

WATAK HARMONIK PADA INVERTER TIGA FASA TAK BERBEBAN

Wahri Sunanda¹, Yuli Asmi Rahman²

¹Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Bangka Belitung

²Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Tadulako

¹Email: wahrisunanda@gmail.com

²Email : 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 56,55 % when inverter does not have any load.

Keywords: *Voltage, Current, Harmonic Distortion, Inverter.*

I. 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.

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. Aplikasi teknologi elektronika daya menimbulkan efek samping, yaitu meningkatnya arus harmonik akibat dari proses pengkonversian bentuk gelombang energi listrik dari satu bentuk ke bentuk yang lain (Erhaneli, 2003). 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.

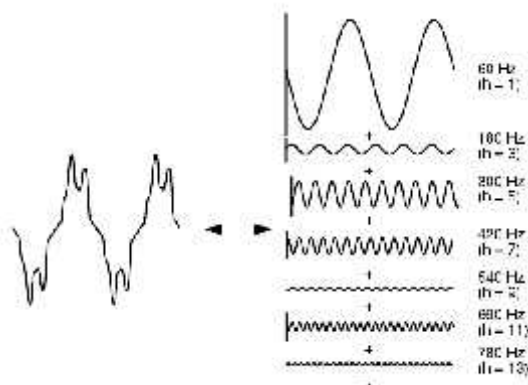
Penelitian dilakukan untuk mengetahui kandungan harmonik pada inverter tiga fasa yang tidak dibebani dengan hipotesis bahwa kandungan harmonik arus dan tegangan pada sumber *inverter* sebelum diberi beban, sudah ada namun belum melebihi standar yang ditetapkan.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. 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

B. Indeks Harmonik

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

1. Total Harmonic Distortion (THD)

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

$$THD_{arus} = THD_I = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} I_h^2}}{I_1} \times 100 \% \quad (2)$$

Didefinisikan sebagai 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 .

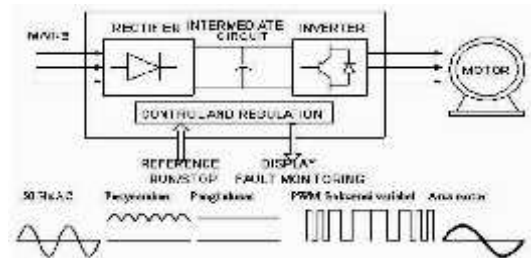
Pada tabel 1. dan tabel 2. ditampilkan standar *IEEE Std 519-1992* untuk batasan

I_{THD} dan V_{THD} yang digunakan sebagai acuan dalam penelitian ini.

2. Inverter

Inverter adalah suatu rangkaian penyaluran elektronik yang dapat merubah tegangan searah menjadi tegangan bolak balik. Pada dasarnya, *inverter* tiga fasa merupakan gabungan dari *inverter* satu fasa dengan perbedaan 120° listrik antara fasa yang satu dengan fasa yang lainnya. Mengatur tegangan keluaran dari *inverter* menggunakan teknik PWM (*pulsa wave modulation*). Bentuk gelombang tegangan keluaran *inverter* biasanya juga tidak sinusoida murni karena masih mengandung komponen frekuensi yang tidak diinginkan. Jika tegangan seperti ini digunakan untuk mencatu daya pada beban, seperti motor induksi, akan menambah kerugian, getaran dan riak dalam motor.

Gambaran secara umum *inverter* dapat dilihat pada gambar 2. berikut ini.



Gambar 2. Invertertiga fasa

Inverter yang digunakan pada penelitian ini sudah dilengkapi dengan rangkaian penyearah tiga fasa. Tegangan sumber maksimum yang masuk ke penyearah adalah 240 volt antar fasa, dan keluaran maksimum dari *inverter* adalah 220 volt antar fasa. Kemampuan arus masukan maksimum 8 A, dan arus keluaran *inverter* 4 A, dengan kemampuan daya 0,75 kW.

