

RANCANG BANGUN SISTEM PEMANFAATAN PANAS BUANG PADA KOMPOR PORTABEL MENGGUNAKAN THERMOELECTRIC GENERATOR

Samuel Hans Jefferson¹, Chairul Hudaya^{2*}

¹Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Indonesia
Kampus Baru UI Depok 16424 Indonesia

²Program Studi Magister Manajemen Inovasi, Sekolah Pascasarjana Universitas Teknologi Sumbawa
Jl. Olat Maras Raya, Batu Alang, Moyo Hulu, Sumbawa, Nusa Tenggara Barat Indonesia

*Corresponding Author email: c.hudaya@uts.ac.id

Abstrak

Diterima:
Bulan Januari
2021

Diterbitkan:
Bulan Februari
2021

Keyword :
Thermoelectric
Generator (TEG),
Kompur Portabel

Populasi dunia yang terus berkembang menyebabkan kebutuhan energi meningkat pesat. Pada kenyataannya belum semua daerah memiliki pasokan energi listrik khususnya daerah yang terletak di tempat terpencil dan sulit diakses. Selain itu menipisnya cadangan bahan bakar fosil sebagai sumber utama untuk membangkitkan listrik dan efek pencemaran yang buruk juga mendorong perubahan sumber energi menjadi energi baru terbarukan (EBT). Tujuan dari penelitian ini adalah untuk merancang suatu solusi untuk mengatasi kedua hal tersebut dengan menggunakan sistem pemanfaatan panas buang (*waste-heat recovery*) pada pembakaran domestik khususnya kompor portabel. *Thermoelectric generator* (TEG) menjadi pilihan yang tepat karena memiliki beberapa kelebihan yang dibutuhkan seperti proses konversi yang sederhana, keandalan yang tinggi, dan kemudahan dalam penerapan. Penelitian akan membahas rancang bangun alat *waste-heat recovery* pada kompor portabel secara mekanik dan elektrik. Rancang bangun dilakukan terhadap 2 jenis modul TEG yang berbeda yaitu TEP1-1264-3.4 dan SP1848-27145. Alat yang diajukan memiliki perkiraan daya keluaran sekitar 9,24 W untuk modul TEP1-1264-3.4 dan 9,0048 W untuk modul SP1848-27145 dengan menggunakan 8 modul TEG dengan perkiraan perbedaan suhu sebesar 60°C dan sistem pendingin berbasis air. Dengan demikian modul TEP1-1264-3.4 menghasilkan daya yang lebih tinggi dibandingkan modul SP1848-27145 dan konfigurasi seri dinilai lebih baik karena tidak memiliki masalah ketika mengalami perbedaan tegangan antar modul. Rancang bangun mekanik yang dibuat memiliki 2 bagian rangka terpisah untuk memudahkan pemeliharaan rangkaian.

PENDAHULUAN

Perkembangan populasi dunia yang meningkat secara pesat menyebabkan kebutuhan energi dunia semakin bertambah. Hal ini bertolak belakang dengan penyusutan ketersediaan sumber energi yang paling banyak digunakan saat ini yaitu bahan bakar fosil. Tentunya perlu adanya sumber energi alternatif baru yang bisa disebut energi baru terbarukan (EBT). Sebagian besar konversi energi dilakukan dengan cara pembakaran termasuk kompor gas. Pada kenyataannya banyak sekali energi panas yang terbuang ketika melakukan pembakaran karena tidak semua panas yang dihasilkan api kompor digunakan untuk memasak.

Dalam menggunakan efisiensi pembakaran bahan bakar fosil, *waste-heat recovery* menjadi salah satu jawaban atas masalah tersebut. Pada penerapan rumah tangga khususnya kompor gas, *waste-heat recovery* berbasis *thermoelectric generator* (TEG) menjadi salah satu pilihan yang terbaik untuk diterapkan karena memiliki beberapa kelebihan yang cocok untuk digunakan dalam

kegiatan rumah tangga khususnya penggunaan kompor gas (LPG).

