

DESAIN DAN IMPLEMENTASI KENDALI DIGITAL HISTERESIS PADA TOPOLOGI *SEPIC BUCK-BOOST* KONVERTER

Haryoga Nur Hermala¹, Slamet Riyadi², Leonardus Heru Pratomo³, Florentinus Budi Setiawan⁴ dan
Arifin Wibisono⁵

^{1,2,3,4,5}Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Katolik Soegijapranata, Jl. Pawihatan Luhur IV Semarang

*E-mail: haryoganh@gmail.com

ABSTRAK

SEPIC (*Single Ended Primary Inductance Converter*) merupakan salah satu jenis konverter DC-DC yang digunakan pada peralatan dengan sumber DC untuk menaikkan dan menurunkan tegangan. Konverter ini dapat dikendalikan dengan metode kendali arus loop tertutup histeresis. Arus referensi didapatkan dari pembangkit sinyal generator, sedangkan arus aktual dideteksi oleh sensor arus yang terhubung seri pada induktor. Selisih antara nilai arus referensi dan aktual menghasilkan nilai sinyal eror, sinyal ini kemudian dikendalikan menggunakan teknik kendali histeresis. Metode kendali histeresis ini pada prinsipnya adalah pengaturan nilai pita batas atas dan bawah untuk menentukan konduktivitas saklar statis pada konverter. Algoritma kendali histeresis ini diimplementasikan secara digital menggunakan 16-bit Digital Signal Controller. Dengan mengendalikan arus pada *SEPIC* konverter akan dihasilkan tegangan yang lebih besar dan lebih kecil pada keluaran konverter. Analisis, pemodelan, simulasi, implementasi perangkat keras dan pengujian laboratorium menunjukkan teknik kendali arus ini menghasilkan unjuk kerja yang cukup baik.

Kata kunci: *SEPIC*, DC-DC Konverter, Kendali Arus, Histeresis, Digital Signal Controller

1. PENDAHULUAN

Dewasa ini, kemajuan teknologi menghasilkan penelitian berupa analisa dan desain elektronika daya DC-DC konverter yang diaplikasikan sebagai catu daya dan baterai (Zhao & Lee, 2003) (Dahono, dkk., 1999) (Dobi, dkk., 2018). Salah satu jenis DC-DC konverter yang dikembangkan yaitu *SEPIC* (*Single Ended Primary Inductance Converter*). Konverter jenis ini berfungsi menaikkan atau menurunkan tegangan keluaran tanpa mengubah polaritas dan riak arus masukan yang kecil (Nishat, dkk., 2019) (Eng, dkk., 2009). Keunggulan lain yang ditawarkan dari *SEPIC* konverter yaitu memiliki efisiensi mencapai 90.07% (Nishat, dkk., 2018). Keunggulan tersebut menjadi salah satu solusi pada elektronika daya dibandingkan menggunakan konverter DC-DC jenis lain (Zhao & Lee, 2003) (Ye, dkk., 2008).

Terdapat berbagai macam jenis konverter didalam berbagai aplikasi elektronika daya. *Buck*, *Boost*, *Buck-Boost* dan *Cúk* konverter adalah berbagai jenis konverter yang digunakan sesuai dengan yang dibutuhkan. *Buck* konverter memiliki kekurangan yaitu riak tegangan keluaran yang tinggi dan *boost* konverter memiliki kekurangan yaitu riak arus masukan yang tinggi dan (Singh, dkk., 2011). *Buck-boost* konverter memiliki harmonik yang tinggi, sehingga membutuhkan kapasitor yang besar yang berguna sebagai filter (Baolei, dkk., 2019). Konverter *Cúk* dapat menyelesaikan masalah tersebut dengan menambahkan induktor dan kapasitor tambahan, tetapi tegangan dan arus yang mengalir pada setiap komponen melebihi batas mengakibatkan komponen menjadi panas berlebih (Dwivedi, 2013).

SEPIC konverter dapat dioperasikan dengan sistem kendali loop tertutup salah satunya dengan metode kendali arus histeresis. Kendali arus histeresis memiliki keunggulan respon yang cepat dan stabil sehingga banyak digunakan pada catu daya (Vahedi, dkk., 2011). Kendali arus histeresis bekerja dengan cara membandingkan arus pada induktor pertama dengan referensi yang diberikan dalam batas histeresis tertentu (Dai, dkk., 2013).

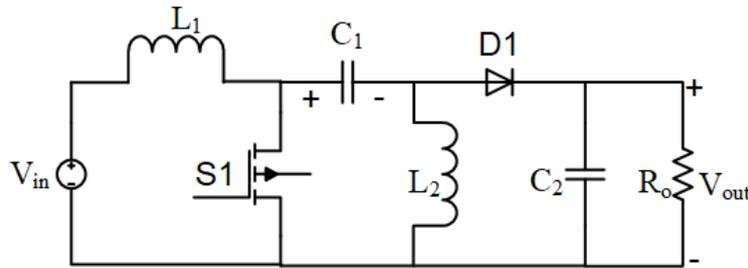
Penelitian ini bertujuan untuk menganalisa sinyal kendali arus histeresis dan tegangan keluaran pada *SEPIC* konverter diverifikasi dengan simulasi *PSIM* dan implementasi perangkat keras di laboratorium.

