

# PERANCANGAN SISTEM PENAIK LEVEL TEGANGAN MENGGUNAKAN MODIFIED SEPIC CONVERTER DENGAN METODE KONTROL PROPORTIONAL INTEGRAL

Muhammad Izzy Ramadhan<sup>\*)</sup>, Iwan Setiawan dan Enda Wista Sinuraya

Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro  
Jl. Prof. Sudharto, SH, Kampus UNDIP Tembalang, Semarang 50275, Indonesia

<sup>\*)</sup>E-mail: muhammadizzy47@gmail.com

## Abstrak

*Single Ended Primary Inductor Converter (SEPIC) adalah jenis konverter DC-DC buck-boost yang dapat beroperasi sebagai mode step-up dan mode step-down. Pada mode step-up topologi SEPIC converter konvensional hanya dapat menaikkan tegangan sampai 4 kali lipat pada duty cycle 80%. Oleh karena itu untuk mendapatkan nilai penguatan sampai diatas 10 kali dalam tugas akhir ini dirancang modified SEPIC converter dengan menggunakan metode kontrol proportional-integral untuk menjaga tegangan keluaran agar tetap stabil. Modifikasi dari SEPIC konvensional dilakukan dengan menambahkan dioda dan kapasitor. Dari hasil pengujian perancangan modified SEPIC converter ini mampu menaikkan tegangan hingga sebesar 240V dengan tegangan masukan 20V. Rata-rata efisiensi modified SEPIC converter dengan beban 1200Ω, 1500Ω, dan 2000Ω adalah 89,47%, 90,42% dan 89,73%. Dengan menggunakan kontrol proportional-integral dapat menjaga nilai tegangan keluaran sebesar 240V dengan error sekitar 0,83%.*

**Kata kunci:** Konverter SEPIC, modified SEPIC converter, kontrol proportional - integral

## Abstract

*Single Ended Primary Inductor Converter (SEPIC) is a type of buck-boost DC-DC converter which can operate as a step-up mode and a step-down mode. In step-up mode, conventional SEPIC converter topology can only increase the voltage up to 4 times at 80% duty cycle. Therefore, to get a gain of up to 10 times a modified SEPIC converter was designed using a proportional-integral control method to keep the output voltage stable. The modification of conventional SEPIC is done by adding diodes and capacitors. From the test results, the modified SEPIC converter design is able to increase the voltage up to 240V with an input voltage of 20V. The average efficiency of the modified SEPIC converter with a load of 1200Ω, 1500Ω, and 2000Ω is 89.47%, 90.42% and 89.73%. By using the proportional-integral control, it can maintain the output voltage value of 240V with an error of about 0.83%.*

**Keywords :** SEPIC Converter, modified SEPIC converter, proportional-integral control.

## 1. Pendahuluan

Seiring berjalannya waktu dan kemajuan teknologi, kebutuhan listrik semakin meningkat yang menyebabkan persediaan sumber bahan bakar fosil semakin berkurang. Berdasarkan Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik (RUPTL) PT PLN 2019-2028 target penambahan pembangkit listrik dari energi terbarukan adalah 16,714 MW untuk mencapai target Energi Baru Terbarukan (EBT) minimum 23% pada tahun 2025. Salah satunya dengan pemanfaatan energi matahari menggunakan Pembangkit Listrik tenaga Surya (PLTS) atau *photovoltaic* [1].

Energi matahari atau energi surya dapat diubah menjadi energi listrik menggunakan suatu alat yang disebut panel surya. Tegangan dan daya keluaran panel surya berfluktuasi karena dipengaruhi oleh radiasi sinar

matahari, suhu, dan tegangan beban[2]. Karena masih rendahnya tegangan keluaran yang dihasilkan oleh sel surya maka dibutuhkan perangkat yang mampu menaikkan tegangan keluaran sel surya yaitu konverter DC-DC.

Perangkat yang biasa digunakan untuk menaikkan tegangan DC adalah *boost* konverter. Seperti *boost converter*, *SEPIC converter* juga merupakan jenis konverter yang dapat digunakan untuk menaikkan tegangan, namun dengan topologi *SEPIC converter* konvensional hanya dapat menaikkan tegangan sampai 4 kali lipat pada duty cycle 80%[3], sehingga dibutuhkan topologi *SEPIC converter* yang dapat menghasilkan efisiensi dan rasio konversi yang tinggi[4]. Banyak penelitian yang dilakukan untuk mendapatkan topologi konverter dengan efisiensi dan rasio konversi yang tinggi[4-11]. Untuk mengatasi kelemahan *SEPIC*

converter konvensional dikembangkan topologi *Modified SEPIC Converter*[4],[5],[6]. Topologi ini mampu menghasilkan nilai rasio konversi yang mencapai 10 kali lipat dengan menambahkan dioda dan kapasitor.

