

SIMULASI DAN ANALISIS MODEL MATEMATIKA THREE STATE BUCK-BOOST CONVERTER (TBBC) DENGAN KENDALI STATE FEEDBACK

I Ketut Wiryajati, I Nyoman Wahyu Satiawan, Ida Bagus Fery Citarsa, I Made Budi
Suksmadana, Supriono
Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Mataram
Jl. Majapahit No.62, Mataram, Nusa Tenggara Barat. 83115

*Corresponding Author Email: kjatiwirya@unram.ac.id

ABSTRAK

Artikel ini menyajikan analisis rangkaian Three State Buck Boost Converter (TBBC), pemodelan matematika diikuti dengan menurunkan persamaan ruang keadaan rata-ratanya persamaan ruang ada setiap kondisi. Model yang diperoleh disimulasikan dalam SIMULINK/MATLAB. Pada konfigurasi loop terbuka dan loop tertutup dan perubahan keluarannya diamati. Konverter Buck Boost dianalisa pada kondisi tunak dengan & tanpa pengendalian. Sinyal masukan sebagai umpan dan menganalisa kondisi pada keluaran pada tanggapan transienya terhadap perubahan masukan. Desain kendali yang digunakan adalah desain kendali state feedback. Selain kendali tersebut pada artikel ini menggunakan controller Proporsional dan integral (PI). Kontroler ini digunakan untuk mengurangi kesalahan dan menstabilkan input yang variabel yang diberikan pada ke Tiga Kondisi BuckBoost Konverter. Alat yang digunakan untuk merancang pengontrol parameternya adalah aplikasi PID Tuner pada perangkat lunak MATLAB. Keuntungan dari alat yang digunakan adalah, memungkinkan pengguna untuk menyempurnakan kinerja secara interaktif pengontrol untuk menyesuaikan bandwidth loop dan margin fase atau mendukung pelacakan atau penolakan gangguan.

Keyword: Tiga Kondisi Buck Boost Konverter (TBBC), Kendali Proporsional dan integrator, Persamaan Ruang Keadaan

1. PENDAHULUAN

Power konverter arus searah yang paling lazim digunakan adalah konverter dengan menggunakan teknik pensaklaran (Mohammed & Jung, 2021). Konverter DC ke DC sering ditemukan dalam model penurun tegangan dan penaik tegangan untuk penurun tegangan saat ini dalam orde dan stabilitas yang tinggi dapat menggunakan Buck Converter (Veerachary & Anu, 2020), Penaik tegangan dapat menggunakan model kuadratik berbasis Boost Converter. (Veerachary, 2017). Buck Boost Converter mampu mengatasi kedua keadaan tersebut dalam satu rangkaian. Perubahan tegangan akibat dari menaik dan menurunnya tegangan masukan telah banyak diatasi dengan berbagai metoda pendekatan, seperti menggunakan MPPT pada system energi matahari (Matusz-Kalász, Bodnár, & Boros, 2023; Yuwanda, Prasetyono, & Eviningsih, 2020), selain menggunakan kesetabilan yang berbasis control konvensional dengan beberapa skenario dapat dengan kebijakan konvensional, selain metoda robust dengan teori kontrol disisi lain dapat menggunakan teori kombinasi dengan program linier. (Chen, Chen, Li, & Han, 2021). dan banyak yang lainnya. Akibat kesetabilan yang menurun dapat mempengaruhi power factor. Upaya yang telah diupayakan adalah dengan metoda perbaikan Power Factor Corection (PFC). Metoda ini dapat digunakan sebagai koreksi Power factor pada jaringan (Rashid & Knight, 2020), Industri rumah tangga, Industri otomotif (Patil & Ugale, 2022).