2. METODE

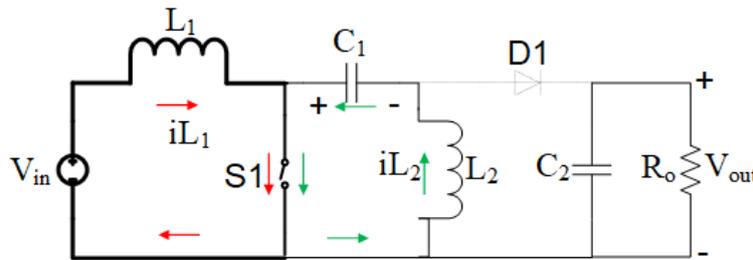
2.1 Konvensional *SEPIC* Konverter

SEPIC (*Single Ended Primary Inductance Converter*) merupakan salah satu jenis DC-DC konverter yang berfungsi untuk menaikkan dan menurunkan tegangan keluaran. Tegangan keluaran pada konverter *SEPIC* diatur oleh *duty cycle* pada pensaklaran konverter.

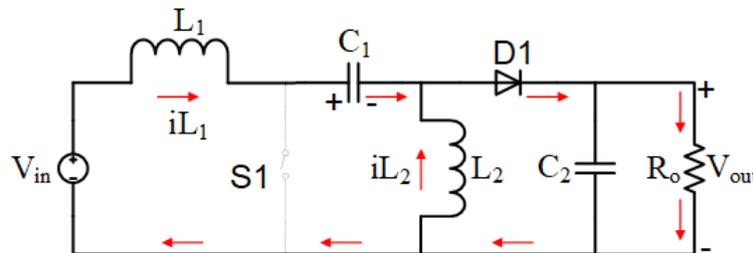
SEPIC konverter terdiri atas induktor (L_1 dan L_2), kapasitor (C_1 dan C_2), saklar statis ($S1$), dioda (D) dan resistor (R). Semua elemen pada komponen pada *SEPIC* konverter dianggap ideal dan bekerja pada *CCM* (*Continuous Conduction Mode*). Rangkaian ekivalen pada *SEPIC* konverter disajikan pada Gambar 1. Mode operasi *SEPIC* konverter konvensional pada saat saklar menyala disajikan pada Gambar 2 dan pada saat saklar tidak menyala disajikan Gambar 3.



Gambar 1. Rangkaian Ekivalen Konvensional SEPIC Konverter



Gambar 2. Mode Operasi *SEPIC* Konverter Konvensional saat Saklar ON



Gambar 3. Mode Operasi *SEPIC* Konverter Konvensional saat Saklar OFF

Pada saat saklar tertutup, dioda dalam terbuka. Induktor pada L_1 akan dialiri tegangan dari sumber V_{in} sehingga induktor L_2 mengisi pada kapasitor C_1 . Kondisi ini menunjukkan tidak ada suplai tegangan ke beban, Besarnya tegangan yang melewati induktor $L_1 = V_{in}$. Saat saklar terbuka, dioda dalam keadaan kondisi tertutup. Selanjutnya arus akan mengalir induktor L_1 sehingga, arus yang dialirkan dapat mengisi kapasitor C_1 dan L_2 memberikan arus ke beban. Saat kondisi saklar dimatikan, nilai tegangan pada induktor $L_1 = -V_{out}$. Kondisi saklar daya dinyalakan (DT) dan saklar daya dimatikan adalah $(1-D)T$, sehingga didapatkan seperti pada Persamaan 1 - 3 :

$$V_{in}(DT) - V_{out}(1 - D)T = 0 \quad (1)$$

$$V_{in}(DT) = V_{out}(1 - D)T \quad (2)$$

$$\frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{D}{1 - D} \quad (3)$$

Perhitungan pada kerugian elemen *parasitic* pada D_1 menghasilkan persamaan seperti pada Persamaan 4 (Jusoh, dkk., 2018) :

$$\frac{V_{out} + V_{D1}}{V_{in}} = \frac{D}{1 - D} \quad (4)$$

Perhitungan arus yang mengalir pada L_1 dan L_2 pada keadaan SI tertutup didapatkan dengan rumus 5 dan 6

$$iL_1 = \frac{V_{in}}{L_1} DT \quad (5)$$

$$iL_2 = \frac{V_{in}}{L_2} DT \quad (6)$$

Perhitungan arus yang mengalir pada L_1 dan L_2 pada keadaan SI terbuka didapatkan dengan rumus 7 dan 8

