

Analisis Komparatif Karakteristik Tegangan Output Cúk Converter dan Single-Ended Primary Inductance Converter (SEPIC) Terhadap Variasi *Duty cycle*

Effendi¹, Farid Widiyanto²

¹²Program Studi Teknologi Elektronika Politeknik Aceh
Jl. Politeknik Aceh, Pango Raya, Banda Aceh 23119
¹effendi@politeknikaceh.ac.id, ²widiantofaridfarid@gmail.com

ABSTRACT

This study aims to comparatively analyze the output voltage characteristics of the Cúk converter and the Single-Ended Primary Inductance Converter (SEPIC) under varying duty cycle conditions. Both converters were designed using identical parameters, including a 12 V input voltage, 50 Ω resistive load, 1 mH inductors for L_1 and L_2 , a 47 μ F coupling capacitor, a 470 μ F output capacitor, and a switching frequency of 25 kHz. The evaluation was carried out through simulation by varying the duty cycle from 0.1 to 0.9. The analysis focused on output voltage variation, transient waveform response, overshoot, settling time, and frequency-domain characteristics using Fast Fourier Transform (FFT). The simulation results show that increasing the duty cycle significantly increases the output voltage of both converters in a nonlinear manner. The output voltage of the Cúk converter increased from 1.8748 V to 108.3203 V, while the SEPIC output voltage increased from 1.8484 V to 108.1663 V. Both converters operate in step-down mode at low duty cycle s and step-up mode at high duty cycle s . Although both converters produce relatively comparable output voltage levels, SEPIC demonstrates better performance in terms of output voltage quality, as indicated by lower oscillation amplitude, faster settling time, lower AC components, reduced ripple, and smoother harmonic spectrum. In contrast, the Cúk converter exhibits more dominant ripple and switching harmonics, particularly at low to medium duty cycle s . Therefore, SEPIC is more suitable for applications requiring a stable, clean, and low-ripple DC output voltage.

Keywords: Cúk converter, SEPIC, duty cycle, output voltage, FFT, ripple.

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis secara komparatif karakteristik tegangan output Cúk converter dan Single-Ended Primary Inductance Converter (SEPIC) terhadap variasi *duty cycle*. Kedua konverter dirancang dengan parameter yang sama, yaitu tegangan input 12 V, beban 50 Ω , induktor L_1 dan L_2 sebesar 1 mH, kapasitor kopling 47 μ F, kapasitor output 470 μ F, serta frekuensi switching 25 kHz. Pengujian dilakukan melalui simulasi dengan variasi *duty cycle* dari 0,1 hingga 0,9. Analisis difokuskan pada perubahan tegangan output, bentuk gelombang transien, *overshoot*, waktu mencapai kestabilan, serta karakteristik spektrum frekuensi menggunakan *Fast Fourier Transform* (FFT). Hasil simulasi menunjukkan bahwa peningkatan *duty cycle* menyebabkan kenaikan tegangan output secara nonlinier pada kedua konverter. Tegangan output Cúk meningkat dari 1,8748 V menjadi 108,3203 V, sedangkan SEPIC meningkat dari 1,8484 V menjadi 108,1663 V. Kedua konverter bekerja sebagai *step-down* pada *duty cycle* rendah dan *step-up* pada *duty cycle* tinggi. Meskipun nilai tegangan output keduanya relatif sebanding, SEPIC menunjukkan performa yang lebih baik dari sisi kualitas gelombang karena memiliki osilasi lebih kecil, waktu stabil lebih cepat, komponen AC lebih rendah, serta harmonisa yang lebih halus. Sementara itu, Cúk converter menunjukkan *ripple* dan harmonisa *switching* yang lebih dominan, terutama pada *duty cycle* rendah hingga menengah. Dengan demikian, SEPIC lebih direkomendasikan untuk aplikasi yang membutuhkan tegangan DC yang stabil, bersih, dan minim ripple.

Kata kunci: Cúk converter, SEPIC, *duty cycle*, tegangan output, FFT, *ripple*.

I. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi elektronika daya (*power electronics*) terus mengalami peningkatan yang pesat seiring dengan kebutuhan sistem konversi energi listrik yang semakin efisien, fleksibel, dan andal. Konverter DC-DC menjadi komponen kunci dalam berbagai aplikasi modern, seperti sistem energi

terbarukan, kendaraan listrik, perangkat elektronik portabel, serta sistem otomasi industri. Dalam implementasinya, performa konverter sangat ditentukan oleh kemampuannya dalam menjaga kestabilan tegangan output terhadap variasi kondisi operasi, termasuk perubahan parameter kendali.[1][2]

Di antara berbagai topologi konverter DC-DC *non-isolated*, Cúk converter dan *Single-Ended Primary*

Inductance Converter (SEPIC) merupakan dua konfigurasi yang banyak diteliti karena kemampuannya dalam menghasilkan tegangan output baik lebih tinggi maupun lebih rendah dari tegangan input. Cúk converter dikenal memiliki keunggulan dalam menghasilkan arus input dan output yang kontinu serta *ripple* arus yang rendah, sehingga cocok untuk aplikasi dengan kebutuhan kestabilan tinggi. Sementara itu, SEPIC converter menawarkan fleksibilitas dalam menghasilkan tegangan output dengan polaritas yang sama terhadap input, serta kemudahan dalam pengaturan tegangan melalui pengendalian *duty cycle* [1][2][3][4].

Duty cycle merupakan parameter utama dalam pengendalian konverter DC-DC yang secara langsung mempengaruhi rasio konversi tegangan. Variasi *duty cycle* akan menentukan karakteristik tegangan output yang dihasilkan, termasuk linearitas, kestabilan, serta efisiensi sistem. Oleh karena itu, analisis hubungan antara *duty cycle* dan tegangan output menjadi aspek penting dalam desain dan optimasi konverter.

