

DESAIN DAN IMPLEMENTASI DC-DC CONVERTER UNTUK SISTEM PENYIMPANAN ENERGI

Elvan Dwi Nur Asyifa¹, Abraham Lomi², Kartiko Ardi Widodo³

Teknik Elektro S-1, Institut Teknologi Nasional Malang, Malang, Indonesia

¹elvandiajiah@gmail.com, ²abraham@lecturer.itn.ac.id ³tiko_@lecturer.itn.ac.id

Abstrak — Transformasi kendaraan konvensional berbahan bakar fosil menjadi kendaraan listrik merupakan langkah strategis dalam mendukung transisi menuju sistem transportasi yang ramah lingkungan. Salah satu tantangan teknis dalam sistem kendaraan listrik hasil konversi adalah kebutuhan akan manajemen energi yang andal, khususnya dalam mengatur distribusi daya antara baterai utama bertegangan tinggi (72 V), sumber pengisian eksternal (48 V), dan subsistem bertegangan rendah (12 V). Penelitian ini berfokus pada perancangan dan simulasi buck-boost converter menggunakan perangkat lunak MATLAB/Simulink. Sistem dirancang untuk beroperasi dalam dua mode utama, yaitu mode buck (penurunan tegangan 72 V $\rightarrow$ 12 V) untuk menyuplai beban kelistrikan, serta mode boost (penaikan tegangan 48 V $\rightarrow$ 72 V) untuk proses pengisian baterai utama. Kendali PWM digunakan untuk mengatur duty cycle sehingga tegangan keluaran dapat dipertahankan sesuai nilai yang ditentukan. Hasil simulasi menunjukkan bahwa buck-boost converter mampu menghasilkan tegangan keluaran yang stabil pada kedua mode operasi, dengan bentuk gelombang arus dan tegangan sesuai dengan karakteristik teoritis. Berdasarkan perancangan, simulasi, dan analisis yang dilakukan, konverter yang dirancang terbukti mampu mengatur aliran daya secara efektif dan stabil dengan deviasi tegangan sangat kecil pada kedua mode operasi. Kinerja ini menunjukkan bahwa topologi dan parameter yang dipilih tepat serta berpotensi diimplementasikan sebagai solusi hemat biaya dan sederhana dalam mendukung sistem penyimpanan dan distribusi energi pada kendaraan listrik hasil konversi, khususnya untuk kendaraan roda dua.

Kata Kunci: Konversi kendaraan listrik, buck-boost converter, MATLAB/Simulink, topologi step-up/step-down, manajemen energi.

I. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Dalam beberapa tahun terakhir, kebutuhan akan teknologi yang ramah lingkungan semakin mendesak seiring meningkatnya kesadaran terhadap dampak negatif emisi gas buang dari kendaraan bermotor berbahan bakar fosil. Salah satu solusi yang banyak dikembangkan adalah konversi kendaraan bermotor konvensional menjadi kendaraan listrik. Konversi ini tidak hanya menjadi alternatif yang lebih hemat energi, tetapi juga menjadi langkah nyata dalam mengurangi ketergantungan terhadap bahan bakar minyak serta menurunkan tingkat polusi udara di lingkungan perkotaan [1]. Dalam sistem kendaraan listrik hasil konversi, penyimpanan

dan distribusi energi menjadi aspek yang sangat krusial. Umumnya, baterai utama yang digunakan memiliki tegangan tinggi, seperti 72V, untuk mendukung sistem penggerak motor listrik [2]. Namun di sisi lain, sistem kendaraan juga membutuhkan tegangan rendah 12V untuk mengoperasikan berbagai perangkat pendukung seperti lampu, panel indikator, sistem kontrol, dan lain-lain [3][4]. Selain itu, diperlukan juga sistem pengisian baterai utama yang dapat menerima suplai daya dari sumber eksternal, misalnya charger DC dengan tegangan output 48V.

Untuk memenuhi kebutuhan tersebut, dibutuhkan sebuah konverter daya yang mampu melakukan penurunan tegangan (buck) dari 72V ke 12V serta penaikan tegangan (boost) dari 48V ke 72V dalam satu rangkaian. Solusi teknis yang tepat adalah dengan menggunakan buck-boost converter, yang dapat berfungsi sebagai step-down maupun step-up sesuai kebutuhan sistem. Dengan demikian, buck-boost converter sangat sesuai diterapkan pada kendaraan listrik hasil konversi karena hanya memerlukan satu rangkaian sederhana untuk dua fungsi sekaligus.

Dengan adanya buck-boost converter, efisiensi penggunaan energi dalam sistem kendaraan dapat ditingkatkan. Selain itu, penggunaan satu unit konverter untuk dua fungsi sekaligus dapat menghemat ruang, biaya, dan menyederhanakan desain sistem kelistrikan kendaraan. Hal ini sangat penting dalam proyek konversi kendaraan roda dua, di mana keterbatasan ruang dan berat harus diperhitungkan secara matang [5][6].

Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengimplementasikan buck-boost converter dengan rentang tegangan kerja dari 48V ke 72V (mode boost) dan dari 72V ke 12V (mode buck). Sistem ini disimulasikan menggunakan MATLAB/Simulink untuk menganalisis kinerja tegangan keluaran, arus, serta efisiensi konversi daya pada kedua mode operasi [7][8]. Melalui penelitian ini, diharapkan dapat memberikan kontribusi nyata terhadap pengembangan teknologi kendaraan listrik hasil konversi, khususnya dalam aspek manajemen energi [7][8]. Selain itu, rancangan buck-boost converter ini diharapkan tidak hanya efisien dan andal, tetapi juga dapat direplikasi untuk digunakan dalam skala yang lebih luas oleh bengkel konversi kendaraan di Indonesia. Dengan demikian, konverter ini dapat menjadi bagian penting

dalam mempercepat transisi menuju kendaraan ramah lingkungan [10][2].

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Motor Konversi

Kendaraan bermotor listrik merupakan jenis kendaraan yang menggunakan motor listrik sebagai penggerak utama. Motor listrik memperoleh energi dari baterai, kemudian mengubah energi listrik tersebut menjadi energi mekanik untuk menggerakkan roda kendaraan. Teknologi ini memungkinkan kendaraan beroperasi tanpa mesin pembakaran dalam, sehingga lebih ramah lingkungan karena tidak menghasilkan emisi gas buang secara langsung.

Dalam perkembangannya, kendaraan bermotor listrik hadir dalam berbagai bentuk, mulai dari sepeda listrik, sepeda motor listrik, hingga mobil listrik. Setiap jenis kendaraan memiliki konfigurasi dan spesifikasi teknis yang berbeda, bergantung pada kapasitas baterai, jenis motor listrik yang digunakan, serta sistem kendali yang diterapkan. Dibandingkan kendaraan konvensional, kendaraan listrik memiliki keunggulan berupa efisiensi energi yang lebih tinggi, biaya operasional yang lebih rendah, serta minimnya emisi gas rumah kaca. Hal ini menjadikannya sebagai salah satu solusi potensial dalam upaya mewujudkan sistem transportasi berkelanjutan di masa depan. [9],[10]

Seiring perkembangan teknologi, penggunaan baterai sebagai sumber energi kendaraan listrik juga semakin maju. Baterai lithium-ion saat ini menjadi pilihan utama karena memiliki kepadatan energi yang tinggi, umur pakai yang relatif panjang, serta kemampuan pengisian ulang yang baik. Meski demikian, penelitian terus dilakukan untuk menemukan teknologi baterai alternatif yang lebih murah, lebih ringan, dan lebih ramah lingkungan, seperti baterai solid-state maupun baterai berbasis natrium. Dengan meningkatnya permintaan pasar serta dukungan kebijakan pemerintah terhadap pengembangan kendaraan listrik, teknologi ini diperkirakan akan semakin terjangkau dan digunakan secara luas pada masa mendatang. Dalam konteks penelitian ini, motor listrik yang digunakan berasal dari konversi kendaraan bermotor konvensional berbahan bakar fosil menjadi kendaraan listrik. Proses konversi ini umumnya melibatkan penggantian mesin pembakaran dalam dengan motor listrik, serta integrasi sistem penyimpanan energi berbasis baterai dan konverter daya. Dengan demikian, studi mengenai konverter DC-DC, khususnya buck-boost converter, menjadi penting karena berperan dalam manajemen distribusi energi antara baterai utama bertegangan tinggi dan sistem kelistrikan kendaraan yang membutuhkan tegangan rendah.[11], [12]

B. Prinsip Operasi

Buck-boost converter merupakan konverter DC-DC yang bekerja dengan cara menyimpan energi pada induktor saat saklar aktif (ON) dan melepaskan energi tersebut ke beban saat saklar tidak aktif (OFF). Prinsip kerja ini dikendalikan oleh teknik Pulse Width Modulation (PWM), di mana variasi duty cycle menentukan besar tegangan keluaran yang dihasilkan. Dengan mengatur duty cycle, konverter dapat menghasilkan tegangan output yang lebih rendah maupun lebih tinggi dibandingkan tegangan input.

Saat saklar ON, sumber tegangan DC mengalirkan energi ke induktor sehingga arus induktor meningkat dan energi tersimpan dalam bentuk medan magnet. Pada kondisi ini, dioda berada dalam keadaan reverse bias sehingga beban tidak menerima energi secara langsung dari input. Selanjutnya, ketika saklar OFF, induktor akan melepaskan energi yang tersimpan dan menyalurkannya ke kapasitor serta beban melalui dioda. Pada kondisi ini, polaritas tegangan output menjadi berlawanan dengan tegangan input (inverting). Secara matematis, hubungan tegangan output dengan input dalam kondisi ideal (Continuous Conduction Mode/CCM) dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$V_o = -\frac{D}{1-D} \cdot V_{in} \quad (1)$$

dengan:

- V_o = tegangan keluaran (output)
- V_{in} = tegangan masukan (input),\
- D = duty cycle ($0 < D < 1$).

