

Aplikasi Filter Pasif Pada Beban Inverter Tiga Fase Berbeban

Wahri Sunanda
Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Bangka Belitung
wahrisunanda@ubb.ac.id

Abstract

Harmonic is one of sinusoidal components, one wave period from which having multiple frequency of its fundamental frequency one, leading to electrical power quality problems. Harmonic distortion in term of voltage and current ones, generally is due to non linier impedance. Inverter is one of example of it.

The result of the tests were showed that voltage harmonic distortion at inverter did not exceed the IEEE 519-1992 maximum limitation of 5%. While current harmonic distortion for each phase exceed 102,3%, 89,94% and 72,67%. After using passive filter, the total harmonic distortion (THD) current became 5,458 %, 6,118% and 5,968% for each phase.

Keywords: Voltage, Current, Harmonic Distortion, Passive Filter.

Intisari

Harmonik adalah salah satu dari sekian banyak permasalahan yang menyangkut kualitas daya listrik. Harmonik dalam sistem tenaga listrik, sebenarnya ditujukan untuk kandungan distorsi pada gelombang tegangan dan arus fundamental yang mana beban non linear dianggap sebagai sumber harmonik Inverter salah satu diantaranya.

Penelitian ini menunjukkan bahwa nilai harmonik tegangan tidak melebihi batas IEEE 519-1992 yakni 5%, sedangkan arus harmonik tertinggi terdapat pada orde ke-5, yaitu fasa R dengan nilai 102,3%, diikuti fasa S sebesar 89,94%, dan fasa T sebesar 72,67%. Setelah menggunakan filter pasif, nilai arus harmonik tertinggi pada fasa R sebesar 5,458%, fasa S sebesar 6,118%, dan fasa T sebesar 5,968%.

Kata Kunci : Tegangan, Arus, Distorsi Harmonik, Filter Pasif.

1. Pendahuluan

Harmonik menyebabkan terjadinya penyimpangan gelombang tegangan dan arus yang mempunyai pengaruh kurang baik terhadap peralatan listrik. Harmonik adalah salah satu dari beberapa permasalahan yang mempengaruhi kualitas daya listrik. Terjadinya penyimpangan gelombang tegangan dan arus akan mempengaruhi unjuk kerja sistem, dimana peralatan listrik akan mengalami gangguan diluar kondisi normal. Harmonik dalam sistem tenaga listrik, sebenarnya ditujukan untuk kandungan distorsi pada gelombang tegangan dan arus fundamental yang mana beban non linear dianggap sebagai sumber harmonik [1].

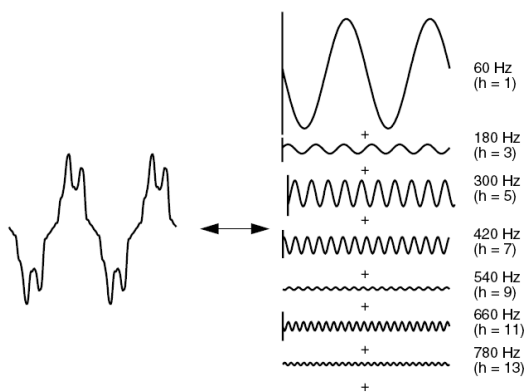
Perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi bidang elektronika daya (*power electronic*), mempunyai peranan yang besar dalam perkembangan industri modern terutama pada sistem kendali. *Inverter*, merupakan salah satu perangkat elektronika daya yang diaplikasikan pada

industri untuk mengubah tegangan arus searah menjadi tegangan bolak balik. Umumnya digunakan untuk mengatur kecepatan motor listrik atau untuk keperluan tertentu lainnya.. Dampak dari harmonik akan semakin berbahaya, apabila mengganggu peralatan yang digunakan untuk kepentingan umum seperti saluran telepon, oleh karena itu permasalahan harmonik perlu mendapatkan perhatian yang serius.

2. Tinjauan Pustaka

2.1 Studi Harmonik

Harmonik adalah salah satu dari sekian banyak permasalahan yang menyangkut kualitas daya listrik. Keberadaan harmonik ini sangat mengganggu bahkan merugikan sistem apabila melebihi batas standar yang ditetapkan, dalam hal ini standar yang digunakan adalah standar IEEE 519-1992. Pada gambar 1. akan diperlihatkan sebuah gelombang yang terdistorsi dan direpresentasikan dalam deret seri Fourier.