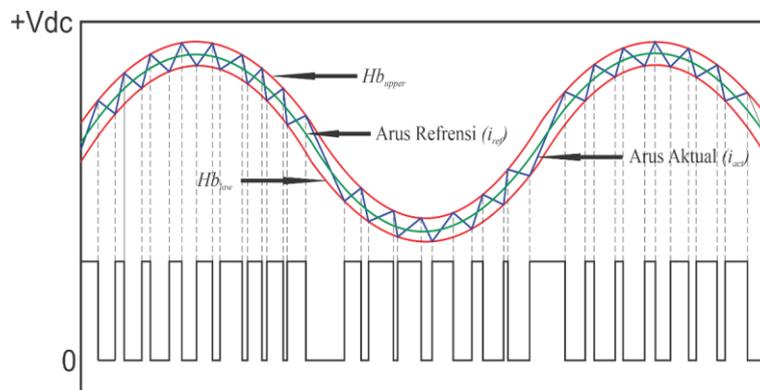
$$iL_1 = \frac{V_{in} - V_{C1} - V_{out}}{L_1} (1 - D)DT \quad (7)$$

$$iL_2 = -\frac{V_{out}}{L_2} (1 - D)DT \quad (8)$$

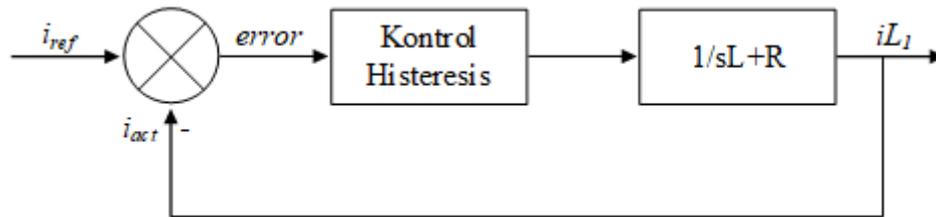
2.2 Kendali Arus Histeresis

Kendali arus histeresis merupakan jenis kendali yang dapat menghasilkan pulsa saat terjadi proses pensaklaran pada konverter. Metode ini banyak diterapkan karena mudah untuk dikendalikan, stabil, respon cepat, tingkat akurasi yang tinggi dan ketahanannya dalam memuat variasi parameter. Kendali arus histeresis dapat digunakan sebagai filter daya aktif (Vahedi, dkk., 2011). Penggunaan kendali arus histeresis mampu menekan harmonik pada arus masukan, sehingga harmonik yang dihasilkan rendah. Metode ini memiliki kekurangan berupa frekuensi pensaklaran yang dapat berubah-ubah (Cheng & Xue, 2019).

Sinyal kendali arus histeresis digunakan sebagai pemacu pensaklaran dengan membandingkan nilai *error* dan batas nilai histeresis yang telah ditentukan. Nilai *error* diperoleh dari hasil pengurangan nilai arus aktual (i_{act}) dengan nilai arus referensi (i_{ref}). Nilai *error* yang dihasilkan dari pengurangan tersebut diberikan pada *digital signal controller* akan membandingkan dengan batas atas histeresis (HB_{upper}) dan batas bawah histeresis (HB_{low}). Pada Gambar 4 disajikan pita histeresis pada sistem kendali arus histeresis dan Gambar 5 disajikan blok diagram kendali arus histeresis.

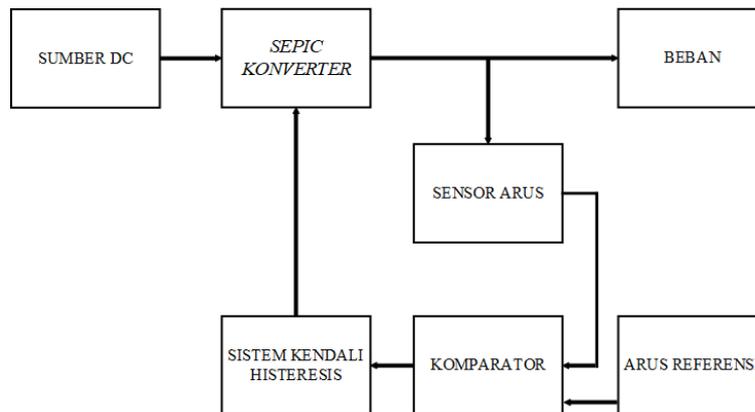


Gambar 4. Pita Histeresis pada Sistem Kendali Arus Histeresis



Gambar 5. Diagram Blok Sistem Kendali Arus Histeresis

2.3 Permodelan Sistem Kendali Arus Histeresis pada *SEPIC* Konverter



Gambar 6. Diagram Blok Kendali Arus Histeresis pada *SEPIC* Konverter

Pada Gambar 6 disajikan diagram blok kendali arus histeresis pada *SEPIC* konverter dengan menggunakan sensor arus yang berfungsi untuk mengukur arus yang mengalir pada konverter. Proses yang terjadi pada kendali arus histeresis adalah nilai *error* yang berfungsi sebagai pemicu pensaklaran yang didapatkan dari pengurangan arus aktual dengan arus referensi pada komparator. Hasil keluaran kendali arus histeresis adalah *duty cycle* yang diberikan pada *SEPIC* konverter.

