



Analisis Pengaruh Variasi *Duty Cycle* terhadap Karakteristik Tegangan Output dan Ripple pada Buck Converter Menggunakan Simulasi MATLAB

Muhammad Ramadhani^{1*}, Ricky Afrizal Murzain², Dewi Dewanti Subrata³, Wisnu Ponco Prabowo⁴, Rahmadhani Anfasa⁵

¹⁻⁵Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Gresik, Indonesia

*Penulis Korespondensi: ramadhanimuhammad257@gmail.com

Abstract. *The use of buck converters as DC step-down voltage regulators is increasingly important in various power electronics applications. However, the quality of the output voltage is often disturbed by the presence of ripple, which is influenced by variations in the duty cycle. This study aims to analyze the effect of duty cycle variations on the output voltage and ripple of a buck converter using MATLAB/Simulink simulation. The method used is quantitative simulation by varying the duty cycle from 10% to 90% in a buck converter circuit with fixed parameters: input voltage 30 V, switching frequency 40 kHz, inductor 176.25 μ H, and capacitor 44.33 μ F. The simulation results show that the output voltage is proportional to the duty cycle, increasing from 3.245 V at D=10% to 26.82 V at D=90%. The highest ripple occurred at D=40% with a value of 0.07 V, while the lowest ripple was at D=50% with a value of 0.0003 V. These findings indicate the existence of an optimal operating point where the system works most stably. This study provides practical guidance in designing efficient and stable buck converters for applications such as battery charging and renewable energy systems.*

Keywords: *buck converter, duty cycle, ripple, MATLAB simulation, output voltage*

Abstrak. Penggunaan buck converter sebagai penurun tegangan DC semakin penting dalam berbagai aplikasi elektronika daya. Namun, kualitas tegangan keluaran sering terganggu oleh adanya riak (ripple) yang dipengaruhi oleh variasi duty cycle. Penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh variasi duty cycle terhadap tegangan keluaran dan ripple pada buck converter menggunakan simulasi MATLAB/Simulink. Metode yang digunakan adalah simulasi kuantitatif dengan memvariasikan duty cycle dari 10% hingga 90% pada rangkaian buck converter dengan parameter tetap: tegangan masukan 30 V, frekuensi switching 40 kHz, induktor 176,25 μ H, dan kapasitor 44,33 μ F. Hasil simulasi menunjukkan bahwa tegangan keluaran berbanding lurus dengan duty cycle, yaitu dari 3,245 V pada D=10% menjadi 26,82 V pada D=90%. Ripple tertinggi terjadi pada D=40% sebesar 0,07 V, sedangkan ripple terendah pada D=50% sebesar 0,0003 V. Temuan ini mengindikasikan adanya titik operasi optimal di mana sistem bekerja paling stabil. Penelitian ini memberikan panduan praktis dalam mendesain buck converter yang efisien dan stabil untuk aplikasi seperti pengisian baterai dan sistem tenaga terbarukan.

Kata kunci: siklus tugas, riak, simulasi MATLAB, tegangan keluaran.

1. LATAR BELAKANG

Di era modern saat ini, penggunaan catu daya DC semakin meluas, baik pada skala tegangan rendah, menengah, maupun tinggi. Seiring meningkatnya kebutuhan tersebut, dibutuhkan suatu sistem yang mampu mengkonversi tegangan DC dari satu level ke level lain, mirip seperti fungsi transformator pada sistem tegangan AC. Sistem ini harus mampu bekerja secara efisien agar tegangan keluarannya tetap stabil dan memiliki kualitas yang baik (Su'aidy & Harahap, 2024).

Sebagaimana yang diungkapkan oleh (Anggawan & Yuhendri, 2020) bahwa kebutuhan ini tidak hanya terbatas pada peralatan skala rumah tangga, tetapi juga mencakup bidang industri, telekomunikasi, hingga sistem tenaga listrik. Dalam konteks tersebut, keberadaan konverter DC-DC menjadi sangat penting karena mampu menyesuaikan level tegangan sesuai kebutuhan beban tanpa mengorbankan efisiensi. Salah satu topologi paling fundamental adalah

buck converter, yang berfungsi menurunkan tegangan input ke level yang lebih rendah. Penelitian oleh (Ichsan et al., 2017) menunjukkan bahwa penggunaan MOSFET pada *synchronous buck converter* dapat meningkatkan efisiensi hingga 98,47% dibandingkan dengan desain non-sinkron yang hanya mencapai 96,81%, membuktikan bahwa desain konverter memiliki pengaruh krusial terhadap performa sistem.

Tetapi, tantangan utama dalam implementasi *buck converter* adalah menjaga kestabilan tegangan keluaran dan meminimalkan riak (*ripple*). *Ripple* yang timbul akibat proses pensaklaran (*switching*) dan penyimpanan energi pada komponen reaktif seperti induktor dan kapasitor dapat berdampak serius tidak hanya pada efisiensi, tetapi juga pada kesehatan dan umur komponen yang terhubung (Huda, 2025). Dalam konteks industri dan aplikasi nyata, performa konverter DC-DC memiliki implikasi langsung terhadap keandalan dan umur panjang sistem. Pada sistem pengisian baterai lithium-ion, misalnya, tegangan berlebih dapat merusak sel baterai, sementara *ripple* yang besar terbukti secara signifikan mempercepat degradasi baterai. Penelitian terbaru (Muñoz-Torrero et al., 2025) mengungkap bahwa dampak *ripple* pada pengisian baterai komersial dapat mengurangi umur siklus hingga 15% dan meningkatkan impedansi internal (R_{it}) sebesar 43–55% setelah 1000 siklus, bahkan tanpa diikuti oleh kenaikan suhu yang signifikan. Temuan ini menegaskan bahwa *ripple* tidak hanya sekadar mengganggu stabilitas sistem sesaat, tetapi secara aktif mempercepat degradasi kimiawi internal baterai.

