

Analisis Respon Dinamis *Buck-Boost Converter* Terhadap *Duty Cycle* dan Beban

Muhamad Ma'sum

S1 Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya

email : muhamad.19067@mhs.unesa.ac.id

Rifqi Firmansyah, Parama Diptya Widayaka, Sayyidul Aulia Alamsyah

S1 Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya

email : rifqifirmansyah@unesa.ac.id, paramawidayaka@unesa.ac.id, sayyidulalamsyah@unesa.ac.id

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis respon dinamis *buck-boost converter* terhadap variasi *duty cycle* dan perubahan beban. *Buck-boost converter* merupakan salah satu jenis konverter DC–DC yang mampu menghasilkan tegangan keluaran lebih tinggi maupun lebih rendah dari tegangan masukan melalui pengaturan nilai *duty cycle*. Pada penelitian ini, fokus analisis diarahkan pada dua aspek utama, yaitu perubahan *duty cycle* sebagai parameter kontrol dan variasi beban sebagai kondisi operasional yang memengaruhi karakteristik keluaran sistem. Pengujian dilakukan dengan menerapkan beberapa nilai *duty cycle* untuk mengamati perubahan tegangan keluaran serta respon transien yang muncul, meliputi ripple tegangan, *overshoot*, *undershoot*, *rise time*, dan *settling time*. Selain itu, variasi beban diterapkan untuk mengevaluasi stabilitas dan kemampuan konverter mempertahankan performa dinamis pada kondisi beban ringan, sedang, dan berat. Data keluaran diperoleh melalui pengukuran langsung menggunakan perangkat akuisisi sinyal dan dianalisis untuk mengetahui hubungan antara parameter kontrol dan karakteristik dinamis konverter. Hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan *duty cycle* secara umum menghasilkan kenaikan tegangan keluaran, namun juga berdampak pada perubahan respon transien, terutama pada kondisi beban berat. Sementara itu, variasi beban berpengaruh signifikan terhadap kestabilan tegangan keluaran dan nilai ripple. Kesimpulan utama menyatakan bahwa baik *duty cycle* maupun beban memiliki peran penting dalam menentukan performa dinamis *buck-boost converter*, sehingga keduanya harus dipertimbangkan dalam perancangan sistem konversi daya yang stabil dan responsif.

Kata Kunci: *Buck-Boost Converter*, Respon Dinamis, *Duty Cycle*, Variasi Beban, Konverter DC–DC, Tegangan Keluaran.

Abstract

This research examines the dynamic behavior of a buck–boost converter under variations in duty cycle and load conditions. The buck–boost converter is a DC–DC power conversion topology that enables the output voltage to be regulated to levels either higher or lower than the input voltage by controlling the duty cycle. The analysis emphasizes two primary factors: the duty cycle as the control variable and load variation as an operational condition that affects the system's output performance. Experimental evaluation is carried out by applying multiple duty cycle settings to investigate the resulting output voltage characteristics and transient responses, including voltage ripple, overshoot, undershoot, rise time, and settling time. Furthermore, different load conditions are introduced to assess the converter's voltage stability and its capability to sustain dynamic performance under light, moderate, and heavy loading. Output data are acquired through direct measurements using signal acquisition instruments and are systematically analyzed to identify the relationship between the control parameters and the converter's dynamic characteristics. The findings demonstrate that increasing the duty cycle generally leads to a higher output voltage, while simultaneously influencing the transient response, particularly under heavy load conditions. In addition, load variation significantly affects output voltage stability and ripple amplitude. The study concludes that both duty cycle and load conditions are critical determinants of the dynamic performance of a buck–boost converter and must be carefully considered in the design of power conversion systems that require stability and fast dynamic response.

Keywords: *Buck–Boost Converter, Dynamic Response, Duty Cycle, Load Variation, DC–DC Converter, Output Voltage.*

PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi elektronika yang pesat telah meningkatkan kebutuhan akan sumber tegangan searah (DC) yang stabil dan efisien. Sebagian besar perangkat elektronik modern, baik pada skala rumah tangga maupun industri, bergantung pada catu daya DC untuk mendukung kinerja sistem secara optimal. Oleh karena itu, sistem konversi daya *DC-DC* menjadi komponen penting dalam

menurunkan tegangan, sedangkan *boost converter* berfungsi menaikkan tegangan. *Buck-boost converter* memiliki keunggulan karena mampu menghasilkan tegangan keluaran yang dapat diatur lebih tinggi atau lebih rendah dari tegangan masukan melalui pengaturan *duty cycle* saklar daya[2]

Secara umum, *buck-boost converter* terdiri dari MOSFET sebagai saklar daya, induktor sebagai penyimpan energi magnetik, kapasitor sebagai penyimpan energi listrik untuk menjaga kestabilan tegangan keluaran, serta resistor sebagai beban. Prinsip kerja konverter ini didasarkan pada proses penyimpanan energi oleh induktor saat saklar dalam kondisi on dan pelepasan energi ke beban saat saklar off. Proses ini menghasilkan tegangan keluaran dengan polaritas berlawanan terhadap sumber masukan[3]).

