

Rancang Bangun Panel Energi Listrik Berbasis Generator Termoelektrik Pada Alat Pengolahan Limbah Sampah

Mohammad Ghithrof Arru'afy¹, Diah Wulandari², Arya Mahendra Sakti³,
Andita Nataria Fitri Ganda⁴,

^{1,2,3,4}Teknik Mesin, Fakultas Vokasi, Universitas Negeri Surabaya, Indonesia 60231

E-mail: diahwulandari@unesa.ac.id

Abstrak: Pengelolaan limbah di Indonesia, terutama di tempat pembuangan sampah sementara, menunjukkan kompleksitas yang meningkat. Tumpukan sampah yang besar, kurangnya struktur pengelolaan limbah yang memadai, dan minimnya partisipasi masyarakat menjadi tantangan utama dalam mengatasi permasalahan tersebut. Oleh karena itu, diperlukan solusi yang tidak hanya mengatasi permasalahan tumpukan sampah, tetapi juga memberdayakan masyarakat untuk terlibat secara langsung dalam upaya pengelolaan limbah.

Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengembangkan panel energi listrik berbasis generator termoelektrik pada alat pengolahan limbah sampah di tempat pembuangan sementara. Metode penelitian yang digunakan adalah pendekatan Research and Development (R&D), yang meliputi perancangan, pengembangan prototipe, pengujian, evaluasi, dan penyempurnaan panel energi listrik. Hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan volume sampah dan konfigurasi rangkaian (seri atau paralel) mempengaruhi efisiensi konversi energi. Penelitian ini dapat menyelaraskan kebutuhan pengelolaan limbah dengan keberlanjutan lingkungan serta meningkatkan kesadaran dan partisipasi masyarakat dalam menjaga lingkungan secara lokal. Kesimpulan yang bisa dijabarkan yakni rancang bangun tungku pembakaran dan kompor bahan bakar oli pada alat pengolahan limbah sampah dapat menghasilkan energi listrik secara berkelanjutan.

Kata kunci: energi listrik, generator termoelektrik, rancang bangun, termoelektrik

Abstract: Waste management in Indonesia, especially in temporary landfills, is showing increasing complexity. Large piles of waste, lack of adequate waste management structures, and lack of community participation are the main challenges in overcoming these problems. Therefore, a solution is needed that not only addresses the problem of waste piles, but also empowers the community to be directly involved in waste management efforts. This research aims to design and develop an electrical energy panel based on a thermoelectric generator in a waste treatment tool at a temporary disposal site. The research method used is the Research and Development (R&D) approach, which includes designing, developing prototypes, testing, evaluating, and refining electrical energy panels. The results showed that increasing waste volume and circuit configuration (series or parallel) affected energy conversion efficiency. This research can harmonize waste management needs with environmental sustainability and increase community awareness and participation in protecting the environment locally. The conclusion that can be drawn is that the design of the combustion furnace and fuel oil stove in the waste processing equipment can produce electrical energy in a sustainable manner.

Keywords: electrical energy, thermoelectric generator, design and construction, thermoelectric

© 2024, JRM (Jurnal Rekayasa Mesin) dipublikasikan oleh ejournal Teknik Mesin Fakultas Vokasi UNESA.

PENDAHULUAN

Pengelolaan limbah di Indonesia, terutama di tempat pembuangan sampah sementara, menunjukkan kompleksitas yang meningkat seiring dengan pertumbuhan populasi dan urbanisasi. Tantangan utama yang dihadapi adalah tumpukan sampah masyarakat yang terus bertambah, memerlukan pendekatan yang inovatif dan efektif untuk mengelola dampaknya. Meskipun solusi telah diusulkan, banyak yang belum dapat diimplementasikan secara efisien pada skala kecil, seperti yang diperlukan di tempat-tempat pembuangan sampah sementara.

Penelitian sebelumnya telah mengeksplorasi penggunaan pembangkit listrik tenaga sampah (PLTSa) untuk menghasilkan energi listrik dari sampah. (Oktariansyah et al., 2021). PLTSa menggunakan beberapa komponen utama seperti boiler, incinerator, turbin, generator, control panel, dan rangka utama. Proses pengujian melibatkan pembakaran sampah heterogen dan kayu, dengan hasil mencakup tekanan maksimal, temperatur ruang bakar, dan tegangan alternator yang dihasilkan. Namun dalam penelitian tersebut emisi limbah kurang diperhatikan.