Pada jarak tertentu dari samping kompor gas, suhu yang dihasilkan dapat mencapai 100°C - 150°C jika pengukuran tanpa adanya rugi-rugi dari konduktivitas panas dan bergantung pada diameter *firewall* dari kompor (R. R. V. Sona, 2012). Jika dibandingkan dengan suhu ruangan menurut SATP adalah 25°C (STP, 2020) diharapkan nilai perbedaan suhu mencapai 60°C. Dengan demikian nilai output rating dapat diperkirakan menjadi 9 W.

Tujuan dilakukannya penelitian ini adalah untuk membuat sebuah generator listrik yang dapat memanfaatkan panas yang terbuang dari kompor portabel sebagai sumber energinya. Hal ini sangat memungkinkan jika ditinjau dari potensi perbedaan suhu dan kebutuhan daya yang diinginkan.

LANDASAN TEORI

Waste-Heat Recovery

Waste-heat merupakan sebuah energi yang dihasilkan dari proses yang menghasilkan usaha sehingga energi tersebut terbuang ke lingkungan

sekitar (H. Jouhara, 2018). Diperkirakan bahwa 20-50% konsumsi energi pada industri terbuang menjadi panas (I. Johnson, 2008). Hal inilah yang menyebabkan proses *waste-heat recovery* memiliki potensi yang cukup besar untuk dikembangkan. Penerapan *waste-heat recovery* tidak hanya terpaku dalam skala industri saja namun bisa diterapkan pada skala yang lebih kecil seperti rumah tangga, otomotif, dll. Dengan berbagai metode yang ada, *waste heat recovery* tidak terpaku pada tempat dan skala penerapan sehingga potensi *waste heat* dapat digunakan secara optimal pada berbagai macam bidang.

Penggunaan *waste heat recovery* untuk menghasilkan listrik juga sangat baik untuk digunakan di daerah yang masih belum terhubung dengan jaringan listrik. Sehingga dengan memanfaatkan *waste-heat recovery* di bidang domestik, penduduk di daerah tersebut dapat menggunakan listrik setidaknya untuk penerangan sekaligus meningkatkan efisiensi dari proses pembakaran yang digunakan masyarakat.

Thermoelectric Generator

Thermoelectric generator (TEG) merupakan sebuah alat yang bekerja berdasarkan efek seebeck yang secara umum digunakan untuk mengubah energi panas menjadi energi listrik (D. Champier, 2017). TEG sendiri memiliki berbagai jenis konstruksi bergantung pada tujuan penggunaan modul. TEG terdiri dari beberapa modul *thermoelectric* yang dimasukkan di antara dua *heat exchanger*.

TEG memiliki beberapa kelebihan untuk digunakan seperti:

- (1). Konversi energi panas menjadi energi listrik secara langsung sehingga tidak membutuhkan tahapan yang banyak dalam proses konversi.
- (2). Perangkat *solid-state* sehingga tidak memiliki komponen yang bergerak sehingga dapat mengurangi biaya perawatan dan umur pakai yang lebih lama.
- (3). Dapat digunakan dalam skala apapun mulai dari industrial, antariksa, otomotif, bahkan skala domestik.
- (4). Memungkinkan untuk digunakan pada posisi apapun.

Untuk waktu yang lama, modul yang tersedia untuk aplikasi industri dengan harga yang terjangkau hanya modul *Bismuth Telluride*. Modul ini memiliki nilai ZT sekitar 1 pada temperature 50°C dan semakin berkurang pada temperature yang lebih tinggi. Temperatur maksimum modul tersebut untuk bekerja ada pada sekitar 200°C sampai 300°C bergantung pada produsen modul tersebut. Namun kelangkaan material Bismuth dan Tellurium pada kerak bumi menghambat perkembangan lebih jauh dari TEG dengan bahan dasar *Bismuth Telluride* (USGS, 2020). Hal ini mendorong beberapa pabrikan untuk melakukan

riset dan pengembangan terkait material TE sehingga didapatkan beberapa material yang ada saat ini sebagai berikut,

Ada beberapa faktor yang dibutuhkan dari penggunaan TE untuk membuat sebuah generator yang kuat yaitu:

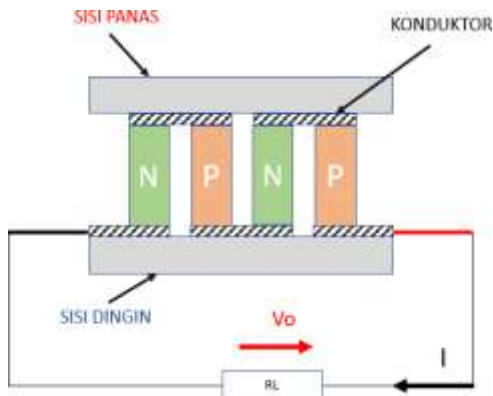
- (1). Penukar panas untuk memperkuat transfer kalor antara modul dan sumber panas.
- (2). Konverter elektrik untuk mengubah level tegangan yang sesuai dengan alat penyimpanan daya seperti baterai dan kapasitor.

Efisiensi sistem secara keseluruhan dapat diartikan sebagai perbandingan antara energi yang tersimpan atau disediakan untuk pengguna dengan energi yang dikonsumsi. Energi yang dikonsumsi sebagian besar dikumpulkan pada sisi panas, namun bisa juga termasuk energi mekanik yang diperlukan untuk menjalankan sistem, seperti sistem pendingin pada heat sink sisi dingin. Sehingga efisiensi sistem meliputi efisiensi dari penukar panas, efisiensi modul TE, efisiensi konverter, dan kemampuan untuk mengoptimasi beban listrik (D. Champier, 2017).

Performa dari modul TE sangat rendah, sehingga desain generator membutuhkan pendekatan sistem untuk mengoptimasi sistem secara keseluruhan seperti:

- (1). Riset pada material thermoelectric untuk mendapatkan nilai ZT setinggi mungkin.
- (2). Studi pada penukar panas dan *coupling* dengan modul TE.
- (3). Studi pada konverter dan rangkaian listrik dari modul agar output dapat sesuai dengan spesifikasi yang diinginkan.
- (4). Studi numerik untuk optimasi generator dengan mempertimbangkan berbagai hal seperti geometri modul dan variasi sifat material berdasarkan temperatur.

Sebuah generator TE terdiri dari beberapa pasangan semikonduktor p dan n, semikonduktor tersebut terhubung seri secara elektrik dan terhubung parallel secara termal yang dapat dilihat pada gambar 2-3 (S. Siouane, 2017). Dari konstruksi tersebut dapat diamati bahwa TEG tidak memiliki komponen bergerak sehingga meningkatkan keandalan secara signifikan.



Gambar 1 Struktur TEG

Ada 3 parameter utama yang menggambarkan sebuah TEG sebagai berikut,

- (1). Koefisien seebeck α yang bergantung pada material TE yang digunakan untuk membuat semikonduktor p-n.
- (2). Resistansi elektrik dari semikonduktor p-n dan dan koneksi yang digunakan untuk menghubungkan TEG dengan beban listrik.
- (3). Resistansi termal dan koneksi yang digunakan untuk menghubungkan TEG kepada sumber energi panas yang diperlukan.

METODE PENELITIAN

Metodologi yang digunakan dalam rancang bangun tersebut adalah dengan mengumpulkan data dan informasi yang terkait dengan rancang bangun tersebut baik melalui buku, jurnal, dan internet. Rancang bangun dilakukan dengan mempertimbangkan data dan informasi yang didapat serta saran dari pembimbing melalui bimbingan-bimbingan yang dilakukan. Dimensi alat disesuaikan dengan hasil pengukuran kompor portabel yang digunakan.



Gambar 2 Kompor Portabel

Rancang bangun mekanik dilakukan menggunakan perangkat lunak Autodesk Inventor di

mana dimensi dari rancang bangun alat tersebut sudah disesuaikan dengan kompor yang tertera pada gambar. Perkiraan daya keluaran dilakukan berdasarkan spesifikasi modul dengan menggunakan persamaan KVL dan KCL sebagai berikut,

$$\sum V_{total} = V_1 + V_2 + \dots + V_n \quad (1)$$

$$\sum I_{in} = \sum I_{out} \quad (2)$$

Sehingga dengan mengetahui nilai tegangan dan arus total didapatkan daya dengan menggunakan persamaan berikut,

$$P = V \times I \quad (3)$$

HASIL DAN PEMBAHASAN

Rancangan Elektrik

Pada rancangan elektronik alat pada seminar ini adalah menggunakan 8 modul TEG dengan mempertimbangkan konfigurasi dan 2 jenis modul TEG yaitu SP1848-27145 dan TEP1-1264-3.4 yang memiliki perbedaan spesifikasi.