Dalam penerapannya, kinerja *buck-boost converter* sangat dipengaruhi oleh variasi *duty cycle* dan perubahan beban. Perubahan *duty cycle* akan mengubah waktu pensaklaran MOSFET sehingga berdampak langsung pada besar tegangan keluaran. Sementara itu, perubahan beban dapat memengaruhi respon dinamis sistem, seperti munculnya *overshoot*, waktu pemulihan, dan fluktuasi tegangan keluaran. Kondisi ini menjadi perhatian penting, terutama pada sistem catu daya yang membutuhkan kestabilan tegangan dalam berbagai kondisi operasi [3]

Berdasarkan permasalahan tersebut, diperlukan analisis respon dinamis *buck-boost converter* terhadap variasi *duty cycle* dan perubahan beban untuk memahami karakteristik sistem secara menyeluruh. Penelitian ini dilakukan dalam kondisi *open-loop* dengan pengendalian *duty cycle* menggunakan sinyal PWM berfrekuensi tetap. Pendekatan yang digunakan meliputi pemodelan dan simulasi sistem untuk mengamati perubahan tegangan keluaran dari sisi kestabilan, kecepatan respon, dan karakteristik transien.

Tujuan penelitian ini adalah untuk menjelaskan prinsip kerja *buck-boost converter* sebagai sistem konversi *DC-DC*, menganalisis pengaruh variasi *duty cycle* terhadap tegangan keluaran, serta mengkaji respon dinamis sistem akibat perubahan beban. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam pengembangan kajian teoritis elektronika daya serta menjadi acuan praktis dalam perancangan sistem catu daya yang efisien dan andal pada berbagai aplikasi elektronika modern[3]

METODE

penyediaan energi listrik yang sesuai dengan kebutuhan beban [1]).

DC-DC converter berfungsi mengubah tegangan *DC* masukan menjadi tegangan *DC* keluaran dengan level tertentu, baik lebih tinggi maupun lebih rendah dari tegangan masukan. Berdasarkan karakteristik perubahan tegangannya, konverter *DC-DC* diklasifikasikan menjadi buck, boost, dan *buck-boost converter*. Buck converter digunakan untuk

Penelitian ini menerapkan metode eksperimental kuantitatif berbasis simulasi untuk mengkaji perilaku Buck-Boost Converter. Pendekatan ini dipilih karena mampu menggambarkan perubahan respons dinamis konverter secara terukur ketika *duty cycle* dan kondisi beban divariasikan. Melalui pemodelan dan simulasi pada MATLAB/Simulink, proses analisis dapat dilakukan secara sistematis sehingga karakteristik kerja konverter dapat diamati dengan lebih mendalam. Diagram alur rancangan penelitian ditunjukkan pada Gambar 1 sebagai berikut.



Gambar 1 Flowchart Rancangan Penelitian

Pada Gambar 1 menunjukkan tahapan penelitian yang

dilakukan, dimulai dari identifikasi parameter sistem, perancangan model *buck-boost converter* pada MATLAB/Simulink, penentuan variasi *duty cycle* dan beban, proses simulasi, pengambilan data tegangan dan arus keluaran, hingga tahap analisis respon dinamis sistem dan penarikan kesimpulan. Diagram alur ini memberikan gambaran sistematis mengenai prosedur penelitian yang digunakan.

Model *buck-boost converter* dirancang menggunakan perangkat lunak MATLAB/Simulink dengan memasukkan parameter utama berupa tegangan masukan, induktor, kapasitor, resistansi beban, dan frekuensi pensaklaran. Rangkaian disusun menggunakan komponen utama seperti sumber DC, saklar daya (MOSFET), dioda, induktor, kapasitor, dan beban resistif.

Untuk memperoleh data tegangan dan arus keluaran serta karakteristik transien sistem. Data hasil simulasi kemudian dianalisis untuk mengetahui pengaruh variasi *duty cycle* dan perubahan beban terhadap respon dinamis *buck-boost converter*. Parameter data hasil pengamatan disajikan dalam Tabel 1 sebagai berikut.