Gambar 1. Gelombang Terdistorsi Direpresentasikan dalam Deret Fourier[2]

2.2 Indeks Harmonik

Dalam analisis harmonik, beberapa indeks penting berikut digunakan untuk melukiskan pengaruh harmonik pada komponen sistem tenaga listrik dan sistem komunikasi.

2.2.1 Total Harmonic Distortion (THD)

$$THD \text{ tegangan : } THD_v = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} V_h^2}}{V_1} \times 100 \% \quad (1)$$

$$THD \text{ arus : } THD_i = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} I_h^2}}{I_1} \times 100 \% \quad (2)$$

yang didefinisikan perbandingan nilai rms komponen harmonik terhadap komponen dasar dalam persen (%).

Indeks ini digunakan untuk mengukur penyimpangan (*deviation*) dari bentuk gelombang satu periode yang mengandung harmonik pada satu gelombang sinus sempurna. Untuk satu gelombang sinus sempurna pada frekuensi dasar, THD adalah nol. Demikian pula pengukuran distorsi harmonik individual untuk tegangan dan arus pada orde ke h didefinisikan sebagai V_h/V_1 dan I_h/I_1 .

Pada tabel 1. dan tabel 2. ditampilkan standar *IEEE Std 519-1992* untuk batasan I_{THD} dan V_{THD} yang digunakan sebagai acuan dalam penelitian ini.

2.3 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*, *band-pass*, dan *tuned filter* [4]. *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. *Band-pass* 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.

Secara garis besar *filter* pasif dapat dipasang pada sistem secara seri dan paralel. Pada umumnya paling banyak digunakan adalah model *single tuned filter* karena lebih ekonomis dan dipasang secara paralel dengan sistem, dengan demikian arus harmonik dialihkan melalui *filter* tersebut. Menurut Timothy (2001), keuntungan menggunakan *filter* yang dipasang secara paralel antara lain adalah:

1. Menggunakan impedans yang rendah untuk pengaturan frekuensi.
2. Sebagai pertimbangan hanyalah arus harmonik dan tidak memikul arus beban penuh karena hanya memikul tegangan fasa.
3. Meningkatkan faktor daya.

Kelemahannya, membutuhkan kombinasi beberapa *filter* untuk mengurangi beberapa komponen harmonik. Sedangkan konfigurasi *filter* yang dipasang secara seri pada sistem paling sering digunakan untuk satu fasa dengan tujuan mengurangi harmonik ke 3, untuk komponen harmonik yang lain juga bisa digunakan tergantung dengan pengaturannya [5]. Menurut Timothy (2001) juga, keuntungan menggunakan *filter* seri diantaranya adalah:

1. Menggunakan impedansi yang tinggi untuk memblok arus harmonik masuk ke sistem.
2. Tidak mendatangkan harmonik dari sumber yang lain.
3. Meningkatkan faktor daya.

Sedangkan beberapa kerugiannya, harus memikul arus beban penuh pada tegangan antar saluran dan untuk komponen harmonik yang lain selain frekuensi yang diatur hanya bermanfaat sedikit sekali.

3 Metodologi

3.1 Bahan Penelitian

Bahan - bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

- a. Trafo tiga fasa
Memiliki kemampuan 3 kVA, tegangan keluaran maksimum 240 volt antar fasa dengan frekuensi 50 Hz.
- b. Satu unit *inverter* tiga fasa
Inverter yang digunakan dalam penelitian ini memiliki kemampuan 0,75 kW. *Inverter* ini sudah dilengkapi dengan rangkaian penyearah tiga fasa. Tegangan maksimum yang dipakai

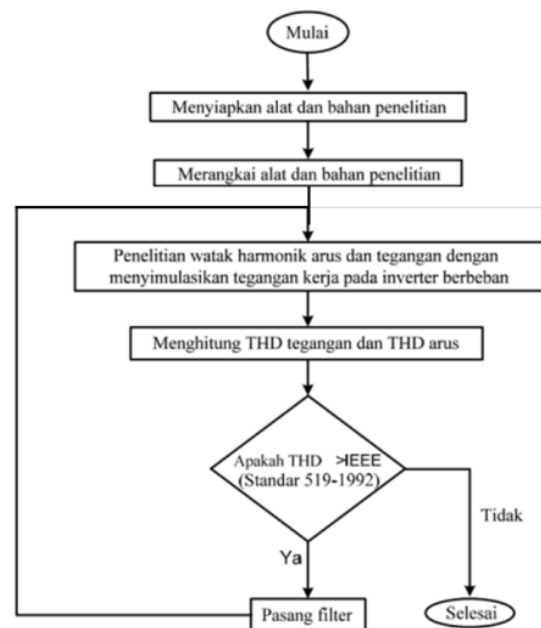
sebagai sumber *inverter* adalah 220 volt antar fasa dengan kemampuan arus maksimum 8 ampere, sedangkan tegangan keluaran *inverter* adalah 220 volt dengan kemampuan arus 4 ampere.

