

DESAIN PWM PADA THREE PHASE INTERLEAVED BUCK CONVERTER SEBAGAI CATU DAYA 10KW

Usman Agani^{1*}, Endah Komalasari², Anisa Ulya Drajat³

^{1,2,3}Jurusan Teknik Elektro, Universitas Lampung: Jl. Prof. Sumantri Brojonegoro No 1, Lampung

Received: 22 April 2024

Accepted: 31 Juli 2024

Published: 7 Agustus 2024

Keywords:

PWM;

Buck Converter;

Interleaved;

Ripple.

Abstrak. Tulisan ini menyajikan desain *Pulse Width Modulation* (PWM) yang digunakan pada DC DC Buck Converter. Dalam tulisan ini suatu perbandingan antara pembangkitan signal Buck Converter konvensional dan *Three Phase Interleaved Buck Converter* untuk mengurangi *ripple* pada keluaran DC DC Converter. Suatu *Interleaved Buck Converter* adalah pilihan yang lebih disukai untuk diaplikasikan sebagai catu daya menengah dan tinggi karena dapat mengurangi *ripple*. Sistem yang diusulkan didesain menggunakan PSIM. Dari pengujian yang dilakukan didapatkan *interleaved PWM* pada topologi *Three Phase Buck Converter* mampu mengurangi *ripple* tegangan dan arus keluaran, sehingga mampu menghasilkan efisiensi yang lebih tinggi.

Correspondent Email:

usmanagani89@gmail.com

Abstract. This paper presents the *Pulse Width Modulation* (PWM) design used in the DC DC Buck Converter. In this paper, a comparison is presented between conventional Buck Converter signal generation and *Three Phase Interleaved Buck Converter* to reduce the ripple at the DC DC Converter output. An *Interleaved Buck Converter* is the preferred choice for application as a medium and high power supply because it can reduce ripple. The proposed system is designed using PSIM. From the tests carried out, it was found that *interleaved PWM* in the *Three Phase Buck Converter* topology was able to reduce output voltage and current ripples, thereby producing higher efficiency.

1. PENDAHULUAN

Krisis energi dan pencemaran udara menjadi permasalahan negara-negara di dunia. Indonesia pernah menempati urutan ke empat dunia dari segi tingkat polusi dan pencemaran udara dimana 85% polusi disebabkan oleh emisi transportasi [1]. Pada bidang transportasi, pembangunan percepatan kendaraan dilakukan dengan basis baterai hal ini berdasarkan Peraturan Presiden (Perpres) Republik Indonesia No. 55 Tahun 2019 yang berisi tentang percepatan pembangunan kendaraan bermotor listrik berbasis baterai (*Battery Electric Vehicle*)/BEV/KBLBB untuk transportasi jalan [2].

Perkembangan BEV membutuhkan infrastruktur kendaraan listrik. Infrastruktur kendaraan listrik ini membutuhkan suatu elemen penting, yaitu konverter daya yang mensuplai energi kendaraan listrik. Konverter daya dengan topologi *buck converter* konvensional memiliki beberapa kelemahan diantaranya memiliki *ripple* keluaran yang besar serta performa kerja yang rendah [3]. Dengan kebutuhan suplai energi kendaraan listrik, maka penelitian ini diusulkan DC DC konverter dengan topologi *Three Phase interleaved buck converter* [4].

Pada konverter tipe *Three Phase interleaved* ini memiliki keunggulan dalam hal performa lebih tinggi dengan *ripple* yang

rendah. Proses *interleaved* ini memungkinkan adanya *ripple cancelation* pada proses *switching* PWM yang bekerja pada konverter sehingga dapat saling mengurangi adanya kerugian setiap komponen [5].

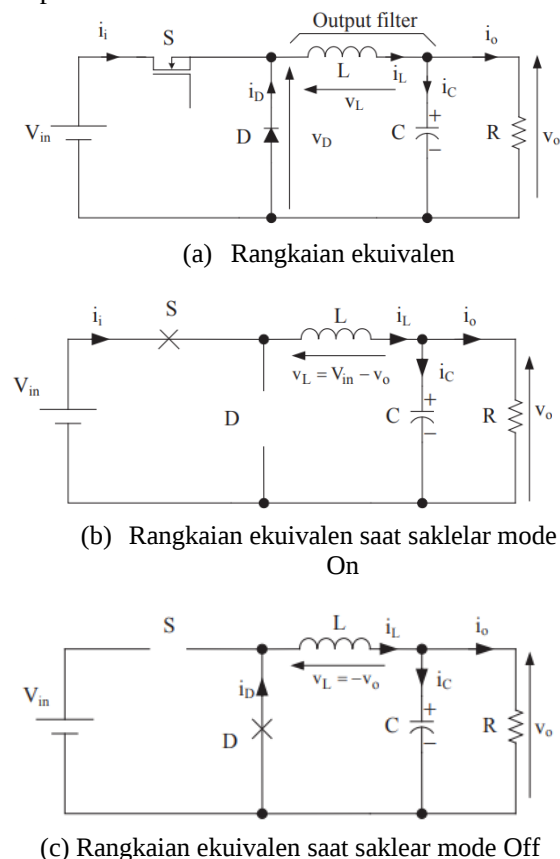
2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pulse Width Modulation (PWM)

