

Rancang Bangun *Multilevel Boost Converter* (24 VDC - 230 VDC) Sebagai Sistem Listrik Hibrid Energi Terbarukan

Nassri Maulana, Faizal Arya Samman, Rhiza S. Sadjad
Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin

Abstract- Pemanfaatan panel surya sudah menjadi perhatian di Indonesia. Namun memiliki banyak kelemahan, terutama berkaitan dengan sistem kelistrikan Indonesia. Hal tersebut dikarenakan ketidaksinkronan antara keluaran tegangan panel surya terhadap sistem kelistrikan yang berlaku di Indonesia. Dalam tugas akhir ini dilakukan implementasi *boost converter* dengan konsep *multilevel boost converter* 3 tingkat. Konverter ini akan digunakan untuk menyuplai *inverter* dengan tegangan masukan 230 VDC. Konverter tersebut menggunakan tegangan masukan sebesar 24 VDC berasal dari sumber baterai. Hasil penelitian menunjukkan tegangan keluaran *multilevel boost converter* semakin meningkat terhadap kondisi beban yang menurun. Dengan menggunakan kontrol PI, overshoot yang dihasilkan konverter cukup rendah yang dibuktikan dengan tegangan *ripple* yang rendah.

Kata Kunci : *Boost Converter, Multilevel Boost Converter, Kontrol PI, Tegangan Ripple.*

I. PENDAHULUAN

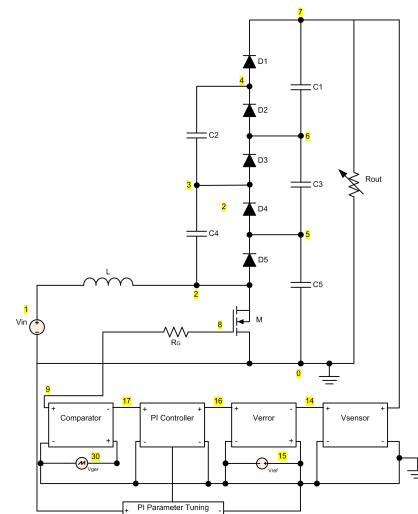
Panel surya sebagai pembangkit biasanya dihubungkan langsung dengan beban pada level tegangan yang rendah, mengakibatkan tidak sesuai dengan tegangan yang diperlukan [1]. Dengan adanya perkembangan teknologi komponen dan rangkaian elektronika telah mampu menghasilkan sistem penyedia daya tegangan searah (Direct Current/DC), yang dihasilkan melalui konversi tegangan DC masukan ke bentuk tegangan DC keluaran yang lebih tinggi atau lebih rendah. Konversi tegangan DC ini biasa disebut sebagai DC-DC converter [2]. Penerapan DC-DC converter dalam perkembangannya telah memungkinkan suatu perangkat elektronika dapat berfungsi dengan menggunakan sumber energi baterai yang bertegangan kecil di mana tegangan keluarannya dapat diubah sesuai kebutuhan pemakaian [3]. Teknologi konverter elektronika daya ini telah diaplikasikan pada sumber energi terbarukan, fuel cell dan solar cell menghasilkan tegangan keluaran yang rendah dan ini membutuhkan alat untuk menaikkan tegangan[4]. Salah satu converter yang digunakan untuk menaikkan tegangan arus searah adalah boost converter. Boost converter dapat menghasilkan tegangan keluaran yang lebih besar dari tegangan masukan dengan mengatur sinyal PWM untuk mengatur penyaklaran MOSFET. Dalam pemanfaatan panel surya, tegangan yang dihasilkan cukup kecil sehingga diperlukan suatu alat yang dapat menaikkan tegangan. Alat yang dapat digunakan merupakan DC-DC boost

converter. Pemanfaatan panel surya sudah menjadi perhatian di Indonesia. Namun ada kendala dalam hal pemanfaatannya yaitu ketidaksinkronan antara keluaran tegangan dari panel surya dengan sistem kelistrikan yang berlaku di Indonesia. Di Indonesia, sistem kelistrikan yang digunakan merupakan sistem AC (Alternating Current) dengan tegangan berkisar 220 volt hingga 230 volt. Untuk mengatasi masalah tersebut, dibutuhkan alat yang dapat menaikkan tegangan keluaran DC pada panel surya menjadi 230 volt dan akan dikonversi menjadi tegangan AC (Alternating Current). Dalam tugas akhir ini dilakukan perancangan *multilevel boost converter* dengan menggunakan kontrol PI.