Dalam beberapa penelitian terbaru di bidang elektronika daya, fokus kajian tidak hanya pada peningkatan efisiensi, tetapi juga pada karakterisasi performa konverter terhadap variasi parameter kendali. Studi-studi mutakhir menunjukkan bahwa topologi konverter seperti Cúk dan SEPIC memiliki respon yang berbeda terhadap perubahan *duty cycle*, terutama dalam hal sensitivitas tegangan output, *ripple*, serta stabilitas sistem pada berbagai kondisi beban. Penelitian terkini juga menyoroti pentingnya analisis komparatif antar topologi untuk menentukan konfigurasi yang paling sesuai dalam aplikasi tertentu, seperti pada sistem energi terbarukan berbasis panel surya dan sistem penyimpanan energi.[5][6][7][8]

Meskipun telah banyak penelitian yang membahas masing-masing topologi secara terpisah, kajian yang secara khusus membandingkan karakteristik tegangan output antara Cúk converter dan SEPIC terhadap variasi *duty cycle* masih relatif terbatas, terutama dalam pendekatan analisis yang sistematis dan terintegrasi. Kesenjangan ini menjadi penting untuk diisi guna memberikan pemahaman yang lebih komprehensif terkait keunggulan dan keterbatasan masing-masing konverter dalam kondisi operasional yang dinamis.

Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini bertujuan untuk melakukan analisis komparatif terhadap karakteristik tegangan output pada Cúk converter dan SEPIC terhadap variasi siklus kerja (*duty cycle*) dengan menggunakan pendekatan simulasi berbasis komputer, pendekatan simulasi digunakan untuk mengkondisikan parameter komponen dan kondisi operasional secara ideal, sehingga perbandingan performa kedua converter dapat dilakukan secara lebih terukur, objektif, dan sistematis. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi ilmiah dalam bentuk pemetaan karakteristik performa kedua konverter, serta menjadi

referensi dalam pemilihan topologi yang optimal sesuai dengan kebutuhan aplikasi.

II. METODE PENELITIAN

Pada penelitian ini, dua jenis konverter DC-DC non-isolated, yaitu Cúk converter dan *Single-Ended Primary Inductance Converter* (SEPIC), dirancang dan dianalisis dengan menggunakan parameter yang dibuat setara untuk menjamin validitas dan objektivitas dalam proses perbandingan. Penyamaan parameter ini bertujuan untuk memastikan bahwa perbedaan karakteristik tegangan output yang diamati semata-mata disebabkan oleh perbedaan topologi konverter, bukan oleh variasi kondisi operasional atau nilai komponen.

Parameter utama yang digunakan dalam perancangan meliputi tegangan input (V_s) yang dijaga konstan selama proses simulasi, nilai induktor (L) yang disesuaikan untuk menjamin operasi dalam kondisi *continuous conduction mode* (CCM), serta kapasitor (C) yang dipilih berdasarkan pertimbangan untuk meminimalkan *ripple* tegangan output. Selain itu, frekuensi *switching* (f_s) ditetapkan pada nilai tertentu yang sama untuk kedua konverter guna menghindari pengaruh variasi frekuensi terhadap performa sistem. Beban yang digunakan berupa beban resistif murni (R) dengan nilai tetap, sehingga karakteristik respon tegangan output dapat diamati secara konsisten terhadap perubahan *duty cycle*.

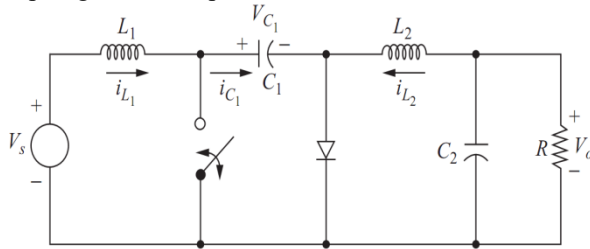
Pada Cúk converter, konfigurasi rangkaian terdiri dari dua induktor, satu kapasitor kopling (*energy transfer capacitor*), satu dioda, dan satu saklar aktif, yang memungkinkan transfer energi melalui kapasitor dengan polaritas tegangan output yang berlawanan terhadap input. Sementara itu, pada SEPIC converter, rangkaian juga terdiri dari dua induktor (atau satu induktor terkopel), satu kapasitor kopling, dioda, dan saklar aktif, namun dengan konfigurasi yang menghasilkan tegangan output dengan polaritas yang sama terhadap input[1][2].

Nilai komponen seperti induktor dan kapasitor ditentukan melalui pendekatan analitis berdasarkan persamaan dasar konverter DC-DC serta mempertimbangkan batas *ripple* arus dan tegangan yang diizinkan. Selain itu, seluruh komponen diasumsikan ideal pada tahap awal simulasi untuk memfokuskan analisis pada karakteristik dasar masing-masing topologi. Dengan pendekatan ini, desain rangkaian yang digunakan mengacu pada konfigurasi standar yang banyak digunakan dalam literatur elektronika daya, sehingga hasil penelitian dapat dibandingkan dan divalidasi dengan penelitian sebelumnya.

