

Pemodelan dinamis dan kendali *multi-loop* konverter DC-DC *boost* dengan pengendali PI

Sofyan Muhammad Iman^{1*}, Febi Ariefka Septian Putra²

^{1,2}Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Bandung

Jl. Gegerkalong Hilir Ds. Ciwaruga, Bandung Barat, Indonesia

^{1*}sofyan.muhammad@polban.ac.id, ²febi.ariefka@polban.ac.id

ABSTRAK

Pengendalian pada konverter DC-DC sangat diperlukan di beberapa aplikasi industri, energi terbarukan, sistem komunikasi, dan pada jaringan kelistrikan yang terintegrasi dengan sumber energi terbarukan. Pada penelitian ini penulis mengusulkan pemodelan dinamis dari sebuah sistem konverter DC-DC *boost* beserta sistem kendalinya dengan metode proporsional-integral (PI). Tahap awal dimulai dengan pemodelan secara matematis menggunakan model ruang keadaan, linearisasi model sinyal kecil, hingga menentukan fungsi alih sistem, dan analisa pengendalian pada sistem konverter *boost*. Kendali yang diusulkan menggunakan kendali *multi-loop* yaitu kendali tegangan keluaran dan arus. Fungsi alih dan diagram *bode plot* akan dianalisa dengan menggunakan pendekatan *fase* dan *gain margin* untuk mendapatkan parameter pengendali (K_p , K_i dan T_i). Simulasi disertakan sebagai tahap validasi konsep yang telah dirancang. Hasil yang diperoleh adalah kendali tegangan keluaran yang stabil sesuai dengan tegangan referensinya dengan tegangan sumber yang berfluktuatif. Untuk kendali arus dapat menyesuaikan dengan arus referensi dengan beban yang berubah-ubah dengan besarnya *error steady-state* di bawah 5% dan *rise time* dibawah 0,5 detik pada masing-masing pengendali.

Kata kunci: pemodelan dinamis, kendali *multi-loop*, pengendali PI, konverter *boost*

ABSTRACT

Control of DC-DC converters is needed in several industrial applications, renewable energy, communication systems, and in electrical networks that are integrated with renewable energy sources. In this study the authors propose dynamic modeling of a DC-DC boost converter system and its control system using the proportional-integral (PI) method. The initial stage begins with mathematical modeling using the state space model, linearization of the small signal model, to determine the system transfer function, and control analysis on the boost converter system. The proposed control uses a multi-loop control, namely output voltage and current control. The transfer function and bode plot diagram will be analyzed using the phase and gain margin approach to obtain the control parameters (K_p , K_i and T_i). The simulation is included as a concept validation stage that has been designed. The result obtained is a stable output voltage control according to the reference voltage with a fluctuating source voltage. For current control, it can adjust to the reference current with a changing load with a steady-state error below 5% and a rise time below 0.5 seconds for each controller.

Keywords: dynamic modeling, multi-loop control, PI controller, boost converter

1. PENDAHULUAN

Dewasa ini perkembangan sumber energi terbarukan semakin pesat seiring dengan berkurangnya bahan bakar fosil (batubara). Efek dari pembangkitan listrik konvensional dengan hal tersebut akan menyebabkan pencemaran dan kerusakan pada lingkungan yang berkelanjutan. Saat ini telah banyak penelitian yang dilakukan untuk mengurangi pemakaian atau ketergantungan terhadap bahan bakar fosil dengan mengkombinasikan sumber energi terbarukan pembangkitan daya listrik pada jaringan kelistrikan demi terciptanya keandalan suatu sistem, efisien, dan ramah terhadap lingkungan. Namun pada sumber energi terbarukan bersifat intermiten atau berfluktuatif (seperti tenaga surya dan bayu) [1]. Sistem mikrogrid DC sebagai salah satu solusi untuk mengintegrasikan pembangkitan energi listrik yang dihasilkan dari tenaga surya. Konverter DC-DC penaik tegangan diperlukan untuk meningkatkan rasio tegangan pada sisi mikrogrid untuk mencapai efisiensi yang tinggi [2] yang mana

tegangan pada bus mikrogrid DC bervariasi sekitar 400 V hingga 1200 V untuk aplikasi sistem traksi (kereta listrik), atau 360 V hingga 400 V untuk aplikasi rumah tinggal dan gedung komersil [3]-[4].

Konverter DC-DC penaik (*boost*) tegangan difungsikan untuk menaikkan tegangan keluaran lebih tinggi dari tegangan sumber dengan cara mengatur besarnya lebar pulsa pada pensakelaran. Namun jika konverter tersebut tidak dilengkapi oleh sistem pengendalian, maka konverter tersebut tidak akan bisa mengatur besarnya parameter yang diinginkan. Penggunaan sistem kendali yang ditanamkan pada konverter DC-DC diperlukan untuk mengatasi ketidakstabilan variasi tegangan sumber dan perubahan beban agar memberikan stabilitas yang optimal [5]. Sebelum melakukan desain kendali konverter DC-DC, terdapat langkah analisa awal yang dilakukan untuk mengetahui dinamika pada konverter tersebut, yaitu dengan menentukan model keadaan ruang pada kondisi sakelar ON dan kondisi sakelar OFF yang didapatkan dari hukum Kirchoff satu dan dua pada rangkaian konverter DC-DC tersebut [6]-[10]. Pengendalian konverter DC-DC penaik tegangan dapat dikendalikan dengan berbagai metode kontrol untuk memperoleh kestabilan pada sisi keluaran [11]-[14]. Untuk pengoptimalan daya sisi keluaran maka akan dilakukan dua pengendalian, yaitu pada tegangan keluaran dan arus [15].

