

Permodelan Konverter DC to DC Tipe *Boost Converter* dengan Pengendali Proporsional Integral (PI)

Setya Ardhi¹, Tjwanda Putera Gunawan²

¹Program Studi Teknik Elektro – Institut Sains dan Teknologi Terpadu Surabaya

²Program Studi Teknik Informatika - Institut Sains dan Teknologi Terpadu Surabaya

Email: ¹setyaardhi@stts.edu , ²tjwanda@stts.edu

Abstrak

DC-DC Boost Converter merupakan rangkaian switching converter yang mampu menghasilkan tegangan keluaran lebih besar dari tegangan sumber. Dengan melakukan pengaturan pada duty cycle D, maka dapat dihasilkan nilai tegangan keluaran yang berubah-ubah sesuai dengan nilai duty cycle D. Tegangan keluaran dari DC-DC Boost Converter harus dijaga kestabilannya ketika terjadi pembebanan. Oleh karena itu kontrol proporsional integral (PI) digunakan agar tegangan keluaran dari DC-DC Boost Converter tetap stabil pada saat ada pembebanan.

Pada penelitian ini akan dilakukan simulasi hardware menggunakan simulink pada MATLAB. Kemudian hasil dari uji coba secara simulasi akan dibandingkan dengan hasil uji coba secara pengukuran. Hal ini dilakukan untuk mengetahui perbedaan respon kontrol PI secara simulasi dan pengukuran.

Pada penelitian ini hasil pada pengujian secara simulasi terjadi penurunan pada arus beban ketika nilai dari beban diperbesar dari 8 ohm menjadi 10 ohm, yaitu dari 3 ampere menjadi 2,4 ampere. Dengan demikian daya keluaran yang dihasilkan juga mengalami penurunan, yaitu dari semula yang bernilai 72 watt pada pembebanan sebesar 8 ohm menjadi 57,36 watt pada 10 ohm. Sedangkan pada aplikasi prototype pada percobaan secara pengukuran juga terjadi penurunan daya keluaran, yaitu dari 76,54 watt pada beban 8 ohm menjadi 77,74 pada beban 10 ohm.

Kata Kunci : *Duty Cycle, Boost Converter, Proporsional Integral.*

PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi *switching power supply* pada DC-DC converter telah berkembang sangat pesat, menuntut penelitian lanjutan untuk menemukan metode pengendalian yang tepat dalam mengoptimalkan rangkaian dc-dc boost converter agar mampu menghasilkan gain tegangan keluaran dari setiap rangkaian [1]. Karena karakteristik dari DC-DC boost converter yang dapat menghasilkan tegangan output lebih besar dari sumber tegangan, maka penggunaan dari DC-DC boost converter sudah mulai dikembangkan. Terdapat beberapa metode pengendalian yang dapat dilakukan untuk memaksimalkan kerja dari rangkaian DC- DC Boost converter [2]. Dengan melakukan pengaturan duty cycle pada rangkaian DC-DC boost converter maka dapat dihasilkan tegangan output yang lebih tinggi. Dengan memaksimalkan pulsa switching yang diberikan untuk mengatur MOSFET dalam menghasilkan tegangan penguatan [3]. Teknik pengendalian PI dianggap menjadi salah satu metode yang cukup efektif dimana kendali PI dapat mengatur tegangan kerja MOSFET dengan mengandalkan umpan balik keluaran sebagai setpoint dari masukan MOSFET [4-6]. Nantinya tegangan output ini harus dijaga konstan ketika

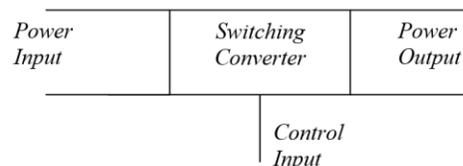
rangkaian DC-DC boost converter dibebani. Perubahan tegangan output dapat diakibatkan karena berubahnya beban, jika beban bertambah maka akan terjadi drop tegangan pada tegangan output, dan jika beban berkurang maka akan terjadi kelebihan tegangan pada tegangan output (overshoot). Bila kelebihan tegangan ini terlalu besar maka dapat mengakibatkan kerusakan pada rangkaian dan sumber. Disinilah PI Controller berperan untuk meredam kelebihan tegangan dan menjaga agar tegangan output tetap konstan dengan melakukan pengaturan pada duty cycle. Selain itu, perubahan tegangan pada tegangan sumber juga dapat mengakibatkan perubahan tegangan output. Pengujian ini dengan menggunakan bantuan simulasi yang dianggap sangat efektif karena pengujian ini memiliki akurasi baik dan kesalahan yang lebih rendah [7-8].

TINJAUAN PUSTAKA

Tinjauan Pustaka yang akan dipakai dalam penelitian ini meliputi penjelasan DC-DC converter, DC-DC Boost Converter, serta Sistem Kontrol Umpan Balik (Feed Back Control System) dengan Kontrol Proporsional Integral (PI). Dimana ketiga tinjauan ini bisa menjadi dasar dari sumber penelitian ini.