a) Rangkaian Cúk converter

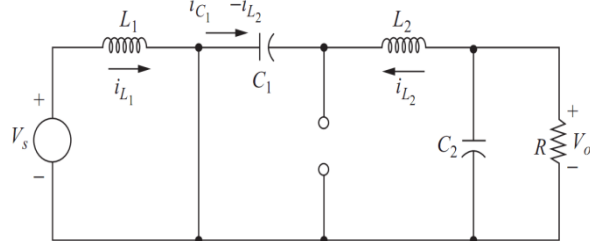
Cúk converter merupakan salah satu topologi konverter DC-DC non-isolated yang mampu menghasilkan tegangan output yang lebih tinggi maupun lebih rendah dibandingkan tegangan input dengan karakteristik polaritas output yang berlawanan

terhadap input. Secara umum, Cúk converter Gambar 1 terdiri dari dua induktor (L_1 dan L_2), satu kapasitor kopling (C_1), satu kapasitor output (C_2), satu dioda, dan satu saklar aktif (umumnya MOSFET). Kapasitor kopling berfungsi sebagai media transfer energi utama antara sisi input dan output, sehingga mekanisme perpindahan energi pada konverter ini berbeda dengan topologi buck maupun boost konvensional.

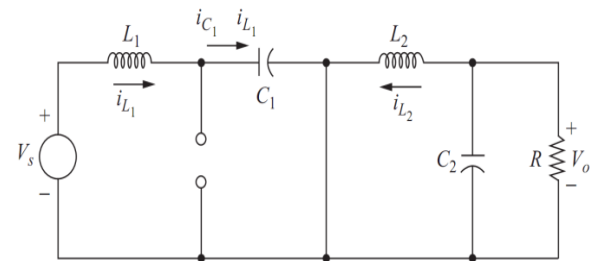


Gambar 1. Rangkaian Cúk converter

Prinsip kerja Cúk converter dapat dijelaskan melalui dua kondisi operasi utama dalam satu periode switching, yaitu saat saklar dalam kondisi ON dan OFF. Pada saat saklar ON Gambar 2, energi dari sumber disimpan dalam induktor input (L_1), sementara kapasitor kopling melepaskan energi ke induktor output (L_2) dan beban. Sebaliknya, pada saat saklar OFF Gambar 3, energi yang tersimpan dalam induktor input ditransfer ke kapasitor kopling, sedangkan induktor output tetap menyuplai energi ke beban (R). Proses ini berlangsung secara periodik sehingga menghasilkan tegangan output yang stabil.



Gambar 2. Rangkaian Cúk converter ON



Gambar 3. Rangkaian Cúk converter OFF

Dalam kondisi steady-state dan asumsi komponen ideal serta operasi dalam *continuous conduction mode* (CCM), hubungan antara tegangan output dan *duty cycle* pada Cúk converter dapat dinyatakan sebagai pada persamaan (1) berikut:

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

Keterangan:

V_s = Tegangan sumber (Volt)

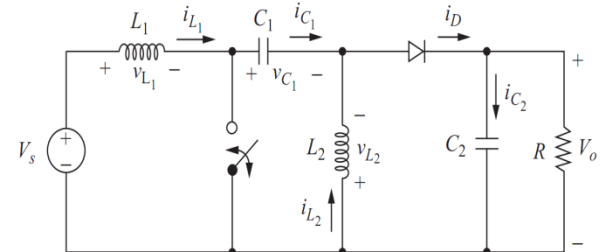
D = *Duty cycle*

V_o = Tegangan output (Volt)

b) Rangkaian *Single-Ended Primary Inductance Converter* (SEPIC)

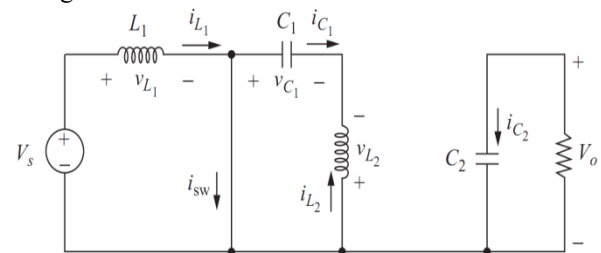
SEPIC merupakan salah satu topologi konverter DC-DC *non-isolated* yang memiliki kemampuan untuk menghasilkan tegangan output yang dapat lebih besar maupun lebih kecil dari tegangan input, dengan keunggulan utama berupa polaritas tegangan output yang sama dengan tegangan input. Karakteristik ini menjadikan SEPIC converter banyak digunakan pada aplikasi yang membutuhkan fleksibilitas tegangan tanpa perubahan polaritas, seperti sistem energi terbarukan, perangkat portabel, dan sistem catu daya adaptif.

Secara struktur, SEPIC converter Gambar 4, terdiri dari dua induktor (L_1 dan L_2) yang dapat berupa induktor terpisah atau induktor kopel sebuah kapasitor kopling (C_1), dioda, saklar aktif (umumnya MOSFET), serta kapasitor output (C_2). Kapasitor kopling berperan sebagai elemen utama dalam proses transfer energi dari sisi input ke sisi output, sehingga memungkinkan isolasi DC antara sumber dan beban.



Gambar 4. Rangkaian

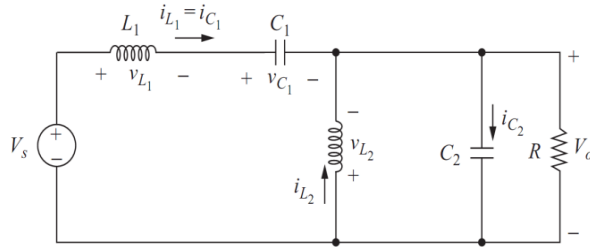
Prinsip kerja SEPIC converter dapat dijelaskan melalui dua kondisi operasi utama dalam satu siklus switching, yaitu kondisi saat saklar dalam keadaan ON dan OFF. Pada saat saklar dalam kondisi ON Gambar 5, arus mengalir dari sumber menuju induktor input dan energi disimpan dalam medan magnet induktor tersebut. Pada saat yang sama, kapasitor kopling mengisi induktor kedua, sementara dioda berada dalam kondisi *reverse bias* sehingga tidak menghantarkan arus ke beban.



