

# Rancang Bangun Filter Harmonik Untuk Perbaikan Kualitas Daya Pada Pembangkit Listrik Tenaga Surya 320 WP

**Anggoro Arso Pambudi, Nurhalim**

Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Riau  
Kampus Bina Widya Km 12,5 Simpang Baru Panam, Pekanbaru 28293  
Jurusan Teknik Elektro  
Universitas Riau  
Email: [anggoroarso@gmail.com](mailto:anggoroarso@gmail.com)

## ABSTRACT

*With the progress of industry, power electronic equipment is widely used in power system, it has produced serious harmonic distortion. It goes without saying that harmonic analysis is a very important subject in power system. The influence of harmonics dominant because it is permanent. This harmonic influence spread to energy systems, energy devices, and influential to the energy source. For that it is necessary a tool that is able to overcome these problems so that the electric energy services are not compromised and the reliability was not reduced. This study how to harmonic analysis, total harmonic distortion, and identifying the inverter at a solar power plant 320WP in accordance with the IEEE 519-2014.*

*Keywords: harmonic, THD, inverter, solar power plant 320WP, IEEE*

## I. PENDAHULUAN

Tujuan utama dari sistem tenaga listrik adalah mengirimkan daya listrik dengan tegangan yang konstan dan berfrekuensi konstan pula. Akan tetapi sedikit kemungkinan untuk memenuhi syarat ideal tersebut. Ketidakmungkinan tersebut dikarenakan berbagai macam gangguan, diantaranya adalah harmonisa yang ditimbulkan oleh beban non-linier, yang akan mempengaruhi performa sistem secara keseluruhan. Harmonisa pada sistem kelistrikan merupakan salah satu penyebab yang mempengaruhi kualitas daya.

Pengaruh harmonisa sangat dominan karena bersifat permanen. Pengaruh harmonisa ini menyebar ke sistem energi, perangkat energi, dan berpengaruh ke sumber energi.

Untuk itu sangatlah perlu suatu alat yang mampu mengatasi masalah-masalah ini sehingga pelayanan energi listrik tidak terganggu dan keandalan pun tidak

berkurang. Distorsi akibat arus harmonik akan mengganggu gelombang gelombang Sinusoidal sehingga gelombang tersebut menjadi cacat dan tidak murni hal inilah yang membuat kerja peralatan menjadi terganggu sehingga tidak dapat beroperasi dengan baik.

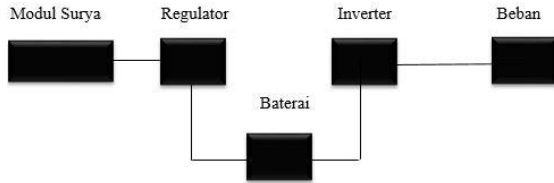
Sumber utama harmonik dalam sistem tenaga listrik adalah beban non linier. Dan pada penelitian ini akan mengidentifikasi harmonik yang disebabkan oleh inverter dan beban pada pembangkit listrik tenaga surya.

## II. LANDASAN TEORI

### 2.1 Pembangkit Listrik Tenaga Surya 320WP

Pembangkit listrik tenaga surya adalah ramah lingkungan, dan sangat menjanjikan. Sebagai salah satu alternatif untuk menggantikan pembangkit listrik menggunakan uap (dengan minyak dan batubara).

Sistem energi pembangkit tenaga surya, mengurangi ketergantungan dunia akan bahan bakar fosil, bayangkan energi gratis dan terus-menerus yang bersumber dari bumi kita disediakan untuk kebutuhan energi dan dapat diandalkan mengurangi pengeluaran daya.