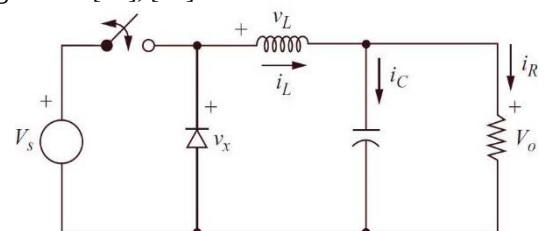
Dari persamaan tersebut dapat diketahui bahwa untuk duty cycle $D < 0.5$, tegangan keluaran lebih kecil dari input (mode buck), sedangkan untuk duty cycle $D > 0.5$, tegangan keluaran lebih besar dari input (mode boost). Karakteristik inilah yang menjadikan buck-boost converter sangat fleksibel, karena mampu berfungsi sebagai penurun maupun penaik tegangan hanya dengan satu rangkaian sederhana.

Dalam aplikasi kendaraan listrik hasil konversi, prinsip operasi ini memungkinkan sistem untuk menyesuaikan tegangan sesuai kebutuhan, misalnya menurunkan tegangan baterai utama 72V menjadi 12V untuk suplai beban, atau menaikkan tegangan sumber eksternal 48V menjadi 72V untuk pengisian baterai utama. Dengan demikian, buck-boost converter menjadi solusi praktis untuk mendukung distribusi energi pada kendaraan listrik.[13], [14].

C. Konverter Penurun Tegangan

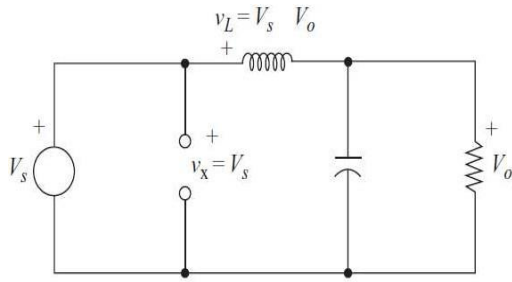
Buck converter (Konverter Penurun Tegangan) adalah konverter yang bekerja sebagai step down DC(Direct Current) dengan tegangan output lebih rendah dari tegangan ($V_o < V_s$). Prinsip kerjanya adalah menurunkan tegangan DC dengan mengatur besar duty cycle switching.

Rangkaian Buck converter pada gambar 1 terdiri dari tegangan input (V_s), saklar aktif (MOSFET), dioda, induktor, kapasitor, dan resistor. Switch pada buck converter akan bekerja terus-menerus. Kecepatan switch (dalam realisasinya) akan bergantung pada duty cycle yang digunakan.[14], [15]



Gambar 1. Rangkaian buck converter

Gambar 1. adalah Rangkaian dasar buck converter dimana prinsip kerja pada buck converter memiliki 2 kondisi yaitu pada saat saklar dalam kondisi “ON” seperti pada Gambar 2



Gambar 2. Rangkaian buck converter saklar “ON”

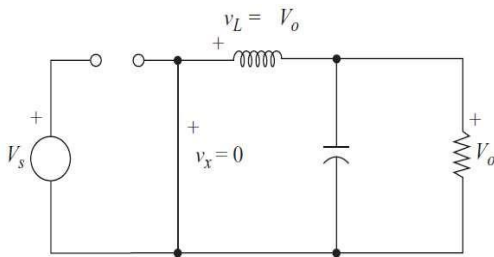
Gambar 2. adalah rangkaian buck converter ketika dalam kondisi saklar “ON” dioda bekerja reversed/block sehingga suplai input mengalir ke induktor juga ke beban. Rumus matematikanya sebagai berikut:

$$V_L = V_s - V_o \quad (2)$$

$$V_L(t) = L \frac{di}{dt} \quad (3)$$

$$L \frac{di}{dt} = V_s - V_o \quad (4)$$

$$V_s = L \frac{\Delta i^{(on)}}{DT} + V_o \quad (5)$$



Gambar 3. Rangkaian buck converter saklar “OFF”

Gambar 3. Rangkaian buck converter ketika saklar dalam kondisi “OFF” dioda bekerja forward/unblock sehingga energi yang disimpan di induktor dapat mengalir ke beban. Kemudian Rumus matematikanya sebagai berikut:

Saat saklar OFF:

$$v_L + v_o = 0 \quad (6)$$

$$v_L = -v_o \quad (7)$$

Dengan hukum induktor:

$$v_L = L \frac{di_L}{dt} \quad (8)$$

Maka:

$$L \frac{di_L}{dt} = -v_o \quad (9)$$

$$\frac{di_L}{dt} = -\frac{v_o}{L} \quad (10)$$

Konverter step-down (buck) merupakan salah satu jenis konverter DC–DC yang berfungsi menurunkan tegangan masukan menjadi tegangan keluaran rata-rata yang lebih rendah.. Prinsip kerjanya didasarkan pada pengaturan siklus kerja saklar (duty cycle), sehingga besarnya tegangan keluaran dapat diatur sesuai kebutuhan sistem.

Dalam kondisi ideal, konverter step-down terdiri atas sumber tegangan DC, saklar elektronik, dan beban resistif. Tegangan keluaran rata-rata V_o dapat dinyatakan sebagai hasil perkalian antara tegangan masukan V_d dengan rasio siklus kerja saklar $D = \frac{t_{on}}{T_s}$ yaitu: $V_o = D V_d$

$$V_o = \frac{1}{T_s} \int_0^{T_s} v_o(t) dt = \frac{1}{T_s} \left(\int_0^{t_{on}} V_d dt + \int_{t_{on}}^{T_s} 0 dt \right) = \frac{t_{on}}{T_s} V_d = D V_d \quad (11)$$

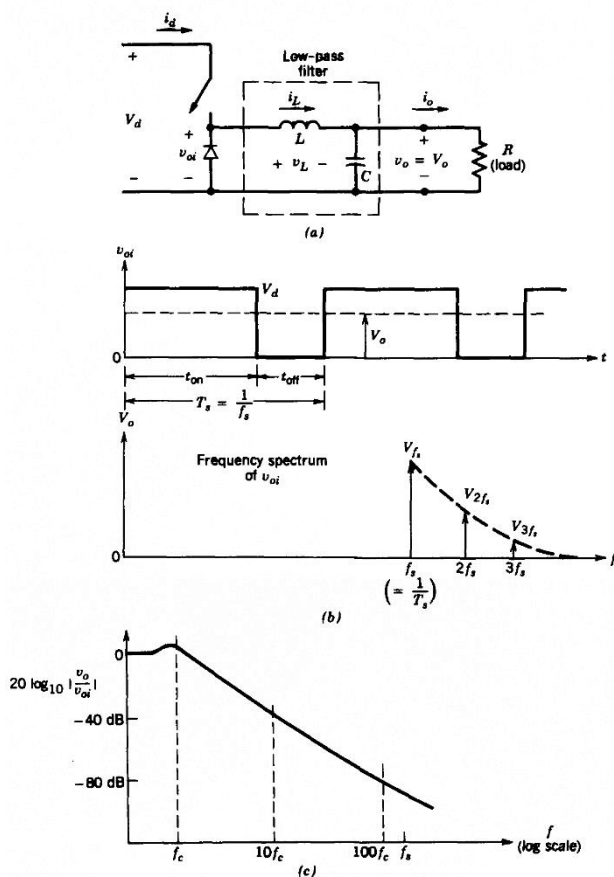
$$V_o = \frac{1}{T_s} \int_0^{T_s} v_o(t) dt = \frac{1}{T_s} \left(\int_0^{t_{on}} V_d dt + \int_{t_{on}}^{T_s} 0 dt \right) = \frac{t_{on}}{T_s} V_d = D V_d \quad (11)$$

Hubungan ini menunjukkan bahwa tegangan keluaran berbanding lurus dengan duty cycle saklar, sehingga pengendalian duty cycle memungkinkan pengaturan tegangan keluaran secara linier terhadap tegangan kendali.

Konverter step-down (buck) dapat mengatur tegangan keluaran dengan mengubah rasio siklus kerja saklar $\frac{t_{on}}{T_s}$. Tegangan rata-rata pada sisi keluaran bervariasi secara linier terhadap tegangan pengendali, mirip dengan karakteristik penguat linier.

Dalam praktiknya, beban konverter umumnya bersifat induktif sehingga saklar harus menangani energi induktif yang tersimpan. Tanpa rangkaian tambahan, kondisi ini berpotensi merusak saklar dan menyebabkan tegangan keluaran berfluktuasi dari nol hingga V_d , yang tidak sesuai untuk sebagian besar aplikasi. Untuk mengatasi hal ini digunakan dioda bebas (freewheeling diode) dan filter low-pass LC. Dioda berfungsi menyalurkan arus induktor ketika saklar mati, sedangkan filter LC meredam harmonisa pada frekuensi pensaklaran sehingga tegangan keluaran menjadi lebih rata. Frekuensi sudut filter dipilih jauh di bawah frekuensi pensaklaran agar riak tegangan dapat ditekan secara efektif.

Dalam keadaan tunak, kapasitor keluaran diasumsikan cukup besar sehingga tegangan sesaat $v_o(t)$ mendekati konstan ($\approx V_o$). Arus induktor rata-rata sama dengan arus keluaran rata-rata I_o , sedangkan arus kapasitor rata-rata bernilai nol.

