

# Pengaruh Bentuk Gelombang Pembawa Terhadap Harmonisa pada Inverter Satu Fasa

Im Nursalim<sup>1</sup>, Bambang Susanto<sup>2</sup>, Agus Rusdiyanto<sup>3</sup>, Nanang Ismail<sup>4</sup>

<sup>1,4</sup>Teknik Elektro UIN SGD Bandung

Jl. A.H. Nasution No. 105, Bandung Jawa Barat 40614

<sup>2,3</sup>Staff P2 Telimek LIPI, <sup>3</sup> Staff P2 Telimek LIPI

Jl. Cisitu No.21/154D Bandung 40135

<sup>1</sup> immursalim@gmail.com, <sup>2</sup> B3nk@yahoo.com, <sup>3</sup> riesdian@gmail.com, <sup>4</sup> nanang.is@uinsgd.ac.id

**Abstrak** – Dengan semakin maraknya teknologi konversi energi pada saat ini, maka kebutuhan pasokan energi akan tercukupi secara merata. Inverter merupakan salah satu perangkat teknologi konversi yang mengubah tegangan DC menjadi bentuk gelombang AC. Namun bentuk gelombang AC hasil keluaran dari inverter belum sepenuhnya sinus murni (*pure sine wave*). Hal tersebut dikarenakan adanya kandungan nilai harmonisa pada gelombang AC keluaran dari inverter. Untuk menghasilkan gelombang AC yang mendekati sinus murni (*pure sine wave*) maka perlu menghilangkan atau meminimalisir nilai harmonisa dengan membuat program pembangkit sinyal Pulse Width Modulation (PWM) pada mikrokontroler dengan pemacu menggunakan tiga metode penyulutan yaitu bipolar, unipolar tipe 1, dan unipolar tipe 2. Pada simulasi menggunakan tiga bentuk gelombang pembawa pada setiap metode penyulutannya yaitu, *triangle waveform*, *sawtooth waveform negative ramp*, dan *sawtooth waveform positive ramp*. Pada metode penyulutan bipolar didapatkan nilai kandungan harmonisa tegangan sebesar 58,61%, harmonisa arus 58,29%. Pada metode penyulutan unipolar tipe 1, kandungan nilai harmonisa tegangan sebesar 45,06%, harmonisa arus terkecil 44,67%. Pada metode penyulutan unipolar tipe 2 nilai harmonisa tegangan 42,37%, harmonisa arus 42,12%.

**Kata Kunci** : inverter, harmonisa, PWM, *triangle waveform*, *sawtooth waveform*

## 1. Pendahuluan

Sistem tenaga listrik merupakan sistem yang banyak mengalami pengembangan dan pembaharuan. Hal ini disebabkan karena listrik merupakan suatu kebutuhan pokok yang harus terpenuhi. Terbatasnya kebutuhan energi listrik yang tidak sampai ke pelosok menjadi suatu permasalahan yang cukup serius karena tidak cukupnya pasokan energi yang ada. Teknologi konversi merupakan jawaban dari menipisnya pasokan energi fosil yang selama ini digunakan. Dengan berbagai pembaharuan dan modifikasi, teknologi ini sudah mampu memenuhi kebutuhan manusia tanpa mengurangi pasokan listrik yang sudah disediakan alam. Inverter merupakan salah satu teknologi konversi yang mengubah tegangan DC menjadi bentuk gelombang AC. Inverter sendiri banyak digunakan pada proses pengerjaan diberbagai industri dan rumah tangga. Meskipun penggunaan inverter sudah umum digunakan dikalangan masyarakat, tetapi hasil keluaran dari inverter kebanyakan masih mengandung nilai harmonisa yang cukup besar. Lain halnya dengan sumber tegangan utama PLN yang tidak mengandung nilai harmonisa karena tegangan dan arusnya sudah berupa sinus murni (*pure sine wave*) [1]. Berdasarkan Tabel 4 Kelas Level Harmonisa SNI 04-7021.2.1-2004, nilai harmonisa yang ditentukan tidak boleh lebih dari 5%. Dengan kandungan nilai harmonisa yang besar, hal ini akan berefek buruk dan mempercepat umur pada perangkat elektronik yang disuplainya. Untuk meminimalisir kandungan nilai harmonisa tersebut, digunakanlah teknik penghilangan harmonisa dengan membuat program pembangkit sinyal *Pulse Width Modulation* (PWM) pada mikrokontroler dengan menggunakan tiga metode penyulutan pada simulasi dengan tiga bentuk

