

Design of Boost Converter Integrated with Graphical User Interface

Rancang Bangun Konverter Boost yang Terintegrasi dengan Graphical User Interface

Sesrima Badri^{1*}, Krismadinata¹

Abstract

This article discusses the design of a Boost type of DC-DC converter with a monitoring GUI. The increase in the output voltage of the converter is done by adjusting the pulse width (PWM). Change the size of the PWM is done by using a switching component in the form of MOSFETs, as well as the use of a gate drive that serves as a signal and security reinforcement between the control circuit and its main circuit. The input voltage of the converter is designed at 12VDC, with an output voltage of 12VDC-24VDC. In this study the GUI was successfully added to display several variables such as voltage (Volt), current (Ampere), as well as graphs of the input and output voltage of the boost converter. GUI monitoring of the converter can be viewed via a PC using Visual Studio 2012 software.

Keywords

Boost Converter, MOSFET, Gate Driver, Visual Studio 2012.

Abstrak

Artikel ini membahas tentang perancangan sebuah rangkaian konverter DC-DC tipe Boost (penaik tegangan) dengan GUI monitoring. Kenaikan tegangan keluaran dari konverter dilakukan dengan mengatur lebar pulsa (PWM). Perubahan besar kecilnya PWM dilakukan dengan menggunakan komponen *switching* berupa MOSFET, serta penggunaan *gate drive* yang berfungsi sebagai penguatan sinyal dan pengaman antara rangkaian kontrol dan rangkaian utamanya. Tegangan masukan dari konverter dirancang sebesar 12VDC, dengan tegangan keluaran 12VDC-24VDC. Dalam penelitian ini GUI berhasil ditambahkan untuk menampilkan beberapa variabel seperti tegangan (Volt), arus (Ampere), serta grafik tegangan masukan dan keluaran dari konverter boost. GUI monitoring dari konverter dapat dilihat melalui PC menggunakan *software* Visual Studio 2012.

Kata Kunci

Konverter Boost, MOSFET, Gate Drive, Visual Studio 2012.

¹ Jurusan Teknik Elektro, Universitas Negeri Padang
Fakultas Teknik, Kampus UNP Air tawar, Jl. Prof. Dr. Hamka, Padang

* sesrimabadri16@gmail.com

Submitted : December 23, 2019. Accepted : December 29, 2019. Published : January 15, 2020.

PENDAHULUAN

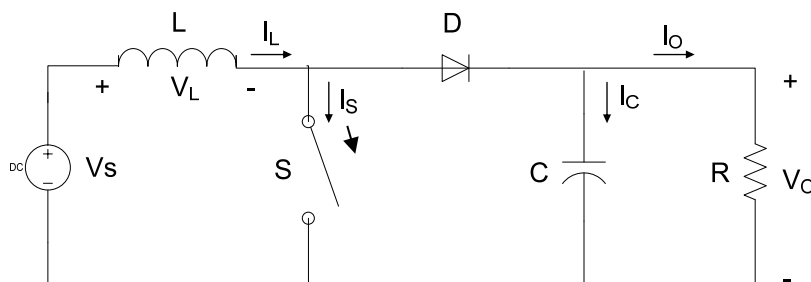
Perkembangan ilmu teknologi dalam bidang elektronika daya telah menghasilkan ketersediaan pasokan tegangan searah (DC), yang mana keluaran dari tegangan searah (DC) tersebut dapat dirubah menjadi lebih besar atau lebih kecil. Konversi tegangan searah ini biasa disebut dengan DC *Chopper* [1]. Pada penerapannya DC *Chopper* bisa memungkinkan suatu sumber penghasil tegangan searah seperti baterai dapat dirubah keluarannya menjadi lebih besar agar bisa dimanfaatkan untuk berbagai perangkat elektronika sesuai kebutuhan[2].

Kebutuhan akan tegangan keluaran searah yang bervariasi dapat terpenuhi dengan adanya konverter boost (regulator DC non-*isolated*). Konverter boost adalah jenis konverter daya DC ke DC dimana tegangan keluaran sama atau lebih tinggi dari tegangan masukan. Tegangan keluaran konverter ini dinaikkan dengan menyesuaikan lebar pulsa PWM (pengaturan *duty cycle*)[3,4,5].

Perancangan konverter boost dengan tegangan masukan 24VDC untuk menaikkan tegangan menjadi 48VDC dengan sistem kontrol yang digunakan berupa mikrokontroler ATmega 8535 telah dikembangkan [6]. Penelitian lainnya tentang perancangan dan pembuatan rangkaian konverter boost untuk meningkatkan performa turbin angin dengan tegangan masukan 12VDC untuk menghasilkan tegangan keluaran yang konstan 24VDC. Penelitian ini bertujuan untuk mempertahankan tegangan keluaran agar memiliki nilai yang konstan meskipun masukan ketika kecepatan angin berubah-ubah atau beban yang berubah-ubah juga telah dikembangkan [7]. Untuk meningkatkan teknologi perancangan konverter boost, pada artikel ini akan dirancang dan dibuat sebuah konverter boost dengan daya sebesar 30 Watt dan tegangan masukan 12VDC serta arus yang digunakan sebesar 2.5A. Pada penelitian ini tegangan keluaran yang dihasilkan bervariasi (dapat diatur) berkisar antara 12VDC-24VDC. Pengembangan pada penelitian ini terletak pada penambahan *interfacing* menggunakan PC. Penambahan *interfacing* digunakan untuk memonitoring keluaran dari konverter boost. *Interfacing* melalui aplikasi Visual Studio 2012 dapat memudahkan para pengguna untuk memonitoring keluaran dari rangkaian konverter boost ini.