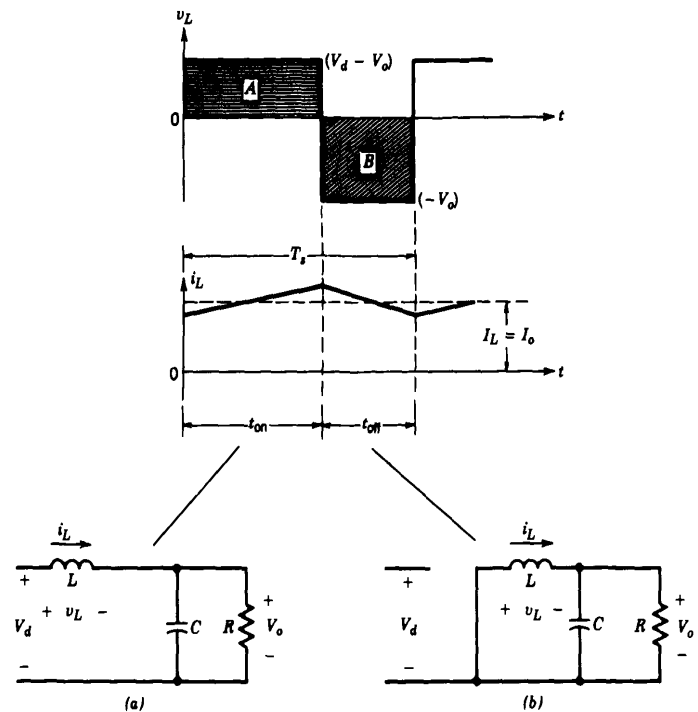


Gambar 4. Rangkaian buck converter

Gambar 4. adalah gambar rangkaian buck converter dengan filter LC dan beban resistif dengan bentuk gelombang tegangan keluran V_o serta spektrum frekuensinya yang menunjukkan komponen harmonisa>

1. Waktu Kondisi Kontinyu

Menunjukkan bentuk gelombang untuk mode operasi konduksi kontinu di mana arus induktor mengalir secara kontinu [$i_L(t) > 0$]. Ketika sakelar menyala selama durasi waktu tertentu, sakelar menghantarkan arus induktor dan dioda menjadi bias balik. Hal ini menghasilkan tegangan positif $v_L = V_d - V_o$ melintasi induktor pada Gambar 2.5 Tegangan ini menyebabkan peningkatan linear pada arus induktor i . Ketika sakelar dimatikan, karena penyimpanan energi induktif, i , terus mengalir. Arus ini sekarang mengalir melalui dioda, dan $v_L = -V_o$



Gambar 5. Keadaan rangkaian konverter penurun tegangan (dengan asumsi i mengalir kontinyu): (a) menyala; (b) mati.

Gambar 5. Keadaan rangkaian konverter penurun tegangan dengan asumsi arus induktor kontinyu dimana kondisi saat saklar ON, arus mengalir dari sumber ke induktor, kapasitor, dan beban dan kondisi saat saklar OFF, energi induktor dilepaskan ke kapasitor dan beban.

Integral tegangan induktor dalam satu periode:

$$\int_0^{T_s} v_L dt = \int_0^{t_{on}} v_L dt + \int_{t_{on}}^{T_s} v_L dt = 0 \quad (12)$$

Persamaan kesetaraan area A dan B:

$$(V_d - V_o)t_{on} = V_o(T_s - t_{on}) \quad (13)$$

Rasio tegangan output terhadap input (Duty Ratio):

$$\frac{V_o}{V_d} = \frac{t_{on}}{T_s} = D \quad (14)$$

Rata-rata tegangan induktor:

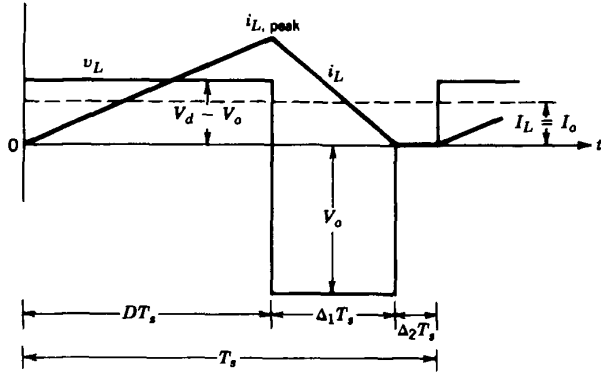
$$\frac{V_d t_{on} + 0 \cdot t_{off}}{T_s} = V_o \quad (15)$$

$$P_d = P_o \quad (16)$$

$$V_d I_d = V_o I_o \quad (17)$$

$$\frac{I_o}{I_d} = \frac{V_d}{V_o} = \frac{1}{D} \quad (18)$$

2. Waktu Kondisi Diskontinyu



Gambar 6. Diagram operasi buck converter dalam mode konduksi diskontinyu

Gambar 6. adalah gambar diagram operasi buck converter dalam mode konduksi diskontinyu. Pada kondisi ini arus induktor tidak selalu mengalir secara kontinu sepanjang periode switching, melainkan terdapat interval waktu tertentu di mana arus induktor turun hingga nol

Persamaan tegangan output

$$(V_d - V_o)DT_s + (-V_o)\Delta_1 T_s = 0 \quad (19)$$

sehingga

$$\frac{V_o}{V_d} = \frac{D}{D + \Delta_1} \quad (20)$$

$$D = \frac{V_o \Delta_1}{V_d - V_o} \quad (21)$$

Arus puncak induktor

$$i_{L, \text{peak}} = \frac{V_o}{L} \cdot \Delta_1 T_s \quad (22)$$

Arus output rata-rata:

$$I_o = i_{L, \text{peak}} \cdot \frac{D + \Delta_1}{2} \quad (23)$$

Turunan

$$I_o = \frac{V_o T_s}{2L} (D + \Delta_1) \Delta_1 \quad (24)$$

$$I_o = \frac{V_d T_s}{2L} D \Delta_1 \quad (25)$$

$$I_o = 4I_{LB, \text{max}} D \Delta_1 \quad (26)$$

Nilai Δ_1

$$\Delta_1 = \frac{I_o}{4I_{LB, \text{max}} D} \quad (27)$$

Rasio tegangan output terhadap input (D)

$$\frac{V_o}{V_d} = \frac{D^2}{D^2 + \frac{1}{4} \left(\frac{I_o}{I_{LB, \text{max}}} \right)} \quad (28)$$

Operasi Diskontinyu dengan Tegangan Output Konstan

Arus batas pada akhir mode kontinyu:

$$I_{LB} = \frac{T_s V_o}{2L} (1 - D) \quad (29)$$

$$D = 1 - \frac{2LI_{LB}}{T_s V_o} \quad (30)$$

Nilai maksimum ILB:

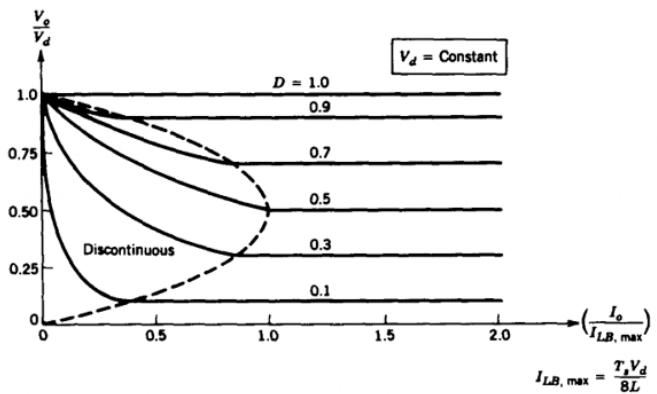
$$I_{LB, \text{max}} = \frac{T_s V_o}{2L} \quad (31)$$

Persamaan Arus Rata-Rata Induktor dalam DCM (Mode Kondisi Diskontinyu)

$$I_{LB} = \frac{T_s V_o}{2L} (1 - D) \quad (32)$$

Nilai Maksimum Arus Rata-Rata Induktor Jika V_o dijaga konstan, maka nilai maksimum ILB terjadi saat $D=0$, yaitu:

$$I_{LB, \text{max}} = \frac{T_s V_o}{2L} \quad (33)$$



Gambar 7. Karakteristik buck converter menjaga V_d tetap konstan

Gambar 7. Adalah gambar karakteristik buck converter menjaga V_d tetap konstan dimana berdasarkan Persamaan (32) dan (33), hubungan arus dengan duty cycle adalah:

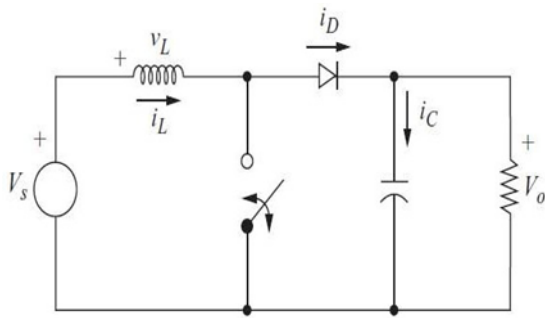
$$I_{LB} = (1 - D)I_{LB, \text{max}} \quad (34)$$

Persamaan Duty Cycle terhadap Arus Output dan Tegangan. Untuk operasi konverter saat V_o dijaga konstan, rasio duty cycle D sebagai fungsi dari $\frac{I_o}{I_{LB, \text{max}}}$ diperoleh dari:

$$D = \frac{V_o}{V_d} \left(\frac{I_o}{I_{LB, \text{max}}} \cdot \frac{1}{1 - \frac{V_o}{V_d}} \right)^{1/2} \quad (35)$$

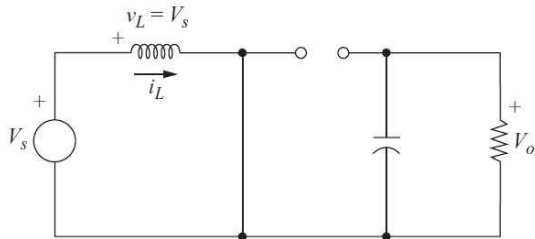
D. Konverter Penaik Tegangan Boost Converter

Konverter Penaik Tegangan Boost Converter adalah step up konverter atau konverter DC-DC dengan tegangan output yang lebih besar dari tegangan input ($V_o > V_s$). Prinsip kerjanya adalah menaikkan tegangan DC dengan mengatur besar duty cycle switching. Rangkaian Boost converter pada gambar 8 terdiri dari tegangan input (V_s), saklar aktif (MOSFET), dioda, induktor, kapasitor, dan resistor.



Gambar 8. Rangkaian boost converter

Gambar 8. adalah rangkaian boost converter dengan prinsip kerja pada boost converter memiliki 2 kondisi yaitu pada saat saklar dalam kondisi “ON” seperti pada Gambar 8.