Modulasi lebar pulsa atau lebih dikenal dengan sebutan PWM (*Pulse Width Modulation*) adalah salah satu teknik membandingkan sinyal referensi dengan sinyal *carrier*. Pada umumnya untuk sinyal *carrier* berupa gelombang segitiga atau gelombang gigi gergaji [6].

2.2 Buck Converter

Buck converter digunakan untuk mengubah tegangan dengan masukan yang tinggi ke tegangan keluaran yang rendah [7]. Variasi tegangan keluaran diatur berdasarkan kontrol pada *duty cycle* [8]. Gambar 1 menunjukkan sistem kinerja *buck converter* yang terdiri dari mosfet, dioda, induktor dan kapasitor.

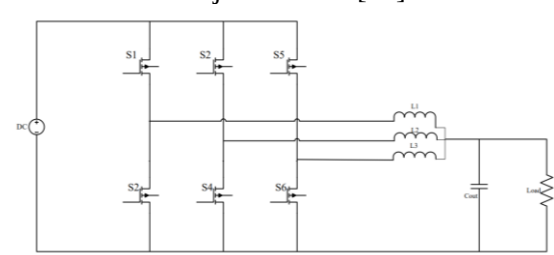


Gambar 1 (a), (b), (c). Skema kerja *buck converter*

Sistem kerja pada *Buck Converter* memiliki dua mode yaitu saat mode on dan Mode Off [9]. Pada mode sakelar On, sumber dc terhubung dan melewati filter dan dioda. Mode ini dioda bersifat *reverse biased* serta induktor dan kapasitor mengalami pengisian (*charging*). Kemudian ketika mode sakelar off, induktor mengalami pengosongan (*discharging*) dan dioda bersifat *forward bias*. Mode ini berakhir ketika sakelar S kembali on atau arus induktor menjadi nol.

2.3 Multiphase Buck Converter

Multiphase Buck converter merupakan satu set buck converter yang disusun secara paralel seperti Gambar 2 yang masing-masing memiliki induktor. Selama operasi dalam keadaan tunak, fase individu aktif pada interval dengan $360^\circ/n$ selama periode *switching* dimana n adalah jumlah fase [10].



Gambar 2. *Multiphase Interleaved Buck Converter*

Interleaved buck converter bekerja sama halnya dengan konverter konvensional *single-phase* yang setiap mosfet digerakkan secara bergantian dengan siklus *duty cycle*. *Interleaved buck converter* digerakkan dengan frekuensi *switching* yang mana setiap fase digeser berdasarkan jumlah fase yang digunakan. Misalnya ketika menggunakan dua fase maka digeser sebesar 180° (0° , 180°), sedangkan untuk tiga fase digeser sebesar 120° (0° , 120° , 240°) dan begitu seterusnya.

$$D = \frac{V_0}{V_{in}} \quad (1)$$

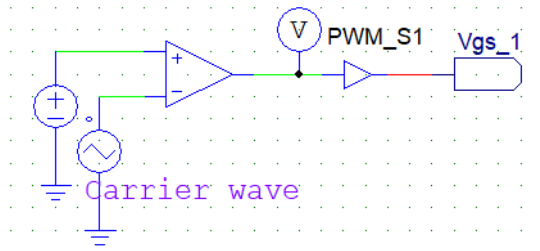
$$D = D_1 = D_2 = D_3 = \dots = D_N \quad (2)$$

3. METODE PENELITIAN

3.1 PWM Buck Converter Konvensional

Pada metode PWM *buck converter* konvensional, gelombang *carrier* langsung dikomparasikan terhadap gelombang referensi yang memiliki nilai amplitudo tertentu sebagai

