

## Model Simulasi Interleaved Dc-Dc Flyback Untuk Dual Stage Micro-Inverter

Sofitri Rahayu<sup>1</sup>; Sugeng Purwanto<sup>2</sup>; Rudina Okvasari<sup>3</sup>

Institut Teknologi PLN

sofitri@itpln.ac.id

### ABSTRACT

*DC-DC converter is one of the important parts in the micro-inverter which is used in photovoltaic applications. Its function is to change the output voltage level of 48 Vdc to 5 V dc. The proposed converter topology is flyback because the number of components used is simple so it can reduce production costs and improve ripple voltage. In the flyback converter simulation modeling is done in interleaved mode with maximum output power 12 W using Ltspice software. From the simulation results, it is found that by applying a switching frequency 100 kHz, the value of the primary inductor ( $L_p$ ) 20  $\mu$ H, secondary inductor ( $L_s$ ) 1.5 $\mu$ H, output capacitor ( $C_{out}$ ) 100  $\mu$ F, ripple voltage (VR) 81.02 mV and using IC LT 3758.*

**Keywords:** *Interleaved flyback, Ltspice, Ripple Voltage*

### ABSTRAK

*DC-DC converter adalah salah satu bagian penting dalam mikro-inverter yang menggunakan dalam aplikasi photovoltaic. Fungsinya adalah untuk mengubah tingkat tegangan output 48 Vdc ke 5 Vdc. Topologi konverter yang diusulkan adalah flyback karena jumlah komponen yang digunakan sederhana jadi dapat menekan biaya produksi dan memperbaiki tegangan ripple. Pada pemodelan simulasi flyback konverter dilakukan dengan mode interleaved dengan daya keluaran maksimum sebesar 12 W menggunakan software LTspice. Dari hasil simulasi, diperoleh bahwa dengan mengaplikasikan frekuensi switching sebesar 100 kHz maka didapat nilai komponen induktor primer ( $L_p$ ) 20  $\mu$ H, induktor sekunder ( $L_s$ ) 1.5  $\mu$ H, kapasitor output ( $C_{out}$ ) 100 $\mu$ F, ripple tegangan (VR) 81,02 mV dan menggunakan LT 3758.*

**Kata kunci:** *Interleaved flyback, Ltspice, tegangan ripple*

## 1. PENDAHULUAN

Inverter (DC-AC konverter power elektronik) merupakan komponen penting dari sebuah sistem PV (*photovoltaic*). Inverter dalam PV merupakan bagian dari infrastruktur konversi daya yang mengubah daya yang dihasilkan dari panel PV menjadi AC yang dapat disalurkan ke jaringan. Ada tiga jenis arsitektur inverter secara umum yaitu *central inverter*, *string inverter*, dan *mikro-inverter*.

Pada sistem micro-inverter, dimana setiap modul photovoltaic digabungkan langsung dengan konverter sehingga dapat mengurangi biaya instalasi. Keuntungan lain dari micro-inverter yaitu mengoptimalkan energi yang dihasilkan dari photovoltaic, menggantikan teknik dari *hard-switching* ke *soft-switching* sehingga dapat meningkatkan efisiensi. Kemudian berdasarkan tahapan konversi daya, micro-inverter diklasifikasi menjadi dua macam yaitu *single stage* dan *dual stage* micro-inverter [1].

