

PERANCANGAN SISTEM PENAIK LEVEL TEGANGAN PADA SISTEM PHOTOVOLTAIC STAND – ALONE MENGGUNAKAN QUADRATIC BOOST CONVERTER DENGAN METODE PROPORTIONAL – INTEGRAL BERBASIS MIKROKONTROLLER DSPIC

Hadiyat Kencana Putra^{*)}, Susatyo Handoko dan Iwan Setiawan

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

^{*)}E-mail: hadiyatkencana@gmail.com

Abstrak

Panel surya pada umumnya digunakan untuk mengubah energi matahari menjadi energi listrik, serta memiliki karakteristik tegangan output yang berubah-ubah seiring berubahnya tingkat iradiasi matahari dan menghasilkan tegangan keluaran listrik yang rendah sehingga dibutuhkan konverter untuk menaikkan level tegangan sebelum diubah menjadi tegangan AC. Dalam tugas akhir ini, penulis melakukan perancangan dan implementasi Quadratic Boost Converter dengan kontrol proportional – Integral menggunakan mikrokontroler 16-bit dsPIC30F4011 yang digunakan untuk photovoltaic yang terhubung ke bus DC untuk dikonversi menjadi tegangan AC. Sistem kontrol dapat membangkitkan sinyal PWM dengan umpan balik tegangan keluaran dan perangkat lunak tertanam menggunakan DSP mikrokontroler menggunakan fix point aritmatika untuk waktu komputasi yang lebih cepat dan mengurangi penggunaan memori.

Kata kunci : Panel surya, quadratic boost converter, proportional - integral

Abstract

Photovoltaic are generally used to convert solar energy into electrical energy, also has output voltage characteristic which fluctuate proportional to sun irradiation level and produced a low output voltage so it is needed converter that can increasing voltage level before converted to AC voltage. In this final project, perform design and implementation of Quadratic Boost Converter with proportional – integral controlled system implemented in 16-bit dsPIC30F4011 microcontroller that applied to photovoltaic connected to DC bus to be converted from DC to AC voltage. The control system can generate PWM signals with output voltage feedback and the software is embedded using DSP microcontroller using fix point arithmetic to achieve faster computation time and to reduce memory usage.

Keywords : Photovoltaic, quadratic boost converter, proportional - integral

1. Pendahuluan

Pembangkit listrik adalah bagian dari alat industri yang dipakai untuk memproduksi dan membangkitkan tenaga listrik dari berbagai sumber tenaga, seperti PLTU, PLTN, PLTA, PLTB, PLTG, PLTS, PLTSa. Pembangkit listrik di Indonesia terdiri dari dua sumber energi utama yaitu energi fosil dan energi baru terbarukan dimana penggunaan energi fosil lebih dari 80% dari keseluruhan pembangkit listrik. Penggunaan energi fosil secara terus menerus akan menyebabkan ketersediaan yang terus menipis dan merusak lingkungan akibat dari polusi yang ditimbulkan. Akan tetapi 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 bauran Energi Baru Terbarukan (EBT) minimum 23% pada tahun 2025. Salah satunya dengan pemanfaatan energi matahari

menggunakan Pembangkit Listrik tenaga Surya (PLTS) atau photovoltaic [1].

Panel surya (*Photovoltaic*) memiliki karakteristik tegangan dan daya keluaran yang berubah-ubah seiring berubahnya tingkat iradiasi yang diserap oleh sel surya. Sumber energi dengan level tegangan DC rendah, memerlukan step-up converter untuk menaikkan tegangan sebelum dikonversikan menjadi tegangan AC [2]. Konverter DC yang paling banyak digunakan untuk aplikasi tersebut adalah konverter boost. Dengan tegangan DC keluaran panel surya yang berubah-ubah, konverter ini harus dapat beroperasi pada rasio konversi tegangan yang tinggi. Namun, untuk mendapatkan rasio konversi tegangan yang tinggi, konverter boost ini membutuhkan *duty cycle* yang sangat tinggi (mendekati satu). Konverter yang beroperasi pada *duty cycle* yang tinggi akan menimbulkan berbagai permasalahan seperti penurunan efisiensi dan *electromagnetic interference* (EMI) [3].