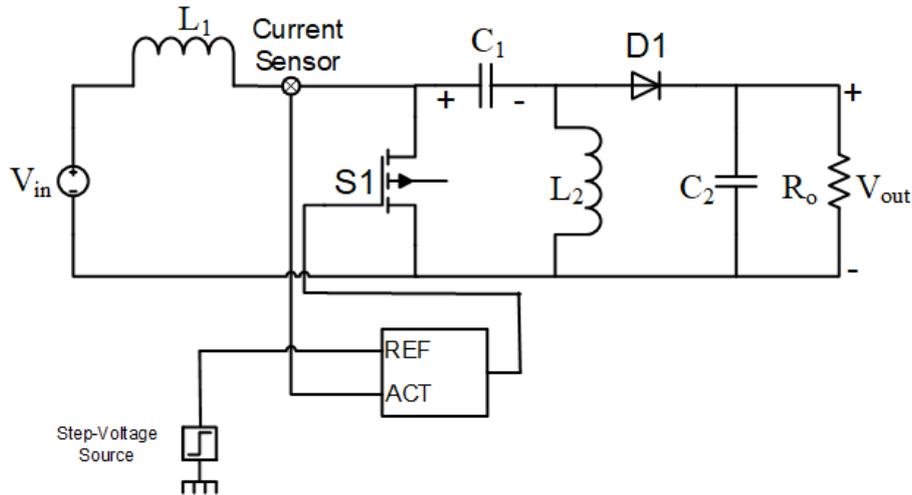
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan metodologi penelitian diatas, maka dilakukan simulasi konvensional *SEPIC* konverter menggunakan perangkat lunak *PSIM* serta pengujian perangkat keras pada laboratorium dengan parameter yang ditunjukkan pada Tabel 1.

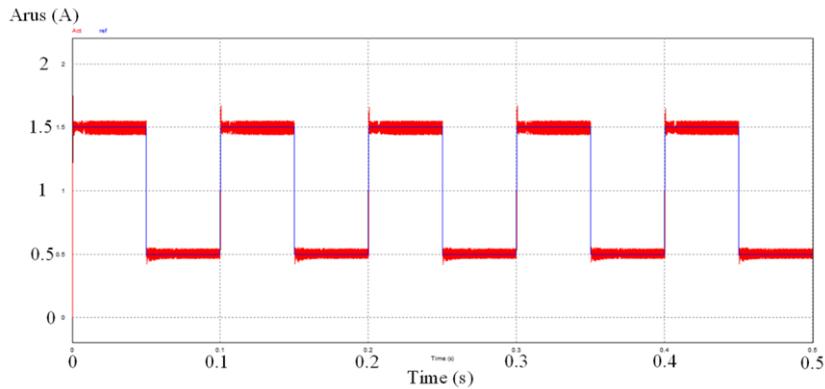
Tabel 1. Parameter Konvensional *SEPIC* Konverter

| Parameter | Nilai |
|------------------------------|--------------|
| Induktor (L_1 dan L_2) | 4 mH |
| Kapasitor (C_1) | 22 μ F |
| Kapasitor (C_2) | 1000 μ F |
| Dioda | MUR860 |
| Saklar | IRFP460 |
| Beban (R_{out}) | 27 Ω |
| DC sumber | 12 V |

Tabel 1 merupakan parameter pengujian pada *PSIM* dan perangkat keras. Implementasi perangkat keras dilakukan guna membuktikan bahwa sistem kendali arus histeresis pada *SEPIC* konverter berkerja dengan baik. Pada Gambar 6 menunjukkan simulasi kendali arus histeresis pada *SEPIC* konverter.