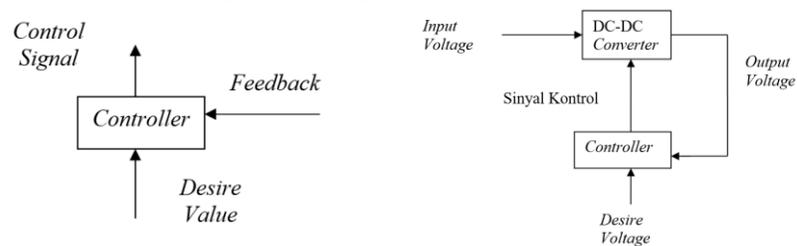
DC to DC Converter

DC-DC converter adalah salah satu rangkaian yang bekerja berdasarkan prinsip switching. Karena itu rangkaian DC-DC converter disebut juga rangkaian switching converter. Gambar 1 menunjukkan blok diagram dari sebuah switching converter.



Gambar 1. Blok Diagram Dasar Switching Converter

Dari gambar 1 dapat dilihat bahwa suatu rangkaian switching converter terdiri dari tiga elemen utama, yaitu power input, power output dan control input. Dimana elemen control input akan mengolah elemen power input sedemikian rupa sehingga dapat dihasilkan elemen power output sesuai dengan yang diinginkan. Blok diagram dasar dari suatu controller dapat dilihat pada gambar 2a.



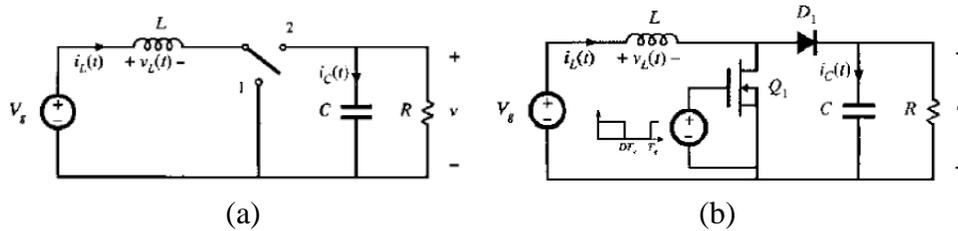
(a) (b)

Gambar 2. a) Blok Diagram controller, b) DC-DC Converter dengan controller.

Berdasarkan gambar 2b, maka controller akan membandingkan antara output voltage dengan desire voltage. Jika terdapat selisih antara output voltage dan desire voltage, maka controller akan memproses selisih yang ada dan akan menghasilkan sinyal kontrol sesuai dengan selisih yang ada. Sinyal kontrol inilah yang nantinya akan mengatur plant DC-DC converter agar output voltage yang dihasilkan sesuai dengan desire voltage. Pada penelitian ini, plant DC-DC converter merupakan suatu rangkaian DC-DC boost converter, sedangkan controller yang digunakan untuk mengontrol rangkaian DC-DC boost converter adalah proportional integral (PI) controller. Pada sub-bab selanjutnya akan dijelaskan secara lebih mendetail mengenai DC-DC boost converter dan PI controller.

DC-DC Boost Converter

DC-DC boost converter adalah sebuah rangkaian switching yang mampu menghasilkan tegangan keluaran yang lebih besar daripada tegangan masukan, yang mana baik tegangan keluaran dan masukan berupa tegangan DC. Rangkaian sederhana dari DC-DC boost converter dapat dilihat pada gambar 3.



Gambar 3. a) Rangkaian Boost Converter, b) Rangkaian praktikal Boost Converter

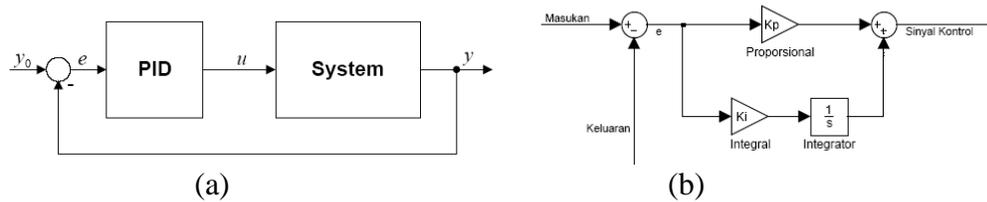
Pada gambar 3a saklar yang digunakan bersifat ideal, pada rangkaian sesungguhnya saklar pada gambar 3b digantikan fungsinya oleh sebuah komponen MOSFET, pada dasarnya, tujuan penggunaan komponen saklar pada rangkaian DC-DC boost converter adalah untuk mempermudah cara mempelajari cara kerja dari rangkaian DC-DC boost converter.

$$G_{vg}(s) = G_{g0} \frac{1}{1 + \frac{s}{Q\omega_0} + \left(\frac{s}{\omega_0}\right)^2} \quad (1)$$

Ada 2 cara yang dapat dilakukan untuk pengaturan DC-DC boost converter, yaitu melalui pengaturan arus (current controlled mode) dan pengaturan tegangan (voltage controlled mode). Untuk menentukan fungsi alih DC-DC boost converter yaitu dengan pengaturan tegangan (voltage controlled mode) yang bisa pada persamaan 1.

