

## HARMONIK PADA INVERTER

Asnil

### Abstract

*One of the problems of electricity quality is harmonics. Harmonic is one of the components sinusoidal from one period wave that has the frequency representing multiple from the fundamental component. Voltage and current distortion caused by non-linear loads. One of kinds of non-linear loads is Inverter. Harmonic is very disturbs and harm when exceeding standard limit that appointed. Standard worn as reference in this research is standard IEEE 519-1992, used to voltage limit and maximum harmonic current.*

*Keyword: voltage, current, harmonic distortion.*

### PENDAHULUAN

Harmonik adalah salah satu dari beberapa permasalahan yang mempengaruhi kualitas daya listrik (J.C. Das, 2002). Terjadinya penyimpangan gelombang tegangan dan arus akan mempengaruhi unjuk kerja sistem, dimana peralatan listrik akan mengalami gangguan diluar kondisi normal. Beberapa akibat yang dapat ditimbulkan oleh harmonik adalah rusaknya peralatan listrik, seperti transformator, mesin-mesin listrik, *fuse* dan rele proteksi, motor listrik dan peralatan pemutus (*switchgear*) akan mengalami kenaikan rugi-rugi dan pemanasan lebih, motor induksi akan mengalami kegagalan start dan berputar pada kecepatan subsinkron (*subsynchronous speeds*), pemutus tenaga akan mengalami kesalahan pemutusan arus, umur kapasitas akan lebih pendek disebabkan panas dan *stress* dari dielektriknya, karakteristik arus waktu dari *fuse* dapat berubah, dan rele proteksi akan mengalami perilaku yang tak menentu (*erratic behaviour*), terjadinya interferensi frekuensi pada sistem telekomunikasi karena biasanya kabel untuk keperluan telekomunikasi ditempatkan berdekatan dengan kawat netral, *triplen* harmonik pada kawat netral dapat memberikan induksi harmonik yang mengganggu sistem telekomunikasi (Usman Saleh Baafai, 2004).

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. Pada 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. 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 ini bertujuan untuk mengetahui distorsi tegangan dan arus akibat adanya sumber harmonik (*inverter*), baik pada saat *inverter* tidak berbeban maupun pada saat *inverter* berbeban.

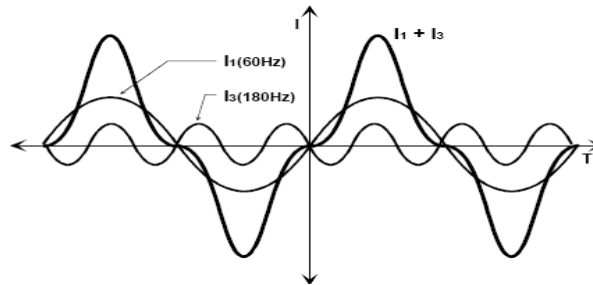
## LANDASAN TEORI

### Definisi Harmonik

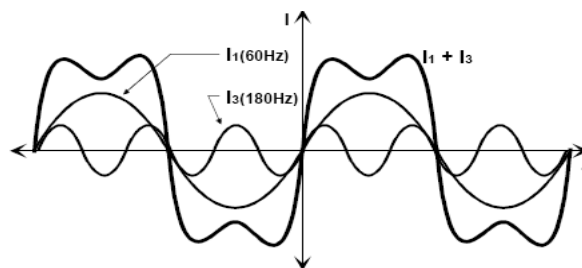
Harmonik dalam sistem tenaga listrik didefinisikan sebagai suatu komponen sinusoida dari suatu perioda gelombang yang mempunyai satu frekuensi yang merupakan kelipatan bulat dari gelombang fundamental (Novi Gusnita, 2007). Jika frekuensi fundamentalnya adalah  $f_0$  maka frekuensi harmonik orde ke  $n$  adalah  $n \times f_0$ . Biasanya istilah harmonik ini digunakan untuk mendefinisikan distorsi gelombang sinus arus dan tegangan pada amplitudo dan frekuensi yang berbeda.

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 kelipatan genap dari frekuensi fundamental disebut sebagai harmonik genap.

Distorsi harmonik disebabkan karena adanya beban non linear dalam sistem tenaga (Dugan, 2004). Beban non linear adalah salah satu jenis peralatan listrik yang berperilaku dapat mengubah bentuk gelombang arus atau tegangan kepada bentuk tertentu yang tidak sinusoida lagi, dan salah satu contohnya adalah *inverter*. Gambar berikut menunjukkan bentuk gelombang sinusoida yang terdistorsi oleh harmonik.



Gambar 2.1. Gelombang fundamental dan harmonik ke-3 berbeda fasa  $180^\circ$



Gambar 2.2. Gelombang fundamental dan harmonik ke-3 berbeda fasa  $0^\circ$

Harmonik ke-3 artinya harmonik yang mempunyai frekuensi tiga kali dari frekuensi fundamentalnya, jadi bila frekuensi fundamental 50 Hz, maka harmonik ke-3 mempunyai frekuensi 150 Hz, atau dapat dituliskan dengan persamaan  $f_n = n \times f$ , dimana  $n$  bilangan bulat.