Berbagai topologi baru untuk konverter boost sudah dikembangkan untuk mendapatkan konverter step-up dengan rasio konversi tegangan yang tinggi, seperti konverter boost dengan *Coupled-Inductor*. Namun konverter jenis ini memiliki leakage energy yang menyebabkan timbulnya voltage stress dan juga tingkat *Electromagnetic Interference (EMI)* yang tinggi [4]. Jenis topologi lain untuk konverter boost rasio tinggi adalah *Two Cascade Boost Converter*. Namun, karena topologi ini menggunakan dua Sakelar, maka efisiensi dari konverter tersebut menjadi berkurang. Untuk mendapatkan konverter step-up rasio tinggi dengan efisiensi yang tinggi serta EMI yang rendah, maka harus digunakan konverter boost dengan sakelar tunggal. Untuk keperluan ini, maka dikembangkan jenis topologi konverter boost yang baru dimana hanya memerlukan satu sakelar dan tiga dioda. konverter ini memiliki rasio konversi sebagai fungsi kuadrat sehingga disebut dengan *Quadratic Boost Converter* [5].

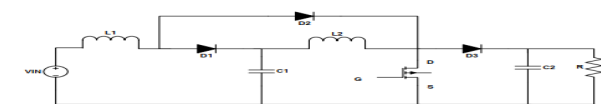
Di dalam tugas akhir ini, akan dirancang dan diimplementasikan *Quadratic Boost Converter* yang memiliki karakteristik dapat menaikkan tegangan DC pada rasio konversi yang tinggi dengan teknik pemucuan PWM berbasis mikrokontroler 16-bit DSPIC30f4011. Pengendalian tegangan direalisasikan dengan menggunakan metode kontrol *Proportional-Integral*. Sinyal *carrier* dirancang pada 20 kHz. *Quadratic Boost DC-DC Converter* yang dibuat diharapkan dapat memiliki performa handal dan tegangan keluaran *Quadratic Boost DC-DC Converter* mencapai nilai ± 315 Vdc. Konverter boost jenis ini memiliki kelebihan duty cycle yang lebih kecil untuk rasio konversi tegangan yang sama. Sehingga efisiensi penyaluran daya pun lebih tinggi.

2. Metode

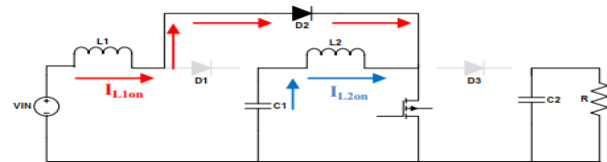
2.1. Quadratic Boost Converter

Konverter ini merupakan penaik tegangan DC yang memiliki persamaan rasio konversi sebagai fungsi kuadrat dari persamaan rasio dari konverter Boost konvensional. Konverter ini memiliki topologi seperti ditunjukkan pada gambar 2.1. Konverter Quadratic Boost ini memiliki kualitas yang bersaing karena memiliki topologi yang sederhana dan dapat menaikkan tegangan hingga 400 volt dengan tegangan minimal 15 – 30 volt [6].

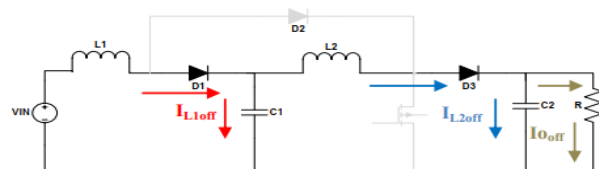
Quadratic Boost Converter terdiri dari tegangan masukan (Vs), Komponen Indruktor (L1 & L2), komponen pensaklaran (Q1), dioda (D1,D2 & D3), kapasitor (C1 & C2), dan beban (R). skema rangkaian *Quadratic Boost Converter* dapat dilihat pada Gambar 1.



