

DAFTAR ISI

Halaman Judul	i
Lembar Pengesahan	ii
Identitas Penelitian	iii
DAFTAR ISI.....	1
DAFTAR TABEL.....	2
DAFTAR GAMBAR.....	3
RINGKASAN PENELITIAN.....	4
BAB 1. PENDAHULUAN	5
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA	8
BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN	21
BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN	25
BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN	36
DAFTAR PUSTAKA	37
LAMPIRAN 1. ROAD MAP PENELITIAN	39
LAMPIRAN 2. LUARAN PENELITIAN.....	41

DAFTAR TABEL

Tabel 3. 1 Jadwal Kegiatan.....	21
Tabel 4. 1 Desain Parameter Sistem Bidirectional DC DC Converter	26

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Skema Diagram Sistem PLTS Terhubung ke Jaringan.....	8
Gambar 2. 2 Skema Diagram Sistem PLTS Tidak Terhubung ke Jaringan	9
Gambar 2. 3 Aplikasi Umum DC DC Converter.....	10
Gambar 2. 4 Rangkaian Buck Converter	10
Gambar 2. 5 Rangkaian Buck Converter saat Saklar S Kondisi ON	11
Gambar 2. 6 Rangkaian Buck Converter saat Saklar S Kondisi ON	11
Gambar 2. 7 Gelombang respon Buck Converter	12
Gambar 2. 8 Rangkaian Boost Converter	13
Gambar 2. 9 Rangkaian Boost Converter saat Saklar S Kondisi ON	13
Gambar 2. 10 Rangkaian Boost Converter saat Saklar S Kondisi OFF	14
Gambar 2. 11 Gelombang Respon Boost Converter	15
Gambar 2. 12 Struktur Dasar Bidirectional DC DC Converter	16
Gambar 2. 13 Topologi Bidirectional DC DC Converter.....	17
Gambar 2. 14 Bidirectional Buck Boost DC DC Converter.....	17
Gambar 2. 15 Bidirectional DC DC Converter Mode Buck.....	18
Gambar 2. 16 Bidirectional DC DC Converter Mode Buck.....	18
Gambar 2. 17 Tampilan MATLAB R2022a.....	19
Gambar 3. 1 Diagram Blok Sistem.....	22
Gambar 3. 2 Diagram Alir Penelitian.....	23
Gambar 4. 1 Diagram Blok Sistem Penyimpanan Energi pada PLTS.....	25
Gambar 4. 2 Rangkaian Sistem Bidirectional DC DC Buck Boost Converter pada Simulink Matlab	28
Gambar 4. 3 Pengaturan Ideal Switch untuk On-Off ke Sumber PLTS	29
Gambar 4. 4 Pengaturan MOSFET.....	29
Gambar 4. 5 Pengaturan Nilai Kapasitor saat Mode Boost	30
Gambar 4. 6 Pengaturan Nilai Induktor.....	30
Gambar 4. 7 Pengaturan Parameter Baterai.....	31
Gambar 4. 8 Pengaturan Kontrol untuk Gate MOSFET.....	31
Gambar 4. 9 Pengaturan Kontrol untuk Mode Charging dan Discharging	32
Gambar 4. 10 Grafik Pengosongan (Discharging) Baterai	33
Gambar 4. 11 Tegangan dan Arus Baterai	33
Gambar 4. 12 Tegangan Beban	33
Gambar 4. 13 Grafik Pengisian (Charging) Baterai	34
Gambar 4. 14 Tegangan dan Arus Baterai saat Mode Charging	34
Gambar 4. 15 Tegangan Beban	35

RINGKASAN PENELITIAN

Penggunaan *bidirectional dc dc converter* saat ini semakin luas dan banyak pada beberapa aplikasi yang membutuhkan aliran daya dua arah. Aplikasi ini meliputi berbagai bidang seperti sistem penyimpanan energi, *uninterruptible power supplies*, *electric vehicles* dan sistem energi terbarukan.

Bidirectional converter memiliki peranan yang penting dalam integrasi PLTS dan sistem penyimpanan energi yang efisien, memungkinkan pertukaran energi yang mulus antara sistem PV, jaringan listrik, dan sistem penyimpanan energi [1]. Selain itu *bidirectional converter* juga memiliki peranan yang penting dalam sistem *smart grid*, yang mana penggunaan energi terbarukan sebagai sumber energi listrik yang bersifat intermittent seperti energi surya, energi angin yang masing – masing digunakan pada PLTS dan PLTB diperlukan integrasi dengan sistem penyimpanan energi baterai. Sistem integrasi dengan baterai diperlukan guna menjaga penyediaan energi listrik dan menjamin kestabilan dan kehandalan jaringan listrik, dalam sistem integrasi energi terbarukan satu dengan yang lain. Hal ini dibutuhkan sistem *bidirectional converter* yang handal, efisien dan bisa mengatasi sifat intermittent dari sumber energi terbarukan untuk pembangkitan energi listrik.

Bidirectional DC DC converter memainkan peran penting dalam memproses daya dari baterai ke beban selama kondisi transien dan kelebihan beban dalam mode maju, sekaligus mengisi daya baterai dalam mode mundur. Oleh karena itu, karena fungsi dan penggunaannya yang luas dalam sistem kelistrikan, studi dan pengembangan *bidirectional DC DC converter* memegang peranan penting dalam bidang elektronika daya. Oleh karena itu, penelitian ini penting untuk dilakukan terkait dengan *literature review* yang *comprehensive* terhadap sistem *bidirectional DC DC converter* dari jenis, fungsi dan operasinya serta konfigurasi sistemnya. Selain daripada itu penelitian ini juga akan merepresentasikan model dari sistem *bidirectional DC DC converter* pada sistem penyimpanan energi PLTS, sehingga didapatkan gambaran modeling sistem yang diinginkan. Pemodelan sistem dikerjakan dengan bantuan software Simulink Matlab. Hasil akhir dari penelitian ini adalah bahwa dari penelitian dapat dihasilkan satu publikasi ilmiah yang akan diterbitkan pada jurnal nasional terakreditasi, selain daripada itu hasil dari penelitian dicatatkan dalam hak cipta juga berupa HKI poster penelitian serta materi PPT untuk menunjang kegiatan perkuliahan pada mata kuliah elektronika daya.

Kata Kunci :

Bidirectional DC DC Converter, Aliran Daya, PLTS, Sistem Penyimpanan Energi, Intermittent, Kehandalan

BAB 1. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Sumber energi terbarukan, seperti sistem fotovoltaik, telah mendapatkan perhatian yang signifikan dalam beberapa tahun terakhir karena manfaat lingkungan dan potensinya untuk pembangkitan energi berkelanjutan. Namun, sifat intermiten dari sumber-sumber ini mengharuskan integrasi sistem penyimpanan energi untuk memastikan pasokan energi yang handal dan kontinyu. Integrasi sumber energi terbarukan, khususnya sistem fotovoltaik, ke dalam jaringan listrik merupakan langkah penting dalam transisi menuju masa depan energi berkelanjutan [2]. Namun sifat energi surya yang *intermittent* menimbulkan tantangan yang signifikan dalam menjaga stabilitas dan keandalan jaringan listrik. salah satu Solusi yang menjanjikan adalah penggabungan sistem penyimpanan energi, seperti *battery bank*, untuk mengurangi variabilitas pembangkitan PLTS [3].

Bidirectional DC DC converter memainkan peran penting dalam integrasi yang efisien dari sistem penyimpanan energi ini, memungkinkan pertukaran energi yang mulus antara sistem PV, jaringan listrik, dan penyimpanan. Manajemen dan kontrol yang efektif dari *Bidirectional DC DC converter* ini sangat penting untuk mengoptimalkan kinerja sistem penyimpanan energi PLTS, terutama dalam aplikasi skala rumah tangga. Kemajuan dalam teknologi kecerdasan buatan menghadirkan peluang untuk meningkatkan efisiensi dan responsivitas konverter ini, meningkatkan ketahanan dan keandalan sistem tenaga berbasis PLTS secara keseluruhan [4], [5]. Dalam penggunaannya *bidirectional dc dc converter* dibagi menjadi 2 kategori konfigurasi, yaitu *Isolated* dan *Non-Isolated Bidirectional DC DC Converter*. Dalam topologi konverter DC-DC non-terisolasi, daya ditransfer ke kedua arah tanpa isolasi magnetik. Jadi tanpa menggunakan transformator, *bidirectional converter* ini tidak memiliki isolasi galvanik seperti rasio penguatan tegangan *step up* yang tinggi serta *bidirectional converter* jenis ini memiliki konfigurasi yang sederhana, bobot yang lebih ringan, dan juga tidak mengalami gangguan magnetik. Dalam topologi konverter DC-DC terisolasi, daya dapat ditransfer ke kedua arah dengan isolasi magnetik. Dengan menggunakan transformator frekuensi tinggi, ia mengubah tegangan DC menjadi tegangan AC kemudian mengubah tegangan AC menjadi tegangan DC dengan menggunakan rangkaian penyearah. Rasio penguatan tegangan topologi terisolasi lebih besar dibandingkan dengan topologi non-terisolasi. Namun, perhatian utama dalam topologi ini adalah merancang transformator, yang mengurangi induktansi kebocoran dan lonjakan tegangan pada sisi input transformator. Salah satu konfigurasi *bidirectional DC DC converter* adalah *buck boost converter*. *Buck boost converter* dua arah memainkan peran penting dalam mengelola aliran daya secara efisien antara sistem PV dan sistem penyimpanan energi, memungkinkan penyimpanan dan pengambilan energi yang mulus [4], [6].

Integrasi sistem PV dengan penyimpanan energi menghadirkan beberapa tantangan yang memerlukan desain dan analisis yang cermat. *Variabilitas* iradiasi matahari dan suhu dapat secara signifikan memengaruhi kinerja sistem PV, yang menyebabkan fluktuasi pada output daya. Sifat *intermiten* dari pembangkitan PV dapat menyebabkan ketidakstabilan dan masalah keandalan pada jaringan listrik, terutama dalam aplikasi yang berdiri sendiri atau *off-grid*. Untuk mengatasi tantangan ini, para peneliti telah mengeksplorasi berbagai strategi desain dan kontrol untuk konverter buck-boost dua arah dalam sistem penyimpanan energi PV. Desain dan analisis konverter semacam itu sangat penting untuk memastikan manajemen daya yang efisien, peningkatan keandalan sistem, dan peningkatan kemampuan penyimpanan energi.

1.2. Perumusan Masalah

Sifat intermiten dari sistem fotovoltaik dan kebutuhan akan sistem penyimpanan energi yang andal untuk memastikan pasokan daya yang kontinu menimbulkan tantangan yang signifikan. Fluktuasi iradiasi matahari dan suhu dapat menyebabkan variasi output daya, yang dapat menyebabkan ketidakstabilan dan masalah keandalan pada jaringan listrik, terutama dalam aplikasi yang berdiri sendiri atau off-grid.

Integrasi sistem PV dengan penyimpanan energi, seperti baterai, adalah solusi yang menjanjikan untuk mengatasi tantangan ini. Namun, desain dan analisis konverter buck-boost dua arah, yang memainkan peran penting dalam mengelola aliran daya antara sistem PV dan sistem penyimpanan energi, memerlukan penyelidikan yang mendalam untuk memastikan manajemen daya yang efisien, peningkatan keandalan sistem, dan peningkatan kemampuan penyimpanan energi.

1.3. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah mencakup hal-hal berikut :

1. Menganalisis secara komprehensif *bidirectional DC DC converter* dari jenis konfigurasi, sistem kerja, operasi serta fungsinya.
2. Merancang dan menganalisis *bidirectional DC DC buck-boost converter* yang dapat mengintegrasikan sistem PLTS dengan sistem penyimpanan energi, seperti baterai secara efisien.
3. Mengevaluasi kinerja *bidirectional DC DC buck-boost converter* dua arah yang diusulkan dalam sistem penyimpanan energi PLTS, termasuk kemampuannya dalam menangani fluktuasi iradiasi matahari dan suhu.

1.4. Batasan Penelitian

Penelitian yang diusulkan memiliki beberapa batasan sebagai berikut:

1. **Fokus pada konverter tunggal:** Studi ini difokuskan pada desain dan analisis buck-boost *converter* dua arah tunggal dan integrasinya dengan sistem PLTS dan sistem penyimpanan energi. Analisis kinerja konverter yang diusulkan dalam sistem multi-konverter skala besar berada di luar cakupan penelitian ini.
2. **Penekanan pada desain sistem buck boost converter pada PLTS terintegrasi sistem penyimpanan energi:** Penelitian ini terutama akan fokus pada desain dan analisis konverter serta pemodelan dan simulasi pada sistem PLTS dan sistem penyimpanan energi.
3. **Analisis teoritis dan simulasi:** Penelitian akan dibatasi pada analisis teoritis dan berbasis simulasi dari konverter yang diusulkan. Validasi eksperimental dari kinerja konverter tidak termasuk dalam proposal penelitian ini.

1.5. Kaitan Penelitian dengan Road Map Penelitian Pribadi dan Road Map Penelitian Fakultas

Integrasi sistem PV dengan penyimpanan energi telah menjadi persyaratan penting untuk memastikan pasokan daya yang andal dan kontinyu, terutama dalam aplikasi yang berdiri sendiri atau off-grid. *Buck-boost converter* dua arah memainkan peran penting dalam mengelola aliran daya antara sistem PV dan sistem penyimpanan energi, sehingga memungkinkan penyimpanan dan pengambilan energi yang efisien.

Penelitian yang diusulkan bertujuan untuk berkontribusi pada pemahaman dan pengembangan *buck-boost converter* dua arah untuk sistem penyimpanan energi pada PLTS. Desain dan analisis konverter semacam itu sangat penting untuk meningkatkan manajemen daya, keandalan sistem, dan kemampuan penyimpanan energi, yang mana sangat penting untuk adopsi sistem PLTS secara luas. Penelitian ini akan dibangun di atas pengetahuan yang ada di bidang integrasi penyimpanan energi PV, sebagaimana dibuktikan oleh sumber-sumber yang disediakan. Penelitian yang diusulkan akan berkontribusi pada upaya berkelanjutan dalam merancang dan menganalisis *buck-boost converter* dua arah untuk sistem penyimpanan energi PLTS, yang pada akhirnya mendukung pengembangan sistem pembangkitan dan penyimpanan energi terbarukan yang lebih efisien dan handal.