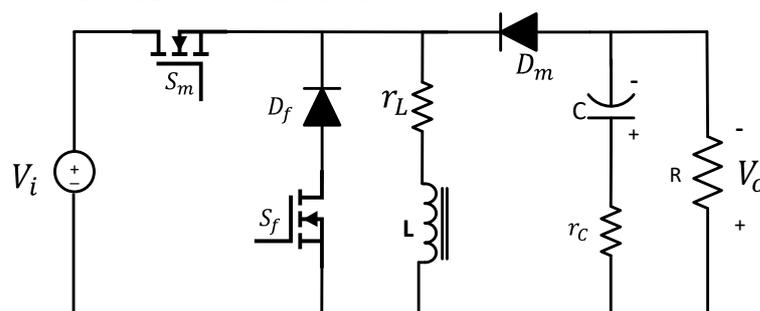
Akibat pensaklaran ini timbul persoalan Harmonisa secara klasik (Alam, Tao, & Habib, 2016; Wibawa, Mardiana, & Ardhenta, 2020) pada sisi beban maupun sisi pembangkit. Ada banyak penelitian telah di usulkan dalam penanganan ini seperti menghilangkan Righ Hand Plant (RHP)(Havre & Skogestad, 1997) pada pensaklaran, dengan mengurangi ukuran induktor. memvariasikan frekuensi switching (Wu, Zhang, & Xing, 2015), Penambahan Filter termasuk filter bertingkat (Chang, Cheng, & Cheng, 2017) yang semakin kompleks seperti Kalman filter (Sun, Cui, Yan, & Sun, 2022), Penanganannya ini masih berkisar pada operasi mode Continuous Conduction Mode (CCM) dan Disconitnous Conduction Mode (DCM).

Buck Boost Konverter dapat meningkatkan/menurunkan tegangan dengan cepat. Namun perkembangannya adalah hanya dengan mengubah posisi saklar dan penambahan diode sudah mendapatkan perubahan yang luar biasa dari sebuah rangkaian ini. Konverter Buck-Boost memiliki non-minimum masalah fase karena adanya Right Haf Plant (RHP) nol dalam fungsi transfer kontrol-ke keluarannya saat konverter beroperasi dalam mode CCM. Penanganan RHP telah banyak dilakukan seperti mengurangi ukuran Induktor, meningkatkan frekuensi switching, atau mengabungkan keduanya. Model ini menggunakan pendekatan persamaan Deferenensial biasa dan Transformasi Lapace dengan kontroler konvensional maupun modern yang ide dasar diambil dari pemodelan dalam rangka peningkatan Buck Boost Converter (Rana, Ghosh, & Banerjee, 2018) dengan kombinasi dari pemanfaatan sinyal modulasi pada control (Wiryajati, Giriantari, Kumara, & Jasa, 2021). Berdasarkan pemaparan diatas maka di uraikan sebuah konverter dengan model kerja tiga langkah dengan sebutan Three State Buck Boost Coverter (TBBC) yang diuraikan secara matematika pada model state space dengan controller matrik yang ide ini juga di ambil dari (Badeli, Baharom, Hidayat, & Hamzah, 2012) dan State Feedback.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian kali ini mengusulkan sebuah rangkaian tiga kondisi pada sebuah Buck Boost Konverter dengan menggunakan kontroler state feedback. Konverter tersebut diistilahkan dengan Three State Buck Boost Converter.

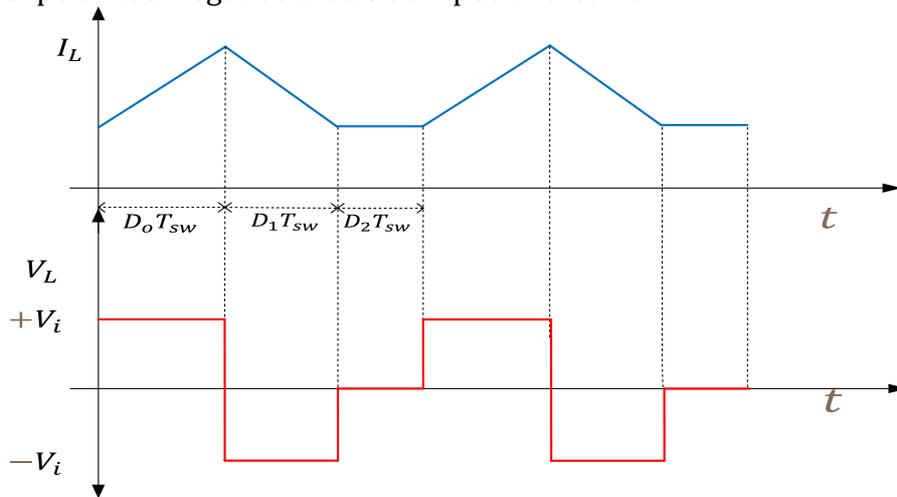
a. Three State Buck Boost Converter



Gambar 1. Rangkaian Dasar Three State Buck Boost Converter (TBBC)