II. URAIAN PENELITIAN

A. Konfigurasi Multilevel Boost Converter

Multilevel boost converter adalah sebuah konverter DC-DC berbasis PWM yang mengkombinasikan antara konverter *boost* konvensional dan fungsi *switched capacitor* untuk menghasilkan tegangan keluaran yang berbeda dan stabil dengan hanya menggunakan satu *driven switch* 1 induktor, 2N-1 dioda dan 2N-1 kapasitor[5].N yang dimaksud adalah jumlah tingkat pada konverter *boost multilevel*. Pada gambar 1, terlihat konfigurasi rangkaian dari *multilevel boost converter*.

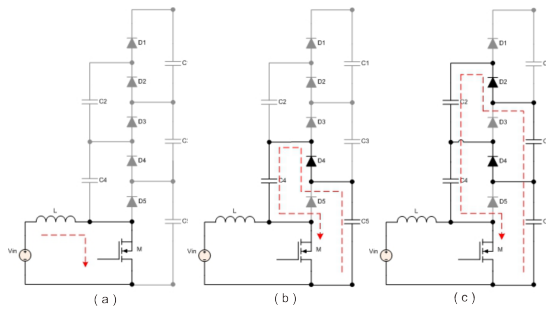


Gambar 1: Rangkaian *Multilevel Boost Converter*

Terlihat bahwa konfigurasi di atas terdiri dari satu mosfet (M), lima kapasitor (C1-C5) dan lima dioda (D1-D5). V_{in} merupakan sumber tegangan yang akan digunakan pada rangkaian tersebut. Pada penelitian ini, *power supply* yang menjadi sumber tegangan rangkaian tersebut.

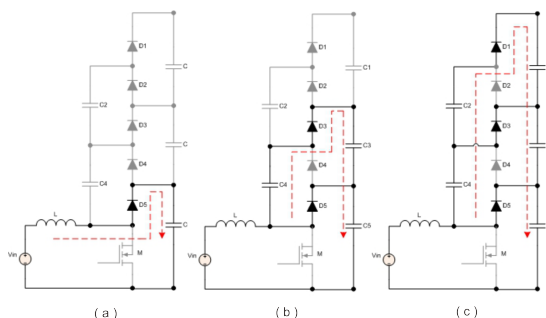
B. Prinsip Kerja Multilevel Boost Converter

Pada *multilevel boost converter* terdapat dua kondisi operasi pada rangkaian yaitu kondisi *switch on* dan kondisi *switch off*. Keadaan saat *switch on* ditunjukkan pada gambar 2. Saat *switch* keadaan *on*, induktor akan terhubung ke tegangan masukan (V_{in}), (gambar 2(a)). Jika tegangan di C5 lebih besar dari tegangan di C4, maka C5 menjepit tegangan di C4 melalui D4 dan M (gambar 2(b)). Bersamaan dengan itu, jika jumlah nilai tegangan dari C3 dan C5 lebih besar dari jumlah tegangan C2 dan C4 maka C3 dan C5 menjepit tegangan di C2 dan C4 melalui D2 dan M (gambar 2(c)) [6].



Gambar 2: Kondisi Switch On

Keadaan pada saat *switch off* ditunjukkan pada gambar 3. Ketika *switch off*, arus induktor menyalakan D5 dan itu hal tersebut mengakibatkan semua dioda menyala. Selama keadaan *off*, arus induktor menyalakan D5 untuk men-charge C5 (gambar 3(a)). Ketika tegangan yang melalui C4 lebih besar daripada tegangan yang melalui C3, D3 dalam kondisi konduksi membuat kapasitor C3 dan C5 dalam kondisi mengisi muatan (gambar 3(b)). Dengan cara yang sama, tegangan induktor ditambah dengan tegangan masukan (V_{in}), C4, dan C2 menjepit tegangan di C1, C3, dan C5 melalui D1 (gambar 3(c)) [5].