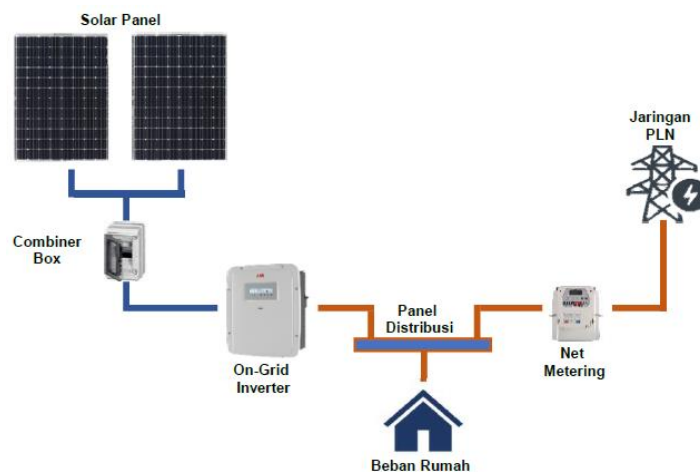
Keterkaitan dengan road map penelitian pribadi dan road map penelitian fakultas adalah penelitian berfokus pada bidang green energy dan green teknologi.

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Sistem PLTS On-Grid

Sistem PLTS terhubung ke jaringan (*on-grid*) didefinisikan sebagai sistem PLTS yang terinterkoneksi ke utilitas atau jaringan yang sudah ada di wilayah tersebut. Pada umumnya sistem PLTS terhubung ke jaringan dibangun tidak menggunakan teknologi baterai sebagai komponen penyimpan cadangan energi. Dalam sistem terhubung ke jaringan aspek teknis dalam sinkronisasi PLTS ke sistem eksisting menjadi salah satu faktor penting yang perlu diperhatikan. Hal itu disebabkan karena suplai daya listrik dari sistem PLTS sangat dipengaruhi oleh energi matahari yang bergantung pada kondisi alam seperti cuaca, musim, awan, dan lain sebagainya. Adanya fluktuasi input radiasi matahari yang sampai ke modul fotovoltaik akan berpengaruh terhadap daya keluaran dari sistem PLTS sehingga dapat mempengaruhi kestabilan sistem seperti tegangan dan frekuensi.

Sistem PLTS terhubung jaringan saat ini banyak digunakan pada atap bangunan kluster perumahan, bangunan komersial dan kompleks industri. Sistem PLTS ini biasa disebut dengan PLTS atap. Energi listrik yang dihasilkan oleh PLTS atap dapat digunakan untuk pemakaian beban lokal terutama pada siang hari. Kelebihan lain dari penggunaan PLTS atap adalah meringankan biaya tagihan bulanan pelanggan tenaga listrik [7]. Gambar 2.1 menunjukkan konfigurasi penyambungan PLTS atap yang terhubung ke jaringan yang terdiri dari larik fotovoltaik (PV array), inverter (DC/AC), dan beban (*user load*).



Gambar 2. 1 Skema Diagram Sistem PLTS Terhubung ke Jaringan

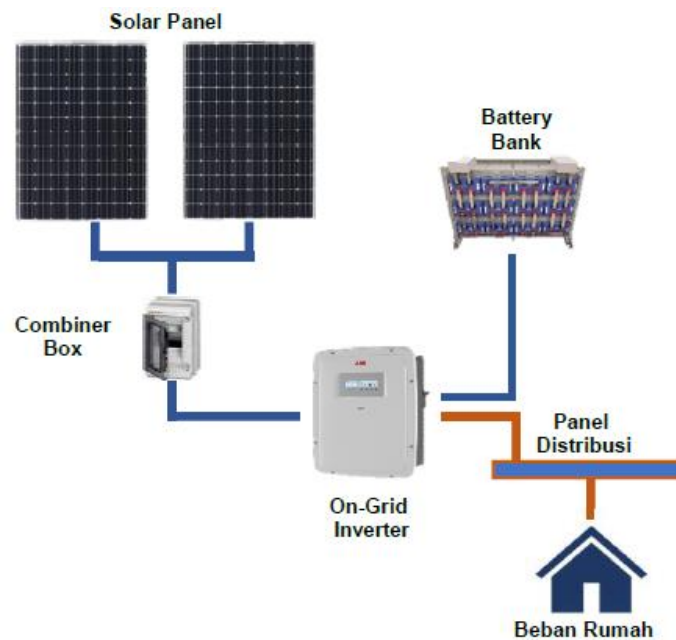
2.2 Sistem PLTS Off-Grid

Sistem berdiri sendiri atau dikenal juga dengan sebutan sistem *off-grid* merupakan sistem PLTS yang memproduksi energi listrik secara mandiri serta direncanakan dan dibangun untuk tidak dihubungkan ke utilitas atau jaringan listrik yang ada. Pada umumnya sistem ini dipakai bila dalam suatu kawasan tidak terdapat jaringan listrik atau jauh dari pusat pembangkit listrik. Konfigurasi ini tidak menutup kemungkinan juga dibangun di daerah yang sudah memiliki jaringan tenaga listrik yang memadai dikarenakan masyarakat memiliki preferensi untuk menghasilkan energi listrik secara mandiri dengan memanfaatkan energi terbarukan.

Sistem PLTS konfigurasi berdiri sendiri merupakan salah satu alternatif penyediaan tenaga listrik khususnya untuk untuk daerah-daerah dengan kategori 3T. Daerah 3T adalah daerah dengan kondisi

terdepan, terluar, dan tertinggal. Daerah 3T umumnya berada cukup jauh dari ibukota provinsi sehingga dalam beberapa hal dapat dikatakan tertinggal. Dengan konfigurasi berdiri sendiri maka sistem tersebut akan menanggung beban listrik penuh sehingga komponen sistem mulai dari modul fotovoltaik, inverter, dan baterai atau back-up generator digunakan semaksimal mungkin untuk memenuhi kebutuhan beban puncak seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.2. Modul fotovoltaik menjadi sumber energi satu-satunya sedangkan baterai sebagai pengatur operasi sistem bekerja dengan beberapa mode:

- 1) Sebagai pencatu daya ketika modul fotovoltaik tidak menghasilkan daya atau pada kondisi intermiten.
- 2) Menjaga kestabilan tegangan dan frekuensi sistem.
- 3) Pengatur pada saat beban puncak (*peak load*) [7].

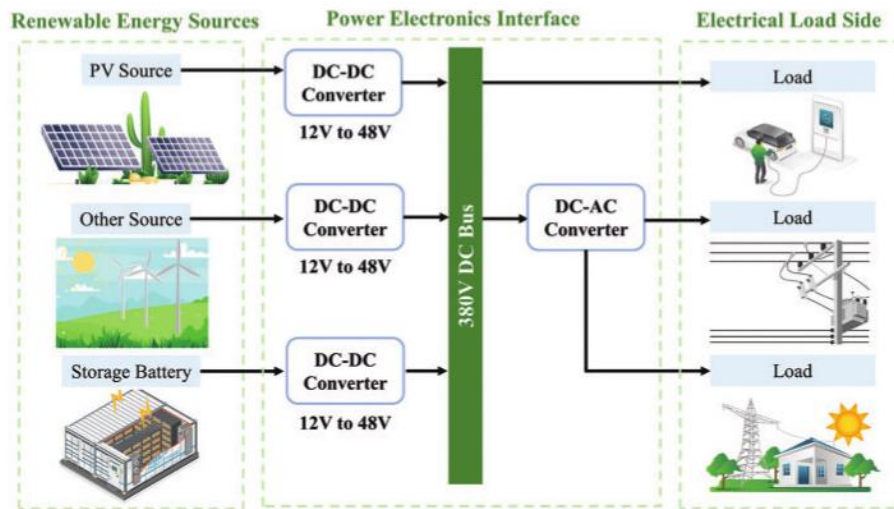


Gambar 2. 2 Skema Diagram Sistem PLTS Tidak Terhubung ke Jaringan

2.3 DC-DC Converter

Pemanfaatan bahan bakar fosil konvensional yang berlebihan telah terbukti berkontribusi signifikan terhadap peningkatan emisi karbon, sehingga memicu dampak yang merugikan bagi lingkungan global, terutama melalui peningkatan pemanasan global. Selain itu, karena cadangan sumber energi tradisional yang tidak mencukupi, lonjakan permintaan konsumen tetap tidak terpenuhi, sehingga mengharuskan eksplorasi jalur alternatif. Konsekuensinya, pencarian sumber energi terbarukan telah muncul sebagai strategi terpenting untuk memerangi polusi lingkungan dan mengatasi krisis energi yang sedang berlangsung, menarik perhatian para peneliti di seluruh dunia. Untuk memfasilitasi pemanfaatan energi terbarukan secara efektif, pengembangan dan implementasi sistem pembangkit energi terbarukan menjadi sangat penting. Namun, kendala yang ada terletak pada ketidakmampuan sistem pembangkit energi terbarukan saat ini untuk menghasilkan tegangan output pada tingkat yang cukup untuk memenuhi persyaratan output bus DC. Tantangan mendesak ini dapat diatasi secara efektif melalui penerapan teknologi konverter boost DC-DC. Dengan menggunakan konverter boost DC DC yang disebutkan di atas, listrik yang berasal dari sumber energi terbarukan dapat secara efektif ditingkatkan untuk memenuhi persyaratan tegangan bus DC, memastikan kelancaran transmisi daya ke sisi beban. Konsekuensinya, signifikansi dan permintaan untuk konverter

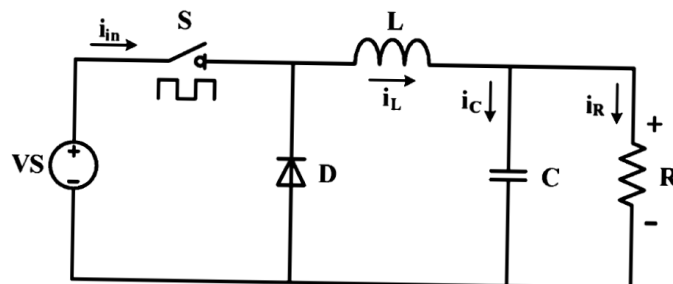
boost terus mengalami peningkatan [8]. Gambar 2.3 di bawah menggambarkan contoh aplikasi umum penggunaan DC DC *converter* yang sering ditemukan di sistem pembangkitan energi terbarukan serta sistem kelistrikan. DC DC *converter* sendiri dapat diklasifikasikan menjadi dua yaitu : *buck converter* dan *boost converter*, seperti yang akan dijelaskan dalam sub bab berikut.



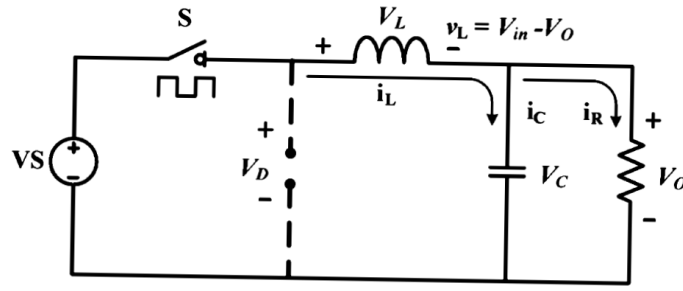
Gambar 2. 3 Aplikasi Umum DC DC Converter

2.3.1 Buck Converter

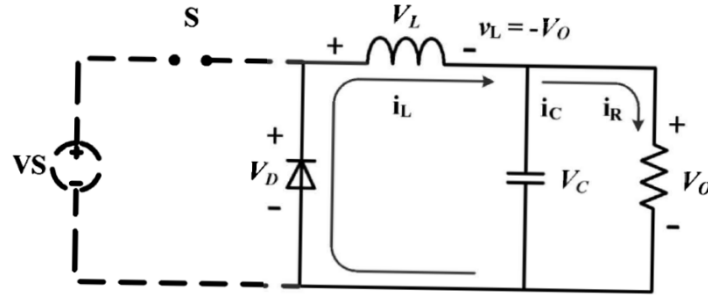
Buck Converter adalah step-down DC-DC Converter, yang terdiri dari sumber tegangan input DC (V_s), saklar terkontrol (S), diode (D), filter induktor (L), filter Kapasitor (C) dan beban resistor (RL). Rangkaian buck converter yang ditunjukkan pada Gambar 2.4 tersebut dapat menghasilkan tegangan *output* (V_o) yang lebih kecil dari tegangan *input*, tergantung lama saklar (S) aktif [9]. Rangkaian beroperasi pada dua kondisi yaitu saat saklar S pada kondisi *ON*, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.5 dan saat saklar S pada kondisi *OFF*, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.6.



Gambar 2. 4 Rangkaian Buck Converter



Gambar 2. 5 Rangkaian Buck Converter saat Saklar S Kondisi ON



Gambar 2. 6 Rangkaian Buck Converter saat Saklar S Kondisi ON

Saat saklar S pada kondisi ON maka dioda (D) pada kondisi reverse-biased dan menghasilkan arus pada induktor (L) naik secara linear sehingga tegangan pada induktor bernilai positif sebesar:

$$V_L = V_S - V_o = L \frac{di_L}{dt} \quad (1)$$

Besar kenaikan arus didapatkan dari rumus (1), jika persamaan tersebut dimodifikasi maka besar arus saat saklar ON adalah:

$$(\Delta i_L)_{ON} = \left(\frac{V_S - V_o}{L} \right) DT \quad (2)$$

Berdasarkan modifikasi, penurunan h bernilai negatif sehingga arus pada induktor menurun secara linear. Besar penurunan arus ditunjukkan pada persamaan (3).

$$(\Delta i_L)_{OFF} = \left(\frac{-V_o}{L} \right) (1 - D)T \quad (3)$$

Operasi saat kondisi steady state menghasilkan i_L pada akhir pensaklaran sama dengan diawal periode pada periode selanjutnya, artinya perubahan i_L selama satu periode sama dengan nol seperti ditunjukkan pada persamaan (4). Dari persamaan (4) didapatkan hubungan tegangan output terhadap nilai tegangan input, nilai tegangan output tergantung dari besar nilai tegangan input dan rasio periode saklar ON terhadap periode total (Duty cycle).

$$V_o = DV_s \quad (4)$$

Bentuk gelombang dari 2 kondisi tersebut ditunjukkan pada gambar 2.7. Arus rata-rata dari induktor sama dengan arus rata-rata pada beban (I_o), Jarak titik puncak sampai titik

terendah dari arus induktor disebut ripple arus (Δi_L), ripple arus ini berpengaruh pada bentuk gelombang arus output yang mengalir ke beban. Selain ripple arus, terdapat ripple tegangan output (ΔV_o) yang dipengaruhi oleh besar nilai kapasitor. Hampir semua komponen AC mengalir melalui filter kapasitor sebagai arus i_c . Arus i_c menyebabkan ripple tegangan yang melalui output DC (V_o) menjadi kecil. Sehingga besar nilai kapasitor yang terpasang harus lebih besar dari persamaan (6).