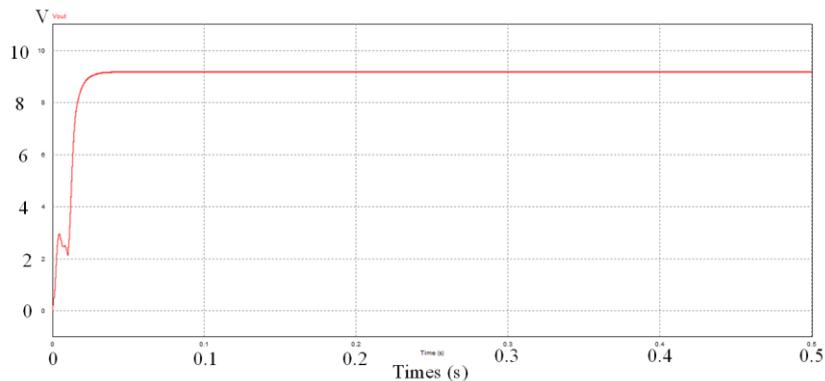


Gambar 7. Simulasi Kendali Arus Histeresis *SEPIC* Konverter pada *PSIM*



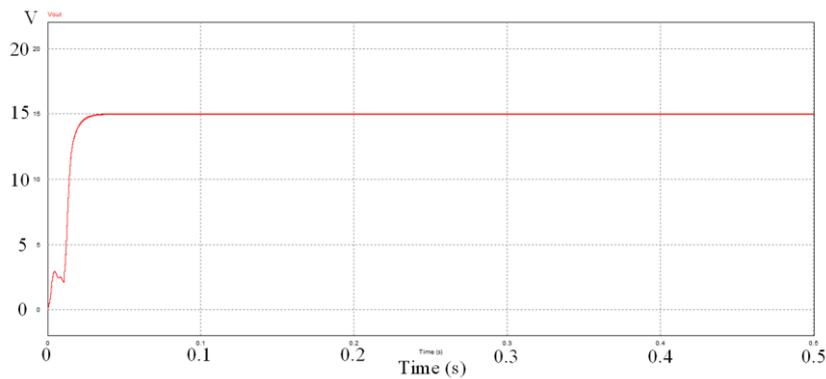
Gambar 8. Aktual dan Referensi pada Simulasi *PSIM*

Pada Gambar 8 dapat ditunjukkan aktual dan referensi sistem kendali arus histeresis pada simulasi perangkat lunak *PSIM*. Aktual dapat mengikuti referensi yang diberikan sehingga dapat disimpulkan bahwa sistem kendali arus histeresis pada *SEPIC* konverter dapat melakukan proses pensaklaran dengan baik.



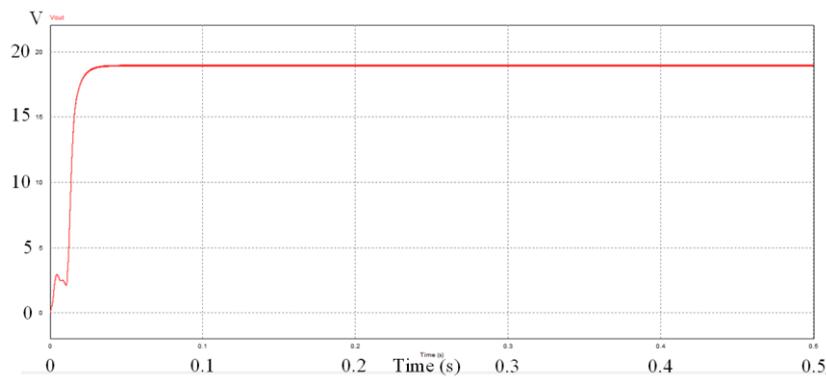
Gambar 9. Tegangan Keluaran *SEPIC* Konverter dengan Referensi 0.5 A pada Simulasi *PSIM*

Pada Gambar 9 disajikan dengan keluaran (V_{out}) dengan arus referensi 0.5 A mendapatkan hasil 9.16 V dibawah tegangan masukan (V_{in}) sebesar 12 V dan berlaku *buck* pada *PSIM*.



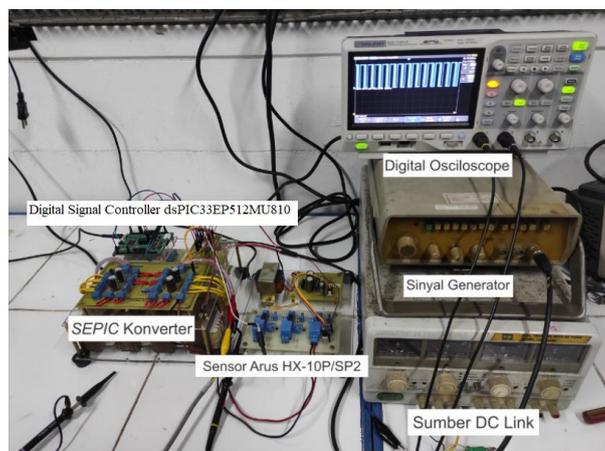
Gambar 10. Tegangan Keluaran *SEPIC* Konverter dengan Referensi 1.5 A pada Simulasi *PSIM*

Pada Gambar 10 disajikan dengan keluaran (V_{out}) dengan arus referensi 1.5 A mendapatkan hasil 14.97 V diatas tegangan masukan (V_{in}) sebesar 12 V dan berlaku *boost* pada *PSIM*.