Gambar 5. Rangkaian

Sebaliknya, ketika saklar dalam kondisi OFF Gambar 6, energi yang tersimpan dalam kedua

induktor (L_1 dan L_2) dilepaskan dan dialirkan melalui dioda menuju beban dan kapasitor output. Pada fase ini, dioda menjadi *forward bias* dan memungkinkan transfer energi ke sisi output. Proses ini berlangsung secara periodik dengan frekuensi *switching* tertentu sehingga menghasilkan tegangan output yang relatif stabil.



Gambar 6. Rangkaian

Dalam kondisi *steady-state*, dengan asumsi komponen ideal dan operasi dalam *continuous conduction mode* (CCM), hubungan antara tegangan output dan *duty cycle* pada SEPIC converter dapat dirumuskan seperti pada persamaan (2) sebagai berikut:

$$V_o = V_s \left(\frac{D}{1-D} \right) \quad (2)$$

Keterangan:

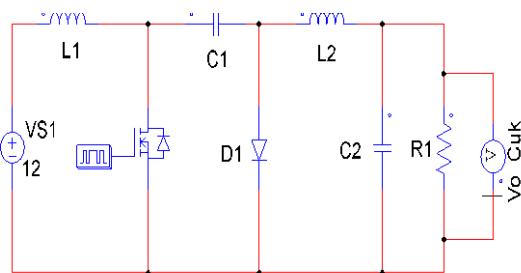
V_s = Tegangan sumber (Volt)

D = *Duty cycle*

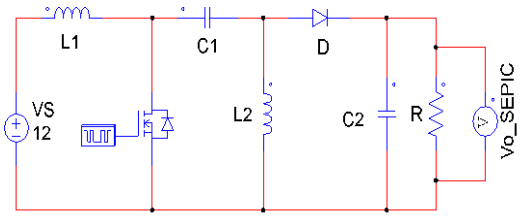
V_o = Tegangan output (Volt)

c) Pengujian Simulasi

Pengujian komparatif antara Cuk converter dan SEPIC pada penelitian ini dilakukan dengan menggunakan metode simulasi, pendekatan simulasi dipilih karena mampu memberikan kondisi pengujian yang lebih terkendali, konsisten, dan terukur. Melalui simulasi, setiap parameter rangkaian dapat ditetapkan dengan nilai yang sama sesuai dengan Tabel 1, sehingga perbandingan karakteristik kedua konverter dapat dilakukan secara objektif. Selain itu, simulasi memungkinkan proses pengamatan respons tegangan output terhadap perubahan *duty cycle* dilakukan secara sistematis tanpa dipengaruhi oleh faktor eksternal seperti toleransi komponen, rugi-rugi sambungan, perubahan temperatur, maupun ketidakstabilan sumber tegangan.



Gambar 7. Rangkaian simulasi CUK Converter



Gambar 8. Rangkaian simulasi SEPIC Converter

Tabel.1 Nilai komponen CUK dan SEPIC

Komponen	CUK	SEPIC
L1	1mH	1mH
L2	1mH	1mH
C1	47uF	47uF
C2	470uF	470uF
fs	25 kHz	25 kHz
Vs	12 V	12 V
R	50Ω	50Ω

Pada penelitian ini, fokus utama analisis diarahkan pada pengaruh perubahan *duty cycle* terhadap perubahan tegangan output yang dihasilkan oleh masing-masing konverter. *Duty cycle* merupakan parameter penting dalam sistem konverter DC-DC berbasis pensaklaran, karena menentukan lamanya saklar berada dalam kondisi aktif selama satu periode *switching*, perubahan *duty cycle* akan memengaruhi proses penyimpanan energi pada induktor serta proses transfer energi menuju sisi output. Oleh karena itu, variasi *duty cycle* menjadi variabel utama yang digunakan untuk mengevaluasi respons Cuk converter dan SEPIC dalam menghasilkan tegangan keluaran.

Dalam pengujian ini, titik referensi pengukuran pada beban Cuk converter dipasang secara terbalik seperti pada Gambar 7 agar tegangan output yang terbaca bernilai positif, hal ini dilakukan untuk memudahkan proses komparasi dengan SEPIC converter yang secara alami menghasilkan tegangan output positif seperti ditunjukkan pada Gambar 8. Pembalikan titik referensi pengukuran tersebut tidak mengubah prinsip kerja dasar Cuk converter, melainkan hanya mengubah cara pembacaan polaritas tegangan pada sisi beban. Dengan demikian, nilai tegangan output Cuk converter dapat dianalisis berdasarkan besar magnitudonya, sehingga lebih mudah dibandingkan dengan tegangan output SEPIC pada variasi *duty cycle* yang sama seperti pada Tabel 1.

Selain menganalisis nilai tegangan output rata-rata, penelitian ini juga mengamati bentuk gelombang tegangan output sebagai fungsi waktu. Analisis gelombang output terhadap waktu dilakukan untuk melihat kestabilan keluaran, pola *ripple*, dan karakteristik transien yang terjadi pada masing-masing konverter. Tegangan output pada sistem konverter DC-DC tidak sepenuhnya berbentuk DC ideal, karena proses pensaklaran menghasilkan komponen riak atau *ripple* pada tegangan keluaran. Oleh karena itu, pengamatan terhadap kurva tegangan output terhadap waktu menjadi penting untuk menilai kualitas sinyal output yang dihasilkan.