III. METODOLOGI

Dalam melakukan penelitian ini dilakukan melalui tahapan antara lain :

- Mengumpulkan alat dan bahan penelitian.

- b. Mengukur kandungan harmonik sumber tegangan.
- c. Mengukur kandungan harmonik tegangan dan arus pada saat *inverter* tidak berbeban dengan berbagai tegangan keluaran.
- d. Menghitung THD arus dan tegangan

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_{h/I_L}	<11	11<h<17	17<h<23	23<h<25	25<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)

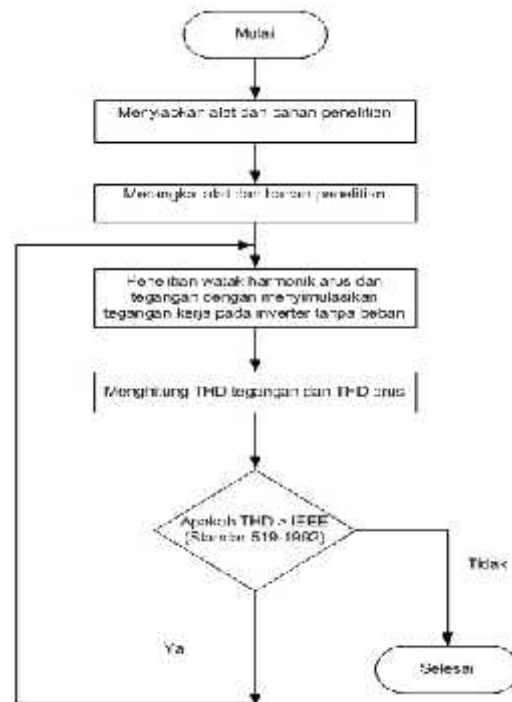
I_L = maximum demand load current (fundamental frequency) at PCC

Tabel 2. Voltage distortion limits

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

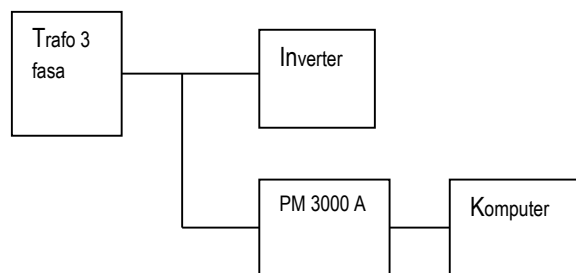
Note: high voltage systems can have up to 2% THD where the cause is an HVDC terminal that will attenuate by the time it is tapped for a user

Alur penelitian dapat dilihat secara lengkap pada gambar 3.



Gambar 3. Alur Penelitian

Proses pengambilan data dilakukan dengan rangkaian alat dan bahan sesuai gambar 4.



Gambar 4. Rangkaian percobaan

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

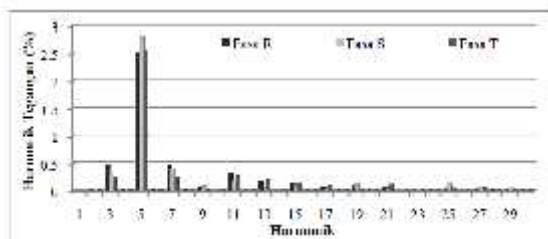
IV. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

A. Watak Harmonik Sumber Tegangan

Sumber tegangan yang dipakai adalah trafo 3 fasa yang disuplay dari jaringan PLN. Tegangan sumber untuk *inverter* digunakan 220 volt antar fasa. Hasil pengukuran sampai dengan harmonik ke-10 diperlihatkan pada tabel 3., sedangkan untuk spektrum harmonik sampai dengan harmonik ke- 30 dapat dilihat pada gambar 4.

