

# Desain dan Analisis Inverter Satu Fasa dengan Menggunakan Metode SPWM Berbasis Arduino

Khairul Azmi <sup>#1</sup>, Ira Devi Sara <sup>#2</sup>, Syahrizal <sup>#3</sup>

<sup>#</sup>*Teknik Elektro dan Komputer, Universitas Syiah Kuala  
Jalan Tengku Syech Abdur Rauf No. 7, Darussalam, Banda Aceh, Indonesia*

<sup>1</sup>khairulazmi539@gmail.com

<sup>3</sup>syahrizal.ee@unsyiah.ac.id

<sup>2</sup>ira.sara@unsyiah.ac.id

**Abstrak**— Topologi dan teknik pensaklaran rangkaian inverter menentukan bentuk gelombang keluarannya. Agar tegangan keluaran inverter dapat digunakan untuk menggerakkan beban seperti motor listrik, maka tingkat harmonisanya harus dibawah 10%. Artikel ini bertujuan untuk menghasilkan sebuah inverter satu fasa dengan gelombang keluarannya mendekati sinusoidal murni atau sinyal sinus termodifikasi dengan THD tegangan dibawah 10%. Metode pensaklaran yang digunakan adalah SPWM atau *Sinusoidal Pulse Width Modulation* dengan topologi rangkaian *full bridge*. Sistem pensaklarannya dikendalikan oleh Arduino Uno. Berdasarkan hasil pengujian didapatkan yaitu inverter hasil perancangan menghasilkan tegangan keluaran rms sebesar 11,3 Volt dengan tegangan masukan DC 12 Volt. Inverter yang dihasilkan memiliki efisiensi sebesar 90,23% dan THD tegangan yang dihasilkan sebesar 8,9%. Dengan demikian, dapat disimpulkan inverter satu fasa ini dapat digunakan untuk aplikasi pada motor AC satu fasa.

**Kata Kunci**— Inverter, SPWM, THD Tegangan, Arduino Uno, MOSFET.

## I. PENDAHULUAN

Pemanfaatan energi listrik dari sumber energi terbarukan seperti energi angin, *fuel cell*, sel surya, dan lain sebagainya sudah sangat berkembang saat ini di Indonesia. Sayangnya sebagian besar dari energi yang dihasilkan dari pembangkit jenis ini adalah masih dalam bentuk DC sementara beban listrik yang harus dilayani kebanyakan mengkonsumsi energi dalam bentuk AC. Untuk itu diperlukan suatu konverter yang dapat mengubah energi DC menjadi AC. Konverter ini disebut juga sebagai inverter.

Inverter adalah sebuah peralatan elektronika yang mampu mengubah sumber tegangan searah/DC menjadi sumber tegangan bolak-balik/AC dengan besar magnitude dan frekuensi yang diinginkan. Adapun bentuk gelombang output yang dihasilkan dari inverter umumnya dapat dibagi menjadi 3 jenis, yaitu segi empat (*square wave*), sinyal sinus termodifikasi (*modified sine wave*), dan sinyal sinus murni (*pure sine wave*).

Salah satu teknik untuk mendapatkan gelombang sinus murni dari konversi gelombang DC adalah dengan memodulasi lebar sinyal pulsa gelombang DC tersebut. Teknik ini disebut dengan *sinusoidal pulse width modulation* (SPWM). Salah satu penelitian yang telah menerapkan metode SPWM untuk mendapatkan gelombang AC murni yaitu pada penelitian [1], dimana besar gelombang AC yang diharapkan diperoleh dengan menggunakan inverter dengan bantuan *boost converter* sebagai penaik tegangan dari sumber DC. Hasilnya didapatkan yaitu dengan penggunaan metode SPWM dapat mengurangi harmonisa terutama harmonisa orde rendah sampai di bawah 10%.

Nilai THD ini telah memenuhi standar IEEE: 519-1992 yang menyatakan bahwa nilai THD yang diperbolehkan pada aplikasi *dedicated system* (khusus untuk beban pengujian konverter itu sendiri) yaitu sebesar 10% sedangkan pada standar IEEE: 519-2014 yaitu sebesar 8% [2]. Apabila nilai THD masih berada di atas nilai standar tersebut, maka peralatan elektronik tersebut masih tergolong masih memiliki nilai THD yang cukup tinggi.

Oleh karena itu, pada penelitian ini akan dirancang sebuah inverter satu fasa *full bridge* dengan metode penyaklaran SPWM berbasis mikrokontroler ATmega328 + Arduino Uno dengan nilai THD tegangan dibawah 10% dan dapat digunakan untuk aplikasi pada motor listrik.

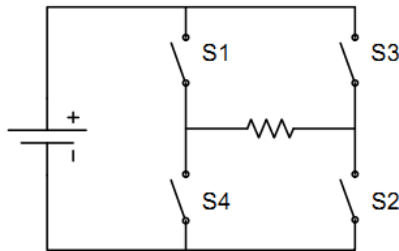
## II. DASAR TEORI

### A. Inverter

Inverter adalah sebuah perangkat yang bisa mengkonversikan tegangan searah/DC ke tegangan bolak-balik/AC dengan besar tegangan dan frekuensi yang diinginkan. Sumber tegangan input inverter bisa berupa baterai, PV, accumulator/aki, dan sumber tegangan DC lainnya. Adapun output dari inverter adalah berupa tegangan AC 220 volt atau 120 volt dan memiliki frekuensi output 50 Hz ataupun 60 Hz.

Untuk memperoleh tegangan output yang bervariasi, dapat dilakukan dengan membuat variasi tegangan input DC dan menjaga penguatan inverter supaya bernilai tetap. Sebaliknya, apabila tegangan input DC tidak dikendalikan, maka dapat diperoleh tegangan output yang bervariasi dengan cara memvariasikan penguatan daripada inverter. Penguatan inverter dapat diartikan dengan rasio perbandingan antara tegangan output AC terhadap tegangan input DC [3]. Variasi dari penguatan inverter ini biasanya didapatkan dengan cara pengontrolan melalui PWM (*Pulse Width Modulation*) di dalam inverter.

