

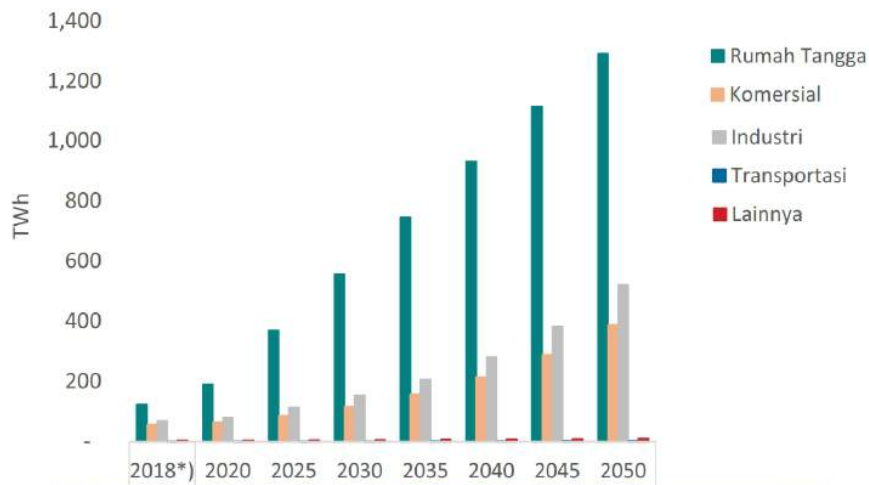
# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **A. Latar Belakang**

Energi adalah sumber daya yang digunakan untuk melakukan berbagai proses kegiatan. Sumber energi di Indonesia saat ini masih bergantung pada sumber daya fosil, seperti batubara, minyak dan gas bumi, panas bumi, biodiesel, dan lain-lain (Adellea, 2022). Berdasarkan data Badan Geologi Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM) tahun 2020, jumlah batubara di Indonesia mencapai 143,73 miliar ton dengan cadangan sebanyak 38,80 miliar ton. Kelimpahan komoditas ini menjadikan Indonesia sebagai salah satu produsen dan eksportir batubara terbesar di dunia (ESDM, 2019). Produksi batubara umumnya didukung oleh faktor permintaan domestik dan dunia yang terus meningkat setiap tahunnya, dengan porsi ekspor sebesar 72,11% dan 27,89% untuk pemenuhan dalam negeri (Haryadi & Suciyanti, 2018).

Salah satu pemanfaatan batubara adalah sebagai bahan bakar utama pembangkit tenaga listrik. Menurut data Dewan Energi Nasional (DEN), proyeksi kebutuhan energi listrik dari tahun 2025–2050 adalah sebesar 2.214 Terawatt, yang didominasi oleh sektor rumah tangga akibat meningkatnya penggunaan alat elektronik (ditunjukkan oleh gambar 1.1) (DEN, 2019). Haryadi & Suciyanti (2018), dalam penelitiannya juga menganalisis jumlah kebutuhan listrik sebagian besar akan dialokasikan untuk industri domestik dan sumber daya pembangunan smelter. Namun, dalam 83 tahun mendatang, cadangan batubara diperkirakan akan habis jika penggunaannya terus meningkat, dan selama penggunaannya berlangsung, emisi dari produk yang dihasilkan berkontribusi terhadap timbulnya efek Gas Rumah Kaca (GRK). Oleh karena itu, dibutuhkan sumber energi yang lebih rendah emisi, ramah lingkungan, dan dapat digunakan dalam jangka panjang sebagai alternatif pengganti batubara (Afin & Kiono, 2021).



Gambar 1.1. Permintaan Listrik per Sektor (DEN, 2019)

Penerapan Energi Baru dan Terbarukan (EBT) merupakan salah satu upaya pemerintah dalam mengatasi ketergantungan terhadap bahan bakar fosil. EBT adalah sumber energi yang berasal dari matahari, angin, biogas, biomassa, serta pasang surut dan gelombang laut, yang dapat diproses secara berkelanjutan (Sihombing, 2020). Berdasarkan Peraturan Pemerintah Nomor 79 tahun 2014 tentang Kebijakan Energi Nasional, EBT menjadi salah satu alternatif penyediaan energi, karena selain ramah lingkungan, EBT juga menjamin ketersediaannya hingga masa mendatang (BPPT, 2017). Tabel 1.1. menunjukkan berbagai jenis sumber EBT serta potensi energinya. Berdasarkan tabel tersebut, dapat disimpulkan bahwa energi surya merupakan sumber yang paling potensial untuk diterapkan di Indonesia.