(a) Rangkaian ekuivalen



(b) Rangkaian ekuivalen saat Q aktif/saklar tertutup



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

Gambar 1. Skema kerja Quadratic Boost Converter

Pada saat Q aktif, tegangan masukan konverter dan induktor 1 membentuk satu loop tertutup sehingga besarnya tegangan induktor 1 adalah sama dengan nilai tegangan sumber dan besarnya tegangan induktor 2 adalah sama dengan nilai tegangan kapasitor 1. Induktor L1 akan menyerap energi dari sumber. Sehingga terjadi aliran arus dari sumber ke induktor L1, kemudian melewati sakelar menuju ground atau negatif sumber. Nilai arus pada induktor 1 (I_{L1on}) akan berubah terhadap waktu secara positif, atau dengan kata lain bertambah dari nol hingga nilai tertentu. Pada saat yang sama, induktor L2 menyerap energi yang tersimpan pada kapasitor C1. Sehingga arus induktor L2 akan naik secara linear hingga nilai tertentu dan nilai tegangan kapasitor C1 akan turun secara linear. Induktor mengalami proses charging sedangkan kapasitor mengalami proses discharging [7].

Pada saat Q tidak aktif, sumber tegangan dan induktor L1 akan menyalurkan energi ke kapasitor C1 [8]. Sehingga nilai arus induktor L1 akan turun secara linear selama waktu sakelar tertutup, sedangkan nilai tegangan kapasitor C1 akan naik secara linear. Pada saat yang sama, kapasitor C1 dan induktor L2 akan menyalurkan energi yang tersimpan menuju kapasitor C2. Sehingga nilai arus induktor L2 akan turun secara linear. Pada kondisi ini pula kapasitor C2 melakukan transfer energi yang tersimpan ke beban. Sehingga didapatkan besarnya tegangan keluaran dari konverter ini merupakan suatu fungsi kuadrat dari rumus rasio konversi dari konverter Boost konvensional. Spesifikasi rangkaian *Quadratic Boost Converter* dapat dilihat pada Tabel 1

Tabel 1 Spesifikasi Rangkaian Quadratic Boost Converter

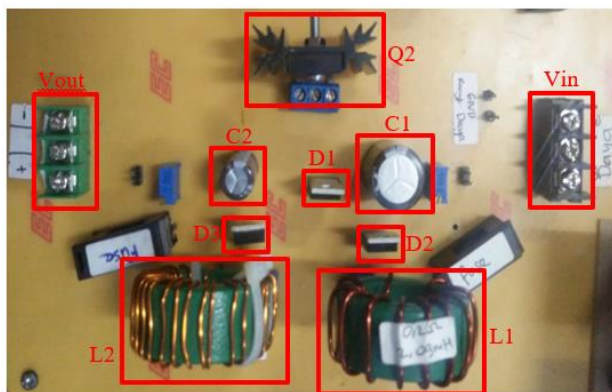
Spesifikasi	Nilai
Tegangan Masukan	15 Vdc – 20 Vdc
Tegangan Keluaran	315 Vdc
Arus Maksimum	6 A
Duty Cycle	30% - 60%
Frekuensi Switching (fs)	20 KHz

Terdapat 9 komponen penyusun rangkaian *Quadratic Boost Converter*, yaitu 2 Induktor, 2 kapasitor, 3 dioda, 1 *Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor* (MOSFET), dan resistor sebagai beban[9].

Dalam rangka menentukan nilai komponen perlu ditentukan mode operasi rangkaian konverter tersebut, *Discontinuous Conduction Mode* (DCM) dan *Continuous Conduction Mode* (CCM). 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[10].