Bentuk gelombang tegangan output juga diamati dengan menggunakan simulasi *Fast Fourier Transform* (FFT). Analisis FFT digunakan untuk mengubah sinyal tegangan output dari domain waktu menjadi domain frekuensi. Melalui analisis ini, komponen frekuensi yang terkandung dalam gelombang output dapat diidentifikasi secara lebih jelas. Pada konverter DC-DC berbasis switching, gelombang output umumnya mengandung komponen DC sebagai komponen utama serta komponen harmonisa yang muncul akibat proses pensaklaran. Komponen harmonisa tersebut biasanya berkaitan dengan frekuensi *switching* dan kelipatannya.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan hasil pengujian simulasi pada Tabel 2, perubahan *duty cycle* memberikan pengaruh yang signifikan terhadap tegangan output pada Cúk converter dan SEPIC converter. Pengujian dilakukan pada variasi *duty cycle* 0,1 sampai 0,9 dengan parameter rangkaian yang sama, sehingga perbedaan hasil yang diperoleh dapat dikaitkan dengan karakteristik masing-masing topologi converter. Hasil pengujian menunjukkan bahwa tegangan output kedua converter meningkat seiring dengan bertambahnya nilai *duty cycle*, baik pada Cúk converter maupun SEPIC converter. Data hasil simulasi menunjukkan tegangan output Cúk converter meningkat dari 1,8748 V pada *duty cycle* 0,1 menjadi 108,3203 V pada *duty cycle* 0,9. Sementara itu, tegangan output SEPIC converter meningkat dari 1,8484V menjadi 108,1663V pada rentang *duty cycle* yang sama.

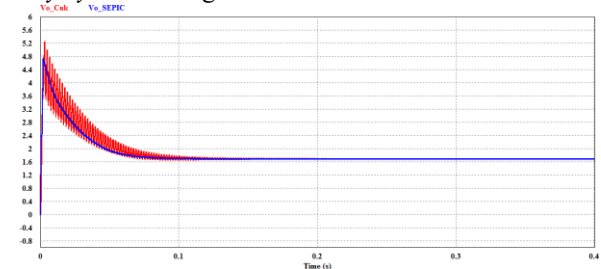
Pada *duty cycle* rendah, yaitu 0,1 sampai 0,4, tegangan output kedua converter masih berada di bawah tegangan sumber 12 V, sehingga converter bekerja pada kondisi step-down. Pada *duty cycle* 0,5, tegangan output kedua converter mendekati nilai tegangan input, yaitu 12,3169 V untuk Cúk converter dan 12,2465V untuk SEPIC converter. Kondisi ini menunjukkan bahwa *duty cycle* 0,5 merupakan titik transisi dari mode penurun tegangan menuju mode penaik tegangan. Selanjutnya, pada *duty cycle* 0,6 sampai 0,9, kedua converter bekerja pada kondisi step-up, ditunjukkan dengan tegangan output yang lebih besar dari tegangan input.

Tabel 2. Perubahan *Duty cycle* dan Tegangan Output

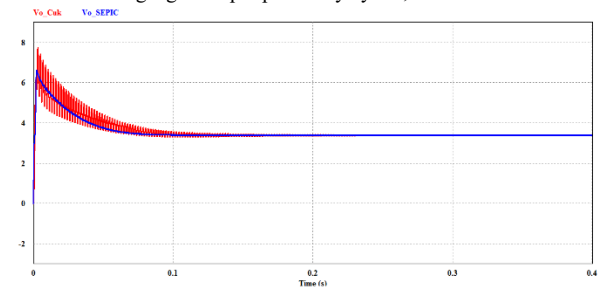
No	<i>Duty cycle</i>	-Vo Cúk (Volt)	Vo Sepic (Volt)
1	0,1	1,8748	1,8484
2	0,2	3,6151	3,5673
3	0,3	5,5279	5,4517
4	0,4	8,3296	8,3056
5	0,5	12,3169	12,2465
6	0,6	18,4040	18,3553
7	0,7	28,5311	28,4486
8	0,8	48,7017	47,5947
9	0,9	108,3203	108,1663

Kenaikan tegangan output terhadap *duty cycle* bersifat nonlinier. Hal ini terlihat dari peningkatan

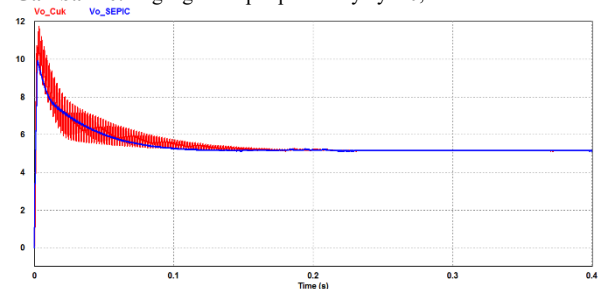
tegangan yang semakin tajam ketika *duty cycle* mendekati nilai 1. Pada Cúk converter, tegangan output meningkat dari 48,7017 V pada *duty cycle* 0,8 menjadi 108,3203 V pada *duty cycle* 0,9. Pola yang sama juga terjadi pada SEPIC converter, yaitu dari 47,5947 V menjadi 108,1663 V. Fenomena ini sesuai dengan karakteristik dasar converter tipe buck-boost, di mana rasio tegangan output semakin besar ketika *duty cycle* meningkat.