Tabel 1.1 Potensi Energi Baru dan Terbarukan (Ditjen EBTKE, 2018)

Jenis Energi	Potensi
Panas Bumi	94,3 Gigawatt
Tenaga Air	28,5 Gigawatt
Pembangkit Listrik Tenaga Bio	32,6 Gigawatt
Surya	207,8 Gigawatt
Angin	60,6 Gigawatt
Energi Laut	17,9 Gigawatt

Fotovoltaik (PV) mampu memaksimalkan ketersediaan energi surya untuk menghasilkan energi listrik. Kondisi geografis Indonesia yang berada di wilayah khatulistiwa juga memadai untuk mendapat penyinaran matahari yang optimal (Samsurizal dkk, 2021). Prinsip kerja dari teknologi ini adalah mengonversi energi matahari menjadi energi listrik dengan menggunakan efek fotovoltaik. Efek fotovoltaik melibatkan penyerapan cahaya oleh panel surya yang terbuat bahan semikonduktor untuk menghasilkan arus listrik (Mustaghfiri & Munasir, 2023). Menurut Majid (2023), besar arus listrik yang dihasilkan oleh panel surya berbanding lurus dengan daya yang diberikan ke perangkat elektronik. Daya keluaran panel dipengaruhi oleh intensitas cahaya matahari yang diterima oleh panel, sehingga perubahan intensitas matahari memengaruhi tingkat daya keluaran.

Titik daya maksimum (*Maximum Power Point* atau MPP) adalah kondisi ketika daya keluaran panel surya mencapai maksimum pada tingkat radiasi dan suhu tertentu (Katche dkk, 2023). Pada titik tersebut, panel surya berada dalam keadaan optimal, baik dari tegangan atau arus yang dihasilkan (Faizal & Setyaji, 2016). Berbagai metode pengembangan panel surya telah dilakukan untuk meningkatkan kemampuan penyerapan intensitas radiasi matahari, seperti menentukan sudut optimal panel surya, melacak arah sinar matahari untuk mengikuti pergerakannya, menempatkan reflektor di kedua sisi panel, menempatkan reflektor yang kemiringannya berubah secara otomatis menyesuaikan arah matahari, hingga panel surya *hybrid* (kombinasi panel surya konvensional dan *thermoelectric generator*) dengan sistem pelacakan arah sinar matahari otomatis yang diintegrasikan dengan lensa Fresnel untuk memusatkan cahaya matahari (Tamimi dkk, 2016; Manullang, 2018; Indrasari dkk, 2019; Ramli dkk, 2022; Indrasari dkk, 2020). Namun, dari berbagai metode yang telah dilakukan, terdapat permasalahan lain yang dapat mengurangi kinerja panel surya khususnya dalam transfer energi listrik, yakni adanya kebocoran arus.

*Maximum Power Point Tracking* (MPPT) adalah sebuah metode yang digunakan untuk mendapatkan nilai tegangan dan arus yang optimal sehingga diperoleh daya keluaran yang maksimal dari panel surya (Wirsuyana dkk, 2022). MPPT bekerja dengan mengontrol tegangan terminal *array* PV untuk memaksanya

melacak daya maksimum yang tersedia dari sistem PV (Eltamaly dkk, 2020). MPPT membutuhkan konverter DC-DC sebagai aktuator untuk mengatur tegangan keluaran PV pada titik daya maksimum. Konverter DC-DC bertindak sebagai antarmuka antara beban dan panel surya. Dengan mengubah *duty cycle*, impedansi beban akan disesuaikan dengan impedansi sumber untuk mendapatkan daya maksimum (Choudhary & Saxena, 2014).

Salah satu jenis konverter DC-DC yang umum digunakan adalah *buck converter* (Manoharan dkk, 2021). *Buck converter* berfungsi untuk mengatur tegangan DC pada panel surya dengan membuat tegangan keluaran lebih rendah dari tegangan masukan (Indrasari, 2021). Rangkaian *buck converter* terdiri dari beberapa komponen *low pass filter*, seperti dioda, induktor, kapasitor, resistor beban, dan sakelar (*switch*) aktif (Febriano dkk, 2022). Rangkaian ini terbagi menjadi dua jenis, yakni *synchronous* dan *asynchronous*. Rangkaian *asynchronous* memiliki topologi yang sama dengan rangkaian DC-DC *buck converter* pada umumnya (satu atau dua kapasitor, satu sakelar, dan satu dioda). Sedangkan rangkaian *synchronous* mengubah dioda dengan MOSFET sehingga rangkaian memiliki dua sakelar. Konfigurasi ini bertujuan untuk mereduksi efek *conduction loss* yang dihasilkan oleh dioda agar tidak terjadi kehilangan daya yang signifikan (Zomorodi & Nazari, 2022).