gelombang pembawa sebagai pemicu utamanya. Untuk teknik penyaklaran PWM menggunakan komponen *Insulated Gate Bipolar Transistor* (IGBT). Komponen semikonduktor ini memiliki waktu penyaklaran yang cukup cepat.

## 2. Metode Penelitian

Metode yang digunakan pada penelitian ini dengan menentukan objek penelitian terlebih dahulu, lalu merancang sistem.

### 2.1 Objek Penelitian

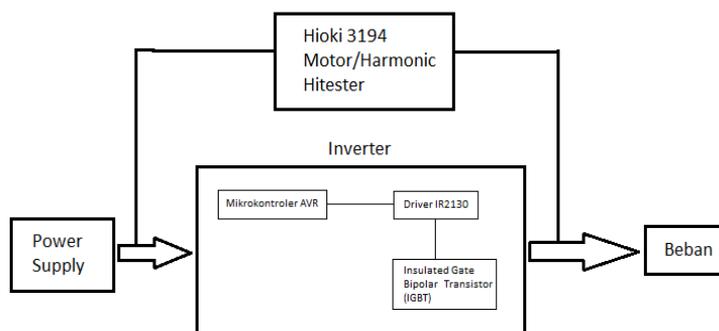
Objek dari penelitian ini ditujukan pada inverter satu fasa dengan mengamati PWM.

### 2.2 Perancangan Sistem

Ada dua metode perancangan sistem yang dilakukan :

#### 2.2.1 Perancangan *Hardware System*

Pada penelitian ini merancang inverter satu fasa dengan sedemikian rupa yang menghubungkan setiap blok sesuai dengan blok diagram seperti gambar dibawah.



Gambar 1. Blok Diagram Perancangan *Hardware System*

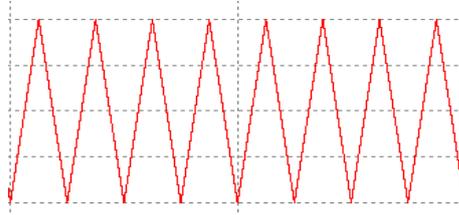
Pada gambar 1 diatas, secara umum dapat dideskripsikan prinsip kerja dari inverter sebagai berikut :

- Power Supply* disini berfungsi sebagai pensuplay inverter yang tegangannya sudah diatur dengan tegangan 12 volt DC secara konstan untuk semua pengambilan data. Untuk besar arusnya tergantung dari variasi beban yang digunakan.
- Hioki 3194 Motor/Harmonic Hitester* alat ukur yang ideal digunakan untuk menganalisa dan mengevaluasi performa dari inverter motor dan juga untuk menganalisa harmonisa pada peralatan rumah tangga.
- Clamp Meter* alat yang praktis untuk mengukur arus listrik, voltase, nilai tahanan tanpa harus memutus jalur tersebut.
- Pada mikrokontroler dirancang pemrograman untuk membangkitkan PWM.
- Insulated Gate Bipolar Transistor* (IGBT) merupakan komponen semi konduktor yang berfungsi sebagai pensaklar gelombang input dengan penyulutan ke mosfet dengan menggunakan metode PWM.

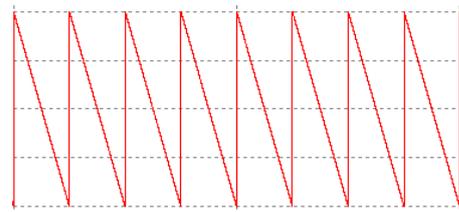
Keluaran dari inverter ini dibebankan ke lampu pijar dengan daya setiap satu lampu pijar sebesar 6 watt AC.

