

DESAIN DAN IMPLEMENTASI INVERTER SATU FASA 400 WATT DENGAN METODE SWITCHING HIGH FREQUENCY MENGUNAKAN ARDUINO NANO DAN DRIVER SPWM EGS002

Jauhar Ismiyadinata¹, Harry Yuliansyah¹, Muhammad Reza Kahar Aziz¹, dan Arief Syaichu Rohman^{1,2}

¹Teknik Elektro, Institut Teknologi Sumatera (ITERA), Lampung Selatan, 35365 Indonesia

²Teknik Elektro, STEI Institut Teknologi Bandung (ITB), Bandung, 40132 Indonesia

Email : jauharharis@gmail.com , {harry, reza.kahar} @el.itera.ac.id, arief@stei.itb.ac.id

Abstrak--- Didalam paper ini dirancang sebuah inverter berdaya 400 watt dengan frekuensi 50 Hz, pada tegangan *input* 12 V_{dc} dan tegangan *output* 220 V_{ac}. Inverter ini dibuat untuk mengkonversikan tegangan *Direct Current* (DC) menjadi *Alternating Current* (AC), hal ini dilakukan untuk memanfaatkan listrik DC yang dihasilkan pada energi terbarukan agar dapat digunakan sebagai pengganti listrik komersial. Inverter dirancang dengan menggunakan metode *Switching High Frequency* (SHF) sebagai sistem penguatan untuk menaikkan tegangan *input* nya (*step up voltage*) dan metode *Sinusoidal Pulse Width Modulation* (SPWM) sebagai driver penghasil sinyal *output* *Pure-Sinewave*. Sistem pensakelaran untuk metode SHF menggunakan Arduino nano sebagai kendalinya dan EGS002 sebagai driver SPWM. Untuk mendapatkan data *real* pada penelitian ini, pengujian dilakukan dengan cara menghubungkan inverter secara langsung dengan beban, seperti lampu pijar, kipas angin dan solder. Hasil implementasi inverter berjalan dengan lancar, sukses, dan memenuhi kriteria yang diharapkan seperti yang telah disebutkan di atas. Hal ini dibuktikan dengan hasil pengujian yang cukup baik serta dapat dilihat pada bagian hasil dan analisis.

Kata kunci--- *Inverter, SHF, SPWM, Tegangan, Mosfet, Driver*

I. PENDAHULUAN

Kebutuhan akan energi yang terus meningkat dan semakin menipisnya cadangan minyak bumi, memaksa manusia untuk mencari sumber-sumber energi alternatif, khususnya dalam produksi energi listrik. Terobosan-terobosan diperlukan untuk menciptakan teknologi baru yang dapat menggantikan minyak bumi sebagai sumber energi utama saat ini. Dalam upaya pencarian sumber energi terbarukan yang dapat menghasilkan jumlah

energi yang cukup besar, matahari sebagai sumber energi utama alam semesta yang sangat besar berpotensi untuk dimanfaatkan sebagai sumber energi terbarukan. Namun, hingga saat ini masih sangat sedikit pemanfaatan energi tersebut [1]. Oleh karena itu, untuk memanfaatkannya, diperlukan suatu alat yang dapat mengkonversinya.

Inverter merupakan perangkat elektronika yang dipergunakan untuk mengkonversi tegangan *Direct Current* (DC) menjadi tegangan *Alternating Current* (AC). *Output* suatu inverter dapat berupa tegangan AC dengan bentuk gelombang sinusoidal murni, gelombang kotak, dan sinusoidal modifikasi. Sedangkan sumber tegangan *input* inverter dapat menggunakan baterai, *solar cell*, atau sumber tegangan DC lainnya. Dengan adanya inverter ini pun diharapkan dapat meminimalisir penggunaan akan energi listrik konvensional, dalam rangka penghematan energi dan pengalihan terhadap sumber energi terbarukan.