Dalam pengoperasian MPPT, perlu dilengkapi algoritma untuk memperoleh informasi dan mengkalkulasi pengaturan yang harus diterapkan pada sistem agar panel surya menghasilkan daya yang besar (Jager dkk, 2014). Algoritma konvensional seperti *Hill-Climbing* (HC) dan *Perturb & Observe* (P&O) dapat digunakan dalam menentukan MPP (Yang dkk, 2020). Algoritma HC bekerja dengan memvariasikan perubahan tegangan atau arus keluaran dan memantau perubahan daya yang dihasilkan. Jika peningkatan pada tegangan atau arus adalah kecil, maka algoritma akan mengubah nilai dalam arah yang sama hingga peningkatannya berhenti (Prakoso dkk, 2020). Sedangkan algoritma P&O melacak MPP dengan cara mengganggu titik operasional dan mengamati perubahan daya sebelum dan sesudah gangguan tersebut (Mohanty dkk, 2016).

Pada penelitian yang telah dilakukan oleh Budi (2021), tentang rancang bangun sistem penyimpanan energi listrik panel surya, digunakan DC-DC *Buck Converter* dengan MPPT sebagai pengontrol utama transmisi energi listrik panel surya ke baterai. Resistor beban yang digunakan pada filter adalah sebesar  $220\ \Omega$ , arus yang diperoleh sebesar  $56,7\text{mA}$ , dan tegangan keluaran  $12,5\text{V}$  ketika *duty cycle* 60%. Namun, terdapat disipasi daya yang cukup besar, yaitu 57,69%. Sehingga, pada penelitian Febriano dkk., (2022) dilakukan optimalisasi untuk meningkatkan nilai arus keluaran pada filter *buck converter* dengan variasi resistor beban yang disimulasikan dengan perangkat lunak LTspice. Pengembangan dilakukan untuk mendapatkan daya yang cukup besar, sehingga disipasi daya yang terjadi dapat dikurangi secara signifikan. Hasil simulasi menunjukkan bahwa nilai keluaran paling optimal diperoleh saat  $R_L = 30\ \Omega$  dan *duty cycle* 60%, yakni  $12,03\text{V}$ .

Rama (2023), dalam penelitiannya menggabungkan metode MPPT dengan algoritma HC dan optimasi beban pada rangkaian filter. Dalam pengujian yang dilakukan, program MPPT dapat bekerja dengan baik dan prototipe memperoleh rata-rata efisiensi 69,85%. Lebih lanjut, Rhamadhan (2023) pada penelitiannya mampu menghasilkan efisiensi rata-rata sebesar 76,05% dari prototipe yang dirancang dengan modifikasi algoritma HC berupa penambahan metode variabel *step size* dan pembatasan titik operasi untuk menentukan MPP yang dapat mengurangi osilasi dan waktu respon. Dari beberapa hasil penelitian yang dijelaskan, diketahui bahwa daya yang dihasilkan oleh PV melalui *buck converter* belum sepenuhnya ditransmisikan. Terdapat daya yang hilang atau terdisipasi karena berbagai faktor, seperti *conduction loss* (resistansi dan arus pada MOSFET), *switching frequency loss* (karakteristik tegangan, arus, sakelar, dan dioda), dan lain-lain (Eraydin, 2020).

Pengaruh komponen parasitik juga merupakan faktor penyebab disipasi daya pada sistem elektronik berfrekuensi tinggi. Unsur parasitik pada induktor dan kapasitor disebut dengan ESL (*Equivalent Series Inductance*) dan ESR (*Equivalent Series Resistance*) (Pradana, 2013). ESL dan ESR menjadi parameter penting seiring dengan peningkatan frekuensi *switching* dan *bandwidth* pada sistem.