Tabel 1 Parameter Pengamatan Data

No	Parameter	Simbol	Satuan
1	Tegangan masukan	V_{in}	Volt (V)
2	Tegangan keluaran	V_{out}	Volt (V)
3	Arus keluaran	I_{out}	Ampere (A)
4	Arus induktor	I_L	Ampere (A)
5	<i>Duty cycle</i>	D	Persen (%)
6	Arus masukan	I_{in}	Ampere (A)
7	Waktu naik (<i>rise time</i>)	–	Detik (s)
8	Waktu tunak	–	Detik
9	(<i>settling time</i>)		(s)
10	<i>Overshoot</i>	–	Persen (%)

Tabel 1 menunjukkan parameter yang digunakan dalam proses pengamatan respon dinamis sistem. Parameter tersebut meliputi tegangan masukan, tegangan keluaran, arus keluaran, arus induktor, serta parameter respon transien seperti *rise time*, *settling time*, dan *overshoot*. Parameter ini digunakan untuk mengevaluasi performa dinamis *buck-boost converter* pada setiap kondisi pengujian.

Tabel untuk *duty cycle* yang digunakan untuk melakukan analisis respon sistem, parameter *duty cycle* yang dipakai berdasarkan pada Tabel 2 sebagai berikut.

Tabel 2 Range *Duty Cycle*

No	10%	50%	90%
1	Kondisi beban sangat ringan	Kondisi beban sedang/normal	Kondisi beban sangat berat
2	Arus kecil, panas rendah	Arus sedang, panas sedang	Arus besar, panas tinggi

Tabel 2 menunjukkan range *duty cycle* yang digunakan dalam pengujian, yaitu 10%, 50%, dan 90%. Rentang ini dipilih untuk mewakili tiga kondisi operasi yang berbeda: beban sangat ringan (10%), beban normal (50%), dan beban sangat berat (90%). Pengujian pada range *duty cycle* yang luas ini bertujuan untuk mengamati performa sistem pada kondisi minimum, normal, dan maksimum.

Teknik Analisis Data

Analisis data dilakukan untuk mengkaji pengaruh variasi *duty cycle* dan perubahan beban terhadap respon dinamis *buck-boost converter* berdasarkan hasil simulasi MATLAB/Simulink. Data tegangan, arus keluaran, dan arus induktor dianalisis untuk mengevaluasi kestabilan tegangan, regulasi keluaran, serta Mode operasi konverter diklasifikasikan menjadi dua jenis, yaitu *Continuous Conduction Mode* (CCM) dan *Discontinuous Conduction Mode* (DCM).

Respon dinamis dianalisis melalui karakteristik transien berupa *rise time*, *settling time*, dan *overshoot* akibat perubahan *duty cycle* dan beban. Efisiensi konverter dihitung dari perbandingan daya keluaran terhadap daya masukan pada setiap kondisi pengujian.

Spesifikasi *Buck-Boost Converter*

Rangkaian simulasi menggunakan rangkaian standar buck-boost dengan nilai komponen berdasarkan nilai dari jurnal rujukan. Komponen terdapat pada Tabel 3 sebagai berikut.

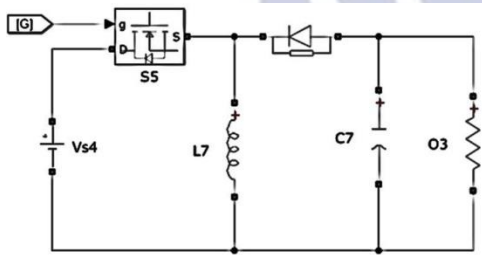
Tabel 3 Spesifikasi Komponen *Buck-Boost Converter* (Giyantara et al., 2020)

No	Komponen	Simbol	Nilai
1	Sumber DC	V_{in}	17 V
2	Min. V_{in}	V_s	7 V
3	Max. V_{in}	V_s	17 V
2	Induktor	L	220 mH / 17 V

No	Komponen	Simbol	Nilai
3	Kapasitor Input	C	470 μ F / 17 V
4	Saklar Daya (MOSFET)	Q	IRF540N
5	Dioda	D	MUR460
6	Beban	R	100 Ω
8	Frekuensi Switching	F _s	62500 Hz
9	Duty Cycle	D	0.1, 0.5, 0.9

Rancangan Model Sistem Buck-Boost Converter

Pada tahap pengujian model *Buck-Boost Converter* dimulai dari pengumpulan data parameter komponen, perancangan model *Buck-Boost Converter*, dan simulasi serta uji coba pada MATLAB/Simulink. Model rancangan *Buck-Boost Converter* yang disimulasikan pada Matlab Simulink dapat dilihat pada Gambar 2 sebagai berikut.