Selain itu keberadaan sampah di sekitar kita masih sering dianggap sebagai masalah biasa, dan

kurangnya partisipasi aktif masyarakat dalam pengelolaan limbah menjadi salah satu hambatan utama. Oleh karena itu, diperlukan solusi yang tidak hanya mengatasi permasalahan tumpukan sampah, tetapi juga memberdayakan masyarakat untuk terlibat secara langsung dalam upaya pengelolaan limbah.



Gambar 1. Kondisi tempat pembuangan sampah sementara

Dari Gambar 1, terlihat bahwa situasi tersebut mencerminkan urgensi dan perlunya solusi konkret. Tumpukan sampah yang besar, kurangnya struktur pengelolaan limbah yang memadai, dan minimnya partisipasi masyarakat menunjukkan bahwa perlu adanya pendekatan baru yang mengintegrasikan semua permasalahan yang ada terlebih lagi yang memberikan manfaat dari penyelesaian masalah tersebut.

Penelitian ini difokuskan pada perancangan perangkat skala kecil yang terintegrasi untuk mengelola limbah sampah masyarakat di tempat pembuangan sampah sementara. Dengan memanfaatkan teknologi termoelektrik, penelitian ini bertujuan untuk menciptakan solusi yang mengonversi limbah menjadi sumber energi listrik. Pendekatan ini dapat memberikan solusi praktis yang sesuai dengan kondisi di tempat pembuangan sampah sementara, di mana infrastruktur pengelolaan limbah seringkali terbatas.

Melalui penelitian ini, dapat tercipta suatu model pengelolaan limbah yang efektif, berkelanjutan, dan dapat diadopsi dengan mudah di tempat-tempat pembuangan sampah sementara, serta meningkatkan kesadaran dan keterlibatan masyarakat dalam menjaga keberlanjutan lingkungan di tingkat lokal. Integrasi teknologi termoelektrik dalam penanganan limbah ini menjadi langkah inovatif untuk menyelaraskan kebutuhan pengelolaan limbah dengan keberlanjutan lingkungan.

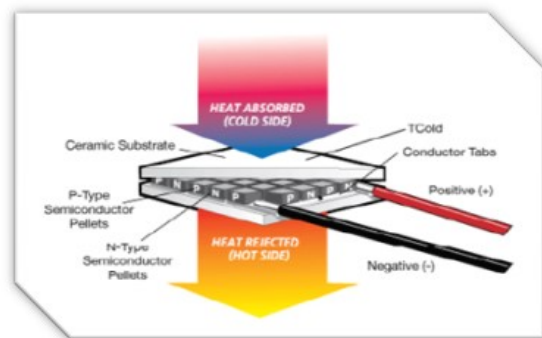
Dalam kerangka penelitian ini, beberapa batasan telah ditetapkan untuk memfokuskan dan membatasi cakupan penelitian: (1) Alat ini akan difokuskan pada pengelolaan limbah rumah tangga anorganik yang umumnya terdapat di tempat pembuangan sampah sementara; (2) Uji coba akan mencakup penggunaan dua unit Peltier untuk memastikan efisiensi konversi energi panas menjadi energi listrik; (3) Dalam proses perancangan alat, akan digunakan tong sampah

berkapasitas 200 liter sebagai standar ukuran. Selanjutnya tujuan dari penelitian ini ialah untuk merancang panel energi listrik berbasis generator termoelektrik pada alat pengolahan limbah sampah guna menghasilkan energi listrik secara efisien dan berkelanjutan.

DASAR TEORI

Modul Termoelektrik

Modul termoelektrik merupakan serangkaian perangkat yang mengoperasikan berdasarkan efek Seebeck dan efek Peltier. Efek Seebeck dinyatakan sebagai berikut: "Jika dua logam dengan jenis yang berbeda disatukan pada ujung logam, dan suhu yang berbeda diberikan pada sambungan keduanya, maka logam yang disatukan tersebut akan menghasilkan perbedaan potensial di kedua ujungnya." Satu modul termoelektrik yang tersedia di pasaran memiliki dimensi 4x4 cm, membuatnya memiliki desain sederhana (berbentuk persegi) dan mudah diukur dibandingkan dengan mesin pemanas tradisional. Meskipun efisiensi termoelektrik cenderung rendah, namun mudah diadaptasi untuk keperluan tingkat rumah tangga (Wiradika, 2019). Modul termoelektrik terdiri dari 16 termokopel, dan Bismuth Telluride adalah bahan termoelektrik umum yang digunakan, seperti pada tipe TEC1-12706 dan tipe SP-1848. Ilustrasi susunan modul termoelektrik dapat dilihat pada gambar di bawah ini.



