

Desain dan Implementasi Konverter DC-DC *Buck-Boost* Dengan Kendali Modulasi Lebar Pulsa

Rifki Salman Dirgantara¹, Adnan Rafi Al Tahtawi², Sofyan Muhammad Ilman³

^{1,2,3}Jurusan Elektro, Politeknik Negeri Bandung, Bandung Barat 40559

E-mail : ^{1,*}rifki.salman.tlis20@polban.ac.id; ²adnan.rafi@polban.ac.id; ³sofyan.muhammad@polban.ac.id

ABSTRAK

Konverter DC-DC sedang mengalami banyak pengembangan karena memiliki sejumlah keunggulan, salah satunya adalah desain yang lebih kompak. Selain itu, konverter ini juga mampu menghasilkan rasio tegangan keluaran yang dapat lebih tinggi atau lebih rendah dari tegangan masukannya, dan dapat dimodifikasi dengan jumlah fasa banyak untuk meminimalisir riak arus masukan dan keluaran. Aplikasi dari konverter DC-DC banyak digunakan pada dunia industri, energi baru terbarukan, telekomunikasi dan lain sebagainya. Pada desain dan implementasi konverter DC-DC *buck boost* yang beroperasi berdasarkan besarnya nilai *duty cycle* dikendalikan menggunakan modulasi lebar pulsa (MLP) yang diatur secara manual. Tujuan dari penelitian ini adalah merealisasikan konverter dalam bentuk modul dan menghasilkan efisiensi di atas 70% antara daya keluaran dengan daya masukan pada konverter. Hasil dari implementasi menunjukkan bahwa efisiensi tertinggi yang dicapai adalah 85%.

Kata Kunci

Efisiensi, duty cycle, buck-boost converter

1. PENDAHULUAN

Majunya teknologi dalam mengatur tegangan catu daya bagi perangkat beban listrik saat ini tidak dapat diabaikan. Oleh karena itu, penggunaan komponen saklar daya dan rangkaian elektronika daya telah menghasilkan sistem penyediaan daya berupa tegangan searah yang dihasilkan melalui konversi tegangan masukan DC ke tegangan keluaran yang lebih tinggi atau lebih rendah dengan efisiensi yang maksimal [1].

Saat ini, konverter DC-ke-DC sedang mengalami perkembangan yang signifikan karena memiliki beberapa keunggulan, seperti ukurannya yang lebih kompak, memiliki rasio tegangan yang lebih tinggi, dan memiliki jumlah fasa banyak untuk meminimalisir riak arus masukan dan keluaran [2]. Dan seiring dengan perkembangan energi baru terbarukan salah satunya adalah energi dari matahari yang paling menjanjikan dalam memenuhi permintaan listrik yang terus meningkat. Namun dikarenakan energi matahari yang sangat ketergantungan dengan cahaya matahari yang energinya bersifat fluktuatif, maka dari itu diperlukan untuk melacak titik daya maksimum dari sistem *photovoltaic* (PV) yaitu dengan membuat algoritma *maximum power point tracking* (MPPT) dimana terdapat konverter DC-

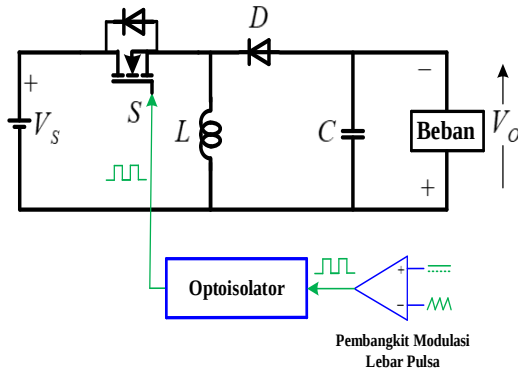
DC jenis *buck-boost* sebagai konverternya [3]-[4]. Aplikasi dari konverter DC DC *buck boost* selain untuk konverter daya pada PV, dapat diaplikasikan untuk memperbaiki faktor daya pada sisi masukan dari sistem arus bolak-balik, yang mana efek dari penggunaan komponen semikonduktor selain dapat merusak bentuk gelombang arus masukan di sisi AC, dapat pula memperkecil faktor daya [5]-[9]. Dan juga dalam aplikasi *power factor controller* (PFC), konverter *buck boost* dapat diaplikasikan pada pengaturan inverter untuk motor *switch reluctance motor* (SRM) dengan rasio tegangan yang tinggi sebagai peningkatan torsi motor [10].