Gambar Error! No text of specified style in document. SP1848-27145

Yang pertama adalah modul TE SP1848-27145 yang merupakan modul yang umum dijual di pasaran dan sangat terjangkau. Spesifikasi dari modul SP1848-27145 dapat dilihat sebagai berikut,

TABEL 1 SPESIFIKASI SP1848-27145	
Modul Termoelektrik SP1848-27145	
Size	40 mm x 40 mm x 4 mm
Suhu Operasi	-30°C to +120°C
Perbedaan Suhu (°C)	Operasi 60
Tegangan Keluaran Hubung Terbuka (V)	2.4
Arus Keluaran Hubung Singkat (mA)	469

Dapat dilihat pada tabel bahwa suhu operasi tersebut sangat dekat dengan suhu sumber panas yaitu kompor di mana suhu operasi kompor berkisar 100°C - 150°C.



Gambar 4 TEPI-1264-3.4

Pertimbangan kedua adalah modul TEPI-1264-3.4, namun modul ini memiliki kendala dalam hal ketersediaan. Spesifikasi modul TEPI-1264-3.4 dapat dilihat sebagai berikut,

TABEL 2 SPESIFIKASI TEPI-1264-3.4

Modul Termoelektrik TEPI-1264-3.4	
Dimensi	40 mm x 40 mm x 4 mm
Suhu Operasi	30°C to +300°C
Perbedaan Suhu (°C)	60
Tegangan Keluaran Hubung Terbuka (V)	3.3
Arus Keluaran Hubung Singkat (mA)	350

TEPI-1264-3.4 memiliki spesifikasi suhu operasi yang lebih baik dan jauh di atas suhu operasi kompor yang akan digunakan menyebabkan modul tersebut lebih aman untuk digunakan.

Konfigurasi Seri

Konfigurasi seri digunakan untuk menghasilkan tegangan yang tinggi. Konfigurasi seri dapat membantu untuk menaikkan tegangan dari keluaran modul TE sehingga dapat memenuhi spesifikasi yang diinginkan namun tetap membutuhkan *step down converter* untuk menurunkan level tegangan.



Gambar 5 MT3608

TABEL 3 SPESIFIKASI MT3608

MT3608	
--------	--

Arus Keluaran Maksimum	2A
Tegangan Masukkan	2 - 24 V
Tegangan Keluaran	5V
Efisiensi	> 93%
Dimensi	37,211 x 17,272 x 6 mm

Rancangan kali ini menggunakan 8 modul sehingga perhitungan tegangan berdasarkan data untuk modul SP1848-27145 akan menghasilkan 8 x 2,4 V yang berarti total tegangan output menjadi 19,2 V, arus keluaran menjadi 0,469 A, dan daya keluaran 9,0048 W. Untuk modul TEPI-1264-3.4 akan menghasilkan tegangan 8 x 3,3 V sehingga tegangan total menjadi 26,4 V dan arus menjadi 0,35 A, dan daya keluaran 9,24 W. Untuk keluaran dari konverter belum dapat diestimasi karena membutuhkan pengukuran data lebih lanjut.

Konfigurasi Paralel

Konfigurasi paralel digunakan untuk menghasilkan arus yang tinggi menurut hukum arus Kirchoff. arus dari rangkaian paralel akan sama dengan akumulasi arus setiap modul. Tegangan keluaran dari konfigurasi paralel sangat rendah maka diperlukan *step-up converter* untuk menaikkan nilai tegangan. Namun penggunaan rangkaian paralel tidak disarankan akibat perbedaan tegangan tiap modul dapat menimbulkan rugi-rugi.