*Full bridge* inverter memiliki konfigurasi seperti ditunjukkan pada Gambar 1 berikut. Dimana memiliki 4 buah *switching device* yang mana dua buah *switching device* pada setiap terminal/kaki. Dalam satu kaki/terminal, *switching device* ini hanya boleh ON satu buah *switching device*, karena jika tidak maka akan terjadi *short-circuit* [4].



Gambar 1 *Full bridge* inverter [4]

Adapun prinsip kerja *full bridge* inverter adalah jika saklar  $S_1$  dan  $S_2$  dalam keadaan ON, maka arus akan mengalir ke beban R dari arah kiri ke kanan, sehingga terbentuklah gelombang pada periode setengah gelombang yang pertama. Selanjutnya jika saklar  $S_3$  dan  $S_4$  dalam keadaan ON, maka arus akan mengalir ke beban R dari arah kanan ke kiri dan terbentuklah gelombang pada setengah periode kedua.

TABEL I  
TEORI FULL BRIDGE INVERTER SATU FASA

Saklar ON	Saklar OFF	Tegangan Keluaran ( $V_o$ )
$S_1$ dan $S_2$	$S_3$ dan $S_4$	$+ V_o$
$S_3$ dan $S_4$	$S_1$ dan $S_2$	$- V_o$
$S_1$ dan $S_3$	$S_2$ dan $S_4$	OFF
$S_2$ dan $S_4$	$S_1$ dan $S_3$	OFF

Adapun tegangan keluaran rms *square wave* inverter dapat dicari dengan rumus berikut [12]:

$$V_o = \left( \frac{2}{T_o} \int_0^{T_o/2} V_s^2 dt \right)^{1/2} = V_s \quad (1)$$

dimana:

$V_o$  adalah tegangan output inverter

$T_o$  adalah perioda awal

$V_s$  adalah tegangan sumber

Sedangkan untuk inverter yang menggunakan teknik SPWM (akan dibahas selanjutnya), maka tegangan output rms yang dihasilkan dapat dirumuskan [12]:

$$V_o = V_s \left( \sum_{m=1}^{2p} \frac{\delta_m}{\pi} \right)^{1/2} \quad (2)$$

dimana:

$V_o$  adalah tegangan output rms

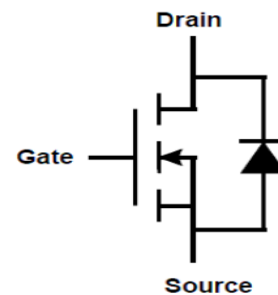
$V_s$  adalah tegangan sumber

$p$  adalah jumlah pulsa dalam setengah siklus

$\delta$  adalah lebar setiap pulsa

### B. MOSFET

MOSFET atau *Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor* adalah perangkat semikonduktor tegangan terkontrol yang berfungsi untuk mengontrol aliran dari arus. Adapun *power MOSFET* atau MOSFET daya adalah MOSFET spesifik yang digunakan untuk menangani beberapa level daya tertentu. Perangkat ini memiliki kelebihan seperti kecepatan switching yang tinggi dan efisiensi yang bagus pada level tegangan rendah. MOSFET N-Channel ditunjukkan pada gambar berikut:



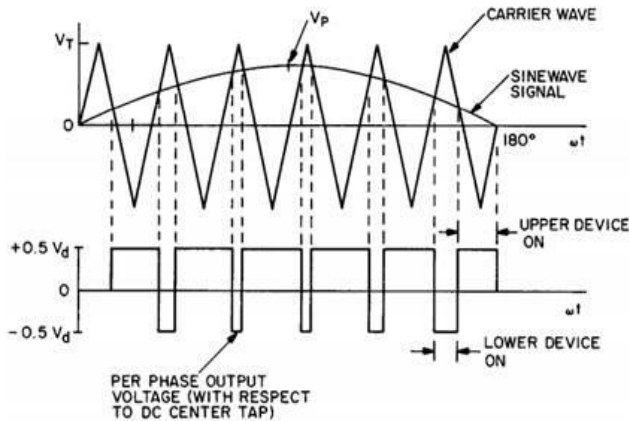
Gambar 2 MOSFET N-channel [5]

Pemilihan dari MOSFET perlu dilakukan mengingat setiap jenis MOSFET memiliki karakteristik yang berbeda-beda. Dalam memilih MOSFET, ada beberapa parameter yang menjadi acuan, yaitu [6]:

- $R_{DS(on)}$  adalah resistansi antara *drain* dan *source* ketika MOSFET berada dalam posisi ON.
- $I_{D(max)}$  adalah arus maksimum yang dapat dilalui kaki *drain* ke kaki *source*.
- PD (*Power Dissipation*) adalah daya maksimum yang dapat didisipasikan oleh MOSFET.
- EA (*Avalanche Energy*) adalah batasan MOSFET yang dapat menampung energi saat terjadi *avalanche*. *Avalanche* adalah kondisi dimana tegangan *Drain-Source* maksimum dilewati.
- Peak diode recovery ( $dv/dt$ ) adalah parameter yang menyatakan seberapa cepat dioda instrinsik mampu berubah keadaannya dari *off* ke *on* sehingga waktu yang dibutuhkan adalah  $t =$  tegangan balik/*peak diode recovery*.
- $V_{(BR)DSS}$  adalah menyatakan tegangan maksimum yang diperbolehkan antara kaki *drain* dan *source* ketika MOSFET dalam keadaan OFF.
- $V_{GS(TH)}$  adalah tegangan *gate-source* minimum yang menyebabkan MOSFET mulai ON. Untuk penggunaan MOSFET sebagai saklar,  $V_{GS}$  butuh tegangan yang jauh lebih tinggi dari  $V_{GS(TH)}$ .