Gambar 3: Kondisi Switch Off

C. Tegangan Keluaran Multilevel Boost Converter

Berdasarkan kondisi *switch on* dan kondisi *switch off* maka dapat diturunkan persamaan untuk memperoleh tegangan keluaran *multilevel boost converter*.

$$V_o = V_i \frac{N}{(1 - D)} \quad (1)$$

dimana

V_o = Tegangan keluaran (V)
 V_i = Tegangan masukan (V)
 N = Jumlah tingkat konverter
 D = Duty cycle

Pada penelitian ini, penentuan jumlah tingkat level konverter didasari dengan parameter yang terlihat pada tabel I.

Tabel I: Parameter Penyusun *Multilevel Boost Converter*

Parameter	Nilai
Tegangan Input	24 V
Tegangan Output	230 V
Duty Cycle	0,7

Dengan menggunakan persamaan dan parameter yang tersedia, maka didapatkan jumlah tingkat level konverter yang terlihat pada persamaan 2.

$$N = \frac{V_o}{V_i} * (1 - D) = \frac{230}{24} * (1 - 0,7) = 2,875 \quad (2)$$

Dari hasil perhitungan yang didapatkan, N bernilai 2,875 sehingga dapat dibulatkan menjadi 3. Sehingga penelitian dilakukan pada *multilevel boost converter* tingkat 3.

III. HASIL SIMULASI DAN PENGUKURAN

Pada proses simulasi dan pengukuran, digunakan tiga jenis resistansi beban yaitu 21,7k Ω , 22,7k Ω dan 23,7k Ω . Nilai frekuensi yang digunakan yaitu 10 kHz dengan *duty cycle* 21,65%. Nilai *duty cycle* tergantung pada beban uji yang digunakan. Proses simulasi rangkaian menggunakan program *PSpice*. Hasil simulasi tersebut akan dibandingkan dengan hasil pengukuran. Hal-hal yang dibandingkan antara lain daya *input*, daya *output*, efisiensi dan tegangan *ripple*. Sebelum itu, adapun parameter kontrol PI yang digunakan pada proses simulasi dan pengukuran adalah sebagai berikut.

Tabel II: Konstanta Kontrol PI *Multilevel Boost Converter*

Resistansi Beban (K Ω)	Konstanta	
	P	I
21,7	20	5
22,7	10	2
23,7	2	0,5

A. Perbandingan Daya Input dan Daya Output

Dalam menentukan daya *input* dan daya *output* konverter dilakukan pengukuran arus *input*, tegangan *input*, arus *output* dan tegangan *output*. Pada proses simulasi, parameter komponen yang digunakan disesuaikan dengan parameter komponen pada implementasinya. Proses pengukuran alat dilakukan

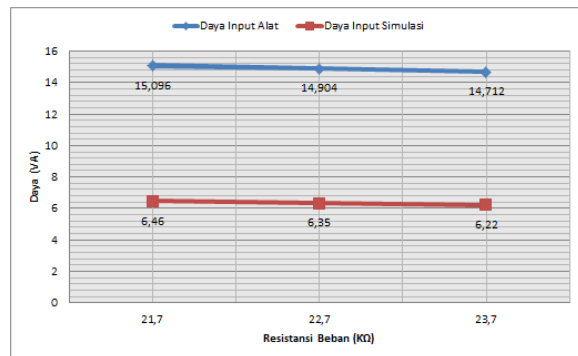
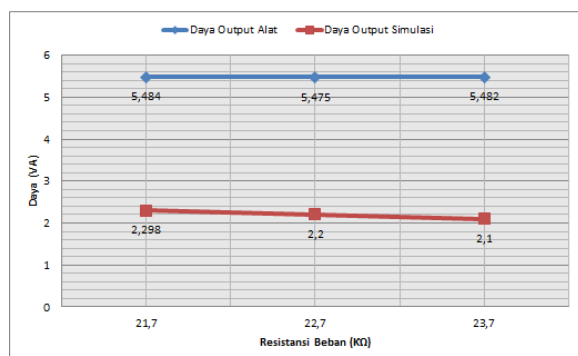
dengan menggunakan sumber tegangan berupa *power supply*. Adapun hasil simulasi dan pengukuran dapat dilihat pada tabel III dan tabel IV.