**Indeks Harmonik**

Dalam analisis harmonik ada beberapa indeks penting yang digunakan untuk menggambarkan pengaruh harmonik terhadap komponen sistem tenaga maupun sistem komunikasi. Untuk menganalisis pengaruh harmonik terhadap kualitas tegangan dan arus ditentukan oleh indeks harmonik, yaitu THD (*Total Harmonic Distortion*) dan TDD (*Total Demand Distortion*)

Perbandingan nilai komponen harmonik dengan komponen fundamental biasanya dinyatakan dalam persen, indeks ini disebut dengan THD (*Total Harmonic Distortion*). THD biasanya digunakan untuk menyatakan penyimpangan bentuk gelombang yang mengandung harmonik terhadap gelombang sinusoida murni dalam satu periode.

$$THDv = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} V_n^2}}{V_1} \times 100 \% \dots\dots\dots(1)$$

$$THDi = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} I_n^2}}{I_1} \times 100 \% \dots\dots\dots(2)$$

dimana:  $V_1$  dan  $I_1$  adalah komponen fundamental tegangan dan arus.  
 $V_n$  dan  $I_n$  adalah komponen harmonik dari tegangan dan arus.

Persamaan (1) dan (2), merupakan persamaan untuk menentukan nilai THD tegangan dan arus (Dugan, 2004). Kontribusi masing-masing komponen harmonik terhadap distorsi arus dan tegangan dinyatakan oleh IHD (*Individual Harmonik Distortion*). Nilai IHD untuk harmonik arus dan tegangan pada orde ke-n didefinisikan sebagai berikut:

$$V_n / V_1 \text{ dan } I_n / I_1 \dots\dots\dots(3)$$

Sedangkan TDD (*Total Demand Distortion*) merupakan distorsi harmonik arus total yang dapat dinyatakan sebagai berikut;

$$TDD = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} I_n^2}}{I_L} \dots\dots\dots(4)$$

Dimana  $I_L$  adalah arus beban maksimum yang dibutuhkan (*the maximum demand load current*).

Batas atau standar untuk besarnya tegangan dan arus harmonik yang diizinkan disesuaikan dengan standar IEEE 519-1992.

Tabel 1. Batas distorsi tegangan menurut standar IEEE 519-1992

Bus voltage at PCC	Individual voltage distortion (%)	Total voltage distortion THD (%)
69 kV and below	3.0	5.0
69.001 kV through 161 kV	1.5	2.5
161.001 kV and above	1.0	1.5

Tabel 2. Batas distorsi arus menurut standar IEEE 519-1992

Isc/I <sub>L</sub>	<11	11≤h<17	17≤h<23	23≤h<35	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

dimana: Isc adalah nilai maksimum dari arus hubung singkat  
 I<sub>L</sub> adalah arus permintaan maksimum  
 TDD adalah *total demand distortion*

**Transformasi Fourier**

Transformasi fourier dari suatu fungsi  $f(t)$  adalah

$$f(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t)e^{-j\omega t} dt \dots\dots\dots(5)$$

dan  $f(t)$  disebut invers transformasi fourier dari  $f(\omega)$  yang didefinisikan sebagai

$$f(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} f(\omega)e^{j\omega t} d\omega \dots\dots\dots(6)$$

Persamaan (5) dan (6) digunakan untuk memetakan suatu fungsi dalam interval  $-\infty$  sampai  $\infty$  pada kawasan waktu atau frekuensi ke dalam satu fungsi kontinu dalam kawasan invers. Suatu fungsi dapat direpresentasikan ke dalam dua model, yaitu kawasan waktu  $f(t)$  dan kawasan frekuensi  $f(\omega)$ . Persamaan (5) mentransformasikan fungsi waktu ke dalam fungsi frekuensi dan persamaan (6) mensintesis spektrum fungsi frekuensi untuk mendapatkan kembali fungsi waktu.

**Kuantitas Listrik Pada Kondisi Tidak Sinusoida**

Jika harmonik dalam keadaan mantap (*steady-state*) dipertimbangkan, maka tegangan dan arus sesaat dapat direpresentasikan dengan deret fourier sebagai berikut;

$$v(t) = \sum_{n=1}^{\infty} v_n(t) = \sum_{n=1}^{\infty} \sqrt{2v_n} \sin(n\omega_0 t + \theta_n) \dots\dots\dots(7)$$

$$i(t) = \sum_{n=1}^{\infty} i_n(t) = \sum_{n=1}^{\infty} \sqrt{2i_n} \sin(n\omega_0 t + \delta_n) \dots\dots\dots(8)$$

Bagian dc biasanya diabaikan untuk kesederhanaan,  $v_n$  dan  $i_n$  adalah nilai rms untuk orde harmonik ke- $n$  pada masing-masing tegangan dan arus. Daya sesaat dapat didefinisikan sebagai

$$p(t) = v(t) \times i(t) \dots\dots\dots(9)$$

dan rerata daya dalam suatu periode T dari  $p(t)$  didefinisikan sebagai

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T p(t) dt \dots\dots\dots(10)$$