Tabel 2 Komponen penyusun *Quadratic Boost Converter*

Nama	Nilai
MOSFET	IRFP460
DIODA	MUR1560
Induktor 1	2,09 mH
Induktor 2	8,76 mH
Kapasitor 1	33 μ F / 450 V
Kapasitor 2	3,3 μ F / 450 V
Resistor	2000 Ω



Gambar 2. Realisasi rangkaian *Quadratic Boost Converter*

2.2. Rangkaian Suplai 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*).

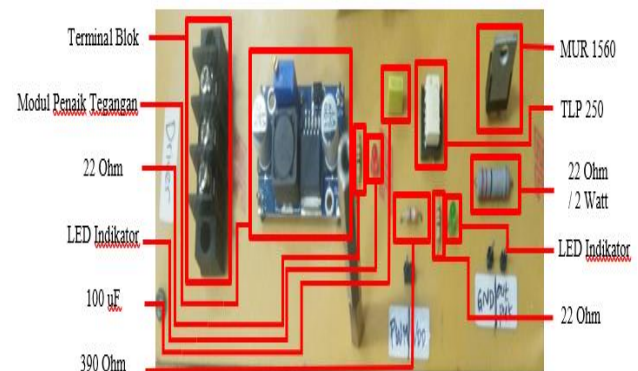
Sumber tegangan dari baterai aki 6 V akan dinaikkan *level* tegangannya menggunakan modul penaik tegangan DC menjadi 15 Vdc. Nilai tegangan tersebut akan dijadikan penguat sinyal PWM yang akan memicu pensaklaran MOSFET.



Gambar 3. Rangkaian suplai *driver* MOSFET

2.3. MOSFET driver

Rangkaian *driver* MOSFET yang digunakan pada perancangan Tugas Akhir ini adalah TLP250. Pemilihan TLP250 sebagai rangkaian *driver* MOSFET pada perancangan Tugas Akhir ini dikarenakan TLP250 memiliki fungsi isolasi yang memisahkan *ground* rangkaian kontrol dengan rangkaian daya. 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 [11].



Gambar 4. Realisasi perangkat keras rangkaian *driver* TLP250

2.4. Sensor Tegangan

Sensor tegangan yang digunakan pada perancangan Tugas Akhir ini adalah rangkaian pembagi tegangan. Rangkaian pembagi tegangan dibuat menggunakan potensio jenis *multi turn* dengan nilai hambatan 500 k Ω .

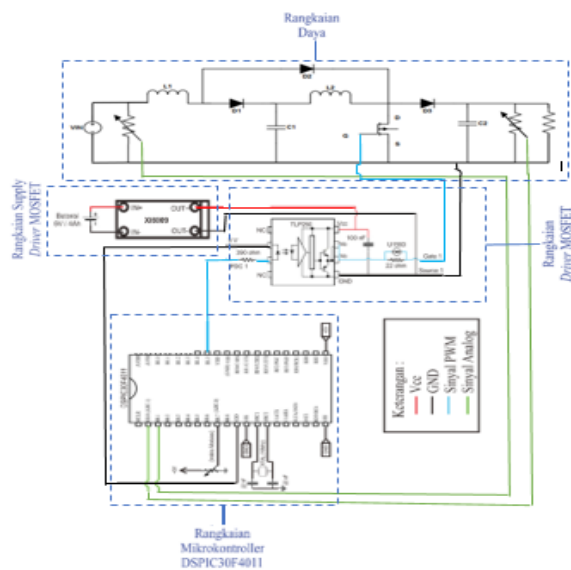
Nilai hambatan potensiometer untuk tegangan input diatur sedemikian rupa sehingga pada saat tegangan 20 V, tegangan yang terbaca oleh sensor tegangan sebesar 5 V dan untuk tegangan output diatur sedemikian rupa sehingga pada saat tegangan 315 V, tegangan yang terbaca oleh sensor tegangan sebesar 5 V. pengaturan nilai tersebut disesuaikan dengan batas tegangan input maksimal *Quadratic Boost Converter* yaitu sebesar 20 V dan tegangan output maksimal sebesar 315 V.