C. Sinusoidal Pulse Width Modulation

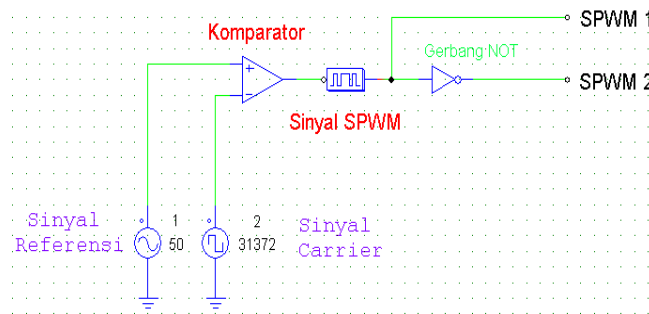
SPWM atau *Sinusoidal Pulse Width Modulation* merupakan suatu teknik memanipulasi lebar pulsa dengan cara membandingkan dua buah sinyal yang berbeda, yaitu sinyal referensi (biasanya sinyal sinusoidal) dan sinyal *carrier* (biasanya sinyal segitiga) [14]. Dengan demikian didapatkan sebuah lebar pulsa yang bervariasi sehingga harmonisnya bisa diminimalisir bahkan dihilangkan. SPWM ditunjukkan pada gambar berikut:



Gambar 3 Konsep dasar SPWM [7]

Pada gambar 3 di atas dapat dijelaskan bahwa gambar (a) adalah gelombang merah adalah gelombang sinyal referensi (sinusoidal) dan gelombang hitam adalah gelombang sinyal *carrier* (segitiga) yang dibandingkan. Gambar (b) adalah gelombang hasil perpotongan dari sinyal referensi dan *carrier* ketika proses *switching* dimana  $S_1$  on dan  $S_2$  off atau  $S_1$  off dan  $S_2$  on. Gambar (c) adalah gelombang hasil yang perpotongan dari sinyal referensi dan *carrier* dalam siklus positif dan negatif [7].

Dalam pengaplikasiannya, sinyal SPWM dapat dibangkitkan dalam dua buah metode, yaitu secara analog dan secara digital [8]. Metode analog yaitu dengan cara membangkitkan sinyal referensi (berupa sinyal sinusoidal) dengan sinyal *carrier* (berupa sinyal segitiga) secara terpisah. Berikut gambarnya:



Gambar 4 Pembangkitan SPWM secara analog

Berdasarkan gambar 4 di atas, dapat dilihat bahwa pembangkitan SPWM secara analog, seperti yang telah dijelaskan sebelumnya, yaitu dengan cara menggunakan

komponen-komponen elektronika analog, seperti amplifier, resistor, kapasitor atau dengan menggunakan sebuah IC pembangkit sinyal tertentu dan diperlukan komparator sebagai pembanding kedua sinyal tersebut dan setiap sinyal juga membutuhkan sebuah *power supply* untuk menjalankannya.

Adapun metode digital yaitu dengan menggunakan bantuan mikrokontroler. Dalam metode ini digunakan beberapa baris *coding (source code)* tertentu untuk membangkitkan sinyal SPWM secara langsung tanpa perlu membangkitkan dua buah sinyal seperti halnya pada metode analog. Metode ini lebih dipilih dalam penelitian ini dan hampir banyak sekali digunakan dalam semua jenis *pure sine wave inverter* yang tersedia di *market* karena metode ini lebih murah dan cukup mudah dalam pengaplikasiannya.

Dalam teknik pembangkitan sinyal SPWM dengan menggunakan mikrokontroler pada dasarnya mengubah setengah perioda gelombang sinus menjadi beberapa buah pulsa yang memiliki lebar pulsa berbeda-beda yang mengikuti besar dari tegangan gelombang sinus. Contohnya, dalam gelombang sinus, tegangannya minimum dimulai dari sudut  $0^\circ$  kemudian mulai naik sampai ke puncaknya, yaitu  $90^\circ$ . Kemudian amplitudo tegangannya mulai turun kembali (sama seperti sebelumnya) namun dalam posisi sebaliknya, yaitu dari  $90^\circ$  turun kembali ke  $0^\circ$  [8],[9].

Berikut adalah beberapa langkah dalam proses pembangkitan sinyal SPWM dengan mikrokontroler:

- Menentukan frekuensi dan perioda dari gelombang referensi (sinus) yang diinginkan. Dalam hal ini dapat digunakan persamaan berikut:

$$T = 1/f \tag{3}$$

dimana:

T adalah perioda

f adalah frekuensi gelombang sinus.

- Menentukan perioda untuk setiap pulsa SPWM. Perioda setiap pulsa SPWM erat kaitannya dengan frekuensi *carrier*, maka dari itu perlu ditentukan frekuensi sinyal *carrier* yang dipakai. Hal ini dapat ditentukan dengan rumus berikut [13]:

$$\text{Output carrier frequency} = \frac{\text{crystal frequency}}{(\text{prescaler} \times 510)} \tag{4}$$

dimana:

*crystal frequency* adalah frekuensi *clock* mikrokontroler yang digunakan  
*prescaler* adalah faktor pembagi *timebase* pada mikrokontroler

- Menentukan jumlah pulsa SPWM yang dihasilkan.
- Menentukan *duty cycle* per pulsa PWM. Hal ini dapat dilakukan dengan menggunakan rumus berikut:

$$y = A \sin(\theta) \tag{5}$$

dimana:

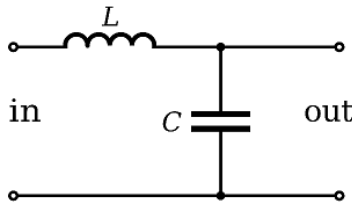
y adalah lebar *duty cycle* per pulsa PWM

A adalah amplitudo gelombang pulsa

- Konversi nilai  $y$  ke dalam *duty cycle* PWM. Nilai-nilai dari *duty cycle* hasil perhitungan di atas akan dikalikan dengan nilai maksimum dari *duty cycle* digital yaitu 255. Namun, untuk menghindari *on-off* yang terlalu berdekatan, maka diambil maksimum *duty cycle* yaitu 250. Nilai-nilai inilah yang akan menjadi tabel sinus dalam *main program*.

