

DOI: doi.org/10.21009/0305020129

## PEMODELAN DAN SIMULASI TOPOLOGI *SINGLE ENDED PRIMARY INDUCTOR CONVERTER (SEPIC)* UNTUK MINI 3 PLUS WIND TURBINE

Ryan Prasetyo<sup>1,a)</sup>, Dwindra Wilham Maulana,<sup>2,b)</sup> Camellia Panatarani<sup>1,2,c)</sup>, I Made Joni<sup>1,2,d)</sup>

<sup>1</sup>Departemen Fisika, FMIPA, Universitas Padjadjaran Jl. Raya Bandung-Jatinangor Km.21 Jatinangor 45363, Indonesia

<sup>2</sup>Pusat Penelitian Pengembangan Institusi Nanoteknologi dan Graphene, Universitas Padjadjaran, Jl. Raya Bandung-Jatinangor Km.21 Jatinagor 45363, Indonesia

Corresponding author: imadejoni@phys.unpad.ac.id<sup>d)</sup>

Email: <sup>a)</sup>prasetiyo.ryan@gmail.com, <sup>b)</sup>dwindramaulana@gmail.com, <sup>c)</sup>c.panatarani@phys.unpad.ac.id,

### Abstrak

Agar konverter DC-DC *buck boost* dapat menghasilkan kinerja sesuai dengan spesifikasi yang diinginkan, proses perancangan dilakukan dengan membuat model dan melakukan simulasi. Penelitian ini bertujuan untuk merancang konverter yang diaplikasikan pada MINI 3 plus Wind Turbine. Konverter didesain dengan topologi *Single Ended Primary Inductor Converter (SEPIC)* menggunakan mode *Continuous Conduction Mode (CCM)*. Spesifikasi output konverter adalah tegangan input 60V, arus input 7,5 A, tegangan output 25 V, arus output 4,17 A, dan frekuensi 25 kHz. Metode ruang keadaan rata-rata digunakan untuk memperoleh fungsi transfer. Fungsi transfer yang diperoleh merepresentasikan karakteristik sistem keadaan rata-rata pada konverter SEPIC. Karakteristik dan kualitas desain konverter SEPIC dapat ditentukan dengan metode analisis performansi sistem. Hasil penelitian menunjukkan bahwa hasil analisis pada konverter SEPIC dapat mencapai indikator kontrol yang unggul dan stabil berdasarkan *overshoot*, *rise time*, *settling time*, frekuensi, dan letak *pole-zero*. Simulasi konverter SEPIC menunjukkan bahwa konverter dapat secara signifikan menaikkan tegangan (mode *boost*) dengan *duty cycle* lebih dari 50% dan konverter dapat menurunkan tegangan (mode *buck*) dengan *duty cycle* kurang dari 50%. Berdasarkan hasil performansi sistem disimpulkan konverter yang didesain menghasilkan kinerja yang unggul dan stabil.

**Kata Kunci:** Analisis ruang keadaan, konverter SEPIC, simulasi.

### Abstract

In order to have a DC-DC buck boost converter with performances as desired specifications, the design process was performed by developing a model and simulation. The purpose of this research was to design a converter applied for a MINI 3 plus Wind Turbine. The converter topology was designed with Single Ended Primary Inductor Converter (SEPIC) using a Continuous Conduction Mode (CCM). The output specifications of converter are input voltage 60 V, input current 7,5 A, output voltage 25 V, output current 4,17 A, and frequency 25kHz. The average state space method was used to obtain its transfer function. The transfer function represented the characteristics of an average state of SEPIC converter system. The characteristics and designed quality of SEPIC converter determined by system performance analysis. The results showed that as designed SEPIC converter achieved excellent performances and stability based on their overshoot, rise time, settling time, frequency, and location of pole-zeros. Incontrast, the designed SEPIC converter showed that converter increased the input voltage (boost mode) with duty cycle more than 50% and reduced voltage (buck mode) with duty cycle less than 50%. It was concluded that the designed converter system achieved excellent and stable performances.

**Keywords:** SEPIC converter, state space analysis, transfer function, DC-DC converter

## 1. Pendahuluan

Keterbatasan unik dari sistem konversi energi, khususnya energi angin adalah tidak stabilnya kecepatan angin dalam memutar turbin [1]. Tidak stabilnya kecepatan angin memungkinkan terjadinya kerusakan pada sub sistem *power plant* dengan

keluaran yang tidak stabil, efisiensi yang rendah, sehingga memungkinkan terjadi masalah pada pengisian baterai.