Tabel III: Data Hasil Simulasi *PSpice*

Hasil Simulasi Pspice	Resistansi Beban (Ω)		
	21,7k	22,7k	23,7k
<i>Duty Cycle</i> (%)	21,65	21,65	21,65
Frekuensi (kHz)	10,03	10,03	10,03
Tegangan <i>Input</i> (V)	24	24	24
Arus <i>Input</i> (A)	0,269	0,264	0,259
Tegangan <i>Output</i> (V)	230	230	230
Arus <i>Output</i> (mA)	9,91	9,56	9,13
Daya <i>Input</i> (VA)	6,46	6,35	6,22
Daya <i>Output</i> (VA)	2,298	2,20	2,10

Tabel IV: Data Hasil Pengukuran Alat

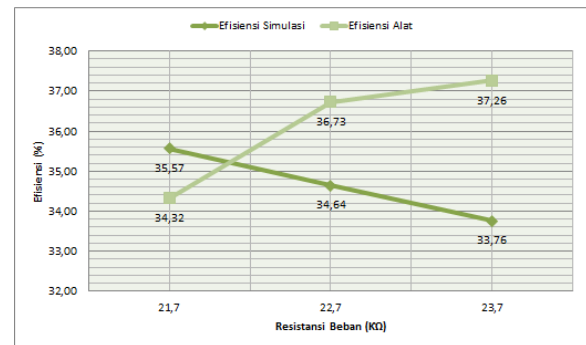
Hasil Pengukuran Alat	Resistansi Beban (Ω)		
	21,7k	22,7k	23,7k
<i>Duty Cycle</i> (%)	21,65	21,65	21,65
Frekuensi (kHz)	10,03	10,03	10,03
Tegangan <i>Input</i> (V)	24	24	24
Arus <i>Input</i> (A)	0,629	0,621	0,613
Tegangan <i>Output</i> (V)	232,6	233	235
Arus <i>Output</i> (mA)	23,58	23,50	23,33
Daya <i>Input</i> (VA)	15,096	14,904	14,712
Daya <i>Output</i> (VA)	5,484	5,475	5,482

Gambar 4: Grafik Perbandingan Daya *Input*Gambar 5: Grafik Perbandingan Daya *Output*

Pada gambar 4 terlihat bahwa daya *input* pada hasil simulasi lebih kecil dibandingkan dengan daya *input* pada hasil pengukuran. Daya *input* cenderung menurun seiring dengan meningkatnya resistansi beban. Untuk daya *output*, dapat dilihat pada gambar 5. Hasil simulasi menunjukkan nilai yang lebih rendah dibandingkan dengan hasil pengukuran. Namun khusus pada hasil pengukuran terjadi peningkatan daya saat resistansi beban bernilai 23,7 kΩ.

B. Perbandingan Efisiensi Hasil Simulasi dan Hasil Pengukuran

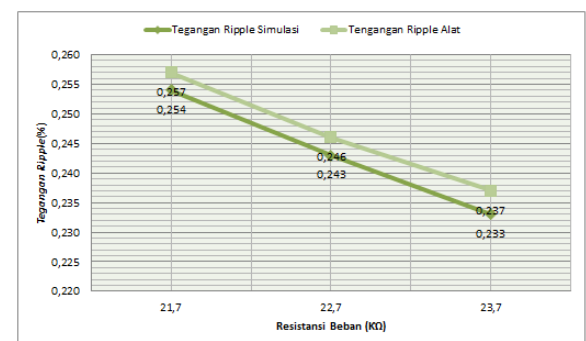
Dalam menentukan nilai efisiensi, data pada tabel III dan tabel IV diolah sehingga menghasilkan data berupa grafik yang terlihat pada gambar 6.



Gambar 6: Grafik Perbandingan Efisiensi

Kondisi dari efisiensi pada hasil simulasi dan hasil pengukuran mengalami perbedaan terhadap perubahan beban. Pada hasil simulasi, efisiensi cenderung menurun saat resistansi beban mengalami peningkatan. Sedangkan pada hasil pengukuran menunjukkan bahwa efisiensi cenderung meningkat saat resistansi beban mengalami peningkatan. Efisiensi yang dicapai antara hasil simulasi dan hasil pengukuran berada di nilai 30 % hingga 37 %.