Di sisi lain, dalam percobaan oleh (Oruganti et al., 2025) dalam sistem energi terbarukan seperti *photovoltaic* (PV), *ripple* yang tidak terkendali pada konverter dapat mengganggu kinerja algoritma *Maximum Power Point Tracking* (MPPT), yang berujung pada penurunan efisiensi *energy harvesting*, ditandai dengan kenaikan suhu baterai dari 27,25°C menjadi 55,85°C selama pengisian, yang mengisyaratkan perlunya integrasi strategi manajemen termal yang lebih matang dalam desain konverter untuk aplikasi dunia nyata. Dengan demikian, pengendalian *ripple* tidak lagi hanya dipandang sebagai upaya meningkatkan kualitas daya semata, melainkan sebagai sebuah keharusan teknis untuk menjamin umur panjang baterai, efisiensi *harvesting* energi terbarukan, dan keberlanjutan sistem secara keseluruhan. (Anggawan & Yuhendri, 2020) mengungkapkan konverter berperan penting dalam menjaga kestabilan tegangan agar daya yang dihasilkan dapat digunakan secara optimal. Penelitian oleh (Sendi Umbu Danga Elu et al., 2025) juga menunjukkan bahwa penggunaan kontrol PID pada *synchronous buck converter* dapat meningkatkan stabilitas tegangan keluaran hingga 45,57% dibandingkan sistem tanpa kontrol.

Sejumlah penelitian terkini juga menegaskan pentingnya analisis ini. (Lucanu et al., 2025) mengembangkan metode akurat untuk menghitung *output voltage ripple* pada konverter DC-DC di berbagai mode operasi, baik *continuous conduction mode* (CCM) maupun *discontinuous conduction mode* (DCM). Penelitian lain oleh (Guo et al., 2025) menunjukkan bahwa pengaturan *duty cycle* secara adaptif mampu memperbaiki respon transien saat beban berubah, sekaligus menekan *overshoot* dan *undershoot* yang berpotensi memperbesar *ripple*. (Akca & Aktas, 2024) membandingkan berbagai topologi *buck converter* secara eksperimental dan menemukan bahwa variasi parameter komponen serta *duty cycle* sangat berpengaruh terhadap kualitas tegangan *output* dan besarnya *ripple*. Bahkan (Sani et al., 2024) menekankan bahwa *duty cycle* juga berpengaruh terhadap efisiensi konverter, di mana pengaturan yang tepat mampu mengurangi kerugian daya sekaligus menjaga kestabilan *output*.

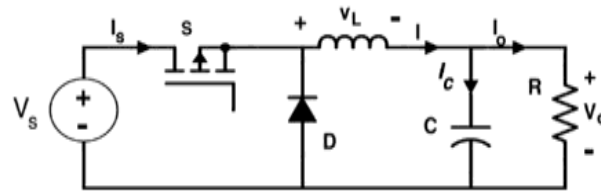
Berdasarkan urgensi dan celah penelitian yang telah diidentifikasi, penelitian ini dilakukan dengan memanfaatkan MATLAB/Simulink sebagai platform simulasi utama untuk menganalisis hubungan sistematis antara *duty cycle*, tegangan output, dan karakteristik *ripple* pada *buck converter*. Pemilihan platform ini selaras dengan pernyataan (Krishnaveni, 2021) mengungkapkan dan menekankan bahwa "*mathematical models have been adequately used in the design and control of DC-DC converters and also the mathematical models are more suitable than the physical models.*" Keunggulan simulasi MATLAB terletak pada kemampuannya untuk memodelkan perilaku dinamis konverter secara akurat tanpa memerlukan implementasi fisik yang mahal dan menyita waktu.

Berdasarkan uraian di atas, penelitian ini menjadi relevan karena untuk mengkaji secara sistematis hubungan antara variasi *duty cycle* terhadap tegangan keluaran dan *ripple* pada *buck converter*, sebagai dasar dalam menentukan parameter operasi optimal untuk aplikasi praktis dan sesuai kebutuhan *engineers* dalam mendesain dan mengoptimasi sistem *buck converter* untuk aplikasi praktis seperti *battery charger* dan *renewable energy controller*.

2. KAJIAN TEORITIS

Pengertian *Buck Converter*

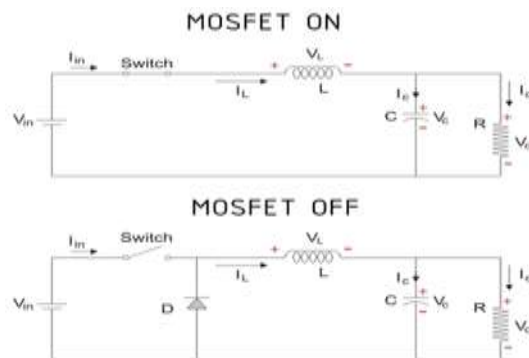
Buck Converter adalah salah satu jenis rangkaian *switched-mode power supply* (SMPS) atau DC-DC konverter yang berfungsi untuk menurunkan tegangan DC input (*step-down*) menjadi tegangan DC output yang lebih rendah (Senrianokxi, 2020). Konverter ini banyak digunakan dalam sistem tenaga seperti pengisian baterai (Mulia & Purnata, 2022) dan sistem *photovoltaic* (Ichsan et al., 2017).



Gambar 1. Rangkaian *Buck Converter*.

Prinsip Kerja *Buck converter*

Didasarkan dengan mengontrol tegangan dari sumber ke beban dengan proses pensakelaran (*switching*) MOSFET yang dikendalikan dengan sinyal *Pulse Width Modulation* (PWM). Dalam pengontrolan tersebut terdapat juga komponen lain seperti dioda sebagai alur arus alternatif yang disediakan oleh dioda dalam rangkaian konverter ketika saklar utama MOSFET dalam kondisi OFF (*freewheeling path*), induktor untuk menyimpan energi, serta kapasitor untuk meredam riak tegangan. Ketika saklar dalam kondisi ON, arus mengalir dari sumber menuju beban melalui induktor sehingga energi tersimpan dalam induktor. Saat saklar OFF, induktor melepaskan energi melalui dioda untuk menjaga arus tetap mengalir ke beban.