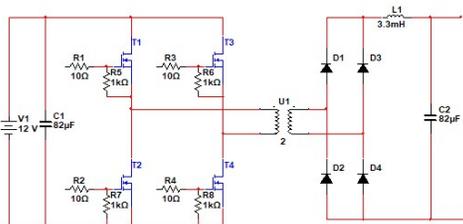
Salah satu teknik yang paling sering digunakan dalam merancang sebuah inverter adalah menggunakan metode *Sinusoidal Pulse Width Modulation* (SPWM). Teknik ini dilakukan dengan cara memodulasi lebar sinyal pulsa gelombang DC, sebagai contoh, [2] melakukan penelitian terkait mode SPWM. Dengan metode ini diharapkan nilai *Total harmonic Distortion* (THD) berada dibawah 10%, terutama pada harmonisa orde rendah. Karena jika mangacu pada standar IEEE Std 519-1992 bahwa nilai THD yang diperbolehkan pada aplikasi *dedicated system* (khusus pengujian konverter) yakni 10% sedangkan pada standar IEEE Std 519-2014 harus sebesar 8% [3]. Oleh karena itu, inverter dirancang sedemikian rupa agar nilai THD berada pada rentang yang distandarkan, sehingga pada akhirnya inverter dapat digunakan untuk cakupan penggunaan yang lebih luas lagi, seperti beban-beban peralatan rumah tangga.

II. STUDI LITERATUR

II.1. Inverter

Inverter merupakan sebuah alat yang dapat mengkonversikan listrik DC menjadi listrik AC. Fungsi dari inverter adalah untuk merubah tegangan masukan DC menjadi tegangan AC. Frekuensi ataupun besar tegangan *output* dapat tetap ataupun berubah-ubah bergantung variabel tegangan *input* DC yang terkontrol [4].

Full bridge dc-dc converter merupakan salah satu jenis *isolated switch-mode dc-dc converter*, yang terdiri dari empat buah MOSFET. Pada konverter ini menghasilkan tegangan AC yang besar amplitudanya tergantung pada *input* tegangan DC dan rasio belitan *high frequency transformer* [5].



Gambar 1. Rangkaian Full Bridge DC-DC Converter.

II.2. *Switching High Frekuensi* (SHF)

Pada *Switching High Frequency*, transformasi tegangan dc dari satu level ke level lainnya menggunakan rangkaian konverter dc-dc. Rangkaian ini menggunakan *devais solide-state* (Transistor, Mosfet, dan lain sebagainya), yang berfungsi sebagai sakelar on-off. Ketika komponen daya tidak dibutuhkan untuk beroperasi pada daerah aktifnya, mode operasi ini menghasilkan disipasi daya yang lebih rendah. Dengan menggunakan devais ini maka kecepatan *switching* akan meningkat, rate arus dan tegangan lebih tinggi, biaya dalam perancangan penguat relatif lebih rendah [6].

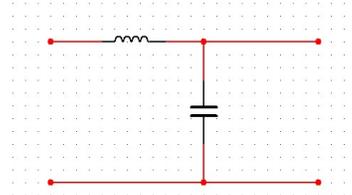
II.3. *Sinusoidal Pulse Width Modulation* (SPWM)

Pulse Width Modulation (PWM) secara umum adalah sebuah cara memanipulasi lebar sinyal yang dinyatakan dengan pulsa dalam suatu perioda, untuk mendapatkan tegangan rata-rata yang berbeda. Salah satu jenis PWM adalah *Sinusoidal Pulse Width Modulation* (SPWM) dimana dalam metode ini memanfaatkan sinyal sinusoidal sebagai sinyal referensi untuk dibandingkan dengan sinyal *carrier*, dalam hal ini sinyal segitiga [7].

Pada [8] dijelaskan bahwa pembangkitan sinyal SPWM melalui beberapa proses, yaitu (a) dua sinyal berbeda yang merupakan sinyal sinusoidal sebagai referensi dan sinyal segitiga sebagai sinyal *carrier*, (b) gelombang hasil perpotongan antara sinyal referensi dengan *carrier* ketika proses *switching* terjadi, dan (c) sinyal perpotongan dalam siklus positif dan negatif. Untuk informasi lebih detail dapat dilihat pada ilustrasi [8].

II.4. LC *Low-Pass* Filter

LC filter merupakan sebuah rangkaian yang terdiri dari induktor dan kapasitor yang dihubungkan secara paralel, yang berfungsi sebagai filter untuk membatasi frekuensi yang melewati sebuah rangkaian [9].