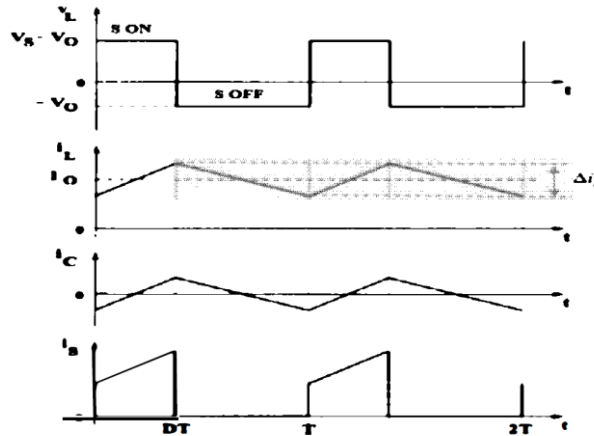
$$\Delta V_o = \frac{(1-D)V_o}{8LCf^2} \quad (5)$$

$$C_{min} = \frac{(1-D)R}{8L\Delta V f^2} \quad (6)$$

Sehingga faktor *ripple* tegangan adalah:

$$\Delta V_o = \frac{(1-D)V_o}{8LCf^2} \quad (7)$$

DC DC Converter dapat beroperasi pada dua mode yang berbeda dengan mempengaruhi arus induktor i_L . Pada Gambar 2.6 merupakan mode Continuous Conduction Mode (CCM), arus induktor selalu lebih tinggi dari nol. Sebaliknya, ketika nilai rata-rata dari arus keluaran rendah (bisa disebabkan nilai resistansi beban yang tinggi atau frekuensi pensaklaran yang rendah), converter memasuki mode Discontinuous Conduction Mode (DCM). Pada mode ini, arus induktor dapat bernilai nol pada suatu periode tertentu. CCM disarankan untuk efisiensi yang tinggi, kehandalan saklar semikonduktor dan komponen pasif.



Gambar 2. 7 Gelombang respon Buck Converter

DCM biasa digunakan untuk aplikasi dengan kontrol tertentu yang ditujukan untuk mereduksi perintah yang dinamis dari converter (energi yang tersimpan di induktor bernilai nol saat awal dan akhir periode pensaklaran). Sehingga tidak dapat dilakukan penggabungan antara kedua mode tersebut, sebab algoritma kontrolnya berbeda. Besar nilai minimum filter induktor yang dapat digunakan pada kedua mode tersebut pada persamaan [10].

Sehingga nilai L yang digunakan untuk metode CCM harus lebih besar dari L_{min} .

$$L_{min} = \frac{(1-D)R}{8L\Delta V f^2} \quad (8)$$

Untuk kondisi non ideal:

$$L = \frac{1}{f} \times (V_{s-max} - V_o) \times \frac{V_o}{V_s} \times \frac{1}{\Delta i_L} \quad (9)$$

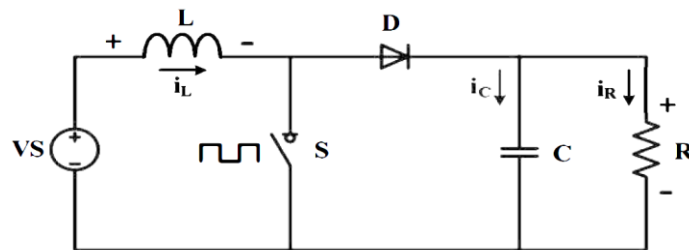
Dengan $\Delta i_L = 10\%-40\% \times I_o$

Persamaan (4), (6), (8) dan (9), merupakan persamaan kunci dalam mendesain Buck Converter, tegangan input dan output berdasarkan nilai duty cycle (D). Nilai resistansi beban R biasanya sudah ditentukan terlebih dahulu. Perancang perlu untuk menentukan nilai L, C dan frekuensi pensaklaran (f) yang akan digunakan. Frekuensi pensaklaran yang digunakan adalah frekuensi tinggi untuk menghindari rugi-rugi pada converter. Besar nilai frekuensi pensaklaran dibatasi oleh kemampuan dari semikonduktor yang digunakan.

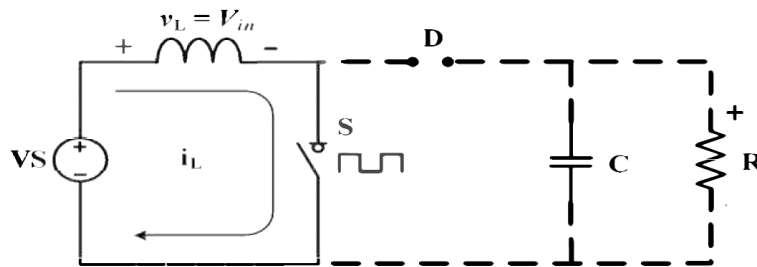
$$D = \frac{T_{on}}{T} \quad (10)$$

2.3.2 Boost Converter

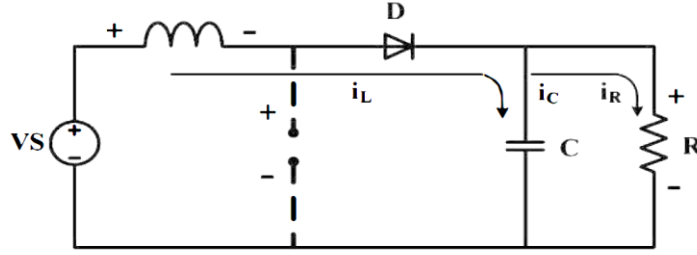
Boost Converter adalah step-up DC DC Converter, yang terdiri dari sumber tegangan input DC (V_s), saklar terkontrol (S), dioda (D), induktor (L), filter kapasitor (C) dan beban resistor (R) yang terangkai seperti pada gambar 2.8. Rangkaian beroperasi pada dua kondisi yaitu saat saklar S pada kondisi ON, seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.9 dan saat saklar S pada kondisi OFF, seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.10.



Gambar 2. 8 Rangkaian Boost Converter



Gambar 2. 9 Rangkaian Boost Converter saat Saklar S Kondisi ON



Gambar 2. 10 Rangkaian Boost Converter saat Saklar S Kondisi OFF

Saat saklar S pada kondisi ON maka dioda (D) pada kondisi *reverse-biased* dan *output* terisolasi atau terpisah. Energi yang ada di input dialirkan ke induktor. Tegangan di induktor sebesar

$$V_L = V_S = L \frac{di_L}{dt} \quad (11)$$

Besar kenaikan arus didapatkan dari rumus (11), jika persamaan tersebut dimodifikasi maka besar arus saat saklar ON adalah:

$$(\Delta i_L)_{ON} = \frac{V_S D T}{L} \quad (12)$$

Saat saklar S kondisi OFF maka diode forward-biased. Beban menerima energi dari input dan juga dari induktor, sehingga output menjadi besar. Tegangan pada induktor sebesar:

$$V_L = V_S - V_o = L \frac{di_L}{dt} \quad (13)$$

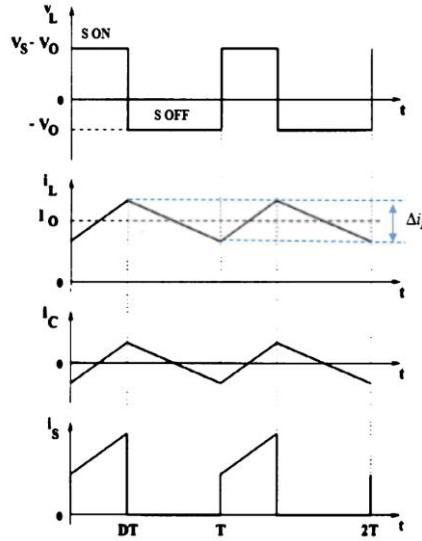
Berdasarkan modifikasi persamaan (13) , penurunan i_L bernilai negatif sehingga arus pada induktor menurun secara linear. Besar penurunan arus ditunjukkan pada persamaan (14).

$$= \frac{(\Delta i_L)_{OFF}}{L} = \frac{(V_S - V_o)(1 - D)T}{L} \quad (14)$$

Operasi saat kondisi steady state menghasilkan i_L pada akhir pensaklaran sama dengan diawal periode pada periode selanjutnya, artinya perubahan i_L selama satu periode sama dengan nol seperti ditunjukkan pada persamaan (15). Dari persamaan (15) didapatkan hubungan tegangan output terhadap nilai tegangan input, nilai tegangan output tergantung dari besar nilai tegangan input dan rasio periode saklar ON terhadap periode total (Duty cycle) [9].

$$V_o = \frac{V_S}{1 - D} \quad (15)$$

Bentuk gelombang dari 2 kondisi tersebut dapat dilihat pada gambar 2.11.



Gambar 2. 11 Gelombang Respon Boost Converter

Arus rata-rata dari induktor sama dengan arus rata-rata pada beban (I_o). Jarak titik puncak sampai titik terendah dari arus induktor disebut ripple arus (Δi_L), ripple arus ini berpengaruh pada bentuk gelombang arus output yang mengalir ke beban. Selain ripple arus, terdapat ripple tegangan output (ΔV_o) yang dipengaruhi oleh besar nilai kapasitor. Hampir semua komponen AC mengalir melalui filter kapasitor sebagai arus i_c . Arus i_c menyebabkan ripple tegangan yang melalui output DC (V_o) menjadi kecil. Sehingga besar nilai kapasitor yang terpasang harus lebih besar dari persamaan (17).

$$\Delta V_o = \frac{V_o D}{RCf} \quad (16)$$

$$C_{min} = \frac{V_o D}{R \Delta V f} \quad (17)$$

Sehingga faktor ripple tegangan adalah

$$r = \frac{\Delta V_o}{V_o} = \frac{D}{RCf} \quad (18)$$

DC-DC Converter dapat beroperasi pada dua mode yang berbeda dengan memengaruhi arus induktor i_L . Pada gambar 6.10 merupakan bentuk gelombang mode Continuous Conduction Mode (CCM), dengan nilai L yang digunakan harus di atas nilai Lmin.

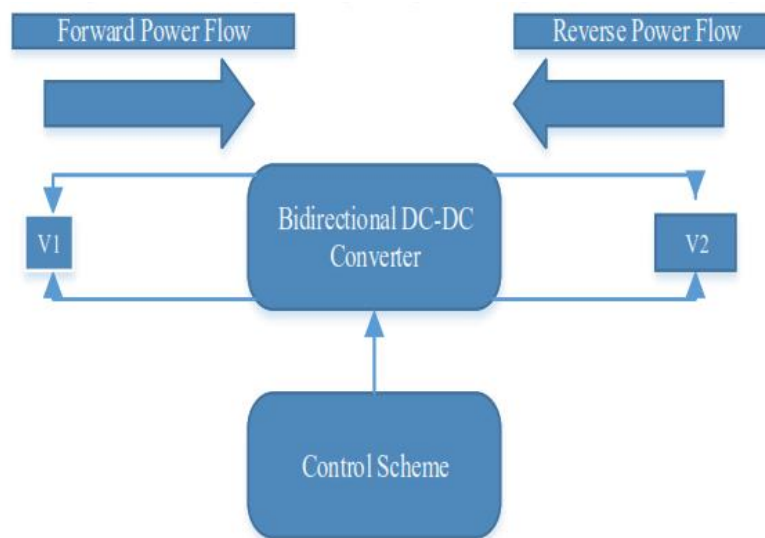
$$L_{min} = \frac{(1-D)^2 DR}{2f} \quad (19)$$

Untuk kondisi non ideal:

$$L = \frac{1}{f} \times (V_o - V_s) \times \frac{V_s}{V_o} \times \frac{1}{\Delta i_L} \quad (20)$$

2.4 Bidirectional DC-DC Converter

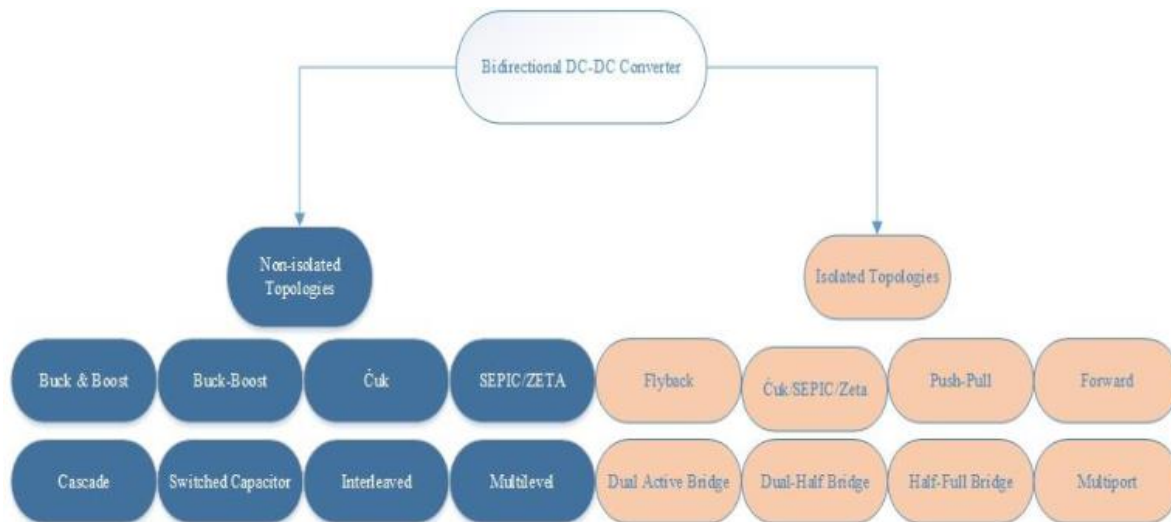
Ranah penelitian di bidang elektronika daya telah mengalami pertumbuhan yang signifikan dalam studi tentang *bidirectional converter* (konverter daya dua arah) [11], [12] Tidak seperti konverter searah konvensional, konverter dua arah memungkinkan daya mengalir dalam dua arah. Fleksibilitas ini telah membuatnya banyak digunakan dalam berbagai aplikasi seperti kendaraan listrik atau kendaraan listrik hibrida, *smart grid*, *uninterruptible power supplies* (UPS), aplikasi kedirgantaraan, dan sistem energi terbarukan termasuk sistem *photovoltaic* (PV), *fuel cells* (FC), dan turbin angin [13], [14] Dengan berfungsi sebagai antarmuka antara sumber daya dan elemen penyimpanan energi, konfigurasi dua arah tidak hanya mengurangi ukuran sistem tetapi juga meningkatkan efisiensi dan kinerjanya dengan menghilangkan kebutuhan akan konverter terpisah untuk aliran daya maju dan mundur [15], [16] Gambar 2.12 mengilustrasikan struktur umum *bidirectional DC DC converter* (konverter DC DC dua arah). Bergantung pada lokasi sistem penyimpanan energi, konverter dapat berfungsi sebagai tipe buck atau boost, dengan sistem kontrol masing-masing yang mengatur tegangan atau arus sistem.



