

## DESAIN RANGKAIAN *GATE-DRIVER* UNTUK KONVERTER YANG BEKERJA DENGAN *VOLTAGE MODE CONTROL*

Fitriadi <sup>1\*</sup> dan Muh. Imran Hamid <sup>2</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Teknik Listrik, Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Padang

<sup>2</sup>Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Andalas

\*Corresponding author, e-mail : fitriadichng@gmail.com

**Abstrak-** Dalam berbagai peralatan elektronika daya, bagian *gate-driver* merupakan salah satu modul yang mempunyai peranan sangat penting dalam menentukan kualitas kerja konverter. Dalam paper ini diketengahkan sebuah desain modul *gate-driver* yang digunakan pada konverter yang berkerja dengan *Voltage Mode Control* (VMC). Rangkaian *gate-driver* dibangun menggunakan IC driver tipe MC33153 dengan isolasi cahaya HCPL4506. Suplai DC untuk input IC driver dan optocouplers didapatkan dari konverter DC/DC yang terisolasi dari sistem, sehingga keempat sinyal kontrol PWM yang dihasilkan oleh rangkaian *gate-driver* juga terisolasi secara sistem. Pengujian yang telah dilakukan pada konverter yang beroperasi secara paralel pada input sebuah transformator paralelisasi menunjukkan fungsi-fungsi *gate-driver* beroperasi dengan baik. Secara umum, *gate-driver* yang dirancang prospektif digunakan dalam aplikasi-aplikasi lainnya.

Kata kunci : *Gate-driver*, Konverter, MC33153 dan HCPL4506, *Voltage Mode Control* (VMC)

**Abstract-** *Gate-driver* is part of power electronics equipments. This is one of important modules to determine the quality of converter. This paper discusses a design of *gate-driver* module in converter using *Voltage Mode Control* (VMC). *Gate-driver* circuit built using IC driver type MC33153 and light isolation HCPL4506. DC Supply for IC driver and optocouplers is got from DC/DC converter output which isolated from system. Then, four PWM signals control as output of *gate-driver* circuit isolated in system. Testing for converter which operated parallel in input transformator parallelizes shows the functions of *gate-driver* operating is good. In general speaking, the *gate driver* in prospective design is used in other applications.

Key words: *Gate-driver*, Konverter, MC33153 dan HCPL4506, *Voltage Mode Control* (VMC)

Copyright © 2016 JNTE. All rights reserved

### 1. PENDAHULUAN

Penggunaan teknologi konverter daya menjadi salah satu aspek yang sangat penting dalam mengoptimalkan pembangkitan energi terbarukan [1]. Hal ini ditemui misalnya pada solar sel yang membangkitkan tegangan DC, dalam hal ini, teknologi konverter mengubah tegangan DC hasil pembangkitan dari solar sel menjadi AC.

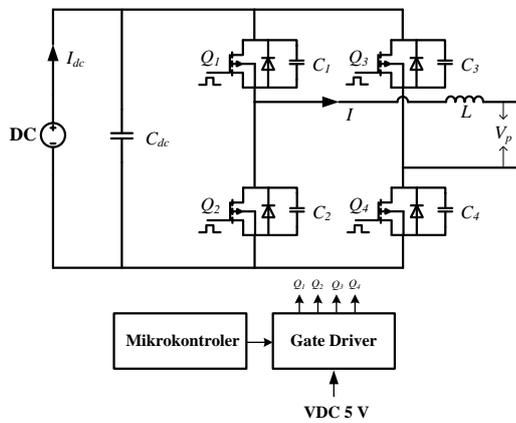
Sebuah konverter DC/AC dapat dikembangkan dari rangkaian kombinasi komponen semikonduktor jenis IGBT/MOSFET. Konfigurasi topologi yang umum adalah *full bridge* seperti diperlihatkan pada Gambar 1. Dalam rangkaian ini IGBT/MOSFET berfungsi sebagai *switch*, jika di-*input*-kan sinyal kontrol PWM pada kaki *gate* 10-20 Volt DC [2]. Sinyal kontrol PWM yang dibangkitkan oleh mikrokontroler nilai tegangannya

maksimum sebesar 5V seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2. Untuk memperkuat sinyal *output* PWM dari mikrokontroler dapat digunakan sebuah rangkaian *gate-driver*, sehingga sinyal kontrol PWM tersebut mampu mengerakan IGBT/MOSFET [3] dan [5].