D. LC Low Pass Filter

LC Filter atau biasa disebut juga dengan LC Circuit, *resonant circuit*, *tank circuit*, atau *tuned circuit* adalah rangkaian elektronika yang terdiri dari sebuah induktor (L) dan sebuah kapasitor (C) yang dihubungkan secara bersama. LC Filter ini biasanya digunakan untuk beberapa buah pengaplikasian yaitu seperti untuk membangkitkan sebuah sinyal dengan frekuensi tertentu, atau dapat juga berfungsi seperti *band pass filter*, yaitu melewatkan sebuah frekuensi dengan *range* tertentu dan memblokir frekuensi yang diluar *range* tersebut. Berikut adalah gambar rangkaian LC Filter:



Gambar 5 LC filter [10]

LC Filter sebagai *resonant circuit* yaitu berfungsi untuk menghilangkan *noise* pada suatu rangkaian sehingga dapat dihasilkan bentuk sinyal yang lebih bagus/*smooth*. Resonant circuit dapat dicari dengan menggunakan rumus berikut [11]:

$$f_{\text{cut-off}} = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \tag{6}$$

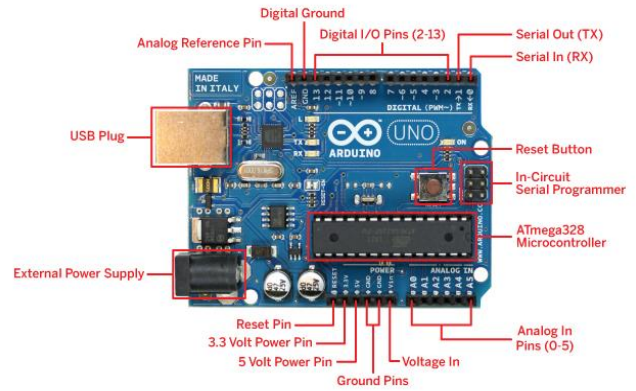
dimana:

- $f_{\text{cut-off}}$  adalah frekuensi *cut-off* (Hz)
- $\pi$  adalah nilai phi yaitu 3,141592653
- L adalah nilai dari induktor (H)
- C adalah nilai dari kapasitor (F)

E. Arduino Uno R3

Arduino Uno adalah sebuah board mikrokontroler berbasis ATmega328. Memiliki 14 pin input dari output digital dimana 6 pin input tersebut dapat digunakan sebagai output PWM dan 6 pin input analog, 16 MHz osilator kristal, koneksi USB, jack power, ICSP header, dan tombol reset. Untuk mendukung mikrokontroler agar dapat digunakan, cukup menghubungkan Board Arduino Uno ke komputer dengan menggunakan kabel USB atau listrik dengan AC yang-ke adaptor-DC atau baterai untuk menjalankannya.

Pada gambar 6 berikut adalah gambar dari mikrokontroler Arduino Uno R3:



Gambar 6 Arduino uno R3 [12]

III. METODE PENELITIAN

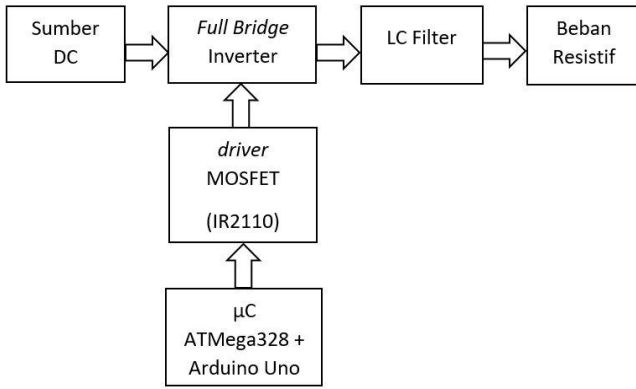
Langkah awal dari pembuatan prototype inverter satu fasa ini adalah memilih alat dan bahan sebagai spesifikasi dari perancangan inverter. Dalam hal ini dipilihlah MOSFET tipe IRFP460 sebagai *switching device*, IC IR2110 + *bootstrap* sebagai MOSFET *driver* agar MOSFET mampu bekerja sesuai dengan topologi rangkaian *full bridge*. Langkah berikutnya yaitu melakukan perancangan inverter satu fasa yang dibuat menggunakan sebuah *software* tertentu yang menjadi acuan dalam pembuatan alat selanjutnya. Kemudian dilanjutkan kepada tahap pembuatan alat, pengujian, dan analisis. Di dalam tahap pembuatan, inverter ini digunakan mikrokontroler ATmega328 + *board* Arduino Uno sebagai pembangkit sinyal SPWM. Untuk bagian LC Filter, berdasarkan hasil perhitungan, digunakan sebuah *ferrite core* induktor sebesar 2,2 mH dan sebuah kapasitor non polaritas sebesar 47 nF. LC Filter ini berfungsi sebagai rangkaian filter gelombang keluaran inverter agar dihasilkan bentuk gelombang yang lebih halus/*smooth* yang mendekati kepada gelombang sinusoidal murni dan meminimalisir tingkat harmonisa yang dihasilkan oleh inverter.

Berikut adalah spesifikasi dari inverter yang akan dibuat:

TABEL II  
SPESIFIKASI PEMBUATAN INVERTER

Spesifikasi	Besaran
Tegangan input	12 VDC
Tegangan output	12 VDC
Arus input	5 Ah
Daya inverter	60 Watt
Frekuensi carrier	31372 Hz
Frekuensi referensi	50 Hz
THD	< 10%

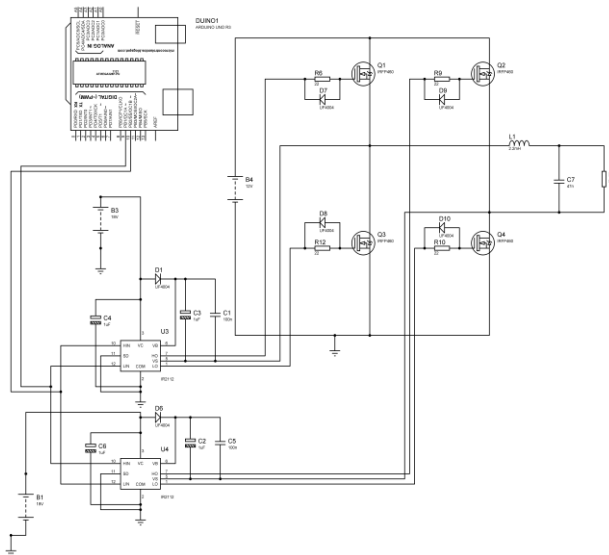
Untuk diagram blok dari pembuatan prototype inverter satu fasa ini dapat dilihat Gambar 7 berikut ini.