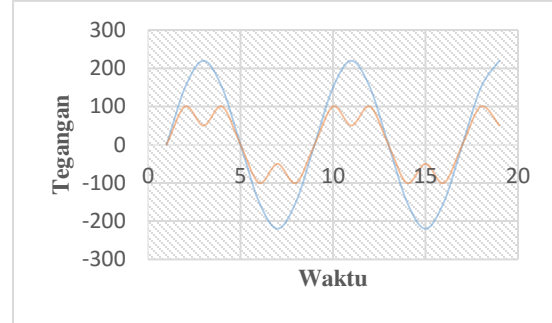
Gambar 1. Pembangkit listrik tenaga surya

## 2.2 Harmonik

Harmonik merupakan salah satu komponen sinusoida dari satu periode gelombang yang mempunyai frekuensi kelipatan bulat dari frekuensi fundamentalnya. Gelombang yang terdistorsi terdiri dari beberapa harmonik, dan harmonik yang pertama dikenal sebagai frekuensi dasar atau fundamental.

Seterusnya harmonik dengan kelipatan ganjil dari frekuensi fundamental disebut dengan harmonik ganjil dan harmonik. Dimana kelipatan genap dari frekuensi fundamental disebut sebagai harmonik genap.

Beban non linear adalah salah satu jenis peralatan harmonik yang berperilaku dapat mengubah bentuk gelombang arus atau tegangan kepada bentuk tertentu yang tidak sinusoida lagi.



— Gelombang Fundamental  
— Gelombang Beban Non-linier

Gambar 2. Gambar gelombang fundamental terdistorsi beban non linier

## 2.3 Total Harmonics Distorsion (THD)

Terdapat batasan tegangan dan arus harmonik yang masih dapat ditoleransi dalam suatu sistem tenaga listrik. Batasan ini disebut Total Harmonic Distorsion (THD). Batas harmonik THD diukur pada meter sistem tenaga.

Kandungan harmonik, baik arus maupun tegangan, dapat dinyatakan dalam nilai *root mean square (rms)* atau sebagai cacad harmonik total (*Total Harmonic Distortion*). Harmonik total dinyatakan sebagai :

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

$$THD_v = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} V_n^2}}{V_1} \times 100\%$$

Dimana:

$I_n/V_n$  = Arus/Tegangan harmonik pada orde ke-n

$I_1/V_1$  = Arus/Tegangan fundamental (Vrms)  
n = 2-50

Nilai n yang diperhitungkan berkisar antara 2 sampai dengan 50 (harmonik ke 50 ). Hal ini disebabkan untuk n > 50, nilai harmoniknya sangat kecil.

## 2.4 Filter Pasif

Salah satu upaya untuk mereduksi harmonik yang muncul diakibatkan oleh beban non linier adalah dengan menggunakan filter. Ada dua jenis

filter yang dapat digunakan, yaitu filter aktif dan filter pasif. Namun jika dilihat dari tinjauan ekonomi, filter pasif relatif lebih murah jika dibandingkan dengan filter aktif.

Filter pasif yang digunakan untuk mereduksi kandungan harmonik pada sistem terdiri dari kombinasi komponen R, L, dan C. Berdasarkan karakteristiknya, filter pasif dapat dibedakan atas empat bagian yaitu: *low-pass*, *high-pass*, *bandpass*, dan *tuned filter*. *Low-pass filter* digunakan untuk mereduksi komponen harmonik di atas frekuensi yang ditala, *high-pass filter* digunakan untuk mereduksi komponen harmonik di bawah frekuensi yang ditala, dan *band-pass filter* digunakan untuk mereduksi komponen harmonik di atas dan di bawah frekuensi yang ditala, sehingga yang dilewatkan hanya frekuensi yang ditala saja. *Bandpass* merupakan kombinasi dari *low-pass* dan *high-pass filter*, sedangkan *tuned filter* digunakan untuk mereduksi komponen harmonik tertentu saja. Tetapi dengan mengkombinasikan beberapa *tuned filter*, juga dapat digunakan untuk mengurangi beberapa komponen harmonik. Berdasarkan rumus THD arus kita dapat memperkirakan nilai R dan C.

$$fn = \frac{1}{2\pi RC} \quad (1)$$

## 2.5 Perancangan Filter Single Tune

Ada beberapa langkah-langkah dalam menentukan parameter yang digunakan dalam perancangan single tuned filter. Bila filter didesain untuk memperbaiki faktor daya, maka besarnya daya reaktif yang disuplai oleh kapasitor ditentukan oleh : (Endi Sopyandi, 2009)

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

Dimana :

