BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pemanfaatan energi baru dan terbarukan yang ramah lingkungan terus di kembangkan, selain potensi dari energi surya, air, dan angin terdapat sumber energi lain yaitu panas. Tanpa disadari energi panas terbuang percuma dalam kehidupan sehari-hari, contohnya pada saluran gas buang kendaraan dan cerobong asap pada industri. Energi panas yang terbuang dapat diubah menjadi energi listrik menggunakan *Thermoelectric Generator* (TEG). Modul termoelektrik bekerja sesuai *Efek Seebeck* dimana tegangan yang dihasilkan dipengaruhi oleh perbedaan suhu dan karakteristik material.

Kebutuhan akan sumber energi alternatif yang ramah lingkungan semakin meningkat seiring dengan terbatasnya cadangan energi fosil dan meningkatnya kesadaran akan dampak lingkungan. Energi merupakan kebutuhan primer dalam kehidupan manusia modern. Hampir semua aspek kehidupan memerlukan energi sebagai penggerak utama. Sumber daya energi mempunyai peran penting dalam semua aspek pembangunan ekonomi nasional. Energi diperlukan untuk pertumbuhan kegiatan industri, jasa, perhubungan dan sebagainya. Salah satu teknologi yang berkembang sebagai sumber energi terbarukan adalah *Thermoelectric Generator* (TEG)**.**

Thermoelectric Generator mengubah energi panas menjadi energi listrik secara langsung menggunakan efek *Seebeck.* Teknologi ini memiliki beberapa kelebihan dibandingkan pembangkit listrik lainnya, antara lain tidak bersuara

karena tidak memiliki komponen yang bergerak, ramah lingkungan, dapat digunakan dalam skala kecil maupun besar, serta memiliki tingkat keandalan yang tinggi. Namun demikian, kemampuan termoelektrik sangat dipengaruhi oleh koefisien S*eebeck* dan perbedaan suhu, sehingga daya dan tegangan yang dihasilkan cenderung rendah dan tidak stabil (Masaji dkk., 2019).

Dalam penerapannya, *Thermoelectric Generator* (TEG) masih memiliki keterbatasan berupa tegangan keluaran yang relatif rendah dan tidak stabil akibat fluktuasi suhu antara sisi panas dan sisi dingin. Kondisi ini menyebabkan energi listrik yang dihasilkan belum dapat dimanfaatkan secara optimal, khususnya untuk menyuplai beban elektronik yang membutuhkan tegangan yang stabil dan sesuai spesifikasi. Oleh karena itu, diperlukan suatu sistem yang mampu meningkatkan sekaligus menstabilkan tegangan keluaran dari TEG. Dalam upaya mengatasi keterbatasan tersebut, *Boost converter* diaplikasikan ke dalam sistem pembangkit listrik berbasis TEG yang menghasilkan tegangan DC rendah dan tidak stabil akibat fluktuasi suhu pada sisi panas dan dingin. Agar energi listrik dari TEG dapat dimanfaatkan oleh perangkat elektronik secara efisien, maka diperlukan konversi tegangan yang mampu menaikkan dan menstabilkan *output*-nya. Dalam hal ini, *Boost converter* dipilih karena mampu menaikkan tegangan sesuai kebutuhan beban. Sistem konversi daya ini memerlukan pengaturan *duty cycle* secara presisi agar tegangan *output* tetap stabil, terlebih lagi ketika dihubungkan dengan beban variatif. Ketidakstabilan tegangan dapat menurunkan kinerja bahkan merusak perangkat elektronik yang digunakan sebagai beban. Oleh karena itu, diperlukan kendali berbasis *Pulse Width Modulation* (PWM) untuk mengatur

switching pada *Boost converter* . Pemilihan konfigurasi *Boost converter* didasarkan pada daya yang dihasilkan oleh TEG dan karakteristik respon rangkaian terhadap perubahan suhu. *Boost converter* memberikan efisiensi tinggi dengan konfigurasi sederhana, baik dalam sistem *open-loop* maupun *closed-loop*, serta dapat menghasilkan tegangan *output* dengan riak (*ripple*) yang rendah, sehingga ukuran komponen filter yang digunakan relatif kecil (Nizar dkk., 2024).