Rangkaian pada Gambar 1 menunjukkan sebuah rangkaian Tiga Kondisi Buck Boost Konverter (TBBK), Rangkaian ini terdiri dari tegangan masukan (V_i), Dua buah saklar utama (S_m), dan freewhelling (S_f), dua buah diode utama (D_m) dan diode frewhelig (D_f), Induktor (L) dengan tahanan dalam (r_L), Capacitor (C) dengan Tahanan dalam kapasitor (r_c), dan beban berupa (R). Tegangan keluaran yang diukur adalah tegangan pada beban yaitu Tegangan Keluaran (V_o).Polaritas dari tegangan masukan

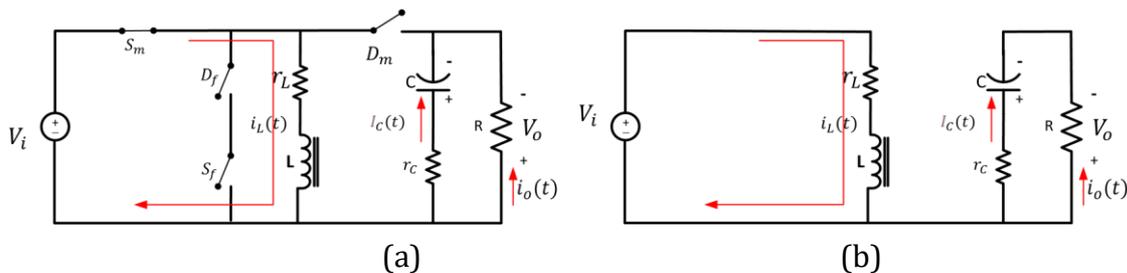
(V_i), adalah positif diatas dan negative di bawah. Sedangkan pada Tegangan Keluaran (V_o) posisi polaritas negative diatas dan positif dibawah.



Gambar 2. Rangkaian Dasar Three State Buck Boost Converter (TBBC)

Prinsip kerja dari TBBC adalah bekerja pada tiga kondisi seperti pada ditunjukkan pada Gambar 2. Pada kondisi 1 induktor mengalami pengisian selama waktu $D_o T_{sw}$ dan arus induktor meningkat secara perlahan, dan selama pembuangan muatan atau kondisi ke 2 induktor mengalami discharging selama $D_1 T_{sw}$, arus mengalami penurunan secara perlahan, sedangkan pada kondisi ketiga adalah masa proses freewheeling $D_2 T_{sw}$, pada kondisi ini arus induktor adalah konstan dan bernilai tidak nol. Karena kondisi ini adalah kondisi Continuous Conduction Mode (CCM).

Pada Kondisi 1. Saklar utama (S_m), ditutup dan saklar f (S_f), dibuka, Dioda freewheeling (D_f), dan diode (D_m) mengalami reverse bias. Dengan demikian tegangan masukan mengalirkan arus menuju Induktor dengan polaritas positif. Pada kapasitor mengalirkan arus sesuai kondisi saklar yang aktif. Lihat Gambar 3.



Gambar 3. Rangkaian pengganti pada kondisi 1 (a) Rangkaian dengan posisi saklar (b) Rangkaian ekuivalen kondisi 1.