Gambar 7 Diagram blok perancangan SPWM inverter

**A. Pembuatan Simulasi SPWM Inverter**

Rangkaian inverter yang dibuat menggunakan simulasi dapat dilihat pada Gambar 8 berikut.



Gambar 8 Rangkaian SPWM inverter satu fasa pada simulasi

Pada gambar 8 di atas, dapat dilihat pembuatan rangkaian inverter satu fasa dengan metode SPWM pada simulasi. Rangkaian tersebut terdiri dari rangkaian *full bridge* inverter satu fasa, rangkaian pembangkit sinyal SPWM, rangkaian LC Filter, dan beban resistif.

**B. Pengujian Simulasi Inverter**

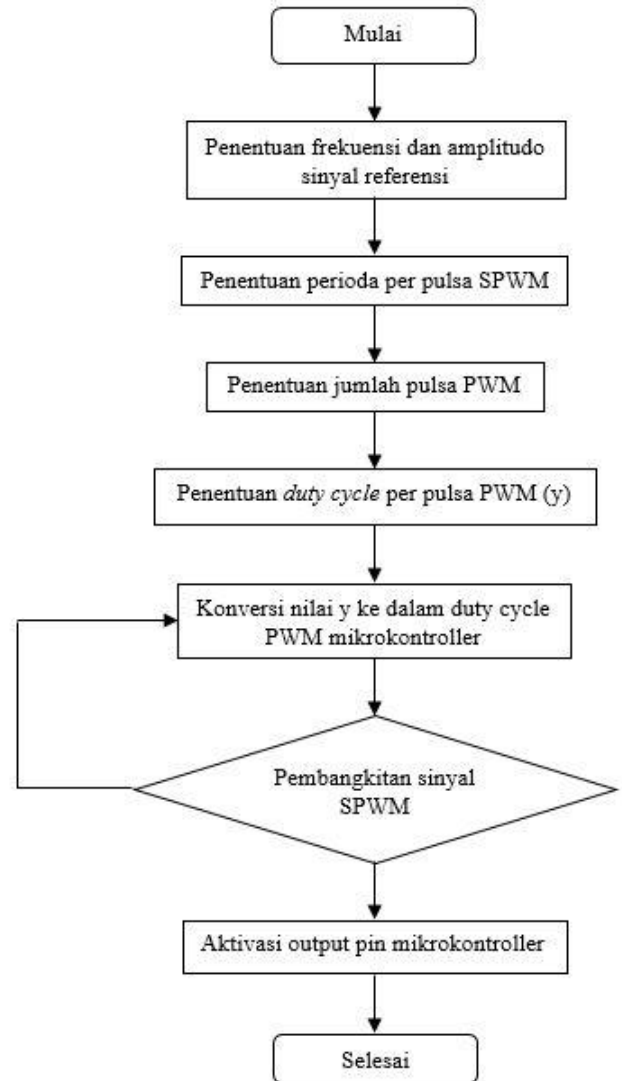
Setelah semua perancangan simulasi selesai, maka selanjutnya adalah tahap pengujian. Pengujian simulasi ini menggunakan suatu *software*. Pada tahapan ini, simulasi diuji bentuk gelombang keluaran SPWM, gelombang keluaran driver, gelombang keluaran inverter, dan gelombang keluaran inverter setelah penambahan filter.

**C. Pembuatan Rangkaian Pengendali Inverter**

Rangkaian pengendali inverter ini terdiri dari rangkaian *driver* MOSFET dan mikrokontroler. Untuk rangkaian *driver*

MOSFET berfungsi untuk mengendalikan kerja dari MOSFET yang juga haruslah sesuai dengan topologi dari *full bridge* inverter tentunya. Rangkaian ini juga berfungsi sebagai *amplifier* dari tegangan keluaran Arduino Uno yaitu dari 5 V ke  $\pm 10$  V karena MOSFET bekerja pada tegangan *gate* MOSFET sekitar  $\pm 10$  V. Rangkaian *driver* MOSFET ini terdiri dari IC IR2110 dan rangkaian *bootstrap*. Rangkaian *bootstrap* berfungsi sebagai *system minimum* dari driver agar bisa bekerja dengan baik. Adapun perhitungan dari rangkaian *bootstrap* didapatkan dari perhitungan *online software* dari internet dengan memasukkan beberapa parameter yang dibutuhkan.

Pada penelitian ini menggunakan Mikrokontroler ATmega328 + Arduino Uno *board*. Mikrokontroler ini berfungsi sebagai pembangkit sinyal SPWM untuk masuk ke rangkaian *driver* MOSFET sebelum masuk ke rangkaian *full bridge* inverter. Seperti yang telah tersebut sebelumnya yaitu pada langkah pembangkitan SPWM secara digital dengan bantuan mikrokontroler, maka dapatlah dibuat flowchart sebagai berikut:



Gambar 9 Flowchart pembangkitan SPWM dengan arduino uno

D. Pembuatan Rangkaian Full Bridge Inverter

Rangkaian inverter satu fasa berfungsi sebagai rangkaian utama dalam mengubah sumber tegangan DC menjadi sumber tegangan AC. Rangkaian ini terdiri dari 4 buah MOSFET IRFP460 yang tersusun sedemikian rupa membentuk topologi *full bridge* yang dibantu oleh sebuah resistor 20Ω dan dioda UF4007 sehingga sinyal SPWM yang menuju ke rangkaian bisa lebih halus/*smooth*.

E. Pembuatan LC Filter

Rangkaian LC Filter berfungsi sebagai pem-filter harmonisa tegangan dan arus keluaran dari inverter. Rangkaian ini terdiri dari sebuah induktor 2,2 mH dan sebuah kapasitor non polaritas 47 nF yang tersusun secara paralel. Kemudian hasil keluaran filter ini, akan dihubungkan dengan sebuah beban resistif 5Ω untuk bagian pengujian beban.