Tabel 3. Hasil pengukuran harmonik sumber tegangan

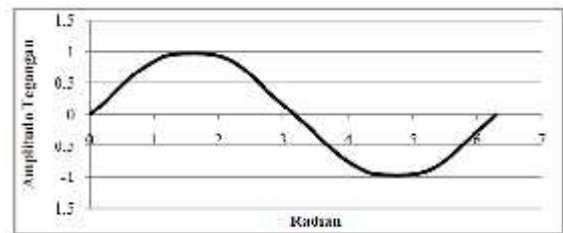
Harmonik	Fasa R		Fasa S		Fasa T	
	Tegangan (%)	Sudut (°)	Tegangan (%)	Sudut (°)	Tegangan (%)	Sudut (°)
1	100	000.0	100	-228.3	100	-119.1
2	0.081	017.9	0.027	225.9	0.020	043.7
3	0.470	-315.9	0.313	-159.7	0.230	-048.3
4	0.003	-291.9	0.023	-318.7	0.020	-170.3
5	2.494	116.1	2.794	25.3	2.546	099.9
6	0.017	-247.7	0.031	-370.1	0.001	-172.7
7	0.485	-071.9	0.413	-251.8	0.213	-170.3
8	0.008	-260.1	0.010	-071.1	0.000	-170.6
9	0.041	-109.0	0.037	-276.1	0.009	-339.0
10	0.001	120.3	0.019	071.3	0.007	213.3



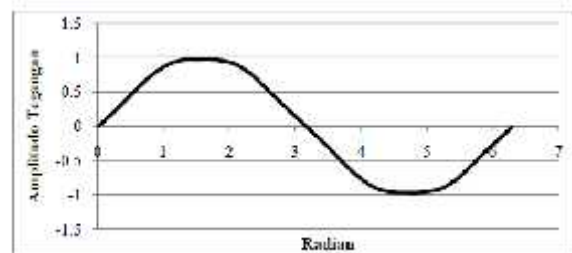
Gambar 4. Spektrum harmonik sumber tegangan

Pada gambar 4. dapat dilihat harmonik tertinggi terjadi pada fase S, yaitu harmonik ke-5. Nilai distorsi harmonik tegangan pada fasa R, S, dan T masing-masing adalah 2,494%, 2,794%, dan 2,546%. Sedangkan nilai total distorsi harmonik (THD) tegangan yang terukur masing-masing untuk fasa R, S, dan T adalah 2,614%, 2,861%, dan 2,595%. Menggunakan persamaan (1) diperoleh THD

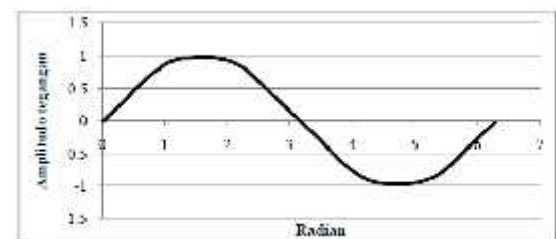
tegangan sumber pada fasa R sebesar 2,616%, pada fasa S sebesar 2,862%, dan pada fasa T sebesar 2,603%. Nilai ini masih berada di bawah standar *IEEE 519-1992*, yaitu 5% untuk tegangan sampai 69 kV. Jadi sumber tegangan ini masih bisa dipakai karena kandungan harmoniknya belum melebihi standar. Berikut adalah bentuk gelombang tegangan sumber untuk masing-masing fasa.



Gambar 5. Gelombang tegangan sumber pada fasa R



Gambar 6. Gelombang tegangan sumber pada fasa S



Gambar 7. Gelombang tegangan sumber pada fasa T

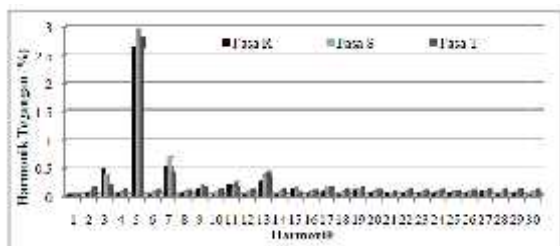
B. Watak Harmonik pada Kondisi Tidak Berbeban

Tahapan selanjutnya adalah mengukur kandungan harmonik tegangan dan arus pada saat kondisi *inverter* tidak berbeban dengan berbagai tegangan keluaran, dimana tegangan keluaran maksimum mencapai 230 volt.