Gambar 11. Tegangan Keluaran *SEPIC* Konverter dengan Referensi 3 A pada Simulasi *PSIM*

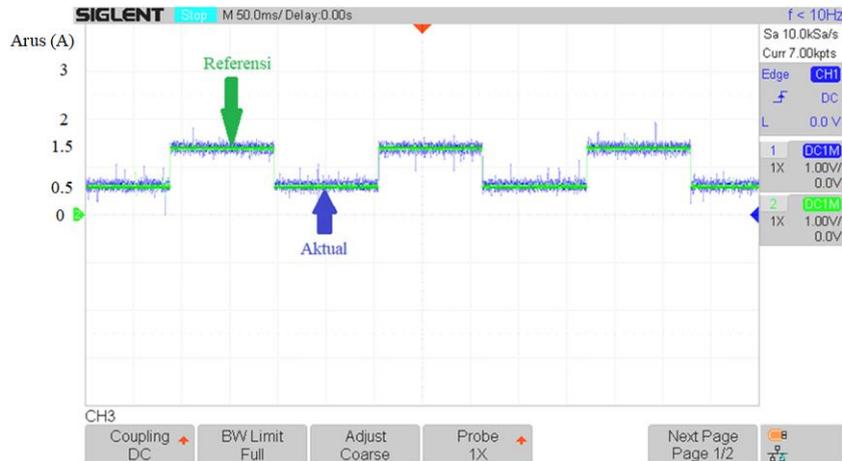
Pada Gambar 11 disajikan dengan keluaran (V_{out}) dengan arus referensi 3 A mendapatkan hasil 18.63 V di atas tegangan masukan (V_{in}) sebesar 12 V dan berlaku *boost* pada *PSIM*.



Gambar 12. Implementasi Alat Sistem Kendali Arus Histeresis *SEPIC* Konverter

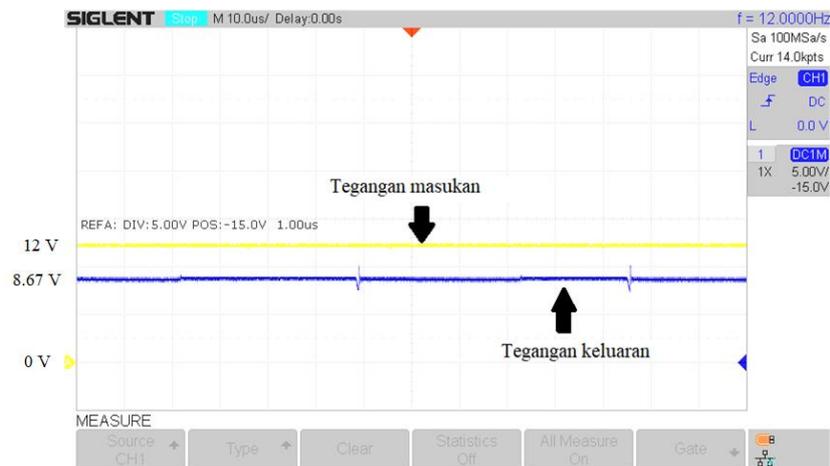
Pada Gambar 12 ditunjukkan implementasi perangkat keras *SEPIC* konverter dengan metode kendali arus histeresis. Sumber DC link digunakan sebagai tegangan masukan pada *SEPIC* konverter yang diatur pensaklarannya oleh *digital signal controller* dsPIC33EP512MU810. Gelombang keluaran dari *SEPIC* konverter dideteksi

menggunakan sensor arus HX-10P/SP2 dan menjadi aktual. Sinyal generator berfungsi sebagai pengatur sinyal referensi yang diberikan.



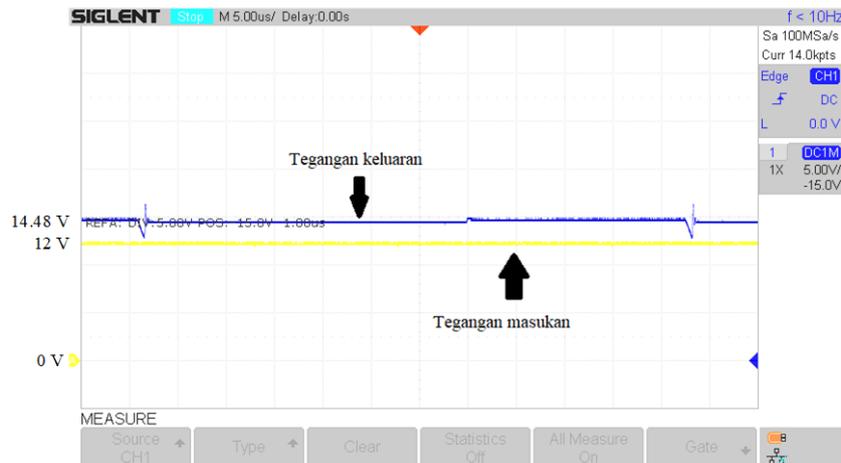
Gambar 13. Aktual dan Referensi pada Perangkat Keras Sistem Kendali Arus Histerisis *SEPIC* Konverter

Pada Gambar 13 disajikan arus aktual dapat mengikuti arus referensi yang diberikan. Sinyal referensi pada pengujian dan implementasi perangkat keras dihasilkan dari generator sinyal dengan frekuensi 10Hz. Nilai arus pada referensi dapat diatur dengan memutar generator sinyal potensiometer.