$P_1$  = Daya aktif sistem

$PF_0$  = Faktor daya sebelum ada kompensasi daya reaktif

PF = Faktor daya setelah ada kompensasi daya reaktif

Langkah selanjutnya adalah menentukan nilai reaktansi kapasitor dengan menggunakan persamaan dibawah ini berikut ini :

$$X_C = \frac{kV_{rated}^2}{Mvar_{rated}} \quad (3)$$

Dimana :

$X_C$  = Reaktansi kapasitor

$kV_{rated}^2$  = Tegangan sumber

$Mvar_{rated}$  = Daya reaktif

Untuk menghitung nilai reaktansi induktor dapat menggunakan persamaan berikut ini :

$$X_L = \frac{X_C}{n^2} \quad (4)$$

Dimana :

$X_L$  = Reaktansi induktor.

$X_C$  = Reaktansi kapasitor.

n = Orde harmonik yang difilter (setel sedikit dibawah ordenya)

Untuk nilai kapasitor dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut ini :

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

Dimana:

C = Kapasitor

f = Frekuensi fundamental sebesar 50 Hz

$X_C$  = Reaktansi kapasitor

Faktor kualitas (Q) merupakan ukuran ketajaman penyetelan filter dalam mereduksi harmonik, sehingga diharapkan nilai Q setinggi mungkin. Nilai Q yang tinggi didapatkan dengan memberikan nilai R yang kecil.

Setelah perhitungan diatas selesai, dapat dihitung arus yang dikosumsi oleh masing-masing filter:

$$V = I \times Z \quad (6)$$

Dari nilai Z:

$$Z = X_C - X_L \quad (7)$$

Maka didapat:

$$X_C = \frac{1}{2\pi f C} \quad (8)$$

Dan

$$X_L = 2\pi fL \quad (9)$$

## 2.6 Standar Harmonik yang diizinkan

Besarnya pengaruh harmonik pada sistem tenaga ditentukan oleh besarnya THD yang dihasilkan. Berikut adalah batasan-batasan Distorsi Tegangan Harmonik:

Tabel 1. Standar batas distorsi tegangan harmonik sesuai standar IEEE 519-2014

| Bus voltage $V$ at PCC    | Individual harmonic (%) | Total harmonic distortion THD (%) |
|---------------------------|-------------------------|-----------------------------------|
| $V \leq 1.0$ kV           | 5.0                     | 8.0                               |
| $1$ kV $< V \leq 69$ kV   | 3.0                     | 5.0                               |
| $69$ kV $< V \leq 161$ kV | 1.5                     | 2.5                               |
| $161$ kV $< V$            | 1.0                     | 1.5 <sup>a</sup>                  |