Untuk mengatasi masalah fluktuasi daya yang dihasilkan turbin angin, dapat digunakan sistem *Maximum Power Point Tracker (MPPT)*

menggunakan aktuator konverter DC-DC. Dengan menggunakan sistem MPPT tersebut diharapkan output yang diregulasi pada titik daya maksimum yang dihasilkan oleh sumber, sehingga dapat meningkatkan efisiensi [2].

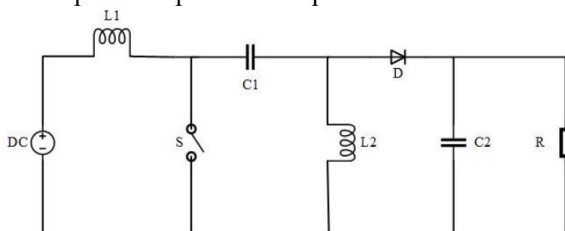
*Single Ended Primary Inductor Converter* (SEPIC) adalah jenis konverter DC-DC *buck-boost* generasi keempat setelah konverter *buck-boost* konvensional, konverter Cuk, dan konverter Zeta. Konverter SEPIC menggunakan dua induktor dan dua kapasitor yang memiliki keunggulan yaitu: 1- input dan output memiliki polaritas yang sama, 2- *ripple* arus input yang rendah, 3- dapat beroperasi sebagai mode *step-up* dan mode *step-down* [3-7]. Dikarenakan sistem konverter adalah non linier, maka desain konverter untuk sistem konversi energi angin akan sangat sulit. Oleh karena itu, agar diperoleh suatu desain konverter DC-DC dengan efisiensi yang tinggi dan sesuai dengan spesifikasi input dan output yang diinginkan, maka rancangan hendaknya dimodelkan dan disimulasikan terlebih dahulu.

Tujuan penelitian pada tulisan ini adalah untuk mendesain konverter DC-DC untuk diaplikasikan pada kincir angin tipe MINI 3 Plus Wind Turbine dengan spesifikasi daya 450 Watt. Pada tulisan ini juga dibahas bagaimana model dibangun, disimulasikan sehingga hasil analisis performansi sistem dapat dipergunakan sebagai acuan dalam rancangan konverter.

## 2. Metode Penelitian

### 2.1 Konverter SEPIC

Konverter yang didesain merupakan aktuator yang akan diimplementasikan sebagai pada sistem konversi energi angin menggunakan metode *Maximum Power Point Tracker*. Konverter didesain menggunakan topologi SEPIC. Topologi SEPIC pada dasarnya merupakan topologi konverter *boost* yang ditambahkan rangkaian filter berupa induktor dan kapasitor seperti dimuat pada Gambar 2.1.



Gambar 1. Topologi konverter SEPIC

Desain suatu konverter bergantung pada spesifikasi sistem konverter yang dibutuhkan. Spesifikasi sistem konverter ditentukan berdasarkan kincir angin yang digunakan yaitu tipe MINI 3 Plus Wind Turbine dengan spesifikasi daya 450 Watt. Spesifikasi konverter secara lengkap dimuat pada Tabel 1.

Konverter SEPIC dapat dioperasikan dengan dua mode yaitu *continuous current mode* (CCM) dan

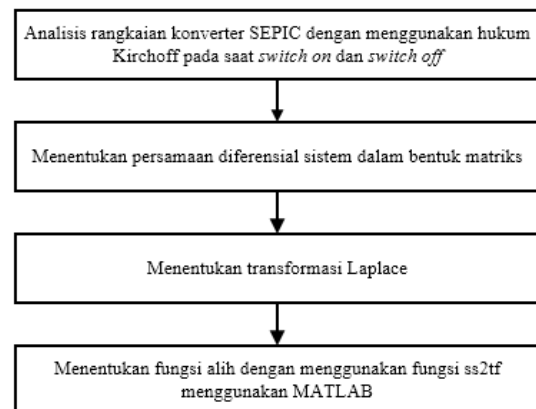
*discontinuous current mode* (DCM). Pada penelitian ini, mode yang digunakan adalah CCM. *Continuous current mode* ditandai oleh arus yang mengalir secara terus menerus pada induktor selama *switching cycle*-nya dalam keadaan mantap (*steady state*).