- c. Motor induksi tiga fasa 0,37 kW 50 Hz yang digunakan sebagai beban *inverter*.
- d. Komponen resistor dan kapasitor untuk pembuatan *filter*.

3.2 Alat Penelitian

- a. *Universal Power Analyzer* PM 3000 A (UPA PM 3000A), alat ukur yang digunakan untuk mengetahui kandungan harmonik pada sistem.
- b. RS 232 sebagai penghubung UPA PM 3000A dengan komputer untuk pengoperasian jarak jauh atau *remote*.

3.3 Alur Penelitian



Gambar 2. Diagram Alir

Tabel 1. Current distortion limits for general distribution systems (120 V Through 69. 000V)

<i>Maximum Harmonic Current Distortion in Percent of I_L</i>						
<i>Individual Harmonic Order (Odd Harmonics)</i>						
I_{sc}/I_L	<11	11≤h<17	17≤h<23	23≤h<25	35≤h	TDD
<20	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

Note:

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

Current distortion that result in a dc offset are not allowed

I_{sc} = maximum short circuit current at PCC (point of common coupling)

I_L = maximum demand load current (fundamental frequency) at PCC

Tabel 2. Voltage distortion limits

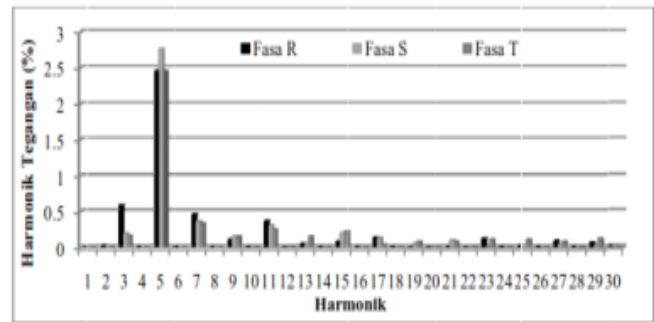
<i>Bus Voltage at PCC</i>	<i>Individual Voltage Distortion (%)</i>	<i>Total Voltage Distortion (%)</i>
≤ 69 kV	3.0	5.0
69 kV hingga 161 kV	1.5	2.5
≥ 161 kV	1.0	1.5

Note:

High voltage systems can have up to 2% THD where the cause is an HVDC terminal that will attenuate by the time it is tapped for a user

Tabel 3. Hasil pengukuran tegangan harmonik kondisi berbeban tegangan keluaran 220 volt

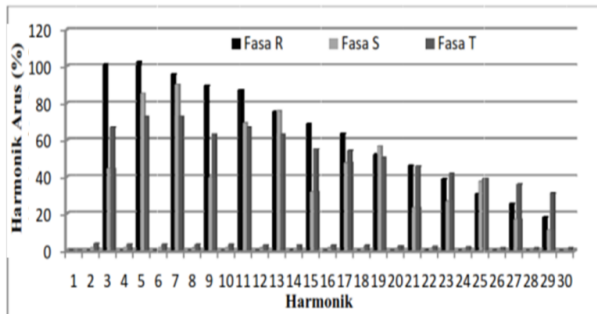
Nomor Harmonik	Fasa R		Fasa S		Fasa T	
	Tegangan (%)	Sudut (°)	Tegangan (%)	Sudut (°)	Tegangan (%)	Sudut (°)
1	100	000.0	100	-238.3	100	-118.3
2	0.033	-038.0	0.018	-255.4	0.011	-322.4
3	0.597	-318.2	0.198	-177.5	0.175	-076.8
4	0.013	-358.5	0.021	-316.2	0.003	-211.4
5	2.465	-176.5	2.772	-289.0	2.461	-048.0
6	0.009	-050.4	0.020	-017.7	0.004	-125.0
7	0.465	-071.4	0.369	-264.0	0.332	-170.1
8	0.009	-045.4	0.015	-034.5	0.008	-243.4
9	0.111	-357.4	0.155	-271.1	0.150	-244.5
10	0.011	-109.6	0.016	-060.0	0.009	-185.4