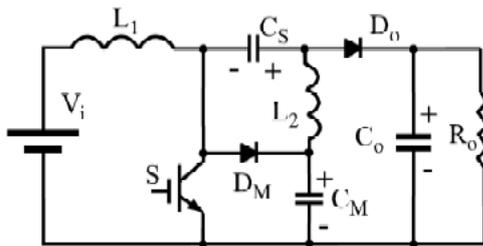
Dalam Penelitian ini, dirancang *Modified SEPIC Converter* dengan teknik pemucuan PWM berbasis mikrokontroler Arduino Nano. Pengendalian tegangan direalisasikan dengan menggunakan metode kontrol *Proportional-Integral*. Sinyal *carrier* dirancang pada 20 kHz. *Modified SEPIC Converter* yang dibuat diharapkan dapat memiliki performa handal dan tegangan keluaran *Modified SEPIC Converter* mencapai nilai  $\pm 240$  Vdc.

## 2. Metode

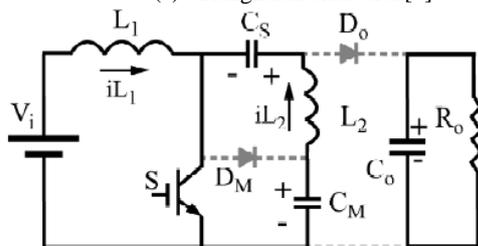
### 2.1. Modified SEPIC Converter

Pada penelitian ini digunakan konverter arus searah tipe *modified SEPIC converter*. Konverter arus searah ini merupakan pengembangan dari *SEPIC converter* konvensional yang hanya dapat menaikkan tegangan input sampai dengan 5 kali lipat. Pengembangan *SEPIC converter* ini dilakukan dengan menambahkan sebuah dioda dan sebuah kapasitor. *Modified SEPIC converter* dapat menaikkan tegangan input hingga 10 kali lipat[4].

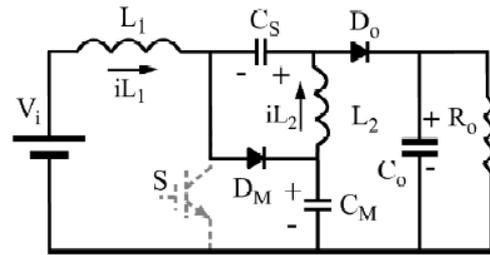
*Modified SEPIC converter* terdiri dari tegangan masukan ( $V_s$ ), Komponen Induktor ( $L_1$  &  $L_2$ ), dioda ( $D_m$  &  $D_o$ ), kapasitor ( $C_m$  &  $C_s$ ), komponen pensaklaran (Q) dan beban (R). skema rangkaian *modified SEPIC converter* dapat dilihat pada Gambar 1[6].



(a) Rangkaian ekuivalen[4]



(b) Rangkaian ekuivalen saat Q aktif/saklar tertutup[4]



(c) Rangkaian ekuivalen saat Q tidak aktif /saklar terbuka[4]

Gambar 1. Skema kerja *Modified SEPIC Converter*

Pada saat saklar Q aktif seperti pada Gambar 1 (b), dioda  $D_m$  dan  $D_o$  dalam kondisi *reverse bias*. Tegangan masukan akan mengalir menuju induktor dan saklar, kemudian kembali lagi menuju tegangan masukan. Pada kondisi ini, induktor  $L_1$  dalam keadaan *charging* sehingga besarnya tegangan masukan akan bernilai sama dengan tegangan induktor  $L_1$ . Disamping mengalami kondisi *charging* di induktor  $L_1$  oleh tegangan masukan, induktor  $L_2$  dan kapasitor  $C_s$  juga dalam kondisi *charging* oleh kapasitor  $C_m$ . Arus yang disuplai dari kapasitor  $C_m$  mengalir melalui saklar Q. Dalam kondisi ini jumlah tegangan yang melintasi kapasitor  $C_m$  sama dengan jumlah tegangan yang melintasi induktor  $L_2$  dan kapasitor  $C_s$ [6].

Pada saat saklar Q tidak aktif seperti pada Gambar 1 (c), dioda  $D_m$  dan  $D_o$  dalam kondisi *forward bias*. Arus dari tegangan masukan akan mengalir melalui induktor  $L_1$  untuk mengisi kapasitor  $C_m$ , kemudian menuju beban  $R_o$  melalui induktor  $L_2$  dan dioda  $D_o$ . Induktor  $L_1$  mengalami mode *discharging* untuk mengisi kapasitor  $C_m$ . Kondisi ini membuat tegangan pada kapasitor  $C_m$  sama dengan jumlah tegangan masukan dan tegangan yang melewati Induktor  $L_1$ . Sebagai tambahan, bukan hanya terjadi pada induktor  $L_1$ , proses *discharging* juga terjadi pada induktor  $L_2$  sehingga terjadi transfer energi ke beban  $R_o$ . Kondisi *discharging* juga terjadi pada kapasitor  $C_s$ , menyebabkan tegangan pada induktor  $L_2$  sama dengan tegangan  $V_{cs}$ [6].