Gambar 2 Model Rancangan *Buck-Boost Converter* pada MATLAB/Simulink

HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan data hasil pengujian yang telah dilakukan terlihat bahwa peningkatan nilai *duty cycle* berbanding lurus dengan kenaikan magnitudo tegangan keluaran *buck-boost converter*. Hasil tersebut ditunjukkan pada Tabel 4 sebagai berikut.

Tabel 4 Hasil Pengaturan *Duty Cycle* terhadap Tegangan Keluaran

Duty Cycle	V _{in}	L (μ H)	C (μ F)	R (Ω)	V _{out}
10%	17	220	470	100	2,835
50%	17	220	470	100	16,25
90%	17	220	470	100	139,4

Pada nilai *duty cycle* yang rendah, energi yang tersimpan di dalam induktor relatif kecil sehingga tegangan keluaran yang dihasilkan juga rendah. Sebaliknya, semakin besar *duty cycle*, semakin lama waktu penyimpanan energi pada induktor, yang

menyebabkan energi yang disalurkan ke beban menjadi lebih besar.

Lalu untuk data hasil pengujian respon dinamis terhadap variasi beban R dengan menerapkan perubahan nilai beban secara mendadak dengan mempertahankan nilai *duty cycle* konstan. Hasil dari pengujian ditunjukkan pada Tabel 5 sebagai berikut.

Tabel 5 Hasil Pengaturan *Duty Cycle* terhadap Tegangan Keluaran

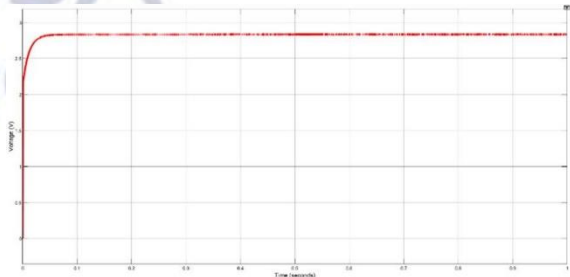
Duty Cycle	V _{in}	L (μ H)	C (μ F)	R (Ω)	V _{out}
50%	17	220	470	25	9,564
50%	17	220	470	50	11,17
50%	17	220	470	75	14,77
50%	17	220	470	100	17,04

Hasil pengujian menunjukkan bahwa perubahan beban memicu terjadinya fluktuasi sementara pada tegangan keluaran sebelum sistem kembali mencapai kondisi tunak (*steady-state*). Respon tegangan keluaran terhadap waktu memperlihatkan adanya gejala transien berupa kenaikan atau penurunan tegangan sesaat. Parameter respon dinamis, seperti *overshoot* dan *settling time*, kemudian dicatat untuk masing-masing kondisi perubahan beban.

Hasil Grafik Simulasi Pengujian

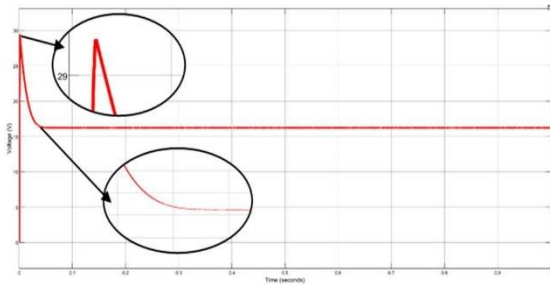
1. Hasil Grafik Pengaruh *Duty Cycle* terhadap Tegangan Keluaran

Setelah model *buck-boost converter* direalisasikan dalam Simulink, dilakukan analisis respon dinamis terhadap variasi *duty cycle* untuk mengamati pengaruhnya terhadap tegangan keluaran. Hasil simulasi respon tegangan keluaran tersebut ditampilkan melalui grafik pada scope Simulink guna memperlihatkan karakteristik dinamis sistem yang masing-masing ditunjukkan pada Gambar 3, 4, dan 5 sebagai berikut.