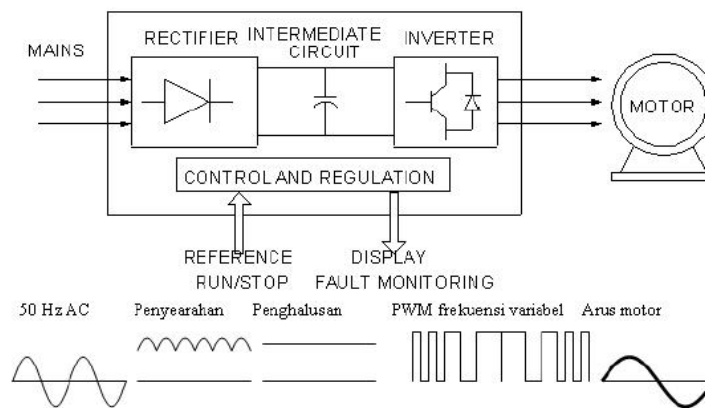
Jika persamaan (7) dan (8) disubsitusikan ke persamaan (9) dan dengan menggunakan relasi orthogonal maka di dapat

$$P = \sum_{n=1}^{\infty} V_n I_n \cos(\theta_n - \delta_n) = \sum_{n=1}^{\infty} P_n \dots\dots\dots(11)$$

Dari persamaan di atas dapat dilihat setiap harmonik memberikan kontribusi pada daya rerata. Namun daya rerata yang dibangkitkan oleh harmonik biasanya relatif kecil bila dibandingkan dengan nilai dari rerata dasar (*fundamental average power*).

**Inverter**

*Inverter* adalah suatu rangkaian penyaklaran elektronik yang dapat merubah tegangan searah menjadi tegangan bolak balik. Pada dasarnya, *inverter* tiga fasa merupakan gabungan dari *inverter* satu fasa dengan perbedaan 120<sup>0</sup> listrik antara fasa yang satu dengan fasa yang lainnya. Mengatur tegangan keluaran dari *inverter* biasanya 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 berikut ini.

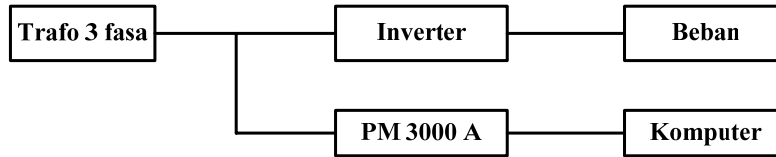


Gambar 3. *Inverter* tiga fasa

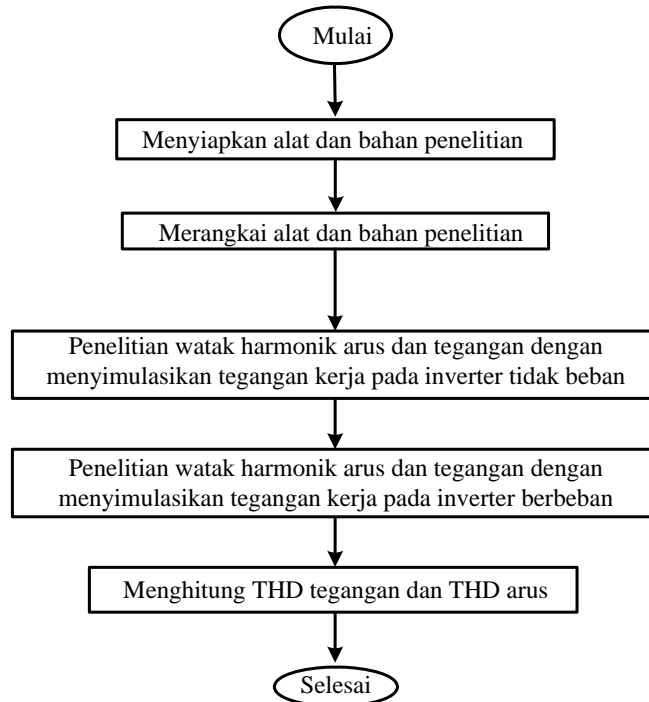
Modul *inverter* yang digunakan pada penelitian ini sudah dilengkapi dengan rangkaian penyearah tiga fasa. Tegangan sumber maksimum yang masuk ke penyearah adalah 240 volt antar fasa, dan keluaran maksimum dari *inverter* adalah 220 volt antar fasa. Kemampuan arus masukan maksimum 8 A, dan arus keluaran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

**METODOLOGI PENELITIAN**

Objek yang digunakan dalam penelitian ini adalah *inverter* tiga fasa yang 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. Sebagai beban *inverter* digunakan motor induksi tiga fasa jenis sangkar tupai.



Gambar 4. Blok diagram penelitian



Gambar 5. Diagram alir penelitian

## HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

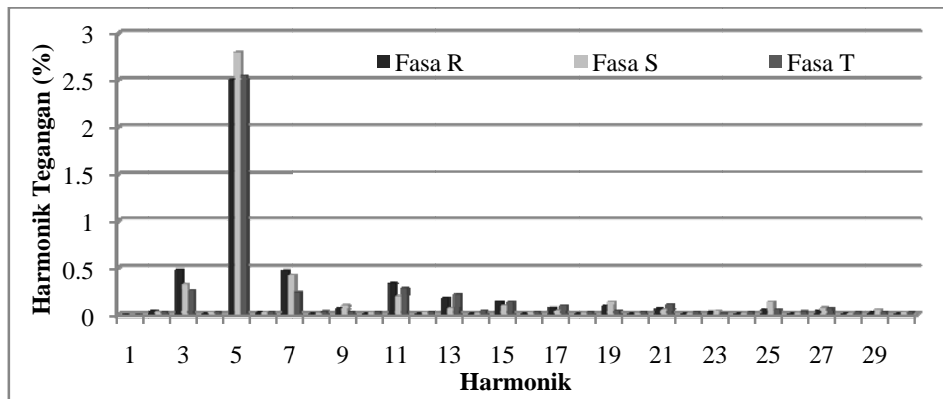
### Penelitian Watak Harmonik Sumber Tegangan

Sumber tegangan yang dipakai dalam penelitian ini adalah trafo 3 fasa yang disupply 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 6.

