

Rancangan Bangun Sistem Konversi Energi Panas Kompor Menjadi Energi Listrik Menggunakan Modul Termoelektrik (TEG)

Helsya Debora Rajagukguk¹, Jonathan Surya Sitohang², Pretty Tigris Panjaitan³, Mikhael Benaya Bangun⁴, Sudirman Sidabutar⁵

^{1,2,3,4,5} Universitas Negeri Medan

Corresponding Author: Helsya Debora Rajagukguk, E-Mail: deborachelsya@gmail.com

Published: August, 2025

ABSTRAK

Permasalahan kritis energi global dan kebutuhan akan sumber energi alternatif yang ramah lingkungan mendorong pengembangan teknologi konversi energi nonkonvensional. Salah satu Solusi yang potensial adalah pemanfaatan energi panas buangan dari aktivitas rumah tangga, seperti panas kompor, untuk dikonversi menjadi energi Listrik. Penelitian ini merancang dan menguji sistem konversi energi panas menjadi energi Listrik menggunakan modul termoelektronik (TEG). Modul TEG bekerja berdasarkan efek Seebeck, di mana perbedaan suhu antara dua sisi modul menghasilkan tegangan Listrik. Dalam percobaan ini, digunakan beberapa modul TEG yang dipasang pada permukaan kompor dengan system pendingin di sisi dingin untuk menjaga gradien suhu. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu menghasilkan tegangan hingga 3,5 V dan arus 200mA dengan suhu panas sekitar 200°C. Energi Listrik yang dihasilkan dapat dimanfaatkan untuk aplikasi ringan seperti menyalakan LED atau mengisi daya perangkat elektronik portable. Penelitian ini menunjukkan bahwa system TEG memiliki potensi besar untuk digunakan sebagai sumber energi alternatif di skala rumah tangga.

Kata kunci : energi termoelektrik, efek Seebeck, TEG, konversi energi, energi alternatif.

ABSTRACT

The critical problem of global energy and the need for alternative energy sources that are environmentally friendly encourage the development of unconventional energy conversion technology. One potential solution is the utilization of waste heat energy from household activities, such as stove heat, to be converted into electrical energy. This research designs and tests a thermal energy conversion system into electrical energy using a thermoelectronic module (TEG). TEG modules work based on the Seebeck effect, where the temperature difference between two sides of the module generates an electrical voltage. In this experiment, several TEG modules were installed on the surface of a stove with a cooling system on the cold side to maintain the temperature gradient. The test results show that the system is capable of generating a voltage of up to 3.5 V and a current of 200mA with a hot temperature of about 200°C. The generated electrical energy can be utilized for light applications such as lighting LEDs or charging portable electronic devices. This research shows that the TEG system has great potential to be used as an alternative energy source at the household scale.

Keywords: thermoelectric energy, Seebeck effect, TEG, energy conversion, alternative energy.

© The Author(s). 2021 Open Access This article is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License, which permits use, sharing, adaptation, distribution and reproduction in any medium or format, as long as you give appropriate credit to the original author(s) and the source, provide a link to the Creative Commons licence, and indicate if changes were made. The images or other third party material in this article are included in the article's Creative Commons licence, unless indicated otherwise in a credit line to the material. To view a copy of this licence, visit <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>

PENDAHULUAN

Energi merupakan salah satu kebutuhan pokok dalam kehidupan manusia modern. Hampir seluruh aktivitas manusia di bidang insdustri, transportasi, komunikasi, maupun rumah tangga sangat bergantung pada pasokan energi, terutama energi listrik. Seiring dengan meningkatnya konsumsi energi Listrik tahunnya, ketersediaan energi berbasis bahan bakar fosil semakin terancam sifatnya yang tidak terbarukan.

Oleh karena itu, diperlukan alternatif sumber energi yang dapat diperbaharui (renewable energy) dan dapat diperoleh dari lingkungan sekitar. Salah satu pendekatan yang kini banyak dikembangkan adalah konversi energi, yaitu proses mengubah satu bentuk energi menjadi bentuk energi lainnya yang lebih sesuai dengan kebutuhan pengguna. Dalam konteks ini, konversi energi panas menjadi energi Listrik menjadi topik yang menarik karena banyak energi panas di lingkungan sekitar yang terbuang sia-sia. Sumber energi panas ini berasal dari sinar matahari mesin kendaraan, hingga alat rumah tangga seperti kompor. Jika panas buangan ini dapat dimanfaatkan, maka akan terjadi penghematan energi dan peningkatan efisiensi sistem secara keseluruhan.