Gambar 9. Rangkaian boost converter saklar “ON”

Gambar 9. adalah rangkaian boost converter ketika saklar dalam kondisi “ON” dioda bekerja reversed, sehingga output open/terisolasi. dan inputan menyuplai energi ke induktor. Rumus matematikanya sebagai berikut:

$$V_L = V_s \quad (36)$$

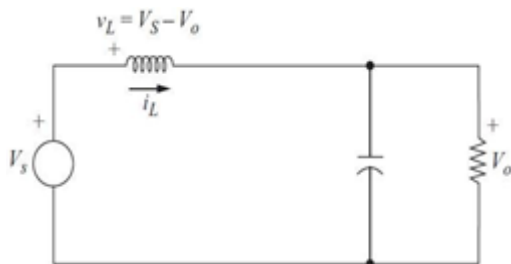
$$V_L(t) = L \frac{di}{dt} \quad (37)$$

$$V_s = L \frac{\Delta i_L(\text{on})}{dt} \quad (38)$$

$$V_s = L \frac{\Delta i_L(\text{off})}{dt} \quad (39)$$

$$\Delta i_L(\text{on}) = \frac{V_s DT}{L} \quad (40)$$

Pada kondisi 2 yaitu saat saklar dalam kondisi “OFF” dapat dilihat pada Gambar 10.



Gambar 10. Rangkaian boost converter saklar “OFF”

Gambar 10. adalah rangkaian boost converter dimana ketika saklar dalam kondisi “OFF” output menerima energi dari input dan induktor sehingga outputnya lebih

besar daripada inputan. Rumus matematikanya sebagai berikut:

$$V_L = V_s - V_o \quad (41)$$

$$V_L(t) = L \frac{di}{dt} \quad (42)$$

$$V_s = \frac{\Delta i_L(\text{off})}{C_{\text{off}}} \cdot V_o \quad (43)$$

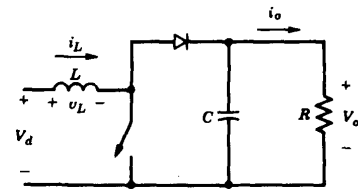
$$V_s = \frac{\Delta i_L(\text{off})}{(1-D)T} = V_o \quad (44)$$

$$\Delta i_L(\text{off}) = \frac{(V_s - V_o)(1-D)T}{L} \quad (45)$$

1. Waktu Kondisi Kontinyu

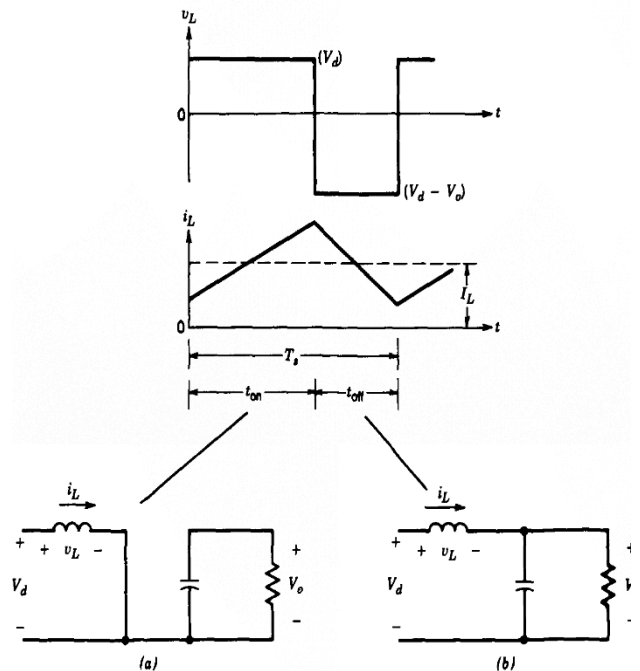
Persamaan tegangan rata-rata induktor (steady-state boost converter):

$$V_d t_{\text{on}} + (V_d - V_o) t_{\text{off}} = 0 \quad (46)$$



Gambar 11. Rangkaian boost konverter

Gambar 11 Adalah Rangkaian dasar buck converter. Terdiri dari saklar, dioda, induktor LLL, kapasitor CCC, dan beban RRR. Induktor berfungsi menyimpan dan melepas energi, kapasitor meratakan tegangan, sementara dioda menjadi jalur arus saat saklar dalam kondisi off.



Gambar 12. Keadaan rangkaian boost converter (dengan asumsi \$i\$ mengalir kontinyu): (a) menyala; (b) mati.

Gambar 12. adalah gambar keadaan rangkaian boost converter (dengan asumsi i mengalir kontinyu): (a) menyala; (b) mati. Rasio tegangan output terhadap input yaitu:

$$\frac{V_o}{V_d} = \frac{T_s}{t_{off}} = \frac{1}{1-D} \quad (47)$$

$$D = 1 - \frac{V_d}{V_o} \quad (48)$$

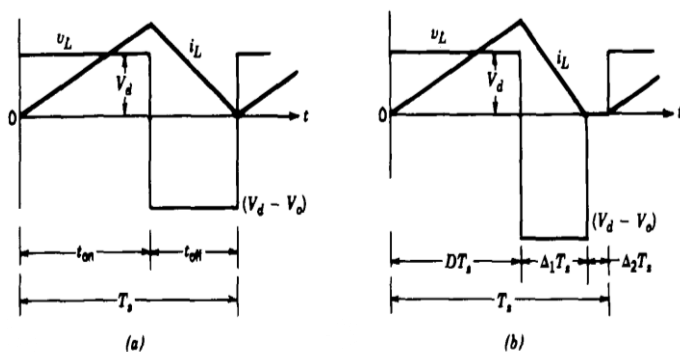
Asumsi rangkaian tanpa rugi:

$$P_d = P_o \Rightarrow V_d I_d = V_o I_o \quad (49)$$

Rasio arus output terhadap input:

$$\frac{I_o}{I_d} = 1 - D \quad (50)$$

2. Waktu Kodisi Diskontinyu



Gambar 13. Rangkaian boost converter saklar “OFF”

Gambar 13 adalah rangkaian boost converter kondisi saklar “OFF” merupakan fase utama yang membedakan boost converter dengan konverter DC-DC lainnya, karena energi tambahan dari induktor dilepaskan ke beban guna meningkatkan level tegangan keluaran.

Tegangan output terhadap tegangan input:

$$\frac{V_o}{V_d} = \frac{\Delta_1 + D}{\Delta_1} \quad (51)$$

Hubungan antara arus output dan input:

$$\frac{I_o}{I_d} = \frac{\Delta_1}{\Delta_1 + D} \quad (\text{karena } P_d = P_o) \quad (52)$$

Arus input rata-rata:

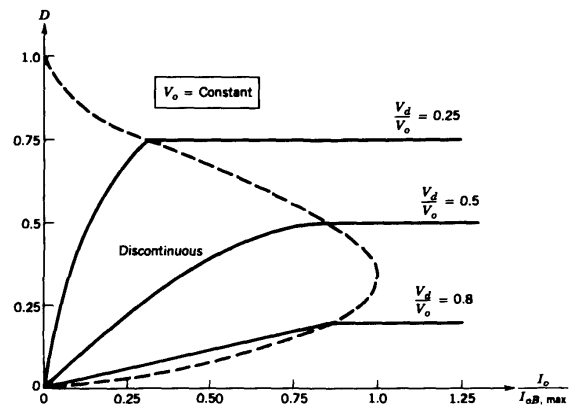
$$I_d = \frac{V_d}{2L} \cdot T_s (D + \Delta_1) \quad (53)$$

Arus output rata-rata:

$$I_o = \left(\frac{T_s V_d}{2L} \right) D \Delta_1 \quad (54)$$

Duty cycle dalam fungsi arus output maksimum:

$$D = \left[\frac{4}{27} \cdot \frac{V_o}{V_d} \left(\frac{V_o}{V_d} - 1 \right) \cdot \frac{I_o}{I_{oB,max}} \right]^{1/2} \quad (55)$$



Gambar 14 Karakteristik boost converter menjaga V_d tetap konstan

Gambar 14 adalah karakteristik boost converter dengan V_d konstan, menunjukkan hubungan duty cycle, rasio tegangan, serta perbedaan mode kontinu dan diskontinu. Pada mode kontinu, hubungan lebih stabil dan linier. Sedangkan pada mode diskontinu, karakteristik bergantung pada arus induktor dan beban.

Rumus Arus Maksimum dalam Discontinuous Mode

$$I_{oB,max} = 0.074 \cdot \frac{T_s V_o}{L} \quad (55)$$

Energi yang Ditransfer ke Output dalam Discontinuous Mode

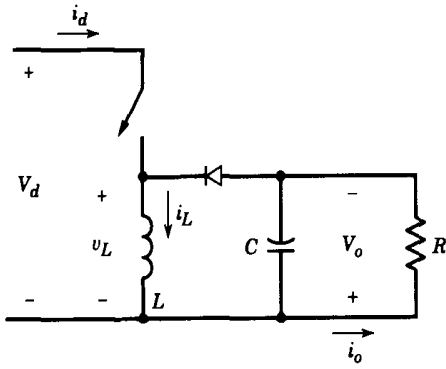
$$\frac{L}{2} i_{L,peak}^2 = \frac{(V_d D T_s)^2}{2L} \quad (56)$$

E. Konverter Penurun-Penaik Tegangan

Aplikasi utama dari konverter step-down/step-up atau buck-boost adalah pada catu daya DC teratur, di mana keluaran dengan polaritas negatif mungkin diinginkan terhadap terminal umum dari tegangan masukan, dan tegangan keluarannya bisa lebih tinggi atau lebih rendah dari tegangan masukannya.