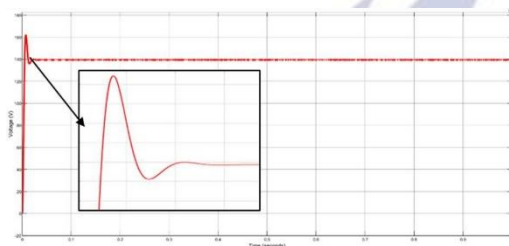
Gambar 3 Grafik Pengaturan *Duty Cycle* 10%

Pada Gambar 3 menunjukkan respon tegangan keluaran saat *duty cycle* sebesar 10%. Terlihat bahwa tegangan keluaran meningkat secara bertahap hingga mencapai kondisi stabil dengan nilai tegangan yang relatif rendah.



Gambar 4 Grafik Pengaturan *Duty Cycle* 50%

Pada Gambar 4 menunjukkan respon tegangan keluaran saat *duty cycle* sebesar 50%. Tegangan keluaran yang dihasilkan lebih tinggi dibandingkan kondisi sebelumnya, serta sistem masih menunjukkan respon transien sebelum mencapai kondisi stabil.

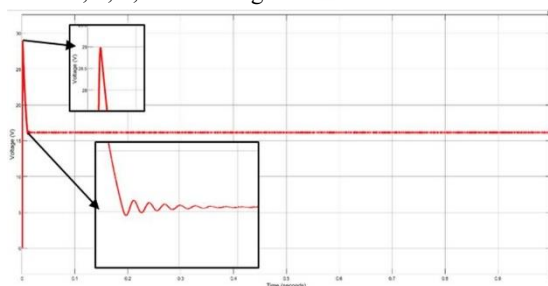


Gambar 5 Grafik Pengaturan *Duty Cycle* 90%

Pada Gambar 5 menunjukkan respon tegangan keluaran saat *duty cycle* sebesar 90%. Tegangan keluaran yang dihasilkan sangat tinggi, serta terlihat respon transien yang lebih besar sebelum mencapai kondisi stabil. Hal ini menunjukkan bahwa peningkatan *duty cycle* berpengaruh signifikan terhadap tegangan keluaran dan karakteristik respon dinamis sistem.

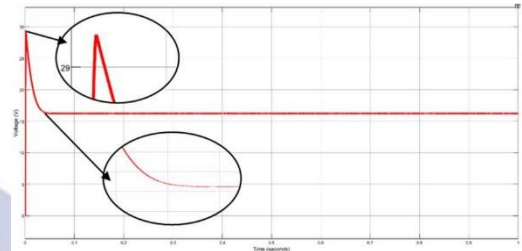
2. Hasil Grafik Pengaruh Respon Dinamis dengan Perubahan Beban

Berdasarkan hasil model *buck-boost converter* yang telah dibangun pada Tabel 5, selanjutnya dilakukan simulasi untuk menganalisis respon dinamis sistem akibat variasi beban resistif (R). Perubahan tegangan keluaran sebagai respons terhadap kondisi pembebanan tersebut disajikan dalam bentuk grafik hasil pengamatan pada scope Simulink. Masing-masing ditunjukkan pada Gambar 6, 7, 8, dan 9 sebagai berikut.



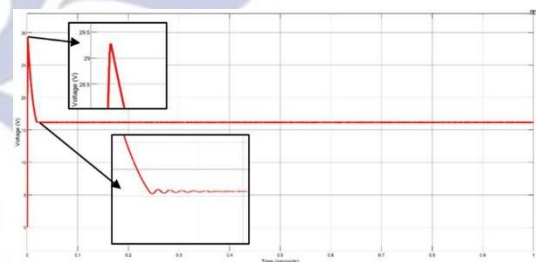
Gambar 6 Grafik Pengaruh Respon dengan Beban 25Ω

Pada Gambar 6 menunjukkan respon tegangan keluaran *buck-boost converter* pada kondisi beban sebesar 25Ω . Pada kondisi ini, arus beban yang mengalir relatif besar sehingga menyebabkan tegangan keluaran yang dihasilkan lebih rendah dibandingkan kondisi beban yang lebih tinggi. Selain itu, terlihat adanya respon transien pada awal pengoperasian sebelum sistem mencapai kondisi stabil (*steady-state*).



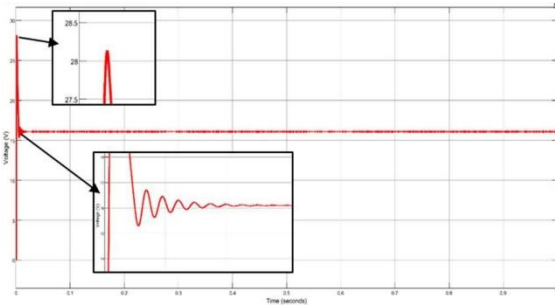
Gambar 7 Grafik Pengaruh Respon dengan Beban 50Ω

Pada Gambar 7 menunjukkan respon tegangan keluaran pada kondisi beban sebesar 50Ω . Tegangan keluaran yang dihasilkan mengalami peningkatan dibandingkan dengan kondisi beban 25Ω . Hal ini disebabkan oleh berkurangnya arus beban yang mengalir sehingga energi yang tersimpan dalam induktor dapat mempertahankan tegangan keluaran dengan lebih baik. Sistem juga menunjukkan respon transien sebelum mencapai kondisi stabil.