Spesifikasi rangkaian *Modified SEPIC Converter* dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Spesifikasi Rangkaian *Modified SEPIC Converter*

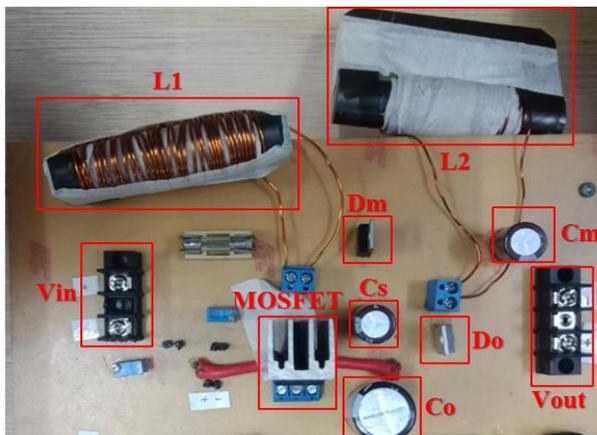
Spesifikasi	Nilai
Tegangan Masukan	20 Vdc
Tegangan Keluaran	240 Vdc
Arus Maksimum	5 A
Duty Cycle	40% - 85%
Frekuensi Switching (fs)	20 KHz

Terdapat 5 komponen penyusun rangkaian *modified sepic converter*, yaitu induktor, kapasitor, dioda, *Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor* (MOSFET), dan resistor sebagai beban.

Dalam rangka menentukan nilai komponen perlu ditentukan mode operasi rangkaian konverter tersebut, *Discontinuous Conduction Mode* (DCM) dan *Continuous Conduction Mode* (CCM) [12]. CCM adalah kondisi arus induktor berada diatas nilai nol selama siklus pensaklaran. Kondisi CCM terjadi apabila nilai induktor pada rangkaian konverter arus searah berada diatas nilai minimumnya. Sedangkan, DCM adalah kondisi dimana arus induktor menyentuh nilai nol sebelum siklus pensaklaran baru dimulai. DCM terjadi apabila nilai induktor pada rangkaian konverter berada dibawah nilai minimumnya[12].

Tabel 2. Komponen penyusun *modified SEPIC converter*

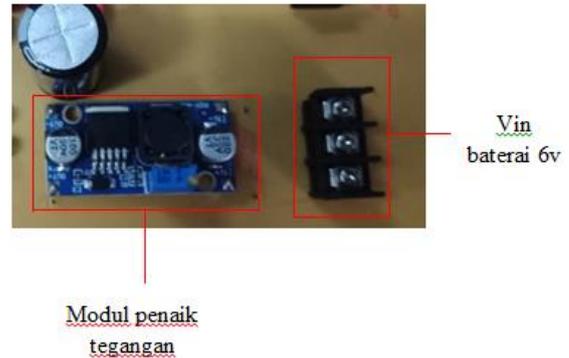
Nama	Nilai
MOSFET	IRFP460
DIODA	MUR1560
Induktor 1	1 mH
Induktor 2	1 mH
Kapasitor 1 (Cs)	10 $\mu$ F / 450 V
Kapasitor 2 (Cm)	10 $\mu$ F / 450 V
Kapasitor 3 (Co)	100 $\mu$ F / 450 V
Resistor	1200 $\Omega$ , 1500 $\Omega$ , dan 2000 $\Omega$



Gambar 2. Spesifikasi Rangkaian *Modified SEPIC Converter*

### 2.2. Rangkaian Suplai *driver* MOSFET

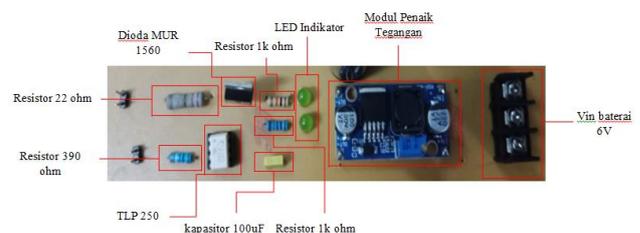
Rangkaian suplai untuk *driver* MOSFET bersumber dari baterai aki 6 V 4 Ah yang kemudian nilai tegangannya dinaikkan menggunakan modul penaik tegangan searah (*step – up converter*). Sumber tegangan dari baterai aki 6 V akan dinaikkan *level* tegangannya menggunakan modul penaik tegangan DC menjadi 15 Vdc. Nilai tegangan tersebut akan dijadikan penguat sinyal PWM yang akan memicu pensaklaran MOSFET.