Sistem Kontrol Umpan Balik (Feed Back Control System) dengan Kontrol Proporsional Integral (PI)

Sistem kontrol umpan balik yang selanjutnya disebut feedback control system adalah suatu sistem yang mana sebagian nilai dari keluaran (output) diumpan balikan dan dimodulasikan dengan nilai masukan (input) sehingga tercipta suatu perbedaan antara nilai masukan dan keluaran, perbedaan tersebut kemudian disebut sebagai error (kesalahan). Kontrol PI adalah salah satu implementasi dari feedback control system. Sehingga blok diagram kontrol PI, gambar 4(b), hampir sama dengan sistem kontrol PI, gambar 4(a).

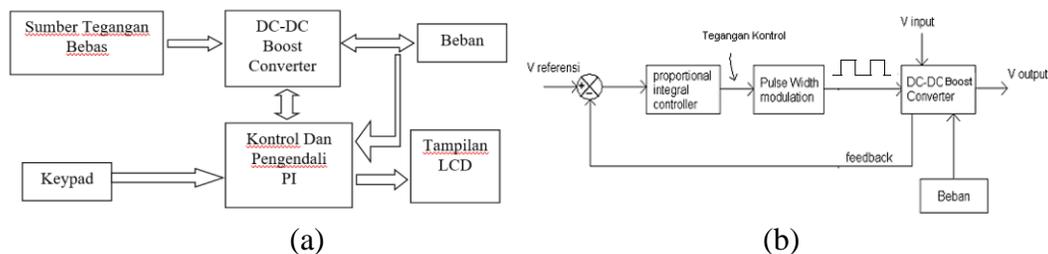


Gambar 4. a) Sistem Kontrol PI, b) Blok diagram Kontrol PI

Pada gambar 4(a) dapat dilihat bahwa kontrol PI membandingkan nilai dari keluaran (y) dan nilai dari masukan atau nilai referensi [9] (y_0). Selisihnya atau *error* (e) akan diproses atau dihitung dalam kontrol PI yang kemudian hasilnya akan menjadi masukan bagi sebuah sistem (u). Nilai dari masukan bagi sistem tersebut (u) akan berubah-ubah dan akan berhenti berubah apabila nilai tersebut sama dengan nilai referensi yang telah ditentukan. Sebuah kontroler membaca nilai yang sebenarnya atau nilai keluaran dari suatu sistem, pada umumnya digunakan berbagai macam sensor untuk mendeteksi nilai keluaran tersebut. Kemudian kontroler membandingkan nilai yang sebenarnya dengan nilai yang diinginkan, menentukan selisihnya atau deviasi, dan menghasilkan sinyal kontrol yang akan memperkecil deviasi sampai nol atau sampai suatu harga yang kecil.

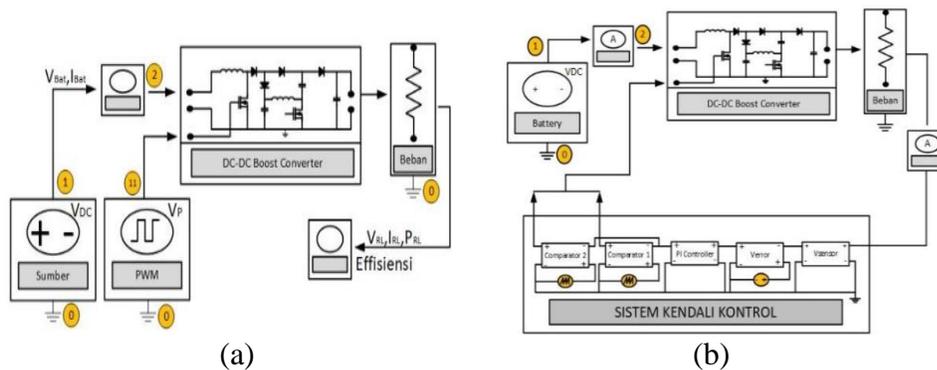
METODE PENELITIAN

Metode penelitian ini dengan membandingkan prototype yang dibuat dalam bentuk perangkat keras dengan mengikuti blok diagram pada gambar 5, dan nanti akan dibandingkan dengan permodelan sistem dengan MATLAB yang akan di bahas pada sub bagian ini



Gambar 5. a) Blok diagram Prototype, b) Blok diagram Kontrol PI dan PWM

Perancangan sistem dari blok diagram disesuaikan dengan fungsi-fungsi yang harus dilakukan oleh masing-masing sub blok yang meliputi Rangkaian DC-DC Boost Converter sebagai rangkaian utama. Sebuah mikrokontroller untuk mengontrol nilai tegangan output rangkaian utama agar sesuai dengan nilai tegangan yang diminta, beberapa tombol inputan untuk memasukan tegangan yang diminta, sebuah sumber tegangan bebas sebagai supply untuk rangkaian utama. Berikutnya setelah data tegangan disimpan dan diolah oleh mikrokontroller, hasil pengolahan tersebut akan ditampilkan pada sebuah LCD berupa data tegangan referensi yang diinginkan serta tegangan output dari rangkaian utama.