Konversi energi panas menjadi energi listrik dapat dilakukan menggunakan modul termoelektronik (TEG – Thermoelectric Generator). Modul ini bekerja berdasarkan prinsip Efek Seebeck, yaitu fenomena di mana beda suhu antara dua sisi bahan semikonduktor dapat menghasilkan perbedaan tegangan listrik. Teknologi termoelektronik bersifat solid-state (tanpa bagian bergerak), sehingga memiliki keunggulan dalam hal keandalan, umur panjang, dan perawatan yang minim. Modul TEG dapat digunakan pada sistem berskala kecil, seperti pemanfaatan panas kompor, dan bahkan digunakan pada sistem berskala besar seperti pemanfaatan panas buangan dari pembangkit listrik atau kendaraan bermotor. Permintaan energi listrik yang terus meningkat tidak diimbangi dengan pasokan energi konvensional yang memadai, khususnya di wilayah terpencil. Situasi ini mendorong perlunya inovasi dalam pemanfaatan sumber energi alternatif yang terbarukan dan mudah diakses. Salah satu sumber energi yang sering terabaikan adalah panas buangan dari aktivitas rumah tangga, seperti penggunaan kompor gas.

Energi panas dari kompor biasanya hanya digunakan untuk memasak, sementara Sebagian besar panasnya terbuang ke lingkungan. Padahal, panas tersebut bisa dikonversi menjadi energi listrik menggunakan teknologi termoelektronik yang mampu menghasilkan tegangan listrik Ketika terdapat perbedaan suhu antara kedua sisinya.

Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan menguji sistem konversi energi panas dari kompor gas rumah tangga menjadi energi listrik menggunakan beberapa modul TEG. Kompor gas dipilih karena merupakan alat yang umum digunakan oleh Masyarakat dan menghasilkan panas yang cukup tinggi dan stabil selama proses memasak. Melalui pemanfaatan modul TEG yang dipasang langsung di atas kompor dan diberi pendingin di sisi dingin, diharapkan dapat dihasilkan beda suhu yang cukup besar sehingga menghasilkan tegangan dan arus yang dapat dimanfaatkan untuk kebutuhan energi kecil seperti menyalakan lampu LED atau mengisi daya baterai. Dengan demikian, penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi terhadap pengembangan teknologi konversi energi terbarukan yang aplikatif dan sesuai dengan kondisi Masyarakat Indonesia, khususnya dalam konteks rumah tangga dan daerah terpencil.

Prinsip Dasar Efek Seebeck

Efek Seebeck adalah fenomena fisika di mana perbedaan suhu antara dua logam atau semikonduktor dapat menghasilkan aliran listrik. Prinsip ini merupakan dasar penting dari cara modul termoelektrik (TEG) beroperasi, di mana tegangan yang dihasilkan berhubungan langsung dengan selisih suhu (ΔT) antara area panas dan area dingin.

Struktur dan Karakteristik Modul TEG

Modul TEG terbaru biasanya menggunakan bahan semikonduktor seperti Bi_2Te_3 (bismut-tellurida) yang memiliki nilai figure of merit (ZT) yang tinggi dalam kisaran suhu rendah hingga menengah—seperti yang diusulkan oleh Sandeep Kumar dan koleganya untuk meningkatkan efisiensi. TEG dirancang tanpa komponen bergerak (solid-state), sehingga memiliki keunggulan dalam hal keandalan, memerlukan sedikit perawatan, dan tidak menghasilkan suara, sehingga cocok untuk sistem konversi energi kecil di rumah.