Gambar 2. Sistem Kerja Rangkaian *Buck Converter*.

Perubahan arus induktor (Δi_L) dalam konverter buck selama kondisi saklar ON dan OFF dapat dinyatakan sebagai:

$$(\Delta i_L)_{ON} = \frac{(V_s - V_o)DT}{L}, \text{ dan } (\Delta i_L)_{OFF} = \frac{V_o(1-D)T}{L}$$

Dari persamaan diatas dapat diketahui bahwa besar arus *ripple* pada induktor dipengaruhi oleh tegangan masukan, tegangan keluaran, *duty cycle*, serta nilai induktor yang digunakan. Hal ini sejalan dengan temuan penelitian sebelumnya (Albariqi et al., 2024; Huang et al., 2021) yang menunjukkan bahwa variasi *duty cycle* dan frekuensi *switching* berperan penting dalam menentukan besarnya arus *ripple* serta kualitas tegangan keluaran pada *buck converter*).

Duty Cycle

Duty cycle diartikan sebagai perbandingan waktu saat MOSFET dalam keadaan ON terhadap periode total *switching*. Secara matematis:

$$T_{\text{total}} = T_{\text{On}} + T_{\text{Off}}$$

$$D = \frac{T_{\text{On}}}{T_{\text{total}}}$$

Duty cycle terhadap tegangan *output* dituliskan sebagai:

$$V_{\text{Out}} = D \cdot V_{\text{in}}$$

Dalam persamaan diatas menunjukkan bahwa tegangan *output* berbanding lurus dengan *duty cycle*. Semakin besar *duty cycle*, maka tegangan *output* mendekati tegangan input (Huda, 2025).

Riak (Ripple)

Ripple tegangan output adalah getaran kecil atau fluktuasi yang masih tersisa pada tegangan keluaran *buck converter* meskipun tujuannya adalah menghasilkan tegangan DC yang rata. Jadi, meskipun rangkaian sudah dirancang untuk mengubah tegangan menjadi DC murni, tetap ada gelombang riak yang terbentuk akibat proses pensaklaran MOSFET serta cara induktor dan kapasitor menyimpan serta melepaskan energi (Farhan & Sujanarko, 2022).

Ripple tegangan output bukan hanya sekadar fluktuasi kecil pada tegangan keluaran, tetapi juga menjadi parameter penting dalam perancangan konverter daya karena memengaruhi ukuran kapasitor output yang dibutuhkan. Besarnya *ripple* dipengaruhi oleh *duty cycle*, nilai induktor, kapasitor, beban, serta mode operasi konverter baik saat bekerja di CCM (*Continuous Conduction Mode*) maupun DCM (*Discontinuous Conduction Mode*). Pada kondisi CCM, besarnya *ripple* dapat dihitung dengan pendekatan sederhana, dengan persamaan berikut:

$$\frac{\Delta V_0}{V_0} = \frac{1-D}{8f^2LC}$$

Keterangan:

D = *Duty cycle*, perbandingan waktu *switch* (MOSFET) ON terhadap total periode *switching*.

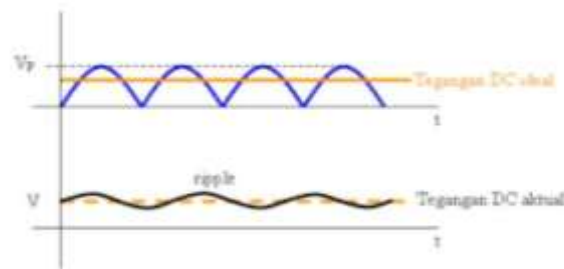
f = Frekuensi *switching* (Hz).

L = Induktor (H).

C = Kapasitor output (F).

$(1 - D)$ = Faktor sisa dari *duty cycle*, yang menunjukkan pengaruh waktu saat MOSFET OFF pada terbentuknya *ripple*.

Namun, saat konverter mendekati batas transisi ke DCM, perhitungan *ripple* menjadi lebih kompleks karena arus induktor sesekali turun hingga nol, sehingga kapasitor lebih dominan dalam menentukan bentuk riak tegangan. Dengan kata lain, tegangan *output* tidak benar-benar datar, tapi masih ada naik-turun kecil yang periodik mengikuti frekuensi switching. Jika *ripple* terlalu besar, bisa berdampak negatif pada beban, misalnya mengurangi efisiensi, mempercepat kerusakan komponen, atau mengganggu performa perangkat elektronik yang disuplai (Lucanu et al., 2025).



Gambar 3. Bentuk Grafik Ripple Tegangan DC.

3. METODE PENELITIAN



Gambar 4. Diagram Alur Penelitian.

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif melalui simulasi dengan tujuan mengkaji pengaruh saat melakukan variasi *duty cycle* terhadap tegangan keluaran dan besar *ripple* pada *buck converter*. Proses penelitian meliputi kajian literatur, penentuan parameter,

pembuatan model rangkaian dengan MATLAB/Simulink, serta pengujian melalui simulasi. Perangkat yang dipakai dalam penelitian ini mencakup:

Laptop sebagai sarana utama dalam perancangan serta pelaksanaan simulasi.

Software MATLAB/Simulink untuk membangun model *buck converter*, mengatur variasi *duty cycle* dari 10% hingga 90%, sekaligus menghasilkan data tegangan keluaran dan *ripple*.