Tabel 3. Hasil pengukuran harmonik sumber tegangan

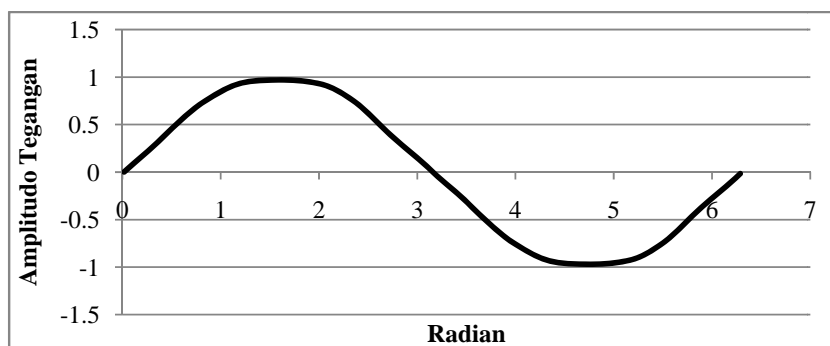
Harmonik	Fasa R		Fasa S		Fasa T	
	Tegangan (%)	Sudut (°)	Tegangan (%)	Sudut (°)	Tegangan (%)	Sudut (°)
1	100	000.0	100	-238.3	100	-118.3
2	0.034	-017.9	0.027	-235.9	0.020	-095.7
3	0.470	-315.9	0.318	-139.7	0.250	-048.8

4	0.008	-291.9	0.028	-318.7	0.020	-170.8
5	<b>2.494</b>	-176.7	<b>2.794</b>	-287.8	<b>2.546</b>	-046.9
6	0.017	-042.7	0.021	-009.3	0.021	-152.7
7	0.465	-071.9	0.413	-251.8	0.233	-170.8
8	0.008	-090.3	0.010	-071.1	0.030	-210.6
9	0.061	-303.0	0.097	-256.3	0.023	-330.0
10	0.004	-150.5	0.019	-047.8	0.027	-243.3

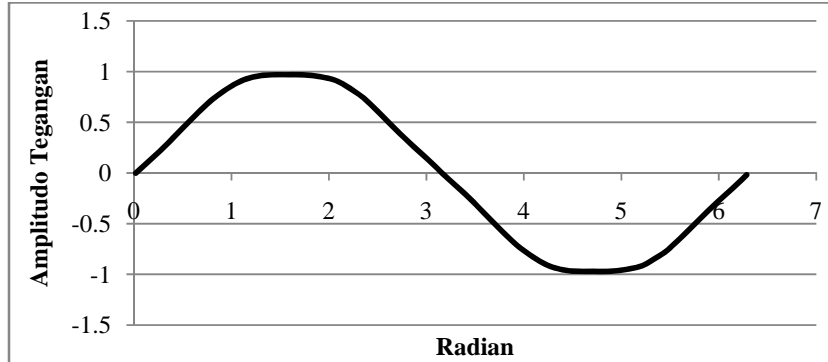


Gambar 6. Spektrum harmonik sumber tegangan

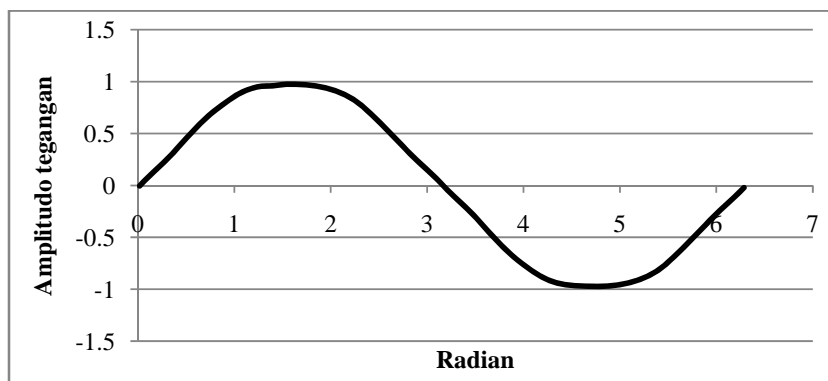
Pada gambar 6, dapat dilihat harmonik tertinggi terjadi pada fasa S, yaitu harmonik ke-5. Nilai distorsi harmonik tegangan pada fasa R, S dan T masing-masing adalah 2,494%, 2,794%, dan 2,546%. Sedangkan nilai total distorsi harmonik (THD) tegangan yang terukur masing-masing untuk fasa R, S, dan T adalah 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 di pakai karena kandungan harmoniknya belum melebihi standar. Berikut adalah bentuk gelombang tegangan sumber untuk masing-masing fasa.



Gambar 7. Gelombang tegangan sumber pada fasa R



Gambar 8. Gelombang tegangan sumber pada fasa S



Gambar 9. Gelombang tegangan sumber pada fasa T

### Penelitian Watak Harmonik Pada Kondisi Tidak Berbeban

Tahapan penelitian 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 memperlihatkan hasil pengukuran harmonik tegangan sampai dengan harmonik ke-10 untuk tegangan keluaran maksimum *inverter*.