Gambar 2. 12 Struktur Dasar Bidirectional DC DC Converter

Konverter DC DC dua arah diklasifikasikan menjadi dua konfigurasi, yaitu konverter DC DC dua arah yang terisolasi dan tidak terisolasi. Dalam topologi konverter DC DC Tidak terisolasi, transfer daya terjadi di kedua arah tanpa isolasi magnetik. Jadi, tanpa menggunakan transformator, sistem ini memiliki kekurangan isolasi galvanik seperti rasio penguatan tegangan step-up yang tinggi. Konverter ini memiliki konfigurasi yang sederhana, bobot yang lebih ringan, dan juga tidak mengalami interferensi magnetik.

Dalam topologi konverter DC DC yang terisolasi, daya dapat ditransfer dalam dua arah dengan isolasi magnetik. Dengan menggunakan transformator frekuensi tinggi, konverter ini mengubah tegangan DC menjadi tegangan AC, kemudian mengubah tegangan AC menjadi tegangan DC dengan menggunakan rangkaian penyearah. Rasio penguatan tegangan pada topologi terisolasi lebih besar dibandingkan dengan topologi non-terisolasi. Namun, perhatian utama dalam topologi ini adalah mendesain transformator, mengurangi induktansi bocor, dan lonjakan tegangan pada sisi input transformator. Gambar 2.13 di bawah menunjukkan topologi dari bidirectional DC DC converter [17].

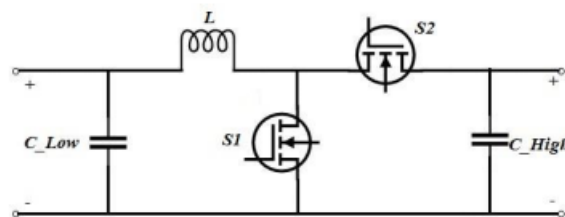


Gambar 2. 13 Topologi Bidirectional DC DC Converter

Dari Gambar 2.13 dapat dijelaskan bahwa konverter DC DC dua arah non-terisolasi memiliki topologi dasar konverter buck dan boost yang digabungkan dalam koneksi anti-paralel. Topologi ini memungkinkan transfer daya dalam dua arah. Beberapa konfigurasi disajikan oleh para peneliti tentang konverter DC-DC dua arah non-terisolasi seperti buck, boost, buck-boost, ĆUK, sepic, dll. Ada lebih banyak konfigurasi konverter non-terisolasi berdasarkan teknik peningkatan tegangan seperti kapasitor yang diaktifkan, multilevel interleaved, dll. Jadi, konverter DC DC dua arah non-terisolasi dikonfigurasi menjadi delapan kelompok sesuai Gambar 2.13 di atas.

Konverter DC DC dua arah yang terisolasi adalah perangkat elektronika daya yang dapat mentransfer daya secara dua arah antara dua sumber tegangan DC sambil menyediakan isolasi listrik di antara keduanya. Isolasi ini memastikan tidak ada koneksi listrik langsung antara sirkuit input dan output, memberikan keamanan dan memungkinkan potensial ground yang berbeda antara sisi input dan output. Konverter ini digunakan dalam berbagai aplikasi yang memerlukan transfer daya dua arah dengan isolasi. Dalam Gambar 2.13 didapat bahwa ada delapan jenis konverter DC DC dua arah yang biasa digunakan. Konverter DC DC dua arah yang terisolasi biasanya digunakan pada sistem penyimpanan energi seperti pada battery energy storage systems (BESS), hybrid electric vehicle (HEV), integrasi energi terbarukan dan aplikasi yang terhubung dengan jaringan [17], [18].

Salah satu contoh jenis bidirectional DC DC converter yang sering digunakan adalah bidirectional buck boost DC DC converter. Gambar 2.14 berikut menunjukkan rangkaian bidirectional buck boost DC DC converter.



Gambar 2. 14 Bidirectional Buck Boost DC DC Converter

Dalam Gambar 2.14 dapat dijelaskan bahwa dalam operasi bidirectional buck boost DC DC converter ada dua mode, yaitu :

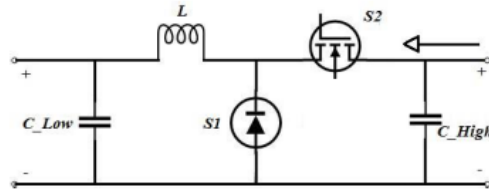
- 1) Mode buck : Pada mode buck, *bidirectional DC-DC converter* bekerja seperti *buck converter* pada umumnya. Tegangan keluaran memiliki nilai yang lebih kecil daripada tegangan masukan. Gambar rangkaian untuk mode *buck* ditunjukkan pada Gambar 2.15. Hubungan antara tegangan keluaran (V_o) dengan tegangan masukan (V_{in}) pada mode *buck* dapat dinyatakan dengan persamaan (4), sedangkan nilai kapasitor sisi tegangan rendah (C_{Low}) dapat dinyatakan dengan persamaan (21).

$$C = \frac{\Delta Q}{\Delta V_o} = \frac{\Delta i_L \cdot T}{8 \Delta V_o} = \frac{\Delta i_L}{8 \times f_s \times \Delta V_o} \quad (21)$$

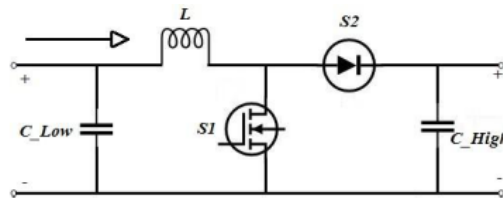
- 2) Mode boost : Pada mode boost, *bidirectional DC DC converter* bekerja seperti *boost converter* pada umumnya. Tegangan keluaran memiliki nilai yang lebih besar daripada tegangan masukan. Gambar rangkaian untuk mode *boost* dapat dilihat pada Gambar 2.16. Hubungan antara tegangan keluaran (V_o) dengan masukan (V_{in}) pada mode *boost* dapat dinyatakan dengan persamaan (15). Sedangkan nilai inductor minimal (L_{min}) ditunjukkan dalam persamaan (19) dan kapasitor sisi tegangan tinggi (C_{High}) pada mode boost dinyatakan dengan persamaan (22).

$$C = \frac{V_o \times D}{R \times \Delta V_o \times f_s} \quad (21)$$

Agar *bidirectional DC-DC converter* dapat bekerja pada kondisi mode konduksi kontinyu (CCM), nilai induktor yang dipilih lebih besar daripada nilai induktor minimal ($L > L_{min}$).



Gambar 2. 15 Bidirectional DC DC Converter Mode Buck



Gambar 2. 16 Bidirectional DC DC Converter Mode Buck

2.5 Battery Energy Storage System (BESS)

Salah satu kunci dari pesatnya pertumbuhan PLTS adalah teknologi penyimpanan energi. Penyimpanan energi atau dapat disebut dengan akumulator merupakan suatu media penyimpanan berbagai bentuk energi untuk berbagai kepentingan terutama di bidang ketenagalistrikan. Energi yang dapat disimpan berupa energi potensial, kimia, listrik, dan lain sebagainya. Berbagai teknologi penyimpanan energi yang umum dipakai pada bidang ketenagalistrikan terdiri dari berbagai macam metode. Banyak energi listrik yang berasal dari PLT EBT dalam kondisi tertentu tidak dapat dimanfaatkan secara langsung sehingga harus disimpan terlebih dahulu. Energi tersebut digunakan

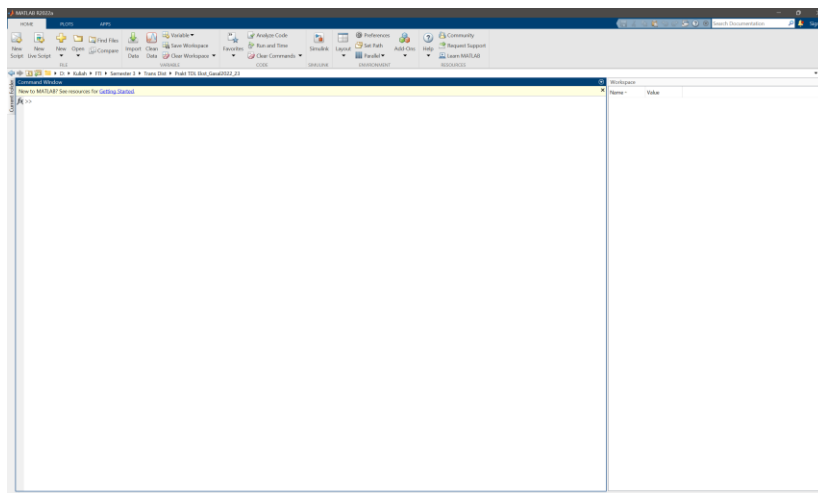
pada saat diperlukan saja seperti pada malam hari, pada saat terjadi gangguan, ataupun kondisi operasi tertentu.

Dari berbagai macam pilihan teknologi penyimpanan, salah satu metode penyimpanan energi yang umum digunakan oleh sistem PLTS saat ini adalah sistem penyimpanan baterai atau dikenal dengan istilah Battery Energy Storage System (BESS). Berdasarkan fungsinya maka komponen BESS dikelompokkan menjadi komponen baterai, komponen yang diperlukan untuk operasi sistem yang andal, dan komponen koneksi ke jaringan [14]. BESS dapat ditempatkan di beberapa lokasi seperti jaringan transmisi, jaringan distribusi dekat pusat beban atau ditempatkan bersama dengan pembangkit berbasis renewable energy [19].

Secara sederhana baterai terdiri dari dua sel elektrokimia dengan polaritas positif (anoda) dan negatif (katoda) serta elektrolit yang berfungsi sebagai penghantar. Output arus listrik yang dihasilkan merupakan arus searah DC. Baterai umumnya menggunakan sistem tegangan 6 VDC, 12 VDC, 24 VDC atau 48 VDC. BESS memungkinkan waktu charging dan discharging yang cepat untuk secara efektif meningkatkan fleksibilitas jaringan listrik, terutama yang mengintegrasikan beberapa sumber energi terbarukan. Karena kemampuannya untuk diisi ulang (re-chargable) maka baterai pada sistem PLTS disebut dengan baterai sekunder. Walaupun sifatnya tidak menghasilkan energi listrik, namun fungsi penyimpanan energi perlu diperhatikan dalam perencanaan sistem PLTS baik dengan konfigurasi yang berdiri sendiri ataupun terhubung ke jaringan. Tanpa BESS, energi surya hanya dapat dimanfaatkan dari pagi hingga sore hari saja. Dengan penambahan BESS maka energi listrik dapat disimpan pada saat matahari tidak atau kurang bersinar dan digunakan pada malam hari.

2.6 Simulink Matlab

MATLAB merupakan sebuah platform pemrograman yang dirancang khusus bagi para insinyur dan ilmuwan untuk menganalisis dan merancang sistem serta produk yang dapat mengubah dunia. Inti dari MATLAB adalah bahasa MATLAB, bahasa berbasis matriks yang memungkinkan ekspresi matematika komputasi paling alami. MATLAB menyatukan fungsi pemrograman, komputasi, serta visualisasi, ke dalam satu lingkungan kerja. MATLAB menyediakan tampilan dan sistem interaktif memakai konsep array / matriks sebagai variabel elemennya yang tidak memerlukan pendeklarasian array [20].



Gambar 2. 17 Tampilan MATLAB R2022a

MATLAB dapat digunakan dalam proses pemodelan dan simulasi sistem dengan bantuan Simulink. Simulink merupakan produk tambahan MATLAB, menyediakan lingkungan grafis interaktif untuk pemodelan, simulasi, dan analisis sistem dinamis. Hal ini memungkinkan user untuk melakukan konstruksi prototipe virtual dengan cepat dan mengeksplorasi konsep desain dengan detail.

Simulink menyediakan antarmuka pengguna grafis (GUI) untuk membangun model sebagai diagram blok. Termasuk di dalamnya terdapat kumpulan diagram blok komprehensif yang disusun dalam sebuah library untuk digunakan ketika membangun model grafis sistem. Pemodelan sistem pada Simulink dibuat sedemikian rupa menyerupai perilaku yang sangat mirip dengan sistem fisik, sehingga diperoleh hasil data yang dapat digunakan dalam proses analisis. Hasil keluaran simulasi sistem dapat berupa angka pembacaan maupun grafik.

BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Waktu dan Tempat Penelitian

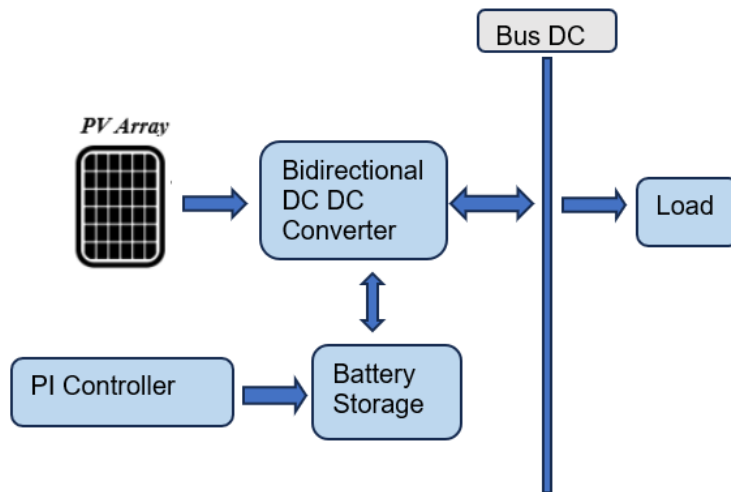
Penelitian akan bertempat di Laboratorium Konservasi Energi, Jurusan Teknik Elektro Universitas Trisakti. Waktu penelitian akan direncanakan selama 8 bulan, dengan jadwal sebagaimana ditunjukkan dalam Tabel 3.1 berikut.

