistorsi oleh arus harmonik yang ditimbulkan oleh berbagai peralatan elektronik^[13].

Pada beban *non-linear* (peralatan elektronik) selalu terdapat konverter berupa penyearah yang mengkonversikan tegangan bolak balik ke tegangan searah untuk operasi komponen elektronik. Konverter-konverter ini mempunyai karakteristik

yang *non-linear*, sehingga ia merupakan sumber arus harmonik bagi beban listrik^[13].

Salah satu upaya pengurangan harmonik yakni dengan menggunakan *filter*. Dengan menggabungkan antara komponen *R*, *L* dan *C* akan terbentuk *filter* yang disebut dengan *filter* pasif. Penggunaan *filter* pasif merupakan salah satu solusi yang tepat untuk mengurangi harmonik pada gelombang keluaran konverter dari peralatan listrik^[13].

1.2 Tujuan

Adapun tujuan yang hendak dicapai dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh dan unjuk kerja *filter* pasif terhadap penurunan harmonik arus dan tegangan pada jaringan listrik.

1.3 Pembatasan Masalah

Untuk menyederhanakan permasalahan dalam penelitian ini maka diberikan batasan-batasan sebagai berikut:

Hermawan, Tejo Sukmadi adalah dosen di Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Diponegoro (Undip) Semarang Jl. Prof. Soedarto, S.H. Tembalang Semarang 50275.

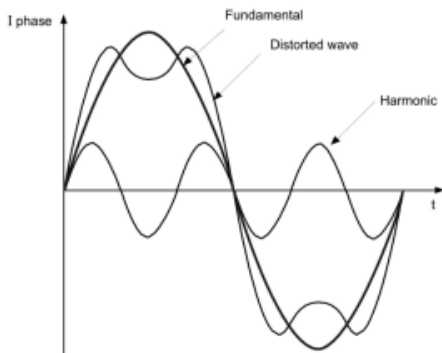
Heri Irawan adalah mahasiswa di Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Diponegoro (Undip) Semarang Jl. Prof. Soedarto, S.H. Tembalang Semarang 50275.

1. Studi kasus pada jaringan listrik sistem multi mesin 9 bus IEEE.
2. Filter harmonik yang digunakan adalah filter pasif AC 3 fase tipe *single-tuned*, *double tuned*, *high-pass* orde 2 dan *c-type high-pass*.
3. Kombinasi filter pasif yang diujikan dalam penelitian ini adalah filter *single tuned* dengan *high-pass* orde 2, filter *double tuned* dengan *high-pass* orde 2, filter *c-type high-pass* dengan *high-pass* orde 2.
4. Beban *non-linier* berupa konverter 6 pulsa dan 12 pulsa yang dipasang pada bus 5 dan 6.
5. Sudut pemecuan (*firing angle*) konverter *di-setting* pada sudut 10^0 , 20^0 , 30^0 .
6. Pada pemodelan multi mesin, setiap mesin direpresentasikan sebagai sumber tegangan konstan dan daya masukan diasumsikan selalu konstan selama periode simulasi.

II DASAR TEORI

2.1 Pengertian Harmonik

Menurut Gary W. Chang^[12], Harmonik dapat dinyatakan sebagai: Suatu komponen *sinusoidal* dari gelombang berkala yang mempunyai suatu frekuensi yang merupakan kelipatan dari frekuensi dasarnya. Berikut adalah ilustrasi dari bentuk gelombang fundamental, gelombang harmonik dan gelombang fundamental terdistorsi.



Gambar 1 Bentuk gelombang fundamental, gelombang harmonik dan gelombang fundamental terdistorsi^{[11], [14]}

2.2 Analisis Fourier^[3]

Fourier menyatakan bahwa setiap fungsi periodik yang berulang dalam interval waktu T dapat direpresentasikan sebagai penjumlahan dari komponen *sinusoidal* fundamental dengan komponen deret harmoniknya pada frekuensi yang merupakan hasil kali antara bilangan bulat (*integer*) dengan frekuensi fundamentalnya.

Deret *fourier* dapat dinyatakan dalam persamaan matematis sebagai berikut:

$$f(t) = \frac{a_0}{2} + a_1 \cos \omega_0 t + a_2 \cos 2\omega_0 t + \dots + b_1 \sin \omega_0 t + b_2 \sin 2\omega_0 t + \dots \quad (2.1)$$

$$f(t) = \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} (a_n \cos n\omega_0 t + b_n \sin n\omega_0 t) \quad (2.2)$$

dimana n adalah orde harmonik, yaitu bilangan 1,2,3... dan seterusnya. Orde $n = 1$, menyatakan komponen dasar untuk fundamental dari gelombang suku $a_0/2$ menyatakan komponen DC atau nilai rata-rata dari gelombang. Suku $a_1 \cos \omega_0 t + b_1 \sin \omega_0 t$ adalah komponen fundamental yang mempunyai frekuensi dan periode yang sama seperti gelombang semula atau gelombang dasarnya. Suku $a_n \cos \omega_0 t + b_n \sin \omega_0 t$ memberikan komponen harmonik ke- n .

2.3 Total Harmonic Distortion (THD)

Total Harmonic Distortion (THD) didefinisikan sebagai persentase total komponen harmonik terhadap komponen fundamentalnya, dapat didefinisikan dengan persamaan berikut^[11]:

$$THD = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} U_n^2}}{U_1} \quad (2.3)$$

dengan U_n : komponen harmonik ke- n , U_1 : komponen fundamental.