Sebuah konverter buck-boost dapat diperoleh dari hubungan rangkaian dua konverter dasar secara kaskade: konverter step-down (buck) dan konverter step-up (boost). Dalam keadaan tunak, rasio konversi tegangan keluaran terhadap tegangan masukan adalah hasil kali dari rasio konversi kedua konverter tersebut (dengan asumsi kedua saklar memiliki rasio kerja D yang sama):

$$V_{out} = \frac{D}{1-D} \cdot V_{in} \quad (57)$$



Gambar 15. Buck - Boost Converter

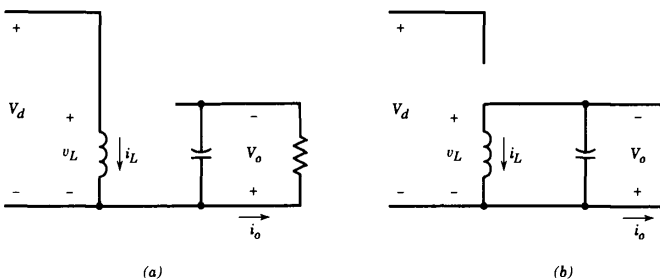
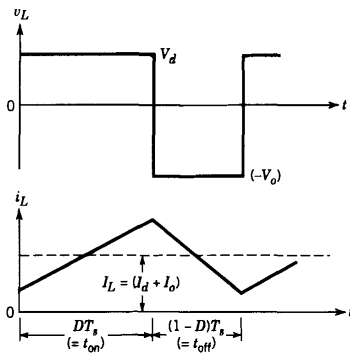
Gambar 15. Adalah yang Anda kirimkan adalah rangkaian Buck-Boost Converter, yaitu salah satu jenis konverter DC-DC yang dapat menghasilkan tegangan output yang lebih rendah (buck) maupun lebih tinggi (boost) dari tegangan inputnya, tergantung pada nilai duty cycle dari sinyal PWM yang mengontrol saklar.

1. Mode Konduksi Kontinu (CCM)

Dengan menyetarakan integral tegangan induktor selama satu periode:

$$V_d D T_s + (-V_o)(1 - D) T_s = 0$$

$$\therefore \frac{V_o}{V_d} = \frac{D}{1 - D} \quad (58)$$



Gambar 16. Converter buck-boost ($i_L > 0$) ; (a) saklar hidup dan (b) saklar mati

Gambar 16. Adalah gambar Converter buck-boost ($i_L > 0$) kondisi dimana : (a) saklar hidup dan (b) saklar mati

$$\frac{I_o}{I_d} = \frac{1-D}{D} \quad (\text{assuming } P_d = P_o) \quad (59)$$

Persamaan 55 menyatakan bahwa, tergantung pada rasio duty cycle, tegangan keluaran bisa lebih besar atau lebih kecil daripada tegangan masukan.

2. Batas Antara Konduksi Continu dan Discontinue

Gambar 17 menunjukkan bentuk gelombang pada batas konduksi kontinu. Berdasarkan definisi, arus induktor bernilai nol pada akhir interval off.

$$I_{LB} = \frac{1}{2} i_{L, \text{peak}} \quad (60)$$

$$I_{LB} = \frac{T_s V_d}{2L} D \quad (61)$$

Dari Gambar 7-18

$$I_o = I_L - I_d \quad (62)$$

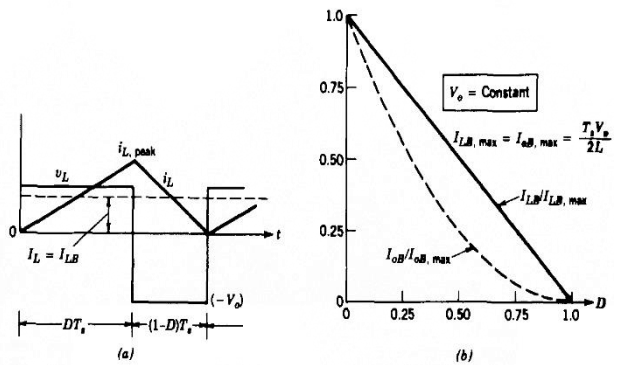
(karena arus rata-rata kapasitor sama dengan nol).

Dengan menggunakan Pers. 59 sampai 62, kita dapat memperoleh arus rata-rata induktor dan arus keluaran pada batas konduksi kontinu dalam bentuk V_o .

$$I_{LB} = \frac{T_s V_o}{2L} (1 - D) \quad (63)$$

dan

$$I_{oB} = \frac{T_s V_o}{2L} (1 - D)^2 \quad (64)$$



Gambar 17. Konverter buck-boost batas konduksi kontinu dan discontinue

Gambar 17 adalah konverter buck-boost batas konduksi kontinu dan discontinue. Kondisi arus induktor berosilasi naik-turun tiap siklus switching, dan nilai rata-rata arus bergantung pada duty cycle

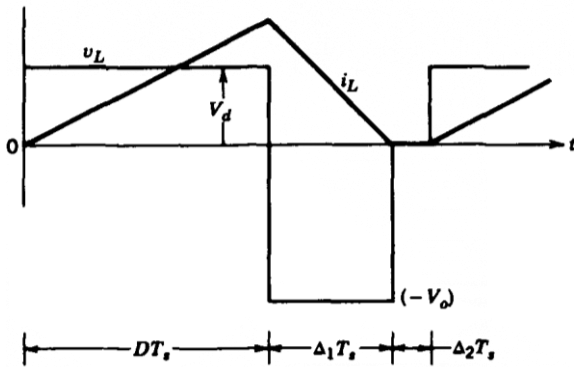
$$I_{LB, \text{max}} = \frac{T_s V_o}{2L} \quad (65)$$

$$I_{oB, \text{max}} = \frac{T_s V_o}{2L} \quad (66)$$

$$I_{LB} = I_{LB, \text{max}} (1 - D) \quad (67)$$

$$I_{oB} = I_{oB, \text{max}} (1 - D)^2 \quad (68)$$

3. Mode Konduksi Tidak Kontinu (DCM)



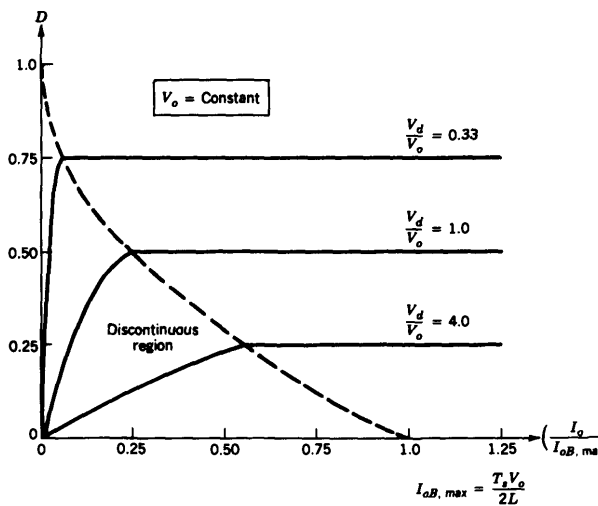
Gambar 18. Gelombang konverter buck-boost kondisi discontinuous-conduction mode.

Gambar 18 menunjukkan gelombang dengan arus induktor yang tidak kontinu. Jika kita menyamakan integral tegangan induktor selama satu periode menjadi nol,

$$\frac{V_o}{V_d} = \frac{D}{\Delta_1} \quad (69)$$

$$\frac{I_o}{I_d} = \frac{\Delta_1}{D} \quad (P_d = P_o) \quad (70)$$

$$I_L = \frac{V_d}{2L} DT_s (D + \Delta_1) \quad (71)$$



Gambar 19. Karakteristik buck-boost converter dengan V_o konstan.

Gambar 19. Adalah gambar karakteristik buck-boost converter pada kondisi konstan dimana berguna untuk memperoleh D sebagai fungsi dari arus beban keluaran I_o , untuk berbagai nilai V_d/V_o . Menggunakan persamaan yang diturunkan sebelumnya, diperoleh:

$$D = \frac{V_o}{V_d} \sqrt{\frac{I_o}{I_{oB,max}}} \quad (72)$$

Gambar 19 menunjukkan plot D sebagai fungsi dari $I_o/I_{oB,max}$ untuk berbagai nilai V_d/V_o .

Batas antara mode konduksi kontinu dan diskontinu ditunjukkan dengan kurva garis putus-putus.

F. MATLAB

Simulink, sebagai bagian dari MATLAB, menyediakan lingkungan pemodelan berbasis blok yang sangat berguna untuk menganalisis sistem dinamis, termasuk sistem elektronik daya seperti konverter DC-DC. Dalam penelitian ini, Simulink digunakan untuk merancang dan mensimulasikan performa konverter DC-DC dua arah antara tegangan 72V dan 12V yang digunakan dalam sistem penyimpanan energi kendaraan hasil konversi.

Simulasi ini memungkinkan analisis tegangan, arus, efisiensi, serta respons sistem terhadap perubahan beban dan gangguan, tanpa harus langsung membangun perangkat keras. Toolbox yang tersedia, termasuk blok matematika dan kontrol, mendukung pengujian skema kontrol seperti Voltage Mode Control (VMC) dan Average Current Mode Control (ACMC). Dengan demikian, Simulink menjadi alat penting untuk menguji kestabilan dan keandalan desain, serta mengoptimalkan sistem sebelum implementasi fisik.

III. METODOLOGI PENELITIAN

A. Metodologi Penelitian

Metodologi yang digunakan dalam penelitian ini dirancang secara sistematis untuk mencapai tujuan utama, yaitu merancang dan membangun sebuah sistem DC-DC Converter yang berfungsi sebagai perangkat pengisian daya (charging) pada kendaraan listrik dengan kapasitas baterai 72 VDC. Sistem ini memanfaatkan sumber daya input sebesar 12 VDC dan juga mendukung pengoperasian dua arah. Dengan kata lain, konverter yang dibuat tidak hanya berfungsi sebagai step-up (boost) dari tegangan rendah ke tegangan tinggi, tetapi juga sebagai step-down (buck) dari tegangan tinggi ke tegangan rendah. Pada penelitian ini dirancang agar sistem mampu menaikkan tegangan dari 48 V ke 72 V (mode boost) untuk pengisian baterai, serta menurunkan tegangan dari 72 V ke 12 V (mode buck) untuk menyuplai beban kelistrikan kendaraan.

Dalam penyusunan penelitian ini diperlukan penulisan yang sistematis dan terarah. Penyusunan tersebut bertujuan untuk mempermudah peneliti dalam merencanakan, melaksanakan, serta mengevaluasi seluruh langkah kerja yang terlibat, mulai dari pengumpulan data, perumusan masalah, studi literatur, perancangan sistem, hingga pengujian dan analisis hasil. Dengan pendekatan sistematis ini diharapkan penelitian tidak hanya menghasilkan perangkat DC-DC Converter sesuai spesifikasi teknis, tetapi juga menghasilkan laporan penelitian yang lengkap dan sesuai kaidah ilmiah.