Gambar 2. Skema Modul Termoelektrik

Modul termoelektrik, yang terdiri dari 16 termokopel, menyusun Bismuth Telluride secara seri, menghasilkan arus yang sebanding dengan perbedaan suhu antara bagian panas dan dingin pada sisi modul. Dengan dimensi yang ringkas (40 mm x 40 mm x 4 mm), modul ini dirancang untuk efisiensi dan kemudahan pengukuran. Pengaturan ini mengoptimalkan kinerja dalam mengubah energi termal menjadi energi listrik, memanfaatkan efek Seebeck (Ghani, Ahmad, & Munir, 2016).

Ilustrasi penyusunan modul termoelektrik mencerminkan harmonisasi antara teknologi dan desain yang bertujuan mencapai efisiensi maksimal dalam konversi energi. Dengan prinsip kerja berbasis efek Seebeck, modul ini berfungsi sebagai generator yang mampu mengubah energi termal menjadi energi listrik secara langsung. Konsep ini mendukung

fleksibilitas penerapan di berbagai konteks rumah tangga, memberikan solusi praktis untuk konversi sumber energi sehari-hari.

Efek Seebeck

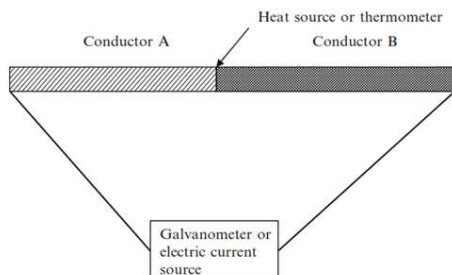
Efek Seebeck, yang terjadi ketika terdapat perbedaan suhu pada dua sambungan material berjenis berbeda, menghasilkan suatu fenomena yang dikenal sebagai efek termoelektrik. Fenomena ini memungkinkan terjadinya perpindahan energi listrik sebagai respons terhadap perbedaan temperatur pada dua titik yang berbeda. Menurut prinsip linearitas efek Seebeck, semakin besar perbedaan temperatur antara dua titik tersebut, semakin besar pula beda potensial yang dihasilkan (Rafika, Mainil, & Azridjal, 2016).

Penemuan Efek Seebeck diatributkan kepada Thomas Johan Seebeck pada tahun 1821. Efek ini, jika dilihat dari perspektif ukuran elektron, terjadi karena adanya perbedaan kerapatan muatan pembawa elektron pada logam penghantar dan penghantar lainnya yang mengalami perbedaan suhu. Koefisien Seebeck, suatu besaran yang mengukur sejauh mana Efek Seebeck dapat dimanfaatkan, dapat dihitung menggunakan suatu persamaan yang memperhitungkan perbedaan suhu dan karakteristik material yang digunakan. Persamaan Koefisien Seebeck menjadi kunci dalam mengevaluasi efisiensi dan potensi aplikasi praktis dari efek termoelektrik dalam mengonversi perbedaan suhu menjadi energi listrik. Persamaan dari Koefisien Seebeck adalah

$$\alpha_{AB} = \frac{\Delta V}{\Delta T} \quad 2.1$$

α_{AB} adalah Koefisien Seebeck, ΔT adalah selisih suhu atau perbedaan suhu dan ΔV adalah beda potensial. Definisi dari koefisien Seebeck berdasarkan persamaan (2.3), adalah perbandingan dari beda potensial yang dihasilkan oleh material dan beda temperatur yang terjadi pada material.

Menurut Goldsmid (2010), nilai koefisien Seebeck α_{AB} akan bernilai positif jika gaya gerak listrik menggerakkan arus listrik melalui konduktor A dari sambungan panas menuju ke sambungan yang dingin. Besaran pada koefisien Seebeck pada saat ini disebut dengan daya Termoelektrik atau koefisien GGL termal. Ilustrasi penentuan nilai koefisien Seebeck α_{AB} dapat dilihat pada gambar berikut ini.