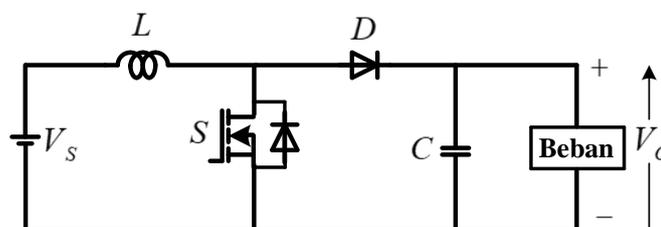
Tujuan penelitian ini adalah memodelkan dan mendesain kendali konverter DC-DC penaik tegangan (*boost converter*) dengan pengendali PI untuk pengaturan tegangan keluaran dan arus induktor. Konverter tersebut akan dimodelkan melalui pemodelan ruang keadaan saat keadaan ON dan OFF, kemudian dengan pemodelan ruang keadaan metode *averaging*. Pemodelan ruang keadaan ini akan digabung membentuk pemodelan *averaging* dan kemudian dilinearisasi dalam bentuk persamaan sinyal kecil. Lalu dari persamaan tersebut diubah kedalam fungsi alih ditentukannya diagram *bode plot* dari sistem tersebut yang kemudian akan menghasilkan *phase margin*, *gain margin*, dan frekuensi *crossover* dari diagram tersebut yang nantinya akan digunakan untuk mencari pendekatan perhitungan konstanta proporsional dan konstanta integral dari pengendali PI. Kemudian hasil dari konstanta tersebut disimulasikan menggunakan aplikasi PSIM untuk memperoleh respon pengendalian terhadap perubahan tegangan sumber dan beban.

2. METODE PENELITIAN

Pada tahap penelitian yang diusulkan ini akan dibagi menjadi dua bagian, yaitu pemodelan dinamis konverter DC-DC *boost* dan kendali untuk konverter DC-DC *boost*. Untuk pemodelan dan operasi kerja dari konverter tersebut akan dibahas menentukan pemodelan dalam bentuk model ruang keadaan (*state-space*) pada saat sakelar ON dan OFF, model *state-space averaging*, dan linearisasi. Untuk tahapan metode kendali akan dibahas bagaimana tahapan mendapatkan diagram *bode plot* dari fungsi alih suatu sistem (konverter DC-DC) hingga mendapatkan konstanta pengendali PI yang dirancang.

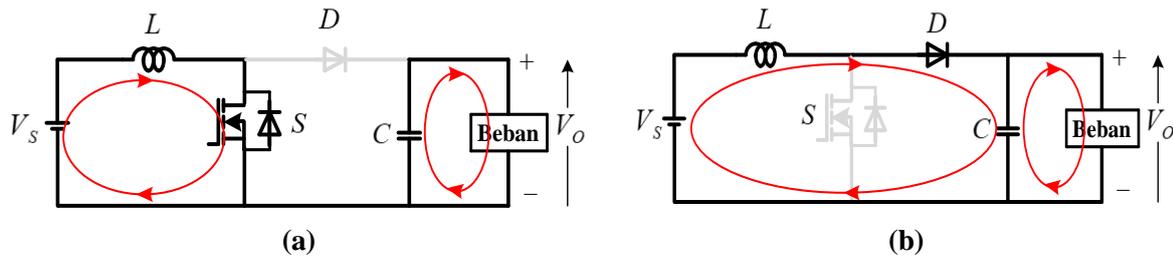
2.1 Pemodelan Dinamis Konverter DC-DC *Boost*

Konverter DC-DC *boost* yang terdiri dari lima komponen utama dan mempunyai fungsi membangkitkan tegangan keluaran lebih tinggi dibandingkan dengan tegangan sumbernya. Fitur pada konverter ini memiliki peran yang sangat penting untuk berbagai aplikasi seperti pada, sistem komunikasi, industri, energi terbarukan, pengendalian motor-motor listrik, dan lain sebagainya.



Gambar 1. Topologi konverter DC-DC *boost*

Konverter DC-DC pada Gambar 1 memiliki dua mode kerja, yaitu kondisi sakelar ON dan kondisi sakelar OFF. Gambar 2 menjelaskan tentang operasi kerja dari konverter tersebut.