Gambar 2. Rangkaian LC untuk Filter Low-Pass.

LC filter digunakan sebagai *resonant circuit*, yakni berfungsi sebagai peredam (pereduksi) harmonisa pada suatu rangkaian sehingga didapatkan bentuk sinyal yang lebih bagus/*smooth* [2] serta menghindari kemungkinan terjadinya resonansi pada sistem. Nilai frekuensi *cut-off* dapat dicari dengan menggunakan rumus

$$f_{cut-off} = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (1)$$

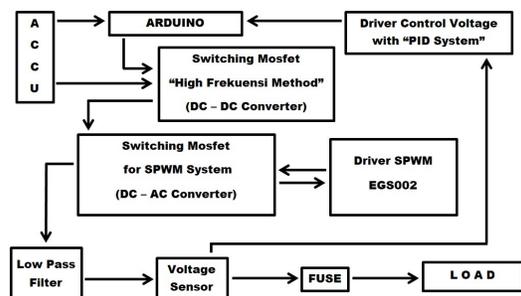
III. TAHAP PERANCANGAN

Langkah perancangan inverter dimulai dari tahap memilih metode, serta spesifikasi dari inverter itu sendiri. Dalam hal ini dipilih metode dengan menggunakan *Switching High Frequency* (SHF) dan metode SPWM sebagai driver *pure-sinewave* nya. Dalam membuat PWM sebagai *input* SHF digunakan arduino nano sebagai pembangkit sinyalnya. Data spesifikasi inverter yang akan dibuat adalah sebagai berikut,

Tabel 1. Spesifikasi Inverter.

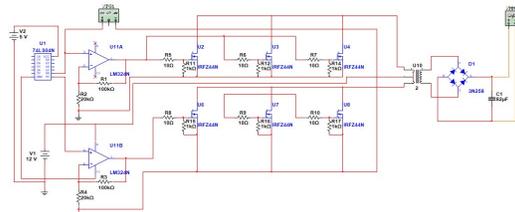
NO	Spesifikasi	Besaran
1	Tegangan <i>Input</i>	12 V _{dc}
2	Tegangan <i>Output</i>	220 V _{ac}
3	Arus <i>Output</i> max	2 A
4	Daya Inverter	400 Watt
5	Frekuensi Inverter	50 Hz

Untuk diagram blok sistem kerja inverter secara menyeluruh dapat dilihat pada Gambar 3,



Gambar 3. Diagram Blok Sistem Kerja Inverter.

III.1. Pembuatan Rangkaian untuk Simulasi *Switching High Frequency* (SHF)



Gambar 4. Skematik Rangkaian Untuk SHF.

Pada Gambar 4 dapat dilihat bahwa *output* keluaran dari arduino akan melalui beberapa tahap terlebih dahulu sebelum masuk ke dalam bagian mosfet. PWM memiliki 2 nilai fasa yang berbeda. Hal ini diperlukan, karena pada trafo CT dihasilkan 2 macam tegangan yang berbeda fasanya, sehingga untuk mendapatkan sebuah gelombang penuh pada kerja trafo dibutuhkan pengkondisian *switching*, yang dapat memenuhi hal tersebut. Setiap keadaan aktif trafo hanya salah satu kabel dari setiap fasa saja yang dipergunakan, sedangkan kabel yang lain tetap terhubung tanpa melalui CT.

III.2. Pengujian Rangkaian pada Simulasi *Switching High Frequency* (SHF)

Pengujian pada simulasi, arduino digantikan dengan generator sinyal dengan karakteristik di seragamkan sesuai *output* pada arduino, dan didapatkan hasil seperti dibawah ini :



Gambar 5. Sinyal PWM keluaran Arduino dan Hasil Penguatan.

Gambar 5 merupakan hasil pengujian dari perbandingan nilai PWM antara sebelum diberi penguatan dan setelah dilakukan penguatan, dimana sinyal warna merah adalah pendekatan keluaran PWM dari arduino dan yang biru setelah dilakukan penguatan, sehingga tegangan rmsnya naik berkisar 2-3x dari nilai awalnya.



Gambar 6. Sinyal PWM Hasil Penguatan dan Sinyal *Output* dari *Switching Mosfet*.