2.5. Rangkaian Pemutus Arus

Rangkaian pemutus arus yang digunakan pada penelitian Tugas Akhir ini menggunakan fuse 10A. pemilihan modul tersebut dikarenakan dapat digunakan dengan mudah tanpa menggunakan mikrokontroler dan kemampuan dari fuse untuk memutus maksimal arus 10A agar menjaga tegangan masukan tidak lebih dari 10A dan apabila arus melebihi 10A maka fuse akan bekerja.

2.6. Perancangan Alat Secara Keseluruhan

Rangkaian sistem secara keseluruhan dari konverter arus searah tipe *Quadratic Boost Converter* dan rangkaian kontrol ditunjukkan pada gambar 5



Gambar 5. Rangkaian sistem secara keseluruhan

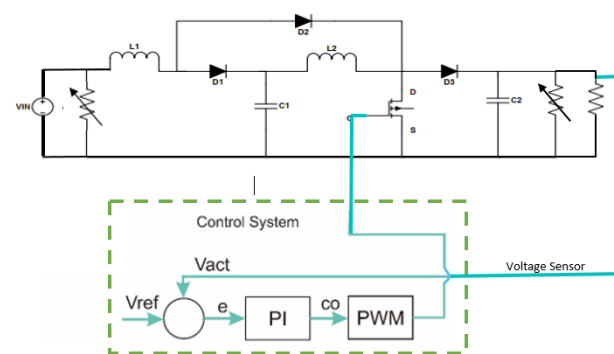
Dari rancangan pada Gambar 5, maka dibuat perangkat keras sistem penaik level tegangan menggunakan *Quadratic Boost Converter* dengan metode *proportional – integral* yang terdiri dari rangkaian daya *Quadratic Boost Converter*, rangkaian suplai, rangkaian driver MOSFET, sensor pembagi tegangan, dan mikrokontroler 16-bit DSPIC30F4011. Maka realisasi dari perancangan sistem dapat dilihat pada gambar 6



Gambar 6. Realisasi Perangkat keras keseluruhan

2.7 Perancangan Perangkat Lunak

Dalam rangka meregulasi tegangan keluaran dari *quadratic boost 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 PI kontrol dibangkitkan sinyal PWM untuk pensaklaran MOSFET. Parameter untuk penguatan PI (K_p & K_i) didapatkan dengan *trial* dan *error*.

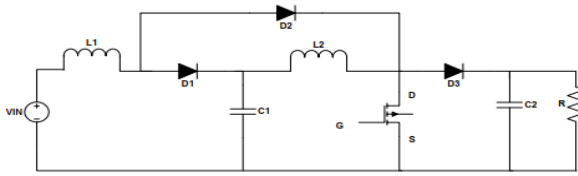


Gambar 7. PI kontrol dengan umpan balik tegangan

3. Hasil dan Analisis

3.1. Pengujian Rangkaian Daya

Pengujian rangkaian daya bertujuan untuk mengetahui kinerja *Quadratic boost converter* yang telah dirancang. Pengujian dilakukan dengan mengukur nilai tegangan masukan, arus masukan, tegangan keluaran, dan arus keluaran. gambar merupakan rangkaian pengujian *Quadratic boost converter*.