Gambar 2. Operasi kerja konverter DC-DC *boost*: (a) kondisi ON, (b) kondisi OFF

Gambar 2 menjelaskan operasi kerja dari konverter *boost*. Dari gambar tersebut dapat diberikan persamaan matematis menjelaskan lebih detail kerja dari konverter tersebut. Persamaan diperoleh dari KVL (Kirchoff Voltage Law) dan KCL (Kirchoff Current Law) masing-masing kondisi diberikan pada persamaan (1)-(5). Persamaan KVL pada kondisi rangkaian ON ditunjukkan oleh persamaan berikut.

$$V_s - V_L = 0 \quad (1)$$

$$V_s - L \frac{di_L}{dt} = 0 \quad (2)$$

Untuk persamaan KCL kondisi sakelar ON ditunjukkan oleh persamaan berikut.

$$I_o + I_c = 0 \quad (3)$$

$$\frac{V_o}{R} + C \frac{dV_c}{dt} = 0 \quad (4)$$

Maka model ruang keadaan pada kondisi sakelar (S) ON adalah

$$\begin{bmatrix} \frac{di_L}{dt} \\ \frac{dV_c}{dt} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & -\frac{1}{RC} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_L \\ V_c \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{1}{L} \\ 0 \end{bmatrix} V_s; \quad V_o = [0 \quad 1] \begin{bmatrix} i_L \\ V_c \end{bmatrix} \quad (5)$$

Ketika sakelar (S) OFF, maka persamaan KVL adalah ditunjukkan pada persamaan berikut.

$$V_s - V_L - V_c = 0 \quad (6)$$

$$V_s - L \frac{di_L}{dt} - V_c = 0 \quad (7)$$

Untuk persamaan KCL kondisi sakelar OFF ditunjukkan oleh persamaan (8) dan (9).

$$I_L - I_o - I_c = 0 \quad (8)$$

$$I_L - \frac{V_o}{R} - C \frac{dV_c}{dt} = 0 \quad (9)$$

Maka model ruang keadaan pada kondisi sakelar ON adalah

$$\begin{bmatrix} \frac{di_L}{dt} \\ \frac{dV_c}{dt} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & -\frac{1}{L} \\ \frac{1}{C} & -\frac{1}{RC} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_L \\ V_c \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{1}{L} \\ 0 \end{bmatrix} V_s; \quad V_o = [0 \quad 1] \begin{bmatrix} i_L \\ V_c \end{bmatrix} \quad (10)$$

Dari persamaan (5) dan (10), model ruang keadaan konverter DC-DC *boost* selama keadaan sakelar ON dan OFF dapat ditulis sebagai persamaan (11) yang menunjukkan model *state-space average*.

$$\begin{bmatrix} \frac{di_L}{dt} \\ \frac{dv_C}{dt} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & -\frac{(1-D)}{L} \\ \frac{(1-D)}{C} & -\frac{1}{RC} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_L \\ V_C \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{1}{L} \\ 0 \end{bmatrix} V_s; V_o = [0 \quad 1] \begin{bmatrix} i_L \\ V_C \end{bmatrix} \quad (11)$$

Persamaan (11) yang menggambarkan suatu sistem (konverter *boost*) bekerja selama satu siklus pensakelaran. Yang mana persamaan (11) didapatkan dari persamaan (12).

$$\dot{X} = [A_{on} \cdot D + A_{off} \cdot (1 - D)]X + [B_{on} \cdot D + B_{off} \cdot (1 - D)]Y \quad (12)$$

Dari persamaan (11) dapat kedalam teknik linearisasi dalam bentuk sinyal kecil (*small signal*). Dimana X merupakan variabel ruang keadaan seperti tegangan kapasitor dan arus induktor, Y adalah variabel masukan seperti tegangan input, A_{on} , B_{on} dan A_{off} , B_{off} merupakan matriks ruang keadaan dari konverter selama keadaan ON dan OFF. Dalam konteks ini, representasi model ruang keadaan digunakan untuk menganalisa perilaku linearitas dari sistem nonlinear. Tahap linearisasi ini berfungsi untuk melihat stabilitas dan performa dari sistem (konverter *boost*) ketika terjadi perubahan kecil pada sisi masukan. Pada persamaan berikut menggambarkan sinyal kecil dan penerapan gangguan.

$$i_L = I_L + \tilde{i}_L \quad (13)$$

$$d = D + \tilde{d} \quad (14)$$

$$V_c = V_c + \tilde{V}_c \quad (15)$$

$$V_s = V_s + \tilde{V}_s \quad (16)$$

Dari persamaan (13)-(16), maka model sinyal kecil untuk konverter DC-DC *boost* tertera pada persamaan berikut.

$$\begin{bmatrix} \frac{d\tilde{i}_L}{dt} \\ \frac{d\tilde{v}_C}{dt} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & -\frac{(1-D)}{L} \\ \frac{(1-D)}{C} & -\frac{1}{RC} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \tilde{i}_L \\ \tilde{V}_c \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{V_c}{L} \\ -\frac{i_L}{C} \end{bmatrix} \tilde{d} \quad (17)$$