Pada *single stage* micro-inverter hanya ada satu tahapan konversi daya dari dc ke ac, sehingga jumlah komponen digunakan lebih sedikit, namun permasalahannya adalah *ripple* tegangan yang cukup tinggi [2]. Untuk memperbaiki tegangan *ripple* tersebut, maka diusulkan metode konversi *dual stage* micro-inverter. *Dual stage* micro-inverter terdiri dari dua tahap konversi, yaitu konversi dc ke dc untuk mengkonversi tegangan dc dari PV menjadi tegangan dc yang lebih tinggi dan tahap selanjutnya adalah inverter untuk mengkonversi tegangan dc menjadi ac yang akan dihubungkan ke beban [3]. Pada *dual stage* micro-inverter ini, efisiensi dari masing-masing proses konversi dapat ditingkatkan, sehingga efisiensi sistem secara keseluruhan juga dapat ditingkatkan [4],[5],[6]. Kekurangan pada *dual stage* micro-inverter adalah nilai efisiensi untuk setiap tahapan sulit untuk mencapai nilai maksimal karena adanya *losses* pada komponen yang digunakan [7]. Penelitian Ashraf dan Samah "Flyback Converter Design for Low Power Application (2015)" menyimpulkan juga bahwa setelah melakukan perancangan, pembuatan dan pengujian flyback dengan mode DCM memiliki isolasi listrik antara input dan output. Jumlah yang komponen yang minimum dalam implementasi konverter dan sumber kebisingan dan efek lain dapat dikurangi menjadi minimum [12]. Kemudian penelitian R.Kanthimathi dkk "Analysis of different Flyback Converter Topologies (2015)" membandingkan beberapa mode yang di gunakan pada topologi flyback konverter dimulai dari active clamp, RCD Snubber, Keluaran Ganda AC dan DC, Dua Switching flyback konverter dan interleaved flyback menggunakan Matlab dan membandingkan hasilnya dan permasalahan yang terkendala adalah tentang ripple tegangan output [13].

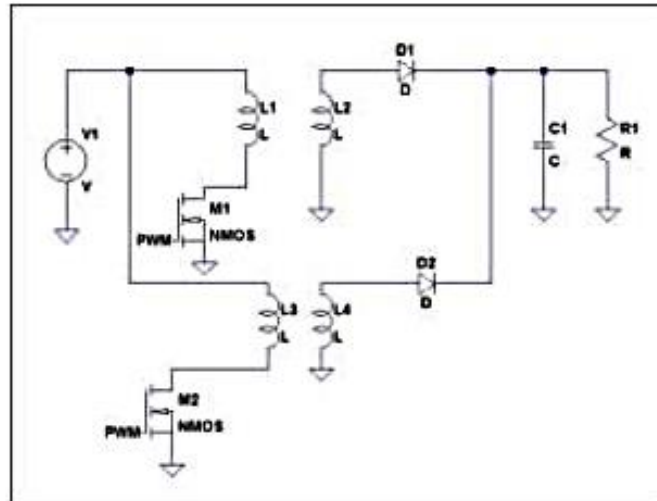
Fokus utama dari penelitian ini adalah mengenai *dual stage* micro-inverter pada tahapan konverter dc-dc pada permasalahan ripple tegangan output yang cukup tinggi [14]. Konverter dc-dc akan dirancang menggunakan topologi flyback dengan alasan jumlah komponen yang lebih sedikit, sehingga bisa menekan biaya produksi dan volume rangkaian dan digunakan untuk aplikasi tegangan rendah dan daya rendah [8]. Dengan demikian, berdasarkan permasalahan tersebut maka akan dilakukan simulasi mengenai konverter dc-dc dengan topologi flyback dengan interleaved menggunakan LT 3758 sebagai pengontrol pada rangkaian yang akan dirancang karena tegangan supply minimum 5.5 V sehingga bisa menggunakan baterai.

## 2. METODE/PERANCANGAN PENELITIAN

### 2.1. Interleaved DC-DC Flyback Converter

Prinsip dasar dari interleaved flyback converter adalah beberapa konverter atau "fase" yang dihubungkan secara paralel sehingga setiap fase konverter berselingan satu sama lain. Jika dua fase konverter yang digunakan, kemudian masing-masing dioperasikan 180° tertinggal

dari fase yang lain (yaitu saklar utama dari setiap konverter memiliki sinyal gerbang sama dengan yang lain, tetapi digeser oleh  $180^\circ$  di siklus switching). Setiap konverter dioperasikan dengan cara yang sama seperti konverter yang dijelaskan pada flyback konverter, pengaturan interleaved terdiri dari dua flyback konverter konvensional [9].