2.4 Pengaruh Harmonik

Adapun dampak negatif yang diakibatkan oleh harmonik adalah:

1. Timbulnya getaran mekanis pada panel listrik.
2. Harmonik dapat menimbulkan tambahan torsi pada kWh meter jenis elektromekanis yang menggunakan piringan induksi berputar.
3. Interferensi frekuensi pada sistem telekomunikasi.
4. Pemutusan beban. Pemutus beban dapat bekerja dibawah arus pengenalnya atau mungkin tidak bekerja pada arus pengenal.
5. Mengurangi efisiensi sistem ketenagalistrikan serta utilitasnya.
6. Mengurangi umur isolasi dari peralatan penyaluran ketenagalistrikan.
7. Meningkatnya resonsnsi sistem ketenagalistrikan.

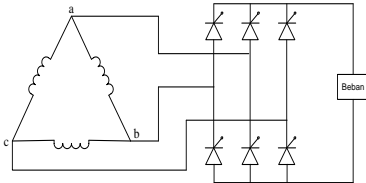
2.5 Konverter 6 Pulsa dan 12 Pulsa ^{[2],[5]}

Secara teoritis harmonik arus masukan kedalam rangkaian konverter adalah fungsi jumlah pulsa dan dapat dituliskan dalam persamaan ^[7].

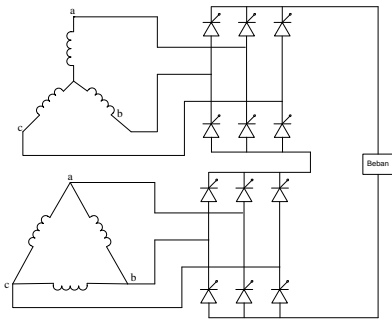
$$h = (np \pm 1) \quad (2.4)$$

dengan $n=1, 2, 3, \dots$ dan $p =$ jumlah pulsa

Tegangan keluaran penyearah *thyristor* bervariasi bergantung pada sudut penyalaan pada *thyristor*.



Gambar 5 Rangkaian jembatan konverter 6 pulsa



Gambar 6 Rangkaian jembatan konverter 6 pulsa terhubung seri membentuk konverter 12 pulsa

Pada prinsipnya perumusan penyearah terkendali 12 pulsa sama dengan penyearah terkendali 6 pulsa. Untuk menghitung faktor daya konverter digunakan rumus sebagai berikut:

$$pf = 0,9 \cos \alpha \quad (2.5)$$

dengan α adalah sudut picu dari konverter.

2.6 Filter Harmonik

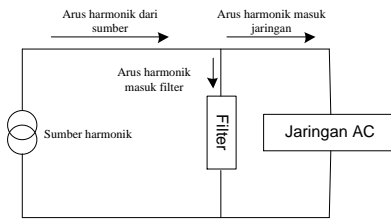
Didalam mendesain suatu *filter*, perlu dilakukan studi untuk menentukan kompensasi daya reaktif yang diperlukan oleh sistem. *Filter* harus didesain untuk menyediakan daya reaktif dalam jumlah yang tepat.

Besarnya daya reaktif yang disuplai dari kapasitor ditentukan oleh ^{[1],[6]}:

$$Q_{VAR} = \sqrt{\left[\frac{P_1}{PF_0}\right]^2 - P_1^2} - \sqrt{\left[\frac{P_1}{PF}\right]^2 - P_1^2} \quad (2.6)$$

dengan P_1 : daya aktif sistem (MW), PF_0 : faktor daya sebelum ada kompensasi daya reaktif, PF : faktor daya setelah ada kompensasi daya reaktif.

Gambar dibawah ini merupakan ilustrasi dari prinsip kerja *filter* harmonik.

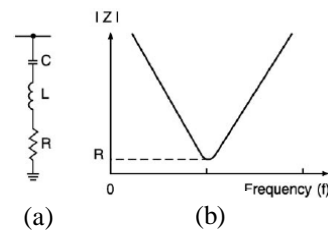


Gambar 7 Rangkaian *filter* harmonik

2.7 Desain Filter Harmonik

2.7.1 Desain *single-tuned filter* ^[2]

Formula desain *filter* tipe *single tuned* dapat diturunkan dari gambar 8 (a), yaitu:



Gambar 8 (a) Rangkaian *single-tuned filter*, (b) Kurva impedansi terhadap frekuensi

$$C = \frac{Q_c}{2\pi f \cdot V^2} \quad (2.7)$$

dengan Q_c : daya reaktif (MVar), V : tegangan sistem (kV), f : frekuensi fundamental (Hz), C : kapasitansi *filter* (mF).

$$L = \frac{1}{(2\pi f_1)^2 C} \quad (2.8)$$

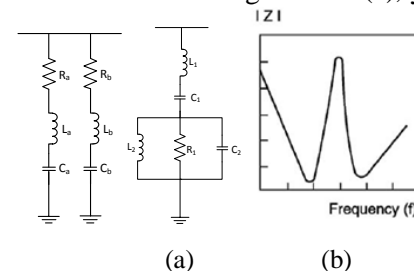
dengan L : induktansi *filter*, f_1 : frekuensi *tuning* (Hz).

$$Q = \frac{X_0}{R} \quad (2.9)$$

dengan $X_L=X_C=X_0$ pada keadaan resonansi, Q : faktor kualitas, R : resistansi *filter* (ohm).