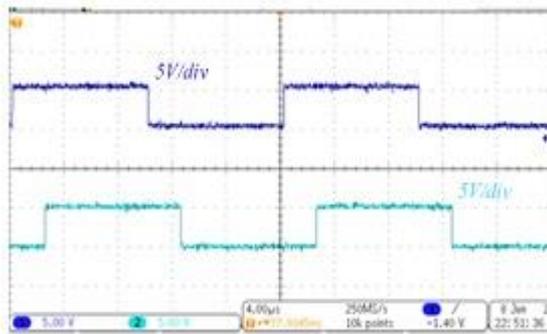
Ada banyak IC *driver* yang digunakan untuk mengerakan IGBT/MOSFET seperti IR2110, IR21362 dan EXB841, secara karakteristik semua IC *driver* tersebut masih memiliki kekurangan dalam memproteksi gangguan akibat dari proses *switching* dan menghasilkan arus balik pada saat *switching* karena suplai daya yang tidak terisolasi dari sistem [2].

Dalam paper ini, sebuah rangkaian *gate-driver* dibangun menggunakan IC *driver* tipe MC33153 dengan isolasi cahaya HCPL4506. Sehingga sinyal kontrol PWM *output* dari rangkaian *gate-driver* terisolasi dari sistem. Rangkaian *gate-driver* ini nantinya dapat

digunakan dalam berbagai aplikasi-aplikasi lainnya. Misalnya untuk konverter DC/AC yang bekerja dengan metode *phase shifted full bridge* (PSFB) dengan teknik kontrol *voltage mode control* (VMC).



Gambar 1. Topologi *full bridge* konverter

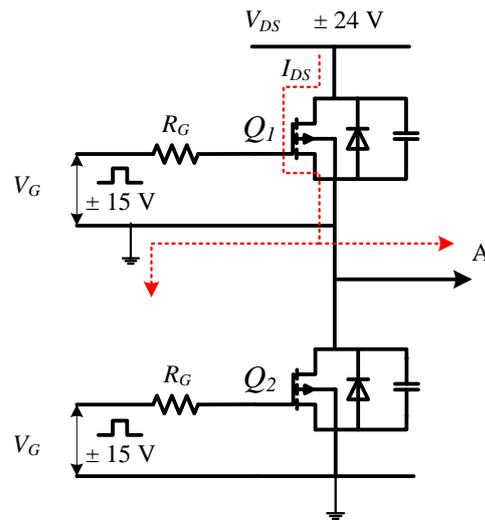


Gambar 2. Bentuk sinyal kontrol PWM output mikrokontroler

**2. TINJAUAN PUSTAKA**

Sebuah konverter DC/AC dengan topologi jembatan penuh dapat menghasilkan bentuk gelombang *output* persegi yang terkontrol dengan efisiensi tinggi sangat tergantung dari kualitas rangkaian *gate-driver*-nya [1] dan [6-9]. Menurut Zheng. W, dkk [2], beberapa kriteria yang dapat menentukan kualitas rangkaian *gate-driver* adalah sebagai berikut:

1. IC *driver* yang digunakan mampu memproteksi gangguan akibat dari proses *switching*.
2. *Output* sinyal kontrol PWM yang dihasilkan terisolasi dari sistem, sehingga arus balik pada saat *switching* tidak menimbulkan efek panas pada IGBT/MOSFET.



Gambar 3. Kondisi *switching* MOSFET dengan sinyal kontrol PWM yang terisolasi.