Konverter Boost

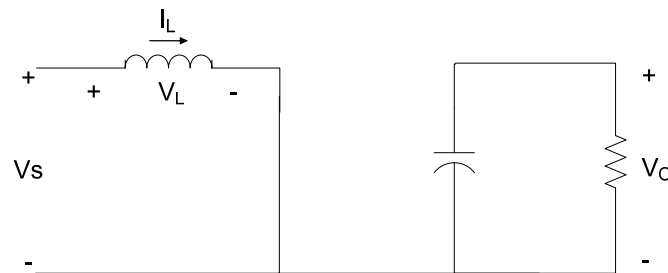
Konverter boost merupakan suatu alat konversi daya listrik searah yang menghasilkan keluaran lebih tinggi daripada masukannya [8,9]. Secara periodik saklar akan bekerja untuk membuka dan menutup begitulah cara konverter boost bekerja. Agar tegangan keluaran dari konverter boost lebih besar daripada masukannya digunakanlah sebuah komponen *switching* untuk pengaturan besar kecilnya *duty cycle*. Beberapa contoh komponen *switching* yang dapat digunakan berupa IGBT, *thyristor*, MOSFET (Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor), dll. Bentuk dari rangkaian dasar sebuah konverter boost hanya terdiri atas beberapa komponen seperti sumber masukan searah (DC), induktor, dioda, kapasitor dan resistor. Berikut bentuk rangkaian dasar dari konverter boost ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Rangkaian Konverter Boost

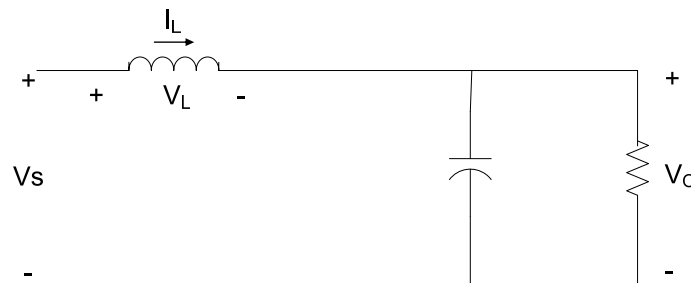
Untuk menghasilkan tegangan keluaran yang sesuai dengan kebutuhan maka digunakan sebuah komponen berupa MOSFET sebagai pengatur besar kecilnya *duty cycle* untuk mencacah arus. Untuk pengendalian kapan MOSFET harus membuka dan menutup maka digunakanlah sebuah rangkaian kontrol. Ketika MOSFET tertutup maka energi akan tersimpan dalam induktor dan akan dilepas ketika terbuka.

Prinsip kerja dari konverter boost terbagi atas 2, yaitu saat saklar tertutup (*on*) dan saat saklar terbuka (*off*). Ketika saklar dalam kondisi *on*, arus akan mengalir dari sumber menuju induktor (arus tersimpan pada induktor). Saklar saat kondisi *on* dapat dilihat pada Gambar 2 berikut.

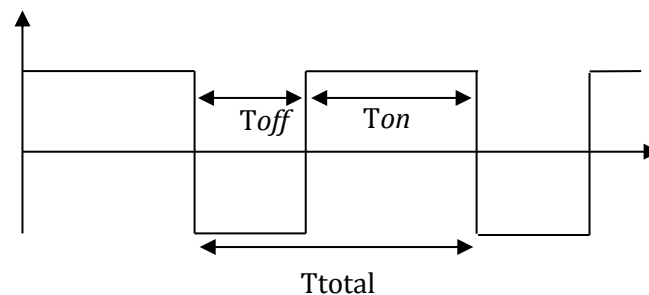


Gambar 2. Saklar Dalam Kondisi *On*

Sementara pada saat saklar dalam kondisi *off*, polaritas disisi kiri induktor lebih negatif, menyebabkan terjadi pengurangan arus pada induktor sehingga arus yang mengalir searah jarum jam menuju dioda dan beban merupakan penjumlahan dari sumber dan induktor, inilah yang menyebabkan tegangan keluaran dari konverter boost lebih tinggi dari pada masukannya. Saklar dalam kondisi *off* dapat terlihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Saklar Dalam Kondisi *Off*



Gambar 4. Sinyal PWM

PWM (Pulse Width Modulation)

PWM (Modulasi Lebar Pulsa) adalah suatu cara merubah lebar sinyal atau tegangan yang dinyatakan dengan gelombang pulsa dalam suatu perioda[10]. PWM merupakan sinyal

digital berupa gelombang petak dimana *duty cycle* dari gelombang dapat diatur untuk menghasilkan keluaran sesuai dengan kebutuhan. Semakin besar lebar pulsa maka akan semakin besar pula keluarannya[11]. Sinyal PWM beroperasi pada frekuensi 500Hz. Setiap siklus nilainya mulai dari 0 sampai 255. Bentuk dari sinyal PWM ditunjukkan pada Gambar 4.