Gambar 6. a) Model pengujian menggunakan metode switching, b) Model pengujian menggunakan metode kendali PI

Pengujian dibagi kedalam dua tahapan dimana tahapan pertama pengujian dilakukan berdasarkan pengaturan lebar pulsa PWM. Untuk dapat mengatur lebar pulsa PWM dapat digunakan pengaturan dutycycle tegangan switching [10] yang bisa dilihat pada gambar 6a. Prinsip kerja dari siklus pengisian dan pengosongan yang dibuat bergantian akan menghasilkan penguatan tegangan. Pengujian tahapan kedua pada gambar 6b dilakukan dengan peralihan tegangan masukan secara mendadak untuk melihat respon kendali PI dalam mempertahankan tegangan keluaran tetap stabil. Sistem kendali PI akan menentukan nilai set poin umpan balik secara otomatis [11]. Kontrol PI terdiri dari parameter kontrol P (proporsional) dan parameter kontrol I (integral) yang masing-masing memiliki karakteritik tersendiri. Karakteristik dari kontrol P yaitu dapat mempercepat respon output dari suatu plant untuk mencapai suatu set point. Sedangkan karakteristik dari kontrol I digunakan untuk memperkecil error saat kondisi steady state dari output suatu plant yang dikontrol [12].

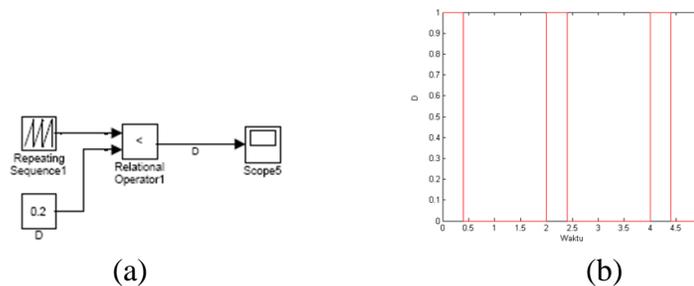
HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini bersifat penelitian kuantitatif yaitu dengan melakukan perbandingan simulasi dari beberapa jenis rangkaian. Percobaan Simulasi menggunakan program Simulink MatLAB untuk menampilkan penguatan tegangan atau voltase yang dihasilkan dari beberapa jenis rangkaian yang berbeda. Analisa dilakukan terhadap

pengaruh tegangan input, dutticycle, dan beban yang ditingkatkan secara bertahap. Hasil berupa tegangan input, daya, efisiensi menjadi nilai dari hasil pengujian.

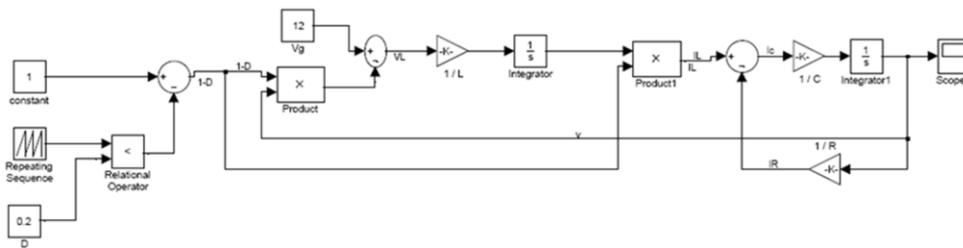
Pengujian Berdasarkan Pengaturan Lebar Pulsa PWM

Pengujian ini dengan melakukan pembentukan PWM pada Simulink MATLAB, dimana Gelombang PWM dapat dibentuk dengan membandingkan suatu gelombang gigi gergaji (sawtooth wave) dengan suatu nilai konstan. Nilai konstan inilah yang berisi besarnya nilai duty cycle (D). Gambar 7 menunjukkan pembangkit gelombang PWM dengan menggunakan Simulink dimana dengan grafik gelombang PWM dengan nilai D yang berlainan. Dengan demikian fungsi saklar S dapat digantikan oleh pembangkit PWM pada simulink. Gambar 8 menunjukkan penggantian fungsi saklar S oleh pembangkit PWM pada simulink.