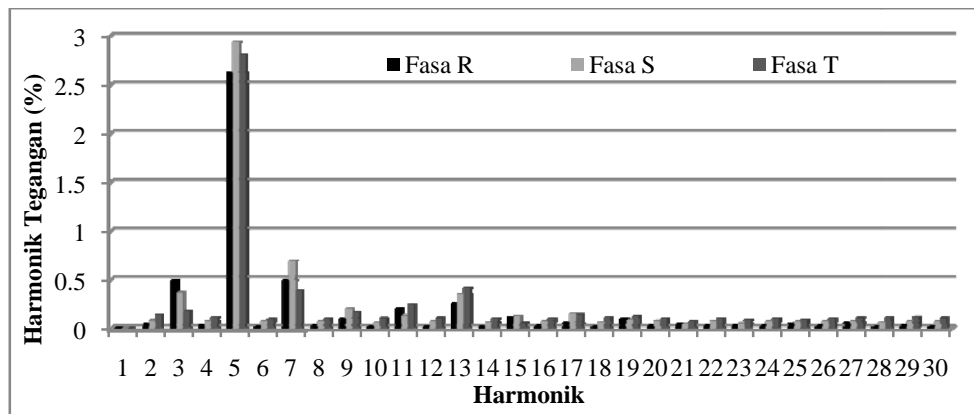
Tabel 4. Hasil pengukuran tegangan harmonik pada keluaran *inverter* maksimum kondisi tidak berbeban (230 volt)

Nomor Harmonik	Fasa R		Fasa S		Fasa T	
	Tegangan (%)	Sudut ( $^{\circ}$ )	Tegangan (%)	Sudut ( $^{\circ}$ )	Tegangan (%)	Sudut ( $^{\circ}$ )
1	100	000.0	100	-238.4	100	-118.2
2	0.047	-127.9	0.080	-105.9	0.142	-302.6
3	0.488	-319.3	0.367	-136.4	0.173	-358.6
4	0.037	-189.4	0.073	-143.6	0.110	-332.0
5	<b>2.624</b>	-175.3	<b>2.933</b>	-285.6	<b>2.805</b>	-045.8
6	0.019	-215.4	0.070	-177.0	0.093	-359.2
7	0.496	-043.3	0.688	-232.1	0.385	-107.9



8	0.028	-219.4	0.074	-198.3	0.094	-032.3
9	0.099	-303.9	0.198	-243.0	0.166	-029.0
10	0.018	-238.6	0.058	-233.3	0.103	-065.2

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%. 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%.



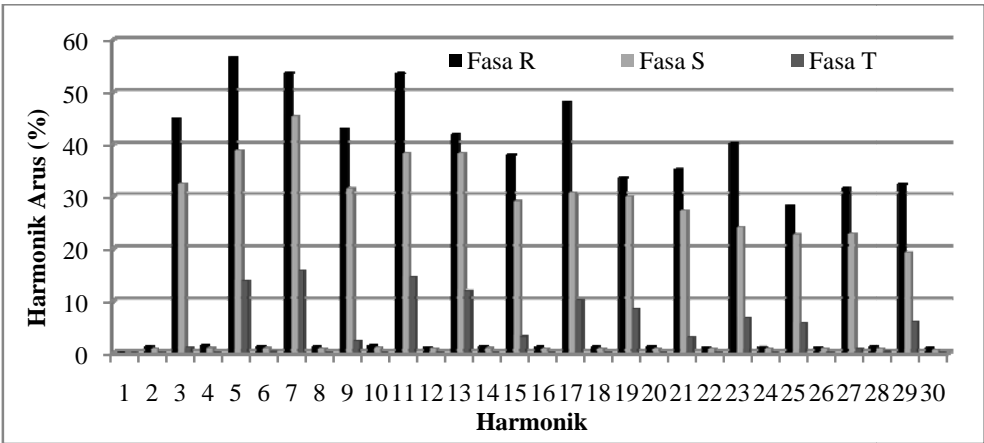
Gambar 10. Spektrum tegangan harmonik keluaran 230 volt tidak berbeban.

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

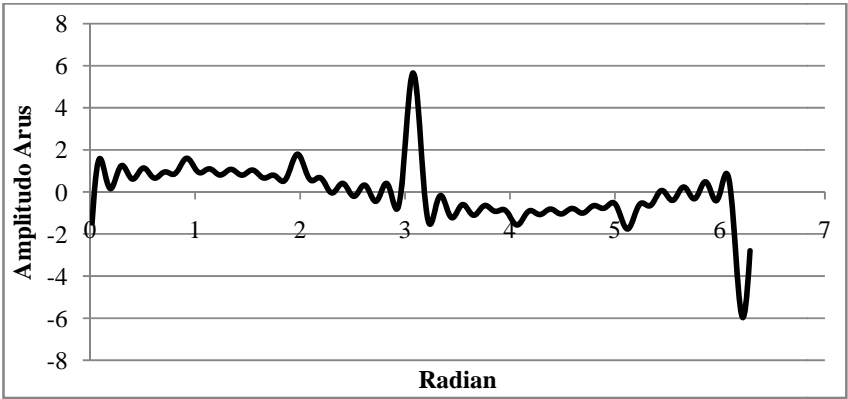
Nomor Harmonik	Fasa R		Fasa S		Fasa T	
	Arus (%)	Sudut (°)	Arus (%)	Sudut (°)	Arus (%)	Sudut (°)
1	100	-306.4	100	-175.5	100	-041.0
2	1.278	-328.1	0.790	-153.0	0.033	-262.4
3	44.89	-271.1	32.37	-092.3	0.967	-347.4
4	1.393	-207.0	0.894	-022.9	0.027	-253.8
5	<b>56.55</b>	-162.1	38.75	-327.2	13.77	-055.5
6	1.290	-090.0	0.865	-266.5	0.134	-109.3
7	53.56	-020.7	<b>45.22</b>	-214.2	<b>15.73</b>	-083.3
8	1.132	-326.1	0.819	-138.2	0.044	-170.0
9	42.84	-278.7	31.45	-101.8	2.256	-344.8
10	1.396	-207.3	0.990	-023.6	0.014	-301.7