Tabel 2. Standar batas distorsi arus harmonik sesuai standar IEEE 519-2014

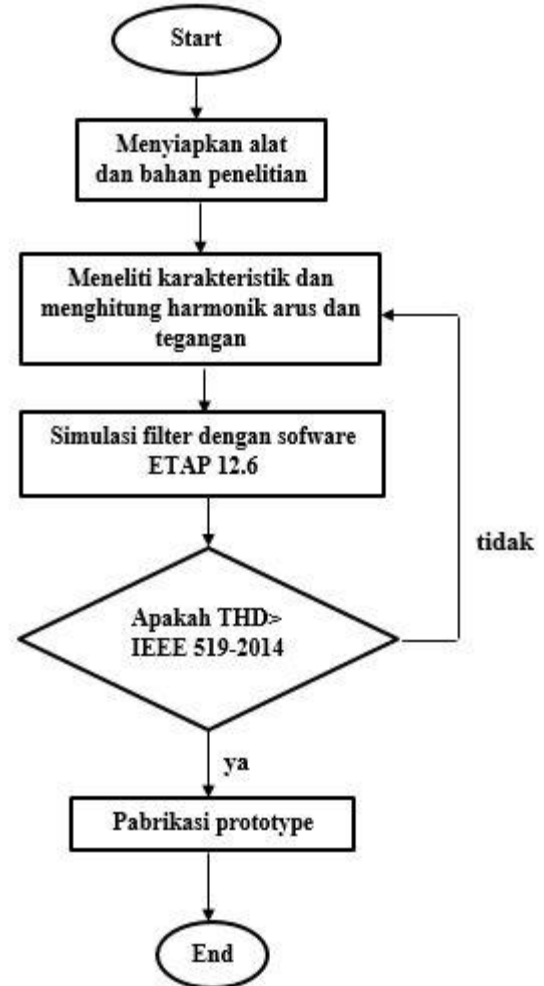
| Maximum harmonic current distortion in percent of $I_L$   |                 |                  |                  |                  |                     |      |
|---|-----------------|------------------|------------------|------------------|---------------------|------|
| Individual harmonic order (odd harmonics) <sup>a, b</sup> |                 |                  |                  |                  |                     |      |
| $I_{SC}/I_L$  | $3 \leq h < 11$ | $11 \leq h < 17$ | $17 \leq h < 23$ | $23 \leq h < 35$ | $35 \leq h \leq 50$ | TDD  |
| $< 20^c$  | 4.0             | 2.0              | 1.5              | 0.6              | 0.3                 | 5.0  |
| $20 < 50$   | 7.0             | 3.5              | 2.5              | 1.0              | 0.5                 | 8.0  |
| $50 < 100$  | 10.0            | 4.5              | 4.0              | 1.5              | 0.7                 | 12.0 |
| $100 < 1000$  | 12.0            | 5.5              | 5.0              | 2.0              | 1.0                 | 15.0 |
| $> 1000$  | 15.0            | 7.0              | 6.0              | 2.5              | 1.4                 | 20.0 |

Tabel 2 dari IEEE standard 519-2014, menyarankan nilai-nilai berikut sebagai batas maksimum yang direkomendasikan untuk distorsi arus. Untuk standar harmonisa arus, ditentukan oleh rasio  $I_{SC}/I_L$  (arus hubung singkat dibagi dengan arusbeban).  $I_{SC}$  adalah arus hubung singkat yang ada pada PCC (*Point of Common Coupling*),  $I_L$  adalah arus beban fundamental nominal dan dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

### III. METODE PERANCANGAN

Prosedur yang digunakan untuk mengidentifikasi harmonik:

1. Parameter-parameter yang ada pada sistem, yaitu inverter dan beban.
2. Orde Harmonik yang akan kita identifikasi.



Gambar 3. Diagram Alur Perancangan Penelitian

### 3.1 Inverter dan Beban yang Terpasang pada Penelitian ini

Inverter DC-AC digunakan untuk mengubah input tegangan DC menjadi tegangan AC. Tipe inverter yang digunakan merupakan USAT Power Inverter 1200 W denganspesifikasi sebagai berikut.

Tabel. 3 Spesifikasi USAT Power Inverter 1200 W

| Parameter                          | Rating Nominal |
|------------------------------------|----------------|
| Input Voltage DC ( $V_{IN,DC}$ )   | 12 V           |
| Output Voltage AC ( $V_{OUT,DC}$ ) | 200 – 300 V    |
| Output Power ( $P_{OUT}$ )         | 1200 W         |

|                                     |      |
|-------------------------------------|------|
| Maximum Efficiency ( $\eta_{MAX}$ ) | 75%  |
| Fuse                                | 20 A |
| Ignition Angle                      | 60°  |