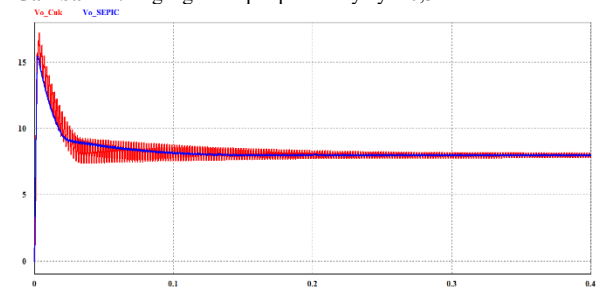
Gambar 9. Tegangan output pada duty cycle 0,1



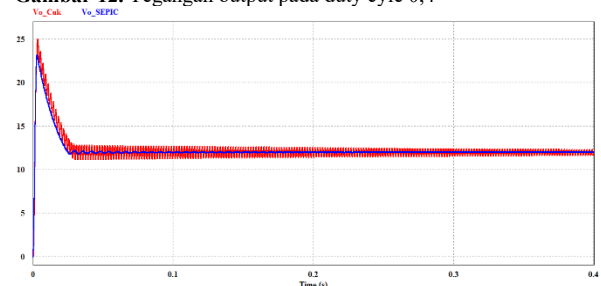
Gambar 10. Tegangan output pada duty cycle 0,2



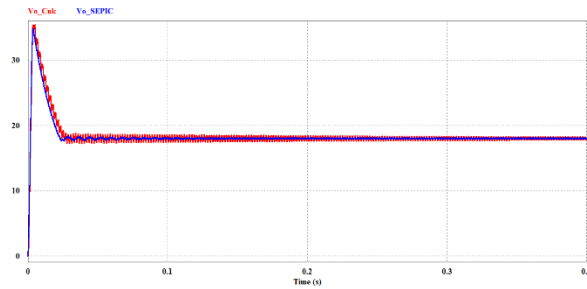
Gambar 11. Tegangan output pada duty cycle 0,3



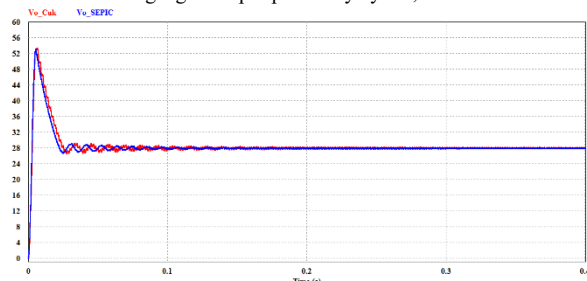
Gambar 12. Tegangan output pada duty cycle 0,4



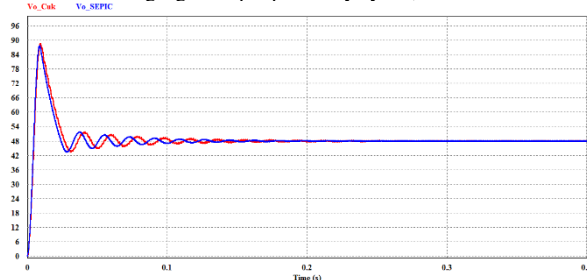
Gambar 13. Tegangan output pada duty cycle 0,5



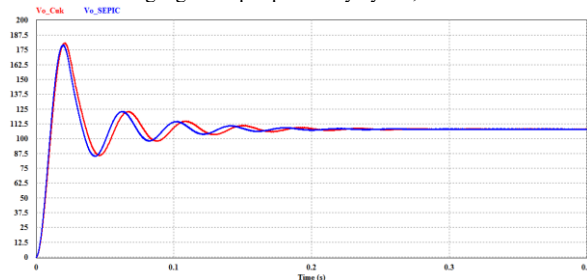
Gambar 14. Tegangan output pada duty cycle 0,6



Gambar 15. Tegangan output pada duty cycle 0,7



Gambar 16. Tegangan output pada duty cycle 0,8



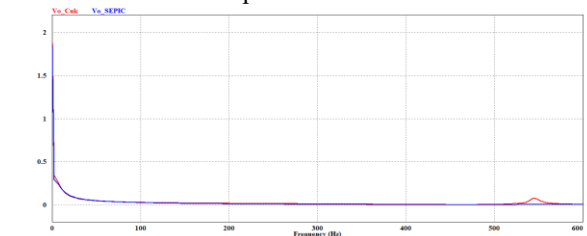
Gambar 17. Tegangan output pada duty cycle 0,9

Berdasarkan bentuk gelombang, SEPIC memiliki karakter output yang lebih halus dibandingkan Cuk converter, terutama pada *duty cycle* rendah hingga menengah. Hal ini terlihat dari amplitudo *ripple* dan osilasi SEPIC yang lebih kecil. Cuk converter cenderung menghasilkan *ripple* yang lebih nyata karena karakter transfer energi melalui kapasitor kopling dan interaksi antara induktor serta kapasitor output. Pada grafik, perbedaan ini tampak dari gelombang merah yang lebih berosilasi dibandingkan gelombang biru.

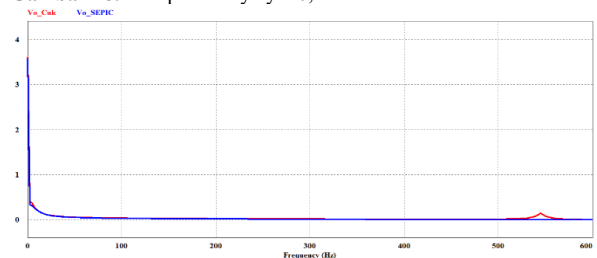
Dari sisi *overshoot*, Cuk umumnya memiliki lonjakan awal yang sedikit lebih besar daripada SEPIC, khususnya pada *duty cycle* 0,1 sampai 0,4. Pada *duty cycle* 0,5 sampai 0,7, respons keduanya hampir sama. Namun, pada *duty cycle* tinggi 0,8 dan 0,9, perbedaan antara keduanya menjadi lebih kecil karena kedua sistem sama-sama mengalami ringing

besar. Dengan demikian, peningkatan *duty cycle* lebih berpengaruh terhadap membesarnya overshoot dan waktu stabil dibandingkan perbedaan topologi itu sendiri.