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%. Sedangkan nilai total distorsi harmonik (THD) arus pada fasa R, S, dan T masing-masing adalah sebesar 158,4%, 117,8%, dan 32, 96%. Menggunakan persamaan (2), diperoleh THD arus

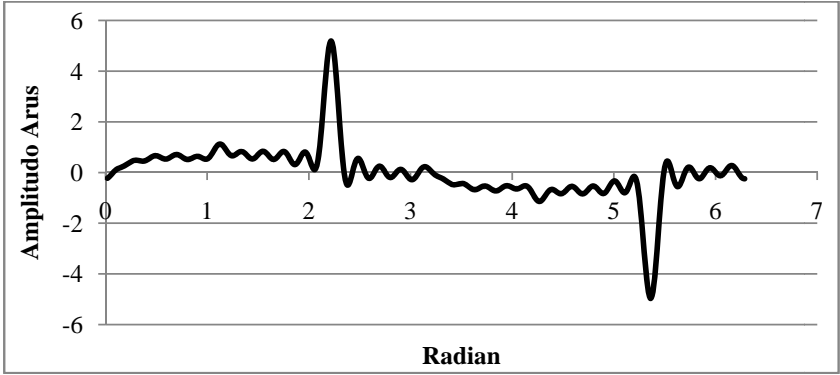
pada fasa R sebesar 158,442%, pada fasa S sebesar 117,887%, dan pada fasa T sebesar 33,036%.



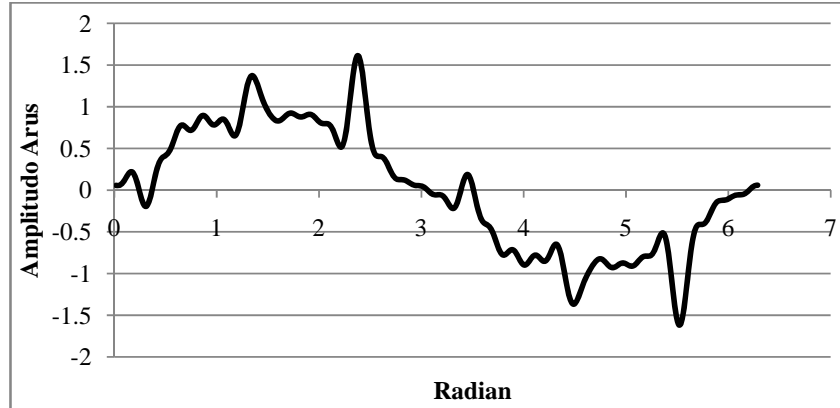
Gambar 11. Spektrum arus harmonik pada tegangan keluaran maksimum



Gambar 12. Gelombang arus harmonik fasa R



Gambar 13. Gelombang arus harmonik fasa S



Gambar 14. Gelombang harmonik arus fasa T

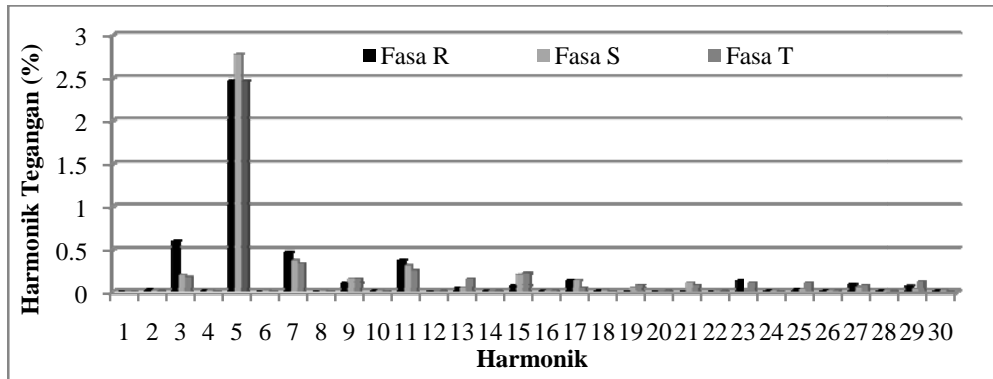
Gambar 12 sampai 14 di atas adalah bentuk gelombang arus harmonik masing-masing fasa pada keluaran *inverter* maksimum tidak berbeban.