Tabel 3. 1 Jadwal Kegiatan

No	Jenis Kegiatan	Bulan							
		1	2	3	4	5	6	7	8
1	Penyusunan Proposal dan Studi Literatur								
2	Perancangan Sistem								
3	Simulasi dan Pengambilan Data								
4	Analisis dan Pemecahan Masalah								
5	Penulisan Laporan								

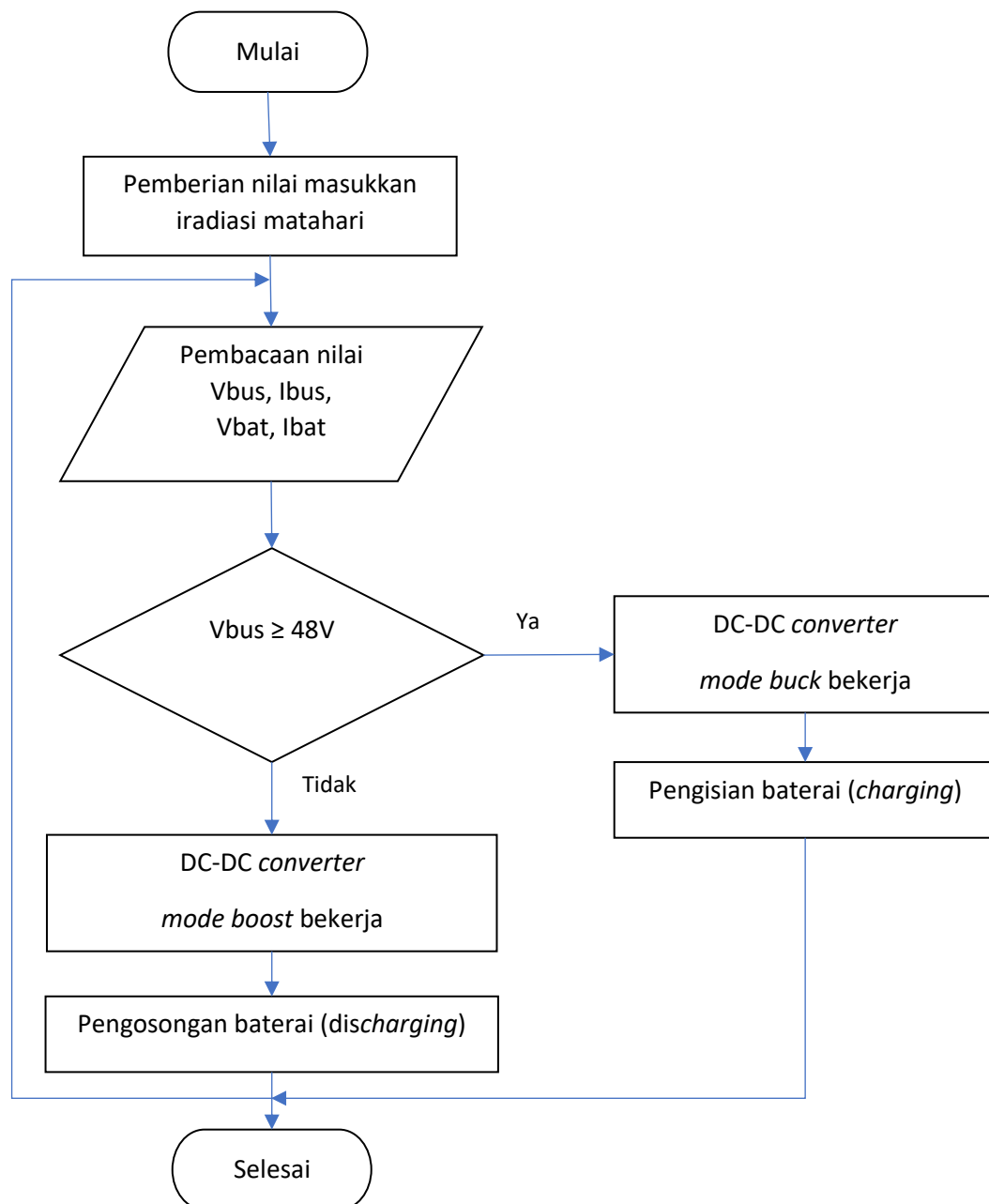
3.2. Metode Penelitian

Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah perancangan desain sistem pada perangkat lunak MATLAB versi R2022a serta studi literatur, desain pada simulasi disesuaikan terhadap kondisi yang serupa dengan keadaan atau sistem yang asli. Penelitian ini diawali dengan perancangan sistem PLTS yang dilengkapi sistem penyimpanan energi berupa baterai (BESS) terkontrol dengan bantuan rangkaian *bidirectional DC DC converter*. Perancangan sistem *bidirectional DC DC converter* didasari oleh perhitungan matematis dalam pemilihan komponen yang digunakan. Rancangan tersebut kemudian diaplikasikan pada perangkat lunak Simulink Matlab. Data yang diperoleh dari hasil simulasi sistem berupa data tegangan, arus, serta daya listrik keluaran baik dari sisi PV maupun di sisi baterai. Dari nilai yang didapatkan, data tersebut kemudian akan dianalisis untuk selanjutnya ditampilkan dalam bentuk grafik, sehingga lebih mudah diamati dan dibuktikan bahwa rangkaian *bidirectional DC DC converter* pada BESS berfungsi sesuai peruntukannya. Diagram blok dari desain sistem bisa dilihat dalam Gambar 3.1 berikut.



Gambar 3. 1 Diagram Blok Sistem

Cara kerja sistem berupa masukan daya berasal dari keluaran PV yang memproduksi energi listrik berdasarkan kondisi lingkungan yang berubah-ubah. Apabila produksi energi listrik cukup atau bahkan berlebih untuk memenuhi beban, kelebihan akan disimpan pada BESS yang dilewatkan rangkaian *bidirectional DC DC converter*. Kondisi ini berarti BESS dalam kondisi pengisian. Namun, apabila produksi PV sedang rendah, BESS akan menyalurkan energi listrik yang tersimpan untuk membantu pemenuhan kebutuhan beban. Kondisi ini menandakan BESS dalam kondisi pengosongan. Untuk lebih jelasnya, dapat dilihat diagram alir proses pada gambar 3.2, bagaimana proses simulasi dilakukan.



Gambar 3. 2 Diagram Alir Penelitian

3.3. Metode Analisis

Analisis akan difokuskan pada rancangan rangkaian bidirectional DC-DC converter dengan penyesuaian energi listrik yang diproduksi oleh PLTS sebagai penentu mode pengisian dan pengosongan baterai. Bidirectional DC-DC converter yang beroperasi dalam mode konduksi kontinu (CCM) mengontrol tegangan DC dengan mengendalikan duty cycle. Poin utama yang diamati adalah

nilai tegangan keluaran dari berbagai mode. Mode buck dan boost akan bergantian bekerja menyesuaikan dengan produksi energi listrik dari modul PV. Pengaturan keluaran energi listrik dari PLTS dikondisikan dengan mengatur variabel iradiasi matahari dan temperatur. Selain itu, akan diamati pula kinerja sistem kontrol PI (proportional, integral). Kontrol ini akan mempertahankan tegangan konstan di sisi keluaran, baik pada mode buck maupun boost.

3.4. Indikator Capaian Penelitian

Diharapkan rancangan *bidirectional DC DC converter* sebagai pengatur sistem penyimpanan energi pada PLTS dapat didesain dengan perhitungan yang tepat sehingga hasil simulasi yang dijalankan dapat merepresentasikan kondisi aktual bagaimana rangkaian *bidirectional DC DC converter* bekerja.

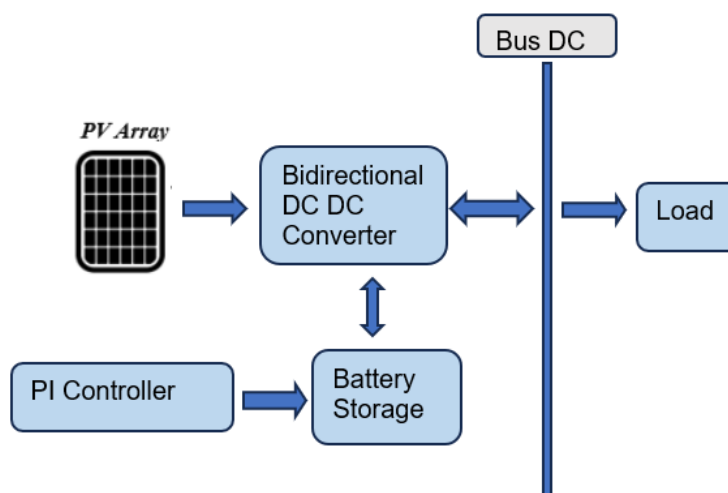
Selain itu indikator pencapaian penelitian lainnya adalah dihasilkannya karya ilmiah berupa jurnal yang akan dipublikasikan pada jurnal nasional terakreditasi Sinta serta sertifikat HKI luaran penelitian berupa poster dan materi PPT untuk bahan perkuliahan mata kuliah Elektronika Daya.

BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam bab hasil dan pembahasan ini akan dijabarkan secara detail terkait desain bidirectional DC DC converter, pemilihan komponen-komponen elektronika yang digunakan serta pengaturan parameter komponen dalam simulasi Simulink Matlab serta analisis rangkaian bidirectional DC DC converter yang telah disimulasikan dalam software Simulink Matlab.

4.1 Desain *Bidirectional DC DC Converter*

Penggunaan baterai sebagai penyimpanan energi dalam sistem PLTS menjadi salah satu pilihan dalam mengatasi sifat intermitten dari pembangkitan energi terbarukan terutama PLTS. Sistem penyimpanan energi yang dilengkapi *bidirectional DC DC converter* dalam sistem PLTS maupun EV (*Electric Vehicle*) banyak dikembangkan karena sistem *bidirectional* dapat mengalirkan dalam dua arah aliran energi sehingga jika daya yang dibangkitkan oleh PLTS lebih besar dari permintaan beban, maka energi listrik disimpan dalam baterai dan sebaliknya apabila energi yang dibangkitkan oleh PLTS lebih rendah dari permintaan beban maka energi yang tersimpan dalam baterai akan dilirkan ke beban untuk menjaga supply energi listrik serta kehandalan sistem kelistrikan. Sistem *bidirectional DC DC converter* mempunyai dua mode kerja yaitu mode pengisian baterai, yang digunakan untuk menyimpan energi surya saat pembangkitan lebih tinggi dari permintaan beban dan mode pengosongan baterai, yang dapat digunakan untuk melayani permintaan beban ketika energi surya tidak dapat memenuhi permintaan beban. Topologi *bidirectional DC DC converter* yang paling sederhana dan banyak digunakan adalah jebis *non-isolated bidirectional DC DC converter*. Dalam penelitian ini akan dibahas desain dan simulasi *non-isolated bidirectional DC DC converter* menggunakan *bidirectional Buck-Boost converter* yang bekerja pada mode *Buck* saat terjadi pengisian baterai (charging) dan mode *Boost* saat terjadi pengosongan baterai (discharging). Diagram blok sistem perancangan dapat dilihat dalam Gambar 4.1 berikut.



Gambar 4. 1 Diagram Blok Sistem Penyimpanan Energi pada PLTS

Dalam gambar 4.1 dapat dijelaskan bahwa pada sistem penyimpanan energi dari PLTS ke baterai, akan digunakan *bidirectional DC DC converter* untuk mengatur aliran daya dari dan ke baterai. Ketika terjadi kelebihan produksi energi listrik maka mode *buck* akan bekerja dan terjadi pengisian energi pada baterai atau proses *charging*, kemudian Ketika produksi energi listrik yang diproduksi oleh

PLTS berkurang maka mode *boost* akan bekerja dan terjadi pengosongan energi pada baterai atau proses *discharging*. Diagram blok pada gambar 4.1 akan diimplementasikan pada penelitian ini untuk selanjutnya dilakukan analisis pada Simulink Matlab tentang sistem *bidirectional DC DC converter* untuk penyimpanan energi pada baterai.

4.2 Perhitungan Parameter Komponen Elektronika

Dalam merancang sistem *bidirectional DC DC converter* untuk aplikasi sistem penyimpanan energi, diperlukan perhitungan parameter-parameter peralatan elektronika dalam sistemnya, antara lain nilai resistor, induktor serta kapasitor. Sebelum melakukan perhitungan terlebih dahulu ditentukan sistem perancangan yang digunakan untuk *bidirectional DC DC converter*. Dalam penelitian ini akan dirancang *bidirectional DC DC converter* dengan sistem operasi pada sisi tegangan tinggi (*High Voltage/HV*) sebesar 48 V, operasi pada sisi tegangan rendah (*Low Voltage/LV*) adalah 24 V. Sistem akan bekerja pada frekuensi 25 kHz dengan efisiensi converter diasumsikan sebesar 90%. Nilai parameter desain yang telah ditentukan dapat dilihat dalam Tabel 4.1 di bawah ini.

Tabel 4. 1 Desain Parameter Sistem Bidirectional DC DC Converter

Parameter	Nilai
HV	48 V
LV	24 V
f	25 kHz
Efisiensi	90%

Bidirectional DC DC converter yang akan didesain pada penelitian ini adalah *bidirectional DC DC converter* jenis *buck-boost converter*, sehingga ada dua mode operasi yaitu *mode buck* dan *mode boost*. Berikut merupakan perhitungan parameter pada kedua mode tersebut.

4.2.1 Desain mode *buck*

- Perhitungan nilai *duty cycle* (D)

$$D = \frac{V_{out}}{V_{in}} \times Efisiensi$$

Dalam mode *buck*, nilai tegangan keluaran (*output*) bernilai lebih rendah daripada tegangan masukan (*input*) sehingga pada mode *buck* nilai tegangan *ouput* adalah 24 V, dan nilai tegangan *input* adalah 48 V.

$$D = \frac{24 V}{48 V} \times 90\%$$

$$D = 0,556$$

- Perhitungan nilai inductor

Dalam perhitungan nilai inductor output current adalah 10% dari nilai inductor ripple current, dengan nilai arus keluaran (arus output) adalah 10 A.

$$\Delta IL = 10\% \times I_{out}$$

$$I_{out} = 10 A$$

$$\Delta IL = 10\% \times 10 A$$

$$\Delta IL = 1 A$$

Perhitungan nilai induktor adalah

$$L = \frac{(D \times T_s \times (V_d - V_{out}))}{\Delta IL}$$

Nilai $V_d = 48 \text{ V}$ dan nilai $T_s = 0,00004$, maka nilai L adalah

$$L = \frac{(0,55 \times 0,0004 \times (48 \text{ V} - 24 \text{ V}))}{1 \text{ A}}$$

$$L = 0,00048 \text{ H}$$

$$L = 0,48 \text{ mH}$$

- Perhitungan nilai output kapasitor

Nilai kapasitor dapat dihitung dengan rumus berikut

$$C = \frac{(1 - D) \times V_{out} \times T_s^2}{8 \times L \times (V_d - V_{out})}$$

$$C = 2,083 \mu\text{F}$$

4.2.2 Desain mode *boost*

- Perhitungan nilai *duty cycle* (D)

$$D = 1 - \left(\frac{(V_{in} \times Efisiensi)}{V_{out}} \right)$$

Dalam mode *boost*, nilai tegangan keluaran (*output*) bernilai lebih tinggi daripada tegangan masukan (*input*) sehingga pada mode *boost* nilai tegangan *output* adalah 48 V, dan nilai tegangan *input* adalah 24 V.

$$D = 1 - \left(\frac{(V_{in} \times Efisiensi)}{V_{out}} \right)$$

$$D = 1 - \left(\frac{(24 \text{ V} \times 90\%)}{48 \text{ V}} \right)$$

$$D = 0,55$$

- Perhitungan nilai induktor

Dalam perhitungan nilai inductor input current adalah 10% dari nilai inductor ripple current, dengan nilai arus masukan (arus input) adalah 10 A.