Gambar 8.. Rangkaian pengujian *Quadratic boost converter*

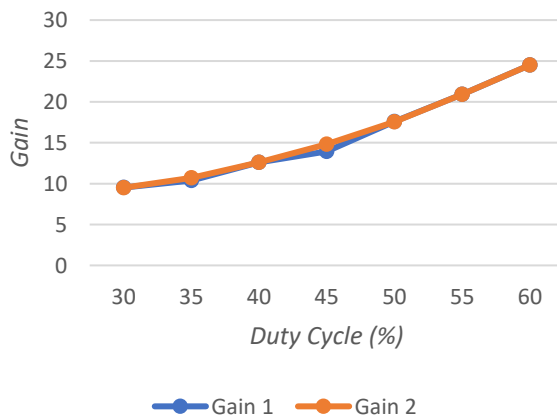
Variasi *duty cycle* dilakukan untuk melihat perubahan nilai tegangan keluaran pada rangkaian *quadratic boost converter*. Variasi *duty cycle* yang digunakan pada pengujian rangkaian daya ini adalah 30% - 60% dengan interval nilai *duty cycle* 5%. Beban yang digunakan adalah resistor dengan nilai 1000 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 *boost converter* dapat dihitung nilai penguatan (*gain*) dengan cara membandingkan tegangan keluaran dengan tegangan masukan seperti berikut [12].

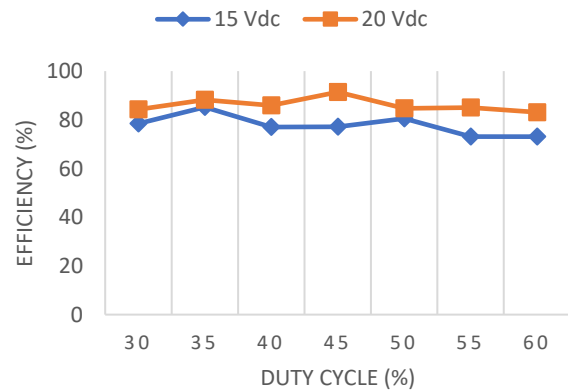
$$Gain = \frac{V_{out}}{V_{in}} \quad (4.1)$$

Dengan menggunakan Persamaan 4.1 didapatkan data hasil perhitungan nilai *gain* seperti berikut



Gambar 9. Penguatan *quadratic boost converter*

Bersasarkan Gambar 6 menunjukkan bahwa nilai antara *gain 1* dan *gain 2* menunjukkan perbedaan yang sangat kecil sesuai dengan persamaan 4.1. Selain itu, semakin besar nilai *duty cycle* maka penguatan (*gain*) akan semakin besar ditunjukkan pada Gambar 9 membentuk grafik eksponensial, hal ini menunjukkan bahwa nilai penguatan (*gain*) pada rangkaian *boost converter* bersifat non linear [13].

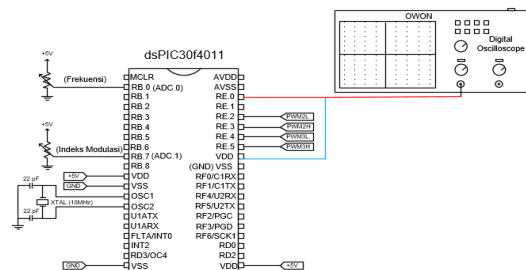


Gambar 10. Efisiensi *quadratic boost converter stage pertama* dengan variasi tegangan input dan *duty cycle*

Berdasarkan gambar 7 nilai rata rata efisiensi pada *boost converter* 77,82% untuk tegangan input 15 Vdc dan 86,12% untuk tegangan input 20 Vdc. 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 *boost converter*.

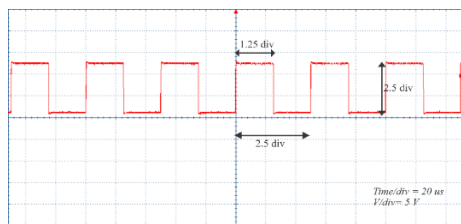
3.2. Pengujian Rangkaian Pembangkit PWM

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik *output* sinyal PWM hasil pemrograman yang telah dirancang dengan frekuensi sinyal *carrier* 20kHz dan nilai indeks modulasi (*ma*) pada rentang nilai $0 \leq ma \leq 1$ [14]. Gambar 8 menunjukkan rangkaian pengukuran *output* sinyal PWM DSPIC30F4011.