Untuk modul SP1848-27145 akan menghasilkan 8 x 0,469 A yang berarti total arus output menjadi 3,752 A, tegangan output menjadi 2,4 V, dan daya keluaran 9,0048 W. Untuk modul TEPI-1264-3.4 akan menghasilkan tegangan 8 x 0,35 A sehingga arus total menjadi 2,8 A dan tegangan menjadi 3,3 V, dan daya keluaran 9,24 W. Untuk keluaran dari konverter belum dapat diestimasi karena membutuhkan pengukuran data lebih lanjut.

Hasil Perkiraan Spesifikasi

Perkiraan spesifikasi yang didapat dari kedua jenis modul berdasarkan spesifikasi masing-masing modul dengan perbedaan suhu 60°C.

TABEL 4 PERBANDINGAN PERKIRAAN PERFORMA MENGGUNAKAN SP1848-27145 DAN TEPI-1264-3.4

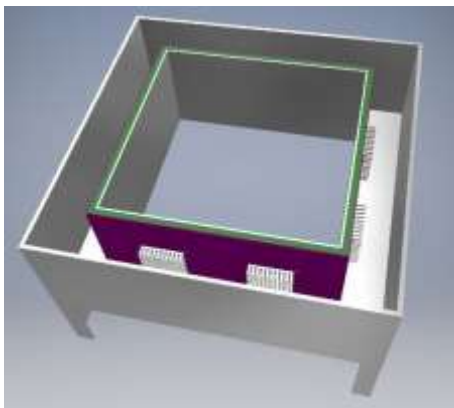
SPESIFIKASI	SP1848-27145		TEPI-1264-3.4	
	Seri	Paralel	Seri	Paralel
Tegangan Keluaran Hubung Terbuka	19,2 V	2,4 V	26,4 V	3,3 V
Arus Keluaran Hubung Singkat	0,469 A	3,752 A	0,35 A	2,8 A

Estimasi Daya Keluaran	9,0048 W	9,0048 W	9,24 W	9,24 W
------------------------	----------	----------	--------	--------

Dari tabel tersebut dapat dilihat bahwa TEP1-1264-3.4 menghasilkan perkiraan daya yang lebih besar yaitu 9,24 W.

Rancangan Mekanik

Rancang bangun mekanik yang diajukan terdiri dari 2 rangka yang terdiri dari rangka utama dan rangka dinding TEG.



Gambar 6 Struktur Rancang Bangun Alat Keseluruhan

Untuk rangka utama bagian dalam berfungsi sebagai penukar panas yang langsung menghantarkan panas dari sumber. Hal inilah yang membuat material terpilih harus memenuhi ketahanan terhadap panas namun tetap dapat berfungsi sebagai penghantar panas yang baik. Selain itu rangka juga digunakan untuk menampung air sehingga perlu material yang kedap air dan tahan terhadap korosi.

Modul TE diletakkan pada rangka yang terpisah dari rangka utama. Hal ini disebabkan agar modul TEG dapat dilepas untuk memudahkan pemeliharaan dan pengembangan dari rangkaian. Rangka tersebut memiliki lubang yang ukurannya sudah disesuaikan dengan modul TE yang digunakan. Lubang tersebut digunakan sebagai peletakkan *heatsink* serta modul TE. Setiap lubang yang ada akan dipasang *heatsink* yang ukurannya telah disesuaikan. *Heatsink* yang digunakan memiliki guratan secara vertical dan horizontal yang akan memaksimalkan luas permukaan untuk pelepasan panas yang lebih cepat. Material *heatsink* yang dipilih adalah aluminium yang memiliki konduktivitas panas yang baik. Modul TEG akan ditempel pada *heatsink* menggunakan *thermal paste* untuk mempercepat perpindahan panas agar suhu pada sisi dingin tetap terjaga.

Busa digunakan sebagai pelapis dalam rangka TEG untuk mencegah kontak langsung dan mengisolasi panas dari konduktor pada sisi dalam

rangka utama. Penggunaan busa tersebut ditujukan untuk menjaga suhu air dan sisi dingin TEG agar tetap stabil atau mempertahankan suhunya.