Waktu ketika tegangan keluaran ada pada posisi *high* disebut *Ton*, sedangkan waktu ketika tegangan keluaran ada pada posisi *low* disebut *Toff*. Jumlah waktu satu siklus ketika *Ton* dan *Toff* disebut *Ttotal*.

$$T_{tot} = T_{on} + T_{off}$$

Persamaan dari siklus kerja (*duty cycle*) sebuah gelombang dirumuskan sebagai berikut:

$$D = \frac{T_{on}}{T_{on} + T_{off}} = \frac{T_{on}}{T_{tot}}$$

Untuk mendapatkan tegangan keluaran yang bervariasi dengan pengaturan *duty cycle*, dapat digunakan persamaan berikut:

$$V_o = D \times V_{in}$$

Sehingga diperoleh rumus :

$$V_o = \frac{T_{on}}{T_{tot}} \times V_{in}$$

Arduino Uno

Arduino merupakan *board* mikrokontroler yang berjenis *open source*, yang artinya kita bisa langsung memakainya maupun memodifikasinya. Untuk membuat, melakukan kompilasi dan meng-*upload* program ke arduino maka digunakan *software* Arduino IDE.

Arduino yang digunakan pada penelitian ini adalah jenis Arduino Uno. Pada Arduino Uno terdapat mikrokontroler Atmega 328 (kepingan yang berfungsi untuk bertindak sebagai komputer). Operasi berbasis waktu dapat dilaksanakan dengan tepat dikarenakan terkandungnya mikroprosesor serta kelengkapan dengan *oscillator* 16MHz serta regulator atau *supply* sebesar 5 volt.

Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor (MOSFET)

Komponen dengan kecepatan *switching* yang sangat tinggi bahkan kecepatan *switching* memiliki orde nanodetik dan idikendalikan oleh tegangan serta memerlukan arus masukan yang kecil merupakan beberapa ciri-ciri dari MOSFET[12]. Apabila kecepatan tinggi diperlukan maka MOSFET merupakan komponen terbaik karena MOSFET dapat bekerja pada frekuensi 20KHz-200KHz.

Prinsip dasarnya perumpamaan dari cara kerja MOSFET dapat dilihat seperti pada pengaturan aliran air pipa menggunakan kran. Elektron akan mengalir dari kaki *Source* (S) ke kaki *Drain* (D). Besarnya arus keluaran akan sama dengan arus masukan ($I_D = I_S$). Besar kecilnya tegangan yang masuk pada kaki Gate (G) akan mempengaruhi besar kecilnya arus. Namun dikarenakan tipisnya lapisan oksidasi pada MOSFET mengakibatkan MOSFET mudah rusak karena pembuangan elektrostatik (*Electrostatic Discharge*).

Gate Drive

Gate drive berfungsi sebagai rangkaian penguat tegangan dan arus pada gelombang pulsa yang memperoleh tegangan masukan yang kecil dari sebuah controller dan menghasilkan tegangan masukan yang lebih besar, sehingga dapat dimasukkan ke rangkaian yang memiliki komponen utama semikonduktor seperti SCR, IGBT ataupun MOSFET [13]. Selain itu *gate drive* juga berfungsi sebagai rangkaian isolasi dan pengamanan antara rangkaian daya dan kontrol.

Visual Basic

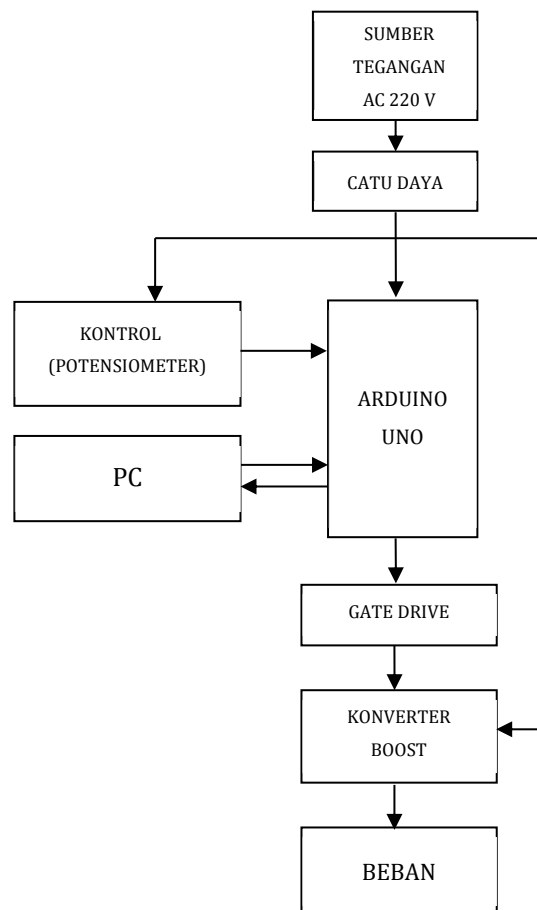
Graphical User Interface (GUI) merupakan suatu program yang dapat memungkinkan pengguna computer dapat berkomunikasi menggunakan media grafik ataupun tampilan visual dengan computer tersebut [14]. Salah satu bentuk pemrograman *windows* yang berbasis GUI