Tabel 4. Hasil pengukuran tegangan harmonik pada keluaran *inverter* maksimum kondisi tidak berbeban (230 volt)

Harmonik	Fasa R		Fasa S		Fasa T	
	Tegangan (%)	Sudut (°)	Tegangan (%)	Sudut (°)	Tegangan (%)	Sudut (°)
1	100	000.0	100	233.1	100	116.2
2	0.047	-177.9	0.060	-101.9	0.147	-202.6
3	0.133	319.3	0.167	136.1	0.173	153.6
4	0.037	-189.4	0.063	-143.6	0.110	-332.0
5	2.621	173.3	1.933	287.6	2.805	013.3
6	0.019	-215.4	0.070	-177.0	0.083	-359.2
7	0.496	-243.1	0.658	-237.1	0.981	-107.0
8	0.028	219.1	0.071	193.3	0.091	032.3
9	0.044	-105.9	0.194	-141.0	0.166	-404.0
10	0.013	-238.6	0.053	-233.3	0.103	-493.2

Nilai harmonik tertinggi terjadi pada harmonik ke-5, yaitu fasa S, kemudian diikuti oleh fasa T dan R. Nilai kandungan harmonik fasa R, S, dan T masing-masing adalah 2,624%, 2,933%, dan 2,805%. Nilai THD tegangan masing-masing fasa R, S, dan T adalah 2,738%, 3,082%, dan 2,921%.



Gambar 8. Spektrum tegangan harmonik keluaran 230 volt tidak berbeban

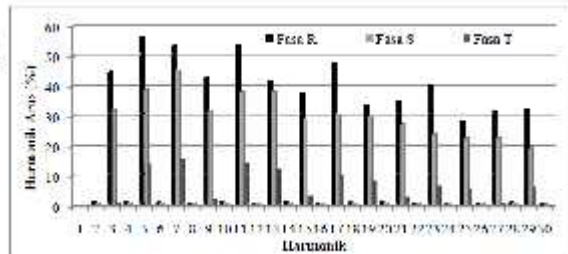
Menggunakan persamaan (1) THD tegangan keluaran maksimum juga dapat dicari, dan hasilnya pada fasa R sebesar 2,743%, pada fasa S sebesar 3,986%, dan pada fasa T sebesar 2,923%.

Harmonik arus tertinggi terjadi pada fasa R dengan nilai 56,55%, kemudian diikuti oleh fasa S sebesar 45,22%, dan fasa T sebesar 15,73%.

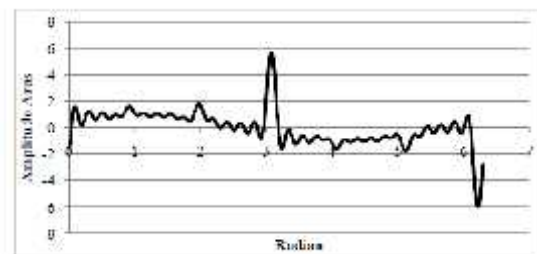
Tabel 5. Hasil pengukuran arus harmonik pada keluaran *inverter* maksimum kondisi tidak berbeban (230 volt)

Harmonik	Fasa R		Fasa S		Fasa T	
	Arus (%)	Sudut (°)	Arus (%)	Sudut (°)	Arus (%)	Sudut (°)
1	100	-206.4	100	-175.3	100	-241.0
2	1.278	-328.1	0.790	-153.0	0.033	-267.4
3	44.89	271.1	32.37	092.3	0.967	341.3
4	1.393	207.0	0.891	022.3	0.027	253.8
5	56.55	182.1	45.73	321.2	15.77	025.0
6	1.290	-409.0	0.365	-265.3	0.134	-109.3
7	51.58	-400.7	48.22	-214.7	15.18	-063.3
8	1.132	-326.1	0.215	-138.2	0.044	-170.0
9	2.281	278.7	31.73	105.3	2.236	341.8
10	1.346	-207.3	0.950	-023.8	0.014	-201.7

Nilai total distorsi harmonik (THD) arus pada fasa R, S, dan T masing-masing adalah sebesar 158,4%, 117,8%, dan 32,96%.