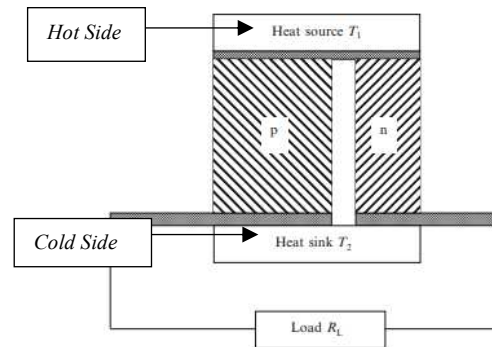
Gambar 3. Eksperimen untuk mendemonstrasikan efek Seebeck (Sumber : Goldsmid, 2010)

Efek Seebeck muncul ketika terjadi perbedaan suhu antara dua konduktor yang berbeda, di mana efek tersebut terfokus pada persimpangan antara konduktor A dan konduktor B. Pada titik persimpangan ini, elektron akan diaktifkan dan mengalami perpindahan dari bahan yang memiliki energi elektron lebih rendah ke bahan yang memiliki energi elektron lebih tinggi ketika terjadi pemanasan pada titik persimpangan konduktor tersebut. Proses ini menciptakan suatu perubahan energi yang menghasilkan gaya gerak listrik.

Pada dasarnya, mekanisme Efek Seebeck dapat dijelaskan sebagai respons terhadap perbedaan suhu yang menyebabkan muatan listrik (elektron) berpindah dari konduktor dengan suhu lebih rendah ke konduktor dengan suhu lebih tinggi. Konduktor A dan B, yang mewakili dua jenis material atau logam yang berbeda, berinteraksi di titik persimpangan, menciptakan potensial listrik sebagai hasil dari perubahan energi yang terjadi. Inilah yang menjadi dasar terbentuknya gaya gerak listrik sebagai hasil dari Efek Seebeck pada suatu sistem termoelektrik.

Konsep Generator Termoelektrik

Generator termoelektrik didesain berdasarkan prinsip dasar efek Seebeck dengan tujuan untuk menghasilkan energi listrik. Susunan atau struktur dari generator termoelektrik secara visual dapat dilihat melalui representasi desain yang tergambar pada Gambar 2.3 di bawah ini. Prinsip kerja generator ini menitikberatkan pada pemanfaatan perbedaan suhu antara sumber panas dan pendingin untuk menciptakan potensial listrik, mengikuti konsep dasar efek Seebeck.



Gambar 4. Termokopel sederhana yang digunakan sebagai generator (Sumber : Goldsmid, 2010)

Gambar 4. adalah model generator termoelektrik yang diberikan beban RL dan untuk mengukur kinerja generator termoelektrik dibuatlah model termokopel tunggal yang diasumsikan tidak ada panas yang melalui heat sink. Gambar 4. menggambarkan bahwa termokopel dihubungkan dengan beban RL yang nilainya dapat diivariasikan dan efisiensi generator bergantung pada sifat termokopel dan nilai RL. analisis daya pada generator termoelektrik didapatkan dengan menganalisis hubungan antara beda suhu, koefisien Seebeck, arus yang dihasilkan generator termoelektrik, RL, dan hambatan pada bahan

semikonduktor tipe p dan tipe n di dalam modul termoelektrik. Perumusan awalnya adalah sebagai berikut

$$I = \frac{(\alpha_p - \alpha_n)(T_1 - T_2)}{R_p + R_n + R_L} \quad 2.2$$

Daya yang dikirim ke beban adalah

$$W = I^2 R_L \quad 2.3$$

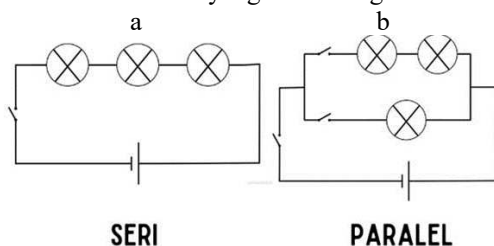
$$= \left(\frac{(\alpha_p - \alpha_n)(T_1 - T_2)}{R_p + R_n + R_L} \right)^2 R_L$$

Rangkaian Seri dan Pararel Peltier

Rangkaian Peltier Seri-Paralel merupakan konfigurasi pengaturan dari modul termoelektrik yang penting dalam aplikasi pengelolaan energi. Dalam konfigurasi seri, beberapa modul Peltier dihubungkan secara berurutan. Hal ini memungkinkan tegangan yang dihasilkan dari masing-masing modul untuk dijumlahkan, sehingga total tegangan output dari rangkaian dapat meningkat. Konfigurasi ini sering digunakan ketika aplikasi memerlukan peningkatan tegangan, seperti dalam pengisian baterai atau untuk aplikasi yang memerlukan sumber tegangan yang lebih tinggi.