Stabilitas dan kinerja dinamis dari sistem ini sebagian besar bergantung dengan parameter tersebut (Sandler dkk, 2011). Mendez dkk. (2019), dalam penelitiannya menganalisis pengaruh parasitik dengan analisis impedansi menggunakan *Vector Network Analyzer* (VNA) untuk memperoleh koefisien transmisi. Koefisien ini berfungsi untuk mengukur pengaruh parasitik terhadap impedansi pada frekuensi tinggi (Mendez dkk, 2019). Di samping itu, Davis dkk. (2022), mengembangkan alat ukur ESR pada kapasitor dengan mikrokontroler Arduino Uno. Prinsip kerja dari alat ini adalah memberikan pulsa pada kapasitor melalui rangkaian arus konstan, kemudian mikrokontroler akan menangkap tegangan DC untuk menghitung resistansi dan menampilkan nilai ESR pada LCD (*Liquid Crystal Device*) (Davis dkk, 2022).

Berdasarkan uraian tersebut, dapat disimpulkan bahwa PV merupakan salah satu teknologi alternatif untuk mengatasi masalah kebutuhan energi listrik di Indonesia. Dalam pengembangan sistem penyimpanan energi berbasis PV, dibutuhkan MPPT yang terintegrasi algoritma tertentu beserta konverter DC-DC agar menghasilkan daya yang maksimum. Oleh karena itu, pada penelitian ini dilakukan pengembangan rangkaian DC-DC *synchronous buck converter*, yakni mengubah komponen dioda dengan MOSFET sebagai sakelar serta menerapkan algoritma *Hill-Climbing* termodifikasi metode variabel *step size* dan pembatasan titik operasi pada sistem MPPT. Selain itu, juga dilakukan analisis komponen parasitik terhadap disipasi daya yang dihasilkan oleh rangkaian secara matematis melalui hasil eksperimen dan karakteristik komponen yang tertera pada *datasheet*. Melalui strategi ini, diharapkan dapat meningkatkan kemampuan dan efisiensi energi listrik pada sistem penyimpanan energi berbasis panel surya serta memaksimalkan tenaga surya sebagai sumber EBT di Indonesia.

## **B. Perumusan Masalah**

Berdasarkan latar belakang yang telah dijelaskan, maka dapat dirumuskan permasalahan yang akan diteliti dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana cara merancang rangkaian DC-DC *synchronous buck converter* pada sistem penyimpanan energi panel surya yang terintegrasi MPPT dengan algoritma *Hill-Climbing* termodifikasi metode variabel *step size* dan pembatasan titik operasi (VSS-PTO) pada sistem MPPT?
2. Bagaimana cara menganalisis pengaruh komponen parasitik pada rangkaian *synchronous buck converter*?
3. Bagaimana cara meningkatkan efisiensi sistem penyimpanan energi dengan algoritma MPPT *Hill-Climbing* termodifikasi metode variabel *step size* dan pembatasan titik operasi (VSS-PTO) pada sistem MPPT?

### **C. Tujuan Penelitian**

Adapun tujuan penelitian optimasi rangkaian konverter DC-DC pada panel surya menggunakan MPPT dengan algoritma *Hill-Climbing* VSS-PTO adalah sebagai berikut:

1. Merancang rangkaian DC-DC *synchronous buck converter* pada sistem penyimpanan energi panel surya untuk mengatur tegangan keluaran panel agar mencapai titik daya maksimum.
2. Menganalisis pengaruh komponen parasitik terhadap efisiensi daya listrik yang dihasilkan oleh rangkaian DC-DC *synchronous buck converter*.
3. Meningkatkan efisiensi sistem penyimpanan energi berbasis panel surya melalui implementasi algoritma *Hill-Climbing* VSS-PTO pada MPPT untuk memperoleh titik daya maksimum dari panel surya.

### **D. Manfaat Penelitian**

Beberapa manfaat yang dapat diperoleh dari hasil penelitian ini antara lain sebagai berikut:

1. Dari sisi pemanfaatan teknologi, penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi di bidang Energi, khususnya dalam mengoptimalkan kinerja panel surya sebagai teknologi EBT untuk menghasilkan sumber energi listrik yang ramah lingkungan dan berkelanjutan.

2. Dari sisi pengembangan keilmuan, penelitian ini diharapkan dapat memberikan alternatif solusi dalam meningkatkan efisiensi daya listrik melalui pengembangan DC-DC *synchronous buck converter* dan analisis komponen parasitik pada sistem MPPT panel surya.