#### 2.2.2 Perancangan *Software System*

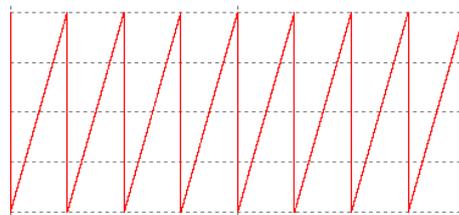
Pada perancangan *software system* ini dilakukan metode penyulutan PWM, merubah data biner ke heksa, pembangkitan PWM, mengupload program, kemudian pengambilan data. Adapun tiga bentuk gelombang pembawa yang digunakan yaitu, *triangle waveform*, *sawtooth waveform negative ramp*, *sawtooth waveform positive ramp*. Ketiga bentuk gelombang ini yang digunakan sebagai gelombang pembawa sinusoidal fundamental.



Gambar 2. *Triangle Waveform*



Gambar 3. *Sawtooth Waveform Negative Ramp*



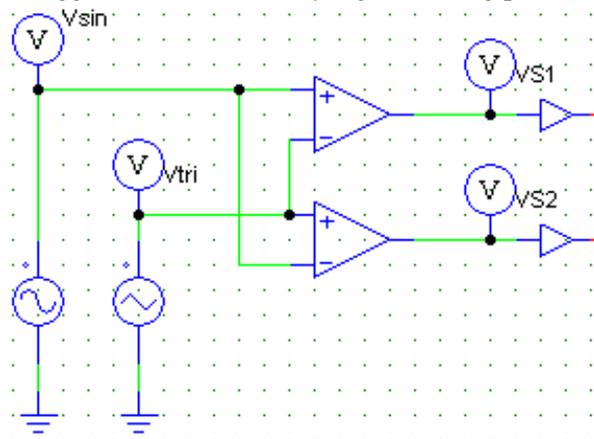
Gambar 4. *Sawtooth Waveform Positive Ramp*

a. Penyulutan PWM pada simulasi.

Ada tiga metode penyulutan yang digunakan.

- Bipolar

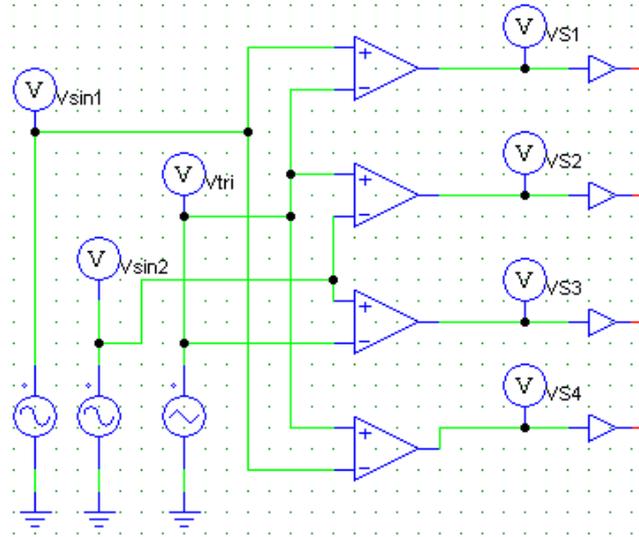
Pada metode penyulutan ini menggunakan satu pembangkit sinyal sinus sebagai sinyal fundamental dan satu pembangkit sinyal segitiga sebagai sinyal pembawa dengan sudut fasa  $0^\circ$ . Pada bipolar ini menggunakan dua switch yang terhubung pada empat mosfet.