2.7.2 Desain *double-tuned filter* ^[3]

Formula desain *filter* tipe *double tuned* dapat diturunkan dari gambar 9 (a), yaitu:



Gambar 9 (a) Rangkaian *double-tuned filter*, (b) Kurva impedansi terhadap frekuensi

$$C_1 = C_a + C_b \quad (2.10)$$

$$C_2 = \frac{C_a C_b (C_a + C_b) (L_a + L_b)^2}{(L_a C_a - L_b C_b)} \quad (2.11)$$

$$L_1 = \frac{L_a L_b}{L_a + L_b} \quad (2.12)$$

$$L_2 = \frac{(L_a C_a - L_b C_b)^2}{(C_a + C_b)^2 (L_a + L_b)} \quad (2.13)$$

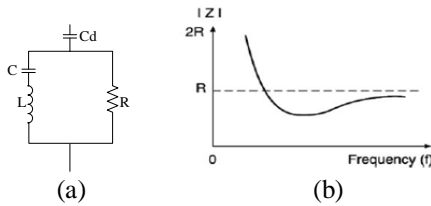
$$Q = \frac{R}{2\pi f_m L_2} \quad (2.14)$$

$$f_m = \sqrt{f_1 \cdot f_2} \quad (2.15)$$

dengan frekuensi f_1 dan f_2 adalah dua buah frekuensi *tuning*.

2.7.3 Desain *c-type high-pass filter* ^{[4], [15]}

Formula desain *filter* tipe *c-type high-pass* dapat diturunkan dari gambar 10 (a), yaitu:



Gambar 10 (a) Rangkaian *c-type high-pass filter*, (b) Kurva impedansi terhadap frekuensi

$$C = \frac{(h_0^2 - 1)Q_1}{\omega_f U_1^2} \quad (2.16)$$

$$L = \frac{U_1^2}{(h_0^2 - 1)\omega_f Q_1} \quad (2.17)$$

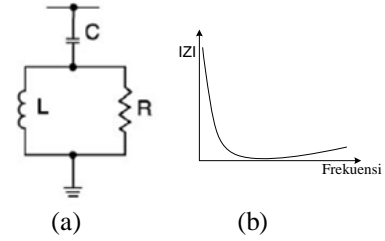
dengan h_0 : f_1/f , U_1 : tegangan sistem (kV), ω_f : $2\pi f$.

$$Q = \frac{R}{2\pi f_n L} \quad (2.18)$$

dengan f_n : frekuensi *tuning*

2.7.4 Desain *high-pass filter* orde dua ^[11]

Formula desain *filter* tipe *single tuned* dapat diturunkan dari gambar 11 (a), yaitu:



Gambar 11 (a) Rangkaian *high-pass filter* orde dua, (b) Kurva impedansi terhadap frekuensi

$$L = \frac{R^2 \omega_0^2 C \pm \sqrt{R^4 \omega_0^4 C^2 - 4\omega_0^2 R^2}}{2\omega_0^2} \quad (2.19)$$

agar terdapat nilai L maka dibawah akar harus ≥ 0 , sehingga:

$$R^4 \omega_0^4 C^2 - 4\omega_0^2 R^2 \geq 0 \quad (2.20)$$

$$R \geq \frac{2}{\omega_0 C} \quad (2.21)$$

$$Q = \frac{R}{2\pi f_n L} \quad (2.22)$$

dengan f_n : frekuensi *tuning*

2.8 Faktor Kualitas ^[3]

Faktor kualitas menyatakan tingkat ketajaman *filter*. formula untuk menghitung faktor kualitas adalah:

$$Q = \frac{1 + \cos \phi_a}{2\delta \sin \phi_a} \quad (2.23)$$

dengan Q : faktor kualitas; ϕ_a : batas sudut fase impedansi *filter*; δ : faktor toleransi *filter*.

$$\delta = \frac{\Delta f}{f_n} + \frac{1}{2} \left(\frac{\Delta L}{L_n} + \frac{\Delta C}{C_n} \right) \quad (2.24)$$

dengan $\frac{\Delta f}{f_n}$: perubahan frekuensi (%), $\frac{\Delta L}{L_n}$: perubahan induktansi (%), $\frac{\Delta C}{C_n}$: perubahan kapasitansi (%).

2.9 Standar IEEE 519-1992 ^{[5], [6]}

Standar harmonik yang digunakan pada penelitian ini adalah standar dari IEEE 519-1992. Ada dua kriteria yang digunakan untuk mengevaluasi distorsi harmonik yaitu batas harmonik untuk arus (THD_i) dan batas harmonik untuk tegangan (THD_v).

Tabel 2.3 Batas distorsi arus

Maximum Harmonic Current Distortion in % I_L						
Individual Harmonic Order (Odd Harmonic)						
I_{sc}/I_L	$h < 11$	$11 \leq h < 17$	$17 \leq h < 23$	$23 \leq h < 35$	$35 \leq h$	THD
$< 20^*$	2.0	1.0	0.75	0.3	0.15	2.5
$20 < 50$	3.5	1.75	1.25	0.5	0.25	4.0
$50 < 100$	5.0	2.25	2.0	0.75	0.35	6.0
$100 < 1000$	6.0	2.75	2.5	1.0	0.5	7.5
> 1000	7.5	3.5	3.0	1.25	10.7	10.0

Even harmonics are limited to 25% of the odd harmonic limits above

Current distortions that result in a DC offset, e.g., half-wave converters, are not allowed

*All power generation equipment is limited to these values of current distortion, regardless of actual I_{sc}/I_L

Where
 I_{sc} = maximum short circuit current at PCC
 I_L = maximum demand load current (fundamental frequency component) at PCC