Pemilihan variasi *duty cycle* pada rentang 10% hingga 90% didasarkan pada teori dasar *buck converter* di mana tegangan keluaran (V_o) berbanding lurus dengan *duty cycle* (D), mengikuti persamaan $V_o = D \times V_{in}$ (Huda, 2025). Rentang tersebut dipilih untuk merepresentasikan kondisi operasi dari titik tegangan rendah hingga mendekati batas linear maksimum tanpa memasuki kondisi saturasi saklar (MOSFET) yang biasanya terjadi mendekati 100% *duty cycle*. Pemilihan ini juga mengikuti pendekatan simulatif yang digunakan oleh (Krishnaveni, 2021) dan (Farhan & Sujanarko, 2022), di mana variasi bertahap pada *duty cycle* mampu menunjukkan perubahan karakteristik *ripple* dan efisiensi konverter secara representatif.

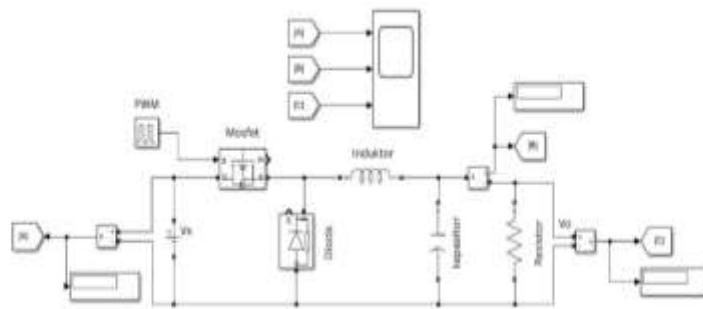
Tegangan masukan sebesar 30 V ditetapkan dengan mempertimbangkan standar umum sumber DC menengah pada sistem pengisian baterai 24 V dan konverter daya laboratorium (Lucanu et al., 2025). Frekuensi switching sebesar 40 kHz dipilih karena memberikan keseimbangan antara efisiensi konversi dan ukuran komponen pasif semakin tinggi frekuensi, semakin kecil ukuran induktor dan kapasitor yang dibutuhkan, tetapi rugi switching meningkat (Sani et al., 2024). Nilai induktor diperoleh melalui perhitungan berbasis teori *Continuous Conduction Mode* (CCM) menggunakan persamaan dasar *ripple* arus dan tegangan, sehingga memastikan arus induktor tidak turun hingga nol selama satu siklus switching.

Hasil simulasi kemudian dianalisis dengan menelaah perubahan nilai tegangan keluaran dan besarnya *ripple* pada setiap variasi *duty cycle*. Data hasil pengujian disajikan dalam bentuk grafik dan tabel untuk memberikan gambaran menyeluruh mengenai performa dan karakteristik *buck converter*, sekaligus menjadi dasar dalam menentukan titik operasi optimal yang paling efisien dan stabil.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Simulasi *Buck Converter*

Pengujian yang dilakukan dengan merancang sebuah rangkaian *Buck Converter* menggunakan MATLAB/Simulink seperti pada gambar 5, untuk mengetahui bagaimana variasi *duty cycle* memengaruhi tegangan keluaran serta besar *ripple*. Rancangan simulasi dibuat dengan menentukan parameter awal, seperti tegangan masukan, nilai induktor, kapasitor, dan beban.



Gambar 5. Desain rangkaian Buck Converter pada MATLAB.

Parameter tetap yang akan digunakan dalam penelitian ini seperti pada tabel 1.

Tabel 1. Parameter *buck conveter*.

Parameter	Nilai
Vs	30 V
Vo	15 V
P	10 W
F	40 KHz
r	0.5%

Parameter ini ditentukan berdasarkan hasil studi literatur dan penyesuaian dengan tujuan penelitian, yaitu menganalisis pengaruh variasi *duty cycle* terhadap tegangan keluaran dan *ripple* pada *buck converter*.

Penentuan nilai komponen utama berupa resistor, induktor, dan kapasitor yang akan digunakan pada rangkaian buck converter. Perhitungan dilakukan dengan mengacu pada teori dasar konverter DC-DC dan nilai parameter sebelumnya pada tabel 1.

Menentukan nilai *Duty Cyle*

$$D = \frac{V_o}{V_s} = \frac{15}{30} = 0,5$$

Menentukan nilai Resistor

$$R = \frac{V_o^2}{P} = \frac{15^2}{10} = 22,5 \, \Omega$$

Menentukan nilai Induktor

$$L_{\min} = \frac{(1-D)(R)}{2F} = \frac{(1-0,5)(22,5)}{2(40000)} = 141 \mu\text{H}$$

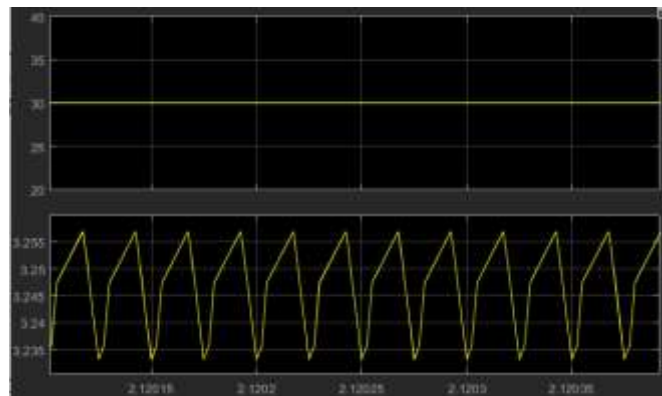
$$L = L_{\min} \cdot 1,25 = 176,25 \mu\text{H}$$