Dari Gambar 3 dapat dijelaskan, pada topologi setengah jembatan dengan dua buah MOSFET ( $Q_1$  dan  $Q_2$ ) terhubung seri. Jika  $Q_1$  ON arus  $I_{DS}$  mengalir ke titik A dan netral sinyal kontrol. Dalam kondisi ini, jika netral sinyal kontrol PWM saling terhubung arus  $I_{DS}$  juga mengalir ke netral sumber hal ini menyebabkan terjadinya *short circuit*. Pada saat kondisi *short circuit* arus  $I_{DS}$  mengalir cukup besar karena tahanan *drain* sangat kecil sebesar  $R_D = 0,1\Omega$  dengan besar tegangan  $V_{DS} = 24V$ , sehingga besarnya arus  $I_{DS}$  yang mengalir saat kondisi ON tersebut adalah sebesar.

$$I_{DS} = \frac{V_{DS}}{R_D} = \frac{24}{0,1} = 240 A \quad (1)$$

Secara karakteristik (IRF530) batas maksimum arus  $I_{DS}$  yang diperbolehkan adalah 14 A pada temperatur  $25^{\circ}C$  [5]. Karena besarnya arus  $I_{DS}$  yang mengalir pada kondisi *short circuit* melebihi batas maksimum hal ini menyebabkan MOSFET panas dan rusak. Dengan mengembangkan rangkaian *gate-driver* yang terisolasi secara sistem dapat membuat semua netral sinyal kontrol tidak saling terhubung.

**3. METODOLOGI PENELITIAN**

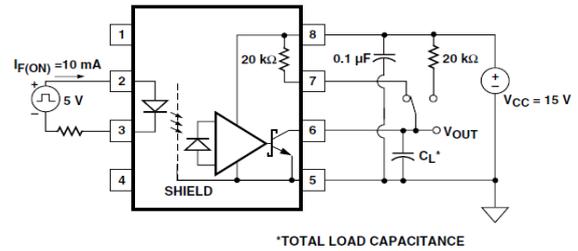
Rangkaian *gate-driver* untuk konverter DC/AC dikembangkan dari IC *driver* MC33153. Dimana secara karakteristik komponen ini didesain khusus untuk *driver* MOSFET/IGBT

(Gambar 4) [2]. IC *driver* lainnya yang digunakan yaitu HCPL4506 yang berfungsi sebagai *optocouplers*. Cara kerja komponen ini berdasarkan transformasi cahaya, sehingga dapat mengisolasi sinyal *input* dari mikrokontroler terhadap sinyal *output gate-driver* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5.

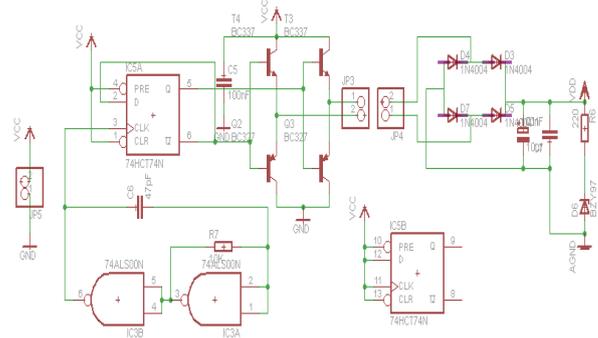
Rangkaian *gate-driver* yang dapat menghasilkan empat buah sinyal kontrol PWM yang terisolasi dari sistem. Maksudnya suplai daya untuk kedua komponen IC *driver* berasal dari sumber DC tidak saling terhubung satu sama lainnya. Untuk mendapatkan suplai tegangan tersebut dibutuhkan beberapa konverter DC/DC yang dapat menguatkan tegangan DC 5 Volt menjadi  $\pm 20V$ .

Dalam aplikasinya untuk rancangan satu unit konverter DC/DC menggunakan empat buah komponen *switching* jenis transistor. Transistor yang digunakan tipe NPN BC337 dua buah dan dua transistor tipe PNP BC327. Sinyal *switching* untuk transistor dengan frekuensi 1-2 MHz dihasilkan dari IC *flip-flop* HCT 7474. Untuk sinyal *clock* untuk IC *flip-flop* dihasilkan dari IC TTL 4700. Skema rangkaian dari konverter DC/DC dapat dilihat pada Gambar 6.