**Gambar 1.** Interleaved Flyback Konverter

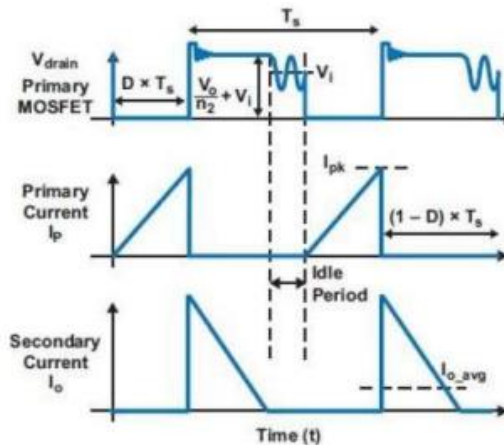
Topologi interleaved flyback dipilih karena disediakan transformator isolasi, topologi ini berguna untuk aplikasi frekuensi tinggi (switching) yang diperlukan tegangan output yang rendah dan efisiensi yang tinggi [10]. Topologi flyback umumnya hanya memerlukan beberapa komponen dan dengan demikian menghasilkan ukuran fisik yang lebih kecil. Hal ini karena transformator dalam rangkaian juga berfungsi melakukan penyaringan dan penyimpanan energi. Karena tegangan ripple pada keluaran dc diperlukan sangat kecil sehingga kapasitor digunakan pada keluaran untuk penyaringan. Kapasitor output ini harus memenuhi persyaratan tertentu dan beberapa pembatasan dalam aplikasi khusus. Sulit untuk memiliki ukuran kecil, nilai kapasitor yang besar memiliki karakteristik frekuensi tinggi yang memadai dan memenuhi persyaratan kinerja, khususnya di lingkungan yang berat. Namun, topologi interleaved flyback membutuhkan perbaikan sinkron dan generasi empat sinyal gate drive dengan interval pengosongan yang sesuai.

Topologi interleaved flyback ditunjukkan pada Gambar 1 digunakan untuk konverter daya. Topologi ini memiliki dua bagian flyback sama yang di paralelkan, yang masing-masing berisi transformator dan dua switch MOSFET [15]. Bila dalam operasi, setiap setengah siklus beralih MOSFET 1 dan MOSFET 2 yang bergantian selama waktu  $DT$ .  $D$  adalah switch duty cycle yang selalu dijaga lebih kecil dari 0,5 dan  $T$  adalah periode waktu switching. Ketika saklar daya M1 adalah ON, arus primer akan meningkat secara linear untuk menyimpan energi di transformator M1. Selama setengah siklus berikutnya, M2 saklar daya akan selama waktu  $D T$  juga secara berselingan dengan M1 [10].

## 2.2. Mode Discontinuous Conduction Mode (DCM)

Mode discontinuous conduction mode (DCM) energi transfer ketika MOSFET ON, arus primer mulai naik dari nol sampai nilai puncak. Arus puncak di DCM bisa dua kali atau lebih untuk nilai arus puncak CCM. Mengikuti langkah-langkah yang sama mekanisme penyimpanan energi seperti CCM, energi disimpan dalam lilitan primer sampai saklar dalam keadaan ON. Selama switch

dalam periode OFF, transfer energi terjadi ketika energi yang disimpan selama keadaan ON. Dari Gambar 2, jelas bahwa arus sekunder mencapai nilai nol sampai siklus berikutnya ON.



**Gambar 2.** Mode Operasi *Discontinuous Conduction Mode*

Mode operasi konduksi ini mempunyai puncak arus tinggi, dibandingkan dengan operasi CCM. DCM lebih disukai untuk arus rendah dan aplikasi tegangan tinggi. Faktor-faktor utama yang untuk konversi rasio tegangan adalah duty cycle 'D', frekuensi switching 'Fsw', beban 'RI' dan induktansi primer 'Lp'. Hubungan dengan tegangan output dengan faktor utama dapat ditulis sebagai berikut :

$$V_o = V_{in} \times D \times \sqrt{\left(\frac{RI}{2 \times L_p \times F_{sw}}\right)} \dots \dots \dots (1)$$

Lp' adalah induktansi primer, 'RI' adalah beban, dan 'Fsw' adalah switching frekuensi switching dan D duty cycle. Demikian pula, duty cycle variabel D dapat disamakan sebagai:

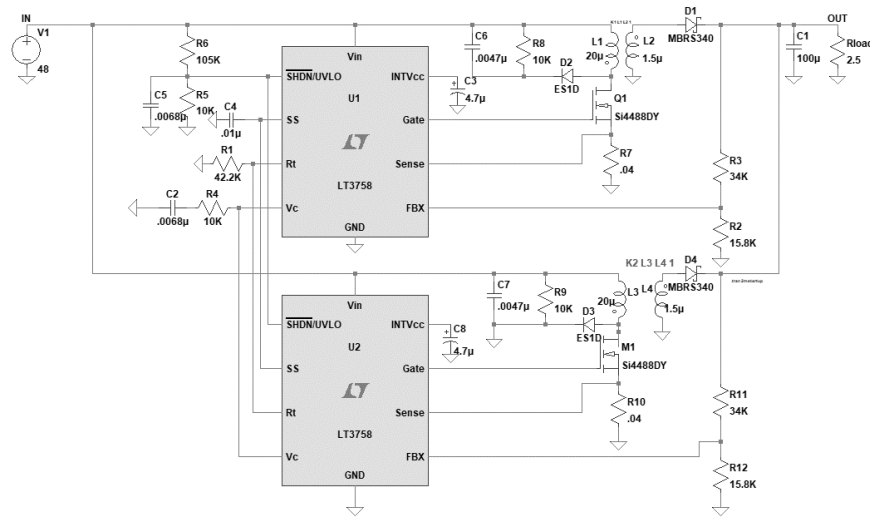
$$D = \left(\frac{V_o}{V_{in}}\right) \times \sqrt{\left(\frac{2 \times L_p \times F_{sw}}{RI}\right)} \dots \dots \dots (2)$$

Karena arus ripple tinggi, nilai induktansi rendah diperlukan untuk DCM desain konverter, sedangkan nilai induktansi tinggi diperlukan untuk desain operasi. CCM sebuah nilai induktansi yang rendah menyebabkan ukuran berkurang dari transformator. Arus ripple tinggi pada kedua sisi primer dan sekunder dapat mempengaruhi tegangan output dan efisiensi keseluruhan konverter. Keuntungan dari DCM adalah kerugian ketika turn-on untuk saklar daya, respon transien yang bagus pada beban, feedback yang stabil. Sedangkan kekurangannya arus puncak yang tinggi di rectifier dan daya switch yang besar ripple tegangan [11].

**3. HASIL DAN PEMBAHASAN**

Latar belakang perancangan interleaved flyback adalah untuk mengurangi tegangan ripple dan menaikkan daya yang ada pada rangkaian non-interleaved flyback dengan cara memparalelkan rangkaian non-interleaved flyback dengan cara menambahkan komponen kapasitor yang difungsikan sebagai time delay pada fungsi SHDN/UVLD pada LT 3758. Maka rangkaian interleaved flyback dc-dc converter dapat di lihat pada gambar3. Dimana komponen

yang dipakai sama dengan pada rangkaian non-interleaved flyback hanya di tambahkan komponen kapasitor.



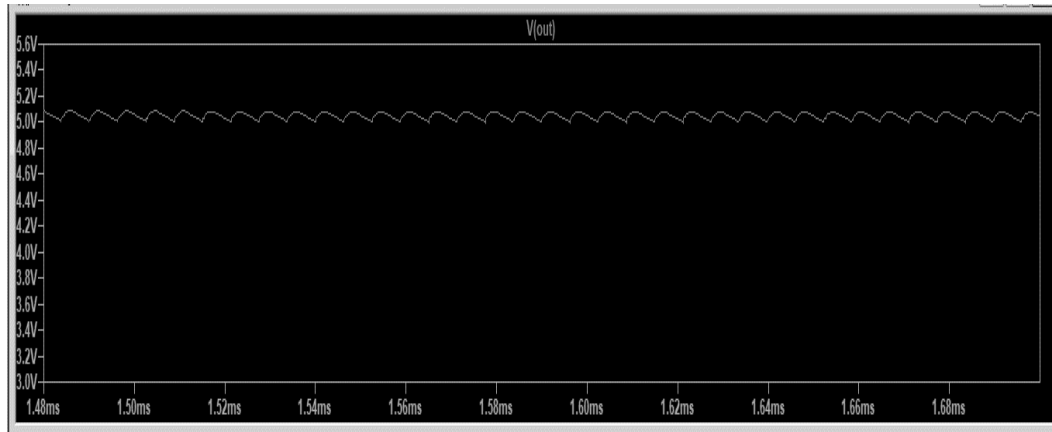
**Gambar 3.** Rangkaian Interleaved flyback dc-dc konverter