Konfigurasi paralel, di sisi lain, melibatkan penyusunan beberapa modul Peltier dalam konfigurasi paralel, dimana setiap modul menerima tegangan yang sama, namun arus yang dihasilkan adalah jumlah dari arus yang dihasilkan oleh masing-masing modul. Ini memungkinkan arus total dari rangkaian meningkat, yang berguna untuk aplikasi yang memerlukan aliran arus yang besar, seperti pengoperasian motor atau perangkat yang membutuhkan daya tinggi.

Prinsip kerja dari kedua konfigurasi ini berdasarkan efek Peltier, dimana aliran arus listrik melalui sambungan antara dua bahan semikonduktor menghasilkan pemindahan panas dari satu sisi ke sisi lainnya. Dalam konfigurasi seri, perbedaan suhu antara sisi panas dan dingin masing-masing modul harus dijaga agar tetap optimal untuk memastikan efisiensi konversi energi yang baik. Di sisi lain, konfigurasi paralel memerlukan perhatian terhadap perbedaan arus yang dapat terjadi, terutama jika modul-modul memiliki karakteristik yang tidak seragam.



Gambar 5. Skema Rangkaian Seri dan Pararel

Fleksibilitas dari konfigurasi seri-paralel ini memungkinkan pengaturan yang lebih baik terhadap berbagai kondisi operasional dan kebutuhan daya dari sistem pengelolaan limbah atau aplikasi energi lainnya. Penjelasan mengenai perbedaan konfigurasi ini dapat dilihat pada Gambar 5a, yang menunjukkan

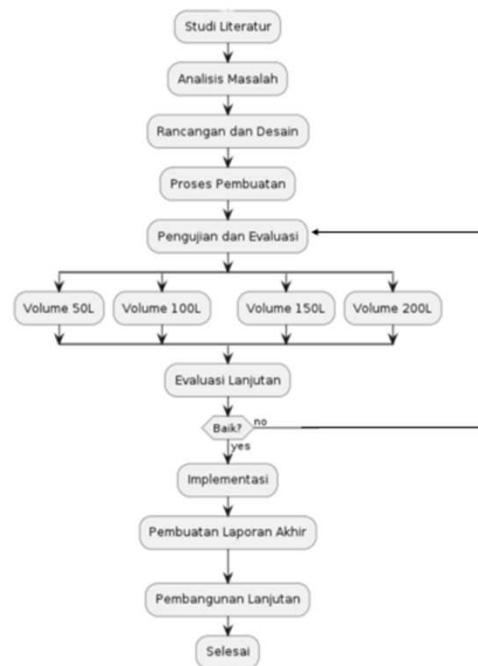
susunan seri, dan Gambar 5b, yang menunjukkan susunan paralel. Kedua gambar ini memberikan ilustrasi visual mengenai cara kerja dan aplikasi dari masing-masing konfigurasi dalam sistem pengelolaan energi berbasis termoelektrik.

Dengan memahami prinsip kerja, keuntungan, dan tantangan dari konfigurasi Peltier seri-paralel, penelitian ini dapat merancang sistem yang lebih efisien dalam mengonversi energi panas dari sampah menjadi listrik, sesuai dengan kebutuhan aplikasi yang spesifik.

METODE

Penelitian ini menggunakan pendekatan Research and Development (R&D). R&D dipilih karena bertujuan mengembangkan dan menguji panel energi listrik berbasis generator termoelektrik pada alat pengolahan limbah sampah. Langkah-langkah penelitian meliputi perancangan, pengembangan prototipe, pengujian, evaluasi, dan penyempurnaan panel energi listrik.