2.2 Kendali Konverter DC-DC Boost

Konverter DC-DC *boost* dapat dikendalikan oleh pengendali arus dan tegangan keluaran. Dalam penelitian ini pengendali PI digunakan untuk kendali *multi-loop* arus dan tegangan keluaran untuk mendapatkan perilaku dinamis yang diinginkan. Tegangan keluaran pada konverter diukur dan dibandingkan dengan tegangan referensi yang telah ditentukan sebelumnya dan hasil perbandingan ini sebagai masukan untuk pengendali PI. Setelah memperoleh persamaan model sinyal kecil pada persamaan (17), maka tahap selanjutnya adalah mengubah persamaan (17) ke dalam bentuk transformasi Laplace, kemudian mengubah kedalam bentuk fungsi alih sistem. Dari fungsi alih sistem tersebut akan dilihat respon dari suatu sistem tersebut dengan menggunakan diagram *bode plot*. Konstanta proporsional, dan konstanta integral diperoleh dari perhitungan pendekatan hasil dari *phase margin* dan *gain margin* yang dihasilkan oleh digaram *bode plot* dari sistem tersebut. Pada persamaan (18) dan (19) menunjukkan bentuk transformasi Laplace untuk mengubah persamaan (17) menjadi bentuk fungsi alih.

$$[sI - A]x = Fd \quad (18)$$

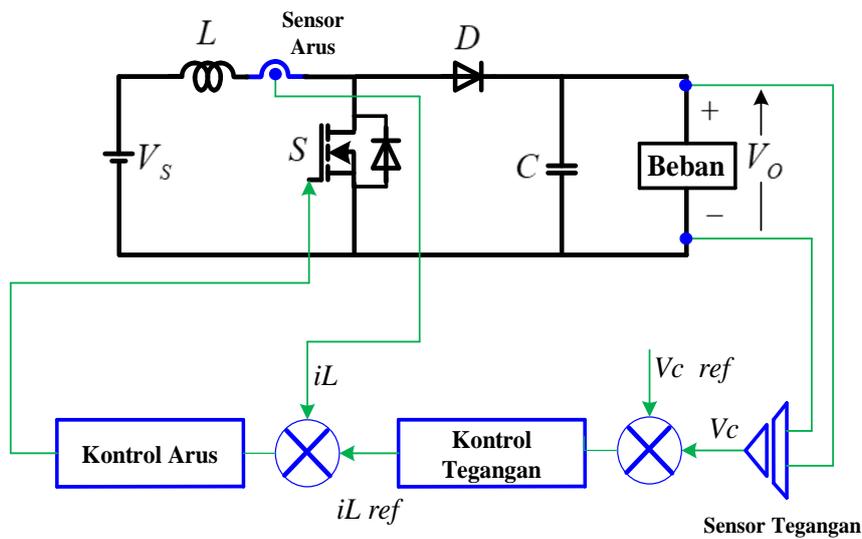
$$\frac{x}{d} = [sI - A]^{-1} \tag{19}$$

Maka fungsi alih tegangan keluaran dan arus induktor terhadap *duty cycle* adalah

$$\frac{\tilde{V}_c(s)}{\tilde{d}(s)} = \frac{\frac{V_c(1-D)}{LC} - \frac{i_L s}{C}}{s^2 + \frac{s}{RC} + \frac{(1-D)^2}{LC}} \tag{20}$$

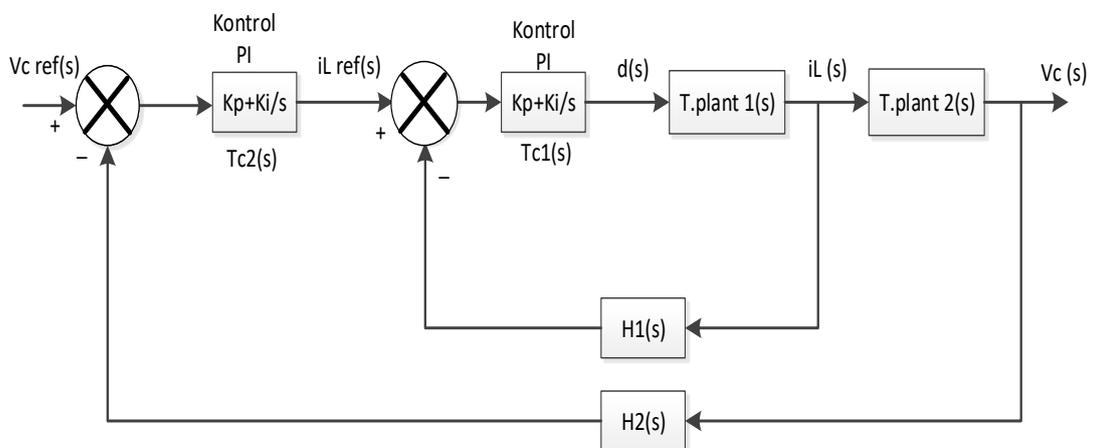
$$\frac{\tilde{i}_L(s)}{\tilde{d}(s)} = \frac{\frac{1}{LC}(\frac{V_c}{R} + i_L(1-D)) + \frac{V_c s}{L}}{s^2 + \frac{s}{RC} + \frac{(1-D)^2}{LC}} \tag{21}$$

Persamaan (20) atau disebut dengan *plant 2* dan persamaan (21) atau disebut dengan *plant 1* merupakan fungsi alih dari sistem konverter DC-DC *boost*. Gambar 3 menunjukkan topologi konverter DC-DC *boost* dengan kendali *multi-loop*.