Tabel 1. Spesifikasi konverter SEPIC

Parameter Konverter	Nilai
Tegangan input ( $V_{in}$ )	60V
Arus input ( $I_{in}$ )	7,5 A
Tegangan output ( $V_{out}$ )	25 V
Arus output ( $I_{out}$ )	4,17 A
Frekuensi	25 kHz
Ripple tegangan	0,01V

### 2.2 Model Matematis Sistem Fisis Konverter

Metode yang digunakan untuk memodelkan sistem fisis dari konverter SEPIC adalah metode *circuit averaging* atau metode ruang keadaan rata-rata. Model matematis yang dihasilkan berupa fungsi transfer yang dapat merepresentasikan karakteristik sistem keadaan rata-rata pada konverter SEPIC dengan tahapan pemodelan konverter SEPIC dimuat pada Gambar 2.



Gambar 2. Diagram pemodelan sistem konverter SEPIC

### 2.3 Analisis Kestabilan dan Kinerja Konverter SEPIC

Karakteristik dan kualitas dari desain konverter SEPIC perlu ditentukan dengan metode analisis performansi sistem yang lazim digunakan dalam desain pemodelan sistem proses menggunakan MATLAB. Selain itu, metode tersebut dapat dijadikan sebagai acuan untuk optimasi kinerja suatu sistem. Metode analisis performansi sistem konverter yang digunakan antara lain sebagai berikut [8]:

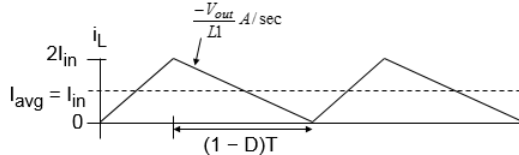
1. Analisis respon step.
2. Analisis respon impuls.
3. Metode *root locus* atau tempat kedudukan akar.
4. Diagram bode.

Kinerja konverter SEPIC dapat disimulasikan menggunakan PSIM dengan parameter yang diperoleh dari hasil desain.

### 3. Hasil dan Pembahasan

#### 3.1 Desain Konverter SEPIC

Induktor  $L_1$  akan dialiri oleh arus input  $I_{in}$ . Pada saat proses *switching* dengan frekuensi tertentu, arus yang mengalir dalam induktor akan terjadi pengisian dan pengosongan seperti pada Gambar 3.



**Gambar 3.** Grafik perubahan arus dalam induktor terhadap waktu

Dengan menggunakan prinsip induktansi pada induktor, maka diperoleh nilai induktor  $L_1$  dan  $L_2$  beserta rating arusnya sebagai berikut.

$$L_1 > \frac{V_{in} D}{\Delta i_{L1} f} \quad (1)$$

$$I_{L1rms} = \frac{2}{\sqrt{3}} I_{in} \quad (2)$$

$$L_2 > \frac{V_{in} D}{\Delta i_{L2} f} \quad (3)$$

$$I_{L2rms} = \frac{2}{\sqrt{3}} I_{out} \quad (4)$$

Dengan menggunakan prinsip tegangan pada kapasitor dan *root mean square* (rms), maka diperoleh perumusan untuk menentukan nilai kapasitor input  $C_1$  dan kapasitor output  $C_2$  sebagai berikut.

$$C_1 = \frac{D}{R(\frac{\Delta V_{C1}}{V_o})f} \quad (5)$$

$$I_{Cs rms} = \max\left(\frac{2}{\sqrt{3}} I_{in}, I_{out}\right) \quad (6)$$

$$C_2 = \frac{D}{R(\frac{\Delta V_{C2}}{V_o})f} \quad (7)$$

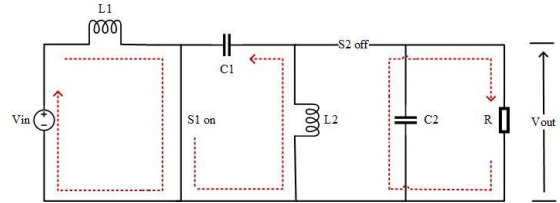
$$I_{Cout rms} = \max\left(\frac{2}{\sqrt{3}} I_{in}, \frac{2}{\sqrt{3}} I_{out}\right) \quad (8)$$

**Tabel 2.** Hasil desain konverter SEPIC

Parameter Komponen	Nilai
Induktor ( $L_1$ )	2,28 mH
Induktor ( $L_2$ )	2,28 mH
Kapasitor ( $C_1$ )	198,41 $\mu$ F
Kapasitor ( $C_2$ )	198,41 $\mu$ F
Resistor (R)	5,76 Ohm
Duty Cycle	28,5%