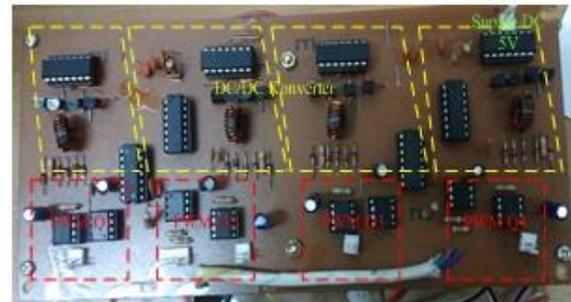
Tegangan AC 5V frekuensi tinggi yang dihasilkan kemudian diinputkan pada sisi primer transformator. Dalam hal ini sebuah transformator yang dapat bekerja pada frekuensi tinggi dikembangkan dari inti transformator jenis *ferrite troidal*. Kemudian kumparan transformator dililit sendiri dengan ratio perbandingan lilitan 3:20, agar dapat menghasilkan tegangan *output* pada sisi sekunder  $\pm 20V$ . Dengan menggunakan dioda tipe IN4148 yang tersusun secara jembatan penuh, tegangan sisi sekunder dikonversi ke DC untuk suplai daya kedua komponen IC *driver*.



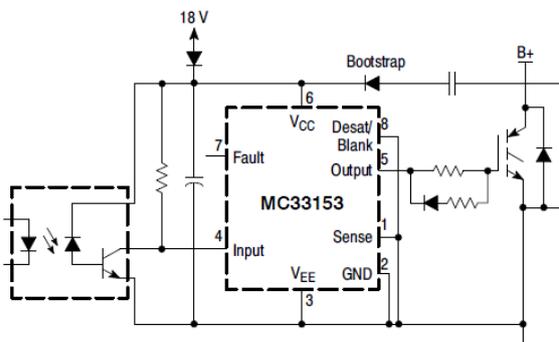
Gambar 5. Aplikasi dari IC HCPL 4506 [4].



Gambar 6. Skematik rangkaian konverter DC/DC untuk IC *driver*



Gambar 7. Realisasi rangkaian *gate-driver* dengan empat buah sinyal kontrol PWM.



Gambar 4. Aplikasi dari IC MC33153 [2].

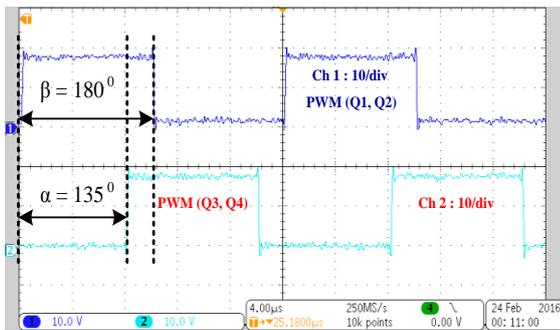
## 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1. Pengujian Rangkaian *Gate-driver*

Dalam pengujian ini, empat unit rangkaian konverter DC/DC diberi *input* tegangan +5V dari *power supply* catudaya DC. Tegangan *output* dari konverter DC/DC ini kemudian di-*input*-kan ke IC *driver* dengan besar tegangan suplai minimum +15V dan maksimum +20V. Untuk itu rancangan transformator *switching* yang digunakan sangat menentukan sekali, sehingga rugi-rugi tegangan DC saat diinputkan ke IC *driver* kecil. Ukuran inti yang digunakan sebagai transformator *switching* adalah 10mm untuk

diameter luar (*od*) dan 6 mm untuk diameter dalam (*id*) dengan tebal 4 mm kemudian dililit dengan kawat tembaga diameter 0,40 mm.

Sementara itu sinyal kontrol PWM yang di-input-kan pada rangkaian *gate-driver* dibangkitkan dari mikrokontroler Arduino Uno. Bentuk gelombang *output* dari rangkaian *gate-driver* di tunjukan pada Gambar 8.