Menentukan nilai Kapasitor

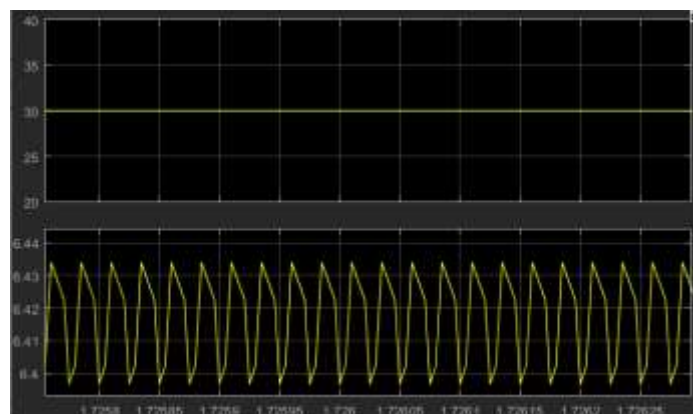
$$C = \frac{1-D}{8L\left(\frac{\Delta V_0}{V_0}\right)F^2} = \frac{1-0,5}{8(176,25)(10)^{-6}(0,005)(40000)^2} = 44,33 \mu\text{F}$$

Pengujian Variasi *Duty Cycle*

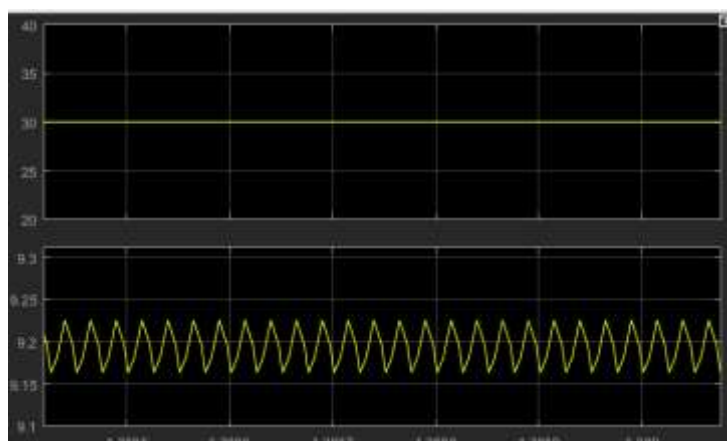
Pada tahap ini, dilakukan pengujian dengan cara mengubah nilai *duty cycle* secara bertahap, baik dinaikkan maupun diturunkan, pada rangkaian *buck converter*. Variasi ini penting karena menentukan besarnya tegangan keluaran yang dihasilkan. Melalui pengujian ini, dapat diamati bagaimana perubahan *duty cycle* memengaruhi kestabilan tegangan sekaligus besarnya *ripple* yang muncul pada output. Berikut ini adalah grafik yang dihasilkan dari setiap pengujian variasi *duty cycle* pada rentang 10% - 90%:



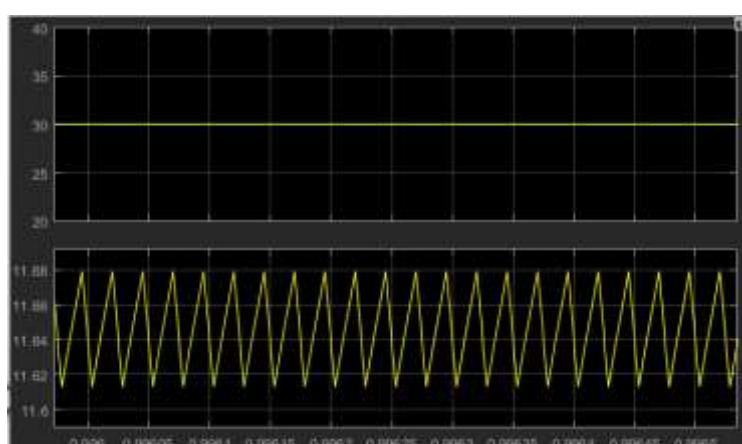
Gambar 6. Bentuk Grafik pada Duty Cyle 10%.



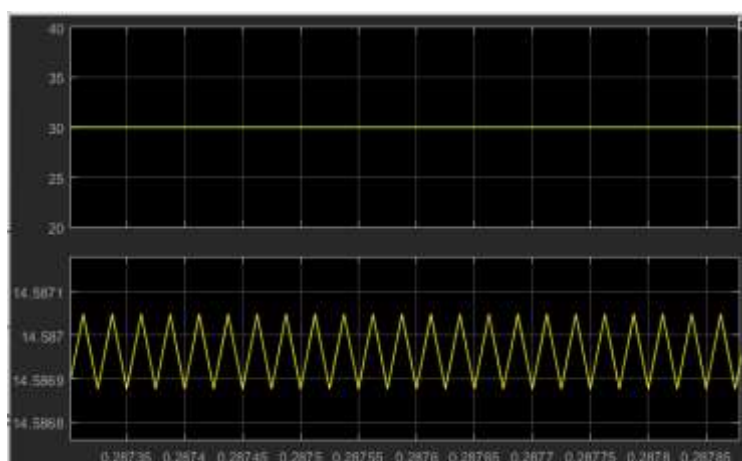
Gambar 7. Bentuk Grafik pada Duty Cyle 20%.



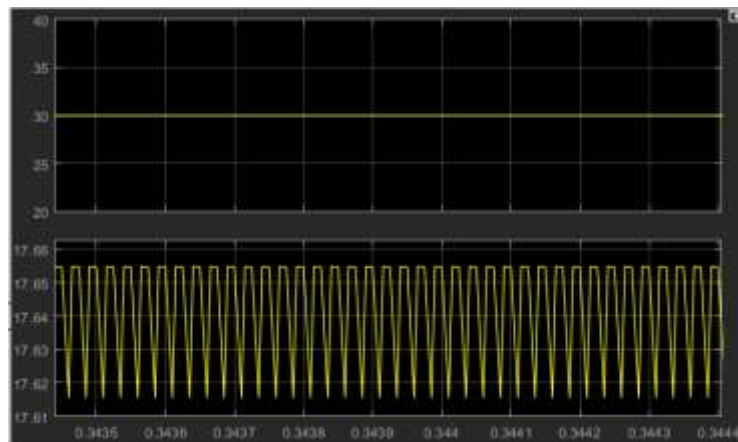
Gambar 8. Bentuk Grafik pada Duty Cyle 30%.