(*Graphical User Interface*) adalah *visual basic* [15]. Bahasa pemrogramannya bersifat *event driven*, yang artinya jika ada respon dari pemakai berupa kejadian tertentu (tombol diklik, mouse ditekan, dll) maka program baru akan terlaksana. Kode yang berhubungan dengan *event* akan dijalankan ketika *event* terjadi. Pada penggunaan *visual basic*, hal yang perlu dilakukan dari awal adalah dengan memperkirakan kebutuhan, perancangan tampilan dan terakhir dengan pembuatan program.

METODE PENELITIAN

Langkah awal yang dapat dilakukan dalam pembuatan alat adalah dengan membuat perancangan alat itu sendiri. Dari sinilah dapat dilihat langkah-langkah yang perlu dilakukan dalam pembuatan tugas akhir. Hal ini juga bertujuan untuk mengantisipasi jika terjadi kegagalan ataupun kesalahan dalam pembuatan alat.

Salah satu langkah perancangan alat yaitu dengan membuat blok diagram. Dengan adanya blok diagram dapat terlihat dengan jelas masing-masing blok rangkaian ataupun komponen yang digunakan dalam pembuatan alat. Dari sinilah kita dapat melihat ataupun mendeteksi jika terjadi kesalahan pada alat. Berikut merupakan blok diagram dari sistem kerja alat yang ditujukan pada Gambar 5.

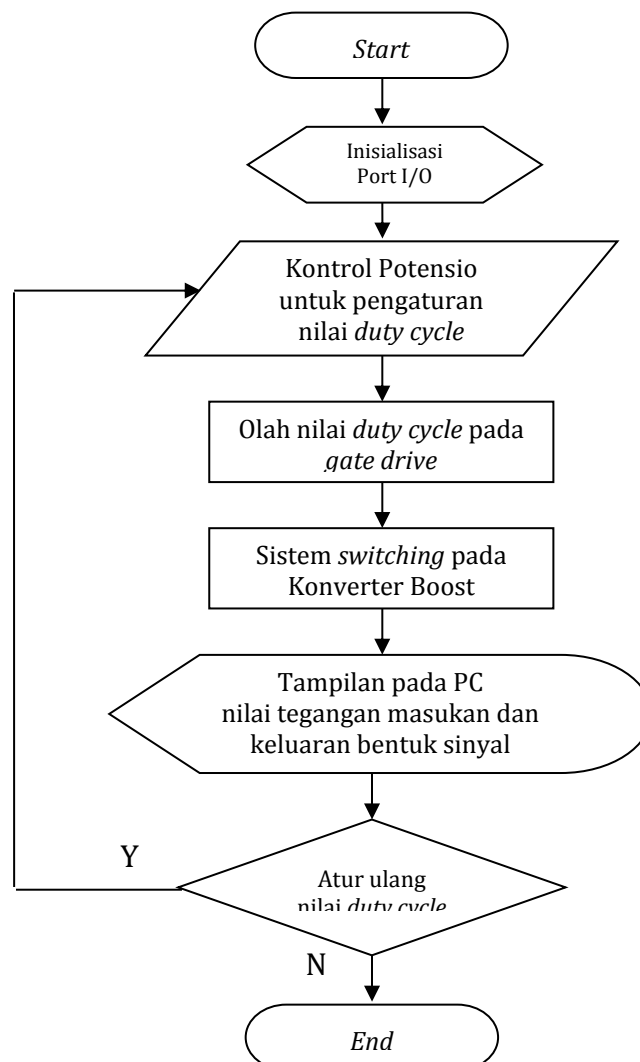


Gambar 5. Blok Diagram Alat

Berikut adalah fungsi dari masing-masing blok diagram :

1. Pada alat ini sumber tegangan 220 VAC berasal dari sumber PLN 1 *phase*. Tegangan inilah yang akan menjadi *supply* awal untuk alat konverter boost.
2. Catu daya berfungsi sebagai penurun dan penyearah tegangan sumber 220 VAC yang akan diturunkan menjadi 12 VDC dan 5 VDC. Sumber 12 VDC akan digunakan sebagai *supply*