Alur tahapan penelitian dapat dilihat dalam flowchart berikut :



Gambar 6. Diagram Alur Penelitian

Prosedur penelitian yang dijelaskan di bawah ini menguraikan langkah-langkah yang harus dilakukan dalam rangka merancang dan membangun panel energi listrik berbasis generator termoelektrik pada alat pengolahan limbah sampah:

Studi literatur : dilakukan penelitian literatur intensif terkait teknologi Thermoelectric Generator (TEG) untuk memahami prinsip kerjanya dan aplikasinya dalam panel energi listrik. Selain itu, juga dicari informasi tentang bahan-bahan termoelektrik yang paling cocok untuk digunakan dalam konteks pengolahan limbah sampah.

Analisis masalah : dilakukan evaluasi mendalam terhadap kendala-kendala yang mungkin timbul selama proses pengembangan panel energi listrik dan alat pengolahan limbah. Hal ini mencakup analisis terhadap potensi masalah teknis, keamanan, dan keandalan, serta identifikasi solusi-solusi yang mungkin diperlukan.

Rancangan dan desain : tahap ini mencakup perancangan teknis panel energi listrik dan alat pengolahan limbah secara mendetail. Perancangan mencakup pemilihan bahan untuk panel TEG, seperti semikonduktor termoelektrik, dan desain alat pembakaran limbah, termasuk pemilihan material yang tahan terhadap panas dan korosi.

Proses pembuatan : pembuatan prototipe panel energi listrik melibatkan proses pengolahan bahan-bahan termoelektrik menjadi modul TEG yang efisien. Proses ini memerlukan teknik pengelasan dan pemasangan komponen elektronik yang akurat untuk memastikan kinerja yang optimal. Sementara itu, pembuatan alat pembakaran limbah melibatkan teknik fabrikasi logam dan pemasangan sistem kontrol.

Pengujian dan evaluasi : prototipe panel energi listrik dan alat pembakaran limbah diuji secara menyeluruh untuk mengevaluasi kinerjanya. Pengujian meliputi pengukuran efisiensi energi, penanganan limbah, dan keamanan operasi. Evaluasi dilakukan untuk mengidentifikasi potensi perbaikan dan penyempurnaan sebelum implementasi massal.

Pembuatan lapoeran akhir : hasil dari penelitian, termasuk temuan, analisis, serta rekomendasi, akan didokumentasikan dalam laporan akhir. Laporan ini mencakup detail tentang proses perancangan, pembuatan, pengujian, dan evaluasi panel energi listrik berbasis generator termoelektrik pada alat pengolahan limbah sampah.

Setiap tahap dalam prosedur penelitian memiliki peran krusial dalam memastikan keberhasilan dan keandalan panel energi listrik dan alat pengolahan limbah sampah yang dikembangkan. Penekanan diberikan pada aspek teknis, keamanan, dan keandalan untuk memastikan keefektifan dan keberlanjutan solusi yang dihasilkan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

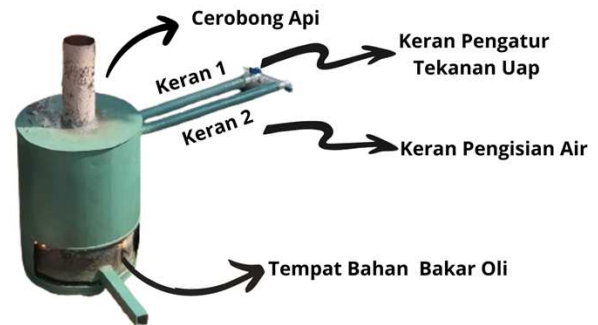
Hasil Pembuatan Alat

Desain tungku pembakaran menggunakan satu setengah tong besi yang digabungkan, dengan total tinggi tong 135 cm dengan diameter 60 cm, dan dibuat dari plat besi setebal 4 mm. Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 7, terlihat komponen utama seperti bagian atas tungku sebagai ruang pembakaran utama, jalur api di tengah yang diarahkan ke kompor bawah, dan jaring di bagian bawah untuk menahan sampah agar tidak jatuh ke area kompor. Sistem kontrol dan penyimpanan energi juga dipasang di bagian samping untuk mengumpulkan dan menyimpan energi listrik yang dihasilkan