Pada Gambar 6, terlihat perbedaan sinyal keluaran antara sebelum *switching* mosfet dengan sesudah *switching*, ketika sebelum *switching* (sinyal biru) sinyal belum mengalami overshoot, namun setelah melewati *switching* (sinyal hijau) gelombang akan mengalami *overshoot*, hal ini biasa terjadi pada mosfet namun masih dalam kondisi wajar, karena pada simulasi semua

komponen berada pada keadaan idealnya. Sehingga belum dimungkinkan terjadinya kesalahan dalam pengambilan data simulasi, dan dari semua data diatas sudah bisa dipastikan rangkaian dapat di aplikasikan pada kondisi realnya.

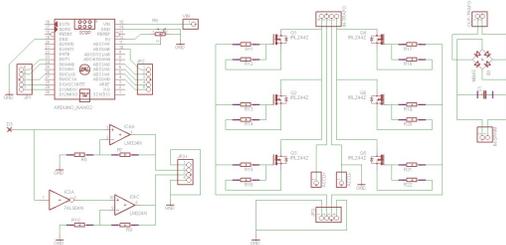
III.3. Pengujian dan Analisis Inverter

Setelah tahapan prosedur perancangan telah terlaksana, tinggal masuk pada tahap pengujian dan analisis inverter, dimana pengujian dilakukan pada setiap bagian penting dari sistem. Hal ini dilakukan untuk melihat keandalan dari kinerja sistem secara menyeluruh. Mulai *input* awal, setiap proses dari metode-metode yang digunakan, dan nilai yang dibutuhkan untuk mendapatkan data yang akurat dari sistem. Serta yang paling utama adalah pengujian agar sistem dapat memenuhi kriteria tujuan pembuatannya atau tidak, yakni *output* gelombang pure-sinewave, tegangan *output* 220 V_{ac} , daya 400 Watt dan frekuensi 50 Hz.

IV. HASIL DAN ANALISIS

IV.1. Implementasi dan Pengujian Bagian *Switching High Frequency*

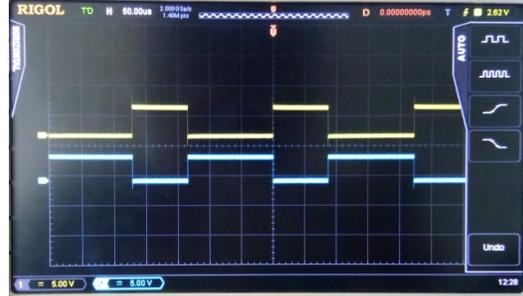
Rangkain pada Gambar 7 di implementasikan pada board PCB, untuk melihat hasil pengujian mengenai nilai-nilai yang dibutuhkan, di bawah ini merupakan rangkaian dan bentuk board yang sudah di cetak dan di implementasikan.



Gambar 7. Skematik Rangkaian Board Bagian SHF.

Berdasarkan gambar 8 bentuk sinyal PWM yang di bangkitkan oleh arduino merupakan sinyal kotak dengan tegangan RMS 3,08 V_{dc} . Lalu gelombang tersebut akan mengalami penguatan sebesar 2-3x untuk dapat mengaktifkan pensakelaran pada mosfet. Dimana proses pensakelaran mosfet memanfaatkan frekuensi pada rentang tertentu untuk mendapatkan nilai penguatan yang diinginkan. Atas dasar kebutuhan driver SPWM, maka dibutuhkan tegangan *input*

SPWM sebesar 400 V_{dc} (mengacu kepada datasheet driver) [10]. Sehingga nilai *output* pada bagian SHF ini, diinginkan tegangan pada kisaran 390 – 410 V_{dc} untuk menjaga keandalan sistem pada driver.



Gambar 8. *Output* Sinyal PWM dari Arduino.



Gambar 9. *Output* Sinyal PWM Hasil penguatan.



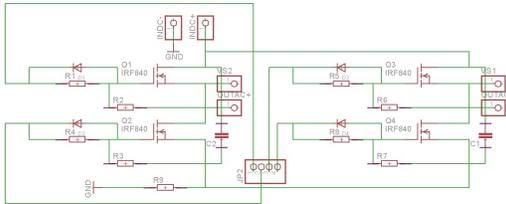
Gambar 10. *Output* Sinyal dari Switching Mosfet.