Dalam penelitian ini akan dirancang dan diimplementasikan modul konverter DC-DC *buck boost converter* dengan pengendalian modulasi lebar pulsa (MLP) secara manual menggunakan IC TL494, dengan membangun rangkaian optoisolator menggunakan IC TLP250 yang digunakan sebagai rangkaian isolasi antara rangkaian MLP dengan konverter DC DC *buck boost* yang bertujuan untuk menghasilkan efisiensi di atas 70%.

2. METODOLOGI PENELITIAN

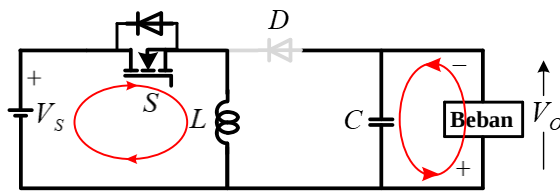
Perancangan sistem ini dilakukan dengan merancang konverter DC-DC *buck boost* yang selanjutnya akan diimplementasikan.

Konverter *Buck-Boost* (BB) adalah jenis konverter DC-DC yang dapat mengubah tegangan DC menjadi tegangan DC yang lebih rendah atau sebaliknya, yaitu dengan cara mengatur besarnya nilai *duty cycle* pada pensaklaran. Diagram blok sistem secara keseluruhan dapat dilihat pada gambar berikut.



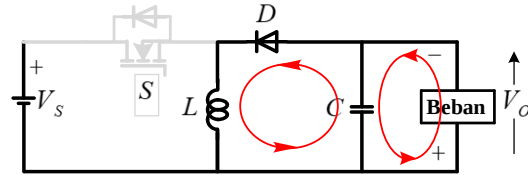
Gambar 1. Konverter DC-DC *Buck-Boost* Dengan Kendali MLP

Gambar 1. Menunjukkan topologi dari konverter DC-DC BB yang mana terdapat optoisolator dan pembangkit MLP sebagai pengendalian tegangan sisi keluaran konverter. Pembangkit MLP dibangkitkan oleh IC TL494 dan untuk optoisolator menggunakan TLP250 sebagai isolasi antara sisi kendali dengan sisi daya. Ada dua mode operasi konverter ini. Pertama, ketika sakelar dihidupkan (*switch ON*), induktor menerima tegangan masukan, yang menyebabkan arus mengalir melalui induktor. Pada saat yang sama, kapasitor yang mengalami pengosongan muatan listrik menjadi sumber tegangan dan arus untuk beban. Untuk gambar rangkaian BB *switch ON* ditunjukkan pada gambar berikut.



Gambar 2. Operasi Kerja Konverter Ketika *Switch ON*

Gambar 2. menunjukkan operasi kerja konverter. Ketika ON maka arus akan mengalir dari sumber menuju mosfet, lalu ke induktor dan balik lagi ke sumber. Dalam proses ini induktor mengalami pengisian energi dalam bentuk arus listrik sementara. Kemudian jika *switch* (S) dalam OFF dapat ditunjukkan pada gambar dibawah ini.



Gambar 3. Operasi Kerja Konverter Ketika *Switch OFF*

Gambar 3. Menunjukkan operasi kerja konverter ketika S dalam kondisi OFF. Maka induktor akan mengalami *discharge* arus menuju kapasitor dan menuju beban. Seperti yang terlihat pada Gambar 3. polaritas pada sisi keluaran terbalik. Ketika kondisi pada Gambar 2. terjadi, maka tegangan yang ada pada induktor sebesar.

$$V_L = V_s = L \frac{diL}{dt} \quad (1)$$

$$\frac{diL}{dt} = \frac{V_s}{L} \quad (2)$$

Bila laju perubahan arus induktor adalah konstan, menunjukkan arus induktor yang meningkat secara linear. Persamaan sebelumnya dapat dinyatakan sebagai.

$$\frac{\Delta iL}{\Delta t} = \frac{\Delta iL}{DT} = \frac{V_s}{L} \quad (3)$$

Untuk ΔiL ketika S dalam keadaan menutup maka,

$$\Delta iL_{tutup} = \frac{V_s DT}{L} \quad (4)$$

Ketika kondisi pada Gambar 3. terjadi, maka arus pada induktor tidak bisa berubah secara langsung, sehingga dioda mengalami *forward bias* menuju kapasitor dan beban. Maka dalam kondisi ini tegangan pada induktor sebesar.