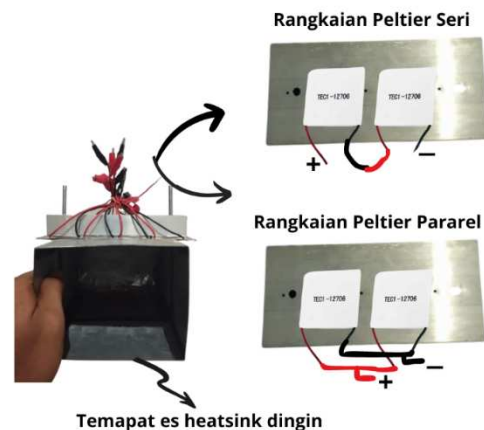
Gambar 7. Sistem Alat Keseluruhan

Kompor bahan bakar oli ini dirancang untuk memanfaatkan oli bekas yang dicampur dengan bensin sebagai bahan bakar utama. Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 8, kompor ini terdiri dari beberapa komponen penting, termasuk tempat bahan bakar oli, keran pengisian air, keran pengatur tekanan uap, cerobong api, dan nozzle uap.



Gambar 8. Sistem Keseluruhan Kompor

Thermoelectric Generator (TEG) memanfaatkan efek Seebeck untuk mengubah perbedaan suhu menjadi energi listrik. Dalam skema ini, kita menggunakan dua modul Peltier yang disusun secara seri dan paralel untuk menguji seberapa besar daya yang dapat dihasilkan. Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 9, berikut adalah mekanisme pemasangan dan pengaturan TEG dengan modul Peltier.

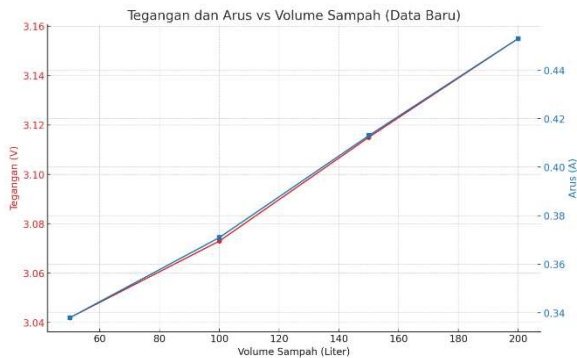


Gambar 9. Sistem Thermoelectric Generator

Pada penelitian ini, dilakukan percobaan dengan berbagai volume sampah rumah tangga untuk mengukur performa peltier dalam menghasilkan listrik. Hasil pengukuran termasuk waktu, tegangan, arus, serta suhu pada sisi dingin (T1) dan sisi panas (T2) peltier. Data rinci dari percobaan tersebut dapat dilihat pada Tabel 1 untuk rangkaian seri dan Tabel 2 untuk rangkaian paralel.

Tabel 1. Pengambilan Data Pemasangan Peltier Seri

No	Sampah	Percobaan	waktu (menit)	Tegangan (V)	Arus (A)	T2 °C (Suhu Peltier dignin)	T1 °C (Suhu Peltier Panas)
1.	50 Liter Sampah Rumah Tangga	1	47.6	3.031	0.3371	12	118
		2	48.0	3.050	0.340	11	119
		3	47.8	3.045	0.338	10	120
2.	100 Liter Sampah Rumah Tangga	1	65.0	3.070	0.370	14	115
		2	64.0	3.080	0.375	13	116
		3	67.5	3.075	0.373	12	117
3.	150 Liter Sampah Rumah Tangga	1	75.5	3.110	0.410	15	114
		2	72.0	3.120	0.415	14	115
		3	77.0	3.115	0.413	13	116
4.	200 Liter Sampah Rumah Tangga	1	89.0	3.150	0.450	16	112
		2	85.0	3.160	0.455	15	113
		3	88.0	3.155	0.453	14	114