#### 3.2 Model Matematis Sistem Fisis Konverter

Analisis keadaan ruang konverter SEPIC untuk *continuous conduction mode* dapat dilakukan dengan membuat keadaan rata-rata dari dua keadaan yaitu pada saat  $S_1$  on,  $S_2$  off dan  $S_1$  off,  $S_2$  on. Mode 1 pada saat switch  $S_1$  on ( $0 < t < DT$ ) dapat diamati pada Gambar 4 bahwa pada saat *switch* pada MOSFET/IGBT on, maka dioda sebagai *switch* akan terjadi bias mundur, sehingga *switch*  $S_2$  off.



**Gambar 4.** Mode 1 saat  $S_1$  on,  $S_2$  off

Dengan menggunakan hukum Kirchoff dan hukum Ohm pada rangkaian Gambar 3, akan diperoleh empat persamaan sebagai berikut.

$$\frac{dI_{L1}}{dt} = \frac{V_{in}}{L_1} \quad (9)$$

$$\frac{dI_{L2}}{dt} = \frac{V_{C1}}{L_2} \quad (10)$$

$$\frac{dV_{C1}}{dt} = -\frac{I_{L2}}{C_1} \quad (11)$$

$$\frac{dV_{C2}}{dt} = -\frac{V_{C2}}{RC_2} \quad (12)$$

Dengan menurunkan model matematik sistem konverter SEPIC, dapat diketahui bahwa persamaan diferensial yang terlibat relatif rumit karena keanekaragaman masukan dan keluaran. Untuk menyederhanakan ekspresi matematik persamaan sistem, digunakan notasi matriks. Oleh karena itu, persamaan 9 s.d. persamaan 12 diubah menjadi ke dalam notasi matriks seperti yang pada persamaan 13 [9].

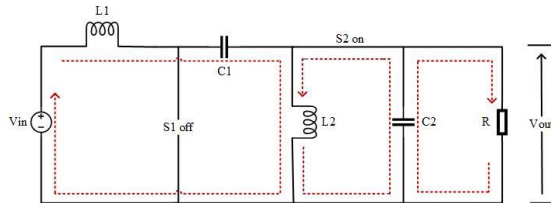
$$\begin{bmatrix} \frac{dI_{L1}}{dt} \\ \frac{dI_{L2}}{dt} \\ \frac{dV_{C1}}{dt} \\ \frac{dV_{C2}}{dt} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1}{L_2} & 0 \\ 0 & -\frac{1}{C_1} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -\frac{1}{RC_2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_{L1} \\ I_{L2} \\ V_{C1} \\ V_{C2} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{1}{L_1} \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} [V_{in}] \quad (13)$$

dengan nilai  $A_1$  dan  $B_1$  sebagai berikut.

$$A_1 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1}{L_2} & 0 \\ 0 & -\frac{1}{C_1} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -\frac{1}{RC_2} \end{bmatrix} \quad (14)$$

$$B_1 = \begin{bmatrix} \frac{1}{L_1} \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (15)$$

Mode 2 pada saat *switch*  $S_1$  off ( $0 < t < DT$ ) dapat diamati pada Gambar 4 bahwa pada saat *switch* pada MOSFET/IGBT off, maka dioda sebagai *switch* akan terjadi bias maju, sehingga *switch*  $S_2$  on.



Gambar 4. Mode 2 saat  $S_1$  off,  $S_2$  on

Dengan menggunakan cara yang sama dengan mode 1, persamaan yang diperoleh dari hukum Kirchoff dan hukum Ohm dalam bentuk notasi matriks untuk mode 2 adalah sebagai berikut:

$$\begin{bmatrix} \frac{dI_{L1}}{dt} \\ \frac{dI_{L2}}{dt} \\ \frac{dV_{C1}}{dt} \\ \frac{dV_{C2}}{dt} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & -\frac{1}{L_1} & -\frac{1}{L_1} \\ 0 & 0 & 0 & -\frac{1}{L_2} \\ \frac{1}{C_1} & 0 & 0 & 0 \\ \frac{1}{C_2} & \frac{1}{C_2} & 0 & -\frac{1}{RC_2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_{L1} \\ I_{L2} \\ V_{C1} \\ V_{C2} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{1}{L_1} \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} [V_{in}] \quad (16)$$

dengan nilai  $A_1$  dan  $B_1$  sebagai berikut:

$$A_2 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & -\frac{1}{L_1} & -\frac{1}{L_1} \\ 0 & 0 & 0 & -\frac{1}{L_2} \\ \frac{1}{C_1} & 0 & 0 & 0 \\ \frac{1}{C_2} & \frac{1}{C_2} & 0 & -\frac{1}{RC_2} \end{bmatrix} \quad (17)$$

$$B_2 = \begin{bmatrix} \frac{1}{L_1} \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (18)$$