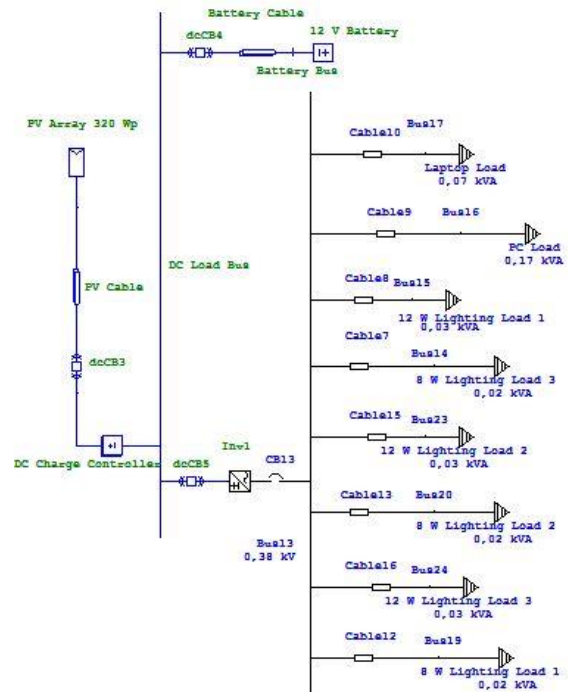
Beban yang terpasang pada sistem merupakan beban dengan arus bolak-balik. Beban terdiri dari beban statis maupun beban dinamis dengan total kapasitas terpasang 0,31 kVA berdasarkan data yang telah disediakan.

Tabel. 4 Spesifikasi Beban Pada Sistem

| Beban        | Daya (W) | Jumlah Beban | Total Daya (W) |
|--------------|----------|--------------|----------------|
| Lampu LHE FL | 8        | 3            | 24             |
| Lampu LHE FL | 12       | 3            | 36             |
| Komputer     | 150      | 1            | 150            |
| Laptop       | 60       | 1            | 60             |
| Total Beban  |          | 8            | 275            |

### 3.2 Simulasi dengan software ETAP 12.6.0

Berdasarkan data-data yang tertera penulis membuat simulasi pembangkit listrik tenaga surya 320WP pada ETAP 12.6.0, bisa dilihat dari gambar 4 berikut ini.



Gambar 4. One line diagram Pembangkit Listrik Tenaga Surya 320 WP

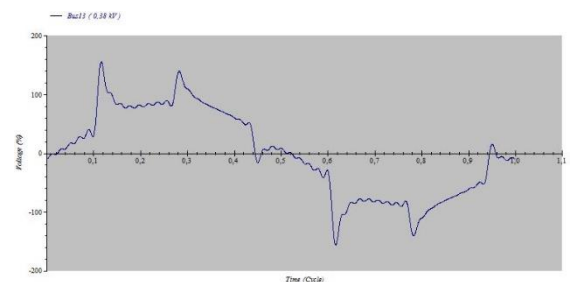
Gambar diatas dibuat sesuai parameter-parameter yang ada pada tabel 3 dan 4.

## IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

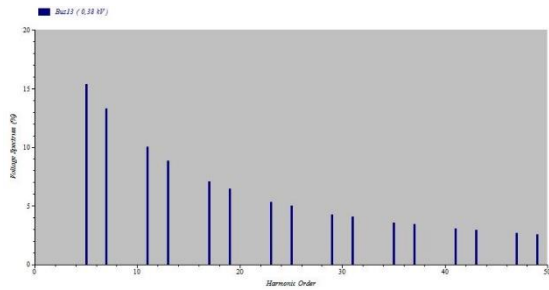
### 1.1 Simulasi

#### 4.4.1 Kondisi Tanpa beban

Dari simulasi yang telah dibuat pada software etap kita dapat melihat *waveform* dan *spectrum* harmonik dari hasil inverter tanpa beban.



Gambar 5. Wave form Harmonics yang dihasilkan dari keluaran inverter tanpa beban



Gambar 6. *Spectrum* Orde Harmonik yang dihasilkan dari *inverter* tanpa beban

Dari gambar *waveform* dan *spectrum* kita sudah dapat melihat orde berapa saja yang menghasilkan harmonik paling besar yaitu harmonik 5, 7, 11 dan 13. Untuk itu penulis akan *mendesign* filter pasif tipe L-C pada Bus 13.

Bisa kita lihat juga magnitude dalam persen yang dihasilkan pada masing-masing orde dari tabel dibawah ini.