Pada kondisi 1 berlaku Hukum Tegangan Kirchoff dan didapatkan persamaan sebagai berikut:

$$V_i = V_{rL} + V_L$$

$$V_i = i_L(t)r_L + L \frac{di_L}{dt}$$

$$\frac{di_L(t)}{dt} = \frac{V_i - i_L(t)r_L}{L}$$

(1)

Pada sisi arus berlaku hukum arus kirchoff dan didapatkan persamana berikut:

$$V_c = V_0$$

$$i_c(t) = -i_o(t)$$

$$\frac{dv_c(t)}{dt} = - \frac{V_c}{C(R + r_c)} \quad (2)$$

Persamaan State Space

$$\dot{x} = AX + Bu$$

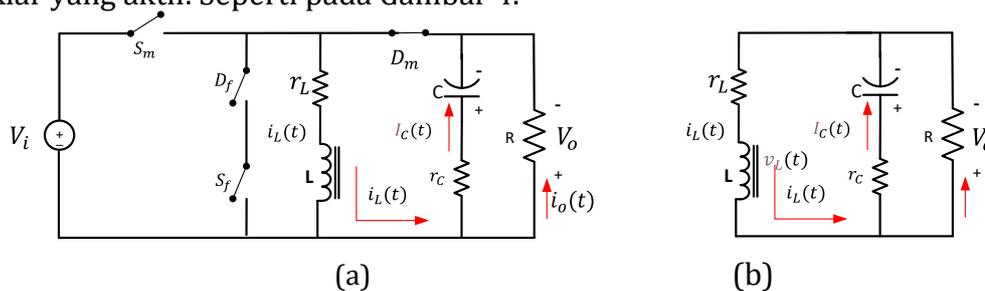
$$\begin{bmatrix} \frac{di_L(t)}{dt} \\ \frac{dv_c(t)}{dt} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{-r_L}{L} & 0 \\ 0 & \frac{-1}{C(R + r_c)} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_L \\ v_c \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix} [V_i] \quad (3)$$

$$A_1 = \begin{bmatrix} \frac{-r_L}{L} & 0 \\ 0 & \frac{-1}{C(R + r_c)} \end{bmatrix}, B_1 = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (4)$$

$$y = CX + Du$$

$$C_1 = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_L \\ v_c \end{bmatrix}, D_1 = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (5)$$

Pada Kondisi 2. Saklar utama (S_m), dibuka dan saklar (S_f), dibuka, dioda freewheeling (D_f), dan diode (D_m) mengalami forward bias. Dengan demikian tegangan masukan tidak ada aliran arus menuju Induktor. Dalam mode CCM muatan pada induktor dengan polaritas positif. Kapasitor menglirkan arus sesuai kondisi saklar yang aktif. Seperti pada Gambar 4.



Gambar 4. Rangkaian pengganti pada kondisi 2 (a) Rangkaian dgn posisi saklar (b) Rangkaian ekivalen kondisi 2.

Pada kondisi 2 dengan cara yang sama didapat

$$L \frac{di_L(t)}{dt} = \frac{-(r_L R + r_L r_c + r_c R)i_L}{(R + r_c)} - \frac{V_c}{R + r_c}$$

$$\frac{di(t)}{dt} = \frac{-(r_L R + r_L r_c + r_c R)i_L}{L(R + r_c)} - \frac{RV_c}{L(R + r_c)} \quad (6)$$

Pada sisi arus dengan cara yang sama

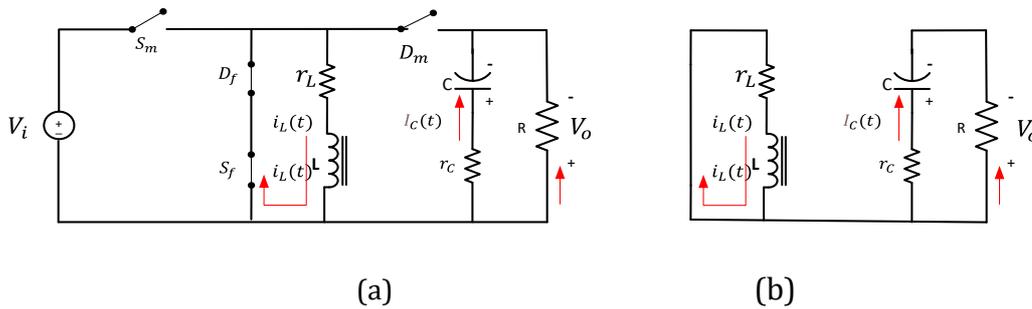
$$i_L(t) = i_C + i_R$$

$$V_c = V_o$$

$$\frac{dV_c(t)}{dt} = i_L(t) \frac{R}{C(R+r_c)} - \frac{V_c}{C(R+r_c)} \quad (7)$$

$$A_2 = \begin{bmatrix} \frac{-(r_L R + r_L r_c + r_c R)}{L(R+r_c)} & \frac{-R}{R+r_c} \\ \frac{R}{C(R+r_c)} & \frac{-1}{C(R+r_c)} \end{bmatrix}, B_2 = \begin{bmatrix} 1 \\ L \\ 0 \end{bmatrix} \quad (8)$$

$$C_2 = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_L \\ v_c \end{bmatrix}, D_2 = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (9)$$