Pada gambar 10 dapat dilihat bentuk sinyal yang dikeluarkan dari hasil *switching* yang terjadi pada mosfet, terlihat berbeda. Karena Sinyal kuning merupakan hasil ouput *switching* bagian setengah perioda positif ketika belum diberikan resistor sebagai pull-down pada kaki gate mosfet, sedangkan sinyal biru merupakan setengah perioda negatif ketika rangkaian mosfet telah diberikan resistor pull-down. Resistor pull-down diperlukan, untuk mengurangi nilai floating yang terjadi pada *switching* mosfet. Hal ini sesuai dengan yang dijelaskan pada beberapa litelatur, seperti pada salah satu litelatur yang penulis rujuk [11].

Tegangan *input* yang akan digunakan pada driver SPWM sebesar $400 V_{dc}$. Besar frekuensi *switching* yang dibutuhkan untuk mencapai tegangan $400 V_{dc}$ adalah 4 – 4,5 kHz dengan duty cycle 35% – 40%.

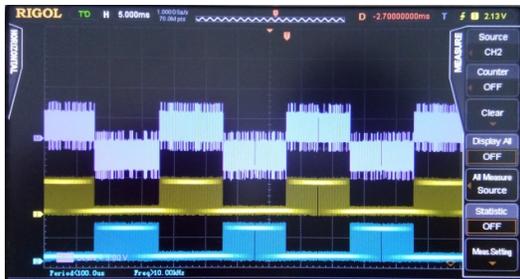
IV.2. Implementasi dan Pengujian Bagian SPWM

Dibawah ini merupakan skematik rangkaian pendukung untuk kinerja board driver EGS002 dan hasil implementasinya pada board PCB [10].



Gambar 11. Skematik Rangkaian Switching SPWM.

Pada bagian ini pengujian dilakukan pada board EGS002 untuk melihat respon kerja sistem. Dan didapatkan data-data seperti dibawah ini :



Gambar 12. Bentuk Sinyal SPWM dan *Output* Driver SPWM.

Pada gambar 12 dapat dilihat terdapat beberapa bentuk sinyal. Sinyal kuning merupakan setengah dari perioda positif sinyal SPWM, sinyal biru merupakan setengah dari perioda negatif dari sinyal SPWM, dan sinyal ungu merupakan *output* switching mosfet hasil dari kedua sinyal pertama tadi. Dimana *output* sinyal ungu merepresentasikan bentuk gelombang sinusoidal yang masih berbentuk pulsa PWM dengan nilai distorsi yang masih cukup tinggi. Sehingga dibutuhkan filter agar nilainya menjadi lebih baik, serta frekuensi yang didapatkan pada *output* inverter sesuai dengan yang diharapkan.

Hasil pengujian pada bagian ini didapatkan data nilai tegangan *input* DC dan tegangan *output* AC pada kisaran tertentu, sebagai data pengujian pada implementasi dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Data Pengujian pada Rangkaian Driver SPWM.

NO	Tegangan <i>Input</i> (V_{dc})	Tegangan <i>Output</i> (V_{ac})
1	6,22	0
2	9,47	1,81
3	18,73	8,13
4	31,95	14,48
5	51,87	25,77
6	99,21	53,84
7	212,18	112,37
8	379,32	234,81

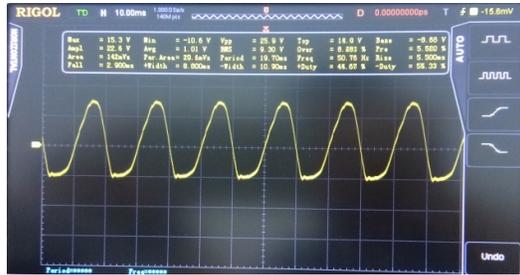
Dari Tabel 2 dapat dilihat bahwa nilai tegangan *output*, baru dapat dicapai mendekati nilai benar sesuai datasheet EGS002 [10] pada tegangan *input* di atas $100 V_{dc}$, hal ini dimungkinkan terjadi karena proses *switching* pada mosfet begitu cepat dan nilai frekuensi yang besar. Memungkinkan nilai tegangan yang melewati sistem H-Bridge pada mosfet belum sempat terbaca oleh sistem. Sehingga diperlukan penelitian yang lebih mendalam pada rangkaian driver EGS002 agar sistem dapat digunakan pada nilai tegangan DC kecil untuk mendapatkan nilai tegangan AC yang relevan dengan kebutuhan akan penggunaan user.