**Gambar 3 . Spektrum tegangan harmonik kondisi berbeban tegangan keluaran 220 volt.**

Dari tabel 3 dan gambar 3 di atas, terlihat bahwa komponen harmonik didominasi oleh harmonik orde ganjil dengan nilai komponen tertinggi pada orde ke-5 fasa S dengan nilai 2,772%. Sedangkan untuk nilai total distorsi harmonik (THD) tegangan masing-masing untuk fasa R, S, dan T adalah 2,615%, 2,839%, dan 2,535%. Menggunakan persamaan (2.1), nilai THD tegangan pada kondisi inverter berbeban dengan keluaran 220 volt pada fasa R adalah 2,620%, pada fasa S adalah 2,840%, dan pada fasa T adalah 2,533%.

Tabel 4. Hasil pengukuran arus harmonik kondisi berbeban tegangan keluaran 220 volt

Nomor Harmonik	Fasa R		Fasa S		Fasa T	
	Arus (%)	Sudut (°)	Arus (%)	Sudut (°)	Arus (%)	Sudut (°)
1	100	-019.2	100	-218.3	100	-072.8
2	0.048	-289.5	44.47	-100.0	3.622	-273.1
3	101.3	-276.2	1.461	-088.6	66.96	-090.0
4	0.082	-342.5	1.467	-095.5	3.481	-274.0
5	102.3	-161.8	85.20	-322.5	72.49	-088.4
6	0.121	-254.7	1.484	-094.0	3.464	-275.9
7	95.85	-042.6	89.94	-236.8	72.67	-090.6
8	0.156	-098.7	1.263	-097.9	3.239	-275.6
9	89.66	-289.6	39.62	-121.5	63.15	-091.5
10	0.166	-341.6	1.335	-105.3	3.266	-281.3



Gambar 4 . Spektrum arus harmonik kondisi berbeban tegangan keluaran 220 volt.

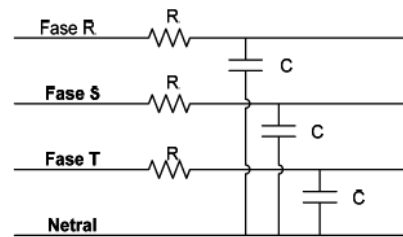
Dari tabel 4 dan gambar 4 di atas, dapat dilihat arus harmonik tertinggi terdapat pada orde ke-5, yaitu fasa R dengan nilai 102,3%, diikuti fasa S sebesar 89,94%, dan fasa T sebesar 72,67%. Total distorsi harmonik (THD) arus pada saat *inverter* berbeban dengan keluaran 220 volt pada fasa R sebesar 260,3%, pada fasa S sebesar 196,8%, dan pada fasa T sebesar 209,0%. Menggunakan persamaan (2.2), THD arus pada saat *inverter* berbeban pada fasa R sebesar 261,319 %, fasa S sebesar 197,375%, dan fasa T sebesar 208,964 %.

Pada saat *inverter* berbeban, nilai komponen arus harmonik secara keseluruhan melebihi nilai yang diijinkan dalam standar IEEE- 159-1992. Oleh karena itu, perlu dilakukan upaya untuk mengurangi atau meredam komponen harmonik hingga berada dibawah standar. Sehingga jika nilai harmonik melebihi standar yang ditetapkan maka dipasang *filter*. *Filter* yang dipasang adalah jenis *low-pass* dengan komponen resistor dan kapasitor. *Filter* ini diyakini bisa meredam harmonik hingga lebih kecil dari nilai standar.

4.2 Perancangan Filter

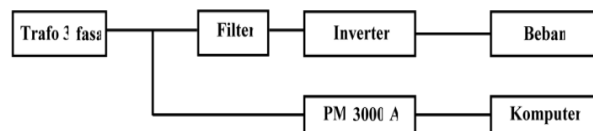
Filter yang digunakan terdiri atas komponen kapasitor dengan nilai kapasitansi 120 μF dan resistor dengan nilai resistansi 8,85 ohm (di pasaran tersedia resistor dengan nilai resistansi 9

ohm) dengan nilai frekuensi *cut-off* 147,44 Hz.



Gambar 5. Rangkaian filter

Pemasangan *filter* bertujuan untuk meredam atau mengurangi komponen harmonik pada orde ke-3 ke atas. Gambar 6 di bawah menunjukkan blok diagram pemasangan *filter*.



