

APLIKASI FILTER PASIF SEBAGAI PEREDUKSI HARMONIK PADA INVERTER TIGA FASE

¹⁾Wahri Sunanda, ²⁾Yuli Asmi Rahman

1) Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Bangka Belitung

2) Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Tadulako

⁽¹⁾wahrisunanda@ubb.ac.id

⁽²⁾asmi_yuli81@yahoo.co.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.

There are some items that will be measured. There are value of harmonic at source and value of voltage and current harmonic when inverter does not have any load. IEEE Standard of 519-1992 as a reference in determining maximum limitation voltage and current harmonics.

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 had exceed the maximum limitation of the IEEE 519-1992. The highest results were exceeding 57,52 % when inverter does not have any load.

After using passive filter that function for reducing the value of harmonic, the total harmonic distortion (THD) current w only 6,837% when inverter does not have any load.

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

1. PENDAHULUAN

Pada sistem tenaga listrik AC yang ideal, energi listrik disalurkan dalam

frekuensi tunggal yang konstan serta pada level tegangan yang juga konstan. Tetapi dengan perkembangan beban listrik yang semakin maju, terutama penggunaan beban-beban tak linier, akan menimbulkan perubahan pada bentuk gelombangnya. 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].

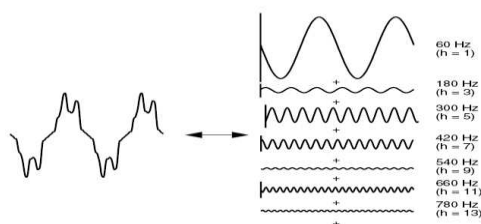
Perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi bidang elektronika daya (*power electronic*), mempunyai peranan yang besar dalam perkembangan industri modern terutama pada sistem kendali. *Inverter*, merupakan salah satu perangkat elektronika daya yang diaplikasikan pada industri untuk mengubah tegangan arus searah menjadi tegangan bolak balik. Umumnya digunakan untuk mengatur

kecepatan motor listrik atau untuk keperluan tertentu lainnya. Salah satu sumber utama harmonik dalam sistem tenaga listrik adalah beban tak linear contohnya inverter [6]. Dampak harmonik mengakibatkan distorsi gelombang sinusoidal sehingga gelombang tersebut menjadi cacat dan tidak murni yang membuat peralatan yang digunakan menjadi panas dan sering mengalami kegagalan isolasi [8]. Untuk mengatasi masalah yang ditimbulkan oleh arus harmonik ada beberapa cara salah satunya dengan menggunakan tapis paralel (*shunt filter*) [7].

2. Tinjauan Pustaka

2.1 Studi Harmonik

Harmonisa adalah cacat gelombang yang disebabkan oleh interaksi antara gelombang sinusoidal sistem dengan komponen gelombang lain yang mempunyai frekuensi kelipatan integer dari komponen fundamentalnya. Harmonik adalah salah satu dari sekian banyak permasalahan yang menyangkut kualitas daya listrik [2]. 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 Disortion (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 Reduksi Harmonik

Salah satu upaya untuk mereduksi harmonik yang muncul diakibatkan oleh beban non linier yang ada, dan salah satunya lampu hemat energi, 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 [4].

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 impedansi 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 memblokir 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.