Hasil pengujian beban untuk interleaved flyback dc-dc konverter dapat dilihat pada tabel berikut ini, dimana nilai tegangan masukan 48 V. Gambar 4.6 menunjukkan grafik daya beban, tegangan keluaran flyback dc-dc converter dapat tetap stabil pada 5 V dengan beban daya yang berubah dari 7 – 12 W. Berdasarkan pengujian pada pengaruh pembebanan terhadap tegangan keluaran dengan mode interleaved flyback dc-dc konverter tegangan tetap tetap stabil pada 5 V sesuai dengan perancangan. Pada pemilihan kapasitor output telah didapat dari perhitungan, bahwa nilai  $C_{out} \geq 2.875 \mu\text{F}$  dengan nilai  $\text{ESR} \leq 41 \text{ m}\Omega$ . Maka dipilihlah nilai kapasitor dari rentang 10 – 100  $\mu\text{F}$  dengan nilai ESR yang berbeda seperti pada tabel 1 setelah beberapa kali percobaan maka dapat dilihat nilai kapasitor dengan nilai ESR terkecil maka tegangan riplenya semakin kecil.

**Tabel 1.** Pemilihan nilai kapasitor output untuk mencari nilai tegangan *ripple* terkecil

No	Cout	I cout	ESR Cout	$\Delta V$ - Ripple
1	10	1.5 A	30 m	1.267 V
2	10	1.5 A	10 m	1.19 V
3	100	0	10 m	133.39 mV
4	100	1.5 A	10 m	134.79 mV
5	100	1.5 A	20 m	152.58 mV
6	100	1.5 A	30 m	176.28 mV
7	10	X5R	6 m	1.24 V
8	100	X5R-t	2 m	120.52 mV
9	100	X5R-t	2 m	124.34 mV
10	100	X5R-t	2 m	120.97 mV
11	100	Tantalum	25 m	162.82 mV

Pada tabel 1 dengan pemilihan kapasitor dari 10 – 100  $\mu\text{F}$  dengan nilai  $\text{ESR} \leq 41 \text{ m}\Omega$ , maka dipilihlah kapasitor dengan nilai ESR antara 2 – 30  $\text{m}\Omega$ . dari percobaan diatas semakin kecil nilai ESR semakin kecil tegangan ripple yang dihasilkan. Maka dipilihlah nilai kapasitor 100  $\mu\text{F}$  dengan nilai ESR sebesar 2  $\text{m}\Omega$  dan dalam pengujian menghasilkan nilai tegangan ripple sebesar 120,34 - 120 97 mV. Untuk memperkecil nilai ESR pada kapasitor output maka pada penelitian ini



**Gambar 4.** Hasil tegangan ripple Interleaved

kapasitor output diparalelkan agar mendapatkan nilai ESR lebih kecil sehingga menghasilkan tegangan ripple yang kecil.

Pembahasan berisi penjelasan apa arti hasil dan implikasinya untuk kajian di masa depan, tidak mengulangi apa yang telah dipaparkan dalam kajian pustaka atau hasil. Hubungkan hasilnya dengan pertanyaan yang diajukan di bagian pendahuluan.