Gambar 11. Rangkaian pengujian *output* DSPIC30F4011

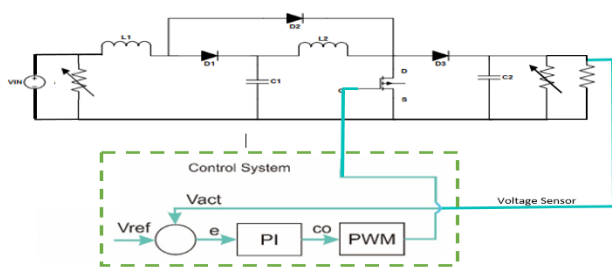
Pengukuran dilakukan menggunakan satu *channel Oscilloscope*, dengan *probe* sinyal yang diilustrasikan dengan kabel merah masuk ke pin PWM DSPIC30F4011 dan *probe ground* yang diilustrasikan dengan kabel biru masuk ke pin *ground* DSPIC30F4011.



Gambar 12. Gelombang keluaran PWM 50%

3.3. Pengujian Kontrol *Proportional – Integral*

Pengujian rangkaian secara *close loop* bertujuan untuk mengetahui kinerja rangkaian dan program pada *quadratic boost converter* yang telah dirancang [15]. Pengujian dilakukan dengan mengukur nilai tegangan DC Bus, Arus DC Bus, tegangan Output Beban, dan arus output beban. Pengujian dilakukan ketika keadaan *steady*. Berikut merupakan gambar rangkaian pengujian rangkaian secara *close loop quadratic boost converter*.



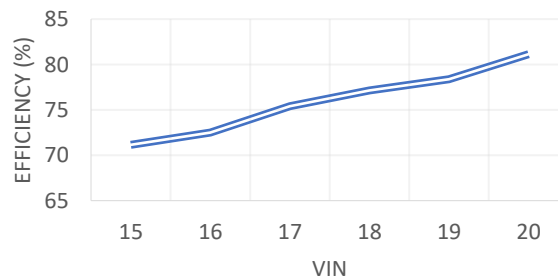
Gambar 13. Rangkaian pengujian *quadratic boost converter* terkontrol

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 guna pengujian program *quadratic boost converter*. Variasi nilai tegangan pada pengujian ini adalah 15-20 Vdc dengan interval nilai tegangan 1 Vdc. Beban yang digunakan adalah resistor dengan nilai 2000.

3.3.1. Pengujian Terkontrol Set Point 315 Vdc

Pengujian *cascaded boost converter* dilakukan dengan cara memberikan konstan PWM1H (*duty cycle*) terkontrol *proportional-integral* pada MOSFET 1. Pengujian dilakukan dengan memberikan nilai set point tegangan keluaran sebesar 315 Vdc. Berikut merupakan data hasil pengujian rangkaian terkontrol *quadratic boost converter*



Gambar 14. Efisiensi *quadratic boost converter* Set point 315 Vdc dengan variasi tegangan input

Berdasarkan gambar 14 dapat dilihat bahwa dengan variasi nilai input didapatkan rata – rata nilai tegangan output 313,65 Vdc dan efisiensi 75,95%. Hal ini menunjukkan bahwa untuk nilai tegangan output yang dijaga tetap pada *set point* 315 Vdc, pada tabel tersebut kita ketahui bahwa semakin besar nilai tegangan input maka arus input akan menurun. Sedangkan pada gambar 11 menunjukkan grafik peningkatan nilai efisiensi *quadratic boost converter* seiring dengan kenaikan tegangan input pada resistansi beban 2000 ohm.