- tegangan untuk rangkaian *gate drive*, kontrol potensio, serta sensor. Sedangkan sumber 5 VDC digunakan sebagai *supply* tegangan untuk rangkaian konverter boost sendiri.
3. Konverter boost merupakan rangkaian utama dalam pembuatan alat. Rangkaian konverter boost berfungsi untuk menaikkan tegangan input 12 VDC menjadi 12VDC-24VDC.
 4. *Gate drive* berfungsi sebagai *driver* dari MOSFET yang digunakan pada rangkaian konverter boost.
 5. Potensiometer berfungsi sebagai kontrol untuk mengatur besar kecilnya *duty cycle* yang digunakan untuk menghasilkan tegangan sesuai dengan yang diinginkan.
 6. Arduino Uno berfungsi sebagai pengatur sistem kerja alat mulai dari penghasil sinyal PWM, serta pengiriman dan penerimaan data ke PC.
 7. PC (*Personal Computer*) berfungsi sebagai penampil data atau sebagai antarmuka menggunakan *software Visual Studio 2012*.
 8. Beban yang digunakan pada alat ini berupa resistor *variable* yang dapat diatur besar kecilnya.



Gambar 6. Flowchart Kerja Sistem

Setelah pembuatan diagram blok, pembuatan *flowchart* kerja sistem juga diperlukan dalam perancangan alat. Hal ini dilakukan untuk memudahkan para pembaca dalam memahami langkah kerja dari alat yang dibuat. Berikut *flowchart* kerja sistem ditunjukkan pada Gambar 6.

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Pengujian pada Catu Daya

Pengujian catu daya dilakukan untuk mengetahui apakah rangkaian catu daya dapat bekerja dengan baik. Sehingga dapat mensuplai Arduino Uno, *gate driver*, potensio, dan rangkaian konverter boost. Tabel pengukuran catu daya dapat ditunjukkan pada tabel 1.

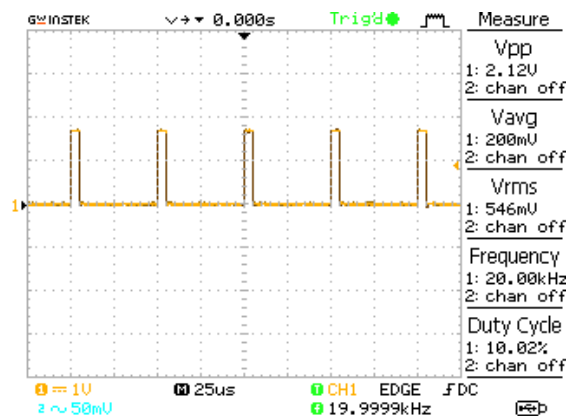
Tabel 1. Pengukuran Catu Daya

No.	Parameter pengukuran	Nilai
1.	Tegangan sumber (PLN)	220 VAC
2.	Tegangan keluaran Catu daya 12 V	12.18VDC
3.	Tegangan keluaran regulator 5V	4.96VDC

Dari pengukuran yang telah dilakukan didapat tegangan keluaran dari catu daya 12VDC menghasilkan tegangan 12.18VDC dan pada regulator 5VDC menghasilkan tegangan 4.96VDC. penyimpangan pada tegangan keluaran yang terukur masih pada batas toleransi. Artinya tegangan yang dihasilkan oleh catu daya dan regulator 5VDC dapat bekerja dengan baik.

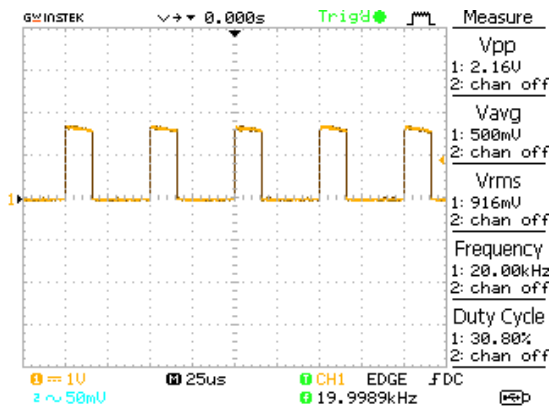
2. Gate Drive

Pengujian rangkaian *gate driver* ini dilakukan dengan cara menghubungkan rangkaian *gate drive* dengan catu daya 5 VDC, dan menghubungkan sinyal keluaran PWM yang dihasilkan oleh Mikrokontroler ATmega328 ke bagian masukan sinyal rangkaian *gate drive* dan melihat gelombang keluaran yang dihasilkan *gate drive* menggunakan *oscilloscope*. Titik ukur pengujian rangkaian *gate drive* ini terletak pada keluaran rangkaian *gate drive*. Bentuk sinyal PWM keluaran dari *gate drive* dengan *duty cycle* 10% ditunjukkan pada Gambar 7.