Selanjutnya rangka TEG akan dipasang pada rangka utama sehingga menjadi suatu kesatuan yang utuh. Setelah semuanya sudah terpasang, rangka utama akan diisi air sebagai pendingin agar perbedaan suhu dapat terjaga dan daya yang dihasilkan menjadi stabil dan modul TEG dapat menghasilkan energi listrik untuk waktu yang lebih lama.

PENUTUP

Kesimpulan

Implementasi penggunaan TEG memiliki tantangan tersendiri dalam memaksimalkan pertukaran panas baik penyerapan maupun pelepasan panas itu sendiri. Hal tersebut diakibatkan oleh prinsip kerja TEG yang mengandalkan perbedaan suhu antara kedua sisi untuk menghasilkan energi listrik. Dengan demikian perbedaan suhu antara kedua sisi harus dijaga untuk tetap stabil. Rancang bangun yang telah diajukan sudah dirancang menurut perhitungan, pertimbangan sifat mekanis, dan pemilihan material yang sesuai dengan kegunaannya masing-masing. Rancang bangun alat tersebut menggunakan sistem pendingin berbasis air untuk menjaga perbedaan suhu antara kedua sisi modul TEG sehingga diharapkan alat dapat terus menghasilkan listrik dalam waktu yang lama. Pada rancang bangun tersebut digunakan perbandingan 2 jenis modul TEG yaitu dengan menggunakan masing-masing 8 modul SP1848-27145 dan TEP1-1264-3.4. Kedua modul dapat menghasilkan daya sekitar 9 W pada perbedaan suhu 60°C. Modul TEP1-1264-3.4 mampu menghasilkan daya yang lebih tinggi yaitu 9,24 W dibandingkan modul SP1848-27145 yang hanya mampu menghasilkan 9,0048 W. Sehingga daya keluaran sudah memenuhi spesifikasi yang diinginkan. Namun penggunaan konfigurasi paralel tidak dianjurkan karena perbedaan tegangan antar modul dapat menyebabkan kerugian. Nilai tegangan dan arus akhir belum dapat ditentukan karena hasil keluaran dari konverter yang membutuhkan pengujian dan pengambilan data lebih lanjut sehingga data tersebut masih dapat berubah akibat faktor-faktor yang mungkin ditemukan saat pengujian.

REFERENSI

- R. R. V. Sona, S. Soetadi, and S. Kawano, "Studi Eksperimen Distribusi Temperatur Nyala Api Kompor Bioetanol Tipe Side Burner dengan Variasi Diameter Firewall," vol. 1, pp. 1–5, 2012.

- H. Jouhara, N. Khordehghah, S. Almahmoud, B. Delpech, A. Chauhan, and S. A. Tassou, "Waste heat recovery technologies and applications," *Thermal Science and Engineering Progress*, vol. 6. Elsevier Ltd, pp. 268–289, 01-Jun-2018, doi: 10.1016/j.tsep.2018.04.017.
- I. Johnson, W. T. Choate, and A. Davidson, "Waste Heat Recovery. Technology and Opportunities in U.S. Industry," Mar. 2008.
- D. Champier, "Thermoelectric generators: A review of applications," *Energy Conversion and Management*, vol. 140. Elsevier Ltd, pp. 167–181, 15-May-2017, doi: 10.1016/j.enconman.2017.02.070.
- S. Siouane, S. Jovanović, and P. Poure, "Equivalent Electrical Circuits of Thermoelectric

Generators under Different Operating Conditions," *Energies*, vol. 10, no. 3, p. 386, Mar. 2017, doi: 10.3390/en10030386.

Internet

- Engineeringtoolbox. 2020. STP - Standard Temperature and Pressure & NTP - Normal Temperature and Pressure. https://www.engineeringtoolbox.com/stp-standard-ntp-normal-air-d_772.html. Diunduh pada 16 Desember 2020.
- USGS. 2020. Rare Earth Elements—Critical Resources for High Technology | USGS Fact Sheet 087-02. <https://pubs.usgs.gov/fs/2002/fs087-02/>. Diunduh pada 15 Desember 2020.