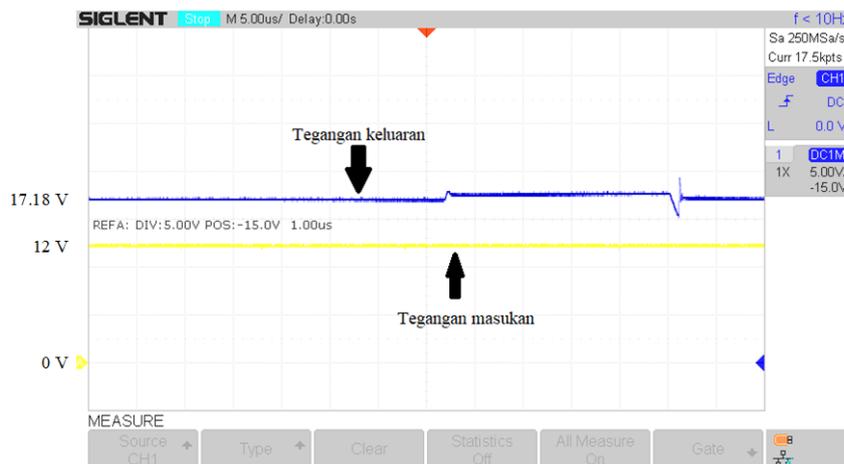
Gambar 14. Tegangan Keluaran pada Perangkat Keras Sistem Kendali Arus Histerisis *SEPIC* Konverter dengan Referensi 0.5 A

Pada Gambar 14 disajikan hasil tegangan keluaran (V_{out}) pada implementasi alat yang diberikan arus referensi 0.5 A mendapatkan nilai 8.67 V dibawah tegangan masukan (V_{in}) sebesar 12 V dan berlaku *buck* pada implementasi perangkat keras.



Gambar 15. Tegangan Keluaran pada Perangkat Keras Sistem Kendali Arus Histerisis *SEPIC* Konverter dengan Referensi 1.5 A

Pada Gambar 15 disajikan hasil tegangan keluaran (V_{out}) pada implementasi alat yang diberikan arus referensi 1.5 A mendapatkan nilai 14.48 V di atas tegangan masukan (V_{in}) sebesar 12 V dan berlaku *boost* pada implementasi perangkat keras.



Gambar 16. Tegangan Keluaran pada Perangkat Keras Sistem Kendali Arus Histerisis *SEPIC* Konverter dengan Referensi 3 A

Pada Gambar 16 disajikan hasil tegangan keluaran (V_{out}) pada implementasi perangkat keras yang diberikan arus referensi 3 A mendapatkan nilai 17.18 V dibawah tegangan masukan (V_{in}) sebesar 12 V dan berlaku *boost* pada implementasi alat.

Tabel 2. Perbandingan Hasil Simulasi *PSIM* dengan Implementasi Alat

| Referensi Arus (A) | Nilai Tegangan Keluaran (V_{out}) | |
|--------------------|---------------------------------------|-------------------|
| | Simulasi <i>PSIM</i> | Implementasi Alat |
| 0,5 | 9,16 | 8,67 |
| 1,5 | 14,97 | 14,48 |
| 3 | 18,63 | 17,18 |

Tabel 2 menunjukkan perbandingan hasil percobaan sistem kendali arus histeresis menggunakan *SEPIC* konverter pada simulasi *PSIM* dan pengujian alat. Hasil pengujian alat dapat menghasilkan nilai mendekati

pengujian pada simulasi. Hal ini disebabkan adanya perbedaan tegangan keluaran yang diakibatkan oleh elemen *parasitic*.

4. KESIMPULAN

SEPIC (*Single Ended Primary Inductance Converter*) konverter dapat diatur dengan metode sistem kendali arus histeresis. Arus aktual dapat mengikuti arus referensi yang diberikan. Tegangan keluaran yang dihasilkan tergantung pada nilai beban yang terpasang dan arus referensi yang diberikan. Metode sistem kendali arus menghasilkan sinyal modulasi lebar pulsa pada saklar statis. Algoritma histeresis ini diimplementasikan menggunakan *digital signal controller* dsPIC33EP512MU810. Pada hasil pengujian laboratorium, metode kendali arus histeresis pada *SEPIC* konverter memiliki *ripple current* yang relatif kecil.