Gambar 3. Konverter DC-DC *boost* dengan kendali *multi-loop*

Gambar 3 merupakan kendali tegangan keluaran dan arus pada konverter DC-DC *boost* dengan besarnya $V_c = V_o$. Maka dari Gambar 3, persamaan (20) dan (21) dapat dibentuk kedalam fungsi alih keseluruhan sistem beserta kendalinya yang terlihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Diagram blok dari kendali PI *multi-loop* pada konverter DC-DC *boost*

Berdasarkan diagram blok pada Gambar 4 maka akan diperoleh fungsi alih *open loop* dari *loop* arus konverter *boost* didapatkan pada persamaan berikut.

$$T_{OL1}(s) = \left(Kp + \frac{K_i}{s} \right) \cdot T_{p1}(s) \cdot H_1(s) \quad (22)$$

Untuk fungsi alih *open loop* dari *loop* tegangan konverter *boost* ditunjukkan pada persamaan berikut.

$$T_{OL2}(s) = \left(Kp + \frac{K_i}{s} \right) \cdot T_{p2}(s) \cdot H_1(s) \quad (23)$$

Maka fungsi alih *close loop* dari sistem konverter *boost* untuk arus dan tegangan adalah sebagai berikut.

$$\frac{i_L(s)}{i_{Lref}(s)} = \frac{\left(Kp + \frac{K_i}{s} \right) \cdot T_{p1}(s)}{1 + \left(Kp + \frac{K_i}{s} \right) \cdot T_{p1}(s) \cdot H_1(s)} \quad (24)$$

$$\frac{V_c(s)}{V_{cref}(s)} = \frac{\left(Kp + \frac{K_i}{s} \right) \cdot T_{p2}(s)}{1 + \left(Kp + \frac{K_i}{s} \right) \cdot T_{p2}(s) \cdot H_2(s)} \quad (25)$$

Dari persamaan (20) dan (21) akan dimasukkan konstanta/spesifikasi besarnya induktor, kapasitor, tegangan sumber, dan tahanan pada beban dari konverter *boost*. Kemudian diubah ke dalam diagram *bode plot* untuk mengetahui stabilitas dari sistem dan dari diagram *bode plot* tersebut akan mendapatkan besarnya *phase margin*, *gain margin*, dan frekuensi *crossover* untuk analisa pendekatan konstanta proporsional dan konstanta integral. Tabel 1 adalah spesifikasi dari konverter DC-DC *boost* yang akan digunakan.

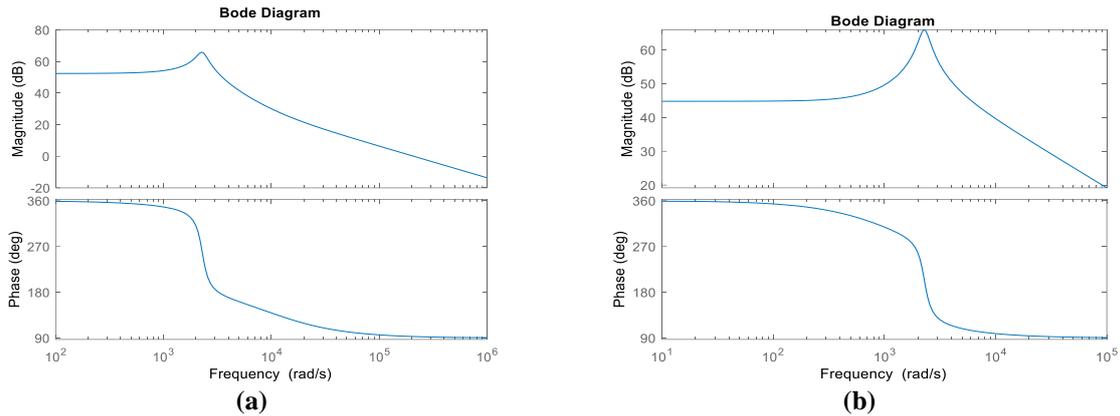
Tabel 1. Spesifikasi konverter DC-DC *boost*

Komponen	Nilai	Satuan
Induktor (L)	110	μH
Kapasitor (C)	100	μF
Tegangan keluaran (V_o)	100	V
Tegangan sumber (V_s)	24	V
Beban (R)	20	Ω
Frekuensi <i>switching</i>	20	KHz

Besarnya nilai tegangan keluaran pada konverter DC-DC *boost* adalah

$$V_o = \frac{V_s}{(1-D)} \quad (26)$$

dimana V_o adalah tegangan keluaran, V_s merupakan tegangan masukan dan D merupakan rasio *dutycycle*. Besarnya nilai tegangan masukan dan keluaran pada Tabel 1 jika nilai-nilai tersebut disubstitusikan kedalam persamaan (26) maka akan menghasilkan besarnya rasio *dutycycle* sebesar 0,75 atau dalam persentase adalah 75%. Nilai-nilai komponen dari Tabel 1 disubstitusikan ke dalam persamaan (20) dan persamaan (21) untuk melihat karakteristik kestabilan sistem (konverter *boost*) yang direpresentasikan dalam diagram *bode plot*. Gambar 5 menunjukkan diagram *bode plot* sistem dari konverter *boost*.