Gambar 8 Grafik Pengaruh Respon dengan Beban 75Ω

Pada Gambar 8 menunjukkan respon tegangan keluaran pada kondisi beban sebesar 75Ω . Tegangan keluaran yang dihasilkan semakin meningkat dibandingkan dengan kondisi sebelumnya. Respon transien masih terlihat, namun sistem mampu mencapai kondisi stabil dengan waktu pemulihan (*settling time*) yang relatif cepat. Hal ini menunjukkan bahwa sistem memiliki kestabilan yang cukup baik pada kondisi beban menengah.



Gambar 9 Grafik Pengaruh Respon dengan Beban 100 Ω

Pada Gambar 9 menunjukkan respon tegangan keluaran pada kondisi beban sebesar 100 Ω . Pada kondisi ini, arus beban yang mengalir relatif kecil sehingga tegangan keluaran yang dihasilkan menjadi paling tinggi dibandingkan kondisi beban lainnya. Selain itu, respon sistem menunjukkan karakteristik transien yang lebih kecil dan sistem dapat mencapai kondisi stabil dengan baik. Hal ini menunjukkan bahwa beban yang lebih ringan menghasilkan tegangan keluaran yang lebih tinggi dan respon sistem yang lebih stabil.

Berdasarkan Gambar 6 hingga Gambar 9 dapat disimpulkan bahwa variasi beban memiliki pengaruh signifikan terhadap tegangan keluaran dan respon dinamis *buck-boost converter*. Semakin besar nilai resistansi beban, tegangan keluaran yang dihasilkan semakin tinggi, sedangkan semakin kecil nilai resistansi beban, tegangan keluaran semakin rendah.

Analisis Kinerja Sistem Secara Keseluruhan

Secara umum, hasil penelitian menunjukkan bahwa *buck-boost converter* memiliki kinerja yang baik dalam mengatur tegangan keluaran terhadap variasi *duty cycle* dan perubahan beban. Tegangan keluaran yang dihasilkan sesuai dengan karakteristik teoritis, di mana peningkatan *duty cycle* menyebabkan kenaikan tegangan keluaran dan sebaliknya. Hal ini menegaskan bahwa sistem bekerja sesuai prinsip dasar *buck-boost converter* dan dapat dikendalikan melalui pengaturan *duty cycle*.

Dari sisi respon dinamis, perubahan beban menimbulkan respon transien berupa penurunan atau kenaikan tegangan keluaran sementara sebelum sistem kembali mencapai kondisi *steady-state*. Respon ini dipengaruhi oleh interaksi elemen penyimpan energi, yaitu induktor dan kapasitor, yang menyebabkan karakteristik respon tegangan keluaran bersifat eksponensial terhadap waktu. Meskipun demikian, sistem tetap menunjukkan tingkat kestabilan yang baik dengan waktu pemulihan yang dapat diterima.

Kinerja sistem secara keseluruhan juga dipengaruhi oleh nilai komponen utama serta sifat non-ideal komponen, seperti rugi-rugi pada saklar dan dioda serta resistansi parasitik pada induktor dan kapasitor. Faktor-faktor tersebut menyebabkan penurunan efisiensi dan memengaruhi kestabilan tegangan, terutama pada kondisi

beban berat dan *duty cycle* tinggi. Berdasarkan hasil analisis, *buck-boost converter* yang dirancang telah memenuhi fungsi konversi tegangan *DC-DC*, namun peningkatan kinerja masih dapat dicapai melalui optimasi nilai komponen dan penerapan strategi pengendalian yang lebih adaptif terhadap perubahan beban.

Keterbatasan Penelitian

Penelitian ini memiliki beberapa keterbatasan yang perlu diperhatikan sebagai bahan evaluasi dan pengembangan pada penelitian selanjutnya.