Gambar 5. Skema Penyulutan Bipolar

- Unipolar tipe 1

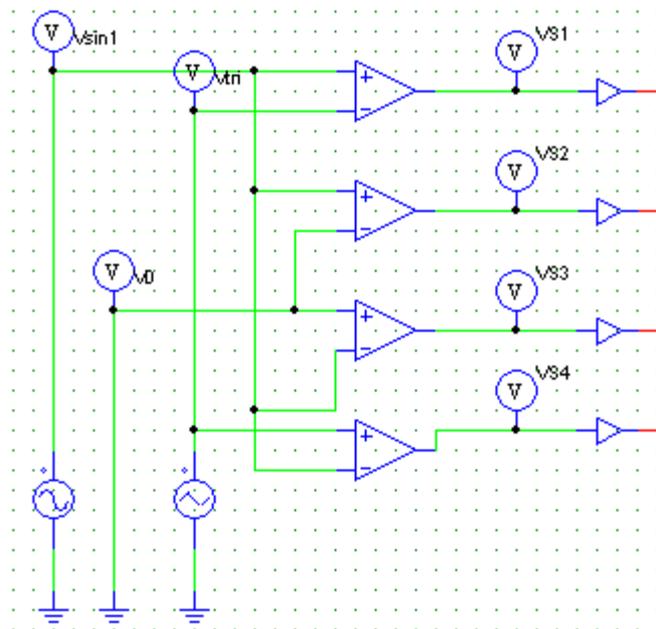
Penyulutan ini menggunakan satu sinyal segitiga sebagai pembawa dan dua sinyal sinus sebagai sinyal fundamental dengan salah satu sinyal fundamental sudut fasanya  $180^\circ$  dan satu sinyal fundamental dengan sudut fasa  $0^\circ$ .



Gambar 6. Skema Penyulutan Unipolar tipe 1

- Unipolar tipe 2

Prinsip unipolar tipe 2 hampir sama dengan unipolar tipe 1. Beda pada unipolar tipe 2 ini menggunakan dua pembangkit sinyal yaitu sinyal sinus fundamental dan sinyal segitiga sebagai pembawa.



Gambar 7. Skema Penyulutan Unipolar tipe 2

b. Proses pembangkitan sinyal PWM

Pembangkitan sinyal PWM ini dilakukan dengan membuat program pada mikrokontroler. Mosfet yang berfungsi untuk pensaklar gelombang input dengan penyulutan ke mosfet dengan menggunakan metode PWM [4]. Sistem pembangkitan sinyal PWM ini dilakukan dengan cara mengambil data pada pola gelombang tiga metode penyulutan PWM, kemudian data tersebut diubah kedalam bentuk heksa. Data heksa tersebut dideklarasikan pada program. Untuk setiap pembangkitan PWM masing – masing berbeda, tergantung metode penyulutan dan bentuk gelombang yang digunakan.

Ada beberapa alasan PWM banyak digunakan pada elektronika modern [2]:

- Mengurangi power loss.
- Mudah dibangkitkan. Banyak mikrokontroler modern termasuk perangkat PWM dalam chip menggunakan perangkat ini.
- Mengkonversi digital ke analog. *Duty cycle* dari sinyal PWM secara akurat dapat dikendalikan dengan prosedur perhitungan sederhana. Hal ini yang menjadi alasan mengapa sinyal PWM dapat mengkonversi digital ke analog.

c. Pengambilan Data

Setelah perancangan *hardware system* dan *software system* selesai, selanjutnya adalah pengambilan data. Pada pengambilan data ini dilakukan perbandingan setiap parameter yang sudah ditentukan terhadap tiga metode penyulutan PWM menggunakan metode bipolar, unipolar tipe 1, dan unipolar tipe 2. Ketiga metode ini dibandingkan terhadap tiga bentuk gelombang pembawa.

Tabel 1. Variasi Perbandingan Parameter

Triangle Waveform																			
Sawtooth Waveform Negative Ramp																			
Sawtooth Waveform Positive Ramp																			
Beban 1					Beban 2					Beban 3					Beban 4				
Modulasi Amplitudo (ma)																			
0,4	0,6	0,8	1	1,2	0,4	0,6	0,8	1	1,2	0,4	0,6	0,8	1	1,2	0,4	0,6	0,8	1	1,2
Modulasi Frakuensi (mf)																			
20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40
60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60
80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80
100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120
140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140

3. Hasil dan Analisis

Berikut adalah hasil penelitian berupa data pengukuran dan juga analisisnya.