$$\Delta IL = 10\% \times I_{in}$$

$$I_{in} = 10 \text{ A}$$

$$\Delta IL = 10\% \times 10 \text{ A}$$

$$\Delta IL = 1 \text{ A}$$

Perhitungan nilai induktor adalah

$$L = \frac{(D \times T_s \times V_d)}{\Delta IL}$$

$$L = 0,48 \text{ mH}$$

- Perhitungan nilai output kapasitor

Nilai kapasitor dapat dihitung dengan rumus berikut

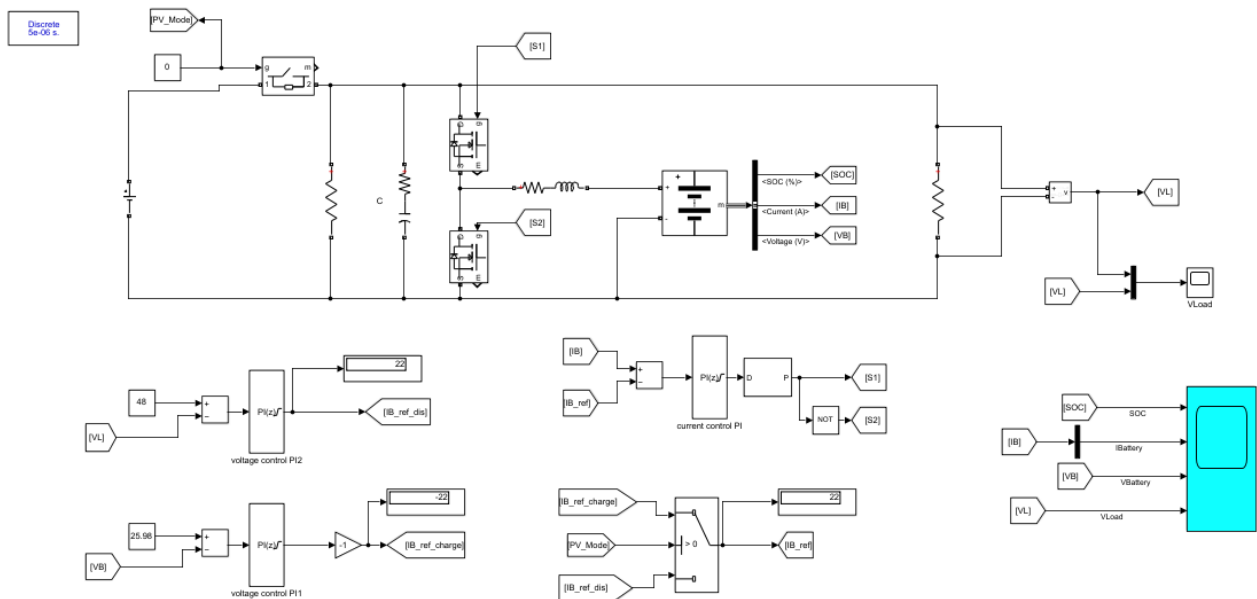
$$C = \frac{(I_{out} \times D)}{(f \times \Delta_w)}$$

Nilai $\Delta_w = 4,8$

$$C = 41,66 \mu F$$

4.3 Pengaturan Parameter dalam Simulink Matlab

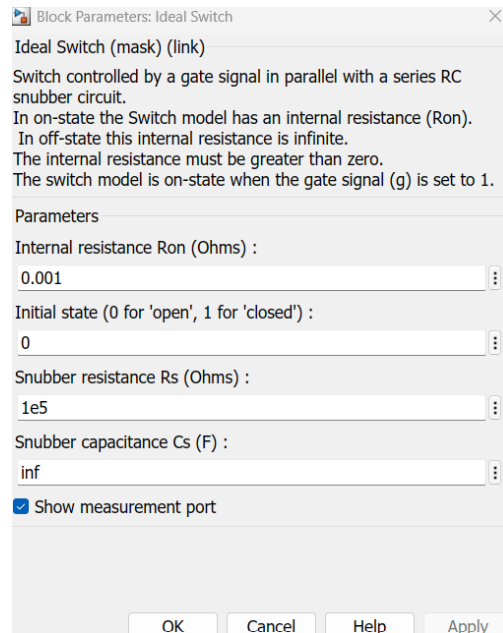
Dalam melakukan simulasi di simulink matlab, langkah awal yang dilakukan adalah dengan memilih komponen – komponen yang digunakan untuk memodelkan sistem *bidirectional DC DC buck-boost converter*, memasukkan nilai – nilai parameter yang telah dihitung sebelumnya serta memasukkan parameter desain yang telah ditentukan di awal. Gambar 4.2 berikut merupakan pemodelan sistem *bidirectional DC DC buck-boost converter* dalam simulink matlab.



Gambar 4. 2 Rangkaian Sistem Bidirectional DC DC Buck Boost Converter pada Simulink Matlab

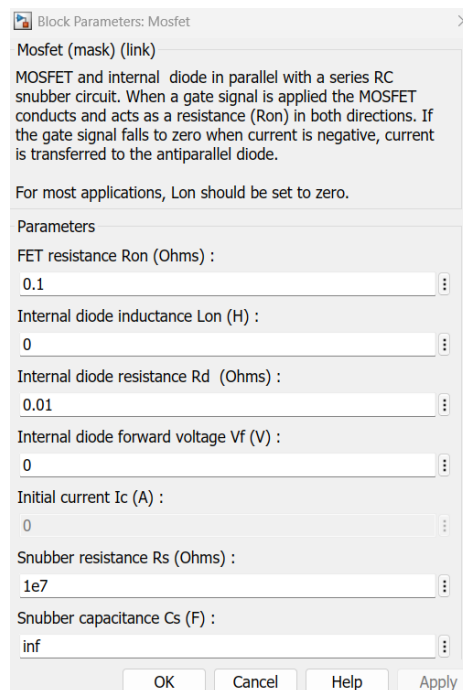
Dari Gambar 4.2 di atas bisa dijelaskan, bahwa sistem bidirectional DC DC converter terdiri dari rangkaian buck converter, boost converter, sistem control gate pada buck dan boost converter, baterai serta beban (*load*) yang digunakan. Dalam pemodelan simulasi ini, tegangan sumber adalah dari PLTS serta beban yang digunakan untuk simulasi adalah beban resistif berupa 1 Ω .

Berikut adalah pengaturan parameter di simulink matlab berdasarkan Gambar 4.2.



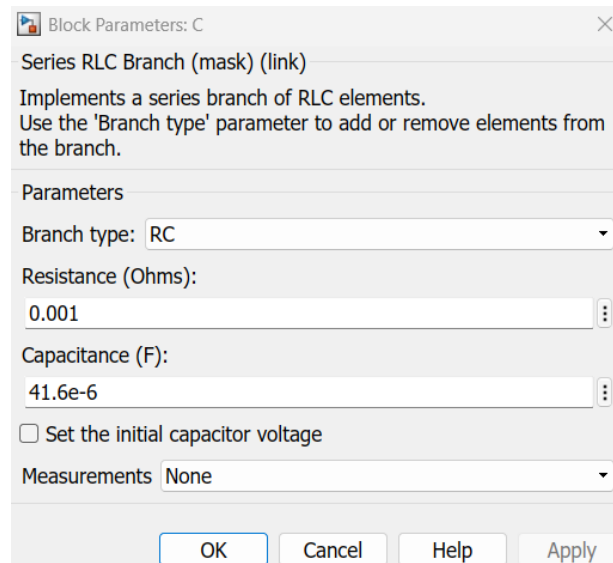
Gambar 4. 3 Pengaturan Ideal Switch untuk On-Off ke Sumber PLTS

Gambar 4.3 menunjukkan pengaturan saklar ideal untuk memutus dan menyambungkan dengan sumber PLTS sebagai tegangan input. Apabila scalar open atau logika 0 maka artinya sumber PLTS tidak tersambung ke beban, apabila saklar closed atau logika 1 maka sumber PLTS tersambung ke beban.



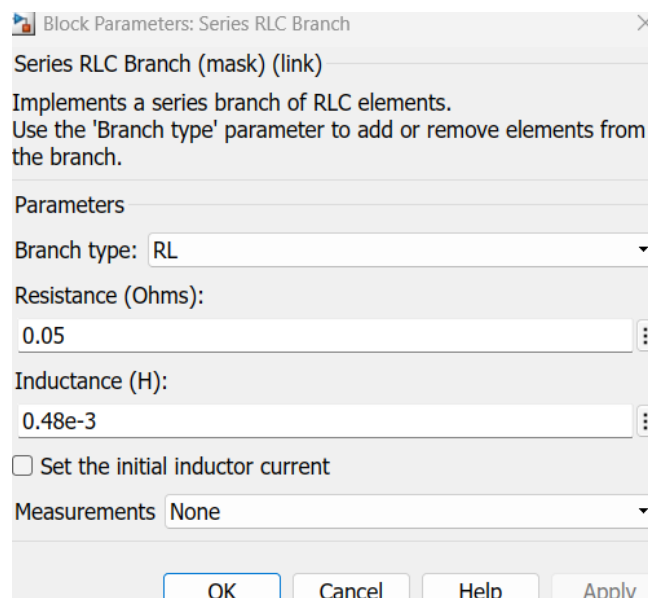
Gambar 4. 4 Pengaturan MOSFET

Gambar 4.4 menunjukkan pengaturan MOSFET yang digunakan dalam rangkaian, dalam penelitian digunakan MOSFET ideal sesuai dengan library di Simscape electrical specialized power system dengan merubah nilai snubber resistance $R_s = 1e^7 \Omega$.



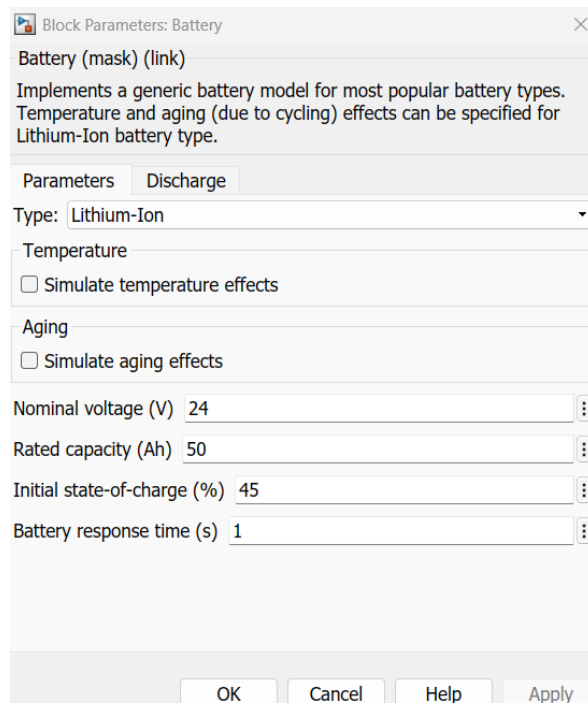
Gambar 4. 5 Pengaturan Nilai Kapasitor saat Mode Boost

Pada saat mode boost, pengaturan parameter nilai kapasitor dapat dilihat dalam Gambar 4.5 di atas. Dalam Simulink matlab, digunakan komponen series RLS branch kemudian dipilih brach type nya RC, dengan mengisi nilai kapasitor sesuai dengan perhitungan yang telah dilakukan yaitu sebesar 41,66 μF .



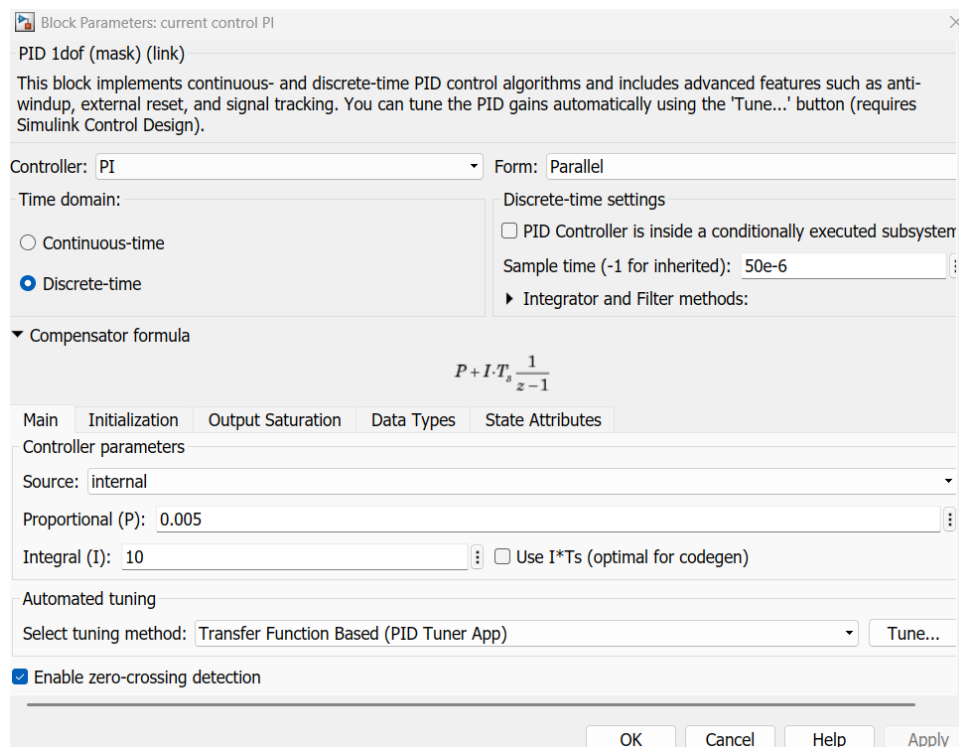
Gambar 4. 6 Pengaturan Nilai Induktor

Sesuai dengan perhitungan nilai induktor diisi 0,48 mH.



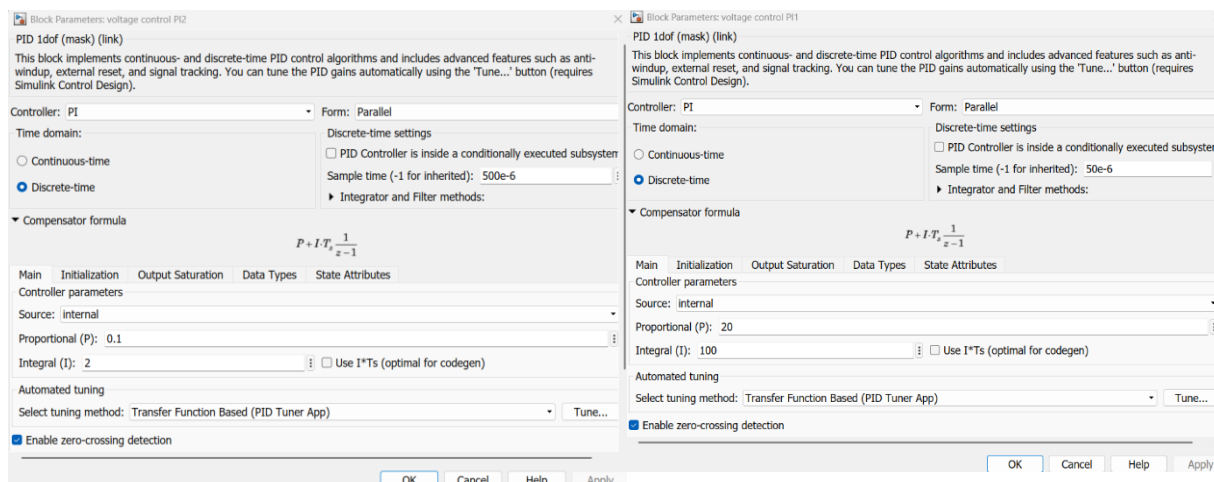
Gambar 4. 7 Pengaturan Parameter Baterai

Gambar 4.7 menunjukkan pengaturan parameter baterai dalam Simulink matlab. Baterai yang digunakan dalam simulasi pada penelitian ini adalah baterai tipe lithium-ion dengan nominal voltage 24 V, rated capacity 50 Ah serta nilai state of charge (SOC) baterai adalah 45%.