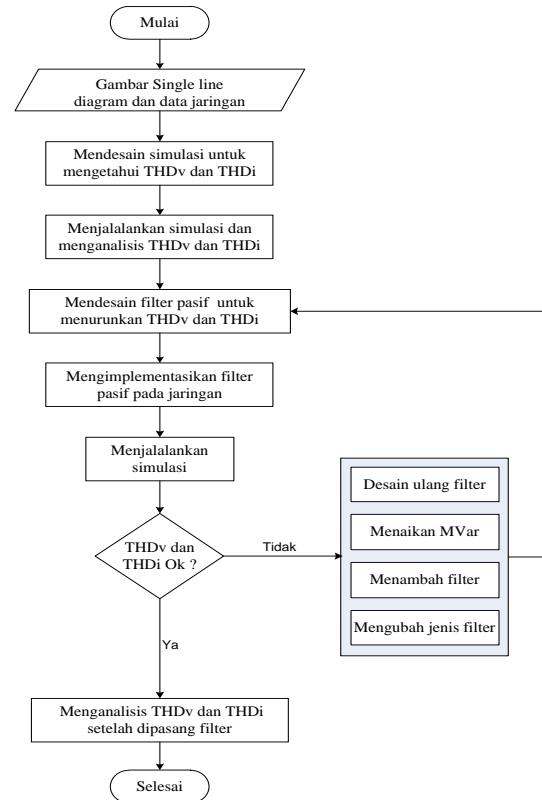
Tabel 2.4 Batas distorsi tegangan

Bus Voltage at PCC	Individual Voltage Distortion (%)	Total Harmonic Voltage Distortion THD (%)
69 kV and below	3.0	5.0
69.00001 kV through 161 kV	1.5	2.5
161.001 kV and above	1.0	1.5

$\% THD_v$ adalah persentase jumlah total tegangan yang terdistorsi oleh harmonik dan $\% THD_i$ adalah persentase jumlah total arus yang terdistorsi oleh harmonik.

III DESAIN DAN IMPLEMENTASI FILTER PASIF

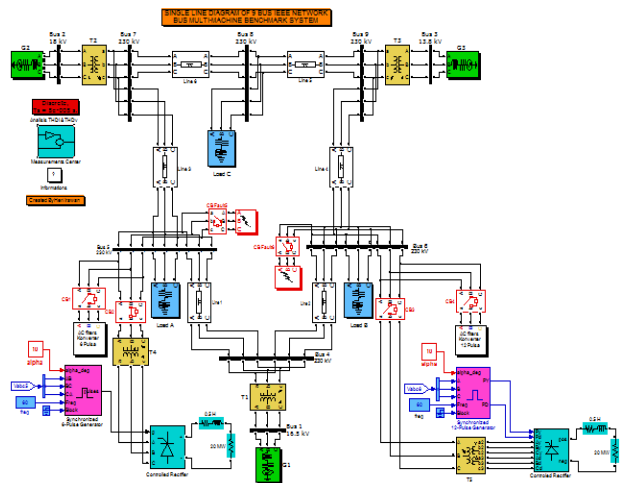
Dalam penelitian ini parameter *filter* pasif akan dihitung dengan menggunakan program GUI (Graphical User Interface) matlab 7.6. Sedangkan pengujian unjuk kerja *filter* akan dilakukan dengan mendesain *filter* dan model jaringan sistem multi mesin 9 bus IEEE menggunakan *simulink library* matlab 7.6. Diagram alir (flow chart) desain dan pengujian *filter* adalah sebagai berikut:



Gambar 12 Diagram alir desain dan pengujian *filter* pasif

3.1 Model Jaringan 9 Bus IEEE dengan Simulink [8]

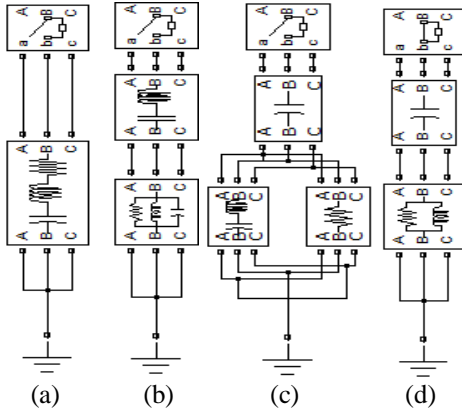
Model jaringan dibawah [9], [10] terdiri atas dua beban *non-linear* yaitu berupa diode terkendali yang dipicu oleh pembangkit sinyal kendali 6 pulsa (konverter 6 pulsa) dan pembangkit sinyal kendali 12 pulsa (konverter 12 pulsa) yang akan menghasilkan harmonik arus dan tegangan.



Gambar 13 Model jaringan 9 bus IEEE

3.2 Model Filter Pasif dengan Simulink

Desain filter pasif dengan simulink pada penelitian ini adaah sebagai berikut:



Gambar 14 Filter pasif tipe : (a) single tuned, (b) double tuned, (c) c-type hpf, (d) high pass filter orde 2

Filter pasif ini didesain berdasarkan kebutuhan daya reaktif yang diperlukan oleh sistem untuk mereduksi harmonik sampai batas yang diizinkan berdasarkan standar IEEE 152-1992.