IV.3. Implementasi dan Pengujian LC Filter

Nilai dari filter ini didapatkan berdasarkan perhitungan yang mendekati nilai aslinya. Pada dasarnya jika mengacu pada datasheet EGS002 [10] dibutuhkan sebuah induktor dan kapasitor dengan nilai aktual sebesar 3,3 mH dan 2,2 μF , untuk mendapatkan nilai frekuensi *cut-off* pada kisaran 50 Hz.

Dikarenakan untuk mendapatkan induktor dengan nilai induktansi 3,3 mH cukup sulit, maka dilakukan pendekatan dengan cara melakukan proses pembuatan induktor *homemad*. Dan didapatkan nilai induktansi sebesar 3,78 mH, sedangkan kapasitor menggunakan nilai-nilai mendekati perhitungan yakni sebesar 2 μF .

Hasil filter didapatkan tidak meleset terlalu jauh dari nilai yang diharapkan, yakni frekuensi sistem pada 50 Hz, seperti yang dapat dilihat pada gambar 13.



Gambar 13. Output Sinyal Hasil Filter.

Pembacaan sinyal dilakukan dengan menggunakan rangkaian pembagi tegangan, untuk mengurangi besar tegangan yang masuk ke osiloskop, hal ini dilakukan sebagai bentukantisipasi jika terjadi kesalahan pembacaan tegangan RMS yang terlalu tinggi, yang dikhawatirkan dapat merusak alat ukur (osiloskop).

IV.4. Pengujian Beban

Pada pengujian beban, dilakukan beberapa percobaan. Yakni dengan beban seperti lampu pijar 75 watt 1 buah, lampu pijar 100 watt 2 buah dan kipas angin mini 25 watt. Data yang didapatkan atas pengujian dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil Data Uji Beban.

Jenis Beban	Daya Beban (watt)	V Baterai (Vdc)	V DC-DC Konverter (Vdc)	V out Inverter (Vac)
-	0	12,27	-	-
-	0	12,00	324,1	232,3
Kipas	25	11,53	323,6	232,1
Lampu Pijar	75	9,64	322,8	231,8
Lampu Pijar	100	9,42	322,4	231,2
Lampu Pijar	175	9,26	321,6	230,7
Lampu Pijar	275	9,07	318,2	229,7
Lampu + Kipas	300	8,98	317,4	228,6

Dari data pada Tabel 3 dapat dilihat bagaimana respon tegangan *input* terhadap beban, tegangan selalu turun ketika beban bertambah. Hal ini dikarenakan naiknya arus yang keluaran dari baterai secara spontan, sehingga nilai tegangan pada *input* terjadi penurunan. Namun inverter masih dapat berjalan dengan baik, hanya perlu ditambahkan *input* baterai. Dari beberapa litelatur yang ada *input* dari baterai biasanya dibuat seri beberapa buah, hingga didapatkan tegangan *input* berkisar 24 Vdc – 48 Vdc, hal ini jg akan sangat berpengaruh kepada nilai pembebanan yang terjadi pada inverter, ketika inverter mulai diberi beban. Arus yang dibutuhkan untuk *input* inverterpun

tidak akan terlalu besar, dikarenakan tegangan *input* yang bertambah, sehingga efek pembebanan yang terjadi tidak terlalu memakan *input* yang begitu besar.

Untuk penggunaan inverter dengan total daya beban 400 watt dapat terpenuhi, karena *output* tegangan inverter tidak turun secara signifikan ketika beban terus bertambah. Dan masih dalam batas normal nya. Inverter memiliki tegangan ouput sebesar 232,3 V_{ac}, ketika inverter belum terhubung ke beban, dan memiliki tegangan aktif dengan rentang 220 V_{ac} – 235 V_{ac} dengan frekuensi *output* inverter sebesar 50,76 Hz.