UCAPAN TERIMA KASIH

Makalah ini adalah bagian dari Penelitian yang didukung oleh Direktorat Riset dan Pengabdian Masyarakat, Kementerian Riset, Dirjen Penguatan Riset dan Pengembangan, Teknologi dan Pendidikan Tinggi dengan skema PTUPT 2021.

PUSTAKA

- Baolei, D., Tao, L., Jun, H., Yang, J., & Xiao, W. (2019). High-efficiency buck-boost converter and its control strategy suitable for wide voltage range. *The Journal of Engineering*, 2019(10), 7293–7297. <https://doi.org/10.1049/joe.2018.8454>
- Cheng, H., & Xue, T. (2019). Research and improvement of current hysteresis control strategy for boost DC-DC converter. *Proceedings - 2018 International Conference on Sensor Networks and Signal Processing, SNSP 2018*, 266–270. <https://doi.org/10.1109/SNSP.2018.00058>
- Dahono, P. A., Riyadi, S., Mudawari, A., & Haroen, Y. (1999). *Output Ripple Analysis of Multiphase DC-DC Converters*. 626–631.
- Dai, J., Zhao, J., Liu, Y., & Qu, K. (2013). PWM hysteresis control with inductor current for buck converter. *IET Conference Publications*, 2013(623 CP). <https://doi.org/10.1049/cp.2013.1870>
- Dobi, A. H. M., Sahid, M. R., & Sutikno, T. (2018). Overview of soft-switching DC-DC converters. *International Journal of Power Electronics and Drive Systems*, 9(4), 2006–2018. <https://doi.org/10.11591/ijpeds.v9.i4.pp2006-2018>
- Dwivedi, R. (2013). *Parametric variation analysis of buck-boost converter for constant voltage applications*. 97881925922–1.
- Eng, V., Pinsopon, U., & Bunlaksananusorn, C. (2009). Modeling of a SEPIC converter operating in continuous conduction mode. *2009 6th International Conference on Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology, ECTI-CON 2009*, 1(3), 136–139. <https://doi.org/10.1109/ECTICON.2009.5136982>
- Jusoh, M. A., Tajuddin, M. F. N., Ayob, S. M., Roslan, M. A., Oudda, M., Hazzab, A., Sharp, G., Emanuel, A., Baharudin, N. H., Mansur, T. M. N. T., Hamid, F. A., Ali, R., Misrun, M. I., Reshma Gopi, R., Sreejith, S., Uthira, K., Sandhiya, R., Iraianbu, P., Srinivasan, R., ... Akhila, V. T. (2018). A Review on SEPIC Converter Topologies. *India International Conference on Power Electronics, IICPE*, 8(4), 1283–1293. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.05.047>https://web.wpi.edu/Pubs/E-project/Available/E-project-050114-131841/unrestricted/SEPIC_MQP_Final_Report.pdf
- Nishat, M. M., Faisal, F., & Hoque, A. (2019). *Modeling and Stability Analysis of a DC-DC SEPIC Converter by Employing Optimized PID Controller Using Genetic Algorithm*. February.
- Nishat, M. M., Oninda, M. A. M., Faisal, F., & Hoque, M. A. (2018). Modeling, Simulation and Performance Analysis of SEPIC Converter Using Hysteresis Current Control and PI Control Method. *2018 International Conference on Innovations in Science, Engineering and Technology, ICISSET 2018, October*, 7–12. <https://doi.org/10.1109/ICISSET.2018.8745619>
- Singh, B., Singh, S., Chandra, A., & Al-Haddad, K. (2011). Comprehensive study of single-phase AC-DC power factor corrected converters with high-frequency isolation. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 7(4), 540–556. <https://doi.org/10.1109/TII.2011.2166798>
- Vahedi, H., Sheikholeslami, A., Tavakoli Bina, M., & Vahedi, M. (2011). Review and simulation of fixed and adaptive hysteresis current control considering switching losses and high-frequency harmonics. *Advances in Power Electronics*, 2011. <https://doi.org/10.1155/2011/397872>
- Ye, Z., Greenfield, F., & Liang, Z. (2008). Design considerations of a high power factor SEPIC converter for



**Prosiding Seminar Nasional
Riset dan Teknologi Terapan (RITEKTRA) 2021**
Menuju *Society 5.0*: Teknologi Cerdas yang Berpusat pada Manusia
Bandung, 12 Agustus 2021

ISSN: 2807-999X

high brightness white LED lighting applications. *PESC Record - IEEE Annual Power Electronics Specialists Conference*, 2657–2663. <https://doi.org/10.1109/PESC.2008.4592343>
Zhao, Q., & Lee, F. C. (2003). High-efficiency, high step-up dc-dc converters. *IEEE Transactions on Power Electronics*, 18(1 I), 65–73. <https://doi.org/10.1109/TPEL.2002.807188>