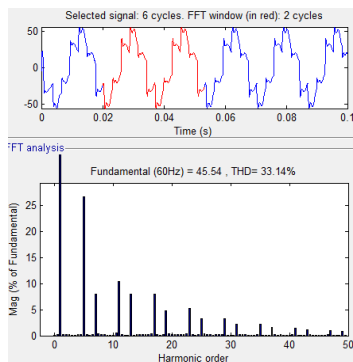
IV PENGUJIAN DAN ANALISIS

4.1 Data Total Harmonic Distortion (THD) tanpa Filter

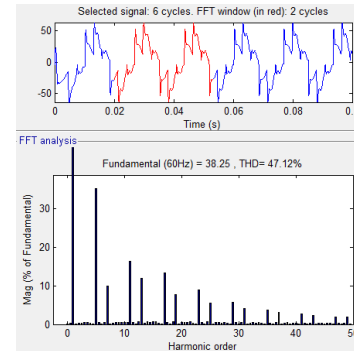
Dari hasil simulasi tanpa filter dihasilkan bahwa bus yang menghasilkan harmonik arus terbesar adalah bus beban non-linier karena dekat dengan sumber harmonik. Dibawah ini adalah grafik Total harmonik Distortion (THD) arus fase R untuk konverter 6 pulsa dan 12 pulsa sudut picu 10^0 dan 30^0 dengan beban resistif 20 MW.

4.1.1 Konverter 6 pulsa sudut picu 10^0 dan 30^0

Gambar dibawah ini adalah gelombang sinus terdistorsi dan spektrum harmonik sebelum dipasang filter.



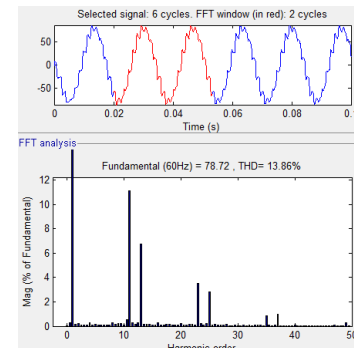
Gambar 15 Arus dan THDi fase R konverter 6 pulsa sudut picu 10^0



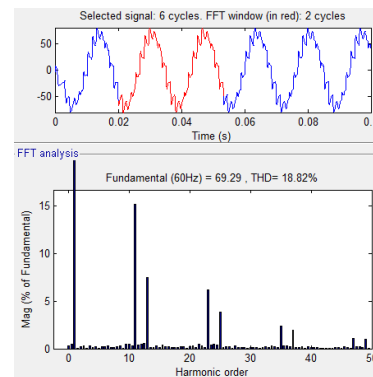
Gambar 16 Arus dan THDi fase R konverter 6 pulsa sudut picu 30^0

4.1.2 Konverter 12 pulsa sudut picu 10^0 dan 30^0

Gambar dibawah ini adalah gelombang sinus terdistorsi dan spektrum harmonik sebelum dipasang filter.



Gambar 17 Arus dan THDi fase R konverter 12 pulsa sudut picu 10^0



Gambar 18 Arus dan THDi fase R konverter 12 pulsa sudut picu 30^0

Berdasarkan hasil simulasi terlihat bahwa untuk mensuplai daya beban yang sama THDi konverter 12 pulsa lebih rendah dibandingkan konverter 6 pulsa dengan harmonik arus yang paling dominan pada konverter 6 pulsa dan 12 pulsa berturut-turut adalah harmonik orde ke-5, 7, 11, 13, 17, 23 dan harmonik orde ke-11, 13, 17, 23, 25, 35.

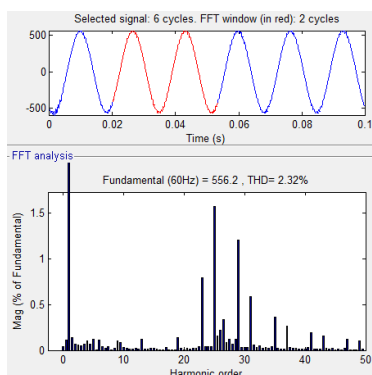
Dan $THDi$ akan semakin besar apabila sudut picu konverter dinaikan.

4.2 Data Total Harmonic Distortion (THD) dengan Filter

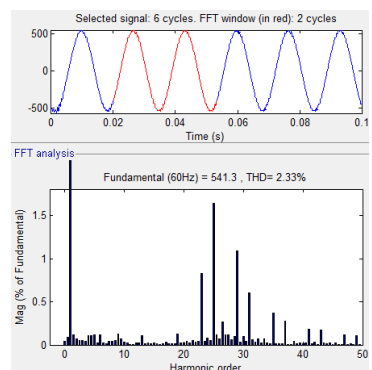
Parameter R , L , C filter pasif yang telah didesain kemudian diujikan kedalam model jaringan 9 bus IEEE untuk mengetahui apakah filter mampu mereduksi harmonik sampai batas standar IEEE 152-1992. Dibawah ini adalah grafik Total harmonic Distortion (THD) arus fase R untuk konverter 6 pulsa dan 12 pulsa sudut picu 10^0 dan 30^0 dengan beban resistif 20 MW.

4.2.1 Konverter 6 pulsa sudut picu 10^0 dan 30^0

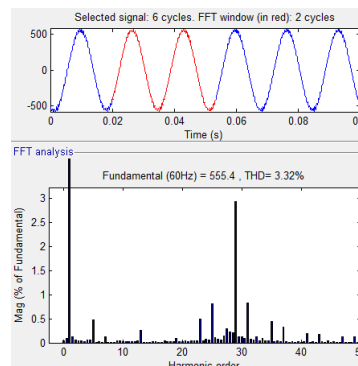
Gambar dibawah ini adalah gelombang *sinus* murni dan spektrum harmonik setelah dipasang filter.