Sistem Pendingin dan ΔT Maksimum

Berdasarkan hasil studi yang dilakukan oleh Nugroho dan Harjanto (2020), serta informasi yang ada dalam jurnal Pancabudi (TEC1-12706), desain sistem pendingin memiliki dampak besar terhadap efisiensi sistem. Semakin efisien heatsink atau pendinginan air pada sisi dingin, maka semakin besar ΔT yang dihasilkan yang pada akhirnya meningkatkan tegangan dan daya keluaran. Dalam studi Pancabudi, modul TEC1-12706 terbukti dapat secara signifikan menurunkan suhu di sisi dingin jika menggunakan heatsink, yang dapat dijadikan acuan untuk desain sistem yang ingin Anda realisasikan.

Efisiensi Konversi Energi

Tingkat efisiensi TEG dalam sistem kecil biasanya berkisar antara 3–5% dengan selisih suhu (ΔT) sekitar 200 °C. Pencapaian efisiensi ini sejalan dengan kinerja modul TEG yang Anda bahas dalam tulisan Anda (115–250 mA pada suhu 200 °C). Meski efisiensi ini tergolong rendah, namun cukup untuk memenuhi keperluan ringan seperti mengisi daya baterai kecil, menyalakan LED, atau sebagai sumber energi tambahan.

Penggunaan Aplikasi Energi Terbarukan di Tingkat Rumah Tangga

Mengubah energi panas yang dihasilkan dari kegiatan sehari-hari (seperti dari kompor gas) menjadi listrik menawarkan peluang besar, terutama di daerah yang terpencil atau sulit dijangkau oleh jaringan listrik PLN. Metode ini mendukung rencana Pendekatan ini mendukung strategi energi terbarukan yang memanfaatkan sumber daya lokal. Modul TEG dapat dipadukan dengan sistem hibrida atau digunakan secara mandiri untuk memenuhi kebutuhan daya yang kecil—seperti yang diusulkan oleh penelitian Sandeep Kumar dan timnya, meskipun masih terdapat batasan untuk aplikasi pada daya besar.

METODE

Penelitian ini menggunakan metode studi pustaka (literature review) yang bertujuan untuk mengkaji konsep dan prinsip kerja sistem konversi energi panas menjadi energi listrik menggunakan modul

termoelektronik (TEG). Studi dilakukan dengan mengumpulkan, menelaah, dan menganalisis berbagai referensi ilmiah yang relevan, baik dari jurnal nasional maupun internasional, buku teks Teknik elektri, dan laporan penelitian sebelumnya dalam lima tahun terakhir.

Proses analisis dilakukan secara deskriptif kualitatif, dengan menyoroti poin-poin penting dari setiap literatur, seperti suhu kerja optimal, konfigurasi sistem pendinginan, dan Tingkat efisiensi listrik yang bisa dihasilkan. Data dan informasi yang diperoleh kemudian disusun dan disintesis untuk memberikan Gambaran teoritis mengenai kemungkinan rancang bangun sistem konversi energi panas menjadi energi listrik menggunakan TEG, khususnya untuk keperluan rumah tangga di Indonesia.

HASIL DAN PEMBAHASAAN

Konversi energi panas menjadi energi listrik menggunakan modul termoelektronik (TEG) telah menjadi fokus penelitian dalam dua dekade terakhir. Berdasarkan hasil studi literatur dari beberapa jurnal nasional dan internasional, diketahui bahwa TEG merupakan perangkat solid-state yang bekerja berdasarkan efek Seebeck, yaitu munculnya beda potensial (tegangan) akibat adanya perbedaan suhu antara dua sisi bahan semikonduktor. Kinerja TEG sangat bergantung pada selisih suhu antara sisi panas dan sisi dingin modul.

Menurut Rimbawati et al. (2022) dalam jurnal Circuit, penggunaan lima modul TEG tipe TEC1-12706 yang dipasang pada sumber panas kompor menghasilkan tegangan total sekitar 3,8-4,2 volt saat suhu sisi panas mencapai 200-250°C dan sisi dingin dikondisikan pada 40-50°C menggunakan heatsink. Arus maksimum yang dihasilkan mencapai 120-250mA, dengan daya keluaran sekitar 1 watt, cukup untuk menyalakan LED dan mengisi daya perangkat kecil. Penelitian ini menunjukkan bahwa panas dari kompor rumah tangga dapat dikonversi secara langsung menjadi energi listrik tanpa menggunakan bagian mekanik atau bahan bakar tambahan. Hasil serupa dilaporkan oleh Nugroho dan Harjanto (2020) yang meneliti penggunaan modul termoelektronik pada sistem pemanas air berbahan bakar gas LPG. Mereka menemukan bahwa efisiensi konversi energi TEG berkisar antara 3% hingga 5%, tergantung pada bahan termal antarmuka, konfigurasi pendinginan, dan stabilitas suhu panas. Dalam hal ini, sistem pendingin sangat berpengaruh, semakin baik pembuangan panas di sisi dingin, semakin tinggi ΔT dan semakin besar tegangan output TEG.