Gambar 3. Rangkaian suplai *driver* MOSFET

### 2.3. MOSFET *driver*

Rangkaian *driver* MOSFET yang digunakan pada perancangan penelitian ini adalah TLP250. Pemilihan TLP250 sebagai rangkaian *driver* MOSFET pada perancangan penelitian ini dikarenakan TLP250 memiliki fungsi isolasi yang memisahkan *ground* rangkaian kontrol dengan rangkaian daya[13]. Selain itu, TLP250 juga dapat menguatkan sinyal PWM dengan nilai tegangan 5 V yang dibangkitkan oleh rangkaian kontrol menjadi sinyal PWM dengan nilai tegangan yang lebih tinggi (level tegangan 15 V) sehingga dapat digunakan untuk memicu pensaklaran MOSFET IRFP460 yang membutuhkan tegangan  $V_{GS} \pm 20$  V[14].



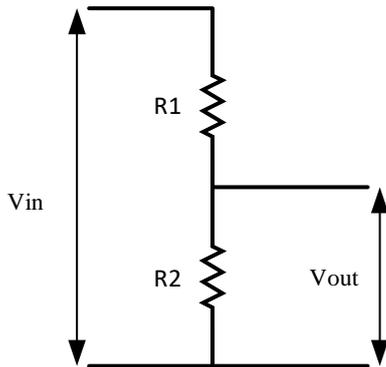
Gambar 4. Realisasi perangkat keras rangkaian *driver* TLP250

### 2.4. Sensor Tegangan

Sensor tegangan yang digunakan pada perancangan penelitian ini adalah rangkaian pembagi tegangan. Rangkaian pembagi tegangan dibuat menggunakan potensio jenis *multi turn* dengan nilai hambatan 500 k  $\Omega$ .

Nilai hambatan potensiometer untuk tegangan keluaran diatur sedemikian rupa sehingga pada saat tegangan sekitar 400 V, tegangan yang terbaca oleh sensor tegangan sebesar 5 V. Pengaturan nilai tersebut disesuaikan dengan batas tegangan keluaran maksimal *modified sepic converter* yaitu sebesar 240 V sehingga

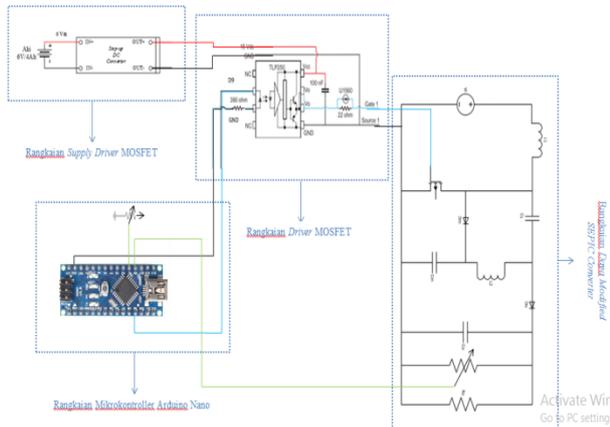
sensor masih dapat membaca tegangan keluaran diatas 240 V.



Gambar 5. Rangkaian pembagi tegangan [15]

### 2.5. Perancangan Alat Secara Keseluruhan

Rangkaian sistem secara keseluruhan dari konverter arus searah tipe *Modified SEPIC Converter* dan rangkaian kontrol ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 6. Rangkaian sistem secara keseluruhan

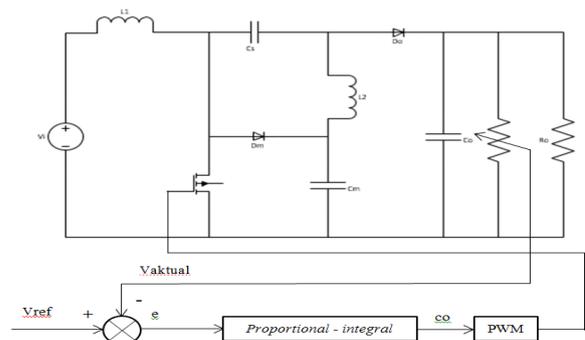
Dari rancangan pada Gambar 6, maka dibuat perangkat keras sistem penaik level tegangan menggunakan *Modified SEPIC Converter* dengan metode *proportional – integral* yang terdiri dari rangkaian daya *Modified SEPIC Converter*, rangkaian suplai *driver MOSFET*, rangkaian *driver MOSFET*, sensor pembagi tegangan, dan mikrokontroler Arduino Nano. Maka realisasi dari perancangan sistem dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Realisasi Perangkat keras keseluruhan