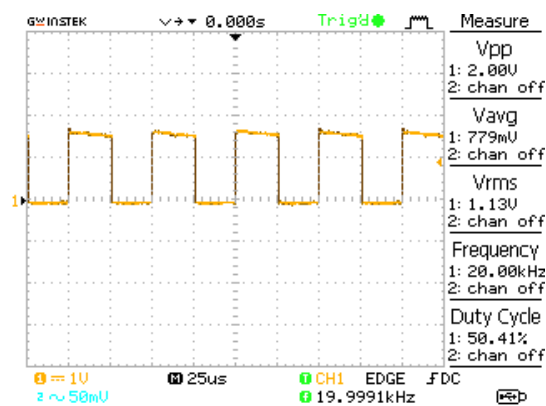
Gambar 7. Gelombang Keluaran *Gate Drive* Dengan *Duty Cycle* 10%

Selanjutnya dilakukan pengujian gelombang keluaran *gate drive* dengan *duty cycle* 30% yang ditunjukkan pada gambar 8.



Gambar 8. Gelombang Keluaran *Gate Drive* Dengan *Duty Cycle* 30%

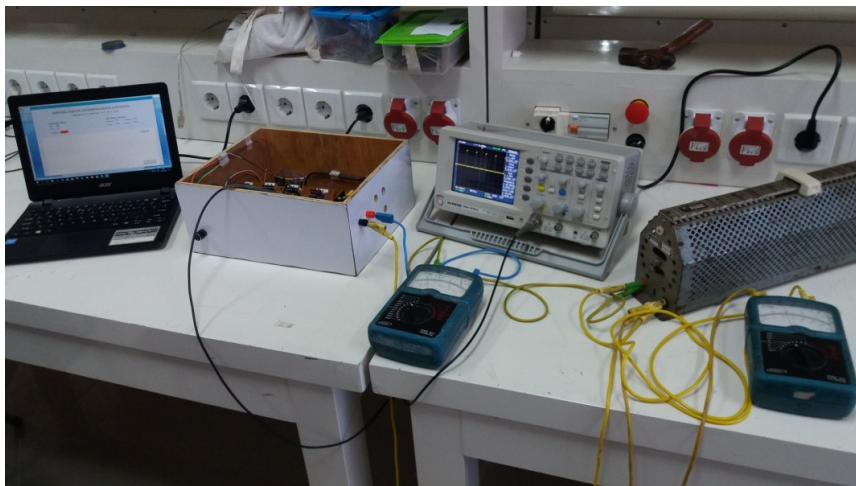
Pada pengujian terakhir *duty cycle* diatur sebesar 50% melihat gelombang keluaran dari rangkaian *gate drive* yang ditunjukkan pada gambar 9.



Gambar 9. Gelombang Keluaran *Gate Drive* Dengan *Duty Cycle* 50%

3. Rangkaian Konverter Boost

Pengujian pada rangkaian konverter boost dilakukan dengan memasukkan supply tegangan PLN 1 fasa 220VAC pada alat. Kemudian PC dihubungkan dengan rangkaian menggunakan kabel USB. Keluaran dari konverter boost dihungkan dengan beban resistor variabel. Berikut gambar pengujian alat secara keseluruhan ditunjukkan pada gambar 10.



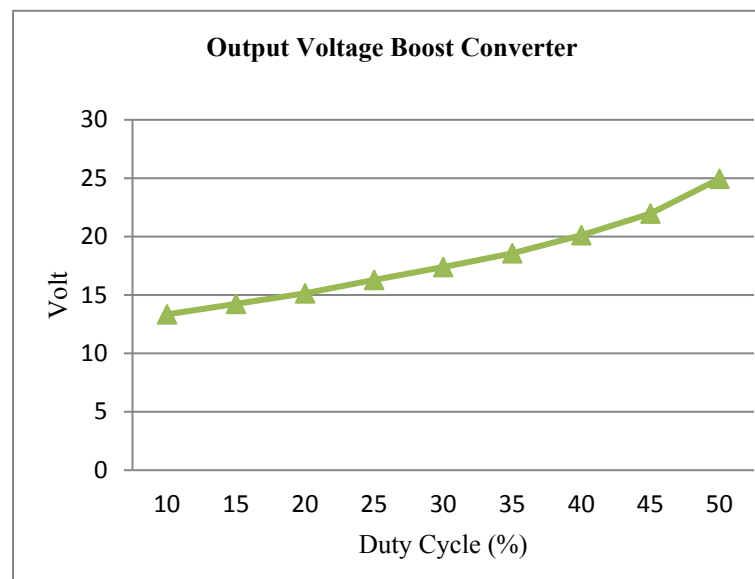
Gambar 10. Pengujian Konverter Boost Secara Keseluruhan

Dalam pengujian konverter boost ini dilakukan dengan memberikan tegangan 12VDC ke masukan rangkaian konverter boost dan mengatur nilai *duty cycle* sebesar 10%, 15%, 20%, 25%, 30%, 35%, 40%, 45%, dan 50%. Beban yang digunakan adalah *load resistor* 70Ω. Berikut pada tabel 2 ditunjukkan hasil pengukuran dari konverter boost.