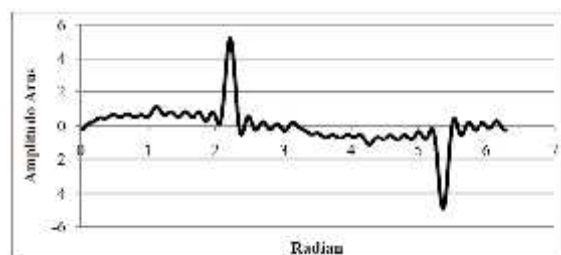


Gambar 9. Spektrum arus harmonik pada tegangan keluaran maksimum



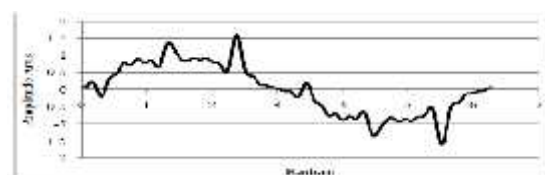
Gambar 10. Gelombang arus harmonik fasa R

Menggunakan persamaan (2) THD arus yang diperoleh pada fasa R sebesar 158,4%, pada fasa S sebesar 117,887%, dan pada fasa T sebesar 33,036%.



Gambar 11. Gelombang arus harmonik fasa S

Gambar 10. sampai 12. di atas adalah bentuk gelombang arus harmonik masing-masing fasa pada keluaran *inverter* maksimum tidak berbeban.



Gambar 12. Gelombang arus harmonik fasa T

Pada saat *inverter* tidak berbeban, nilai komponen arus harmonik secara keseluruhan melebihi nilai yang diijinkan dalam standar IEEE-159-1992.

V. PENUTUP

A. 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 tegangan harmonik tertinggi sebesar 2,933% dan arus harmonik tertinggi 56,55%. Nilai THD tegangan tertinggi sebesar 3,986% dan untuk THD arus tertinggi sebesar 158,4%.

B. Saran

1. Berdasarkan hasil penelitian ini diperlukan penelitian lebih lanjut mengenai watak harmonik pada inverter yang dibebani agar didapat hasil penelitian yang komprehensif mengenai watak harmonik pada inverter.
2. Harmonik yang muncul pada inverter juga harus direduksi agar pengaruh harmonik dapat diminimalisir.

DAFTAR PUSTAKA

- Arrillaga, J., Smith, B.C., Watson, N.R. and Wood, A.R., 1997, *Power System Harmonic Analysis*, John Wiley & Sons, Chichester.
- Cividino, Lorenzo., 1992, *Power Factor, Harmonic Distortion; Causes, Effects and Considerations*, IEEE, 0-7803-0779-08/92.
- Dugan, Roger C., McGranaghan, Mark F., Beaty, H. Wayne, 2004, *Electrical Power System Quality*, McGraw-Hill.
- Erhaneli., 2003, *Pengurangan Harmonik pada Drive Inverter dengan Menggunakan Filter Pasif*, Tesis S2 Program Studi Teknik Elektro Pascasarjana UGM, Yogyakarta.
- IEEE Std 519-1992, 1993, *Recommended Practices and Requirements for Harmonic Control in Electrical Power Systems*. New York.
- Liem, Ek Bien, Sudarno, 2004, *Pengujian Harmonisa dan Upaya Pengurangan Harmonisa pada Lampu Hemat Energi*. JETri. Jakarta.