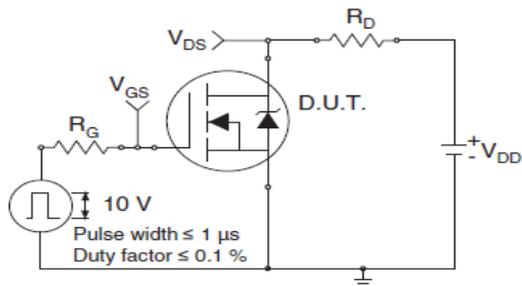
Gambar 8. Bentuk gelombang *output* sinyal PWM dari rangkaian *gate-driver* Ch 1: 10/div, Ch 2 : 10/div, t : 4.00  $\mu$ s/div

Pada Gambar 8 dapat dijelaskan sinyal kontrol PWM *Q1*, *Q2*, *Q3* dan *Q4* dengan besar amplitudo gelombang  $\pm 18$ V dengan satu siklus satu kali periode gelombang 5 div (1 div = 4  $\mu$ s), maka besar frekuensi *switching*-nya adalah:

$$T = 5 \text{ div} \times 4,00 \mu\text{s} = 20 \mu\text{s} \quad (2)$$

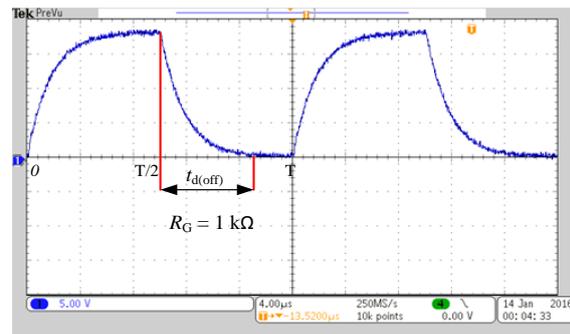
$$F = \frac{1}{T} = \frac{1}{20 \mu\text{s}} = 50 \text{ kHz} \quad (3)$$

Selanjutnya sinyal kontrol PWM ini di-input-kan ke kaki *gate* MOSFET IRF530 untuk menentukan nilai tahanan *gate* ( $R_G$ ) yang optimum (Gambar 9). Nilai tahanan *gate* yang optimum ditentukan berdasarkan nilai *delay time* ( $t_a$ ) yang paling kecil pada saat kondisi *turn-OFF*.

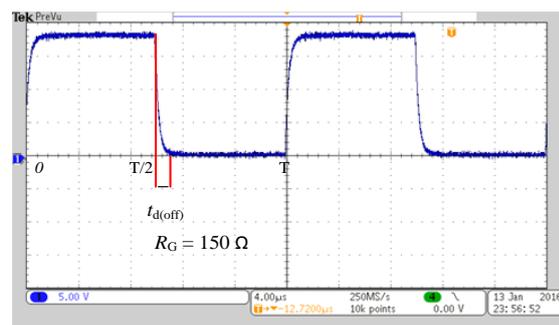


Gambar 9. Rangkaian pengujian *switching* MOSFET

Dalam pengujian ini, nilai tahanan *gate* ( $R_G$ ) divariasikan dari 47 $\Omega$  sampai dengan 1k $\Omega$ . Hasilnya menunjukan untuk nilai  $R_G$  yang menghasilkan nilai  $t_d$  yang kecil adalah 150 $\Omega$  jika dibandingkan dengan nilai tahanan *gate* ( $R_G$ ) 1k $\Omega$ . Bentuk gelombang sinyal *switching* hasil pengukurannya ditunjukan pada Gambar 10 a dan b.