Pertama, penelitian ini dilakukan berbasis simulasi menggunakan perangkat lunak MATLAB/Simulink tanpa adanya validasi melalui implementasi perangkat keras (*hardware implementation*). Oleh karena itu, hasil yang diperoleh belum sepenuhnya merepresentasikan kondisi sistem nyata, karena pada implementasi aktual terdapat berbagai faktor nonideal, seperti rugi-rugi switching, resistansi parasitik pada komponen, serta pengaruh gangguan eksternal, yang dapat memengaruhi karakteristik dan performa konverter secara keseluruhan.

Kedua, sistem yang dikaji dalam penelitian ini masih menggunakan metode pengendalian *open-loop*, sehingga sistem belum memiliki kemampuan untuk melakukan regulasi tegangan secara otomatis dalam merespon perubahan beban maupun gangguan. Kondisi ini menyebabkan performa sistem sangat bergantung pada nilai parameter yang telah ditentukan sebelumnya dan belum mampu beradaptasi secara dinamis terhadap perubahan kondisi operasi.

Ketiga, ruang lingkup pengujian dalam penelitian ini masih terbatas pada variasi parameter tertentu, sehingga belum mencakup seluruh rentang kondisi operasi yang mungkin terjadi pada aplikasi praktis. Keterbatasan ini menyebabkan analisis yang dilakukan belum sepenuhnya menggambarkan karakteristik sistem secara komprehensif pada berbagai kondisi kerja.

Berdasarkan keterbatasan tersebut, penelitian selanjutnya direkomendasikan untuk melakukan validasi eksperimental melalui implementasi perangkat keras secara langsung, serta menerapkan metode pengendalian *closed-loop*, seperti pengendali proporsional-integral (PI) atau metode kontrol lainnya. Pendekatan tersebut diharapkan dapat meningkatkan akurasi analisis, memperbaiki performa regulasi tegangan, serta menghasilkan sistem konverter yang lebih stabil, adaptif, dan sesuai dengan kondisi operasi nyata.

PENUTUP

Simpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan yang telah dilakukan, dapat ditarik beberapa simpulan sebagai berikut.

1. *Buck-boost converter* beroperasi melalui mekanisme penyimpanan energi pada induktor ketika saklar berada dalam kondisi aktif (ON) serta pelepasan energi saat saklar berada dalam kondisi tidak aktif (OFF). Mekanisme tersebut memungkinkan terjadinya proses konversi tegangan DC ke DC, sehingga tegangan keluaran yang dihasilkan dapat bernilai lebih tinggi maupun lebih rendah dibandingkan dengan tegangan masukan.

2. Perubahan nilai *duty cycle* terbukti memberikan pengaruh langsung terhadap besarnya tegangan keluaran *buck-boost converter*. Peningkatan *duty cycle* menyebabkan kenaikan tegangan keluaran, sedangkan penurunan *duty cycle* mengakibatkan penurunan tegangan keluaran. Hubungan antara *duty cycle* dan tegangan keluaran bersifat nonlinier, terutama ketika *duty cycle* mendekati nilai batas maksimumnya.
3. Respons dinamis *buck-boost converter* terhadap variasi beban menunjukkan adanya perubahan tegangan keluaran yang bersifat transien. Pada saat beban meningkat, tegangan keluaran mengalami penurunan sementara sebelum kembali mencapai kondisi stabil, sedangkan pada saat beban menurun, tegangan keluaran mengalami kenaikan sementara. Besar kecilnya respons transien tersebut dipengaruhi oleh nilai komponen rangkaian.

Saran

Berdasarkan hasil penelitian mengenai analisis respons dinamis *buck-boost converter* terhadap variasi *duty cycle* dan perubahan beban, beberapa rekomendasi yang dapat diajukan untuk pengembangan dan penyempurnaan penelitian selanjutnya adalah sebagai berikut.

1. Penelitian lanjutan disarankan untuk mengimplementasikan sistem pengendalian tertutup (closed-loop control), seperti pengendali proporsional-integral (PI) maupun metode pengendalian lainnya, dengan tujuan meningkatkan kestabilan tegangan keluaran serta memperbaiki respons dinamis *buck-boost converter* terhadap perubahan *duty cycle* dan variasi beban.
2. Selain itu, diperlukan perancangan serta pemilihan nilai komponen rangkaian yang lebih optimal, khususnya induktor dan kapasitor, dengan mempertimbangkan besarnya riak arus, riak tegangan, serta pengaruh resistansi seri ekuivalen (equivalent series resistance/ESR). Pendekatan ini diharapkan mampu meminimalkan respons transien berupa *overshoot* dan *undershoot* pada tegangan keluaran.
3. Disarankan pula untuk melakukan pengujian pada berbagai kondisi operasi, termasuk variasi tegangan masukan dan rentang *duty cycle* yang lebih luas, guna memperoleh karakteristik kinerja *buck-boost converter* yang lebih komprehensif dan representatif terhadap beragam kondisi aplikasi.
4. Penelitian berikutnya dapat memperluas kajian terhadap perbedaan mode konduksi, yaitu *continuous conduction mode (CCM)* dan *discontinuous conduction mode (DCM)*, untuk membandingkan pengaruh masing-masing mode terhadap respons dinamis, efisiensi sistem, serta kestabilan tegangan keluaran.
5. Analisis lebih mendalam mengenai pengaruh komponen nonideal, seperti rugi-rugi konduksi pada saklar dan dioda, rugi *switching*, serta potensi terjadinya saturasi