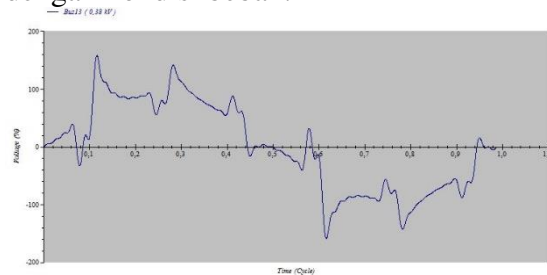
Tabel 5. Besar harmonik yang dihasilkan pada masing-masing orde dalam bentuk persen(%) pada kondisi tidak berbeban

| Orde | Frekuensi<br>Hz | Magnitude<br>% |
|------|-----------------|----------------|
| 5    | 250             | 15,40          |
| 7    | 350             | 13,31          |
| 11   | 550             | 10,02          |
| 13   | 650             | 8,83           |
| 17   | 850             | 7,08           |
| 19   | 950             | 6,46           |
| 23   | 1150            | 5,33           |
| 25   | 1250            | 4,99           |
| 29   | 1450            | 4,28           |
| 31   | 1550            | 4,04           |

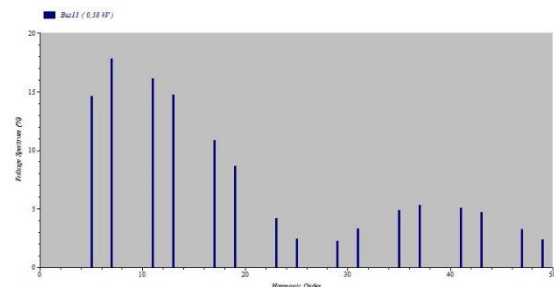
|       |      |        |
|-------|------|--------|
| 35    | 1750 | 3,55   |
| 37    | 1850 | 3,43   |
| 41    | 2050 | 3,06   |
| 43    | 2150 | 2,93   |
| 47    | 2350 | 2,68   |
| 49    | 2450 | 2,56   |
| Total |      | 28,78% |

#### 4.4.2 Kondisi Berbeban

Dari simulasi yang telah dibuat pada software etap kita dapat melihat *waveform* dan *spectrum* harmonik dari hasil inverter dengan kondisi beban.



Gambar 7. *Waveform* Harmonics yang dihasilkan dari kondisi berbeban



Gambar 8. *Spectrum* orde harmonik yang dihasilkan sistem kondisi berbeban

Dari gambar *waveform* dan *spectrum* diatas dapat kita lihat orde 5, 7, 11, 13 juga besar sama seperti kondisi berbeban tetapi orde 7 adalah yang paling besar yaitu 17,5% kemudian orde 11 sebesar 16,5%. Untuk



melihat lebih jelasnya dapat kita lihat dari tabel dibawah.

Tabel 6. Besar harmonik yang dihasilkan pada masing-masing orde dalam bentuk persen(%) pada kondisi berbeban

| Orde  | Frekuensi | Magnitude |
|-------|-----------|-----------|
|       | Hz        | %         |
| 5     | 250       | 14,64     |
| 7     | 350       | 17,84     |
| 11    | 550       | 16,10     |
| 13    | 650       | 14,74     |
| 17    | 850       | 10,87     |
| 19    | 950       | 8,68      |
| 23    | 1150      | 4,21      |
| 25    | 1250      | 2,42      |
| 29    | 1450      | 2,22      |
| 31    | 1550      | 3,34      |
| 35    | 1750      | 4,87      |
| 37    | 1850      | 5,32      |
| 41    | 2050      | 5,10      |
| 43    | 2150      | 4,68      |
| 47    | 2350      | 3,25      |
| 49    | 2450      | 2,37      |
| Total |           | 36,86     |

#### 4.2 Perancangan Filter

Berikut adalah nilai dari sistem yang dilihat dari alat ukur PQA:

V = 218,6 Volt

A = 0,494 Ampere

PF = 0,173

PA = 0,98

THD = 28,7%

Dari persamaan 3 sampai 5 dan dengan mencari Mvar dapat menghitung nilai filter:

Tabel 7. Hasil perhitungan nilai filter

|                | Orde-5                    | Orde-7                    | Orde-11                   | Orde-13                   |
|----------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|
| Mvar           | 1,848<br>$\times 10^{-3}$ | 1,848<br>$\times 10^{-3}$ | 1,848<br>$\times 10^{-3}$ | 1,848<br>$\times 10^{-3}$ |
| X <sub>C</sub> | 26,190<br>hm              | 26,190<br>hm              | 26,190<br>hm              | 26,190<br>hm              |
| C              | 121,5 $\mu$<br>F          | 121,5 $\mu$<br>F          | 121,5 $\mu$<br>F          | 121,5 $\mu$<br>F          |
| X <sub>L</sub> | 1,1360<br>hm              | 0,5660<br>hm              | 0,2240<br>hm              | 0,160h<br>m               |
| L              | 3,61m<br>H                | 1,8mH                     | 0,713<br>mH               | 0,509<br>mH               |

Nilai X<sub>C</sub> dan X<sub>L</sub> sudah ada pada tabel 4.4 dan didapat jumlah arus yang dikonsumsi harmonik orde-5 adalah sebesar 8,8 Ampere. Dan untuk perhitungan yang lain, kita bisa mengulangi penggunaan rumusnya untuk masing-masing orde.

#### V. KESIMPULAN

Berdasarkan dari hasil simulasi dan analisa yang dilakukan, maka didapat kesimpulan yaitu:

1. THD untuk kondisi tanpa beban adalah 28,78% dan untuk kondisi berbeban sebesar 36,86%. THD nya naik dengan signifikan karena salah satu beban yang terpasang adalah Komputer.
2. Harmonik pada masing-masing orde yang terbesar adalah orde 5, 7, 9, 11 pada kondisi berbeban maupun kondisi tidak berbeban.

3. Dapat Dilihar dari hasil perhitungan kelemahan filter pasif ini adalah arusnya sangat besar.
4. Beban yang terpasang pada sistem, sangat berpengaruh seberapa besar harmonik yang dihasilkan.

## VI. UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini didanai sepenuhnya oleh Kementerian Riset, Teknologi dan Pendidikan Tinggi melalui Skim Hibah Bersaing Tahun 2016 dengan No. Kontrak 469/UN.19.5.1.3/LT/2016. Penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada bapak Nurhalim, ST., MT. Selaku ketua tim peneliti sekaligus pembimbing sehingga penelitian ini dapat terlaksana dengan baik.

## DAFTAR PUSTAKA

IEEE, 2014, *IEEE Recommended Practices and Requirements Harmonik Control in Electric Power System* (IEEE Std 519-2014), IEEE Inc, New York, NY 10016-2997, USA.

Dugan, Roger C., McGranaghan, Mark F., Beaty, H. Wayne, 2004, *Electrical Power System Quality*, McGraw-Hill.

Sunanda Wahri (2014). *Aplikasi Filter Pasif Pada Beban Inverter Tiga Fase Berbeban*. Vol. 1. Jurnal Ecotipe, 37-41.

Arillaga, Jos dan Neville R. Watson., 2003, *“Power System Harmonic”* Jhon Wiley & Sons, Ltd, New Zealand.

Asnil (2012). *Aplikasi Filter Pasif RC Untuk Mereduksi Harmonik Pada AC/DC/AC Konverter*. Vol. 1. Jurnal Momentum, 1-8.

Sunanda Wahri, Rahman Yuli Asmi (2012). *Aplikasi Filter Pasif Pada Beban Inverter Tiga Fase*. Vol. 2. Jurnal Ilmiah Foristek, 136-142.

IEEE, Dr. Manjesh, Ananda A S (2014). *Analysis and Study of Total Harmonic*

*Distortion in Five Phase PWM Inverter using LC filter with neutral point DC link capacitor voltage balancing scheme*, 978-1-4799-52021/14/\$31.00, 2014.

Dr. A. Manivannan, G. Murali (2013). *Analysis of Power Quality Problems in Solar Power Distribution System*. Vol. 3, Issue 2. International Journal of Engineering Research and Applications (IJERA).

Winner Inra Jefferson Batubara (2015). *Desain Filter Pasif Untuk Mereduksi Rugi-Rugi Harmonisa Akibat Variasi Beban Pada Laboratorium Komputer Dan Jaringan Teknik Elektro Universitas Riau. Pekanbaru. Universitas Riau.*