(a)



(b)

Gambar 10. Bentuk gelombang sinyal *switching* pada *gate* MOSFET: (a)  $R_G = 1\text{k}\Omega$  (b)  $R_G = 150\Omega$

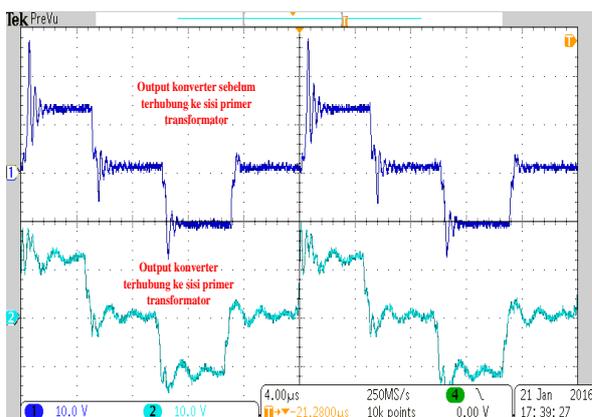
#### 4.2. Pengujian Rangkaian *Gate-driver* Pada Konverter DC/AC

Pengujian kedua dilakukan sinyal kontrol PWM dari rangkaian *gate-driver* digunakan untuk masing-masing konverter DC/AC yang bekerja dengan metode *phase shifted full bridge* (PSFB) dengan teknik kontrol *voltage mode control* (VMC). Karena teknik kontrol ini dapat menghasilkan bentuk gelombang *output* persegi (*square wave*), tegangan *output* terkendali dan efisiensi tinggi pada saat konverter bekerja pada frekuensi tinggi. Keunggulan lainnya adalah dapat mereduksi rugi-rugi daya yang ditimbulkan pada kondisi *switching* serta dapat menghasilkan *electromagnetic interference* (EMI) dan *ripple* yang rendah [1] dan [6-9].

Dalam realisasinya seperti yang dikembangkan pada [8-9], sinyal kontrol PWM di-input-kan pada kaki *gate* MOSFET ( $Q1$ ,  $Q2$ ,  $Q3$  dan  $Q4$ ) secara *half bridge* konverter *leg 1* dan *leg 2*. Untuk *leg 1* ( $Q1$ ,  $Q2$ ) sinyal kontrol PWM dengan lebar *turn-ON* dan *turn-OFF* sebesar  $\beta = 180^\circ$  dengan *duty cycle* 50 % pada frekuensi konstan di-input-kan pada  $Q1$ , kemudian *inverse* dari sinyal kontrol PWM  $Q1$  diinputkan pada  $Q2$ .

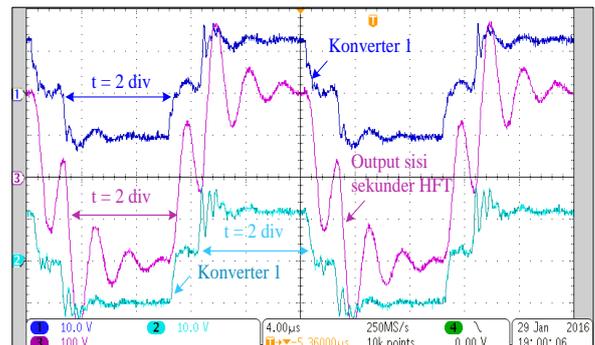
Untuk *half bridge* konverter berikutnya *leg 2* ( $Q3$ ,  $Q4$ ) sinyal kontrol PWM dengan *duty cycle* 50 % pada frekuensi konstan didelai/*shifted* sudut fasa sebesar  $\alpha^\circ$  terhadap sinyal kontrol PWM pada *leg 1*, delay/*shifted* sudut fasa ini agar terjadinya *overlap* pada kondisi *turn-ON* dalam waktu bersamaan secara diagonal. Konverter dengan teknik kontrol VMC ini semakin lama waktu *overlap* pada saat *turn-ON* semakin lama pula kondisi waktu tegangan diinput pada sisi primer kumparan transformator, dengan demikian semakin besar jumlah energi yang ditransfer ke sisi sekunder transformator [9].

Dalam pengujian ini, delay/*shifted* sudut fasa  $\alpha^\circ$  sebesar  $90^\circ$  dilakukan pada mikrokontroler. Pengamatan bentuk gelombang *output* konverter DC/AC menggunakan Osiloskop DIPO-3014 buatan Tektronix. Untuk mengukur kualitas dari rangkaian *gate-driver*, tegangan *output* dari konverter dihubungkan ke-sisi primer transformator frekuensi tinggi. Bentuk gelombang *output* konverter sebelum dan saat dihubungkan ke-sisi primer transformator ditunjukkan pada Gambar 11.