### 2.6. Perancangan Perangkat Lunak

Dalam rangka meregulasi tegangan keluaran dari *modified SEPIC converter* yang dipengaruhi tegangan input dan perubahan beban, pengaplikasian kontrol *close loop* diperlukan untuk memanipulasi lebar dari sinyal PWM sebagai kontrol pensaklaran. Sistem kontrol di desain untuk meningkatkan kemampuan dan menyetabilkan tegangan keluaran pada nilai *steady state*. Tegangan keluaran di komparasikan dengan nilai tegangan referensi untuk memperoleh sinyal *error*, kemudian dengan kontrol PI dibangkitkan sinyal PWM untuk pensaklaran MOSFET. Parameter untuk penguatan PI ( $K_p$ & $K_i$ ) didapatkan dengan *trial* dan *error*.

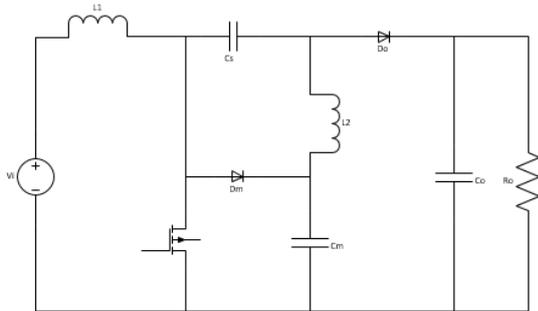


Gambar 8. PI kontrol dengan umpan balik tegangan

### 3. Hasil dan Analisis

#### 3.1. Pengujian Rangkaian Daya

Pengujian rangkaian daya bertujuan untuk mengetahui kinerja *Modified SEPIC Converter* yang telah dirancang. Pengujian dilakukan dengan mengukur nilai tegangan masukan, arus masukan, tegangan keluaran, dan arus keluaran. Gambar 9 merupakan rangkaian pengujian *Modified SEPIC Converter*.

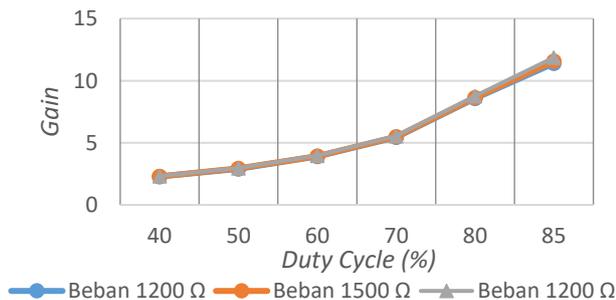


Gambar 9. Rangkaian pengujian *modified SEPIC converter*

Variasi *duty cycle* dilakukan untuk melihat perubahan nilai tegangan keluaran pada rangkaian *modified SEPIC converter*. Variasi *duty cycle* yang digunakan pada pengujian rangkaian daya ini adalah 40% - 85% dengan interval nilai *duty cycle* 10%. Beban yang digunakan adalah resistor dengan nilai 1200 Ω, 1500 Ω dan 2000 Ω. Pengujian dilakukan dengan cara memberikan variasi PWM1H (*duty cycle*) pada MOSFET sehingga MOSFET bekerja. Pengujian dilakukan dengan memberikan nilai Vin 15 Vdc dan 20 Vdc. Pada rangkaian *modified SEPIC converter* dapat dihitung nilai penguatan (*gain*) dengan cara membandingkan tegangan keluaran dengan tegangan masukan seperti berikut

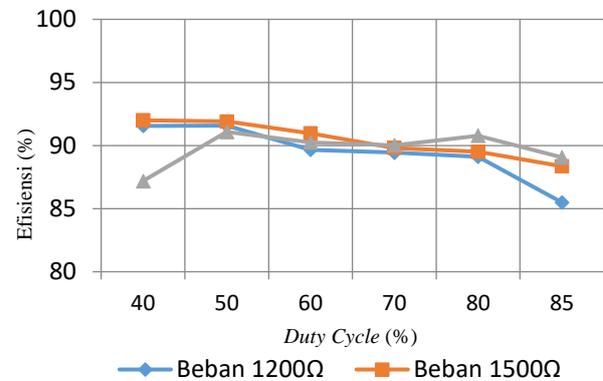
$$Gain = \frac{V_{out}}{V_{in}} \quad (1)$$

Dengan menggunakan Persamaan 1 didapatkan data hasil perhitungan nilai *gain* seperti berikut:



Gambar 10. Penguatan *modified SEPIC converter*

Berdasarkan Gambar 10 menunjukkan bahwa nilai antara *gain 1* dan *gain 2* menunjukkan perbedaan yang sangat kecil sesuai dengan persamaan 1. Selain itu, semakin besar nilai *duty cycle* maka penguatan (*gain*) akan semakin besar ditunjukkan pada Gambar 10 membentuk grafik eksponensial, hal ini menunjukkan bahwa nilai penguatan (*gain*) pada rangkaian *modified SEPIC converter* bersifat *non linear*.