Ruang keadaan rata-rata dapat didefinisikan sebagai berikut:

$$\dot{X} = [A_1 D + A_2(1 - D)]x + [B_1 D + B_2(1 - D)]u \quad (19)$$

Dengan melakukan substitusi persamaan (14), (15), (17), (18) ke dalam persamaan (19), maka diperoleh persamaan sebagai berikut:

$$\begin{bmatrix} \dot{I}_{L1} \\ \dot{I}_{L2} \\ \dot{V}_{C1} \\ \dot{V}_{C2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & \frac{-(1-D)}{L_1} & \frac{-(1-D)}{L_1} \\ 0 & 0 & \frac{D}{L_2} & \frac{-(1-D)}{L_2} \\ \frac{(1-D)}{C_1} & -\frac{D}{C_1} & 0 & 0 \\ \frac{(1-D)}{C_2} & \frac{(1-D)}{C_2} & 0 & -1/RC_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_{L1} \\ I_{L2} \\ V_{C1} \\ V_{C2} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{1}{L_1} \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} u \quad (20)$$

Dengan komponen persamaan A, B, C dan D sebagai berikut:

$$A = \begin{bmatrix} 0 & 0 & \frac{-(1-D)}{L_1} & \frac{-(1-D)}{L_1} \\ 0 & 0 & \frac{D}{L_2} & \frac{-(1-D)}{L_2} \\ \frac{(1-D)}{C_1} & -\frac{D}{C_1} & 0 & 0 \\ \frac{(1-D)}{C_2} & \frac{(1-D)}{C_2} & 0 & -1/RC_2 \end{bmatrix} \quad (21)$$

$$B = \begin{bmatrix} \frac{1}{L_1} \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (22)$$

$$C = [0 \ 0 \ 0 \ 1] \quad (23)$$

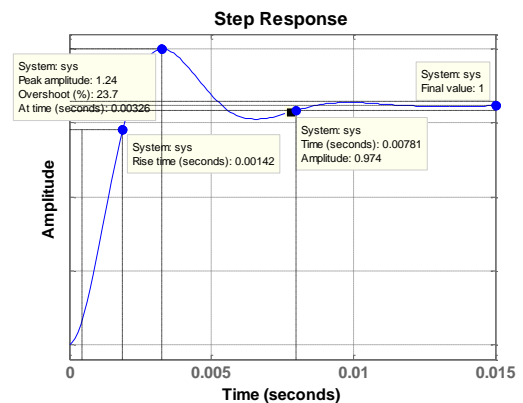
$$D = [0] \quad (24)$$

Dengan menggunakan fungsi *steady state to transfer function* (ss2tf) di MATLAB dengan nilai setiap parameter yang telah diperoleh pada bagian desain konverter, diperoleh fungsi transfer sistem konverter SEPIC sebagai berikut.

$$\frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{11,05 \times 10^5 s^2 - 6,28 \times 10^{-8} s + 1,22 \times 10^{12}}{s^4 + 875,01 s^3 + 2,22 \times 10^6 s^2 + 9,67 \times 10^8 s + 1,22 \times 10^{12}} \quad (25)$$

### 3.3 Analisis Kestabilan dan Kinerja Konverter SEPIC

Respon step, respon impuls, *root locus*/ tempat kedudukan akar, dan diagram bode dapat diperoleh dengan menggunakan fungsi transfer pada persamaan 25.