Gambar 6. Blok diagram

4.3 Watak Harmonik pada Kondisi Berbeban Setelah Difilter

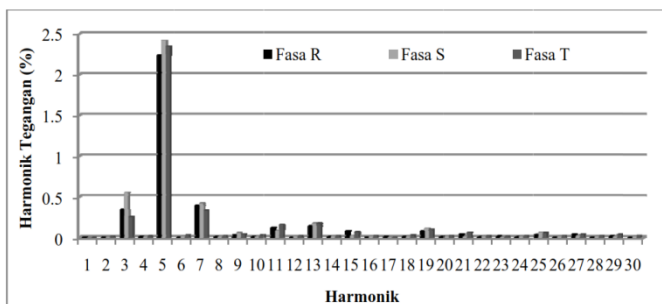
Berdasarkan hasil pengukuran, telah terjadi penurunan arus harmonik tertinggi. Sebelum dipasang *filter*, arus tertinggi terjadi pada fasa R pada harmonik ke-5 sebesar 102.3% dari fundamental. Setelah dipasang *filter*, harmonik tertinggi pada fasa R menjadi 5.458% dari fundamental, tetapi orde tertinggi terjadi pada fasa S sebesar 6,118% dari fundamental dan pada fasa T sebesar 5,968% dari fundamental. Harmonik tegangan sebelum dan setelah dipasang *filter* tetap didominasi oleh orde ganjil dengan komponen tertinggi tetap pada harmonik ke-5.

Akibat dari pemakaian komponen resistor dan kapasitor pada *filter*, mengakibatkan terjadinya *drop* tegangan keluaran pada *inverter* sebesar 10 volt atau 4,7 %. Hal ini dikarenakan penambahan

nilai resistan pada sistem oleh komponen *filter* yang mengakibatkan meningkatnya *drop* tegangan. Hasil pengukuran harmonik baik tegangan maupun arus dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

Tabel 5. Hasil pengukuran tegangan harmonik setelah dipasang *filter* pada tegangan 220 volt pada kondisi berbeban

Nomor Harmonik	Fasa R		Fasa S		Fasa T	
	Tegangan (%)	Sudut (°)	Tegangan (%)	Sudut (°)	Tegangan (%)	Sudut (°)
1	100	000.0	100	-238.2	100	-119.0
2	0.007	-037.9	0.005	-001.4	0.016	-141.2
3	0.344	-338.2	0.553	-162.6	0.254	-351.6
4	0.016	-329.8	0.011	-301.6	0.018	-150.9
5	2.240	-162.4	2.419	-281.9	2.345	-040.4
6	0.004	-044.0	0.020	-013.7	0.031	-184.6
7	0.399	-015.3	0.422	-242.1	0.334	-132.8
8	0.012	-359.9	0.014	-051.6	0.022	-216.9
9	0.034	-206.5	0.059	-076.7	0.045	-320.0
10	0.013	-094.4	0.014	-061.1	0.028	-241.8

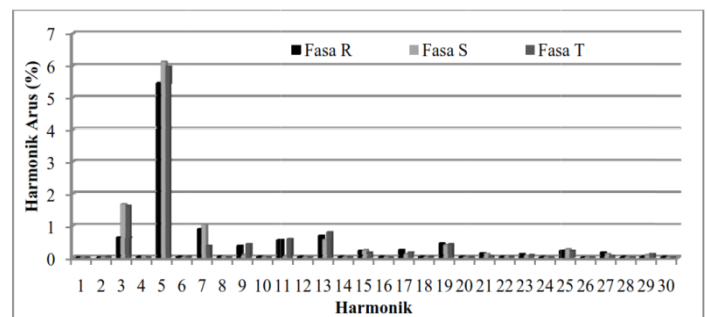


Gambar 7. Spektrum tegangan harmonik setelah difilter

Hasil pengukuran untuk tegangan harmonik sampai orde ke-10 dapat dilihat pada tabel 5 Setelah pemasangan *filter*, orde harmonik tetap didominasi oleh orde ganjil, yakni orde ke-5 dengan nilai tertinggi 2,419% seperti yang diperlihatkan pada gambar 7.