Gambar 11. Bentuk gelombang *output* konverter yang bekerja dengan *voltage mode control* (VMC)

Gambar 11 menunjukkan bentuk gelombang *output* konverter sebelum terhubung ke sisi primer transformator *spark wave* kecil (hampir sempurna). Saat terhubung ke-sisi primer transformator ada *spark wave*. Hal ini disebabkan gelombang *output* dari konverter pada kondisi transisi *switch* dari *turn-ON* ke *turn-OFF* terjadinya *turnish*. Sebagai akibat *driver* pada kondisi *switching* yang tidak sempurna. Sedangkan hasil pengujian paralelisasi dua konverter pada sisi input transformator ditunjukkan pada Gambar 12.



Gambar 12. Bentuk gelombang *output* konverter DC/AC yang beroperasi secara paralel pada sisi input transformator, Ch 1: 10/div, Ch 2 : 100/div, t : 4.00  $\mu$ s/div

Pada gambar 12, terlihat gelombang *output* dari masing-masing konverter DC/AC dengan menggunakan rangkaian *gate-driver* dapat menjadi sefasa. Sehingga paralelisasi konverter sisi input transformator dapat dilakukan.

## 5. KESIMPULAN

Dalam paper ini telah dipaparkan sebuah desain modul *gate driver* menggunakan IC *driver* tipe MC33153 yang diperuntukkan mengendalikan operasi komponen *switch* dalam suatu konverter daya. Desain yang diketengahkan menekankan aspek isolasi antara blok kontrol dan blok daya pada konverter, dan pada desain ini aspek isolasi ini diimplementasikan menggunakan HCPL 4506. *Power supply* bagi modul didesain berupa konverter DC/DC yang terisolasi dari rangkaian daya konverter. Operasi *gate-driver* telah dicobakan pada konverter paralelisasi dan menunjukkan performa yang memuaskan.

**DAFTAR PUSTAKA**

- [1] Irawan. J. A., Firmansyah. E., Wijaya. F. D.; *Perancangan Transformator Frekuensi Tinggi untuk Konverter DC-DC Full bridge Phase-Shifted 200 W*. Seminar Nasional Aplikasi Teknologi Informasi (SNATI) 2013 Yogyakarta, 15 Juni 2013.
- [2] Zheng. W., Meiyang. Q.; *The Application of IGBT Driver MC33153*. IEEE. 978-1-4244-7618-3. 2010
- [3] Tarmizi, Muyassar.; *Rancang Bangun Inverter SVM Berbasis Mikrokontroler PIC 18F4431 untuk Sistem VSD*. Jurnal Nasional Teknik Elektro. Vol: 2 No. 1 Maret 2013.
- [4] Avago Technologies.; Data sheet HCPL 4506. [www.avagotech.com](http://www.avagotech.com)
- [5] Vishay Siliconix.; Data sheet Power MOSFET IRF 530.
- [6] Puyal. D., Barragán. L. A., Acero. J.; *An FPGA-Based Digital Modulator for Full-or Half-Bridge Inverter Control*. IEEE Transactions On Power Electronics, Vol. 21, No. 5, September 2006.
- [7] Arya. P. S., Chithra. R.; *Phase Shifted Full Bridge DC-DC Converter*. International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET). Volume: 02 Issue: 04. July-2015.
- [8] Texas Instruments.; *Phase-Shifted Full Bridge DC/DC Power Converter Design Guide*. May 2014. [www.ti.com](http://www.ti.com)
- [9] Nene. H.; *Implementing advanced control strategies for phase-shifted, fullbridge DC/Dcconverters using MCUs (Part 1 of 2)*. Systems and Applications, for Texas Instruments Incorporated. 2000

**Biodata Penulis**

**Fitriadi**, lahir di Padang tanggal 14 Maret 1982, mahasiswa Pasca Sarjana Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Andalas Padang, Fungsional Pranata Laboratorium Pendidikan (PLP) Ahli Pertama di Laboratorium Sistem Distribusi dan Proteksi Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Padang.