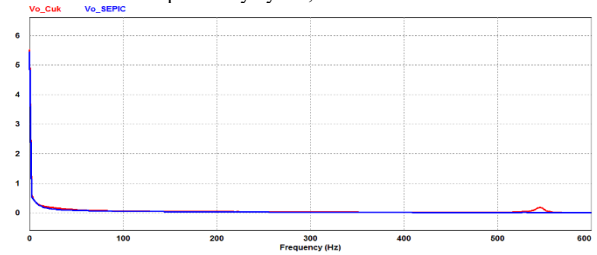
Dari sisi waktu mencapai kestabilan, SEPIC cenderung sedikit lebih cepat stabil pada beberapa *duty cycle* awal karena redamannya lebih baik. Cuk membutuhkan waktu sedikit lebih panjang untuk meredam ripple, terutama pada *duty cycle* 0,3 dan 0,4. Namun, pada *duty cycle* 0,5 sampai 0,7, keduanya menunjukkan waktu stabil yang hampir sama. Pada *duty cycle* 0,8 dan 0,9, waktu stabil meningkat signifikan untuk kedua konverter akibat munculnya osilasi transien beramplitudo besar.



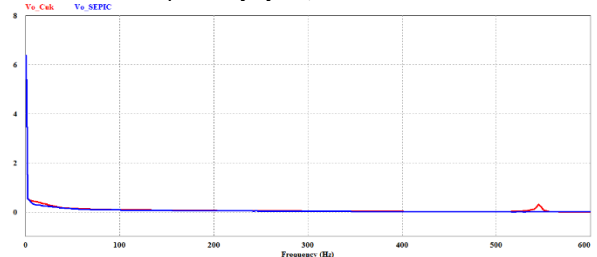
Gambar 18. FFT pada duty cycle 0,1



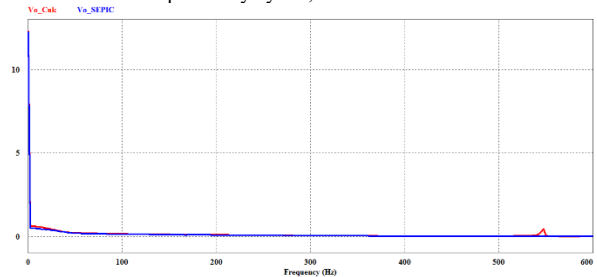
Gambar 19. FFT pada duty cycle 0,2



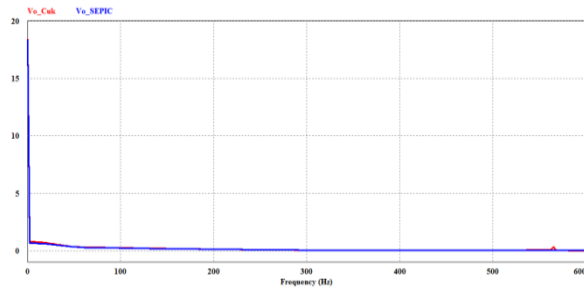
Gambar 20. FFT pada duty cycle 0,3



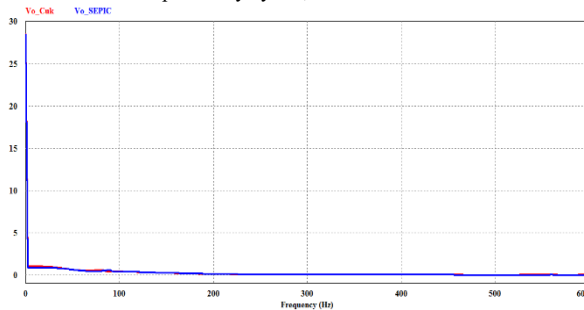
Gambar 21. FFT pada duty cycle 0,4



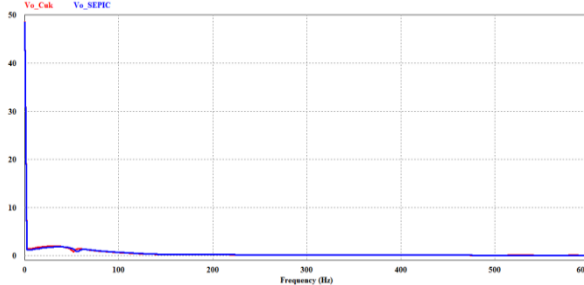
Gambar 22. FFT pada duty cycle 0,5



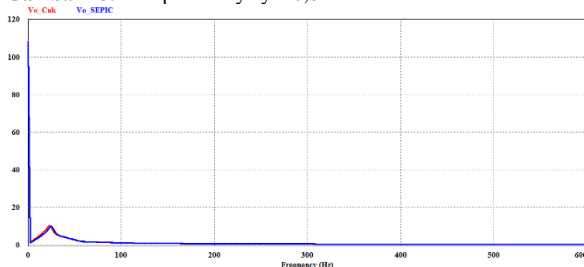
Gambar 23. FFT pada duty cycle 0,6



Gambar 24. FFT pada duty cycle 0,7



Gambar 25. FFT pada duty cycle 0,8



Gambar 26. FFT pada duty cycle 0,9

Berdasarkan hasil analisis FFT dari Gambar 18 hingga Gambar 26, peningkatan *duty cycle* pada Cúk converter dan SEPIC menyebabkan kenaikan komponen DC tegangan output secara signifikan. Hal ini menunjukkan bahwa kedua converter mampu meningkatkan tegangan output sesuai dengan kenaikan *duty cycle*. Namun, kualitas output tidak hanya ditentukan oleh besarnya komponen DC, tetapi juga oleh rendahnya komponen AC yang muncul pada spektrum frekuensi.