3.1 Hasil Pengukuran

Setelah pengambilan data selesai, didapatkan data hasil pengukuran dengan nilai V<sub>1</sub>, V<sub>2</sub>, I<sub>1</sub>, I<sub>2</sub>, P<sub>1</sub>, P<sub>2</sub>, THD<sub>v</sub>, THD<sub>i</sub>, dan efisiensi (η) terhadap empat beban.

Tabel 2. Hasil Data dengan Nilai Harmonisa Terkecil

ma = 1,2  
mf = 140

BEBAN	L 1	L 2	L 3	L 4
V 1	8,207	7,827	7,552	7,328
V 2	13,381	13,297	13,217	13,141
I 1	1,024	1,947	2,821	3,671
I 2	1,008	1,939	2,821	3,676
P 1	8,84	16,18	22,66	28,64
P 2	10,79	20,68	29,9	38,69
THD v	42,45%	42,45%	42,41%	42,37%
THD i	42,26%	42,23%	42,17%	42,12%
$\eta$	81,93%	78,24%	75,79%	74,02%

Keterangan :

- V1 = Tegangan *output*
- V2 = Tegangan *input*
- I 1 = Arus *output*
- I 2 = Arus *input*
- P1 = Daya *output*
- P2 = Daya *input*
- THD v = (*Total Harmonic Distortion*) harmonisa tegangan
- THD i = (*Total Harmonic Distortion*) harmonisa arus
- $\eta$  = Efisiensi

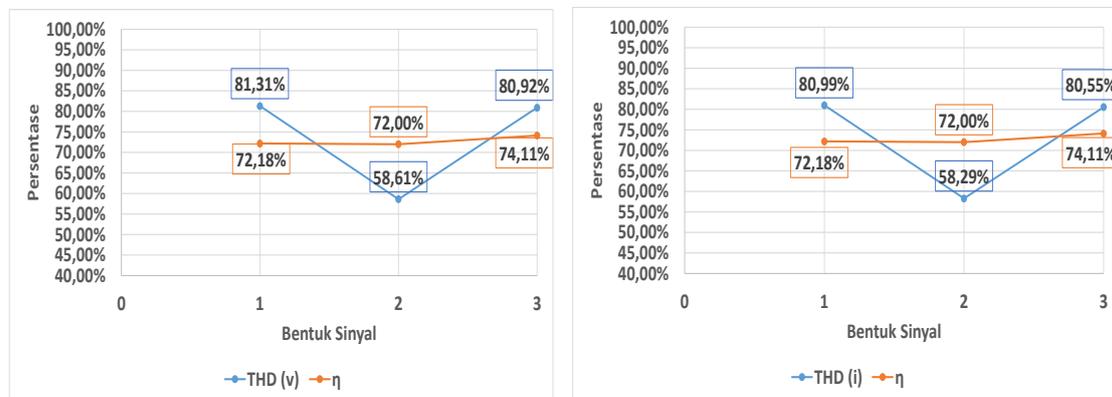
Untuk mengetahui nilai harmonisa terkecil adalah dengan membandingkan setiap hasil data pengukuran. Agar memudahkan dalam perbandingan setiap data, hasil pengukuran data dibuat ke dalam bentuk grafik.