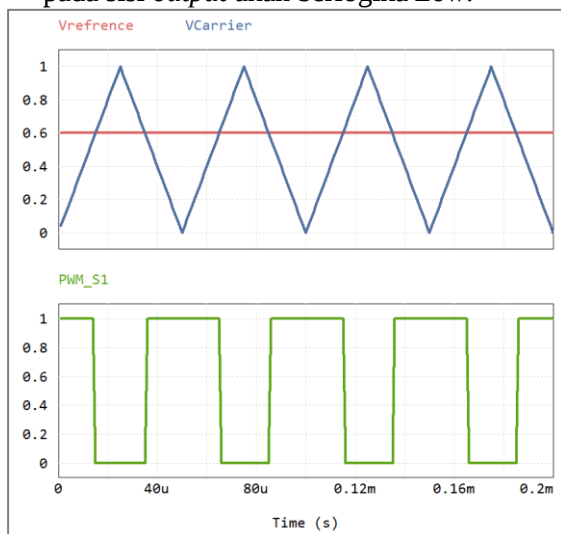
nilai *duty cycle* seperti ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 3 Rangkaian PWM

Hasil dari komparator ini berupa sinyal PWM seperti Gambar 4 yang mengikuti ketentuan berikut:

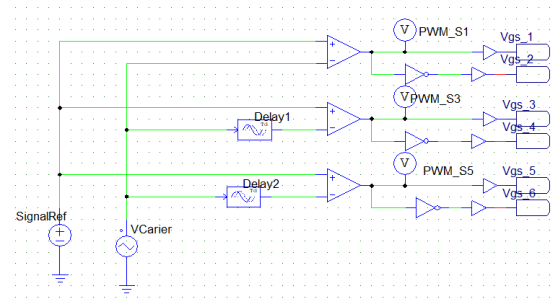
1. Jika amplitudo $V_{refrence}$ lebih besar atau sama dengan amplitudo V_{carier} maka bentuk gelombang pulsa pada sisi output akan berlogika *High*
2. Jika amplitudo $V_{refrence}$ lebih kecil dari amplitudo V_{carier} maka bentuk gelombang pada sisi *output* akan berlogika *Low*.



Gambar 4. Gelombang Output PWM

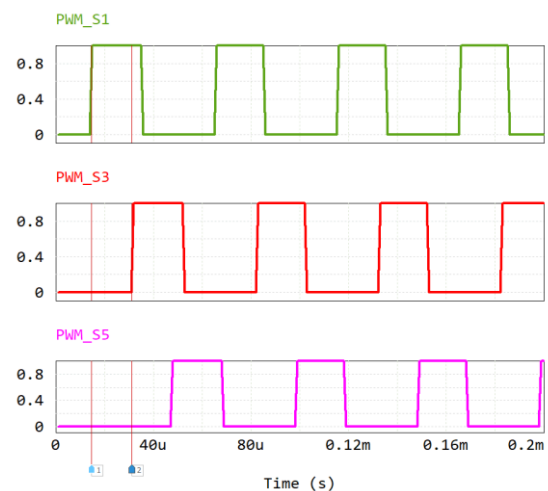
3.2 Interleaved PWM

Desain rangkaian *Interleaved PWM* yang diusulkan pada penelitian ini ditunjukkan seperti pada Gambar 5 yang menggunakan 1 buah frekuensi *carrier* yang memiliki sistem delay pada *carrier 2* dan *carrier 3*. Output dari Op-Amp digunakan untuk menggerakkan sakelar S1, S2, S3, S4, S5, dan S6 berdasarkan hasil amplitude gelombang DC yang dikomparasikan dengan gelombang *carrier*.



Gambar 5. Rangkaian *Interleaved PWM*

Pada metode *interleaved* ini, setiap gelombang *carrier* memiliki amplitudo dan frekuensi yang sama dengan masing-masing fasa bergeser sebesar 120° yang menghasilkan gelombang *output* PWM pada Gambar 6 dan nilai lama *delay* selama 16 μ s yang ditunjukkan Gambar 7.

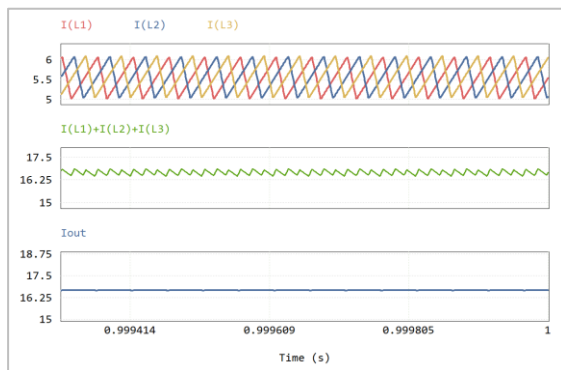


Gambar 6. Gelombang Output *Interleaved PWM*

Measure	X1	X2	Δ
Time	1.47194e-05	3.13194e-05	1.66000e-05 a

Gambar 7. Delay PWM

Gambar 8 menunjukkan *ripple cancellation* pada *Three Phase Buck Converter*. Total arus yang melalui kapasitor *output* memiliki nilai *peak-to-peak* yang lebih rendah dibandingkan arus pada fasa individu. Nilai setiap arus ini ditunjukkan oleh hasil pengukuran pada Gambar 9.