### Penelitian Watak Harmonik Pada Kondisi Berbeban

Pengamatan selanjutnya adalah melihat watak harmonik tegangan dan arus pada kondisi berbeban. Beban yang digunakan untuk *inverter* adalah motor induksi 3 fasa, 0,37 kW, 50 Hz. Hasil pengukuran tegangan dan arus harmonik pada saat tegangan keluaran *inverter* 220 volt sampai orde ke-10 dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

Tabel 6. Hasil pengukuran tegangan harmonik kondisi berbeban pada tegangan keluaran 220 volt

Nomor Harmonik	Fasa R		Fasa S		Fasa T	
	Tegangan (%)	Sudut ( $^{\circ}$ )	Tegangan (%)	Sudut ( $^{\circ}$ )	Tegangan (%)	Sudut ( $^{\circ}$ )
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	<b>2.465</b>	-176.5	<b>2.772</b>	-289.0	<b>2.461</b>	-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

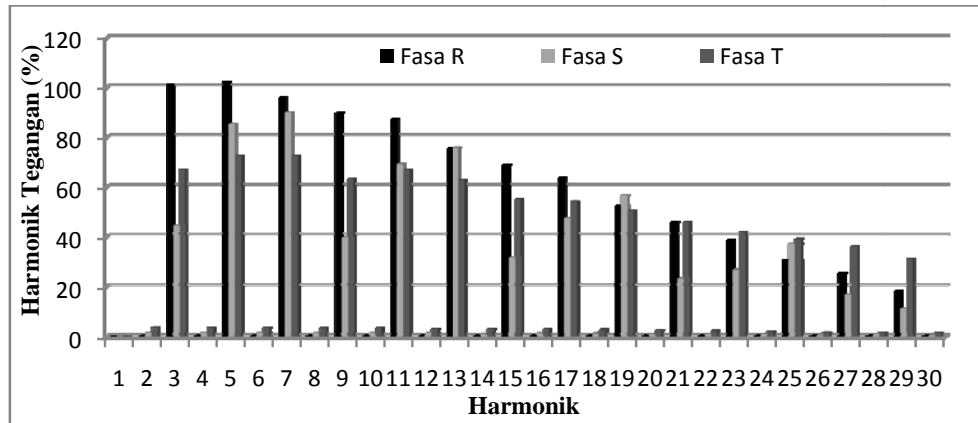


Gambar 15. Spektrum tegangan harmonik pada keluaran 220 volt kondisi berbeban

Dari tabel 6 dan gambar 15 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 (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%.

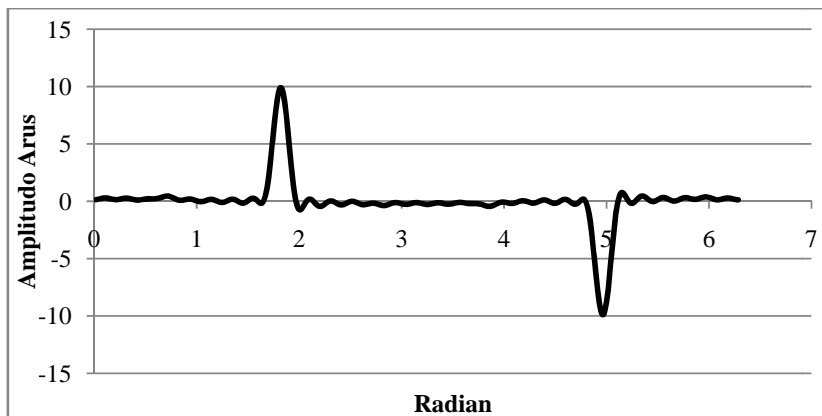
Tabel 7. Hasil pengukuran arus harmonik kondisi berbeban pada tegangan keluaran 220 volt

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	<b>102.3</b>	-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	<b>89.94</b>	-236.8	<b>72.67</b>	-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