Tahap-tahap penelitian yang akan dilakukan disusun secara berurutan dan runtut dalam bentuk konsep penelitian. Konsep ini dituangkan dalam diagram alur penelitian yang memperlihatkan hubungan antar setiap tahapan kegiatan,

mulai dari identifikasi kebutuhan hingga evaluasi hasil uji. Diagram alur ini juga berfungsi sebagai panduan visual bagi pembaca agar lebih mudah memahami proses penelitian secara keseluruhan.

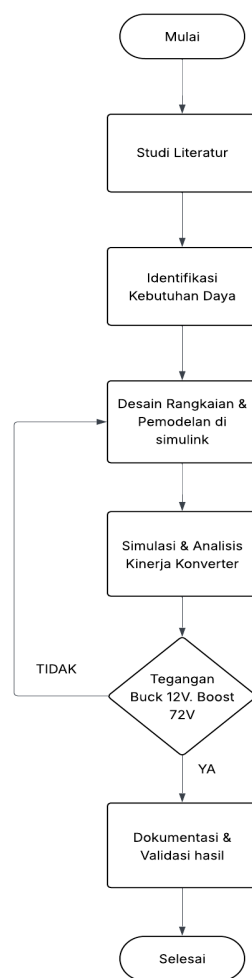


Diagram alur penelitian tersebut dapat dilihat pada gambar di bawah ini:

Gambar 20. Diagram Alir

Berikut penjelasan dari diagram alir dalam Gambar 20 :

1. Mulai
 - a. Titik awal proses perancangan dan simulasi konverter daya.
2. Studi Literatur
 - a. Mengkaji teori dasar mengenai konverter daya, teknik pengendalian, dan aplikasi Simulink.
 - b. Mempelajari referensi akademik dan teknikal terkait desain konverter dan metode simulasi.
3. Identifikasi Kebutuhan Daya
 - a. Menentukan kebutuhan daya dari sistem (tegangan input/output, arus beban, efisiensi target, dll).
4. Desain Rangkaian & Pemodelan di Simulink
 - a. Membuat blok diagram sistem di Simulink berdasarkan kebutuhan daya.
 - b. Menentukan parameter awal (duty cycle, switching frequency, nilai induktor/kapasitor, dsb).
5. Simulasi & Analisis Kinerja Konverter
 - a. Menjalankan simulasi untuk mengamati respons tegangan, arus, dan performa konverter.
6. Evaluasi Hasil Simulasi terhadap Spesifikasi

- a. Menentukan apakah sistem telah memenuhi kriteria performa yang diinginkan.
7. [Jika Belum Sesuai] Kembali ke Desain Rangkaian & Pemodelan
 - a. Melakukan perbaikan desain atau penggantian parameter yang belum optimal.
 - b. Mengulangi proses simulasi dan evaluasi hingga spesifikasi terpenuhi.
8. [Jika Sudah Sesuai] Dokumentasi & Validasi Hasil
 - a. Menyusun dokumentasi lengkap mengenai desain, parameter, dan hasil simulasi.
 - b. Validasi hasil dengan teori atau referensi teknis untuk memastikan konsistensi dan keandalan.
9. Selesai
 - A. Spesifikasi Desain

$$D_{\text{buck}} = \frac{V_{\text{out}}}{V_{\text{in}}} = \frac{12}{72} = 0,167$$

Induktor (L):

$$L = \frac{V_{\text{out}} \cdot (1-D)}{f_s \cdot \Delta I_L} \quad (74)$$

Frekuensi yang digunakan :

$$f = 20 \text{ kHz} = 20 \times 10^3 \text{ Hz}$$

Maka:

$$L = \frac{12 \cdot (1 - 0.167)}{20 \times 10^3 \cdot 3} = 0.000167 \text{ mH} = 167 \mu\text{H}$$

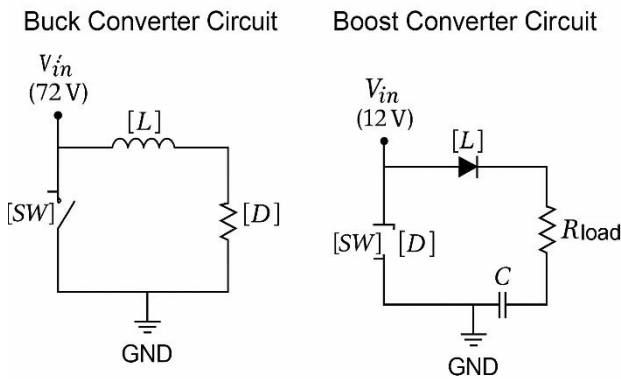
Output Capacitor (C):

$$C \geq \frac{I_{\text{out}} \cdot D}{f \cdot \Delta V_{\text{out}}} \quad (75)$$

$$I_{\text{out}} = \frac{V_{\text{out}}}{R} = \frac{12}{1.2} = 10 \text{ A}$$

$$\Delta V_{\text{out}} = 0.5 \text{ V}$$

$$C \geq \frac{I_{\text{out}} \cdot D}{f_s \cdot \Delta V_{\text{out}}} = \frac{10 \cdot 0.167}{20 \times 10^3 \cdot 0.5} = 16.7 \mu\text{F}$$



Gambar 21. Buck converter dan boost converter circuit

Gambar 21 adalah gambar Buck converter dan boost converter circuit menunjukkan rangkaian Buck Converter untuk menurunkan tegangan dan Boost Converter untuk menaikkan tegangan DC.

$$L = \frac{V_{\text{in}} \cdot D}{f_s \cdot \Delta I_L} \quad (73)$$

V_{in} : tegangan input
 D : duty cycle
 f_s : frekuensi switching
 ΔI_L : ripple arus inductor

Tabel 1. Komponen dan Spesifikasi

Komponen	Spesifikasi / Nilai
MOSFET Sisi 48V (Low Side)	MOSFET, $\geq 60\text{V}$,
MOSFET Sisi 72V (High Side)	MOSFET, $\geq 100\text{V}$,
MOSFET	2 unit, tipe N-channel
Induktor (L)	100 μH
Kapasitor Output 12V	$\geq 260 \mu\text{F}$, 25V,
Kapasitor Output 72V	$\geq 160 \mu\text{F}$, 100V,
Frekuensi Switching	50– 100 kHz

Tabel 1 adalah tabel komponen dan spesifikasi yang digunakan pada waktu simulasi.

B. Perhitungan Komponen

1. Desain Buck Converter (72V $\rightarrow$ 12V)

Duty Cycle (D):

Pada mode buck, duty cycle dihitung menggunakan rumus

2. Desain Boost Converter (48V $\rightarrow$ 72V)

• Duty Cycle (D):

Pada mode boost, duty cycle dihitung menggunakan rumus

$$D = 1 - \frac{V_{\text{in}}}{V_{\text{out}}} = \frac{48}{72} = 0,333$$

• Induktor (L):

Asumsi ripple arus :

$$\Delta I_L = 0.3 \times I_{\text{in}} = 0.3 \cdot 10.8 = 3.24 \text{ A}$$

$$L = \frac{V_{\text{in}} \cdot D}{f_s \cdot \Delta I_L} = \frac{48 \cdot 0.333}{50 \times 10^3 \cdot 3.24} \approx 98.65 \mu\text{H}$$

• Output Capacitor (C):

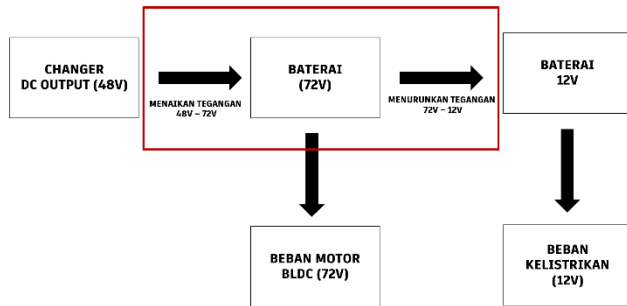
Asumsi arus ripple tegangan output

$$\Delta V_{\text{out}} = 1\% \times 72 = 0.72\text{V}$$

$$I_{\text{out}} = \frac{72}{10} = 7.2 \text{ A}$$

$$C \geq \frac{I_{\text{out}} \cdot D}{f_s \cdot \Delta V_{\text{out}}} = \frac{7.2 \cdot 0.333}{20 \times 10^3 \cdot 0.72} = 0.0001665 \text{ F} = 166.5 \mu\text{F}$$

C. Blok Diagram



Gambar 22. Blok Diagram DC-DC Converter.

Gambar 22 adalah gambar blok diagram dc-dc converter. Menunjukkan alur sistem konversi daya pada kendaraan listrik. Tegangan dari charger DC 48V dinaikkan menjadi 72V untuk mengisi baterai utama, kemudian baterai 72V digunakan untuk menyuplai beban motor BLDC. Selain itu, tegangan 72V juga diturunkan menjadi 12V untuk mengisi baterai 12V yang digunakan sebagai sumber beban kelistrikan.

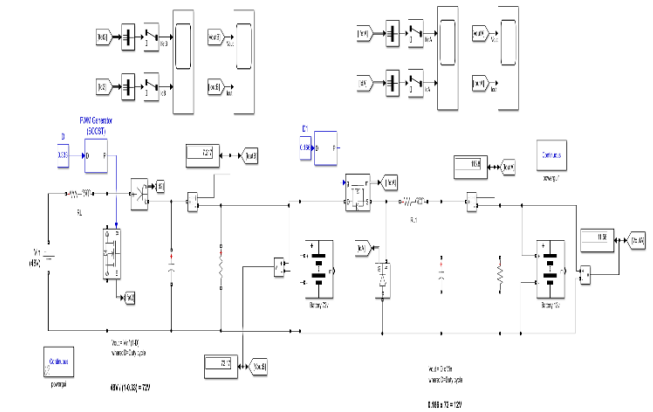
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Perancangan Rangkaian Simulink Matlab

Secara umum system dirancang sesuai dengan blok diagram gambar 22 Baterai berkapasitas 72v menjadi sumber daya utama untuk sistem. Pada mode penggerak, baterai ini menyediakan daya ke sistem kelistrikan 12v melalui baterai 12v. Kemudian jika waktu yang di tentukan pada blok time sudah terpenuhi maka baterai akan beralih mode untuk pengisian charger melalui proses switch dari tegangan 48v menjadi 72v.