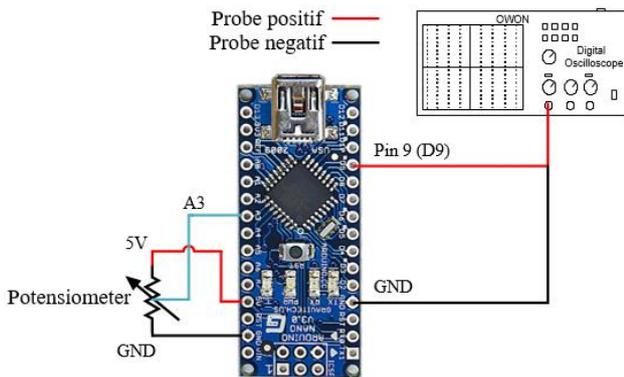


Gambar 11. Efisiensi *modified SEPIC converter* dengan variasi tegangan input dan *duty cycle*

Berdasarkan data pada Gambar 11 didapatkan rata-rata efisiensi dari *modified sepic converter* dengan beban 1200Ω, 1500Ω dan 2000Ω secara berurutan adalah 89,47%, 90,42% dan 89,73%. Nilai efisiensi tidak dapat mencapai 100% dikarenakan adanya rugi – rugi daya pada rangkaian yang disebabkan karena adanya disipasi daya. Nilai efisiensi akan mengalami penurunan seiring dengan menurunnya nilai *duty cycle* dikarenakan semakin tinggi nilai *duty cycle* maka waktu pensaklaran MOSFET semakin lama dan pengisian muatan induktor juga semakin lama. Pengisian muatan induktor secara terus menerus sampai titik jenuhnya akan mengakibatkan jatuh tegangan pada sisi keluaran rangkaian. Hal ini menyebabkan efisiensi menurun pada rangkaian *modified sepic converter*.

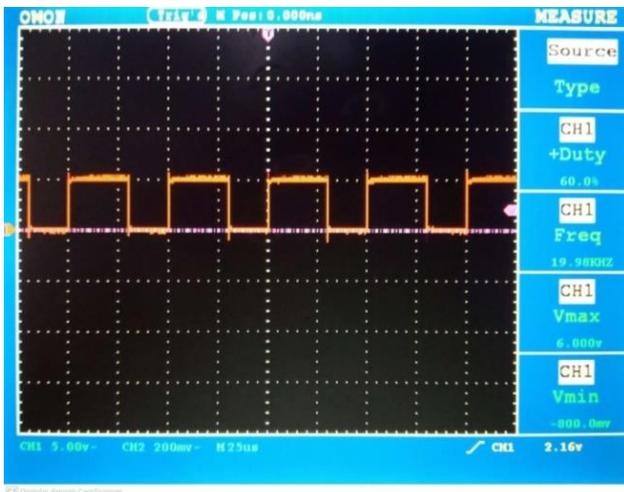
#### 3.2. Pengujian Rangkaian Pembangkit PWM

Rangkaian pembangkit PWM pada penelitian ini menggunakan mikrokontroler Arduino Nano. Pengujian rangkaian pembangkit PWM bertujuan untuk mengamati dan menganalisis gelombang keluaran PWM yang dihasilkan Arduino Nano.



Gambar 12. Rangkaian pengujian output Arduino Nano

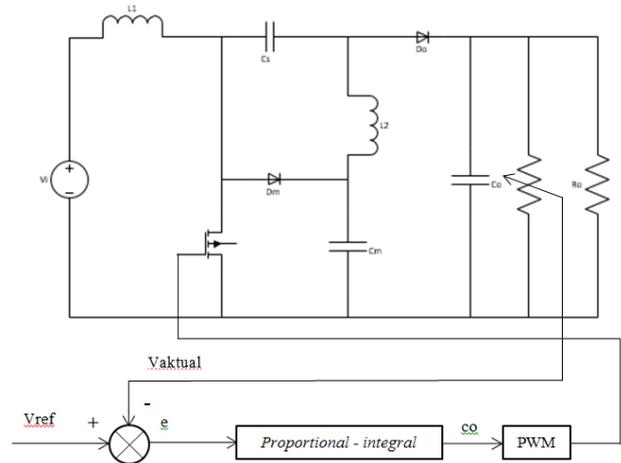
Pengukuran dilakukan menggunakan satu channel Oscilloscope, dengan probe sinyal yang diilustrasikan dengan kabel merah masuk ke pin D9 Arduino Nano dan probe ground yang diilustrasikan dengan kabel biru masuk ke pin ground Arduino Nano.