Tabel 2. Pengukuran Boost Converter dengan beban $R=70\ \Omega$

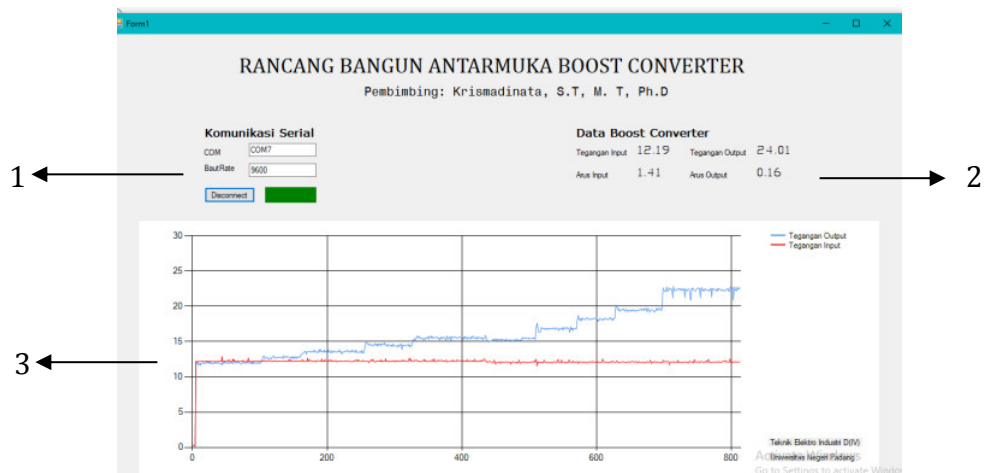
No.	Duty Cycle (%)	Vin (TP1)	Iin (TP2)	Vout (TP3)	Iout (TP4)
1.	10	12.12	0.29	13.34	0.20
2.	15	12.10	0.30	14.24	0.21
3.	20	12.10	0.32	15.14	0.22
4.	25	12.10	0.34	16.29	0.23
5.	30	12.07	0.36	17.39	0.24
6.	35	12.10	0.37	18.57	0.26
7.	40	12.15	0.39	20.12	0.28
8.	45	12.12	0.42	21.97	0.32
9.	50	12.07	0.43	24.95	0.36

Dari pengukuran diatas dapat dilihat kenaikan tegangan *output* sebanding dengan kenaikan *duty cycle*. Grafik kenaikan tegangan *output* dapat dilihat pada gambar 11 berikut.



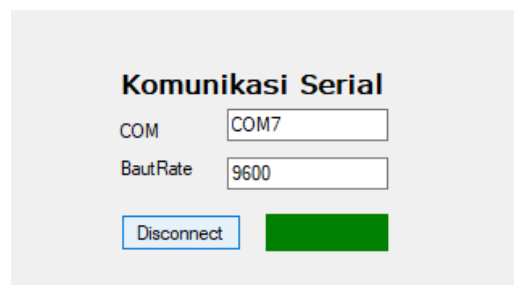
Gambar 11. Grafik Tegangan Output

Tampilan keseluruhan dari *software Visual Studio 2012* sebagai monitoring dari rangkaian boost converter ditunjukkan pada gambar 12.



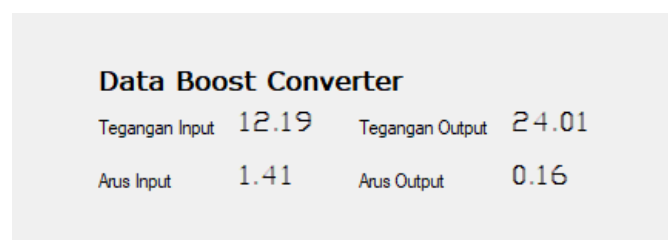
Gambar 12. Tampilan Visual Studio Secara Keseluruhan

Pada gambar 12 terdapat tiga bagian yang ditunjukkan dengan angka. Bagian 1 merupakan bagian komunikasi serial. Terdapat dua *text box* sebagai penampil COM dan *baudrate*, sebuah *button connect* dan satu indikator konektivitas. Bagian 1 dapat dilihat lebih jelas pada gambar 13 berikut.



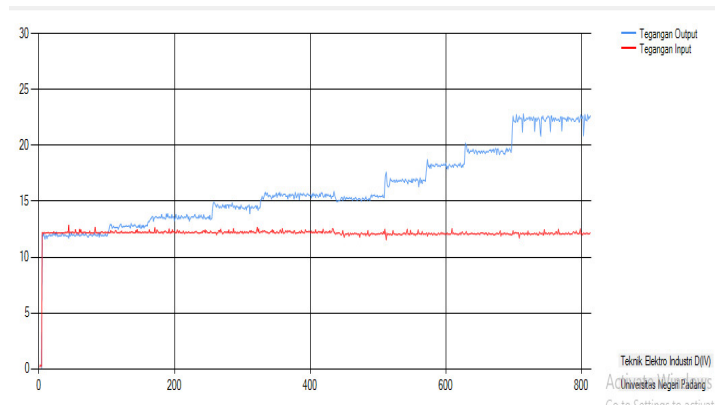
Gambar 13. Komunikasi Serial

Selanjutnya, bagian yang ditunjukkan dengan angka 2 merupakan bagian pembacaan sensor tegangan dan arus dari rangkaian konverter boost yang ditunjukkan pada gambar 14.