Pulse Width Modulation (PWM) merupakan salah satu teknik kontrol elektronik yang berfungsi untuk mengatur kerja suatu rangkaian daya secara efisien, termasuk dalam hal ini adalah pengendalian konverter daya seperti *Boost converter* . PWM bekerja dengan mengubah lebar pulsa (*pulse width*) dari sinyal digital secara periodik, tanpa mengubah nilai frekuensi maupun amplitudo sinyal tersebut. Dalam aplikasi konversi daya, PWM digunakan untuk mengatur siklus kerja (*duty cycle*) dari saklar elektronik (misalnya MOSFET), yang secara langsung memengaruhi tegangan *output* konverter. Dalam sistem *Boost converter* berbasis *Thermoelectric Generator* (TEG), PWM berperan penting untuk menyesuaikan tegangan keluaran yang bersifat fluktuatif akibat variasi suhu. Dengan mengatur lebar pulsa sinyal PWM, sistem dapat menstabilkan tegangan *output* meskipun tegangan *input* dari TEG berubah-ubah. PWM ini umumnya dihasilkan oleh rangkaian kontrol elektronik, baik digital maupun analog, yang disesuaikan dengan kebutuhan spesifikasi konverter daya. PWM juga dapat dianggap sebagai kebalikan dari ADC (*Analog to Digital Converter*). Jika ADC mengubah sinyal analog menjadi digital, maka PWM dapat digunakan untuk menghasilkan sinyal analog semu dari sinyal digital. Dalam konteks ini, sinyal

digital berfrekuensi tinggi dan lebar pulsa variabel dari PWM mampu mensimulasikan tegangan analog yang diperlukan untuk mengatur sistem konversi daya (Marpaung & Al Hafiz, 2021). Meskipun berbagai penelitian telah menerapkan *Boost converter* pada sistem *Thermoelectric Generator* (TEG), sebagian besar masih berfokus pada peningkatan tegangan keluaran, sedangkan analisis mengenai pengaruh pengaturan *Pulse Width Modulation* (PWM) terhadap kinerja sistem secara menyeluruh masih terbatas. Padahal, pengaturan *duty cycle* PWM berperan penting dalam meningkatkan kestabilan tegangan, efisiensi konversi daya, serta kualitas tegangan keluaran.

Berdasarkan latar belakang diatas, maka penulis tertarik untuk melakukan penelitian dengan judul "Analisis Kinerja *Boost Converter* Berbasis *Pulse Width Modulation* (PWM) Pada *Termoelectric Generator*".

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, rumusan masalah dalam penelitian ini adalah bagaimana analisis kinerja *Boost converter* berbasis *Pulse Width Modulation* (PWM) pada *Thermoelectric Generator* (TEG) dalam meningkatkan tegangan *output*, menstabilkan tegangan, serta mempengaruhi efisiensi sistem?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian ini adalah untuk melakukan analisis kinerja *Boost converter* berbasis *Pulse Width Modulation* (PWM) pada *Thermoelectric Generator (TEG).*

1.4 Batasan Masalah

Penelitian ini dibatasi pada analisis kinerja *Boost converter* berbasis PWM dalam menstabilkan tegangan *output* dari *Thermoelectric Generator* (TEG), TEG tipe SP1848-27145, IC TL494 (sebagai pembangkit sinyal PWM), Modul *Boost converter* berbasis IC LM2596, Elemen pemanas listrik (sumber panas buatan), Resistor daya dan lampu LED (sebagai beban variatif), Multimeter digital dan Oscilloscope (opsional, untuk analisis sinyal PWM dan *output*).

1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini bermanfaat untuk memberikan pemahaman mengenai penerapan *Boost converter* berbasis PWM dalam menstabilkan *output* TEG, serta sebagai referensi dalam pengembangan sistem energi alternatif portabel yang efisien.