### 3.2 Analisis

Didapatkan setiap data dengan tiga metode penyulutan sebagai berikut :

#### a. Bipolar

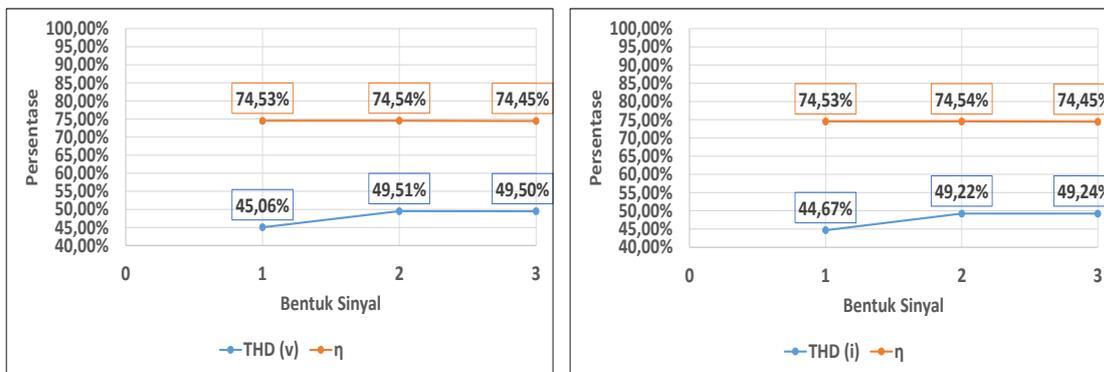
Nilai harmonisa terkecil pada bipolar untuk THD v sebesar 58,61 % pada bentuk gelombang pembawa *sawtooth waveform negative ramp* dan untuk THD i didapatkan nilai harmonisa terkecil sebesar 58,29 % pada bentuk gelombang pembawa yang sama yaitu *sawtooth waveform negative ramp*. Nilai harmonisa terkecil ini didapatkan pada beban 4 dengan variasi modulasi amplitudo (ma) 1,2 dan modulasi frekuensi (mf) 140.



Gambar 8. Nilai Harmonisa Terkecil pada Bipolar

b. Unipolar tipe 1

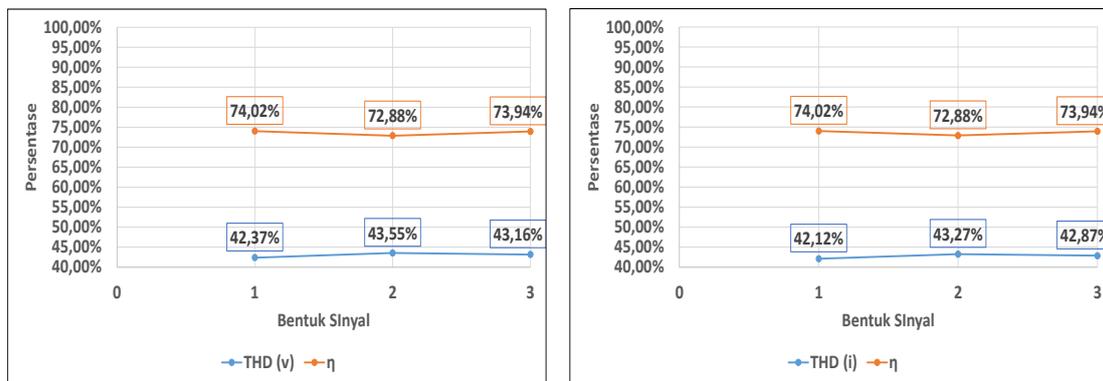
Pada unipolar tipe 1 ini didapatkan nilai harmonisa terkecil THD v sebesar 45,06 % pada bentuk gelombang pembawa *triangle waveform* dan THD i terkecil sebesar 44,67 % pada bentuk gelombang pembawa yang sama yaitu *triangle waveform*.



Gambar 9. Nilai Harmonisa Terkecil pada Unipolar tipe 1

c. Unipolar tipe 2

Pada unipolar tipe 2 ini didapatkan nilai harmonisa tegangan terkecil sebesar 42,37 % pada bentuk gelombang pembawa *triangle waveform* dan nilai THD i terkecil sebesar 42,12 % pada gelombang pembawa *triangle waveform*.