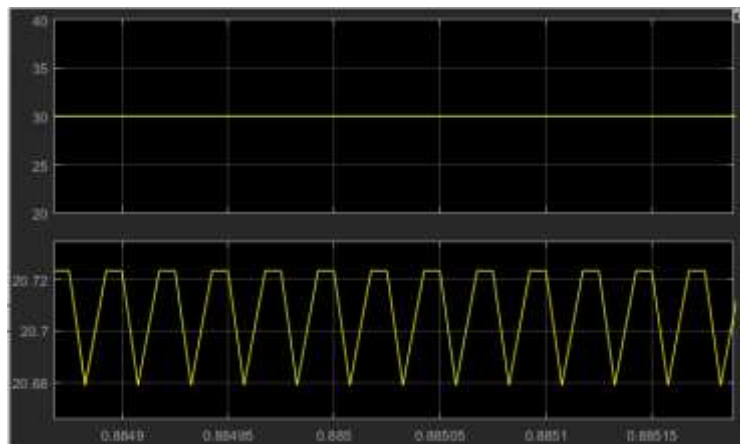
Gambar 9. Bentuk Grafik pada Duty Cyle 40%.



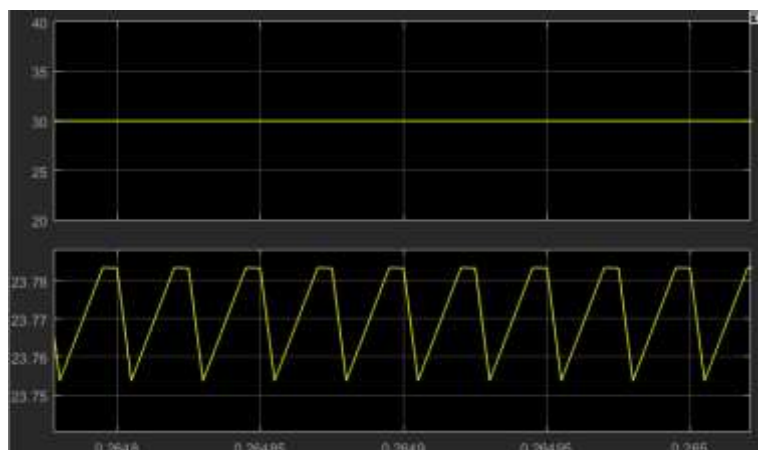
Gambar 10. Bentuk Grafik pada Duty Cyle 50%.



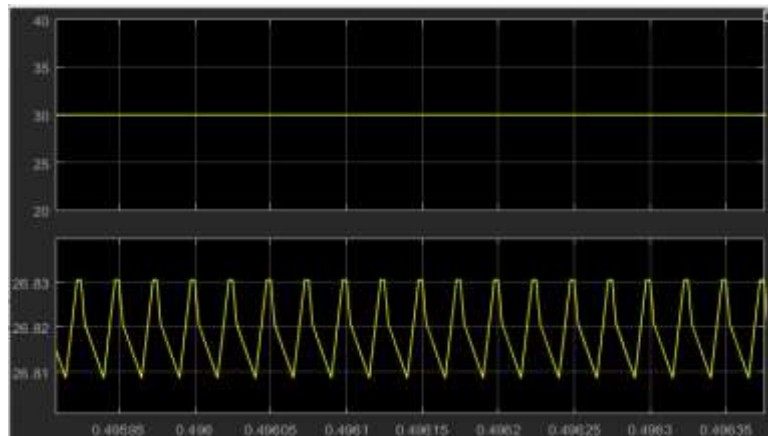
Gambar 11. Bentuk Grafik pada Duty Cyle 60%.



Gambar 12. Bentuk Grafik pada Duty Cyle 70%.



Gambar 13. Bentuk Grafik pada Duty Cyle 80%.



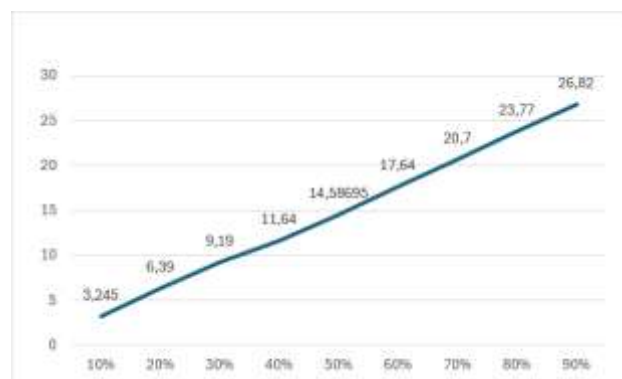
Gambar 14. Bentuk Grafik pada Duty Cycle 90%.

Dari hasil perolehan pada simulasi *buck converter* menggunakan MATLAB, diperoleh data grafik variasi *duty cycle* terhadap tegangan keluaran dan *ripple* sebagaimana ditampilkan pada gambar 6-14.

Tabel 2. Hasil Pengujian *Duty Cyle*.

Duty Cyle dalam %	Vout	Vmax	Vmin	Ripple Tegangan
10%	3,245	3,255	3,235	0,02
20%	6,39	6,43	6,4	0,03
30%	9,19	9,22	9,16	0,06
40%	11,64	11,68	11,61	0,07
50%	14,58695	14,5871	14,5868	0,0003
60%	17,64	17,66	17,61	0,05
70%	20,7	20,72	20,68	0,04
80%	23,77	23,79	23,76	0,03
90%	26,82	26,83	26,81	0,02

Terlihat bahwa semakin besar *duty cycle*, maka tegangan *output* (*Vout*) juga semakin meningkat. Misalnya, pada *duty cycle* 10% diperoleh *Vout* sebesar 3,245 V, sedangkan pada *duty cycle* 90% *Vout* mencapai 26,82 V. Pola ini sesuai dengan teori *buck converter* yang menyatakan bahwa besar tegangan keluaran sebanding dengan nilai *duty cycle* yang diterapkan.