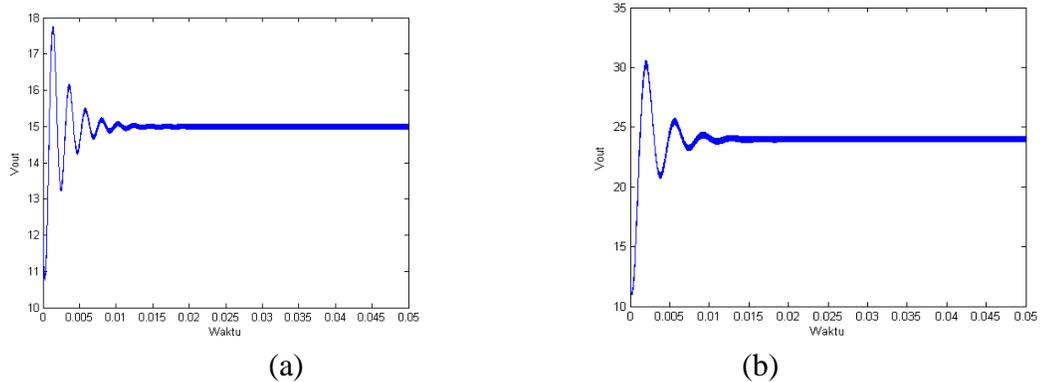
Gambar 7. a) Model Pembangkit PWM Simulink, b) Gelombang PWM dengan $D = 0.2$

Dengan mengubah nilai D, maka nilai tegangan keluaran juga akan berubah, seperti yang ditunjukkan pada gambar 9a dan 9b. Dari kedua gambar tersebut dapat dilihat bahwa hasil tegangan keluaran masih belum sempurna, karena masih terdapat osilasi meskipun hanya seperseratus detik.



Gambar 8. Model DC-DC Boost Converter menggunakan PWM.

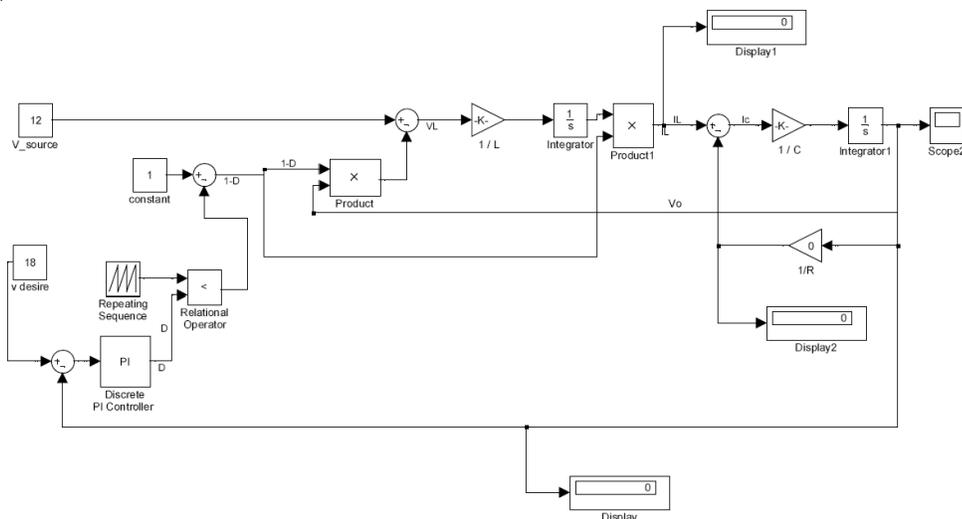
Namun osilasi yang sesaat ini sudah cukup untuk merusak komponen elektronika seperti MOSFET bahkan mikroprosesor sekalipun. Karena itu diperlukan sebuah rangkaian kontrol agar tingkat osilasi dapat diredam sekecil mungkin. Disinilah rangkaian kontrol PI sangat berperan tingkat osilasi dapat diredam.



Gambar 9. a) Grafik Tegangan Keluaran dengan $D = 0.2$, b) Grafik Tegangan Keluaran dengan $D = 0.5$

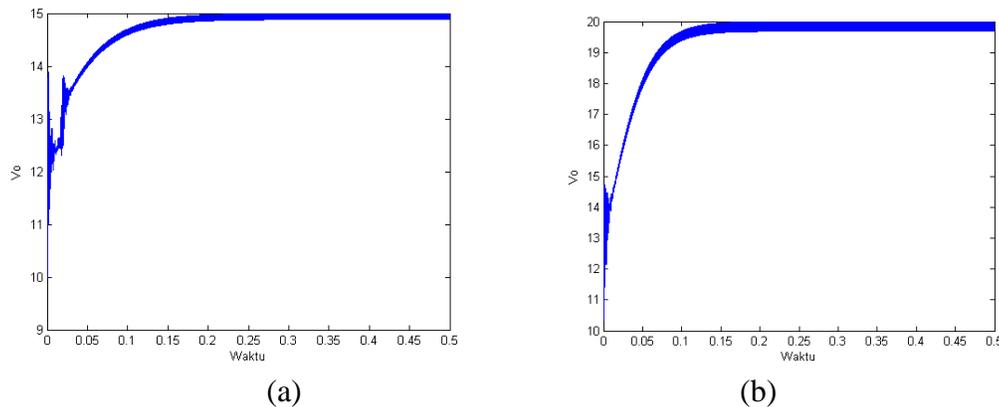
Pengujian Berdasarkan Pengaturan PI

Dengan menggabungkan model dari DC-DC boost converter dengan kontrol PI maka dapat diperoleh secara lengkap model dari DC-DC boost converter menggunakan kontrol PI, yang dapat dilihat pada gambar 10.