Gambar 8. Output Arus

Measure	X1	X2	Δ	Average
Time	9.99414e-01	1.00000e+00	5.86000e-04 s	
I(L1)	5.93919e+00	5.53949e+00	-3.99693e-01	5.53541e+00
I(L2)	5.46766e+00	5.06791e+00	-3.99746e-01	5.56117e+00
I(L3)	5.05246e+00	6.05270e+00	1.00024e+00	5.56370e+00
I(L1)+I(L2)+I(L3)	1.64593e+01	1.66601e+01	2.00798e-01	1.66603e+01
Iout	1.66537e+01	1.66602e+01	6.43168e-03	1.66625e+01

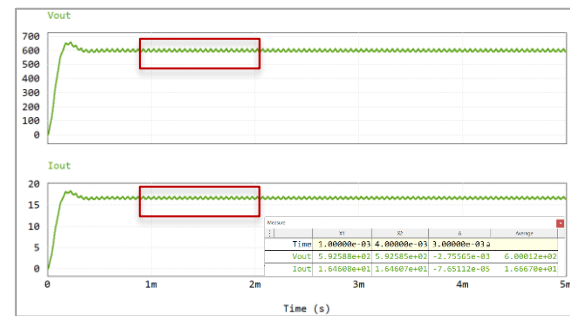
Gambar 9. Nilai Arus

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

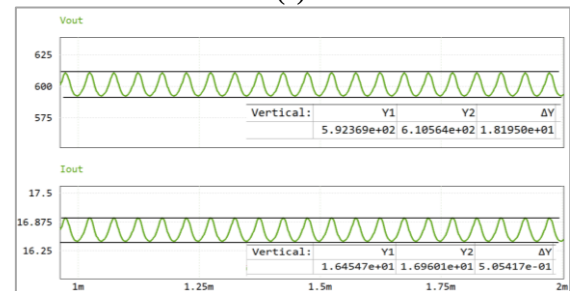
Hasil dari pengujian simulasi dilakukan berdasarkan spesifikasi konverter pada tabel 1. Dengan mengatur *duty cycle* sebesar 0.75 pada masing-masing topologi didapatkan hasil tegangan dan arus keluaran sebesar 600V dan 16.6A. Nilai *Ripple* tegangan dan arus keluaran pada *buck converter* konvensional sebesar 18 V dan 0.5 A seperti yang ditunjukkan pada Gambar 9. Pada pengujian topologi *three phase buck converter* dengan *interleaved PWM* didapatkan pengurangan *ripple* tegangan dan arus keluaran sebesar 95.05% dengan nilai masing-masing sebesar 0.89V dan 0.025A yang ditunjukkan oleh Gambar 6.

Tabel1. Spesifikasi *Three Phase Buck Converter*

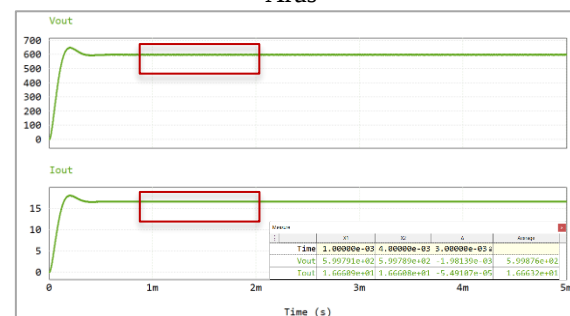
Parameter	Nilai	Satuan
Vin	800	V
Daya (P)	10	kW
Frekuensi (Fs)	20	Khz
Induktor (L)	6.7	mH
Kapasitor (C)	1.11	uF
Resistor	36	Ohm
Duty Cycle	0.75	%



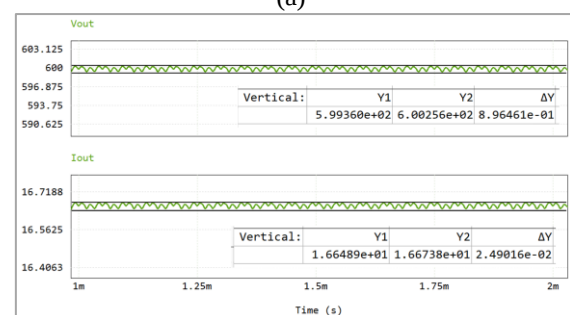
(a)