Gambar 15. Bentuk Grafik Hubungan *Duty Cyle* dengan Tegangan *Output*.

Selain tegangan keluaran, hasil simulasi juga menunjukkan adanya perbedaan variasi nilai *ripple* pada *duty cycle* tertentu. *Ripple* tegangan tertinggi terjadi pada *duty cycle* 40% dengan nilai 0,07 V. sementara *ripple* terendah berada pada *duty cycle* 50% dengan nilai 0,0003 V. Kondisi ini menunjukkan bahwa terdapat titik operasi tertentu dimana sistem bekerja lebih stabil dan menghasilkan tegangan keluaran dengan riak yang sangat kecil dapat dijelaskan melalui analisis interaksi dinamis antara komponen penyimpan energi. Berdasarkan persamaan $\frac{\Delta v_o}{v_o} = \frac{1-D}{8f^2LC}$ nilai *ripple* tidak hanya bergantung pada *duty cycle* secara linear, tetapi juga pada faktor (1-D) yang menunjukkan pengaruh waktu OFF terhadap pembentukan *ripple*. Pada D=50%, sistem mencapai kondisi *balanced energy transfer* di mana energi yang disimpan dan dilepaskan oleh induktor selama satu siklus switching berada dalam keadaan setimbang. Kondisi ini menghasilkan profil arus induktor yang hampir konstan, sehingga mengurangi fluktuasi muatan pada kapasitor output. Sebaliknya, pada D=40%, terjadi ketidakseimbangan antara slope arus naik $(\Delta i_L)_{ON} = \frac{(V_s - V_o)DT}{L}$ dan slope arus turun $(\Delta i_L)_{OFF} = \frac{V_o(1-D)T}{L}$ ketidakseimbangan ini menyebabkan *ripple* arus induktor yang lebih besar, yang selanjutnya diperkuat oleh ketidakmampuan kapasitor dalam mengkompensasi fluktuasi arus secara efektif

Fenomena ini sejalan dengan temuan (Lucanu et al., 2025) yang menyatakan bahwa keseimbangan interaksi antara induktor dan kapasitor mampu meminimalkan fluktuasi tegangan keluaran pada mode operasi tertentu. Hasil penelitian ini juga menunjukkan kecenderungan yang berbeda dibandingkan studi (Farhan & Sujanarko, 2022), di mana variasi *duty cycle* dan *frekuensi* sama-sama memengaruhi besarnya *ripple* tegangan tanpa menunjukkan titik operasi tunggal yang paling stabil. Hal ini menegaskan bahwa posisi titik operasi optimal sangat bergantung pada kombinasi nilai induktor, kapasitor, serta frekuensi switching yang digunakan. Selain itu, (Akca & Aktas, 2024) menekankan bahwa variasi parameter komponen dan *duty cycle* berpengaruh signifikan terhadap efisiensi konverter, sedangkan (Guo et al., 2025) menunjukkan bahwa pengaturan *duty cycle* adaptif dapat meningkatkan respons transien dan menekan overshoot tegangan. Dengan demikian, hasil penelitian ini memperkuat bahwa pengaturan *duty cycle* yang tepat khususnya di sekitar D = 50% merupakan kunci dalam mencapai efisiensi dan stabilitas optimal pada *buck converter*. Secara praktis, temuan ini memberikan acuan penting dalam perancangan sistem konverter daya industri, seperti pengisi baterai atau konverter sistem energi terbarukan, di mana *ripple* yang rendah sangat dibutuhkan untuk menjaga umur baterai dan efisiensi energi. Desain yang mempertahankan operasi di sekitar *duty cycle* 50% dapat mengurangi rugi daya switching, menstabilkan tegangan keluaran, serta menekan panas berlebih pada komponen

semikonduktor. Dengan demikian, hasil simulasi ini tidak hanya memberikan pemahaman teoretis, tetapi juga panduan praktis yang dapat diterapkan dalam desain converter yang efisien, andal, dan berumur panjang.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Berdasarkan hasil simulasi dan analisis yang telah dilakukan, dapat dilihat bahwa tegangan keluaran (V_{out}) pada buck converter sangat dipengaruhi oleh variasi duty cycle. Saat duty cycle bernilai rendah, misalnya 10%, tegangan keluaran hanya mencapai sekitar 3,245 V. Namun, ketika duty cycle dinaikkan hingga 90%, tegangan keluaran meningkat signifikan menjadi 26,82 V. Pola tersebut sesuai dengan teori dasar buck converter yang menyatakan bahwa tegangan keluaran berbanding lurus dengan duty cycle, sehingga dapat dipastikan bahwa model simulasi yang digunakan bekerja dengan akurat. Selain itu, besar kecilnya ripple tegangan tidak mengikuti pola linier terhadap duty cycle, di mana ripple tertinggi muncul pada duty cycle 40% dengan nilai sekitar 0,07 V, sedangkan ripple terendah terjadi pada duty cycle 50% dengan nilai yang sangat kecil, yaitu hanya 0,0003 V. Temuan ini menunjukkan bahwa terdapat titik operasi tertentu di mana sistem bekerja paling stabil. Pada duty cycle 50%, buck converter berada pada kondisi optimal dengan ripple yang hampir tidak terlihat, menandakan bahwa desain parameter komponen yang digunakan (induktor sebesar 176,25 μ H, kapasitor 44,33 μ F, dan frekuensi switching 40 kHz) sangat efektif pada titik tersebut. Dengan demikian, simulasi menggunakan MATLAB/Simulink terbukti efektif untuk menganalisis pengaruh variasi duty cycle terhadap performa buck converter tanpa memerlukan implementasi fisik.