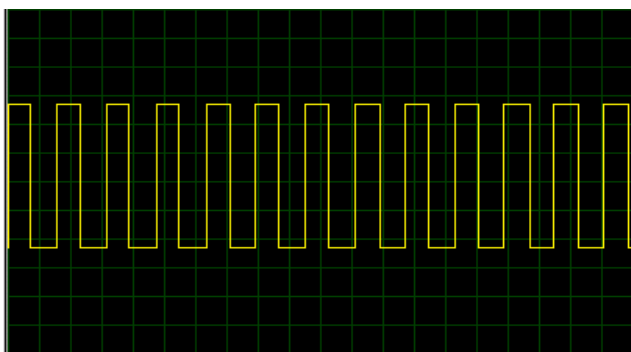
F. Pengujian dan Analisis Prototipe Inverter

Setelah semua perancangan selesai, maka selanjutnya adalah tahap pengujian prototipe. Pada tahap ini, prototipe diuji bentuk gelombang yang dihasilkan, gelombang keluaran *driver* MOSFET, tegangan keluaran inverter, tegangan keluaran trafo, dan THD tegangan dari inverter yang dihasilkan. Kemudian dalam tahapan analisis, yaitu mengukur seberapa jauh *error* antara simulasi dengan hasil perancangan, bagaimana pengaruh penambahan filter, berapa efisiensi dari inverter, bagaimana perbandingan daya input dan output yang dihasilkan, serta analisis pengujian variasi beban pada inverter.

IV. HASIL DAN ANALISIS

A. Hasil Pengujian Simulasi

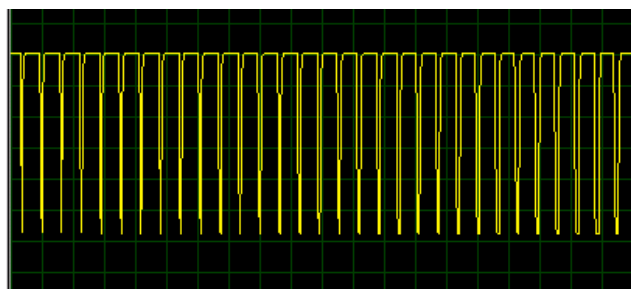
Berdasarkan hasil simulasi didapatkan beberapa data sebagai berikut ini.



Gambar 10 Gelombang SPWM

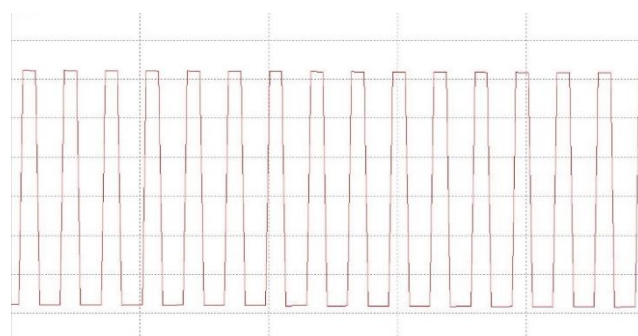
Berdasarkan gambar 10 di atas, gambar gelombang SPWM yang dibangkitkan oleh mikrokontroler Arduino Uno. Seperti yang telah disebutkan sebelumnya, bahwa dengan mikrokontroler Arduino Uno bisa langsung didapatkan gelombang hasil SPWM tanpa harus membangkitkan dua

buah sinyal berbeda. Hal ini didapatkan dengan menggunakan *source code* untuk membangkitkan sinyal SPWM.



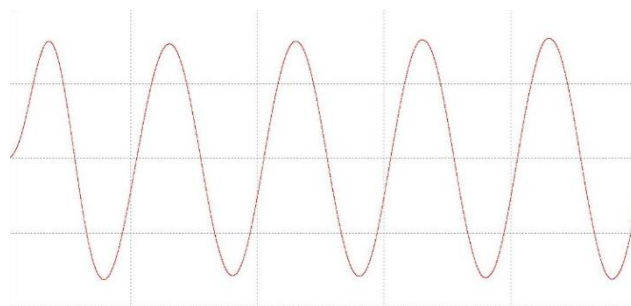
Gambar 11 Gelombang output *driver* MOSFET

Gambar 11 di atas merupakan gambar keluaran *driver* MOSFET yaitu IC IR2110. Tampak di atas bahwa sinyal warna kuning yang dihasilkan berbentuk PWM sama seperti pada gelombang output SPWM.



Gambar 12 Gelombang output inverter

Gambar 12 di atas merupakan gelombang keluaran dari inverter sebelum penambahan filter. Tampak bahwa gelombang yang dihasilkan masih berbentuk pulsa-pulsa PWM yang bervariasi *duty cycle* nya.

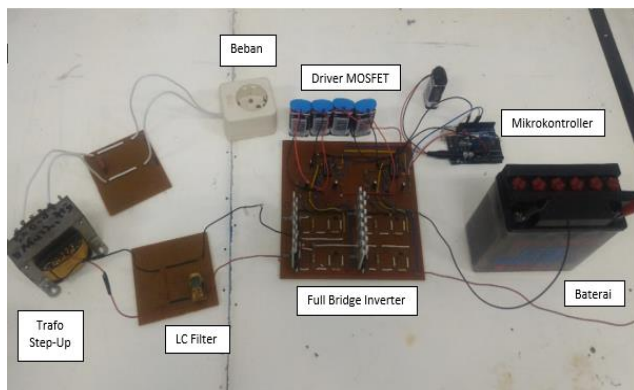


Gambar 13 Gelombang output LC filter

Gambar 13 di atas merupakan gelombang keluaran dari LC filter. Berdasarkan hasil yang diperoleh, didapatkan bahwa gelombang keluaran sudah berbentuk gelombang sinus termodifikasi yang juga mendekati kepada bentuk gelombang sinyal sinus murni.