V. PENUTUP

Pada paper ini telah dirancang sebuah inverter menggunakan 2 metode yakni *Switching High Frequency* (SHF) dan *Sinusoidal Pulse Width Modulation* (SPWM). Dimana pada metode *high frequency* tegangan *input* dinaikan menjadi 400 V_{ac} untuk memenuhi kriteria dari kebutuhan driver SPWM. Pada ouput SPWM sendiri dihasilkan suatu gelombang yang mendekati sinusoidal yang benar-benar murni, namun masih terdapat sedikit penyimpangan, sehingga masih ada sedikit ripple. Tegangan *output* inverter berkisar antara 220 V_{ac} – 225 V_{ac}, dengan daya 400 watt dan frekuensi 50,76 Hz. Rancangan inverter mampu menghidupkan beban seperti lampu, kipas, solder, charging HP, selama total beban yang digunakan tidak melebihi 400 watt. Inverter cukup baik untuk dapat dikembangkan kembali, agar *output* dan *input* tegangan dapat menjadi lebih stabil dibandingkan hasil saat ini.

Sehingga pada pengembangan kedepan dapat mencakup (1) Perbaikan pada filter pasif dengan nilai komponen yang lebih akurat, (2) Perlunya pengukuran THD pada rancangan inverter, dan (3) Membuat sebuah rangkaian stabilizer pada *input* inverter, untuk menjaga tegangan *input* pada nilai yang diinginkan, agar pembacaan dan kerja sistem menjadi lebih akurat dan efisiensi menjadi semakin besar.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] G. Widayana, "Pemanfaatan Energi Surya," *JPTK, UNDIKSHA*, vol. 9, no. 1, pp. 37 - 46, Januari 2012.
- [2] A. Z. M. S. Muttalib, A. M. Saleque, N. M. A. Hasan, S. M. Ferdous, M. M. Chowdhury, "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.
- [3] J. Cheng, *IEEE Standard 519-2014: Compliances, Updates, Solutions, and Case Studies*, France: Schneider Electricity, 2014.
- [4] R. Fierdaus, Soeprapto, dan H. Purnomo, "Pengaruh Bentuk Gelombang Sinus Termodifikasi (Modified Sine Wave) Terhadap Unjuk Kerja Motor Induksi Satu Fasa," dalam *Final Project Paper*, Malang, Indonesia, Universitas Brawijaya, 2011.
- [5] S. Prasetya, M. Z. Afendi, Sutedjo, "Pemanfaatan Harmonisa pada Beban Non Linier Sebagai Sumber Energi Menggunakan Full Bridge DC-DC Converter dan Inverter," dalam *Final Project Paper*, Surabaya, Institut Teknologi Sepuluh November (ITS).
- [6] Azzahratunnisa, "Mode saklar/Switching (Saklared Mode Power Unit, SMPU)," Wordpress, 30 Mei 2009. [Online]. Available: <https://azzahratunnisa.wordpress.com/2009/05/30/mode-saklarswitching-saklared-mode-power-unit-smpu/>. [Diakses 15 Januari 2018].
- [7] L. R. Aliyan, R. N. Jasanah, dan M. A. Muslim, "Desain Inverter Tiga Fasa dengan Minimum Total Harmonic Distortion Menggunakan Metode SPWM," *Jurnal EECCIS*, vol. 8, Juni 2014.
- [8] P. D. R. Kennel, "Power Electronics," Technische Universität München, München, 2013.
- [9] K. Azmi, I. D. Sara, dan Syahrizal, "Desain dan Analisis Inverter Satu Fasa dengan Menggunakan Metode SPWM Berbasis Arduino," *KITEKTRO: Jurnal Online Teknik Elektro*, vol. 2, no. 4, p. 39, 2017.
- [10] EG Micro Corp., EG8010 Datasheets - (Single Phase Sinusoid Inverter ASIC), EG Microelectronics Corporation, Copyright © 2014.
- [11] Maulana, "TEORI DASAR MOSFET," Maret 2014. [Online]. Available: <http://maulana.lecture.ub.ac.id/files/2014/03/Teori-Dasar-MOSFET-Metal-Oxide-Semiconductor-Field-Effect-Transistor.pdf>. [Diakses 5 Agustus 2018].