$$V_L = V_o = L \frac{diL}{dt} \quad (5)$$

$$\frac{diL}{dt} = \frac{V_o}{L} \quad (6)$$

laju perubahan arus induktor adalah konstan, menunjukkan arus induktor yang meningkat secara linear.

$$\frac{\Delta i_L}{\Delta t} = \frac{\Delta i_L}{(1-D)T} = \frac{V_o}{L} \quad (7)$$

Untuk Δi_L ,

$$\Delta i_{L \text{ buka}} = \frac{V_o(1-D)T}{L} \quad (8)$$

Untuk operasi kondisi *steady state*, perubahan arus induktor harus nol selama satu periode. Maka,

$$\Delta i_{L \text{ tutup}} + \Delta i_{L \text{ buka}} = 0 \quad (9)$$

$$\frac{V_s DT}{L} + \frac{V_o(1-D)T}{L} = 0 \quad (10)$$

Maka tegangan keluaran konverter BB adalah,

$$V_o = -V_s \left(\frac{D}{1-D} \right) \quad (11)$$

Sedangkan untuk besarnya arus rata-rata pada induktor adalah.

$$I_{L \text{ (avg)}} = \frac{V_{in} D}{R(1-D)^2} \quad (12)$$

Besarnya nilai induktor yang digunakan.

$$L = \frac{1}{f_s} \times [V_{out} + V_f] \times \frac{V_{in(min)}}{V_{out} + V_f + V_{in(min)}} \times \frac{1}{\Delta I_L} \quad (13)$$

Dan besarnya kapasitor yang digunakan adalah.

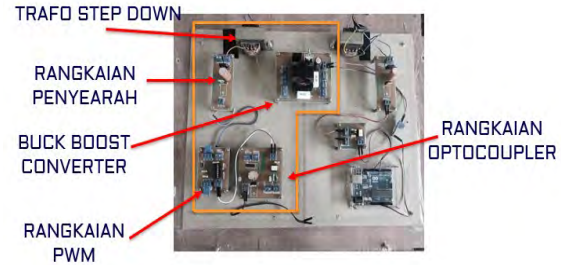
$$C = \frac{V_{out} \times D}{R \times \Delta V_{out} \times f_s} \quad (14)$$

Berikut merupakan spesifikasi dari konverter DC-DC BB yang disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Spesifikasi Konverter DC-DC Buck Boost

Parameter	Satuan
V_{in}	10 Volt
V_o	30 Volt
I_o	1,5 A
F_s	20 Khz
L	316 μH

Pada Tabel 1. Merupakan spesifikasi konverter yang dirancang dan akan diimplementasikan dalam bentuk modul.



Gambar 4. Implementasi Konverter DC-DC Buck-Boost



Gambar 5. Implementasi Sistem Keseluruhan

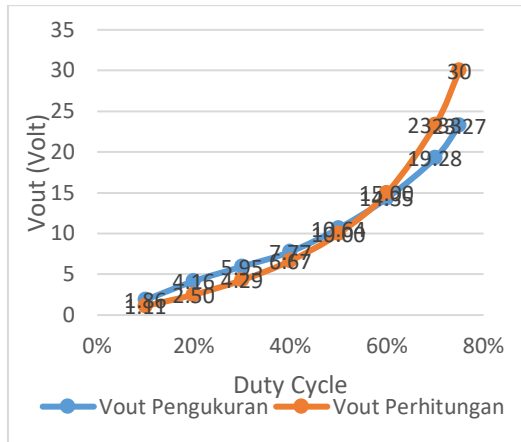
Gambar 4. dan Gambar 5. Menunjukkan bentuk dari implementasi konverter DC-DC yang didalamnya terintegrasi dengan berbagai modul-modul dan sistem secara keseluruhan.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian yang dilakukan dengan melakukan eksperimen menggunakan modul yang sudah dibuat, adapun beberapa pengujian meliputi pengujian perubahan tegangan keluaran konverter terhadap *duty cycle*, pengujian daya keluaran terhadap *duty cycle*, pengujian perubahan efisiensi terhadap *duty cycle*.

3.1 Perubahan Tegangan Keluaran Konverter Terhadap *Duty Cycle*

Pada pengujian ini digunakan beban R sebesar 68 Ω dengan suplai tegangan DC sebesar 10 volt dengan tujuan melihat besarnya tegangan keluaran dari konverter ketika besarnya *dutycycle* (D) < 50%, $D=50\%$ dan $D>50\%$.