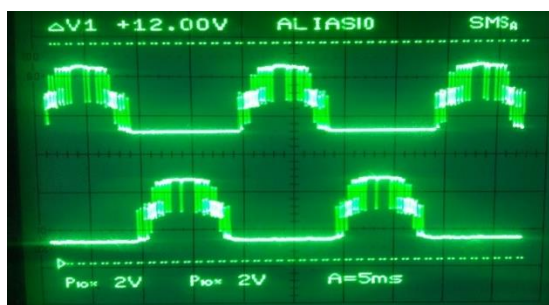
**B. Hasil Pengujian Alat**

Berdasarkan hasil pengujian prototype dari inverter didapatkan hasil sebagai berikut.



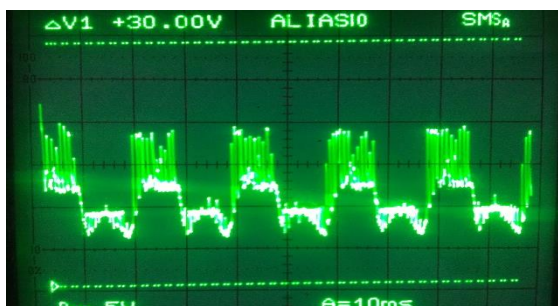
Gambar 14 Hasil perancangan inverter

Gambar 14 di atas merupakan hasil perancangan inverter satu fasa dengan metode pensaklaran SPWM berbasis Arduino. Rangkaian terdiri dari rangkaian *full bridge* inverter, rangkaian *driver* MOSFET dan mikrokontroler Arduino Uno, LC filter, dan trafo step-up, dan *socket* beban untuk lampu.



Gambar 15 Gelombang SPWM

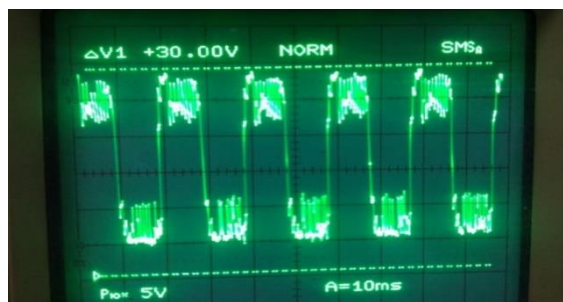
Gambar 15 di atas merupakan hasil gelombang SPWM dari Arduino Uno yang terdiri dari dua buah pin. Gelombang yang atas merupakan pin 9 untuk setengah perioda positif dan gelombang yang bawah merupakan pin 10 untuk setengah perioda negatif.



Gambar 16 Gelombang keluaran driver IR2110

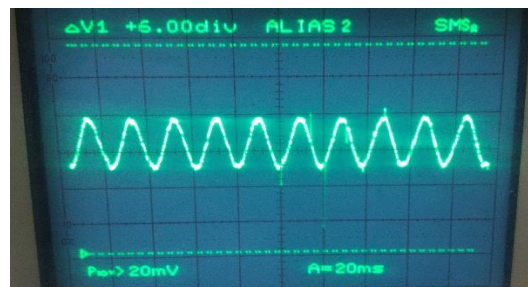
Pada gambar 16 di atas adalah gambar gelombang output dari driver MOSFET IR2110 yang masuk ke *gate* dari

MOSFET. Disini gelombang mengalami distorsi sehingga tidak sama seperti pada simulasi.



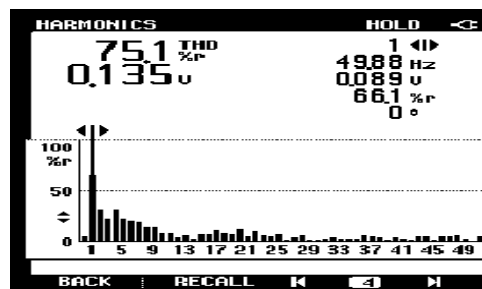
Gambar 17 Gelombang keluaran inverter

Gambar 17 di atas merupakan gelombang keluaran inverter. Disini gelombang keluaran inverter yang dihasilkan sudah dalam bentuk gelombang AC namun masih dalam bentuk pulsa-pulsa PWM yang memiliki distorsi sehingga tidak sama persis seperti pada simulasi.



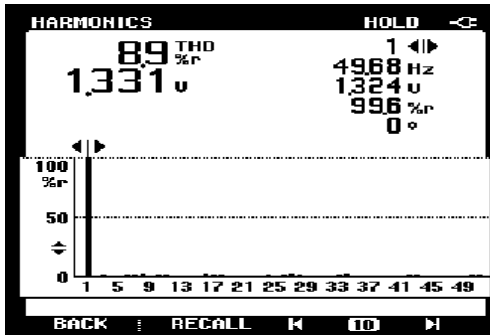
Gambar 18 Gelombang keluaran filter

Gambar 18 merupakan gelombang hasil keluaran dari LC Filter. Dimana disini gelombang sudah berbentuk sinyal sinus termodifikasi dengan distorsi yang lebih rendah.



Gambar 19 THD tegangan sebelum difilter

Berdasarkan gambar 19 di atas, maka didapatkan hasil pengujian THD tegangan yaitu sebesar 75,1%. Hal ini merupakan tergolong kepada tingkat harmonisa yang sudah tinggi dan dapat mengganggu rangkaian yang dibuat.



Gambar 20 THD tegangan sesudah difilter

Berdasarkan gambar 20 di atas, yaitu hasil pengujian THD tegangan didapatkan hasil penurunan tegangan dari sebelumnya yaitu 75,1% menuju kepada 8,9%. Hal ini sudah tergolong kepada peningkatan performansi inverter dan nilai THD tegangan ini sudah sesuai dengan tujuan dari artikel.