III. METODOLOGI

3.1 Bahan Penelitian

Bahan - bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

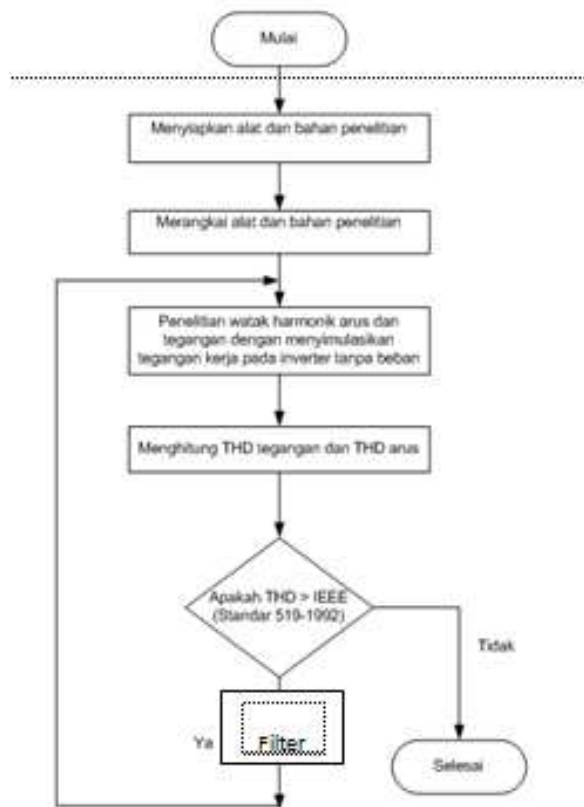
- a. Trafo tiga fasa
Memiliki kemampuan 3 kVA, tegangan keluaran maksimum 240 volt antar fasa dengan frekuensi 50 Hz.
- b. Satu unit *inverter* tiga fasa
Inverter yang digunakan dalam penelitian ini memiliki kemampuan 0,75 kW. *Inverter* ini sudah dilengkapi dengan rangkaian penyearah tiga fasa. Tegangan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

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 3. Alur Penelitian

Tabel 1. Current distortion limits for general distribution systems (120 V Through 69.000V)

Maximum Harmonic Current Distortion in Percent of I_L						
Individual Harmonic Order (Odd Harmonics)						
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

Bus Voltage at PCC	Individual Voltage Distortion (%)	Total Voltage Distortion (%)
≤ 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

3.4 Jalannya Penelitian

Tahapan yang dilakukan dalam penelitian ini antara lain :

- Mengumpulkan alat dan bahan penelitian.
- Mengukur kandungan harmonik sumber tegangan.
- Mengukur kandungan harmonik tegangan dan arus pada saat inverter tidak berbeban dengan berbagai tegangan keluaran.
- Menghitung THD arus dan tegangan.
- Mendesain filter pasif untuk mereduksi nilai THD arus.

Pada penelitian ini frekuensi cut-off 150 Hz .Untuk mendapat frekuensi cut-off yang mendekati nilai yang diinginkan sebesar 150 Hz maka nilai resistor dan kapasitor harus diubah-ubah sehingga frekuensi kerja rangkaian mendekati 150 Hz. Berdasarkan rumus 2, maka nilai R dan C dapat diperkirakan.

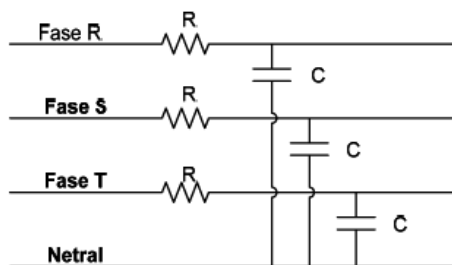
$$f = \frac{1}{2\pi RC} \quad (3)$$

- f. Menghitung THD arus setelah pemasangan filter pasif.

IV. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

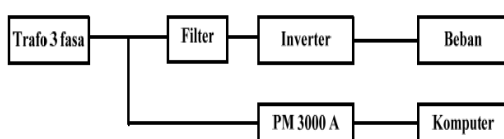
4.1 Watak Harmonik pada Kondisi Tidak Berbeban setelah difilter

Filter yang digunakan terdiri atas komponen kapasitor dengan nilai kapasitansi 120 μ F dan resistor dengan nilai resistansi 8,85 ohm dengan nilai frekuensi *cut-off* 150 Hz. Nilai R dan C tersebut merupakan nilai paling optimal untuk mendapatkan frekuensi yang paling mendekati nilai frekuensi *cut-off* dan nilainya tersedia di pasaran.