Gambar 5. Rangkaian pengganti pada kondisi 3 (a) Rangkaian dengan posisi saklar (b) Rangkaian ekivalen kondisi 3.

Pada Konsisi 3. Salkal utama (S_m), dibuka dan saklar (S_f), dan dioda freewheeling (D_f), di tutup dan diode (D_m) mengalami freverse bias. Gambar 5 (a). Dengan demikian tegangan masukan tidak ada. Muatan pada induktor mengalami discharging. Dalam kasus ini mode CCM dan muatan pada induktor dengan polaritas positif. Kapasitor menglirkan arus sesuai kondisi saklar yang aktif. Terihat seperti pada Gambar 5 (b).

$$-V_{rL} = V_L$$

$$\frac{di_L(t)}{dt} = \frac{-i_L(t)r_L}{L} \quad (10)$$

$$i_c(t) = -i_o(t)$$

$$C \frac{dv_c(t)}{dt} = -\frac{V_o}{R+r_c}$$

$$\frac{dv_c(t)}{dt} = -\frac{V_c}{C(R+r_c)} \quad (11)$$

Persamaan State Space

$$\dot{x} = AX + Bu$$

$$\begin{bmatrix} \frac{di_L(t)}{dt} \\ \frac{dv_c(t)}{dt} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{-r_L}{L} & 0 \\ 0 & \frac{-1}{C(R+r_c)} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_L \\ v_c \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix} [V_i] \quad (12)$$

$$A_3 = \begin{bmatrix} \frac{-r_L}{L} & 0 \\ 0 & \frac{-1}{C(R+r_c)} \end{bmatrix}, B_3 = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (13)$$

$$C_3 = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_L \\ v_c \end{bmatrix}, D_3 = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (14)$$

Persamaan State Space rata rata dalam satu siklus dari TBBC dapat di tulis menjadi sebagai berikut:

$$A_{avg} = A_1 + A_2 + A_3, B_{avg} = B_1 + B_2 + B_3,$$

Karena terdapat tiga mode yang dipengaruhi oleh duty cycle D_0, D_1, D_2 maka setiap mode dikalikan dengan waktu /siklus kerja tersebut sehingga didapatkan;

$$A_{avg} = \begin{bmatrix} \frac{-r_L}{L} & 0 \\ 0 & \frac{-1}{C(R+r_c)} \end{bmatrix} D_0 + \begin{bmatrix} \frac{-(r_L R + r_L r_c + r_c R)}{L(R+r_c)} & \frac{-R}{L(R+r_c)} \\ \frac{R}{C(R+r_c)} & \frac{-1}{C(R+r_c)} \end{bmatrix} D_1 + \begin{bmatrix} \frac{-r_L}{L} & 0 \\ 0 & \frac{-1}{C(R+r_c)} \end{bmatrix} D_2$$

$$A_{avg} = \begin{bmatrix} \frac{-(r_L R + r_L r_c + r_c R D_0)}{L(R+r_c)} & \frac{-R D_0}{L(R+r_c)} \\ \frac{R}{C(R+r_c)} & \frac{-1}{C(R+r_c)} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_L \\ v_c \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{D_2}{L} \\ 0 \end{bmatrix} [V_i]$$

$$\begin{bmatrix} \frac{di_L(t)}{dt} \\ \frac{dv_c(t)}{dt} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{-(r_L R + r_L r_c + r_c R D_0)}{L(R+r_c)} & \frac{-R D_0}{L(R+r_c)} \\ \frac{R D_0}{C(R+r_c)} & \frac{-1}{C(R+r_c)} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_L \\ v_c \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{D_2}{L} \\ 0 \end{bmatrix} [V_i] \quad (15)$$