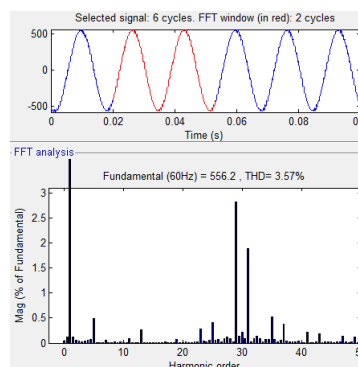
Gambar 19 Arus dan $THDi$ fase R konverter 6 pulsa sudut picu 10^0 dengan filter single tuned dan high-pass



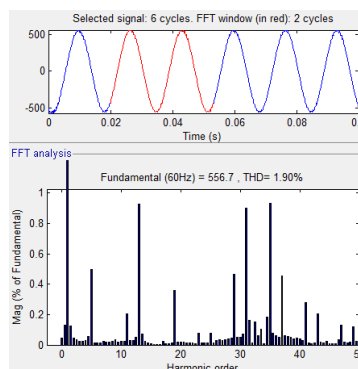
Gambar 20 Arus dan $THDi$ fase R konverter 6 pulsa sudut picu 10^0 dengan filter c-type dan high-pass



Gambar 21 Arus dan $THDi$ fase R konverter 6 pulsa sudut picu 10^0 dengan filter double tuned 5/7, 11/13 dan high-pass

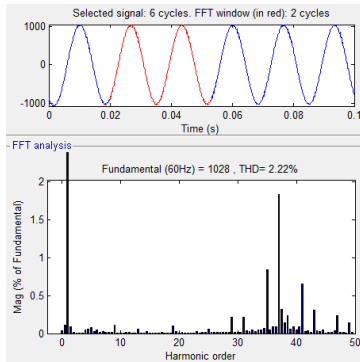


Gambar 22 Arus dan $THDi$ fase R konverter 6 pulsa sudut picu 10^0 dengan filter double tuned 5/11, 7/13 dan high-pass

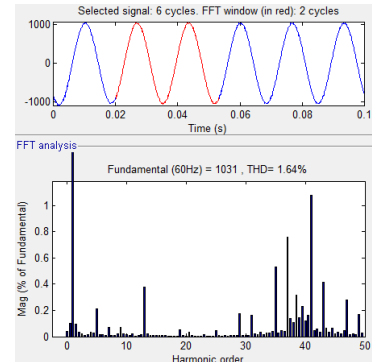


Gambar 23 Arus dan $THDi$ fase R konverter 6 pulsa sudut picu 10^0 dengan filter double tuned 5/13, 7/11 dan high-pass

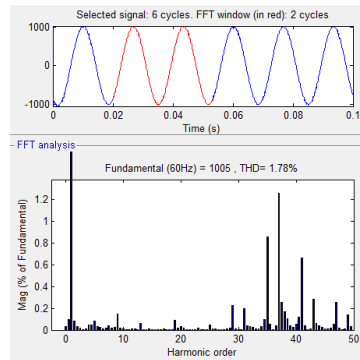
Dari hasil simulasi yang terlihat pada grafik diatas menunjukkan bahwa filter c-type, single tuned, double tuned 5/13, 7/11 mampu mereduksi harmonik arus dari 33,14% sampai dibawah standar maksimal yang diizinkan yaitu 2,5%.



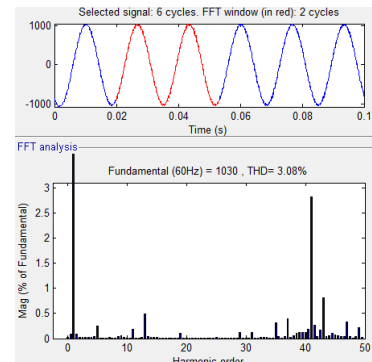
Gambar 24 Arus dan $THDi$ fase R konverter 6 pulsa sudut picu 30^0 dengan *filter single tuned* dan *high-pass*



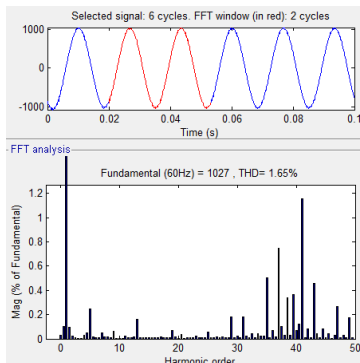
Gambar 27 Arus dan $THDi$ fase R konverter 6 pulsa sudut picu 30^0 dengan *filter double tuned 5/11, 7/13* dan *high-pass*



Gambar 25 Arus dan $THDi$ fase R konverter 6 pulsa sudut picu 30^0 dengan *filter c-type* dan *high-pass*



Gambar 28 Arus dan $THDi$ fase R konverter 6 pulsa sudut picu 30^0 dengan *filter double tuned 5/13, 7/11* dan *high-pass*

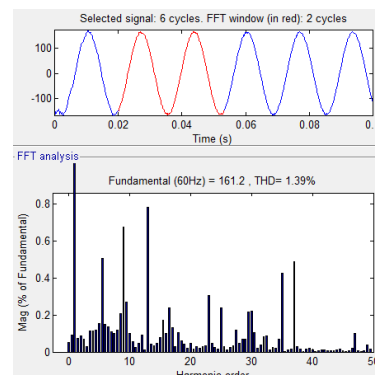


Gambar 26 Arus dan $THDi$ fase R konverter 6 pulsa sudut picu 30^0 dengan *filter double tuned 5/7, 11/13* dan *high-pass*

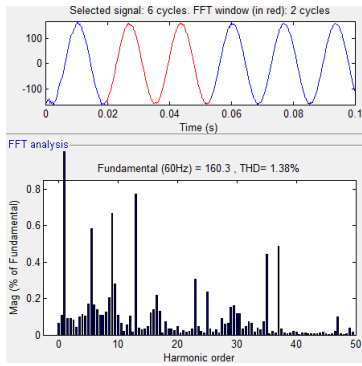
Dari hasil simulasi yang terlihat pada grafik diatas menunjukkan bahwa *filter c-type, single tuned, double tuned 5/7, 11/13* dan *double tuned 5/11, 7/13* mampu mereduksi harmonik arus dari 47,12% sampai dibawah standar maksimal yang diizinkan yaitu 2,5%.