Gambar 4. Rangkaian filter

Pemasangan *filter* bertujuan untuk meredam atau mengurangi komponen harmonik pada orde ke-3 ke atas. Hasil pengukuran setelah dipasang *filter* menunjukkan terjadinya penurunan arus dan tegangan harmonik. Hasil pengukuran tegangan dan arus harmonik didominasi oleh orde ganjil. Hasil pengukuran tegangan dan arus harmonik setelah dipasang *filter* dapat dilihat pada tabel di bawah ini.



Gambar 5. Blok Diagram

Dari tabel 3 dapat dilihat terjadinya penurunan harmonik tegangan terutama pada orde ke-5 fasa R sebesar 0,377 %, sebelumnya 2,624 % turun menjadi 2,251%.

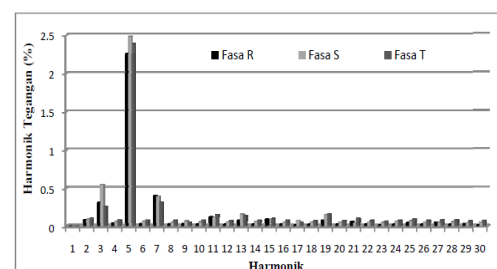
Pada fasa S terjadi penurunan 0,454 %, yang sebelumnya 2,933 % turun menjadi 2,479 %. Pada fasa T juga terjadi penurunan 0,423 % yang semula 2,805% menjadi 2,382%.

Pemakaian *filter* dengan komponen resistor dan kapasitor menyebabkan terjadinya penurunan tegangan sebesar 2,33%. Hal ini terjadi karena adanya penambahan resistansi pada jaringan yang menyebabkan penambahan jatuh tegangan pada sistem. Sehingga tegangan keluaran *inverter* menjadi 215 volt, turun 5 volt dari tegangan masukan penyearah.

Tabel 3. Hasil pengukuran tegangan harmonik setelah dipasang *filter* pada tegangan 215 volt pada kondisi tidak berbeban

Nomor Harmonik	Fasa R		Fasa S		Fasa T	
	Tegangan (%)	Sudut (°)	Tegangan (%)	Sudut (°)	Tegangan (%)	Sudut (°)
1	100	000.0	100	-238.3	100	-119.1
2	0.081	-009.5	0.090	-258.4	0.101	-129.3
3	0.309	-338.9	0.543	-163.5	0.261	-351.0
4	0.040	-011.7	0.056	-307.7	0.079	-155.6
5	2.251	-164.8	2.479	-283.8	2.382	-042.5
6	0.027	-063.7	0.061	-347.9	0.078	-185.6
7	0.403	-022.1	0.388	-242.7	0.313	-142.6
8	0.026	-051.5	0.047	-018.8	0.073	-211.4
9	0.027	-191.8	0.062	-063.1	0.048	-277.2
10	0.025	-096.9	0.053	-047.7	0.075	-240.0

Dari gambar spektrum terlihat bahwa harmonik orde ganjil mendominasi dan harmonik tertinggi masih terdapat pada fasa S pada orde ke-5.

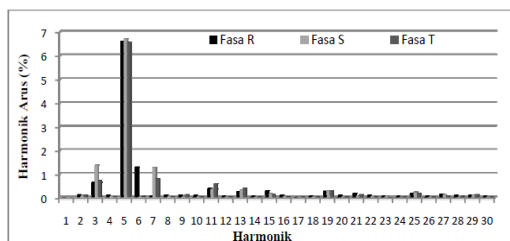


Gambar 6. Spektrum tegangan harmonik setelah difilter

Nilai total distorsi harmonik (THD) tegangan pada fasa R, S, dan T masing-masing adalah 2,315%, 2,591%, dan 2,446%. Menggunakan persamaan (1) didapatkan nilai tegangan THD pada kondisi tidak berbeban setelah *difilter* yakni pada fasa R sebesar 2,32%, pada fasa S sebesar 2,591%, dan pada fasa T sebesar 2,457%.