Gambar 4. 8 Pengaturan Kontrol untuk Gate MOSFET

Dari Gambar 4.8 dapat dijelaskan untuk pengaturan pulsa gate pada S1 dan S2 dengan pengisian nilai P dan I sesuai dengan parameter yang telah ditentukan.



Gambar 4. 9 Pengaturan Kontrol untuk Mode Charging dan Discharging

Dari Gambar 4.9 ditunjukkan pengaturan mode untuk baterai waktu pengisian (charging) dan pengosongan (discharging) dengan mengisi nilai P dan I sesuai dengan parameter yang telah ditentukan.

Selanjutnya setelah rangkaian selesai dirancang, maka dipasang blok pengukuran (measurements) tegangan dan arus pada rangkaian simulasi serta scope untuk menampilkan grafik dari sistem. Dalam melakukan simulasi pada simulink matlab dengan menggunakan library specialized power system diperlukan blok “powergui” dalam simulasinya, pada simulasi ini stop time yang digunakan adalah 10 s artinya simulasi akan dijalankan selama 10 s.

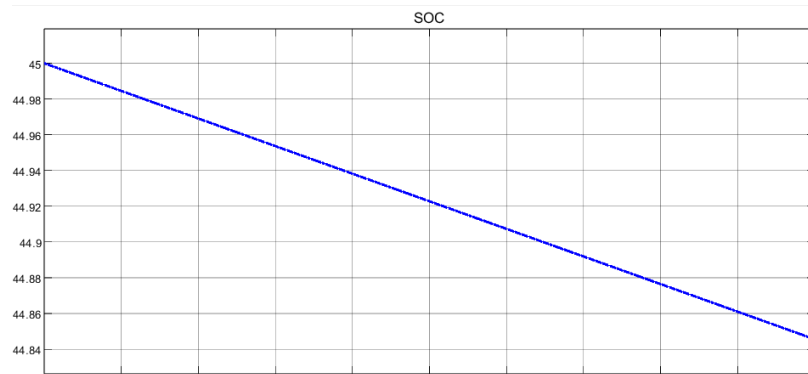
4.4 Hasil Simulasi Rangkaian Bidirectional DC DC Converter

Bidirectional DC-DC Converter untuk sistem penyimpanan energi pada PLTS disimulasikan dengan menggunakan Simulink Matlab untuk mengamati keluaran sistem.

Setelah simulasi dilakukan selama 10 s, maka didapatkan beberapa hasil dari sistem yang telah dirancang.

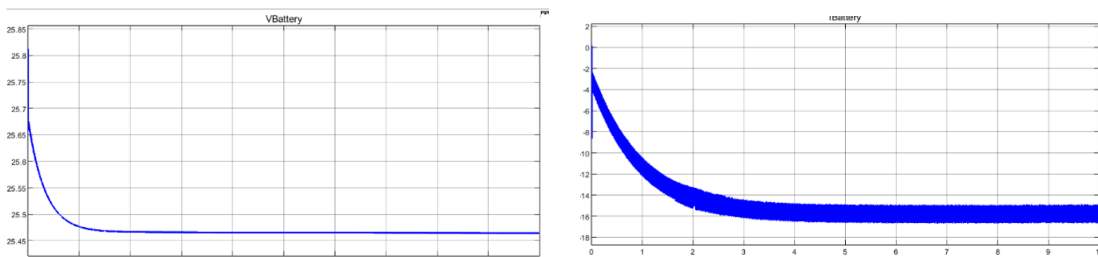
- Pada waktu saklar ideal berlogika 0, artinya rangkaian open, dan hal ini dilogika bahwa sistem tidak terhubung dengan PLTS.

Pada keadaan ini dianalogikan bahwa sistem mendapatkan sumber energi bukan dari PLTS, karena iradiasi PLTS memiliki nilai kecil yaitu 200 W/m^2 dan temperature tetap di 25°C . Pada keadaan ini bidirectional DC-DC Converter yang bekerja adalah mode boost, yang berarti baterai mengalami proses discharging atau proses pengosongan pada betari. Beban akan mendapatkan sumber energi dari energi listrik yang tersimpan di baterai.



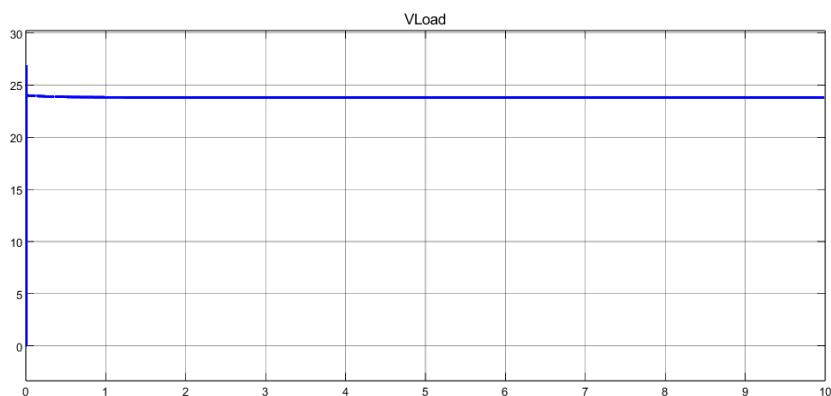
Gambar 4. 10 Grafik Pengosongan (Discharging) Baterai

Ketika rangkaian tidak terhubung dengan sumber PLTS, maka beban akan menerima energi yang tersimpan dari baterai, oleh karena itu sesuai dengan Gambar 4.10 di atas maka baterai mengalami discharging atau baterai mengalami pengosongan. SOC baterai dalam simulasi disetting sebesar 45%.



Gambar 4. 11 Tegangan dan Arus Baterai

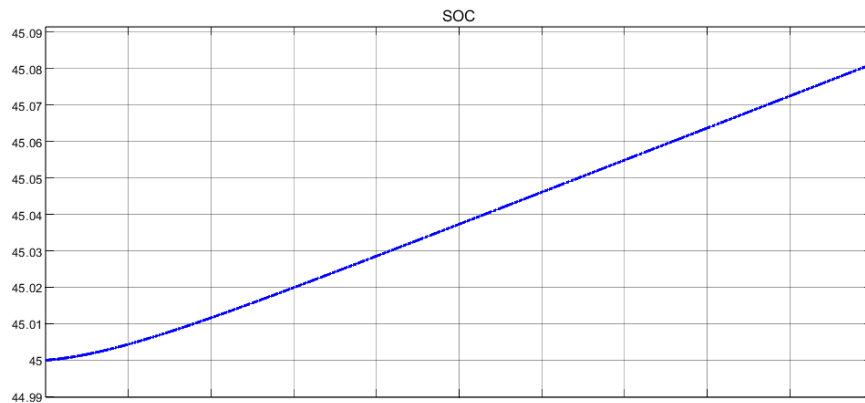
Gambar 4.11 berikut menggambarkan tegangan dan arus baterai saat terjadi proses discharging dan Bidirectional DC-DC Converter bekerja dalam mode boost. Tegangan baterai akan mengalami penurunan karena baterai menyuplai energi listrik pada beban begitu juga dengan arus baterai akan bernilai negative karena baterai beroperasi pada proses discharging.



Gambar 4. 12 Tegangan Beban

- Pada waktu saklar ideal berlogika 1, artinya rangkaian closed dan sistem terhubung dengan PLTS sebagai sumber energi listrik.

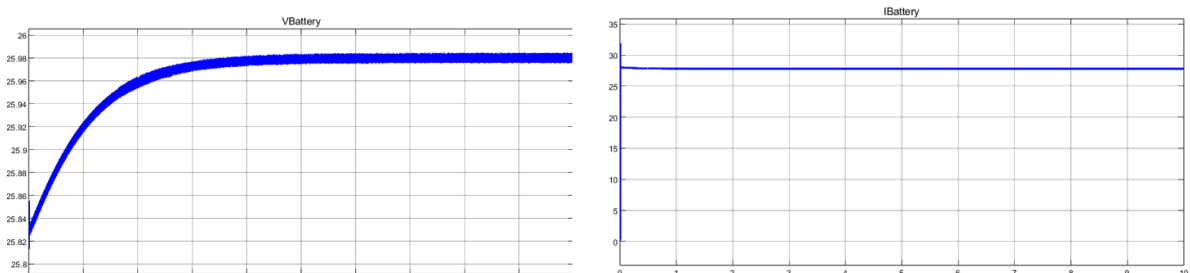
Pada saat ini, nilai iradiasi matahari 1.000 W/m^2 dan temperature 25°C . Bidirectional DC-DC Converter bekerja pada mode buck dan baterai mengalami pengisian seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 4.13 berikut.



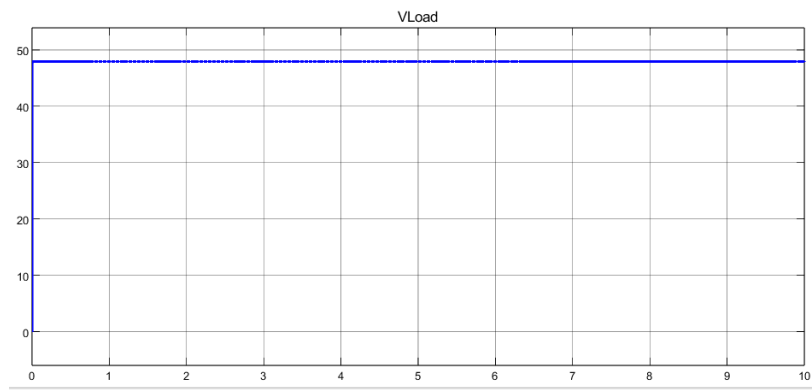
Gambar 4. 13 Grafik Pengisian (Charging) Baterai

Dari Gambar 4.13, dapat dilihat bahwa baterai mengalami charging ketika sumber PLTS dihubungkan ke dalam sistem.

Gambar 4.14 adalah keadaan arus dan tegangan baterai pada saat baterai mengalami charging atau proses pengisian. Tegangan baterai mengalami kenaikan dan arus baterai mengalami penurunan.



Gambar 4. 14 Tegangan dan Arus Baterai saat Mode Charging



Gambar 4. 15 Tegangan Beban

BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN

Dari simulasi yang telah dilakukan pada simulik matlab serta kajian literature yang telah dilakukan maka didapatkan Kesimpulan berikut :

1. Topologi bidirectional DC DC converter dibagi dalam dua jenis yaitu non-isolated dan isolataed. Dalam penelitian ini digunakan tipe non-isolated bidirectional DC DC buck-boost converter. Selain jenis ini ada bebarpa tipe yang sering digunakan, antara lain sepic converter, cuk converter dsb.
2. Rangkaian simulasi bidirectional DC DC buck-boost converter yang telah dimodelkan cukup responsif dalam beroperasi dalam perubahan tegangan yang diwakili dengan on-off dari saklar ideal dalam rangkaian. Ketika saklar berlogika 0 artinya sistem tidak terhubung dengan PLTS, dan beban akan mendapatkan sumber energi listrik dari baterai, bidirectional DC-DC converter beroperasi pada mode boost dan terjadi proses discharhing pada baterai. Ketika saklar berlogika 1 artinya sistem terhubung dengan PLTS, beban akan mendapatkan suplai energi listrik dari PLTS serta terjadi proses charging pada baterai.
3. Kinerja Bidirectional DC-DC Buck-Boost Converter pada penelitian ini mampu bekerja cukup efektif dengan metode controller PI, namun untuk hasil kinerja yang lebih bagus dari sisi efisiensi serta ketelitian bisa menggunakan MPPT pada sistem integrasi antara PLTS, baterai serta beban.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Bhattacharjee, D. K. Mandal, and H. Saha, "Design of an optimized battery energy storage enabled Solar PV Pump for rural irrigation," in *2016 IEEE 1st International Conference on Power Electronics, Intelligent Control and Energy Systems (ICPEICES)*, IEEE, Jul. 2016, pp. 1–6. doi: 10.1109/ICPEICES.2016.7853237.
- [2] C. Feng, Y. Liu, and J. Zhang, "A taxonomical review on recent artificial intelligence applications to PV integration into power grids," *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, vol. 132, p. 107176, Nov. 2021, doi: 10.1016/j.ijepes.2021.107176.
- [3] Y. (Lucy) Qiu, B. Xing, A. Patwardhan, N. Hultman, and H. Zhang, "Heterogeneous changes in electricity consumption patterns of residential distributed solar consumers due to battery storage adoption," *iScience*, vol. 25, no. 6, Jun. 2022, doi: 10.1016/j.isci.2022.104352.
- [4] P. Jyothi, P. Saketh, C. Vignesh, and V. S. Kirthika Devi, "Renewable energy powered DC charging system for electric vehicle," *J Phys Conf Ser*, vol. 1706, no. 1, p. 012085, Dec. 2020, doi: 10.1088/1742-6596/1706/1/012085.
- [5] C. Hanley *et al.*, "Technology development needs for integrated grid-connected PV systems and electric energy storage," in *2009 34th IEEE Photovoltaic Specialists Conference (PVSC)*, IEEE, Jun. 2009, pp. 001832–001837. doi: 10.1109/PVSC.2009.5411515.
- [6] D. López del Moral, A. Barrado, M. Sanz, A. Lázaro, and P. Zumel, "Analysis and implementation of the Buck-Boost Modified Series Forward converter applied to photovoltaic systems," *Solar Energy*, vol. 176, pp. 771–787, Dec. 2018, doi: 10.1016/j.solener.2018.10.053.
- [7] Handrea Bernando Tambunan, *Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya*, vol. 1. Jakarta: Deepublish, 2021.
- [8] Q. Yao, Y. Zeng, and Q. Jia, "A Novel Non-Isolated Cubic DC-DC Converter with High Voltage Gain for Renewable Energy Power Generation System," *Energy Engineering*, vol. 121, no. 1, pp. 221–241, 2024, doi: 10.32604/ee.2023.041028.
- [9] J. Radeen, A. Ajith, A. C. A. R.B, and M. A. A, "Design and Simulation of Bidirectional DC-DC Converter in Solar PV System for Battery Charging Application," in *2023 IEEE International Conference on Power Electronics, Smart Grid, and Renewable Energy (PESGRE)*, IEEE, Dec. 2023, pp. 1–6. doi: 10.1109/PESGRE58662.2023.10405100.
- [10] Armadilla Sukma Pratiwi, Syechu Dwitya Nugraha, and Epyk Sunarno, "Desain dan Simulasi Bidirectional DC-DC Converter untuk Penyimpanan Energi pada Sistem Fotovoltaik," *Jurnal Nasional Teknik Elektro dan Teknologi Informasi*, vol. 9, no. 3, pp. 305–310, Aug. 2020, doi: 10.22146/v9i3.377.
- [11] O. C. Onar, J. Kobayashi, D. C. Erb, and A. Khaligh, "A Bidirectional High-Power-Quality Grid Interface With a Novel Bidirectional Noninverted Buck–Boost Converter for PHEVs," *IEEE Trans Veh Technol*, vol. 61, no. 5, pp. 2018–2032, Jun. 2012, doi: 10.1109/TVT.2012.2192459.
- [12] Z. Zhang and K.-T. Chau, "Pulse-Width-Modulation-Based Electromagnetic Interference Mitigation of Bidirectional Grid-Connected Converters for Electric Vehicles," *IEEE Trans Smart Grid*, vol. 8, no. 6, pp. 2803–2812, Nov. 2017, doi: 10.1109/TSG.2016.2541163.
- [13] R. T. Naayagi, A. J. Forsyth, and R. Shuttleworth, "High-Power Bidirectional DC–DC Converter for Aerospace Applications," *IEEE Trans Power Electron*, vol. 27, no. 11, pp. 4366–4379, Nov. 2012, doi: 10.1109/TPEL.2012.2184771.
- [14] K. Chao and C. Huang, "Bidirectional DC–DC soft-switching converter for stand-alone photovoltaic power generation systems," *IET Power Electronics*, vol. 7, no. 6, pp. 1557–1565, Jun. 2014, doi: 10.1049/iet-pel.2013.0335.