4. Kesimpulan

Berdasarkan perancangan, pengujian dan analisis yang telah dilakukan maka dapat dibuat kesimpulan sebagai berikut: konverter DC-DC rasio tinggi berbasis *Quadratic Boost Converter* dapat mencapai rasio tinggi sesuai desain yaitu 24,5 kali, *Quadratic Boost Converter* telah berhasil direalisasikan dan dapat menghasilkan tegangan keluaran DC terkontrol, dengan tegangan referensi yang dapat diatur, Konverter memiliki efisiensi antara 73,12%-91,43%, hal ini karena adanya keterbatasan inti yang dipakai untuk merangkai induktor dengan nilai yang besar, Nilai rata-rata efisiensi *Quadratic Boost Converter* pada tegangan input 15 Vdc sebesar 77,82% dan pada tegangan input 20 Vdc sebesar 86,12%, Hasil pengujian pada *quadratic boost converter* menunjukkan bahwa kontrol *Proportional – Integral* mampu menjaga nilai tegangan output pada nilai *Set point* 315 Vdc untuk beban 2000 Ω dengan variasi tegangan input dari 15v-20v yang interval tegangannya sebesar 1 volt dengan nilai *error* tegangan keluaran yang dihasilkan kurang dari 1%.

Referensi

- [1]. Demand Forecast RUPTL 2019-2028, Jakarta, Indonesia: Keputusan Menteri ESDM No. 39K/20/MEM/2019, Februari 2019
- [2]. Wibowo Edi, Suryoatmojo Heri, Candra Dedet, “Perancangan dan Implementasi Konverter Boost Rasio Tinggi dengan Transformator Hybrid untuk Aplikasi Photovoltaic”, Prosiding Seminar Tugas Akhir Teknik elektro FTI-ITS, Juni. 2014.

- [3]. Kadri Riad, Gaubert Jean-Paul, Champenois Gerard, Mostefai Mohamed, "Performance Analysis of Transformerless Single Switch Quadratic Boost Converter for Grid Connected Photovoltaic Systems", XIX International conference on Electrical Machines, 2010, Rome.
- [4]. Keshav Patidar. 2014. High step-up Converters Based on Quadratic Boost Converter for Micro-inverter. *Electric Power Systems Research* 119, page 168-177, ScienceDirect.
- [5]. Rashid, Muhammad H. "Power Electronics: Circuit, Devices and Application", Pearson prentice Hall, 2009.
- [6]. Luque, A., & Hegedus, S., *Handbook of Photovoltaic Science and Engineering*, 1st ed., John Wiley & Son Ltd, Chichester, England, 2003
- [7]. 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 27th Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering (CCECE), pp. 1-6, 2014
- [8]. Changchien S K, Liang TJ, Chen JF, Yang LS. Novel high step-up DC-DC converter for full cell energy conversion system. *IEEE Transactions on Industrial Electronics* 2010; 57(6):2007-2017.
- [9]. Y. Zhao W. Li Y. Deng X. He., High step-up boost converter with passive lossless clamp circuit for nonisolated high step-up applications, *ET Power Electron.*, Vol. 4, Iss. 8, pp. 851–859, 2011
- [10]. Hart, Daniel W. "Power Electronics", MCGrawHill, New York, 2011
- [11]. Andrade, A. M. S. S.; Dreher, J. R.; Martins, M. L. S.; High Step-up Integrated DC-DC Converters: Methodology of Synthesis and Analysis, *Power Electronics Conference (COBEP)*, 2013
- [12]. Antônio M. S. S. Andrade, Rafael C. Beltrame, Luciano Schuch, Mário L dan S. Martins, "AIntegrated Quadratic-Boost-Zeta Converter for High Voltage Gain Applications" Federal University of Santa Maria, UFSM. Av. Roraima, 1000, Santa Maria, RS, Brazil, IEEE , 2014
- [13]. Hesterman Bryce, "Analysis and Modeling of Magnetic Coupling" Denver Chapter, IEEE Power Electronics Society, 2007
- [14]. Lopez Oswaldo, Martinez Luis, Garcia Germain, Valderrama Hugo, Mercurri Daniel, "Eficiency Analysis of sliding-mode controlled quadratic boost converter", *IET Power Electronics.*, Nov. 2012.
- [15]. Williams Barry, "Power Electronics", University of Strathclyde, Galsgow.