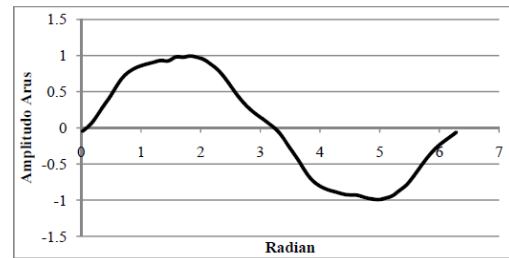
Tabel 4. Hasil pengukuran arus harmonik setelah dipasang *filter* pada tegangan 215 volt pada kondisi tidak berbeban

Nomor Harmonik	Fasa R		Fasa S		Fasa T	
	Arus (%)	Sudut (°)	Arus (%)	Sudut (°)	Arus (%)	Sudut (°)
1	100	-286.3	100	-166.5	100	-047.5
2	0.107	-293.2	0.078	-176.1	0.098	-067.8
3	0.638	-282.4	1.376	-114.8	0.738	-305.7
4	0.093	-325.2	0.061	-155.7	0.034	-123.4
5	6.607	-130.6	6.722	-251.5	6.569	-010.8
6	1.281	-357.4	0.036	-239.6	0.049	-163.5
7	0.068	-012.6	1.274	-213.7	0.792	-108.1
8	0.095	-021.3	0.063	-212.8	0.041	-179.8
9	0.090	-200.5	0.051	-128.9	0.118	-357.2
10	0.080	-064.1	0.047	-271.8	0.045	-217.4

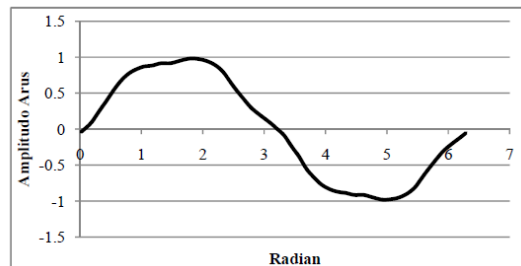


Gambar 7. Spektrum arus harmonik setelah *difilter*

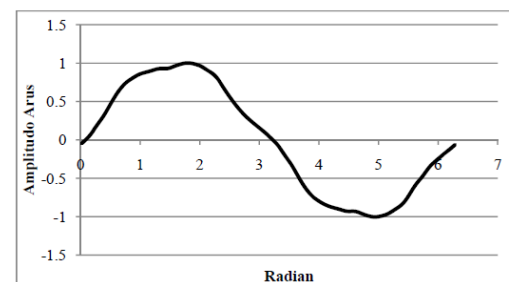
Dari gambar spektrum di atas terlihat bahwa harmonik orde ganjil mendominasi dan harmonik tertinggi masih terdapat pada fasa S pada orde ke-5. Nilai total distorsi harmonik (THD) arus pada fasa R, S, dan T masing-masing adalah 6,773%, 6,971%, dan 6,697%. Menggunakan persamaan (2) didapatkan nilai arus THD pada kondisi tidak berbeban setelah *difilter* yakni pada fasa R sebesar 6,802%, pada fasa S sebesar 0,12%, dan pada fasa T sebesar 6,713%.



Gambar 8. Gelombang arus harmonik fasa R



Gambar 9. Gelombang arus harmonik fasa S



Gambar 10. Gelombang arus harmonik fasa T

V. 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 tidak berbeban didominasi oleh harmonik orde ganjil.
2. Nilai THD tegangan tidak melebihi batas 5%, namun nilai THD arus mencapai 57,52%.

3. Setelah penggunaan filter pasif, terjadi reduksi nilai THD arus sebesar 50,683%, sehingga nilai THD arus hanya 6,837%.

5.2 Saran

1. Berdasarkan hasil penelitian ini diperlukan penelitian mengenai watak harmonik pada inverter yang dibebani agar didapat hasil penelitian yang komprehensif mengenai watak harmonik pada inverter.

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] Suryono, dkk, __, Tugas Akhir, Institut Teknologi Padang
- [8] Erhaneli, Junaldi, Prosiding Seminar Nasional Teknoin 2008