Tabel 6. Hasil pengukuran arus harmonik setelah dipasang *filter* pada tegangan 220 volt pada kondisi berbeban

Nomor Harmonik	Fasa R		Fasa S		Fasa T	
	Arus (%)	Sudut (°)	Arus (%)	Sudut (°)	Arus (%)	Sudut (°)
1	100	-287.5	100	-167.0	100	-048.2
2	0.005	-220.8	0.023	-344.6	0.020	-147.7
3	0.621	-234.0	1.662	-129.0	1.611	-331.3
4	0.032	-321.9	0.047	-142.9	0.014	-339.0
5	5.458	-131.3	6.118	-250.1	5.968	-015.3
6	0.028	-352.7	0.005	-255.3	0.027	-166.7
7	0.881	-026.8	1.019	-227.9	0.366	-108.7
8	0.036	-009.1	0.030	-164.2	0.014	-252.4
9	0.361	-226.2	0.076	-275.0	0.423	-054.2
10	0.034	-064.8	0.020	-245.6	0.015	-242.2



Gambar 8. Spektrum arus harmonik setelah difilter

Berdasarkan tabel 6 dan gambar 8 di atas dapat dilihat terjadinya penurunan arus harmonik tertinggi setelah difilter, namun masih didominasi oleh orde ke-5. Berdasarkan hasil penelitian, setelah dipasang *filter* terjadi penurunan arus harmonik yang besar di atas frekuensi *cut-off*. Hal ini sesuai dengan rancangan *filter* bahwa frekuensi *cut off* adalah 150 Hz. THD tegangan dapat digunakan sebagai ukuran dalam menentukan layak atau tidaknya sumber tegangan diaplikasikan sebagai pencatu daya pada peralatan listrik. Nilai THD tegangan dari hasil pengukuran pada fasa R sebesar 2,307%, fasa S sebesar 2,519%, dan fasa T sebesar 2,392%. Menggunakan persamaan (1) diperoleh nilai THD tegangan pada fasa R sebesar 2,313%, pada fasa S sebesar 2,529%, dan pada fasa R sebesar 2,401%.

Nilai arus harmonik tertinggi setelah pemasangan filter pada fasa R sebesar 5,458%, fasa S sebesar 6,118%, dan fasa T sebesar 5,968%. Komponen harmonik tertinggi tetap masih terjadi pada orde ke-5. Nilai THD arus masing-masing fasa R, S, T adalah 5,622%, 6,445%, dan 6,295%. Menggunakan persamaan (2) diperoleh nilai THD arus pada fasa R sebesar 5,679%, fasa S sebesar 6,71%, dan fasa T sebesar 6,307%.

5. Penutup

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Nilai harmonik tegangan dan arus pada berbagai nilai tegangan keluaran *inverter* pada kondisi berbeban didominasi oleh harmonik orde ganjil.
2. Nilai tegangan harmonik tertinggi pada kondisi berbeban sebesar 2,772% yang berada masih di bawah standar IEEE yakni sebesar 5%, sedangkan arus harmonik tertinggi terdapat pada orde ke-5, yaitu fasa R dengan nilai 102,3%, diikuti fasa S sebesar 89,94%, dan fasa T sebesar 72,67%.
3. Setelah menggunakan filter, nilai arus harmonik tertinggi pada fasa R sebesar 5,458%, fasa S sebesar 6,118%, dan fasa T sebesar 5,968%.

Daftar Pustaka

- [1] Arrillaga, J., Smith, B.C., Watson, N.R. and Wood, A.R., 1997, *Power System Harmonic Analysis*, John Wiley & Sons, Chichester.
- [2] Dugan, Roger C., McGranaghan, Mark F., Beaty, H. Wayne, 2004, *Electrical Power System Quality*, McGraw-Hill.
- [3] IEEE Std 519-1992, 1993, *Recommended Practices and Requirements for Harmonic Control in Electrical Power Systems*. New York.
- [4] Mohan, Ned., Undeland, Tore M., Robbins, William P., 1989, *Power Electronics: Converters, Applications, and Designs*, John Wiley and Sons, Kanada
- [5] Skvarenina, Timothy.L., 2001, *The Power Electronics Handbook*, CRC Press, New York.
- [6] Sunanda, Wahri., Rahman, Yuli A., 2011, *Watak Harmonik Beban Inverter Tiga Fase Tak Berbeban*, Jurnal Foristek Vol. 1 No. 1, Palu, Hal.16-21.
- [7] Sunanda, Wahri., 2012, *Aplikasi Filter Pasif pada Watak Harmonik pada Beban Inverter Tiga Fasa Tak Berbeban*, Jurnal Foristek Vol.1 No.3, Palu, Hal. 136-142.
- [8] Sunanda, Wahri., Gusa, Rika F., 2012, *Low Pass RC Filter Untuk Mengurangi Harmonisa pada Lampu Hemat Energi*, Jurnal Rekayasa Elektrika Vol.10 No.1, NAD, Hal. 5-9.