Saran

Penelitian ini masih terbatas pada simulasi komputer menggunakan MATLAB/Simulink. Oleh karena itu, untuk memastikan keakuratan hasil, perlu dilakukan uji coba langsung menggunakan rangkaian elektronik nyata (*hardware*). Pengujian secara fisik ini akan memberikan data yang lebih realistis karena dapat menangkap faktor-faktor yang tidak terlihat dalam simulasi, seperti pengaruh suhu dan toleransi komponen dan dengan penambahan integrasi sistem kontrol adaptif atau PID berbasis mikrokontroler dapat dieksplorasi untuk meningkatkan kestabilan dinamis terhadap variasi beban dan fluktuasi sumber daya.

Secara praktis, temuan titik operasi optimal pada $D=50\%$ dapat diimplementasikan dalam desain *buck converter* untuk aplikasi industri yang memerlukan stabilitas tegangan tinggi, seperti sistem pengisian baterai lithium-ion dan power supply untuk perangkat

elektronik sensitif, dimana minimisasi *ripple* menjadi parameter kritis untuk memperpanjang umur komponen dan meningkatkan efisiensi sistem.

DAFTAR REFERENSI

- Akca, H., & Aktas, A. (2024). Examination and experimental comparison of DC/DC buck converter topologies used in wireless electric vehicle charging applications. *International Journal of Optimization and Control: Theories and Applications*, 14(2), 81–89. <https://doi.org/10.11121/ijocta.1503>
- Albariqi, K. A., Alhussainy, A. A., Bawayan, H., Alturki, Y. A., & Alghamdi, S. (2024). Efficient voltage control strategy: Observability design for multistage DC-DC buck converter. *Frontiers in Energy Research*, 12, 1–17. <https://doi.org/10.3389/fenrg.2024.1485269>
- Anggawan, A., & Yuhendri, M. (2020). Implementasi kendali tegangan output buck converter berbasis Simulink Matlab. *Jurnal Teknik Elektro dan Informatika (JTEIN)*, 2(1), 34–39. <https://doi.org/10.24036/jtein.v2i1.110>
- Farhan, F., & Sujanarko, B. (2022). Pengaruh frekuensi dan duty cycle pada ripple tegangan buck converter. *Jurnal Teknik Elektro*, 9(1), 51–61.
- 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>
- Huang, C. C., Liu, Y. C., Lin, C. C., Ni, C. Y., & Chiu, H. J. (2021). Stacked buck converter: Current ripple elimination effect and transient response. *Energies*, 14(1). <https://doi.org/10.3390/en14010064>
- Huda, A. (2025). Analisa pengaruh frekuensi dan duty cycle terhadap ripple tegangan pada buck-boost converter. *Jurnal Teknik Elektro*, 11(1), 16–19.
- Ichsan, A. R., Effendy, M., & Suhardi, D. (2017). Studi analisa synchronous rectifier buck converter untuk meningkatkan efisiensi daya pada sistem photovoltaic. *Jurnal Kinetik*, 2(3). <https://doi.org/10.22219/kinetik.v2i3.201>
- Krishnaveni, S. (2021). Implementation of mathematical models of buck converter using Matlab/Simulink. *International Journal of Scientific Research in Science and Technology*, 8(3), 516–520. <https://doi.org/10.32628/IJSRST2183106>
- Lucanu, N., Lucanu, M., Ursaru, O., & Aghion, C. (2025). A novel method for accurate determination of the output voltage ripple of DC converters in all operating modes. *Electronics (Switzerland)*, 14(12). <https://doi.org/10.3390/electronics14122406>
- Mulia, Y., & Purnata, H. (2022). Perancangan sistem penurun tegangan dengan menggunakan DC-DC buck converter. *Prosiding Seminar Nasional Teknologi dan Rekayasa Elektronika*, 109–115.

- Muñoz-Torrero, D., García-Quismondo, E., Ventosa, E., Prodanovic, M., & Palma, J. (2025). On the degradation of lithium-ion batteries over a current ripple effect. *Electrochimica Acta*, 530. <https://doi.org/10.1016/j.electacta.2025.146326>
- Oruganti, K. S. P., Vaithilingam, C. A., Kumares, S. S., Goh, H. H., & Ramasamy, A. K. (2025). Optimizing control and efficiency of two-phase interleaved buck converter with cuckoo search MPPT for solar-powered battery energy storage systems. *Energy Storage*, 7(5). <https://doi.org/10.1002/est2.70213>
- Sani, S. G., Banaei, M. R., & Hosseini, S. H. (2024). Investigation and implementation of a common ground DC-DC buck converter with a novel control method for loss reduction in the converter. *IET Power Electronics*, 17(14), 1840–1851. <https://doi.org/10.1049/pel2.12740>
- Sendi, U. D. E., Dionova, B. W., Junesco, D., Putri, A. O., Jaenul, A., Abdulrazaq, M. N., & Hendrawati, D. (2025). Desain synchronous buck converter dengan metode kontrol PID menggunakan Matlab. *Jurnal Fokus Elektroda: Energi Listrik, Telekomunikasi, Komputer, Elektronika dan Kendali*, 10(1), 21–29. <https://doi.org/10.33772/jfe.v10i1.815>
- Senrianokxi, F. (2020). Rancang bangun modul converter DC-DC menggunakan mikrokontroler Arduino berbasis IoT untuk penelitian MPPT (Maximum Power Point Tracking) pada panel surya. *Seminar Hasil Elektro S1 ITN Malang*, 1–16.
- Su'aidy, K. I., & Harahap, M. D. (2024). Smart and low power inverter. *Jurnal Energi dan Elektronika*, 20–24.