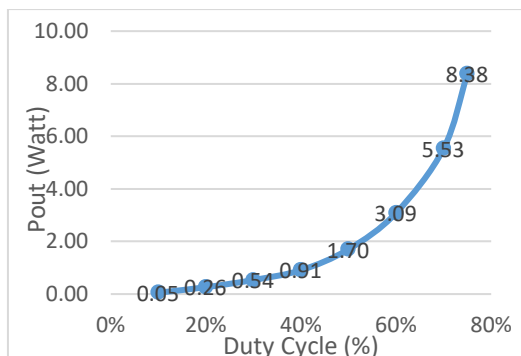


Gambar 6. Tegangan Keluaran Terhadap Duty Cycle

Gambar 6. Menunjukkan besarnya tegangan keluaran yang dikendalikan oleh MLP dengan mengatur besarnya *duty cycle* pada pensaklaran. Terlihat bahwa ketika $D < 50\%$ maka operasi kerja dari konverter akan menurunkan tegangan di sisi keluaran ($V_o < V_s$), untuk $D = 50\%$ tegangan keluaran sama dengan tegangan masukan ($V_o = V_s$).

3.2 Pengujian Daya Keluaran Terhadap Duty Cycle

Selanjutnya adalah pengujian besarnya daya keluaran pada konverter dengan perubahan setiap D pada pensaklaran, ditunjukkan pada gambar dibawah ini.

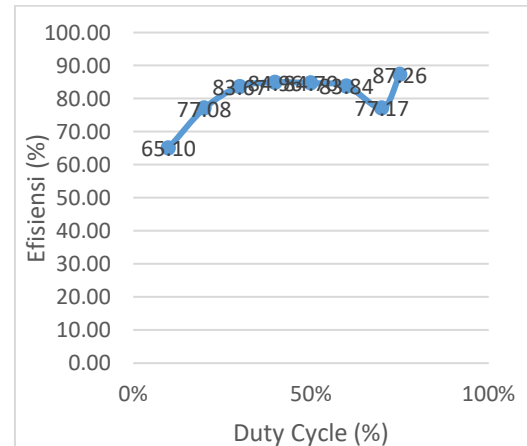


Gambar 7. Daya Keluaran Terhadap Duty Cycle

Gambar 7. Menunjukkan besarnya daya keluaran konverter terhadap perubahan nilai D . Pada implementasi besarnya nilai daya keluaran sebanding dengan besarnya nilai modulasi dari D , dilihat bahwa D mempengaruhi daya keluaran. Ketika D naik maka daya keluaran yang dihasilkan akan ikut naik.

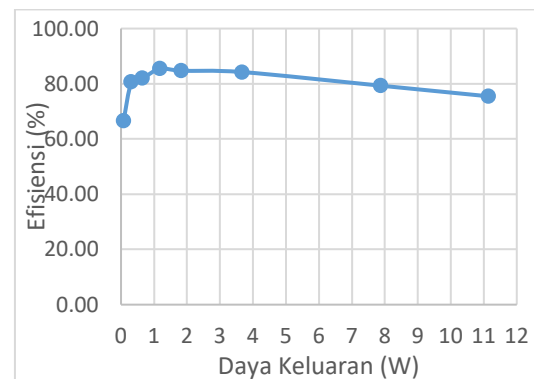
3.3 Pengujian Perubahan Efisiensi Terhadap Duty Cycle

Pada pengujian ini akan melihat efisiensi dari konverter DC-DC BB yang telah direalisasikan. Pengujian dilakukan dengan cara mengatur besarnya nilai D pada pensaklaran konverter.



Gambar 8. Efisiensi Terhadap Duty Cycle

Pada Gambar 8. dapat dilihat bahwa efisiensi akan semakin naik dari $D = 10\%$ sampai 40% , namun pada saat D naik dari 50% sampai 70% efisiensi mengalami penurunan dan kembali naik lagi pada saat $D = 75\%$. Selanjutnya adalah efisiensi daya masukan dengan daya keluaran konverter dapat ditunjukkan pada gambar dibawah ini.



Gambar 9. Efisiensi Daya keluaran dengan Daya Masukan

Gambar 9. Menunjukkan efisiensi daya yang dihasilkan konverter ketika beroperasi. Perbandingan efisiensi dari daya masukan terhadap daya keluaran. Efisiensi daya masukan semakin naik dari daya keluaran 0 Watt sampai daya keluaran 1,2 Watt. Dan efisiensi daya masukan mengalami penurunan dari daya keluaran 1,2 Watt sampai daya keluaran 11,2 Watt.