Gambar 10. Pemodelan DC-DC Boost Converter Menggunakan Kontrol PI

Dari gambar 10 maka dapat dilakukan uji coba secara simulasi pada rangkaian DC-DC boost converter. Dengan merubah tegangan yang diinginkan (V_{desire}) maka dapat diketahui respon tegangan keluaran dari rangkaian DC-DC boost converter. Dengan adanya kontrol PI, maka respon tegangan keluaran yang dihasilkan menjadi lebih baik. Grafik tegangan keluaran dapat dilihat pada gambar 11a dan 11b.



Gambar 11. a) Grafik Tegangan Keluaran dengan $V_{des} = 20\text{ V}$, b) Grafik Tegangan Keluaran dengan $V_{des} = 24\text{ V}$

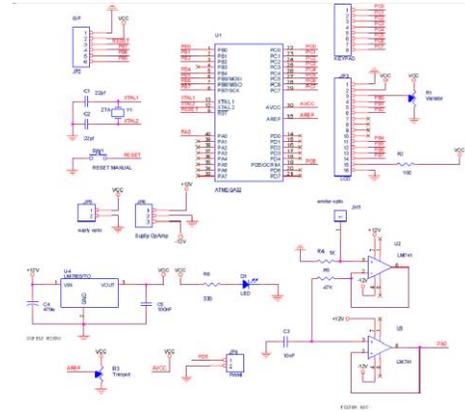
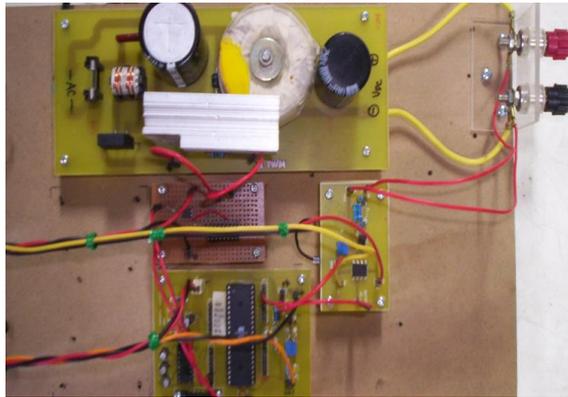
Pada sub-bab ini akan dilaporkan hasil uji coba berdasarkan hasil simulasi menggunakan simulink pada program MATLAB. Uji coba akan dilakukan pada dua kondisi, yaitu uji coba dengan beban sebesar 8 ohm dan 10 ohm. Hasil uji coba kedua kondisi diatas dapat dilihat pada tabel 1 dan 2.

Tabel 1 Hasil Uji Coba Simulasi dengan Beban 8 Ohm dan 10 ohm

V_{desire} (V_{des})	Arus (i_L)	V_{out} 8 ohm	beban (i_R)
15 V	2.2 A	15 V	1.9 A
16 V	2.5 A	16 V	2 A
17 V	2.8 A	17 V	2.1 A
18 V	3.2 A	17.9 V	2.2 A
19 V	3.5 A	18.9 V	2.4 A
20 V	3.9 A	20 V	2.5 A
21 V	4.3 A	21 V	2.6 A
22 V	4.7 A	21.9 V	2.7 A
23 V	5.1 A	22.9 V	2.9 A
24 V	5.6 A	24 V	3 A

V_{desire} (V_{des})	Arus (i_L)	V_{out} 10 ohm	beban (i_R)
15 V	2.2 A	15 V	1.9 A
16 V	2.5 A	16 V	2 A
17 V	2.8 A	17 V	2.1 A
18 V	3.2 A	17.9 V	2.2 A
19 V	3.5 A	18.9 V	2.4 A
20 V	3.9 A	20 V	2.5 A
21 V	4.3 A	21 V	2.6 A
22 V	4.7 A	21.9 V	2.7 A
23 V	5.1 A	22.9 V	2.9 A
24 V	5.6 A	24 V	3 A

Dari tabel 1 dapat dilihat bahwa terjadi penurunan pada arus beban ketika nilai dari beban diperbesar dari 8 ohm menjadi 10 ohm, yaitu dari 3 ampere menjadi 2,4 ampere. Dengan demikian daya keluaran yang dihasilkan juga mengalami penurunan, yaitu dari semula yang bernilai 72 watt pada pembebanan sebesar 8 ohm menjadi 57,36 watt pada pembebanan 10 ohm.



Gambar 11. Aplikasi Permodelan DC-DC Boost Converter dengan Perangkat Keras dan Lunak

Pada gambar 11 dengan bantuan aplikasi permodelan dengan simulasi dimana bisa diaplikasikan pada perangkat keras dan juga dengan bantuan mikrokontroller untuk sebagai kontrol PI dalam menangani sebuah beban. Pada sub-bab ini akan dilaporkan hasil uji coba berdasarkan hasil pengukuran. Uji coba akan dilakukan pada tiga kondisi, yaitu uji coba dengan beban sebesar 8 ohm, 10 ohm dan tanpa beban. Hasil uji coba ketiga kondisi diatas dapat dilihat pada tabel 2, 3, 4.