Pada pengujian buck converter dan boost converter tegangan di switching. Pengukuran yang di lakukan diantaranya terdapat pada Switching diukur oleh menggunakan blok scope measurement, Tegangan input dan output penyearah diukur menggunakan blok voltage measurement, Arus pada baterai diukur menggunakan blok I measurement.

Pada kedua pengujian DC-DC Converter. Konverter diatur dengan setpoint dengan input dan tegangan konstan sebesar 72v dan 48v.

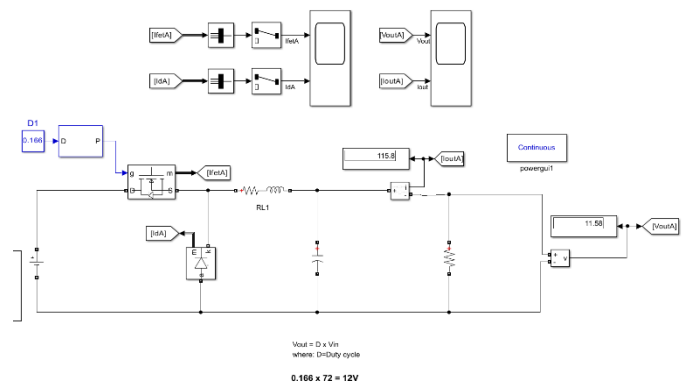


Gambar 23. Desain Simulink Buck dan Boost DC-DC Converter

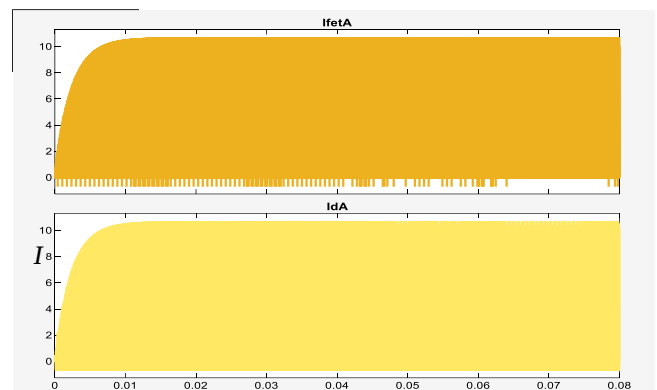
B. Pengujian Rangkaian Simulink Matlab

Pengujian dilakukan dalam simulasi Buck dan Boost DC-DC converter menggunakan Simulink dilakukan 2 tahap. Tahap pertama adalah pengujian pada kondisi buck converter (Konverter Penurun Tegangan). Tahap kedua adalah pengujian pada kondisi boost converter (Konverter Penaik Tegangan) yang dilakukan secara bergantian.

1. Pengujian Konverter Penurun Tegangan



Gambar 24. Desain Simulink Konverter Penurun Tegangan



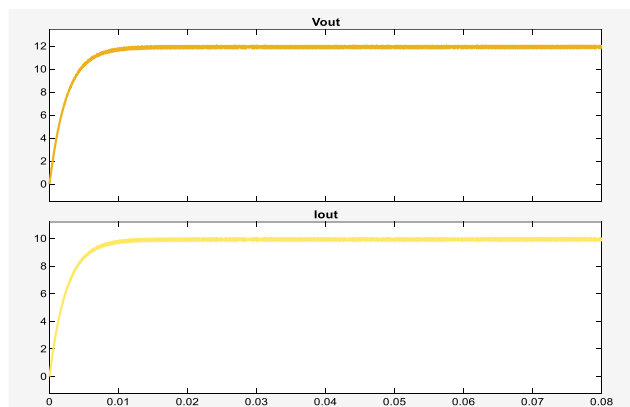
Gambar 25. Mosfet dan Dioda pada Buck Converter

Gambar 25 memperlihatkan bentuk gelombang arus yang mengalir pada MOSFET (IfetA) dan dioda (IdA) selama proses kerja konverter penurun tegangan. Pada awal simulasi, terjadi lonjakan arus akibat proses start-up dari sistem. Setelah beberapa milidetik, arus masuk ke dalam kondisi steady-state dan menunjukkan kestabilan.

Arus pada MOSFET menunjukkan bentuk gelombang tajam dan periodik, mencerminkan proses switching dengan frekuensi tinggi. Arus maksimum pada awal simulasi mencapai lebih dari 10 A, namun kemudian stabil di sekitar nilai tersebut dalam bentuk berosilasi. Sedangkan arus pada dioda juga menunjukkan pola switching yang khas, aktif saat MOSFET dalam kondisi OFF.

Gelombang arus IfetA dan IdA saling melengkapi, yang merupakan ciri khas kerja buck converter dalam mode Continuous Conduction Mode (CCM).

Kedua bentuk gelombang arus ini menunjukkan bahwa arus induktor tidak pernah turun hingga nol dalam satu siklus switching penuh, menandakan bahwa konverter beroperasi dalam mode konduksi kontinu (CCM) yang menjamin efisiensi konversi daya lebih tinggi dan riak (ripple) arus yang lebih kecil pada output.



Gambar 26. Tegangan dan Arus pada Buck Converter

Gambar 25 dan Gambar 26 menunjukkan respons sistem terhadap tegangan output (Vout) dan arus output (Iout) pada konverter buck. Tegangan output (Vout) mengalami kenaikan tajam pada awal simulasi dan kemudian mencapai kondisi steady-state di sekitar 11,58 V, mendekati nilai target 12 V.

Deviasi sebesar 0,42 V atau sekitar 0,3% masih berada dalam batas toleransi sistem dan kemungkinan disebabkan oleh efek switching loss dan penurunan tegangan pada elemen semikonduktor seperti MOSFET dan dioda.

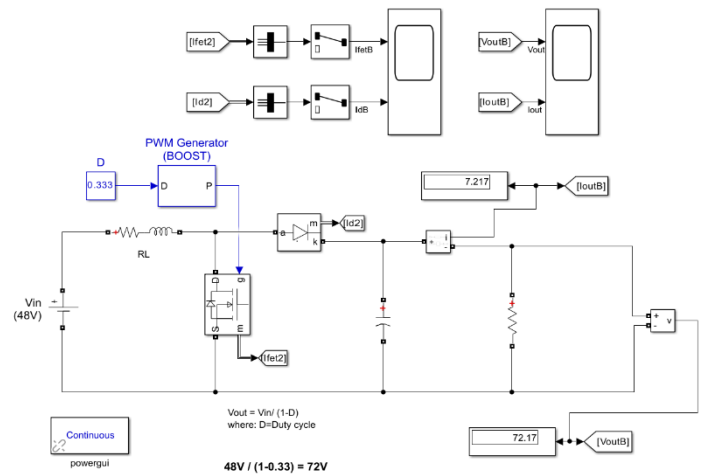
Arus output (Iout) juga memperlihatkan performa yang stabil, yaitu mencapai nilai steady-state di sekitar 11,58 A. Nilai ini sesuai dengan hasil teoritis berdasarkan hukum Ohm:

$$I_{out} = \frac{V_{out}}{R} = \frac{11,58}{1} \approx 11,58 \text{ A}$$

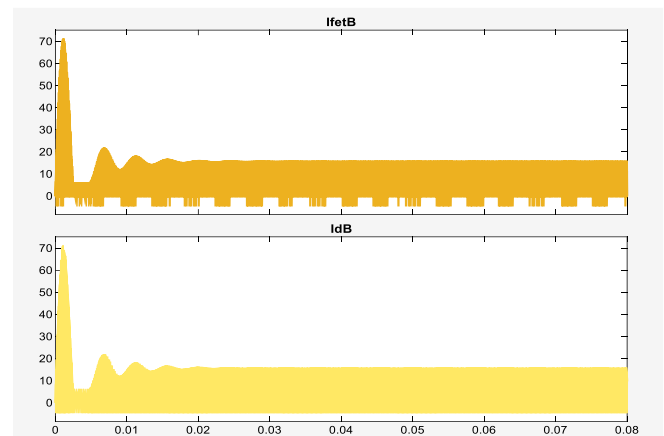
Dengan demikian, daya output konverter dapat dihitung sebagai berikut:

$$P_{out} = V_{out} \cdot I_{out} = 11,58 \cdot 11,58 \approx 134,10 \text{ W}$$

2. Pengujian Konverter Penaik Tegangan



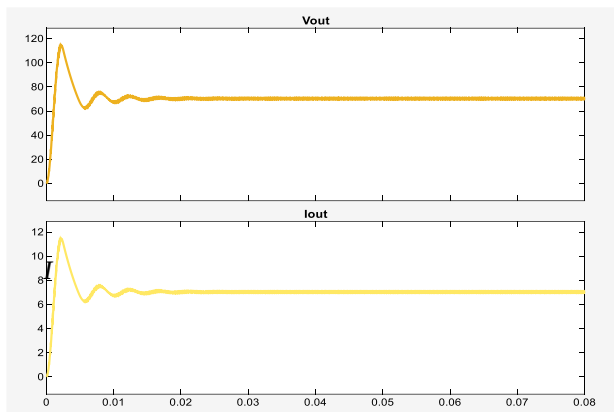
Gambar 27. Desain Simulink Boost Converter



Gambar 28. Gelombang Mosfet dan Dioda pada Boost Converter

Gambar 28 memperlihatkan bentuk gelombang arus yang mengalir pada MOSFET (IfetB) dan dioda (IdB) selama proses kerja boost converter. Pada awal simulasi, terjadi lonjakan arus yang cukup tinggi akibat proses start-up. Arus ini kemudian menurun dan mencapai kondisi steady-state setelah beberapa milidetik. Arus pada MOSFET memperlihatkan bentuk gelombang yang tajam dan periodik, mencerminkan proses switching ON-OFF pada frekuensi tinggi. Arus maksimum pada awal simulasi mencapai lebih dari 70 A, namun kemudian stabil di sekitar 7–8 A. Demikian pula, arus pada dioda menunjukkan karakteristik switching, yang aktif saat MOSFET dalam kondisi OFF.