Gambar 5. Diagram bode plot: (a) loop tegangan keluaran, (b) loop arus

Dari hasil Gambar 5 didapatkan frekuensi *crossover* untuk tegangan keluaran sebesar 33,2 KHz dengan *phase margin* (PM) sebesar -87° dan untuk arus induktor sebesar 145 KHz dengan PM sebesar -90° .

Untuk fungsi alih dari kontroler PI dapat dinyatakan sebagai persamaan berikut.

$$T_c(s) = \left(Kp + \frac{Ki}{s} \right) \quad (27)$$

Respon frekuensi pengendalian adalah

$$T_c(j\omega) = \left(Kp - j \frac{Ki}{\omega} \right) = |T_c(j\omega)| e^{j\theta r} \quad (28)$$

Pendekatan desain pengendalian menghasilkan frekuensi *crossover* yaitu

$$T_c(j\omega) T_p(j\omega gc) = 1 \angle (-180 + \phi PM) \quad (29)$$

Pada frekuensi *crossover* (sebagai contoh dari Gambar 5(a) adalah $2,09 \times 10^5$ rad/s untuk *bode plot* tegangan keluaran)

$$\left(Kp - j \frac{Ki}{\omega} \right) = |T_c(j\omega)| (\cos \theta r + j \sin \theta r) \quad (30)$$

Maka, sudut yang terkait dengan pengendalian adalah

$$\theta r = -180 + \phi PM - \angle T_p(j\omega gc) \quad (31)$$

Pada persamaan (31) terdapat ϕPM merupakan *phase margin* dari masing-masing *bode plot* tegangan keluaran dan arus pada Gambar 5 dan $T_p(j\omega gc)$ fungsi alih *plant* yang diubah ke dalam bentuk domain frekuensi. Maka dari persamaan (29)-(31) besarnya nilai Kp , Ki , dan Ti dapat dinyatakan sebagai

$$Kp = \frac{\cos \theta r}{|T_p(j\omega gc)|}, \quad Ki = - \frac{\omega gc \cdot \sin \theta r}{|T_p(j\omega gc)|}, \quad Ti = \frac{Kp}{Ki} \quad (32)$$

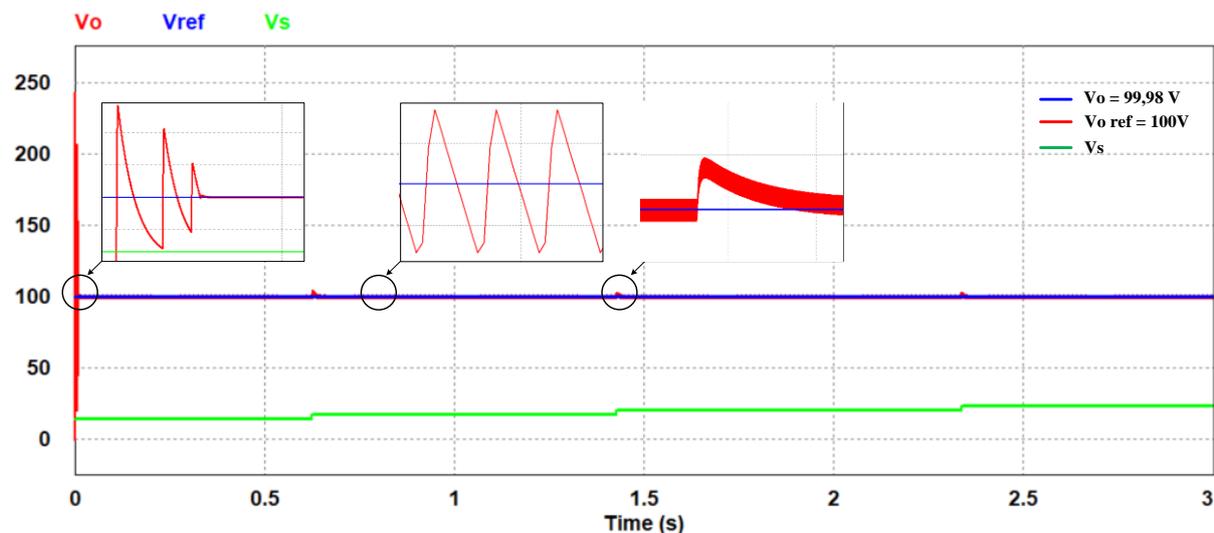
Dari persamaan (32) dengan *phase margin* (PM) dan frekuensi *crossover* pada masing-masing *plant*, maka besarnya parameter untuk arus adalah $Kp = 1,0085$, $Ki = 2245,13$, dan $Ti = 4,49 \times 10^{-4}$. Sedangkan untuk tegangan adalah $Kp = 0,997$, $Ki = 10980,70$, dan $Ti = 9,07 \times 10^{-5}$.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil analisa kendali konverter *boost* akan divalidasi menggunakan simulasi PSIM untuk melihat respon yang diperoleh dengan memasukan parameter nilai konverter yang ada pada Tabel 1. Dalam pengujian sistem konverter *boost* terdapat dua kasus yang akan diujikan, yaitu tegangan sumber dan beban yang berfluktuatif.