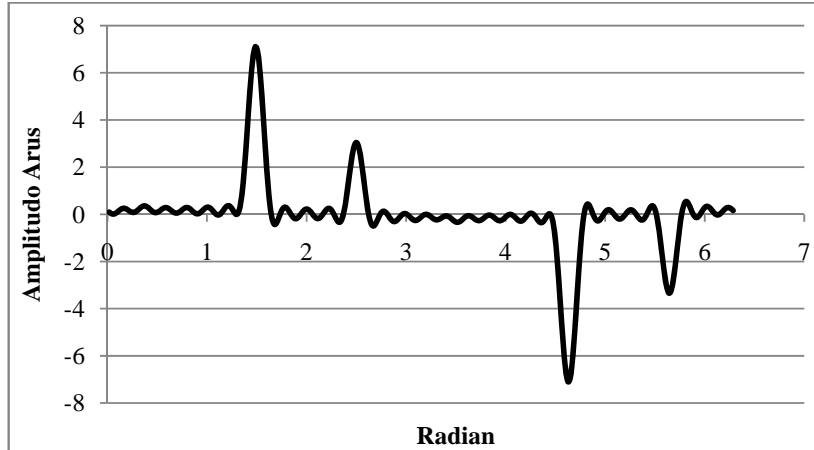


Gambar 16. Spektrum arus harmonik pada keluaran 220 volt kondisi berbeban

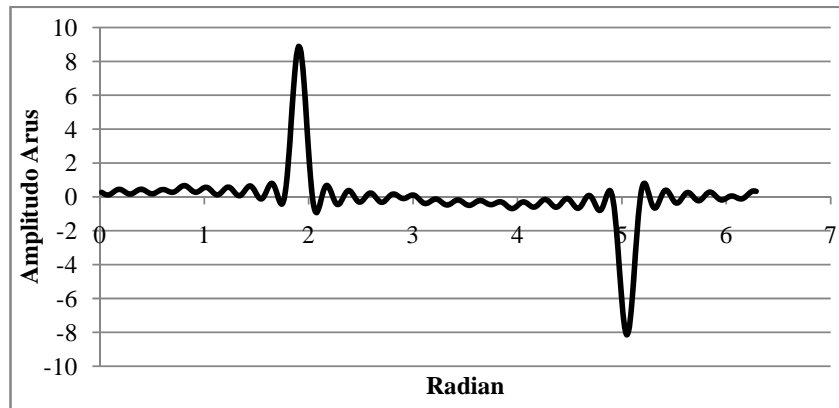
Dari tabel 7 dan gambar 16 di atas, dapat dilihat arus harmonik tertinggi terdapat pada orde ke-5, yaitu fasa R dengan nilai 102,3%, diikuti fasa S sebesar 89,94%, dan fasa T sebesar 72,67%. Total distorsi harmonik (THD) arus pada saat *inverter* berbeban dengan keluaran 220 volt pada fasa R sebesar 260,3%, pada fasa S sebesar 196,8%, dan pada fasa T sebesar 209,0%. Menggunakan persamaan (2), THD arus pada saat *inverter* berbeban pada fasa R sebesar 261,319 %, fasa S sebesar 197,375%, dan fasa T sebesar 208,964 %.



Gambar 17. Gelombang arus harmonik fasa R



Gambar 18. Gelombang arus harmonik fasa S



Gambar 19. Gelombang arus harmonik fasa T

Pada Gambar 17 sampai 19 adalah bentuk gelombang arus harmonik pada saat *inverter* berbeban dengan tegangan keluaran *inverter* 220 volt.

## KESIMPULAN

Berdasarkan hasil 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. Nilai tegangan harmonik tertinggi sebesar 2,933% dan arus harmonik tertinggi 56,55%. Nilai THD tegangan tertinggi sebesar 3,181% dan untuk THD arus tertinggi sebesar 163,1%.
2. Nilai harmonik tegangan dan arus pada berbagai nilai tegangan keluaran *inverter* pada kondisi berbeban juga didominasi oleh harmonik ganjil. Nilai tegangan harmonik tertinggi sebesar 2,772% dan arus harmonik tertinggi sebesar 102,3%. Nilai THD tegangan tertinggi sebesar 2,969% dan THD arus tertinggi sebesar 281,3%.

3. Komponen elektronika daya dapat menimbulkan harmonik dan apabila di bebani kontribusi harmonik akan semakin besar terhadap sistem kelistrikan.

#### **DAFTAR PUSTAKA**

- Ali Emadi, Abdolhosein Nasiri, Stoyan B. Bekiarou., 2005, "Uninterruptible Power Supplies and Active Filters ", CRC Press, New York.
- Arillaga, Jos dan Neville R. Watson., 2003, "Power System Harmonic" Jhon Wiley & Sons, Ltd, New Zealand.
- Aysen Arsoy, S. Mark Halpin, Yilu Liu, Paulo F. Ribeiro., 1999, "Modeling and Simulation of Power Sistem Harmonics", IEEE
- Baafai, Usaman Saleh., 2004, "Sistem Tenaga Listrik: Polusi dan Pengaruh Medan Elektromagnetik Terhadap Kesehatan Manusia", Pidato Pengukuhan Jabatan Guru Besar Tetap Fakultas Teknik Universitas Sumatera Utara, Medan.
- Budiyanto, Maun., 2007, "Studi Pengurangan Arus Harmonik Triplen dengan Menggunakan Tapis Seri dan Transformator Zero Passing", Tesis S2 Program Studi Teknik Elektro Pascasarjana UGM, Yogyakarta
- Chen Bo, Zeng Xiangjun, Xv Yao., 2006, " Three Tuned Passive Filter to Improve Power Quality", International Confrence on Power Sistem Technology. IEEE, 1-4244-0111-9/06, pp: 1-5.
- Das, J.C., 2002, "Power System Analisis", Marcel Dekker, Inc, New York.
- Erhaneli., 2003, "Pengurangan Harmonik Pada Drive *Inverter* dengan Menggunakan Filter Pasif", Tesis S2 Program Studi Teknik Elektro Pascasarjana UGM, Yogyakarta
- Gusnita, Novi., 2007, "Analisis Harmonik Pada Sistem Distribusi", Tesis S2 Program Studi Teknik Elektro Pascasarjana UGM, Yogyakarta
- IEEE Std 519-1992., 1993, "IEEE Recommended Practices and Requirements for Harmonic Control in Electric Power Systems", New York.
- Nababan, Sabar., 2001, "Tapis Paralel Pasif Untuk Mengurangi Distorsi Harmonik Beban Taklinear: Permodelan, Analisis, dan Desain", Tesis S2 P m Studi Teknik Elektro Pascasarjana UGM, Yogyakarta.
- Paice, Derek. A., 1996, "Power Electronic Converter Harmonic", IEEE Press, New York.
- Roger C. Dugan, Mark F. McGranaghan, Surya Santoso, H. Wayne Beaty., 2004, "Electrical Power Sistem Quality, Second Edition", McGraw-Hill.

S.N. AL. Yousif, M. Z. C. Wanik, A. Mohamed., 2004, "Implementation of Different Passive Filter Designs for Harmonic Mitigation", National Power & Energy Conference (PECon) Proceedings, 0-7803-X724-41041320.00 02004 IEEE, pp: 229 – 234, Kuala Lumpur, Malaysia

Timothy L. Skvarenina., 2002, "The Power Electronics Handbook", CRC Press, New York.