#### **4. KESIMPULAN DAN SARAN**

Perancangan desain flyback dc-dc konverter dengan mode interleaved pada tegangan 5 V dengan daya beban 12 W telah dipaparkan. Hasil simulasi dengan spesifikasi tegangan masukan photovoltaic dari 48 V dapat menghasilkan tegangan keluaran stabil 5 V. Dalam perancangan flyback transformer didapatkan nilai inductor sisi primer ( $L_p$ ) 20  $\mu\text{H}$  dan sisi sekunder ( $L_s$ ) 1.5  $\mu\text{H}$  dengan nilai hambatan paralel belitan primer ( $R_p$ ) 3  $\text{K}\Omega$  dan hambatan paralel untuk belitan sekunder ( $R_s$ ) 1K  $\Omega$ . MOSFET yang digunakan adalah Si4488DY dengan spesifikasi tegangan drain source ( $V_{ds}$ ) 150 V  $R_{ds(on)}$  sebesar 0.05 $\Omega$ . Dan yang terakhir dioda dengan menggunakan super fast recovery dengan MBRS340. Tegangan ripple yang dihasilkan pada tegangan keluaran pada flyback dc-dc converter dengan mode non-interleaved dan interleaved dibawah 1% yaitu sebesar 81,02 mV untuk mode interleaved Maka desain flyback dc-dc converter dengan mode interleaved bisa digabungkan dengan inverter sehingga bisa menjadi micro-inverter yang utuh dengan metode *dual power stage*.

#### **DAFTAR PUSTAKA**

- [1] A. A. Mohammed and S. M. Nafie, "Flyback Converter Design for Low Power Application," vol. 0, no. 1, pp. 447–450, 2015.
- [2] C. of E. A. U. Kanthimathi, R(Dept of EEE, "Analysis of different Flyback Converter Topologies," no. ICIC, pp. 1248–1252, 2015.
- [3] A. Mamizadeh and A. F. D. Converter, "Analyzing and Comparing of Variable and Constant Switching Frequency Flyback DC-DC Converter," 2019 4th Int. Conf. Power Electron. their

- Appl.*, vol. 1, no. September, pp. 1–5, 2019.
- [4] A. Parameters and F. Inverter, “Dual-Mode Interleaved Flyback Micro-inverter,” *IEEE*, 2017.
- [5] J. R. Gazoli, M. G. Villalva, T. G. Siqueira, and E. Ruppert, “Micro-inverter for integrated grid-tie PV module using resonant controller,” in *2012 IEEE Power and Energy Society General Meeting*, 2012, pp. 1–8.
- [6] L. A. G. Rodriguez and J. C. Balda, “A comparison of isolated DC-DC converters for microinverter applications,” in *2013 Twenty-Eighth Annual IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition (APEC)*, 2013, pp. 2084–2091.
- [7] D. Cao, S. Jiang, F. Z. Peng, and Y. Li, “Low cost transformer isolated boost half-bridge micro-inverter for single-phase grid-connected photovoltaic system,” in *2012 Twenty-Seventh Annual IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition (APEC)*, 2012, pp. 71–78.
- [8] M. G. Villalva, J. R. Gazoli, and E. R. Filho, “Modeling and control of a three-phase isolated grid-connected converter fed by a photovoltaic array,” in *2009 Brazilian Power Electronics Conference*, 2009, pp. 202–210.
- [9] J. Dominic and J. Lai, “Comparison and Design of High Efficiency Microinverters for Photovoltaic Applications,” *Electr. Eng.*, vol. Master of, p. 120, 2014.
- [10] S. Roberts, “DC/DC Book of Knowledge - Practical tips for the User,” *Recom*, pp. 8–28, 2016.
- [11] A. Mukherjee and P. Studies, “Single Stage Flyback Micro-Inverter for Solar,” no. August, 2013.
- [12] M. Z. Hossain, N. A. Rahim, and J. a/l Selvaraj, “Recent progress and development on power DC-DC converter topology, control, design and applications: A review,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 81, pp. 205–230, 2018.
- [13] Z. Markus and U. Matthias, “Power Topologies Handbook,” *Texas Instruments*, pp. 1–197, 2017.
- [14] W. Xuezhe, Z. Xiaopeng, and D. Haifeng, “Li-ion batteries active balancing,” pp. 1654–1656, 2009.
- [15] L. Galioto and G. Di Marco, “Innovative Architectures for Solar Energy Applications : St Microinverter System Solution.”