Pada *duty cycle* rendah hingga menengah, komponen AC pada kedua converter relatif kecil, tetapi Cúk converter memperlihatkan puncak harmonisa yang lebih jelas pada frekuensi sekitar 520–560 Hz. Hal ini menunjukkan bahwa ripple switching pada Cúk lebih dominan dibandingkan SEPIC. Sebaliknya, SEPIC memiliki spektrum yang lebih

halus dan komponen AC yang lebih rendah, sehingga tegangan outputnya lebih mendekati karakteristik DC murni.

Pada *duty cycle* tinggi, khususnya 0,8 dan 0,9, komponen DC meningkat tajam, tetapi diikuti oleh peningkatan komponen AC frekuensi rendah. Kondisi ini menunjukkan adanya kecenderungan osilasi atau resonansi yang lebih besar, sehingga pengoperasian converter pada *duty cycle* sangat tinggi perlu disertai desain filter dan sistem kontrol yang lebih baik.

Secara keseluruhan, SEPIC menunjukkan performa yang lebih baik dibandingkan Cúk converter karena menghasilkan gelombang output yang lebih halus, amplitudo osilasi lebih kecil, waktu stabil lebih cepat, serta komponen AC, *ripple*, dan harmonisa yang lebih rendah. Sebaliknya, Cúk converter cenderung memiliki respons transien yang lebih berosilasi dan kandungan harmonisa switching yang lebih terlihat, terutama pada *duty cycle* rendah hingga menengah. Namun, pada *duty cycle* tinggi, kedua konverter sama-sama mengalami peningkatan *overshoot* dan waktu stabil, sehingga diperlukan optimasi komponen pasif atau pengendalian tertutup untuk memperoleh tegangan DC yang lebih bersih, stabil, dan minim *ripple*.

IV. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil simulasi, variasi *duty cycle* berpengaruh signifikan terhadap tegangan output Cúk converter dan SEPIC. Kedua konverter mampu bekerja sebagai step-down pada *duty cycle* rendah dan step-up pada *duty cycle* tinggi, dengan peningkatan tegangan output yang bersifat nonlinier. Pada rentang *duty cycle* 0,1–0,9, tegangan output Cúk meningkat dari 1,8748 V menjadi 108,3203 V, sedangkan SEPIC meningkat dari 1,8484 V menjadi 108,1663 V. Meskipun kemampuan konversi tegangan keduanya relatif sebanding, SEPIC menunjukkan performa yang lebih baik karena menghasilkan gelombang output yang lebih halus, osilasi lebih kecil, waktu stabil lebih cepat, serta komponen AC, *ripple*, dan harmonisa yang lebih rendah. Dengan demikian, SEPIC lebih direkomendasikan untuk aplikasi yang membutuhkan tegangan DC yang stabil, bersih, dan minim ripple.

Penelitian selanjutnya disarankan untuk melakukan validasi melalui pengujian perangkat keras agar hasil simulasi dapat dibandingkan dengan kondisi nyata. Selain itu, analisis perlu diperluas dengan menambahkan parameter kuantitatif seperti efisiensi, *ripple factor*, *overshoot*, settling time, dan *steady-state error*. Pengujian juga dapat dilakukan pada variasi beban dan tegangan input yang berbeda. Pada *duty cycle* tinggi, diperlukan optimasi nilai induktor, kapasitor, filter output, serta penerapan sistem kendali tertutup untuk mengurangi *overshoot*, osilasi, dan harmonisa sehingga kualitas tegangan output semakin baik.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] W. Hart Danial, *Power Electronics*. 2010.
- [2] *POWER ELECTRONICS Academic Press Series in Engineering*.
- [3] D. C. Mode, “Discontinuous Conduction Mode and Performance Evaluation,” 2021.
- [4] N. Salem, L. Almatrafi, B. Shigdar, and B. Alaidaroos, “Analysis and Design of Various Types of DC-DC Converters: A Comprehensive Study,” *21st Int. Learn. Technol. Conf. Real. Sci. Fict. Educ. L T 2024*, pp. 179–184, 2024, doi: 10.1109/LT60077.2024.10469333.
- [5] R. A. Akisa, “Peningkatan Efisiensi SEPIC Converter dengan MPPT Incremental Conductance pada Panel Surya,” *JTT (Jurnal Teknol. Terpadu)*, vol. 11, no. 1, pp. 73–80, 2023, doi: 10.32487/jtt.v11i1.1602.
- [6] J. Sesoca, B. F. Ratih Rahayu, and B. Firmanto, “Analisis Perbandingan Konverter Cuk, Sepic, Zeta Pada Sistem Solar Panel Dengan Mppt Incremental Conductance,” *Sist. J. Ilmu Ilmu Tek.*, vol. 20, no. 3, p. 48, 2024.
- [7] L. Jatav, N. Sharma, and A. Sharma, “Closed-Loop Performance Evaluation of Boost, Cuk and Sepic Dc – Dc Converters Using Simulation-Based Analysis,” vol. 9, no. 10, pp. 1328–1337, 2026.
- [8] J. L. Rose and B. Sankaragomathi, “Design, Modeling, Analysis and Simulation of a SEPIC Converter,” *Middle-East J. Sci. Res.*, vol. 24, no. 7, pp. 2302–2308, 2016, doi: 10.5829/idosi.mejsr.2016.24.07.23750.