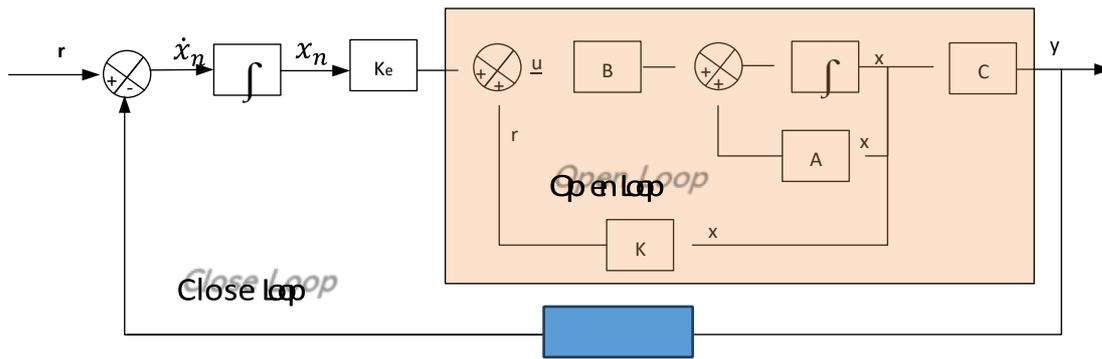
Dengan demikian persamaan diferensialnya dapat ditulis kembali menjadi berikut:

$$\frac{di_L(t)}{dt} = \left(\frac{-(r_L R + r_L r_c + r_c R d_1)}{L(R+r_c)} \right) i_L - \left(\frac{-R d_1}{L(R+r_c)} \right) v_c \quad (16)$$

$$\frac{dv_c(t)}{dt} = \left(\frac{R d_1}{C(R+r_c)} \right) i_L + \left(\frac{-1}{C(R+r_c)} \right) v_c \quad (17)$$

b. State Feedback design with Integral

Untuk mendapatkan model state dan integral dalam system kendali Three State State Feedback Control dapat diperhatikan pada Gambar 6.



Gambar 6. Skema Integral dari State Feedback Kontroller

$$\dot{x}_n = e = -C_x + V_i \quad (17)$$

Persamaan controller baru didapat

$$V_i = -K_x + K_e \quad (18)$$

$$\dot{x} = (A - BK)x + BK_e x_n \quad (19)$$

Persamaan batrik baru didapatkan sebagai berikut:

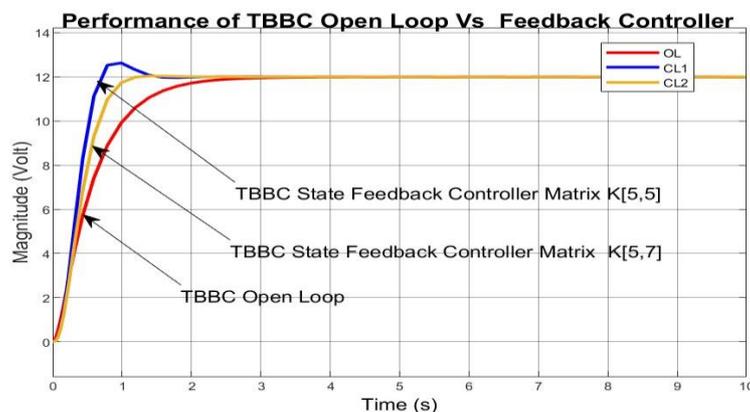
$$\begin{bmatrix} \dot{x} \\ \dot{x}_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A - BK & BK_e \\ -C & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ x_n \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix} [V_i] \quad (20)$$

$$\text{dengan } V_o = [C0] [x_n] \quad (21)$$

Dimana V_o = Tegangan Keluaran, V_i = Tegangan Masukan, x = adalah arus induktor, x_n = Tegangan Kapasitor.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dari hasil perhitungan matrik didapatkan keluaran pada saat system diuji dengan persamaan karakteristiknya menghasilkan bentuk keluaran sekitar 12 volt dan peneurunan nya tegangan sangat dipengaruhi oleh besar kecilnya parameter yang di pergunakan dalam rangkaian TBBC. Perhitungan Parameter TBBC mengacu pada Perhitungan Buck Boost Konverter. Matrik controller ditentukan dengan menguji rangkaian dengan memberikan rangkaioran integrator sebagai uaya untuk meningkatkan kestabilan atau menurunkan error steady state. Penguatan K_e diberikan setelah integrator agar memberikan kesetabilan yang lebih dekat. Perhatikan Gambar 6



Gambar 7. Performance TBBC tanpa dan dengan Kontroller Matrik State.