4.2.2 Konverter 12 pulsa sudut picu 10^0 dan 30^0

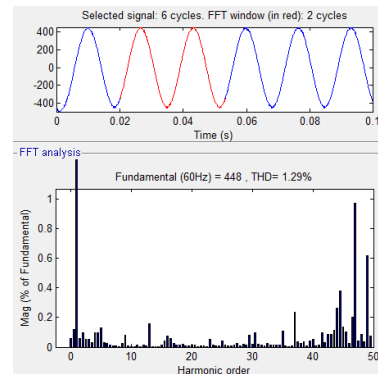
Gambar dibawah ini adalah gelombang *sinus* murni dan spektrum harmonik setelah dipasang *filter*.



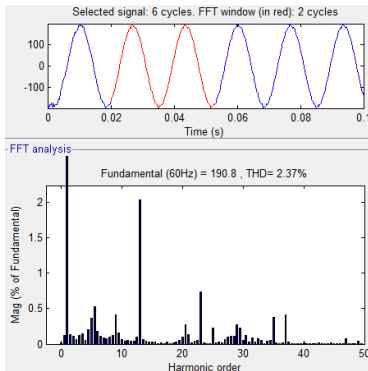
Gambar 29 Arus dan $THDi$ fase R konverter 12 pulsa sudut picu 10^0 dengan *filter single tuned* dan *high-pass*



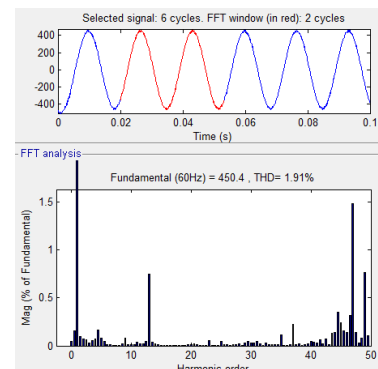
Gambar 30 Arus dan $THDi$ fase R konverter 12 pulsa sudut picu 10^0 dengan *filter c-type* dan *high-pass*



Gambar 33 Arus dan $THDi$ fase R konverter 12 pulsa sudut picu 30^0 dengan *filter c-type* dan *high-pass*



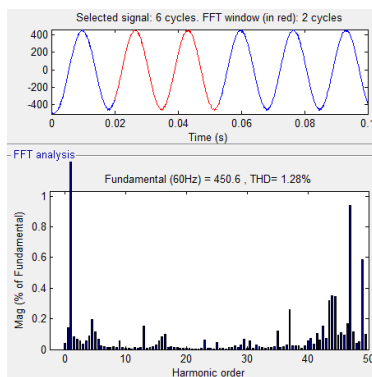
Gambar 31 Arus dan $THDi$ fase R konverter 12 pulsa sudut picu 10^0 dengan *filter double tuned 11/13* dan *high-pass*



Gambar 34 Arus dan $THDi$ fase R konverter 12 pulsa sudut picu 30^0 dengan *filter double tuned 11/13* dan *high-pass*

Dari hasil simulasi yang terlihat pada grafik diatas menunjukkan bahwa *filter c-type, single tuned, double tuned 11/13* mampu mereduksi harmonik arus dari 13,86% sampai dibawah standar maksimal yang diizinkan yaitu 2,5%.

Dari hasil simulasi yang terlihat pada grafik diatas menunjukkan bahwa *filter c-type, single tuned, double tuned 11/13* mampu mereduksi harmonik arus dari 18,82% sampai dibawah standar maksimal yang diizinkan yaitu 2,5%.



Gambar 32 Arus dan $THDi$ fase R konverter 12 pulsa sudut picu 30^0 dengan *filter single tuned* dan *high-pass*

V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Adapun kesimpulan yang diperoleh dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. *Total Harmonic Distortion (THD)* arus yang dihasilkan oleh konverter 6 pulsa lebih besar dibandingkan dengan konverter 12 pulsa. Dan THD arus akan semakin besar apabila sudut picu (α) konverter dinaikan.
2. Pada konverter 6 pulsa harmonik yang muncul dan paling dominan diantara orde harmonik lainnya adalah harmonik orde ke-5, 7, 11, 13, 17, dan 23. Sedangkan pada konverter 12 pulsa harmonik yang muncul dan paling dominan diantara orde harmonik lainnya adalah harmonik orde ke-11, 13, 23, 25, dan 35.
3. *Total Harmonic Distortion (THD)* arus yang dihasilkan oleh beban *non-linier* terbesar

berada pada *bus* yang terdapat beban *non-linier* dan ternyata harmonik ini juga mempengaruhi *bus* lainnya meskipun berada pada jarak yang relatif jauh dari sumber harmonik.