Gambar 13. Gelombang keluaran PWM 60%

### 3.3. Pengujian Kontrol Proportional – Integral

Pengujian dengan umpan balik tegangan keluaran dilakukan untuk mengetahui kinerja rangkaian dan program kontrol *proportional – Integral*. Pengujian dilakukan dengan mengukur tegangan DC bus/tegangan masukan dan tegangan keluaran. Pengukuran dilakukan dalam keadaan *steady*.

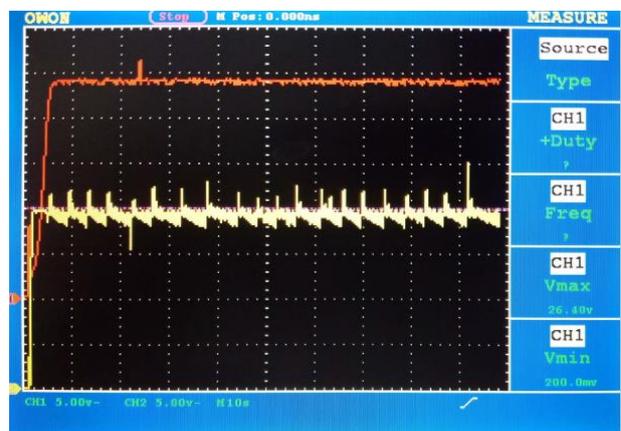


Gambar 14. Rangkaian pengujian modified SEPIC converter terkontrol

Pengujian dengan umpan balik tegangan keluaran dilakukan untuk mengetahui kinerja rangkaian dan program kontrol *proportional – Integral*. Pengujian dilakukan dengan mengukur tegangan DC bus/tegangan masukan, arus masukan, tegangan keluaran, dan arus keluaran. pengujian dilakukan dalam keadaan *steady*. Variasi nilai tegangan masukan dilakukan untuk mensimulasikan nilai tegangan keluaran PV yang fluktuatif pada sistem untuk pengujian program *modified SEPIC converter*. Variasi nilai tegangan pada pengujian ini adalah 15-25 Vdc. Beban yang digunakan adalah resistor dengan nilai 1200 Ω.

#### 3.3.1. Pengujian Terkontrol dengan Tegangan Masukan 20V

Pengujian dilakukan dengan memberikan nilai *set point* tegangan keluaran sebesar 240 Vdc dan tegang masukan yang tetap sebesar 20Vdc. Berikut merupakan nilai tegangan keluaran yang ditampilkan pada Osiloskop.

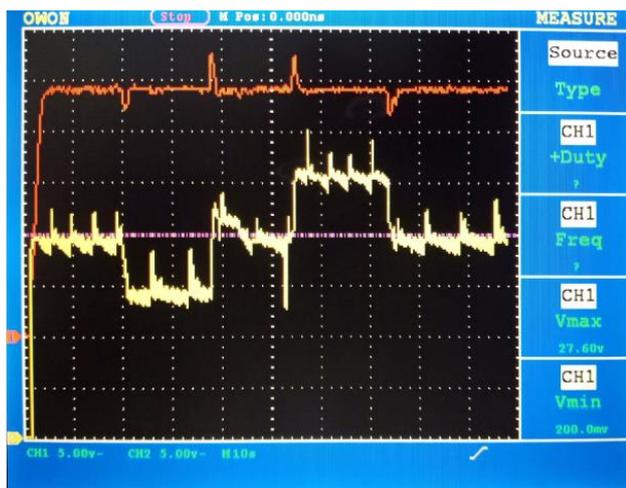


Gambar 15. Tegangan Keluaran dengan Tegangan Masukan 20V dan Beban 1200 Ω.

Pada Gambar 15 terlihat tegangan keluaran dari *modified SEPIC converter* dengan tegangan masukan sebesar 20V, set point 240V dan beban 1200  $\Omega$ . Dari gambar tersebut dapat dilihat bahwa respon tegangan keluaran dari *modified sepic converter* sudah dapat mengikuti tegangan *set point* yang ditentukan yaitu sebesar 240V.

### 3.3.2. Pengujian Terkontrol dengan Tegangan Masukan 15-25V

Pengujian dilakukan dengan memberikan nilai *set point* tegangan keluaran sebesar 240 Vdc dan tegang masukan yang berubah-ubah sebesar 15V-25V. Berikut merupakan nilai tegangan keluaran yang ditampilkan pada Osiloskop.



Gambar 16. Tegangan Keluaran dengan Tegangan Masukan 15-25V dan Beban 1200  $\Omega$ .

Pada Gambar 16 terlihat tegangan keluaran dari *modified sepic converter* dengan tegangan masukan yang berubah secara cepat sebesar 15V-20V, *set point* 240V dan beban 1200  $\Omega$ . Dari gambar tersebut dapat dilihat bahwa ketika terdapat perubahan pada tegangan masukan yang secara mendadak, sistem dapat merespon dengan cukup cepat untuk menjaga tegangan keluaran tetap berada pada *set point*.