C. Hasil Pengujian Beban

Pada hasil pengujian beban, inverter diuji dengan dua tahap, yaitu dengan beban R dan beban variasi. Berikut adalah hasil pengujiannya:

TABEL III  
HASIL PENGUJIAN INVERTER (TANPA TRAF0) BEBAN R

No	Besar R	Pengujian				Pin	Pout	Eff
		Vi	Ii	Vo	Io			
1	5Ω	12	2.16	10.83	2.16	25.9	23.4	90.2
2	5Ω	12	1.13	11.38	1.13	13.5	12.8	94.7
3	5Ω	12	0.77	11.58	0.77	9.2	8.9	96.4

Berdasarkan tabel 3 didapatkan bahwa semakin besar nilai resistor yang diuji, maka semakin besar rendah arus keluaran yang dihasilkan. Hal ini sesuai dengan hukum Ohm dimana arus berbanding terbalik dengan nilai tahanan. Efisiensi inverter yang dihasilkan seiring perubahan nilai R juga ikut meningkat sampai ke 96%. Nilai efisiensi terbesar dari hasil pengujian beban R dihasilkan pada saat tahanan 15Ω yaitu sebesar 96,4% sedangkan nilai efisiensi terendah dihasilkan pada saat tahanan 5Ω yaitu sebesar 90,2%.

Pada pengujian ini, inverter diuji dengan variasi antara beban resistif, induktif, dan kapasitif. Berdasarkan hasil pengujian didapatkan data seperti berikut:

TABEL IV  
HASIL PENGUJIAN INVERTER (TANPA TRAF0) BEBAN VARIASI

Jenis Beban	Pengujian				Cos phi	Po	Pi	Eff
	Vi	Ii	Vo	Io				
Resistif 5Ω	12	2.1	10.8	2.1	1	26	23	90.2
Induktif 5Ω	12	1.5	8.5	1.5	0.9	19	13	70
Kapasitif 5Ω	12	1.4	6.1	1.4	0.7	18	9	50

Berdasarkan tabel 4 di atas, dapat dilihat bahwa efisiensi inverter paling besar yaitu pada saat diuji dengan beban resistif sebesar 90,2% sedangkan efisiensi inverter yang paling rendah yaitu ketika diuji dengan beban kapasitif

sebesar 50%. Untuk efisiensi rata-rata dari beban bervariasi didapatkan yaitu sebesar 70,08%.

V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, nilai tegangan rata-rata yang dihasilkan oleh inverter yang telah dirancang adalah 11,3 Volt dengan gelombang keluaran berupa sinyal sinus termodifikasi dengan harmonisa tegangan yang dihasilkan yaitu 8,9%. Hal ini sudah sesuai dengan tujuan daripada artikel.

Berdasarkan hasil pengujian tegangan keluaran inverter dilakukan pada simulasi dan pengujian alat, didapatkan hasil tegangan keluaran yang tidak terlalu jauh berbeda antara simulasi dengan alat yaitu dengan error sekitar 4,23%.

Berdasarkan hasil pengujian THD pada alat dengan menggunakan alat ukur FLUKE, didapatkan penurunan THD tegangan dari 75,1% ke 8,9%. Hal ini sudah sesuai dengan standar IEEE: 519-1992 untuk pengujian khusus beban konverter yaitu 10% dan juga sudah mendekati kepada standar IEEE: 519-2014 yaitu 8%.

Berdasarkan hasil pengujian beban pada inverter dengan memvariasikan nilai beban yang diuji pada inverter juga ikut mempengaruhi efisiensi yang dihasilkan oleh inverter.

REFERENSI

- [1] Lalu Riza Aliyan, Rini Nur Hasanah, M. Aziz Muslim, "Design of Inverter with Less Harmonics using Buck-Boost Converter and SPWM Method," dalam *International Conference on Electrical Engineering, Computer Science and Informatics*, Yogyakarta, 2014.
- [2] C. C. C. C. Dr John Cheng, "IEEE Standard 519-2014: Compliances, Updates, Solutions, and Case Studies," Schneider Electricity, France, 2014.
- [3] R. Safitri, "Desain Sinkronisasi Inverter pada Grid Satu Fasa Metode Zero Crossing," Universitas Syiah Kuala, Banda Aceh, 2016.
- [4] Aswardi, "Konverter DC-AC 3 Fasa (Three Phase Inverter) Elektronika Daya," Universitas Negeri Padang, Padang, 2009.
- [5] W. A. Hamed, "Power Electronic Inverter Circuits," University of Khartoum, Khartoum, 2013.
- [6] A. Elbanhawy, "edn," 22 November 2001. [Online]. Available: <http://www.edn.com/design/components-and-packaging/4341997/A-simple-guide-to-selecting-power-MOSFETs>. [Diakses 12 April 2017].
- [7] R. Kennel, "Power Electronics : Exercise Pulse Width Modulation," Technische Universität München, München, 2013.
- [8] B. Malik, "Microcontrollers Lab," 1 Agustus 2014. [Online]. Available: <http://microcontrollerslab.com/spwm-generation-using-pic16f877a-microcontroller/>. [Diakses 7 Maret 2017].
- [9] Administrator, "eprojectszone," 2016 Agustus 21. [Online]. Available: <http://www.eprojectszone.com/2016/08/21/how-to-generate-a-sine-wave-from-arduino-or-atmega-328/>. [Diakses 17 Maret 2017].
- [10] Administrator, "Wikipedia," 2001. [Online]. Available: [https://en.wikipedia.org/wiki/LC\\_circuit](https://en.wikipedia.org/wiki/LC_circuit). [Diakses 18 November 2017].



- [11] A.Z.M. Shahriar Muttalib, Ahmed Mortuza Saleque, Nawjif Md. Anamul Hasan, "Design and Simulation of an Inverter with High Frequency Sinusoidal PWM Switching Technique for Harmonic Reduction in a Standalone/Utility Grid Synchronized Photovoltaic System," *IEEE International Conference on Informatics, Electronics & Vision*, vol. 12, pp. 1169-1173, 2012.
- [12] Administrator, "Arduino Uno (USA Only) & Genuino Uno (Outside USA)," Arduino, [Online]. Available: <https://www.arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardUno>. [Diakses 10 Oktober 2016].
- [13] Administrator, "Engineers Garage," [Online]. Available: <https://www.engineersgarage.com/embedded/avr-microcontroller-projects/phase-correct-pwm-mode-timer-circuit>. [Diakses 2017 Maret 15].
- [14] H. Andri, "Inverter Satu Fasa Sinkron Berbasis Digital Phase Locked Loop," Universitas Indonesia, Depok, 2012.