(b)

Gambar 9. (a)Tegangan dan Arus Keluaran Buck Konverter Konvensional, (b) *Ripple* Tegangan dan Arus

(a)

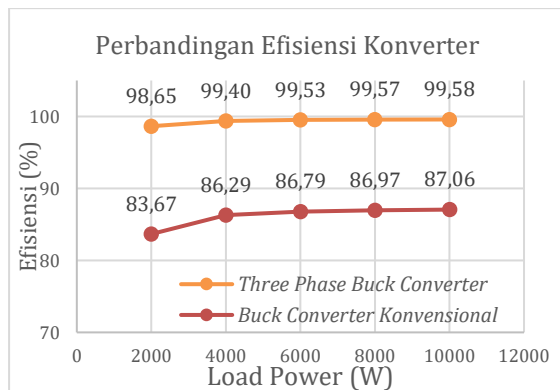


(b)

Gambar 10. (a)Tegangan dan Arus Keluaran *Three Phase Interleaved Buck Converter*, (b) *Ripple* Tegangan dan Arus

Dengan adanya pengurangan *ripple* tersebut, membuat konverter ini memiliki efisiensi yang lebih tinggi jika dibandingkan terhadap *buck converter* secara konvensional. Hal ini dapat dilihat pada Gambar 11 yang menunjukkan perbandingan efisiensi pada *buck*

converter konvensional dengan *three phase buck converter* yang dilakukan pada pengujian dengan memberikan variasi beban dari 20 hingga 100%. Pada *buck converter* konvensional memiliki nilai efisiensi rata-rata sebesar 86% sedangkan pada *three phase buck converter* memiliki efisiensi rata-rata yang lebih tinggi yaitu sebesar 95%



Gambar 11. Perbandingan Efisiensi *Buck Converter* Konvensional dengan *Three Phase Buck Converter*

5. KESIMPULAN

Dari penelitian yang telah dilakukan dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Penggunaan interleaved PWM pada *Three Phase Buck Converter* dapat mengurangi ripple keluaran hingga 95%.
2. *Interleaved PWM* pada *Three phase buck converter* memiliki efisiensi rata-rata yang lebih tinggi yaitu 95% dibandingkan pada *buck converter* konvensional yang memiliki efisiensi rata-rata sebesar 86%.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada pihak-pihak terkait yang telah memberi dukungan terhadap penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] R. Arif Syaifulah, H. Eko Kurniawan, B. Priyohandoko, T. Elektro Industri, D. Teknik Elektro, and P. Elektronika Negeri Surabaya, "Mobil Listrik 'ZEON' (Zero Pollution) Sebagai Sarana Wisata Di Ekosiwata Mangrove Wonorejo."
- [2] "Peraturan Presiden Republik Indonesia No 55 Tahun 2019."
- [3] H. Nur Hermala, S. Riyadi, L. H. Pratomo, F. B. Setiawan, and D. A. Wibisono, "Desain Dan Implementasi Kendali Digital

Histerisis Pada Topologi Sepic Buck-Boost Konverter," 2021.

- [4] P. Avsarala and V. Dabholkar, "Multiphase Interleaved DC-DC Converters," 2017. [Online]. Available: www.ijrti.org
- [5] Paul Pickering, "Supply Meets Demand: Use Multiphase Converters to Solve Tough Power Design Challenges."
- [6] O. Nurqalbi, "Desain Simulasi Konverter Buck-Boost Berbasis PWM (Pulse Width Modulation)," *Cetak) Journal of Innovation Research and Knowledge*, vol. 3, no. 9, 2024.
- [7] E. Martha, A. Asnil, and F. Eliza, "Sistem Pengisian Baterai Menggunakan Buck Konverter," *INVOTEK: Jurnal Inovasi Vokasional dan Teknologi*, vol. 18, no. 1, pp. 117–124, Aug. 2018, doi: 10.24036/invotek.v18i1.248.
- [8] Aswardi, *Teknik Elektronika Daya*. 2020.
- [9] N. H. Baharudin, T. M. N. T. Mansur, F. A. Hamid, R. Ali, and M. I. Misrun, "Performance Analysis of DC-DC Buck Converter for Renewable Energy Application," in *Journal of Physics: Conference Series*, Institute of Physics Publishing, Jun. 2018. doi: 10.1088/1742-6596/1019/1/012020.
- [10] C. Parisi, "Multiphase Buck Design From Start to Finish (Part 1)," 2021. [Online]. Available: www.ti.com