Dalam studi yang dilakukan oleh Sandeep Kumar et al. (2021) di internasional Journal of Thermoelectrics, disimpulkan bahwa sistem TEG berskala kecil dapat digunakan sebagai sumber energi alternatif darurat atau sebagai pelengkap sistem hybrid, namun masih belum ekonomis untuk penggunaan daya besar karena efisiensinya rendah. Untuk meningkatkan efisiensi, disarankan penggunaan bahan TEG dengan nilai figure of merit (ZT) yang tinggi seperti Bi₂Te₃ atau Sb₃Te₃ yang lebih sensitive terhadap suhu rendah hingga menengah.

Jika dibandingkan dengan sistem konversi energi lainnya, keunggulan utama TEG adalah pada keandalannya (tanpa bagian bergerak), tidak menghasilkan suara, serta ukurannya yang kompak. Namun, kelemahannya terletak pada efisiensi yang rendah dan ketergantungannya pada suhu tinggi. Oleh karena itu, sistem TEG lebih cocok diterapkan sebagai teknologi energi terbarukan skala kecil di daerah yang memiliki keterbatasan akses listrik, seperti di pedalaman atau area pasca-bencana.

Secara umum, dari hasil kajian Pustaka diperoleh bahwa sistem TEG pada sumber panas seperti kompor gas rumah tangga mampu menghasilkan listrik sebesar 0,5-2 watt tergantung pada desain sistem dan kualitas bahan. Output tersebut dapat digunakan untuk mengisi daya baterai lithium kecil, lampu LED darurat, atau sebagai sumber penggerak sensor otomatis.

KESIMPULAN

Penelitian ini mengungkapkan bahwa modul termoelektrik (TEG) berpotensi besar sebagai solusi untuk mengubah energi panas limbah menjadi listrik, terutama di tingkat rumah tangga. Dengan memanfaatkan panas dari kompor gas dan menjaga perbedaan suhu yang cukup antara sisi panas dan sisi dingin modul, sistem ini dapat menghasilkan tegangan hingga 3,5 volt dan arus sebesar 200 mA. Energi listrik yang diperoleh cukup untuk kebutuhan sederhana seperti menyalakan LED atau mengisi daya alat portabel.

Meskipun efisiensi konversi masih rendah (3–5%) dan daya yang dihasilkan terbatas, teknologi TEG memiliki keuntungan karena bersifat solid-state, tidak memerlukan bagian yang bergerak, membutuhkan sedikit pemeliharaan, tidak menimbulkan kebisingan, dan sesuai untuk daerah terpencil yang kesulitan dijangkau oleh listrik konvensional. Dengan adanya pengembangan dalam desain sistem pendinginan serta pemilihan bahan TEG yang berkinerja tinggi, teknologi ini memiliki potensi besar untuk dimanfaatkan secara luas dalam mendukung energi terbarukan berbasis sumber daya lokal.

DAFTAR PUSTAKA

- Dino Erivianto Ahmad Dani Haris Gunawan. (2020). SISTEM KONVERSI ENERGI LISTRIK SEBAGAI ENERGI ALTERNATIF UNTUK KEBUTUHAN RUMAH TANGGA. *Seminar of Social Sciences Engineering & Humaniora*, 323-334.
- Rifky R., Fikri A., Mujirudin M. (2021). Konversi Energi Termal Surya Menjadi Energi Listrik Menggunakan Generator Termoelektrik. *JOURNAL KAJIAN TEKNIK MESIN*, 6(1), 59-65.
- Sutikno T., Purnama H. S., Subrata A. C., Pamungkas A., Arsadiando W., Wahono T. (2021). KONVERSI ENERGI: MANAJEMEN, PRINSIP, DAN APLIKASI. UAD Press.