3.1 Kasus 1: Tegangan Sumber Berfluktuatif

Bentuk gelombang yang dihasilkan dari simulasi ditunjukkan pada Gambar 6. dimana terdapat gelombang tegangan keluaran, tegangan sumber yang berfluktuatif dan tegangan referensi. Tegangan keluaran diarahkan tetap pada 100 V, sedangkan tegangan sumber berfluktuatif 15-24 V.



Gambar 6. Hasil simulasi kontrol tegangan keluaran dengan tegangan sumber berubah 15 V, 18 V, 21 V, dan 24 V

Berdasarkan hasil pengujian dapat disimpulkan bahwa variasi dari tegangan sumber tersebut mampu dikendalikan dengan pengendali PI sesuai dengan referensinya yakni 100 V meskipun pada setiap perubahan tegangan sumber terdapat respon *overshoot* yang sangat kecil.

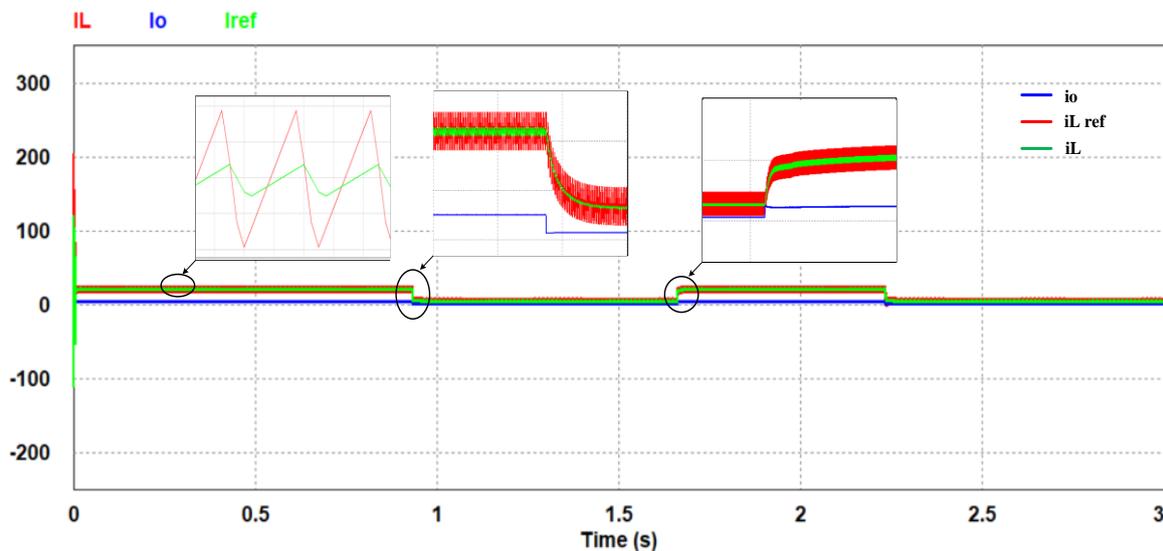
3.2 Kasus 2: Kondisi Saat Beban Berfluktuatif

Pada pengujian selanjutnya, diberikan gelombang arus keluaran dengan beban yang berubah-ubah. Gambar 7 merupakan hasil simulasi antara arus keluaran, arus induktor, dan arus referensi. Berdasarkan hasil pengujian, meskipun beban berubah, kendali PI mampu menjaga arus (i_L) tetap pada referensinya. Hal ini menunjukkan bahwa arus beban yang berubah karena perubahan nilai beban tidak mempengaruhi arus referensi yang diinginkan. Dari hasil pengendalian tegangan keluaran dan arus, maka didapatkan besarnya *rise time* dan *error steady state* pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil respon kontrol *loop ganda*

Pengendalian	<i>Rise time</i> (detik)	<i>Error steady-state</i> (%)
Tegangan keluaran	0,0082	0,02
Arus	0,0083	3,41

Berdasarkan analisis respon transien, pengendalian *multi-loop* mampu mengendalikan tegangan keluaran dan arus converter DC-DC *boost* dengan *rise time* yang sangat cepat yaitu kurang dari 0,01 detik. Adapun analisis *steady-state* dihasilkan *error* 0,02% pada pengendalian tegangan dan 3,41% pada pengendalian arus.