Gambar 14. Bagian Pembacaan Sensor

Bagian yang ditunjukkan dengan angka 3 merupakan penampil grafik tegangan *input* dan *output* dari rangkaian konverter boost. Grafik dari tegangan *input* dan *output* ditunjukkan pada gambar 15.



Gambar 15. Grafik Tegangan *Input* dan *Output*

SIMPULAN

Berdasarkan dari hasil pengujian alat konverter boost yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa rangkaian konverter boost berfungsi sebagai konversi daya listrik searah dimana dapat mengubah tegangan keluaran menjadi lebih besar daripada masukannya.

Pada pembuatan alat ini konverter boost dirancang dengan masukan sebesar 12 VDC dengan keluaran 12 VDC-24VDC pada pengujian alat dapat dilihat bahwa perubahan *duty cycle* yang menjadi pengaturan dari tegangan keluaran. Semakin besar *duty cycle* maka akan semakin besar pula tegangan keluaran yang dihasilkan.

DAFTAR RUJUKAN

- [1] Pramufdita, Andana., "Perancangan PWM Digital Konverter Boost Menggunakan Mikrokontroler ATmega 8535", Universitas Negeri Padang, Padang, 2018.
- [2] Harselina, Dwi., "Perancangan Boost Konverter", Universitas Negeri Padang, Padang, 2018.
- [3] Rashid. (2001). *Power Electronics Handbook*. Canada:Academic Press.
- [4] Matalata, H., & Johar, L. W. (2018). Analisa Buck Converter Dan Boost Converter Pada Perubahan Duty Cycle Pwm Dengan Membandingkan Frekuensi PWM 1, 7 Khz DAN 3, 3 Khz. *Jurnal Ilmiah Universitas Batanghari Jambi*, 18(1), 42-50
- [5] Mazta, M. A., Samosir, A. S., & Haris, A. (2016). Rancang Bangun Interleaved Boost Converter Berbasis Arduino. *Electrician*, 10(1), 27-35
- [6] Padillah, F., SYAHRIL, S., & SAODAH, S. (2014). Perancangan dan Realisasi Konverter DC-DC Tipe Boost Berbasis Mikrokontroler ATMEGA 8535. *REKA ELKOMIKA*, 2(1)
- [7] Khairunnisa, Edi yohanes, Jazuli Fadil. (2018). Perancangan Boost Konverter Untuk Meningkatkan Performa Turbin Angin Sumbu Vertikal. *Jurnal Ilmiah Politeknik Negeri Banjarmasin*.
- [8] Juarsah, M. A., Facta, M., & Nugroho, A. (2015). PERANCANGAN DC CHOPPER TIPE BUCK-BOOST CONVERTER PENGUATAN UMPAN BALIK IC TL 494. *TRANSIENT*, 4(3), 597-603.
- [9] Jamlay, M., & Faizal, W. M. (2014). Dual Feedback Control Dc-dc Boost Converter Menggunakan Pi Controller. *INOVTEK POLBENG*, 4(2), 91-97.
- [10] Rosas-Caro, J. C., Ramirez, J. M., Peng, F. Z., & Valderrabano, A. (2010). A DC-DC multilevel boost converter. *IET Power Electronics*, 3(1), 129-137
- [11] Yusiana, V. (2018). Perancangan Boost Konverter Sebagai Penguat Umpan Balik Charger Control Baterai Pada Panel Surya. *Jurnal Civronlit Unbari*, 3(2), 98-103.
- [12] Alma'a, R. P., & Handaga, I. B. (2017). *Power Amplifier Kelas D Self Oscillating Dengan Power Mosfet Irfp4227, Irfp250n Dan Irfp460* (Doctoral dissertation, Universitas Muhammadiyah Surakarta).

-
- [13] Hidayat, Fitrah., & Krismadinata, K. (2019). Rancang Bangun VVVF Inverter 3 Fasa untuk Operasi Motor Induksi 3 Fasa dengan Antarmuka Komputer. *INVOTEK: Jurnal Inovasi Vokasional dan Teknologi*, 19(2), 47-56.
- [14] Pramudyo, A. S. (2016). Rancang Bangun Graphical User Interface Untuk Pergerakan Motor Servo menggunakan Microsoft Visual Basic 2010 Express. *Setrum: Sistem Kendali-Tenaga- Elektronika- Telekomunikasi- Komputer*, 2(2), 94-101.
- [15] Subashni, S., & Satheesh Kumar, N. (2013). *Software Testing Using Visual Studio 2012*. Packt Publication

Biodata Penulis

Sesrma Badri, dilahirkan di Bukittinggi, 16 Juli 1997. Menyelesaikan DIV Teknik Elektro Industri pada jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Negeri Padang.

Krismadinata, dilahirkan di Padang pada tanggal 11 September 1977. Lulus dengan gelar Sarjana Teknik dari Universitas Andalas pada tahun 2000. Memperoleh gelar Magister Teknik dari Institut Teknologi Bandung (ITB) pada tahun 2004, dan S3 di Universiti Malaya pada tahun 2012.