Rangkaian KOntrroller dengan persamaan (20) dan persamaan (21) didapatkan rangkaian controller dengan matrik 2x2 dan di ujikan dengan melakukan percobaan dengan memilih angka 5 dan 5 dan sekitarnya didapatkan keluaran dengan bentuk seperti pada Gambar 7. Dengan TBBC kalang tertutup. Mtrik yang ditrial adalah matrik K dengan penguatan matrik [5,5] dan [5 7].

Sistem state space kalang terbuka di upayakan dengan mengatur gain agar memiliki nilai yang sama pada keluaran kalang tertutup. Tujuan dari penyamaan keluaran agar lebih memudahkan untuk membandingkan kinerja dari system saat kalang tertutup maupun kalang terbuka.

Pada Tabel 1. Menunjukkan nilai komparasi dai kinerja TBBC, dengan waktu naik mengalami kenaikan dengan cepat perhatikan matrik dan hsil kanag terbuka dan tertutup sangat significant . Laju kemiringan mengalami kecepatan yang cukup baik disekitar 22,438 setiap detiknya. Nilai overshoot dengan controller pada nilai [5 5] medapatkan nilai yang mwngalami lonjakan yang sangat significant. Range yang di gunakan atau yang di lpilih adalah sekitar nilai matrik [5 7].

Tabel 1. Komparasi kontroler state feedback dengan matrik tertala

No	Performance	Kontroller		
		Open Loop	Matrik K[5,5]	Matrik K[5,7]
1	Time Rise (Tr)	1,121 ms	427,60 ms	605,126 ms
2	Slew Rate (Sr)	8,469/s	22,438/s	15,750/s
3	Overshoot (Ov)	0,501 %	4,737 %	0,501 %
4	Amplitude (V)	1,187e+1	1,199e+1	1,197e+1

4. KESIMPULAN

Penelitian ini menrancang persamaan state space dari TBBC berdasarkan variable arus dan egangan pada rangkaian. Model matematika telah disimulasikan dengan perangkat lunak SIMULINK/MATLAB dandiolah dengan perangkat lunak lain dan menghasilkan sebuah metoda aplikasi teknik kendali dengan menggunakan State Feedback pada Three State Buck Boost Converter (TBBC) dengan kesetabilan yang lebih baik. Secara berturut-turut hasil nilai terbaik adalah niai waktu naik yang dapat ditunjukkan berikut: 1.121 ms, 427,60 ms dan 65.126 ms. TBBC kalang tertutup dengan feed back tunggal, Metoda konvensional TBBC menggunakan Kontroller PI dan TBBC menggunakan kontrol matrik State Feedback (K) . Penguatan kendali Pi, dan Matrik K di tala menggunakan metoda Zigler Nichols sebagai acuan dan ditala lagi dengan metoda Trial and Error.

5. DAFTAR REFERENSI

1. Alam, A., Tao, L., & Habib, K. (2016, 28 Sept.-1 Oct. 2016). Optimal model predictive control for disturbance rejection and stability in buck-boost converter and its comparison with classical technique. Paper presented at the 2016 IEEE International Conference on Power System Technology (POWERCON).
2. Badeli, A. A., Baharom, R., Hidayat, N., & Hamzah, M. K. (2012, 3-4 Dec. 2012). Single-phase matrix converter with reduced switch count operating as buck or boost rectifier. Paper presented at the 2012 International Symposium on Computer Applications and Industrial Electronics (ISCAIE).
3. Chang, C. H., Cheng, C. A., & Cheng, H. L. (2017, 24-27 Oct. 2017). A bidirectional buck-cascaded buck-boost PV inverter with active power filtering. Paper presented at the 2017 IEEE 6th Global Conference on Consumer Electronics (GCCE).