Vact merupakan nilai tegangan keluaran DC-DC Boost Converter yang berupa dalam nilai resolusi ADC (0-255). Nilai Vact ini harus dikonversi terlebih dahulu menjadi nilai tegangan sebenarnya sebelum ditampilkan pada LCD. Untuk mengkonversi nilai Vact yang berupa resolusi ADC menjadi nilai tegangan sebenarnya.maka digunakan tabel konversi. Tanda persamaan (<, >) diperlukan karena nilai-nilai tegangan berupa nilai bulat, sedangkan nilai resolusi ADC berkisar dari 0 sampai dengan 255. Dengan demikian ketika nilai resolusi ADC tidak terdapat pada tabel, maka nilai tersebut dilambangkan dengan tanda persamaan (<,>).

Tabel 2 Hasil Uji Coba Pengukuran dengan Beban 8 Ohm

$V_{desire}(V_{des})$	Arus Sumber (i_L)	V_{act} (LCD)	V_{out} (AVO meter)	Arus Beban (i_R)
15 V	2 A	< 15 V	14.8 V	1.3 A
16 V	2.5 A	> 15 V	16 V	1.5 A
17 V	2.8 A	> 16 V	17.1 V	1.9 A
18 V	3.2 A	> 17 V	17.9 V	2 A
19 V	3.3 A	> 18 V	18.9 V	2.1 A
20 V	3.5 A	> 19 V	19.9 V	2.8 A
21 V	4.3 A	> 20 V	21.3 V	3 A
22 V	4.7 A	> 21 V	22.1 V	3 A
23 V	5.6 A	> 22 V	23.1 V	3.2 A
24 V	6.4 A	> 23 V	23.8 V	3.3 A

Dari tabel 2 dan 3 dapat dilihat bahwa terjadi penurunan arus beban ketika nilai dari beban diperbesar dari 8 ohm menjadi 10 ohm, yaitu dari 3,3 ampere menjadi 3,2

ampere. Namun tegangan V_{out} justru mengalami kenaikan ketika beban diperbesar, yaitu dari 23,8 volt menjadi 24, 2 volt. Daya keluaran yang dihasilkan memang mengalami penurunan ketika beban diperbesar, tetapi selisihnya tidak sebesar pada hasil uji coba simulasi, yaitu dari 78,54 watt menjadi 77,44 watt. Hal ini menunjukkan bahwa kontrol PI bekerja lebih baik pada saat pengujian secara pengukuran dibandingkan pengujian secara simulasi.

Tabel 3 Hasil Uji Coba Pengukuran dengan Beban 10 Ohm

$V_{desire}(V_{des})$	Arus Sumber (i_L)	V_{act} (LCD)	V_{out} (AVO meter)	Arus Beban (i_R)
15 V	1.2 A	< 15 V	15.1 V	2.1 A
16 V	1.6 A	> 15 V	16.3 V	2.3 A
17 V	1.9 A	> 16 V	17.3 V	2.5 A
18 V	2.2 A	> 17 V	18.3 V	2.6 A
19 V	2.6 A	> 18 V	19.3 V	2.6 A
20 V	3.1 A	> 19 V	20.4 V	2.7 A
21 V	3.5 A	> 20 V	21.4 V	2.8 A
22 V	4 A	> 21 V	22.2 V	2.9 A
23 V	4.7 A	> 22 V	23.3 V	3.1 A
24 V	5.2 A	> 23 V	24.2 V	3.2 A

KESIMPULAN

Kesimpulan diperoleh berdasarkan beberapa tahap uji coba yang sudah dilaksanakan berkali-kali. Analisa mendalam juga dilakukan pada rancangan perangkat keras dan perangkat lunak. Berikut kesimpulan-kesimpulan yg diperoleh yaitu

Penggunaan program simulasi simulink sangat membantu pembuatan penelitian ini. Dengan adanya simulink, pemahaman mengenai dasar-dasar teori dari DC-DC boost converter dan kontrol PI menjadi lebih mudah.

Nilai-nilai komponen yang digunakan pada rangkaian sesungguhnya ternyata tidak sesuai dengan nilai dari hasil perhitungan. Hal ini disebabkan karena pada saat melakukan proses perhitungan nilai komponen, komponen tersebut dianggap berada pada kondisi ideal.

Berdasarkan hasil percobaan secara simulasi dan secara pengukuran maka dapat disimpulkan bahwa kontrol PI bekerja lebih baik pada rangkaian sesungguhnya dibandingkan dengan rangkaian secara simulasi. Hal ini ditunjukkan dengan penurunan nilai daya keluaran yang cukup besar pada rangkaian simulasi ketika beban diperbesar, yaitu dari 72 watt pada beban 8 ohm menjadi 57,36 pada beban 10 ohm. Sedangkan pada percobaan secara pengukuran juga terjadi penurunan daya keluaran, tetapi tidak sebesar pada rangkaian simulasi, yaitu dari 76,54 watt pada beban 8 ohm menjadi 77,74 pada beban 10 ohm.