- [15] Ke Jin, Mengxiong Yang, Xinbo Ruan, and Min Xu, “Three-Level Bidirectional Converter for Fuel-Cell/Battery Hybrid Power System,” *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 57, no. 6, pp. 1976–1986, Jun. 2010, doi: 10.1109/TIE.2009.2031197.
- [16] B. Mangu, S. Akshatha, D. Suryanarayana, and B. G. Fernandes, “Grid-Connected PV-Wind-Battery-Based Multi-Input Transformer-Coupled Bidirectional DC-DC Converter for Household Applications,” *IEEE J Emerg Sel Top Power Electron*, vol. 4, no. 3, pp. 1086–1095, Sep. 2016, doi: 10.1109/JESTPE.2016.2544789.
- [17] P. Sharma, D. K. Palwalia, and A. K. Sharma, “A REVIEW: BI-DIRECTIONAL DC-DC CONVERTER TOPOLOGIES,” *International Journal of Technical Research & Science*, vol. 9, no. Spl, pp. 27–35, Jun. 2024, doi: 10.30780/specialissue-ISET-2024/029.
- [18] D. B. Aeggegn, G. N. Nyakoe, and C. Wekesa, “ANFIS-Controlled Boost and Bidirectional Buck-Boost DC-DC Converters for Solar PV, Fuel Cell, and BESS-Based Microgrid Application,” *International Transactions on Electrical Energy Systems*, vol. 2024, no. 1, Jan. 2024, doi: 10.1155/2024/6484369.
- [19] H. Shin and J. Hur, “Optimal Energy Storage Sizing With Battery Augmentation for Renewable-Plus-Storage Power Plants,” *IEEE Access*, vol. 8, pp. 187730–187743, 2020, doi: 10.1109/ACCESS.2020.3031197.
- [20] MathWorks, “Simscape™ Electrical™ User’s Guide (Specialized Power Systems),” 1998. [Online]. Available: www.mathworks.com

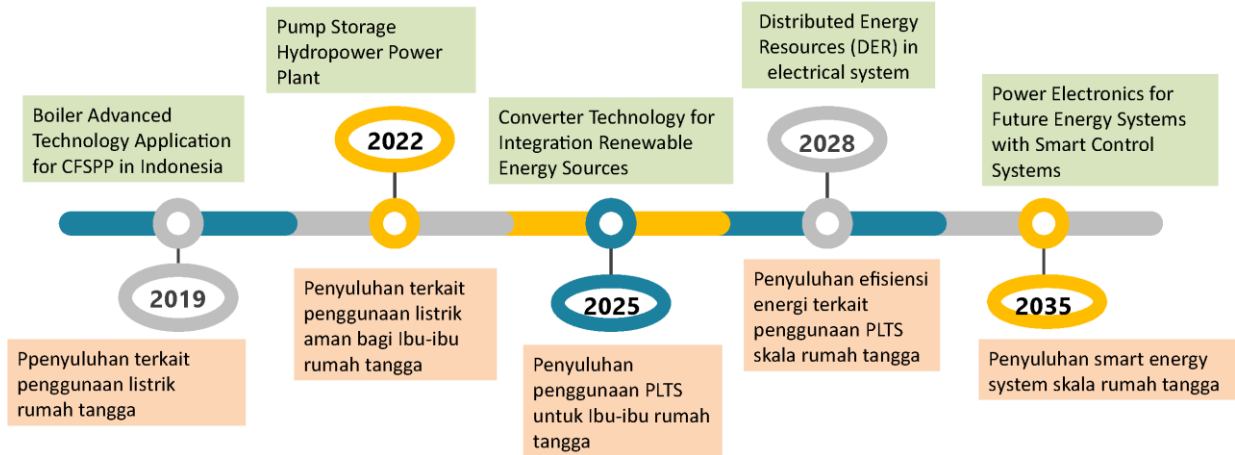
LAMPIRAN 1. ROAD MAP PENELITIAN



PETA JALAN PENELITIAN <Tyas Kartika Sari>

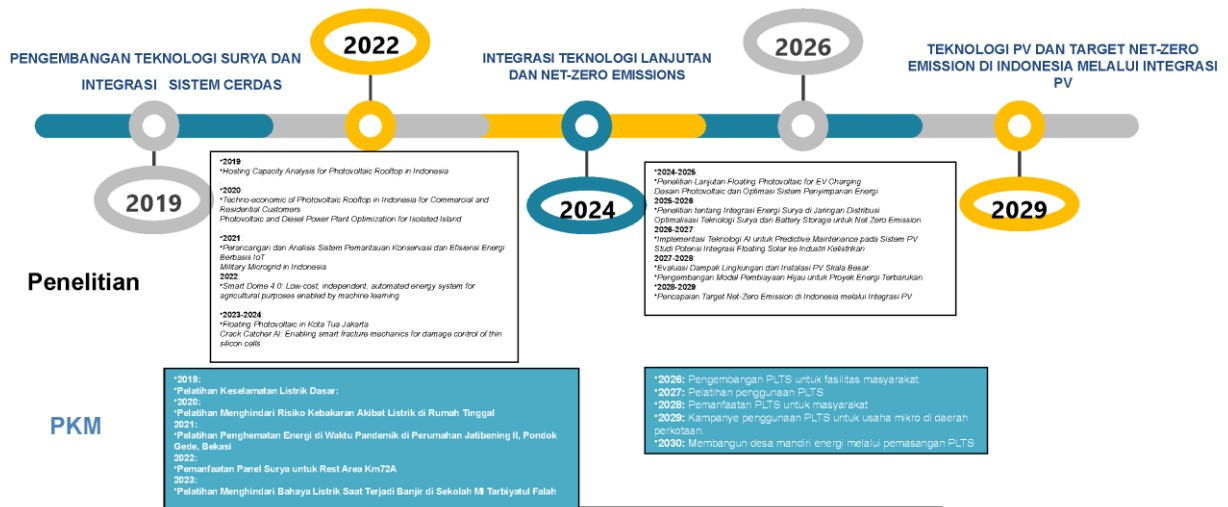
Unggulan Universitas : Green Energy
Rumpun Penelitian : Green Engineering Technology
Bidang Penelitian : Smart Product & Services (Sistem Ketenagalistrikan)

Penelitian
PKM



Roadmap Penelitian dan PKM Fotovoltaik di Indonesia: Inovasi, Integrasi, dan Pencapaian Net Zero Emissions (2019-2029) <DIANING NOVITA NURMALA PUTRI, ST, MSC>

Rumpun Penelitian: Green Engineering Technology
Unggulan Universitas: Green Energy
Bidang Penelitian : Energi Terbarukan





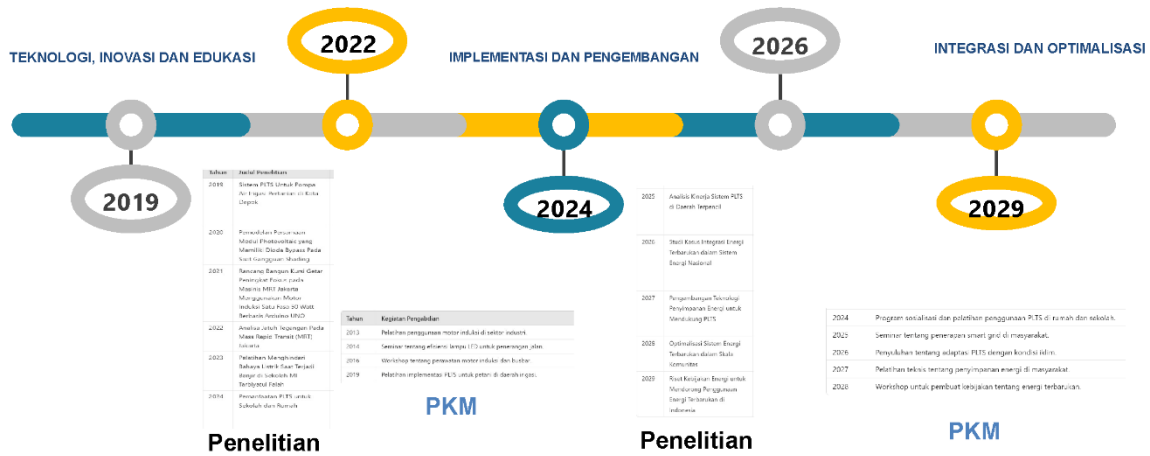
Roadmap Penelitian dan PKM Energi Terbarukan di Indonesia (2019-2029)

<DR.IR.CHAIRUL G.IRIANTO, MS>

Rumpun Penelitian: Green Engineering Technology

Unggulan Universitas: Green Energy

Bidang Penelitian : Energi Terbarukan



PETA JALAN PENELITIAN <Maulasukma Widjaja>

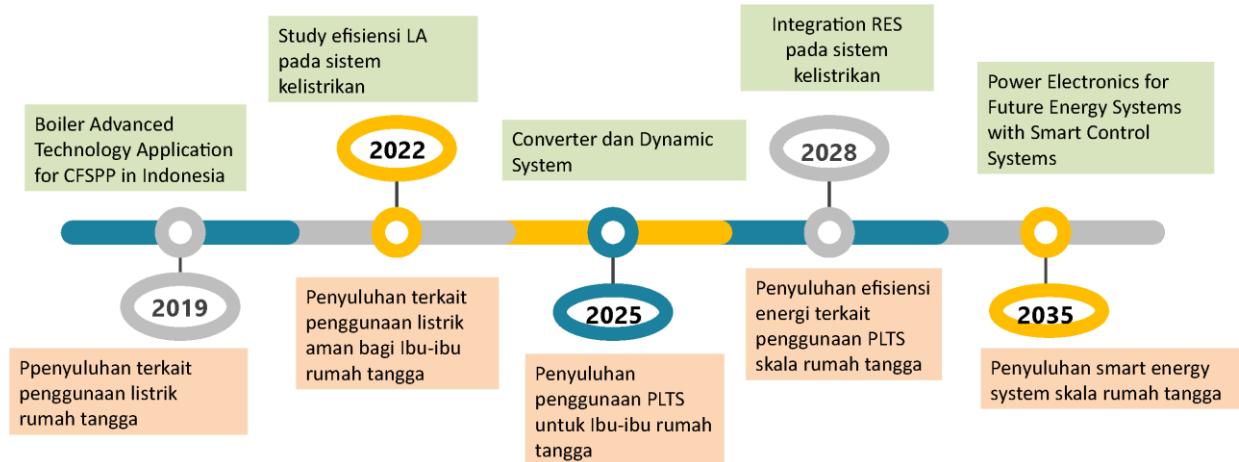
Unggulan Universitas : Green Energy

Rumpun Penelitian : Green Engineering Technology

Bidang Penelitian : Smart Product & Services (Sistem Ketenagalistrikan)

Penelitian

PKM



LAMPIRAN 2. LUARAN PENELITIAN

LUARAN 1 :

Kategori Luaran : Artikel Ilmiah

Status : Sedang Direview

Jenis Publikasi Jurnal : Jurnal Nasional Terakreditasi

Nama Jurnal : Jurnal Ilmiah Teknik Elektro (Jurnal Transmisi)

ISSN : p-ISSN: 1411-0814

EISSN : e-ISSN: 2407-6422

Lembaga Pengindek : Sinta

Url Jurnal : <https://ejournal.undip.ac.id/index.php/transmisi/index>

Judul Artikel : OVERVIEW OF BIDIRECTIONAL DC DC CONVERTER FOR ENERGY STORAGE SYSTEM IN RENEWABLE ENERGY POWER GENERATION

Penulis (Tim Peneliti) :

1. Tyas Kartika Sari, S.T., M.T. (First Author)
2. Dianing Novita Nurmala Putri, S.T., M.Sc. (Other Author)
3. Dr. Ir. Chairul Gagarin Irianto, M.T. (Other Author)
4. Ir. Maulasukma Widjaya, M.S. (Other Author)

LUARAN 2 :

Kategori Luaran : Hak Kekayaan Intelektual

Status : Tercatat/Tersedia

Jenis HKI : Hak Cipta

Nama HKI : Poster Penelitian Perancangan dan Analisis Bidirectional DC DC Converter untuk Sistem Penyimpanan Energi pada PLTS

No. Pendaftaran : EC002025037217

Tanggal Pendaftaran : 2025-04-09

No. Pencatatan : 000877478

Penulis (Tim Peneliti) :

1. Tyas Kartika Sari, S.T., M.T.
2. Dianing Novita Nurmala Putri, S.T., M.Sc.
3. Dr. Ir. Chairul Gagarin Irianto, M.T.
4. Ir. Maulasukma Widjaya, M.S.
5. Zulfikar

LUARAN 3 :