4. KESIMPULAN

Dari desain dan implementasi konverter DC-DC *buck-boost* yang dilakukan bahwa modul tersebut dapat berjalan dengan berfungsi dengan baik dan sesuai berdasarkan prinsip operasi kerja yang sesuai dimana sisi keluaran dapat menaikkan dan menurunkan tegangan dengan cara mengatur besarnya nilai *duty cycle*. Hal tersebut didasarkan pada hasil pengujian yang menunjukkan bahwa pada saat *duty cycle* dibawah 50% maka tegangan *output* yang dihasilkan akan kecil dibawah dari tegangan *input* yang diberikan. Jika *duty cycle* sama dengan 50% maka tegangan *output* akan sama dengan tegangan *input* dan pada saat *duty cycle* di atas 50% maka tegangan *output* akan lebih besar dari tegangan *input*, dan besarnya efisiensi yang dihasilkan konverter ketika beroperasi saat pembebanan adalah di atas 70%, dan efisiensi tertinggi yang bisa dicapai oleh konverter adalah 85%.

UCAPAN TERIMA KASIH

Peneliti mengucapkan terima kasih kepada Politeknik Negeri Bandung atas bantuan pendanaan yang diberikan dalam pelaksanaan tugas akhir ini berdasarkan surat nomor B/275/PLI/HK.02.00/2023.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. H. Memon, M. H. Baloach, A. A. Sahito, A. M. Soomro, and Z. A. Memon, "Achieving High Input PF for CRM Buck-Buck/Boost PFC Converter," *IEEE Access*, vol. 6, pp. 79082–79093, 2018, doi: 10.1109/ACCESS.2018.2879804.
- [2] P. Azer and A. Emadi, "Generalized state space average model for multi-phase interleaved buck, boost and buck-boost DC-DC converters: Transient, steady-state and switching dynamics," *IEEE Access*, vol. 8, pp. 77735–77745, 2020, doi: 10.1109/ACCESS.2020.2987277.
- [3] O. K. Islam, M. S. Ahmed, K. Rahman, and T. Tahsin, "A Comprehensive Comparison between Boost and Buck-Boost Converters in Solar MPPT with ANN," *ETCCE 2020 - Int. Conf. Emerg. Technol. Comput. Commun. Electron.*, 2020, doi: 10.1109/ETCCE51779.2020.9350867.
- [4] H. A. Rajeshree Patil, "Comparative Analysis of Fuzzy Based MPPT for Buck and Boost Converter Topologies for PV Application," *Int. Conf. Smart Technol. Smart Nation*, vol. 1, no. 1, pp. 1479–1484, 2017.
- [5] G. Sivanagaraju, S. Samata, L. M. Kunzler, K. R. Feistel, A. K. Rathore, and L. A. Lopes, "PFC interleaved buck-boost converter for telecom power application," *Annu. Conf. IEEE Ind. Electron. Soc.*, vol. 43, pp. 2299–2304, 2017, doi: 10.1109/IECON.2017.8216387.
- [6] S. Kumar and P. Thakura, "Microcontroller based DC-DC Cascode Buck-Boost Converter," *Third Int. Conf. Adv. Electr. Electron. Information, Commun. Bio-Informatics*, vol. 3, no. 1, pp. 289–294, 2017, doi: 10.1109/AEEICB.2017.7972318.
- [7] M. Shojaie and O. A. Mohammed, "A Multi-input DC-DC Converter with AC-DC PFC Buck-boost Stage for Hybrid Energy storage Systems," *Conf. Proc. - IEEE SOUTHEASTCON*, vol. 1, no. 1, pp. 1–5, 2018, doi: 10.1109/SECON.2018.8478879.
- [8] P. Mao, H. Jia, C. Y. Wang, and M. Xu, "Boost-Buck power factor correction converter with integrated different current control methods," *IEEE ECCE Asia Downunder*, vol. 1, no. 1, pp. 826–828, 2013, doi: 10.1109/ECCE-Asia.2013.6579199.
- [9] A. Jha and B. Singh, "Bridgeless SEPIC PFC Converter for Multistring LED Driver," *J. Inst. Eng.*, vol. 99, no. 4, pp. 353–367, 2018, doi: 10.1007/s40031-018-0328-6.
- [10] Z. Qu, H. Wang, S. Tang, X. Wei, and Q. Chen, "A new hybrid asymmetric and buck-boost fronted converter for SRM with active boost voltage capability," *Int. Conf. Electr. Mach. Syst.*, vol. 20, no. 1, pp. 1–6, 2017, doi: 10.1109/ICEMS.2017.8056315.