C. Perbandingan Tegangan Ripple Hasil Simulasi dan Hasil Pengukuran

Gambar 7: Grafik Perbandingan Tegangan *Ripple*

Gambar 7 menunjukkan grafik perbandingan tegangan *ripple*. Terlihat bahwa nilai tegangan *ripple* mengalami penurunan

saat resistansi beban mengalami peningkatan. Hal ini terjadi pada hasil simulasi maupun hasil pengukuran. Semua nilai tegangan *ripple* dalam kondisi beban apapun memiliki nilai dibawah 0,5 %.

IV. KESIMPULAN

Setelah melakukan penelitian terhadap rangkaian *multilevel boost converter* baik secara simulasi ataupun pengukuran alat, maka didapatkan kesimpulan sebagai berikut.

- 1) Multilevel boost converter merupakan salah satu boost converter yang dapat mengubah tegangan input 24 VDC menjadi 230 VDC sehingga konverter ini dapat berfungsi pengganti transformator pada suatu inverter.
- 2) Efisiensi dari multilevel boost converter cenderung meningkat seiring dengan peningkatan resistansi beban. Dari hasil pengujian yang dilakukan, efisiensi tertinggi bernilai 37,26 %.
- 3) Dari hasil pengujian yang dilakukan, tegangan ripple cenderung menurun seiring meningkatnya resistansi beban. Tegangan ripple terendah yang dicapai yaitu bernilai 0,237%.
- 4) Tegangan ripple yang didapatkan berada dibawah 5%, yang menandakan bahwa multilevel boost converter ini memiliki tegangan ripple yang rendah.
- 5) Kontrol PWM pada multilevel boost converter menggunakan kontrol PI dengan teknik trial dan error. Kontrol PI dilakukan dengan memanfaatkan feedback dari multilevel boost converter sebagai data untuk melakukan komputasi PI pada program microcontroller.

V. SARAN

Adapun saran untuk pengembangan dan kelanjutan penelitian adalah sebagai berikut.

- 1) Menganalisis mengenai nilai komponen disesuaikan dengan kondisi yang ada di pasaran.
- 2) Rangkaian multilevel boost converter dapat diubah dengan tingkat level boost yang lebih tinggi dari penelitian yang dilakukan.
- 3) Kontrol PI dapat dikembangkan dengan menggunakan kontrol PI adaptif ataupun diganti dengan kontrol PID.
- 4) Melakukan pengujian alat selain beban resistif.
- 5) Menggunakan jenis komponen yang mendekati kondisi ideal.
- 6) Mencari mikrocontroller yang lebih sederhana dalam melakukan pengontrolan alat.

PUSTAKA

- [1] M. Suyanto, "Pemanfaatan Solar Cell Sebagai Pembangkit Listrik Terbarukan," J. Tek., vol. 27, no.4, 2014.
- [2] A. J. Forsyth and S. V. Mollov, "Modelling and control of DC-DC converters," Power Eng. J., vol. 12, no. 5, pp. 229–236, 1998.
- [3] M. R. A. Siddique, M. J. Ferdous, and I. Islam, "Charge pump capacitor based high voltage gain DC-DC step-up converter," 2014 Int. Conf. Informatics, Electron. Vision, ICIEV 2014, pp. 3–6, 2014.
- [4] M. A. Assyidiq, B. Winardi, and T. Andromeda, "Perancangan Boost Converter Menggunakan Voltage Feedback Pada Panel Surya," Transient, vol. 6, no. 3, p. 404, 2017.
- [5] A. Z. Fanani, M. Ashari, and T. Yuwono, "Desain dan Simulasi Konverter Boost Multilevel sebagai Catu Daya Kendaraan Listrik," J. Tek. Pomits, vol. 3, no. 1, pp. 2–7, 2014.
- [6] J. S. Reddy, Performance Analysis of A DC-DC Multilevel Boost Converter. Patiala: Thapar University, 2017.



Nassri Maulana, lahir di Palangkaraya, 18 November 1998. Semasa kuliah pernah menerima beasiswa Karya Salemba Empat. Di tahun 2019-2020 aktif di Laboratorium Elektronika dan Divais Universitas Hasanuddin dan fokus mempelajari tentang elektronika daya, pemrograman komputer dan penggunaan mikrokontroler Arduino serta FPGA.