Kedua gelombang arus menunjukkan bahwa sistem bekerja pada mode Continuous Conduction Mode (CCM), karena arus induktor tidak turun ke nol selama satu siklus penuh. Hal ini menunjukkan bahwa boost converter dirancang dengan induktor yang cukup besar dan sesuai untuk operasi daya menengah.



Gambar 29. Tegangan dan Arus pada Boost Converter

Gambar 28 dan 29 menunjukkan respons sistem terhadap tegangan output (V_{out}) dan arus output (I_{out}). Pada awal simulasi, tegangan output mengalami kenaikan tajam hingga mencapai nilai steady-state sekitar 72.17 V, mendekati nilai target sebesar 72 V.

Deviasi sebesar 0.17 V atau sekitar 0.236% ini masih berada dalam batas toleransi sistem dan kemungkinan disebabkan oleh efek switching loss dan penurunan tegangan pada komponen semikonduktor seperti diode dan MOSFET.

Arus output juga memperlihatkan respons yang baik. Setelah lonjakan awal, arus output stabil di sekitar 7.217 A, yang sesuai dengan nilai teoretis berdasarkan hukum Ohm:

$$I_{out} = \frac{V_{out}}{R} = \frac{70,17}{10} = 7,217 \text{ A}$$

Hasil ini mengonfirmasi bahwa daya output sebesar:

$$P_{out} = V_{out} \cdot I_{out} = 72,17 \cdot 7,217 \approx 520,85 \text{ W}$$

Boost converter menampilkan kinerja yang baik: $V_{out} \approx 72,17$ V (deviasi sangat kecil, $\pm 0,236\%$), $I_{out} \approx 7,217$ A sesuai teori, dan $P_{out} \approx 520,85$ W

V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perancangan, simulasi, dan analisis terhadap sistem Buck dan Boost DC-DC Converter yang dilakukan pada penelitian ini, maka kesimpulan yang dapat diambil adalah sebagai berikut:

1. Perancangan Buck-Boost Konverter

Konverter DC-DC dua arah berhasil dirancang menggunakan topologi buck-boost sederhana untuk mengatur aliran daya dalam sistem penyimpanan energi. Sistem ini memanfaatkan dua sumber tegangan terpisah sesuai kebutuhan pengujian, yaitu:

- 72 V sebagai input pada mode buck untuk menghasilkan tegangan keluaran sekitar 12 V sebagai suplai beban tegangan rendah kendaraan listrik.
- 48 V sebagai input pada mode boost untuk menghasilkan tegangan keluaran sekitar 72 V sebagai pengisian baterai tegangan tinggi.

Perancangan dan simulasi dilakukan menggunakan MATLAB/Simulink dengan kendali PWM (Pulse Width Modulation) sebagai pengatur utama proses pensaklaran MOSFET. Pemilihan topologi ini memungkinkan sistem bekerja dua arah secara terpisah sesuai kebutuhan penyimpanan dan distribusi energi pada kendaraan listrik hasil konversi.

2. Karakteristik Tegangan dan Arus

Hasil simulasi menunjukkan bahwa konverter bekerja sesuai rancangan baik pada mode penurunan (buck) maupun kenaikan tegangan (boost):

- Mode Buck (penurun tegangan): Tegangan keluaran mencapai 11,58 V dengan arus keluaran mendekati 11,5 A sesuai perhitungan teoretis berdasarkan hukum Ohm. Daya keluaran konverter sekitar 134 W. Profil gelombang arus pada MOSFET dan dioda menunjukkan karakteristik switching frekuensi tinggi yang saling melengkapi, menandakan operasi konverter dalam Continuous Conduction Mode (CCM) sehingga riak arus lebih kecil dan efisiensi konversi lebih tinggi.
- Mode Boost (penaik tegangan): Tegangan keluaran mencapai 72,17 V dengan arus keluaran sekitar 7,217 A sesuai nilai teoretis, dengan daya keluaran sekitar 520,85 W. Karakteristik arus pada MOSFET dan dioda juga menunjukkan sistem bekerja dalam mode CCM, yang menandakan pemilihan induktor sudah tepat dan sesuai untuk operasi daya menengah.

Deviasi tegangan keluaran pada kedua mode sangat kecil (di bawah 0,5%) sehingga sistem terbukti stabil dan sesuai spesifikasi rancangan.

3. Pencapaian Target dan Potensi Implementasi

Kinerja konverter pada kedua mode menunjukkan tegangan dan arus keluaran mendekati nilai target dengan deviasi sangat kecil, sehingga dapat disimpulkan bahwa pemilihan parameter komponen (induktor, kapasitor, MOSFET, dioda) dan metode pengaturan switching yang digunakan sudah tepat. Hal ini membuktikan bahwa konverter yang dirancang mampu menjawab kebutuhan pengaturan aliran daya pada sistem penyimpanan energi dan berpotensi diimplementasikan lebih lanjut pada aplikasi nyata kendaraan listrik.

Saran

1. Saran untuk Penelitian Selanjutnya

Untuk pengembangan lebih lanjut, disarankan agar dilakukan eksperimen pada perangkat keras (hardware) untuk memvalidasi hasil simulasi yang telah dilakukan. Penelitian dapat difokuskan pada implementasi dead-time yang optimal untuk memastikan transisi switching yang lebih efisien, terutama pada rentang tegangan HV yang lebih tinggi.

2. Saran untuk Peningkatan Desain

Pengembangan kontrol berbasis algoritma adaptif seperti fuzzy logic atau neural network dapat diteliti untuk meningkatkan respons dinamis dan adaptabilitas sistem terhadap variasi beban yang lebih. Mekanisme proteksi yang lebih kompleks untuk memastikan keandalan sistem dalam berbagai kondisi operasi.

VI. DAFTAR PUSTAKA

- [1] H. Akagi, E. H. Watanabe, and M. Aredes, *Instantaneous Power Theory and Applications to Power Conditioning*. Hoboken, NJ, USA: Wiley-IEEE Press, 2007.
- [2] “E. Prasetyono, E. Sunarno, M. C. Fuad, D. O. Anggriawan, and N. A. Windarko, “A Full-Bridge Bidirectional DC-DC Converter with Fuzzy Logic Voltage Control for Battery Energy Storage System,” *emitter*, vol. 7, no. 1, pp. 243–260, Jun. 2019, doi: 10.24003/emitter.v7i1.333.
- [3] S. A. Gorji, H. G. Sahebi, M. Ektesabi, and A. B. Rad, “Topologies and Control Schemes of Bidirectional DC–DC Power Converters: An Overview,” *IEEE Access*, vol. 7, pp. 117997–118019, 2019, doi: 10.1109/ACCESS.2019.2937239.
- [4] O. A. Pop and S. Lungu, “Modelling of DC-DC converters”.
- [5] Z. Ahlami, I. Setiawan, and E. W. Sinuraya, “Perancangan Two Phase Interleaved Bidirectional DC-DC Converter Berbasis Mikrocontroller DSPIC30F2020,” *Transient*, vol. 10, no. 1, pp. 122–131, Mar. 2021, doi: 10.14710/transient.v10i1.122-131.
- [6] Y. Chen and P. K. Jain, “A novel integrated bidirectional DC/DC converter for plug-in hybrid electric vehicles,” *IEEE Transactions on Power Electronics*, vol. 25, no. 10, pp. 2609–2619, 2010.
- [7] A. Khaligh and Z. Li, “Battery, ultracapacitor, fuel cell, and hybrid energy storage systems for electric, hybrid electric, fuel cell, and plug-in hybrid electric vehicles: State-of-the-art,” *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol. 59, no. 6, pp. 2806–2814, 2010.
- [8] R. W. Erickson and D. Maksimovic, *Fundamentals of Power Electronics*, 2nd ed. New York, NY, USA: Springer, 2001.
- [9] “Peraturan Menteri Perhubungan Republik Indonesia No. 65 Tahun 2020 tentang Konversi Kendaraan Bermotor.” Kementerian Perhubungan Republik Indonesia, 2020.
- [10] K. Rajashekara, “Power conversion and control strategies for fuel cell vehicles,” *Proceedings of the IEEE*, vol. 95, no. 4, pp. 719–728, 2007.
- M. H. Rashid, *Power Electronics: Circuits, Devices and Applications*, 4th ed. Upper Saddle River, NJ, USA: Pearson, 2014.
- [12] N. Mohan, T. M. Undeland, and W. P. Robbins, *Power Electronics: Converters, Applications, and Design*, 3rd ed. Hoboken, NJ, USA: Wiley, 2003.
- [13] H. Wu, X. Dong, and Y. Xing, “Topology derivation of bidirectional DC–DC converters,” *IEEE Transactions on Power Electronics*, vol. 28, no. 12, pp. 5546–5557, 2013.
- [14] A. Yazdani and R. Iravani, *Voltage-Sourced Converters in Power Systems: Modeling, Control, and Applications*. Hoboken, NJ, USA: Wiley-IEEE Press, 2010.
- [15] E.-S. Kim, C.-J. Kim, and Y.-T. Kim, “Development of Bidirectional AC-DC Converter for Energy Storage Systems,” 2019.

VII. BIODATA PENULIS



Elvan Dwi Nur Asyifa lahir di Malang, 6 September 2001. Ia menempuh pendidikan di SMK Negeri 4 Malang jurusan Teknik Mekatronika (4tahun), lalu melanjutkan studi S-1 Teknik Elektro di Institut Teknologi Nasional Malang. Selama kuliah aktif di riset dan organisasi, antara lain PKM-KC topik Virtual Reality deteksi katarak (lolos pendanaan), Himpunan Mahasiswa Elektro, komunitas robotik, serta Laboratorium Power System Simulasi.