4. Chen, C., Chen, M., Li, S., & Han, K. (2021, 22-24 May 2021). Reliable constrained control of DC-DC Buck-Boost converter based on signal compensation and inner-outer convex combination optimal control. Paper presented at the 2021 33rd Chinese Control and Decision Conference (CCDC).
5. Havre, K., & Skogestad, S. (1997, 1-7 July 1997). Limitations imposed by RHP zeros/poles in multivariable systems. Paper presented at the 1997 European Control Conference (ECC).
6. Matusz-Kalász, D., Bodnár, I., & Boros, R. R. (2023, 12-14 June 2023). Monitoring of MPPT regulation during temperature transient phenomenon in off-grid solar system. Paper presented at the 2023 24th International Carpathian Control Conference (ICCC).
7. Mohammed, S. A. Q., & Jung, J. W. (2021). A State-of-the-Art Review on SoftSwitching Techniques for DC-DC, DC-AC, AC-DC, and AC-AC Power Converters. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 17(10), 6569-6582. doi:10.1109/TII.2021.3058218
8. Patil, R., & Ugale, R. T. (2022, 21-23 Dec. 2022). Comparative Study of Single-phase
9. Power Factor Correction Topologies for Electric Vehicle Battery Charger
10. Based on Boost Converter. Paper presented at the 2022 IEEE Conference on Interdisciplinary Approaches in Technology and Management for Social Innovation (IATMSI).
11. Rana, N., Ghosh, A., & Banerjee, S. (2018). Development of an Improved Tristate
12. Buck-Boost Converter With Optimized Type-3 Controller. *IEEE Journal of Emerging and Selected Topics in Power Electronics*, 6(1), 400-415. doi:10.1109/JESTPE.2017.2724847
13. Rashid, M., & Knight, A. M. (2020, 29 June-28 July 2020). Local power control by LV distributed PV for feeder power factor correction and overvoltage mitigation. Paper presented at the 2020 IEEE/IAS 56th Industrial and Commercial Power Systems Technical Conference (I&CPS).
14. Sun, Z., Cui, C., Yan, G., & Sun, X. (2022, 25-27 July 2022). Application of Fractional Kalman Filter in Modal Analysis of Buck-Boost Converter. Paper presented at the 2022 41st Chinese Control Conference (CCC).
15. Veerachary, M. (2017, 18-20 Dec. 2017). Design and analysis of a new quadratic boost converter. Paper presented at the 2017 National Power Electronics Conference (NPEC).
16. Veerachary, M., & Anu. (2020, 2-4 Oct. 2020). Stability Analysis of Higher-order
17. Buck Converters: Participation Factors Approach. Paper presented at the 2020 IEEE International Conference on Computing, Power and Communication Technologies (GUCON).
18. Wibawa, U., Mardiana, E., & Ardhenta, L. (2020, 26-28 Aug. 2020). Design and Performance Analysis of PID Controller for Extended Output Voltage BuckBoost Converter. Paper presented at the 2020 10th Electrical Power, Electronics, Communications, Controls and Informatics Seminar (EECCIS).
19. Wiryajati, I. K., Giriantari, I. A. D., Kumara, I. N. S., & Jasa, L. (2021). The performance analysis of dual-inverter three phase fed induction motor with open-end winding using various PWM schemes. *Wireless Networks*, 27(2), 871-880. doi:10.1007/s11276-019-02182-5
20. Wu, H., Zhang, J., & Xing, Y. (2015). A Family of Multiport Buck-Boost Converters Based on DC-Link-Inductors (DLIs). *IEEE Transactions on Power Electronics*, 30(2), 735-746. doi:10.1109/TPEL.2014.2307883
21. Yuwanda, R. I., Prasetyono, E., & Eviningsih, R. P. (2020, 22-23 July 2020). Constant Power Generation Using Modified MPPT P&O to Overcome Overvoltage on
22. Solar Power Plants. Paper presented at the 2020 International Seminar on Intelligent Technology and Its Applications (ISITIA).