4. Parameter R , L , C filter pasif ditentukan berdasarkan daya reaktif total yang dibutuhkan untuk mereduksi harmonik, semakin besar THD arus maka daya reaktif total yang dibutuhkan juga akan semakin besar.
5. Pemasangan kombinasi *filter single tuned*, *double tuned*, dan *c-type high-pass* dengan *filter high pass* orde 2 ternyata mampu menurunkan harmonik tegangan dan arus jaringan 9 bus *IEEE* sampai batas standar *IEEE 152-1992* serta meningkatkan kapasitas daya yang maksimal pada sisi beban konverter.
6. *Filter* yang memiliki unjuk kerja terbaik dalam mereduksi THD tegangan dan arus berturut-turut adalah kombinasi *filter c-type high-pass* dengan *filter high-pass* orde 2 dan kombinasi *filter double tuned* dengan *filter high-pass* orde 2 untuk konverter 6 pulsa dan kombinasi *filter single tuned* dengan *filter high-pass* orde 2 dan kombinasi *filter c-type high-pass* dengan *filter high-pass* orde 2 untuk konverter 12 pulsa.
7. *Filter* pasif tipe *shunt* terbukti mampu mensuplai daya reaktif pada frekuensi fundamental, hal ini terlihat pada kurva perubahan impedansi terhadap frekuensi.

5.2 Saran

Saran yang dapat penulis sampaikan demi pengembangan pada penelitian selanjutnya adalah sebagai berikut:

1. Beban *non-linier* yang digunakan dapat digantikan dengan beban *non-linier* yang lainnya seperti: *inverter*, *arc furnace*, lampu hemat energi, dan beban *non-linier* lainnya yang mengandung sumber harmonik.
2. Pengaruh pemasangan *filter* pasif terhadap stabilitas dan keandalan sistem pembangkit, terutama terhadap peralatan pembangkit utama seperti generator dan transformator serta pengaruhnya terhadap peralatan proteksi.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Adrianto, "Optimalisasi Penempatan *Filter* Pasif untuk Mereduksi Rugi-Rugi Daya Akibat Arus Harmonik pada Industri Baja", Jurusan Teknik Elektro Universitas Indonesia, Depok.
- [2] Ali, M.M., "Pengurangan Harmonisa pada Konverter 12 Pulsa Tiga Fasa Menggunakan Diagonal Recurrent Neural Network (DRNN)", Jurusan Teknik Elektro Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, Indonesia.
- [3] Arrillaga, J., D.A. Bradley, and P.S. Bodger, *Power System Harmonics*, John Wiley & Sons, Singapore, 1985.
- [4] Chen, Q., Z. Chen, and M. McCormick, "The Application and Optimization of C-type *filter* in a combined harmonic power *filter*", School of Electrical Engineering, De Montfort
- [5] Das, J.C., *Power System Analysis-Short Circuit Load Flow and Harmonics*, Marcel Dekker, Inc., New York, 2002.
- [6] Dugan, R.C., and M.F. McGranaghan, *Electrical Power System Quality*, 2nd ed., McGraw-Hill, 2004.
- [7] Karl, M. H., "Harmonic Mitigation of 12-Pulse Drives with Unbalanced Input Line Voltages", MTE Corporation, W147 N 9525 Held Drive, Menomonee Falls, WI 53051.
- [8] Mercier, P., *Power System Blockset User's Guide*, TEQSIM International Inc., Quebec, 1984.
- [9] Nwohu and M. Ndubuka, "Estimation of Bifurcation Point in Multi-*bus* System Using Generator Reactive Power Limit Approach", Journal of Electrical and Electronics Engineering Research Vol. 2(2), pp. 048-056, March 2010.
- [10] Onar, O.C., and O. Hajiamin A.S., "Grid Interaction Operation of a Telecommunications Power System With a Novel Topology for Multiple-Input Buck-Boost Converter", IEEE Transactions On Power Delivery, Vol. 25, NO. 4, October 2010 2633.
- [11] Pujiantara, M., "Penyempurnaan Desain *Filter* harmonik Menggunakan Kapasitor Eksisting pada Pabrik Soda Kaustik di Serang – Banten", Jurusan Teknik

- Elektro Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, Indonesia, 2003.
- [12] Suhartini, T., W. Surya, dan D. Lukman H. “Perencanaan *Filter* Pasif untuk Meningkatkan Kualitas Daya Listrik di Gedung Direktorat TIK UPI”, Universitas Pendidikan Indonesia, Bandung.
- [13] Suweden, I Nengah, dan I Wayan Rinas, “Analisa Penanggulangan THD Dengan *Filter* Pasif pada Sistem Kelistrikan di RSUP Sanglah”, Jurusan Teknik Elektro Universitas Udayana, Bali, 2009.
- [14] Tanoto, Y., L. Limantara, dan K.K. Lestanto, “Simulasi *Filter* Pasif dan Perbandingan Unjuk Kerjanya dengan *Filter* Aktif dan *Filter* Aktif *Hibrid* dalam Meredam Harmonik pada *Induction Furnace*”, Jurusan Teknik Elektro Universitas Kristen Petra, Surabaya, 2007.
- [15] Xiao, Y., J. Zhao, and S. Mao, “Theory for the Design of C-type *Filter*”, 11th International Conference on Harmonics and Quality of Power, 2004

BIODATA



Heri Irawan

Putra kelahiran Bogor, menyelesaikan pendidikan dasar hingga menengah di Bogor. Saat ini sedang menempuh pendidikan di jurusan Teknik Elektro Universitas Diponegoro, Semarang pada Bidang Konsentrasi Teknik Energi Listrik. Penulis dapat dihubungi melalui e-mail : heri.azzamer@gmail.com/herira_one@yahoo.co.id

Semarang, Juli 2011

Menyetujui,

Dosen Pembimbing I Dosen Pembimbing II

Dr. Ir. Hermawan, DEA. Ir. Tejo Sukmadi, MT.
 NIP.196002231986021001 NIP.196111177198803100
 Tanggal: _____ Tanggal: _____