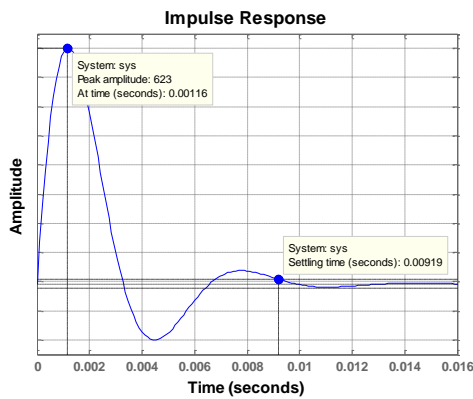


Gambar 5. Respon step sistem konverter SEPIC

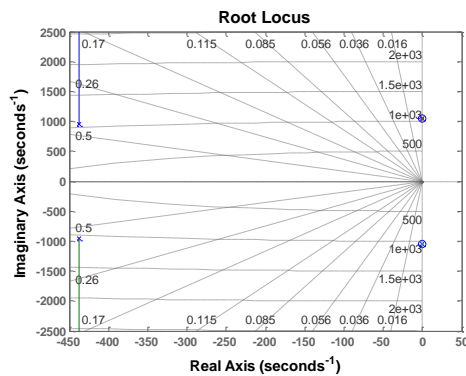
Pada Gambar 5 diperlihatkan hasil respon step sistem konverter SEPIC yang menunjukkan karakteristik bahwa pada saat konverter dijalankan dengan capaian keadaan stabil dalam waktu 0,015 detik; *overshoot* sebesar 23,7%; *rise time* sebesar 0,00142 detik; dan *settling time* sebesar 0,00781 detik.

Pada Gambar 6 diperlihatkan respon impuls sistem konverter SEPIC yang menunjukkan karakteristik pada saat konverter dimatikan dengan

capaian keadaan stabil dalam waktu 0,016 detik dan *settling time* 0,00919 detik.



Gambar 6. Respon impuls sistem konverter SEPIC



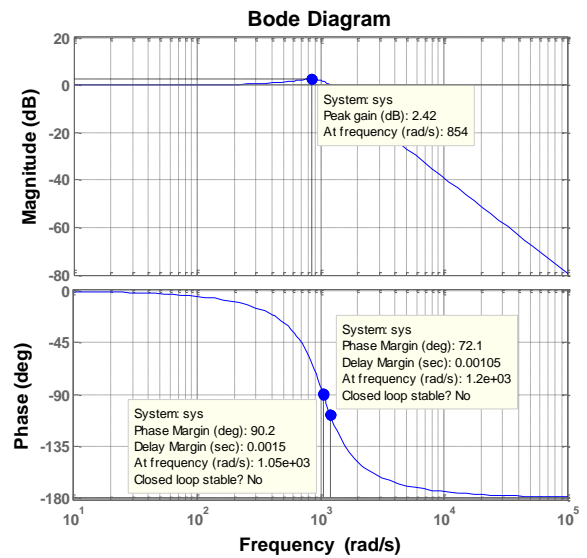
Gambar 7. Root Locus atau tempat kedudukan akar dari konverter SEPIC

Pada Gambar 7 diperlihatkan letak *pole* dan *zero* pada *root locus* berada di sebelah kiri bidang *s*. Hal tersebut menunjukkan bahwa sistem konverter SEPIC mampu mencapai kestabilan. Walaupun, pada saat diberikan kontroler atau tambahan sistem lain, maka sistem akan masih tetap stabil, jika area *pole* dan *zero* berada sebelah kiri di bidang *s*.

Pada Gambar 8 diperlihatkan diagram bode yang menunjukkan perilaku konverter SEPIC pada saat diberikan *duty cycle* 50%. Dari diagram bode bagian kurva *magnitude* dapat diamati bahwa penguatan tegangan konverter dapat dipengaruhi oleh frekuensi yang diberikan. Jika frekuensi *switching* yang diberikan lebih dari 854 rad/detik, maka penguatan dan pelemahan tegangan konverter tidak hanya dipengaruhi oleh *duty cycle* yang diberikan, melainkan frekuensi juga. Selain itu, hal tersebut berefek juga pada beda fasa yaitu akan terjadinya perubahan beda fasa yang mengakibatkan waktu mencapai kestabilan yang semakin lama.

Kinerja konverter telah disimulasikan menggunakan *software* PSIM dengan menggunakan komponen hasil desain dan analisis kestabilan yang telah diperoleh. Berdasarkan hasil simulasi, maka

diperoleh data kinerja konverter SEPIC yang ditunjukkan pada Tabel 3.