Kendala utama dalam proses pendesainan plant DC-DC boost converter terletak pada pemilihan komponen. Khususnya komponen induktor (L) dan transistor MOSFET. Untuk mendapatkan nilai komponen induktor (L) harus dilakukan proses

penggulungan secara manual yang cukup sulit. Untuk komponen transistor MOSFET, kendala yang dihadapi adalah masalah ketahanan dari transistor MOSFET. Transistor MOSFET sangat peka terhadap spike yang ditimbulkan oleh plant DC-DC boost converter. Jika spike yang timbul pada plant DC-DC boost converter melebihi tegangan kerja transistor MOSFET maka dapat menimbulkan kerusakan pada transistor MOSFET, meskipun spike yang timbul hanya sesaat saja.

Kontrol PI mempunyai respon yang cukup cepat dalam proses penyesuaian antara tegangan yang diinginkan dengan tegangan keluaran.

Terdapat perbedaan antar nilai dari konstanta proporsional (K_p) dan konstanta integral (K_i) yang digunakan pada saat simulasi dengan yang digunakan pada saat perancangan kontrol PI secara pemrograman. Hal ini disebabkan karena berbedanya nilai-nilai komponen yang digunakan pada saat simulasi dengan rangkaian sesungguhnya.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. J.C R.Caro, J.M Ramirez, F.Z.Peng, A.Valderrabano, “A DCDC multilevel boost converter,” *IET Power Electronics*, Volume 03, 2010, Pages 129 137.
- [2]. Farzad.M Shahir, Ebrahim Babaei, Murtaza Farsadi “Analysis and design of voltage-lift techniquebased non- isolated boost dc/dc converter,” *IET Power Electronics*, Vol. 11, Year: 2018, Pages: 1083-1091.
- [3]. P Yang, J. Xu, G. Zhou, S. Zhang “A New Quadratic Boost Converter with High Voltage Step-up Ratio and Reduced Voltage Stress,” *International Power Electronics and Motion Control Conference - ECCE Asia*, June 2012, pp. 1164-1168.
- [4]. F. L Tofoli, D. D.C Pereira, W. J.D Paula, “Survey on non- isolated high-voltage step-up dc/dc topologies based on the boost converter,” *IET Power Electronics*, Volume 08, Iss 10, 2015, Pages 20442057
- [5]. I. Hidayat, F. A. Samman and R. S. Sadjad, “Single-Phase DC-AC Inverter with Transformer and Transformerless and Low Power Dissipation Filter for Photovoltaic-Based Home-Scale Electric Power System,” *International Conference on Information and Communications Technology (ICOIACT)*, 2019, pp. 723-727, doi: 10.1109/ICOIACT46704.2019.8938478.
- [6]. Hidayat, I., Mahdali, A., & Afandy, M, “Analisis Perbandingan Inverter Satu Phasa PWM dan SPWM dengan Trafo,” *Jambura Journal of Electrical and Electronics Engineering* 2022, 4(1), 27-32.
- [7]. C Srun, F A Samma, R S.Sadjad, “High Voltage Gain DC- DC Converter based on Charge Pump Circuit Configuration with Voltage Controller”, *IEEE*, Year: 2017

- [8]. M Forouzesh, S Asghari, G Y Siwakoti, F Blaabjerg, “Step- Up DC-DC Converters: A Comprehensive Review of Voltage Boosting Techniques, Topologies, and Applications,” *IEEE Transactions On Power Electronics*, Vol. 32, No. 12, December 2017, Volume 42, Issue 28, 13 July 2017, Pages 17713-17722,
- [9]. Moh. Afandy., Ikhsan Hidayat., Ikhsan Hidayat, “Pemodelan dan Analisa Kendali PI Static dan PI Adaptive DC-DC Boost Converter,” *Jambura Journal of Electrical and Electronics Engineering* 2022, 4(2), 131-136.
- [10]. G Wu, X Ruan, Z Ye, “Non-Isolated High StepUp DC-DC Converters Adopting Switched-Capacitor Cell,”. *IEEE Transaction On Industrial Electronics*, 2013.
- [11]. S Revathi B, M.Prabhakar, “High Gain High Power Non Isolated DC-DC Converter for Renewable Energy Applications,”. *IEEE 2nd International Conference on Electrical Energy Systems (ICEES)*, 2014, pp 229-234.
- [12]. Teguh Tri Arvianto, Endro Wahjono, Irianto Irianto, “Perancangan boost converter menggunakan kontrol proporsional integral (PI) sebagai suplai tegangan input inverter satu fasa untuk sistem uninterruptible power supply,”. *Teknika: Jurnal Sains dan Teknologi* 2020, 16(2), 136-146.