Tegangan keluaran yang terukur dengan multimeter menunjukkan nilai sebesar 238-242V yang berarti terdapat *error* sebesar 0,83%. Nilai *error* antara tegangan keluaran dengan *set point* sangat kecil sehingga dapat disimpulkan bahwa kontrol *proportional - integral* sudah berjalan dengan baik dan dapat menjaga tegangan keluaran agar sesuai dengan *set point*.

## 4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian dan analisis pada penelitian ini dapat disimpulkan bahwa konverter arus searah tipe *modified SEPIC converter* dengan kontrol umpan balik tegangan keluaran menggunakan *proportional - integral*

menggunakan mikrokontroler Arduino Nano telah berhasil direalisasikan. Dengan tegangan input yang divariasikan antara 15 – 25 Vdc, nilai tegangan keluaran dapat dikontrol pada 240Vdc. Terdapat *error* sebesar 0,83% pada saat pengukuran tegangan keluaran dengan alat ukur. Nilai *error* antara tegangan keluaran dengan *set point* sangat kecil sehingga dapat disimpulkan bahwa kontrol *proportional - integral* sudah berjalan dengan baik dan dapat menjaga tegangan keluaran agar sesuai dengan *set point*.

## Referensi

- [1]. Demand Forecast RUPTL 2019-2028, Jakarta, Indonesia: Keputusan Menteri ESDM No. 39K/20/MEM/2019, Februari 2019
- [2]. Yongchang, Yu, dan Yao Chaunan, 2012. "Implementation Of A MPPT Controller Based On AVR Mega16 For Photovoltaic Systems". ELSIVIER, 2012.
- [3]. Prasetyo, Ryan & Maulana, Dwindra & Panatarani, Camellia & Joni, I Made. (2016). PEMODELAN DAN SIMULASI TOPOLOGI SINGLE ENDED PRIMARY INDUCTOR CONVERTER (SEPIC) UNTUK MINI 3 PLUS WIND TURBINE. SNF2016-CIP. 10.21009/0305020129.
- [4]. R. Gules, W. M. Santos, F. A. Reis, E. F. R. Romaneli, and A. A. Badin, "A Modified SEPIC Converter With High Static Gain for Renewable Applications," IEEE Transactions on Power Electronics, vol. 29, no.11, 2014.
- [5]. C. Muranda, E. Ozsoy, S. Padmanaban, M. S. Bhaskar, V. Fedák and V. K. Ramachandaramurthy, "Modified SEPIC DC-to-DC boost converter with high output-gain configuration for renewable applications," 2017 IEEE Conference on Energy Conversion (CENCON), Kuala Lumpur, 2017, pp. 317-322, doi: 10.1109/CENCON.2017.8262505.
- [6]. Suryoatmojo, H., I. Dilianto, Suwito, R. Mardiyanto, E. Setijadi and D. C. Riawan. "Design and analysis of high gain modified SEPIC converter for photovoltaic applications." 2018 IEEE International Conference on Innovative Research and Development (ICIRD) (2018): 1-6.
- [7]. Design and Implementation of an Integrated Boost-Flyback Converter K. Tattiwong and C. Bunlaksananusorn
- [8]. O. Abutbul, A. Gherlitz, Y. Berkovich, and A. Ioinovici, "Step-up switching-mode converter with high voltage gain using a switchedcapacitor circuit," IEEE Trans. Circuits Syst. I, vol. 50, no. 8, pp. 1098–1102, Aug. 2003.
- [9]. B. Axelrod, Y. Berkovich, and A. Ioinovici, "Switched-capacitor (SC)/switched-inductor (SL) structures for getting hybrid step-down CUK/ZETA/SEPIC converters," in Proc. Int. Symp. Circuits and Systems, 2006, pp. 5063–5066.
- [10]. F. L. Luo, "Six self-lift DC–DC converters, voltage lift technique," IEEE Trans. Ind. Electron., vol. 48, no. 6, pp. 1268–1272, Dec. 2001.

- [11]. Hosseini, S., Babaei, E., & Nouri, T, "An interleaved high step-up DC-DC converter to reduced voltage stress across semiconductors. Proceeding of the 2014 IEEE 27<sup>th</sup> Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering (CCECE), pp. 1-6, 2014.
- [12]. M. H. Rashid, *Power Electronics Handbook: Devices, Circuits, and Applications*. United States: Prentice-Hall International Inc, 2007.
- [13]. *TLP250*, Toshiba Corporation, Japan, 2007.
- [14]. IRFP460, STMicroelectronics, Italy, 1998.
- [15]. *Voltage Dividers and Sensor Calibration*, 1997.