Gambar 10. Nilai Harmonisa Terkecil pada Unipolar tipe 2

Keterangan :

1. *Triangle Waveform*
2. *Sawtooth Waveform Negative Ramp*
3. *Sawtooth Waveform Positive Ramp*

Setelah dianalisis dan dibandingkan terhadap tiga metode penyulutan bipolar, unipolar tipe 1, unipolar tipe 2, untuk nilai harmonisa terkecil sebesar 42,12 % dengan bentuk gelombang pembawa *triangle waveform* didapatkan pada metode penyulutan unipolar tipe 2. Hal ini karena kandungan nilai harmonisa pada pola penyaklaran unipolar SPWM lebih rendah dari pada pola penyaklaran bipolar SPWM yang kandungan nilai harmonisa yang lebih besar [3]. Teknik penghilangan harmonisa dengan membuat program pembangkit sinyal *Pulse Width Modulation* (PWM) pada mikrokontroler dengan pemacu menggunakan tiga metode penyulutan pada simulasi terhadap tiga bentuk gelombang pembawa terbilang dapat meminimalisir kandungan nilai harmonisa pada keluaran inverter satu fasa. Jika dilihat pada hasil keluaran inverter satu

fasa dengan kandungan nilai harmonisa terkecil sebesar 42,12 % ini masih jauh dari standar yang sudah ditetapkan dengan nilai harmonisa tidak boleh lebih dari 5 %. Hal ini dikarenakan inverter yang digunakan tidak menggunakan filter. Mengacu pada penelitian sebelumnya, pemasangan pasif filter dapat meredam ripple dan harmonisa orde tinggi tegangan keluaran dari inverter [1].

## 4. Kesimpulan dan Saran

### 4.1 Kesimpulan

Dari penelitian ini dapat diambil kesimpulan bahwa :

1. Semakin banyak nilai harmonisa yang diikuti sertakan pada gelombang fundamentalnya, maka gelombang akan semakin mendekati gelombang persegi atau gelombang akan berbentuk non sinusoidal yang artinya akan berakibat buruk pada perangkat yang disuplainya.
2. Nilai harmonisa terkecil didapatkan dengan menggunakan bentuk gelombang pembawa *Triangle Waveform* dengan metode penyulutan Unipolar tipe 2 sebesar 42,12 % dan nilai efisiensi terkecil sebesar 65,67% dengan metode dan bentuk gelombang yang sama.
3. Sinyal keluaran inverter ini belum sepenuhnya sinusoidal murni (*pure sinewave*) namun masih berbentuk *Sinusoidal Pulse Width Modulation* (SPWM).

### 4.2 Saran

Adapun saran yang diharapkan untuk penelitian selanjutnya :

1. Pengembangan teknik PWM agar sinyal keluaran inverter benar – benar murni sinyal sinus (*pure sine wave*).
2. Penggunaan filter untuk meredam ripple dan harmonisa orde tinggi.
3. Perancangan inverter berbasis *free energy*.

## Daftar Pustaka

- [1]. A.Rusdiyanto, B.Susanto, “Perancangan Inverter Sinusoida 1 Fasa dengan Aplikasi Pemrograman Rumus Parabola dan Segitiga Sebagai Pembangkit Pulsa PWM,” Jurnal Informatika, Vol II, No 2, Nopember, ISSN : 1979-8059, 2008
- [2]. Anuja Namboodiri, Harshal S. Wani, “Unipolar and Bipolar PWM Inverter” IJIRST-International Journal for Innovative Research in Science & Technology|Volume 1 | Issue 7 | December 2014, ISSN (online) : 2349-6010
- [3]. N. Mohan and T. M. Undeland, Power Electronics: Converters, Applications, and Design, 2nd ed. United States of America: John Wiley and Sons, Inc., 1989.
- [4]. Ardyan Saputra, Ainur Rofiq, ST.MT, Ir.Gigih Prabowo,MT, One Setiaji, ST, “Rancang Bangun Inverter Satu Phase Sebagai Penggerak Motor Induksi Satu Phase” Politeknik Elektronika Negeri Surabaya, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya 2009