Gambar 7. Hasil simulasi kontrol arus

4. KESIMPULAN

Pada penelitian ini, penulis merancang pemodelan dan pengendalian untuk konverter DC-DC *boost* menggunakan kontrol PI *multi-loop* untuk mengendalikan tegangan keluaran dan arus. Perancangan dilakukan mulai dari tahap pemodelan sistem konverter *boost* dan simulasi menggunakan perangkat lunak. Dari kasus yang pertama dimana ketika tegangan sumber berfluktuatif kontrol tegangan mampu mempertahankan pada tegangan referensi yang telah ditentukan yakni 100 V, sedangkan untuk kasus kedua dimana beban dari konverter berubah-ubah, kontrol arus mampu menjaga kestabilan pada referensi. Metode ini dapat diterapkan pada pengendalian konverter DC-DC *buck* maupun *buck-boost* yang dapat dilakukan pada penelitian selanjutnya.

REFERENSI

- [1] B. Chandrasekar *et al.*, "Non-Isolated High-Gain Triple Port DC-DC Buck-Boost Converter with Positive Output Voltage for Photovoltaic Applications," *IEEE Access*, vol. 8, pp. 113649–113666, 2020.
- [2] S. Sadaf, N. Al-Emadi, P. K. Maroti, and A. Iqbal, "A New High Gain Active Switched Network-Based Boost Converter for DC Microgrid Application," *IEEE Access*, vol. 9, pp. 68253–68265, 2021.
- [3] M. Samiullah, A. Iqbal, I. Ashraf, and S. Rahme, "Split Duty Super Boost Converter for High Voltage Applications in a DC Microgrid," *IEEE Access*, vol. 9, pp. 101078–101088, 2021.
- [4] M. Forouzes, Y. P. Siwakoti, S. A. Gorji, F. Blaabjerg, and B. Lehman, "Step-Up DC-DC converters: A comprehensive review of voltage-boosting techniques, topologies, and applications," *IEEE Trans Power Electron*, vol. 32, no. 12, pp. 9143–9178, Dec. 2017.
- [5] A. Kumbhojkar, and N. Patel, "A Sliding Mode Controller with Cascaded Control Technique for DC to DC Boost Converter," *International Conference on Circuit, Power and Computing Technologies (ICCPCT 2014)*, 20-21 March 2014, Nagercoil.
- [6] N. Genc, "Dynamic Behavior of DC-DC Boost Converter Controlled with Cascade PI-ASC," *Proceedings of the 8th International Conference on Electronics, Computers and Artificial Intelligence - ECAI-2016* : 30 June-02 July 2016.
- [7] H. Abdel-Gawad and V. K. Sood, "Small-Signal Analysis of Boost Converter, including Parasitics, operating in CCM," *IEEE Power India International Conference (PIICON)*, Delhi, India, 2016.
- [8] A. Hassanzadeh, M. Monfared, S. Golestan, and R. Dowlatabadi, "Small Signal Averaged Model of DC Choppers for Control Studies," *International Conference on Electrical Engineering and Informatics, Bandung*, Indonesia, 17-19 July 2011.
- [9] M.E.Sahim and H.I.Okumus, "Small Signal Analyses and Hardware Implementation of a Buck-Boost Converter for Renewable Energy Applications," *International Conference on Renewable Energy Research and Applications (ICRERA)*, Madrid, Spain, 20-23 Oct. 2013.
- [10] H. Mishra and S. Ray, "Comprehensive Small Signal Modeling of the DC/DC Converters with CDM Controller Design," *2020 First International Conference on Power, Control and Computing Technologies (ICPC2T)*, Department of Electrical Engineering, National Institute of Technology, Raipur G.E. Road, Raipur, Chhatisgarh-492010, India, 03 -05 January 2020.

-
- [11] U. R. Prasama and A. K. Rathore, "Two Loop Average Current Control Implementation Using Cypress PSoC with Closed Loop Experimental Results", *IEEE Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE)*, Colorado Convention Center, Denver, CO, 15-19 Sept. 2013.
 - [12] S. Suharningsih and R. Rakhmawati, "Implementation Buck-Boost Converter using PI Control for Voltage Stability and Increase Efficiency," *2019 International Seminar on Application for Technology of Information and Communication (iSemantic)*, IEEE, 2019.
 - [13] O. Rabiaa, B. H. Mouna, S. Lassaad, F. Aymen, and A. Aicha, "Cascade control loop of DC-DC Boost Converter using PI", *International Symposium on Advanced Electrical and Communication Technologies (ISAECT)*, Rabat, Morocco, 2018.
 - [14] S. Kumar and P. R. Thakura, "Closed loop PI control of DC-DC Cascode Buck-Boost Converter", *International Conference on Innovations in Information, Embedded and Communication Systems (ICIECS)*, 2017.
 - [15] A. S. Samosir, T. Sutikno, and L. Mardiyah, "Simple formula for designing the PID controller of a DC-DC buck converter," *International Journal of Power Electronics and Drive Systems*, vol. 14, no. 1, pp. 327–336, Mar. 2023.