Gambar 8. Diagram bode

Tabel 3. Kinerja konverter SEPIC

D	V <sub>in</sub> (V)	I <sub>in</sub> (A)	V <sub>out</sub> (V)	I <sub>out</sub> (A)	Efisiensi
0,2	48	0,53	12	2,08	0,9821
0,3	48	1,53	20,57	3,57	0,9999
0,4	48	3,75	32	5,57	0,9902
0,5	24	4,2	24	4,17	0,9929
0,6	12	4,75	18	3,1	0,9789
0,7	12	11,35	28	4,85	0,9971
0,8	12	33,3	48	8,3	0,9970

Berdasarkan data simulasi yang telah diperoleh dapat diketahui bahwa konverter dapat meningkatkan dan menurunkan tegangan terhadap perubahan *duty cycle*. Jika *duty cycle* yang diberikan kurang dari 50%, maka konverter dalam mode *buck*. Jika *duty cycle* yang lebih dari 50%, maka konverter dalam mode *boost*. Kemudian, jika *duty cycle* yang diberikan 50%, maka tegangan input sama dengan tegangan output. Efisiensi yang dihasilkan untuk variasi *duty cycle* yaitu 98%-99%. Efisiensi yang dihasilkan relatif mendekati 100% karena dalam simulasi setiap komponen elektronika yang digunakan berada dalam kondisi ideal.

#### 4. Simpulan

Berdasarkan hasil performansi sistem dapat disimpulkan bahwa konverter yang didesain menghasilkan kinerja yang unggul dan stabil dengan kualitas hasil uji sebagai berikut.

1. Respon step memiliki *overshoot* sebesar 23,7%; *rise time* sebesar 0,00142 detik; dan *settling time* sebesar 0,00781 detik.
2. Respon impuls memiliki *settling time* 0,00919 detik.
3. *Root locus* memiliki *pole* dan *zero* yang berada di sebelah kiri bidang  $s$ , sehingga sistem stabil.
4. Diagram bode menunjukkan bahwa performansi dari konverter SEPIC penguatan tegangan tidak akan sesuai dengan teori, jika frekuensi yang diberikan lebih dari 854 rad/s.
5. Mode buck terjadi ketika duty cycle kurang dari 50% dan mode boost terjadi ketika duty cycle lebih dari 50%.
6. Efisiensi yang dihasilkan untuk variasi duty cycle yaitu 98%-99%.

#### Ucapan Terimakasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Direktorat Riset Pengabdian Kepada Masyarakat Kementerian Riset, Teknologi dan Pendidikan Tinggi atas dukungan dana penelitian.

#### Daftar Acuan

- [1] S. Negi, A. Trivedi, and S. Shinde, Buck-boost converter for solar power (solution to today's energy crisis), *Integr. J. Eng. Res. Technol.* ISSN:2348 – 6821 (2015), p. 47-51.
- [2] A. N. Kumar, S. Ansar, CH.V Ganesh, A new converter topology for hybrid-electric power plants, *Int. J. Eng. Comput. Sci.* 2 (2013), p. 1614-1620.
- [3] M. Veerachary, Power tracking for nonlinear PV sources with coupled inductor SEPIC converter, *IEEE Trans. Aerosp. Electron. Syst.* 41 (2005), p. 1019–1029.
- [4] E. Duran, J. M. Enrique, M. A. Bohorquez, M. Sidrach-deCardona, J. E. Carretero, and J. M. Andujar, A new application of the coupled-inductors SEPIC converter to obtain I-V and P-V curves of photovoltaic modules, *IEEE Power Electronics and Applications European Conf., Dresden* (2005), p.10.
- [5] A. F. Witulski, Introduction to modelling of transformers and coupled inductors, *IEEE Trans. Power Electron.* 10 (1995), p. 349-357.
- [6] A. C. Hua and B. C. Tsai, Design of a wide input range DC/DC converter based on SEPIC topology for fuel cell power conversion, *IEEE Power Electronics Conf. (IPEC), Sapporo* (2010), p. 311– 316.

- [7] A. Kavitha, G. Indira, G. Uma, S. Inoue and H. Akagi, Analysis and control of chaos in SEPIC DC – DC converter using sliding mode control, *IEEE Industry Applications Society Annual Meeting, Alta* (2008), p. 1–6.
- [8] Katsuhiko O. *Modern control engineering*. 4<sup>th</sup> ed. New Jersey, Pearson Education International (2012), p. 219-497.
- [9] Soumya RB, Thabir KM. *Design of single ended primary inductor DC-DC converter*. Odisha, National Institute of Technology Rourkela (2013), p. 28-32.