induktor, perlu dilakukan agar hasil penelitian lebih mendekati kondisi sistem nyata dan dapat dijadikan acuan dalam perancangan konverter untuk aplikasi praktis.

6. Untuk meningkatkan validitas dan keandalan hasil penelitian, disarankan agar penelitian selanjutnya dilengkapi dengan pengujian eksperimental secara langsung, sehingga hasil simulasi dan analisis teoritis dapat diverifikasi melalui pengukuran kinerja sistem pada kondisi operasi sebenarnya

DAFTAR PUSTAKA

- Buntulayuk, H., & Samman, F. A. (2017). Rancangan DC- DC Converter untuk Penguatan Tegangan. *Jurnal JPE*, 21(2), 78–82.
- Giyantara, A., Christover, D., Tonce, Y., & Priyanto, K. (2020). Design and Implementation *Buck-boost Converter* using Arduino Mega 2560. *ICONIT2019*, 169–176.
<https://doi.org/10.5220/0009443301690176>
- Guo, Z., Qiu, Z., Wang, H., & Yu, N. (2025). Transient response enhancement method for *DC-DC* converters based on adaptive *duty cycle* adjustment. *Ain Shams Engineering Journal*, 16(11), 103687.
<https://doi.org/10.1016/j.asej.2025.103687>
- Hakim, R., Wiryajati, I. K., & Citarsa, I. B. F. (2024). EVALUASI KINERJA BUCK-BOOST KONVERTER BERBASIS KONTROLER KONVENSIONAL. *JITET*, 12(2), 1443–1449.
- Johandis. (2024). *ANALISA PENGARUH FREKUENSI DAN DUTY CYCLE TERHADAP RIPPLE TEGANGAN PADA BUCK CONVERTER*.
- Kunigar, R., Al Tahtawi, A. R., & Ilman, S. M. (2023). Desain dan Implementasi Modul Konverter *DC-DC* Jenis Buck-Boost Dengan Pengendali PID Regiantoro. *JTEIN: Jurnal Teknik Elektro Indonesia*, 4(1), 404–415.
- Monteiro, J., Fern, V., Foito, D., Cordeiro, A., Silva, J. F., & Pinto, S. (2023). A *Buck-Boost Converter* with Extended Duty-Cycle Range in the Buck Voltage Region for Renewable Energy Sources. *Electronics*, 12(584), 1–20.
- Pramudiah, S. T., Paniran, & Satiawan, I. N. S. (2018). PERANCANGAN ARUS BUCK CONVERTER BERDASARKAN BEBAN BERBASIS MIKROKONTROLER ARDUINO UNO. *Dielektrika*, 5(1), 54–63.
- Putra, N. T., Rohman, A. S., Hidayat, D., & Nugroho, T. (2021). *Rancang Bangun Sistem Buck DC-DC Converter Sebagai Sistem Transmisi Energi pada K-POWERS Berbasis PWM Mikrokontroler Arduino Nano328P*. 1–10.
- Rachman, M. C. (2018). *RANCANG BANGUN KONVERTER BUCK BOOST DENGAN SISTEM MONITORING BERBASIS LABVIEW*.
- Wahyu, E., Rasiman, R., & Endah, D. (2018). Pengembangan

Media Lemat (Laci Matematika) Baby Shark dengan menggunakan Problem Based Learning pada Berhitung Siswa. *Jurnal Ilmiah Sekolah* <https://ejournal.undiksha.ac.id/index.php/JISD/article/view/16169>

Wahyu, M., Okta, N., & Murtono, A. (2021). Analisa Rancang Bangun *Buck-Boost Converter* Untuk Sistem Charging Battery. *Jurnal Elkolind*, 8(1), 34–41. <https://doi.org/10.33795/elk.v8i1.225>