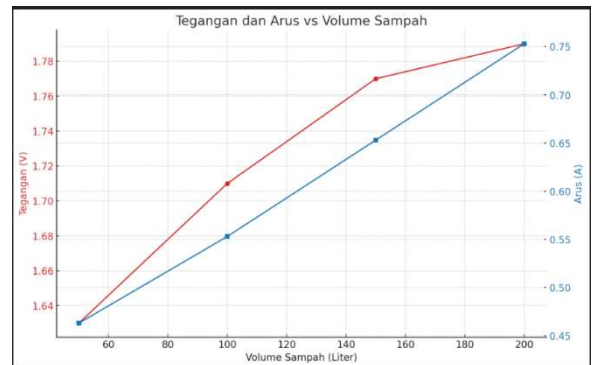
Pada percobaan dengan 50 liter sampah rumah tangga, dicatat bahwa waktu rata-rata untuk mencapai tegangan dan arus tertentu adalah sekitar 47.8 menit dengan tegangan rata-rata 3.042 V dan arus rata-rata 0.338 A (lihat Tabel 1). Suhu pada sisi dingin berkisar antara 10-12°C, sementara suhu pada sisi panas berkisar antara 118-120°C. Pada percobaan dengan 100 liter sampah, waktu yang dibutuhkan lebih lama yaitu sekitar 65.5 menit dengan tegangan rata-rata 3.075 V dan arus rata-rata 0.372 A. Suhu pada sisi dingin berkisar antara 12-14°C, dan suhu pada sisi panas berkisar antara 115-117°C.

Dalam percobaan dengan 150 liter sampah, waktu yang diperlukan mencapai rata-rata 74.8 menit dengan tegangan rata-rata 3.115 V dan arus rata-rata 0.412 A. Suhu pada sisi dingin berkisar antara 13-

15°C, dan suhu pada sisi panas berkisar antara 114-116°C. Untuk 200 liter sampah, waktu yang dibutuhkan sekitar 87.3 menit dengan tegangan rata-rata 3.155 V dan arus rata-rata 0.453 A. Suhu pada sisi dingin berkisar antara 14-16°C, dan suhu pada sisi panas berkisar antara 112-114°C.

Tabel 2. Pengambilan Data Pemasangan Peltier Pararel

No	Sampah	Percobaan	waktu (menit)	Tegangan (V)	Arus (A)	T2 °C (Suhu Peltier dignin)	T1 °C (Suhu Peltier Panas)
1.	50 Liter Sampah Rumah Tangga	1	52.0	1.62	0.461	12	118
		2	51.5	1.64	0.465	11	117
		3	52.2	1.63	0.463	12	119
2.	100 Liter Sampah Rumah Tangga	1	67.0	1.70	0.550	14	115
		2	64.0	1.72	0.555	13	114
		3	62.5	1.71	0.553	14	116
3.	150 Liter Sampah Rumah Tangga	1	78.5	1.75	0.650	15	112
		2	77.0	1.77	0.655	14	113
		3	77.0	1.76	0.653	15	114
4.	200 Liter Sampah Rumah Tangga	1	92.0	1.80	0.750	16	110
		2	89.0	1.78	0.755	15	111
		3	91.0	1.79	0.753	16	112



Seperti yang ditunjukkan pada Tabel 2, hasil percobaan dengan rangkaian paralel sedikit berbeda. Untuk 50 liter sampah, waktu yang diperlukan rata-rata sekitar 51.9 menit dengan tegangan 1.63 V dan arus 0.463 A. Dengan volume sampah 100 liter, waktu rata-rata adalah 64.5 menit dengan tegangan 1.71 V dan arus 0.553 A. Dengan 150 liter sampah, waktu rata-rata adalah 77.5 menit dengan tegangan 1.76 V dan arus 0.653 A. Terakhir, untuk 200 liter sampah, waktu yang dibutuhkan rata-rata adalah 90.7 menit dengan tegangan 1.79 V dan arus 0.753 A.

Analisa menunjukkan bahwa baik peningkatan volume sampah maupun konfigurasi rangkaian (seri atau paralel) mempengaruhi waktu, tegangan, dan arus yang dihasilkan oleh peltier. Pada rangkaian seri, tegangan yang dihasilkan lebih tinggi dibandingkan dengan rangkaian paralel, namun arusnya lebih rendah. Misalnya, pada percobaan dengan 200 liter

sampah, tegangan tertinggi yang dihasilkan adalah sekitar 3.155 V, sementara arus tertinggi adalah 0.453 A. Sebaliknya, pada rangkaian paralel, arus yang dihasilkan lebih tinggi dibandingkan dengan rangkaian seri, namun tegangannya lebih rendah. Pada percobaan dengan 200 liter sampah, tegangan tertinggi yang dihasilkan adalah sekitar 1.79 V, namun arus tertinggi mencapai 0.753 A.

Perbedaan ini disebabkan oleh sifat dasar dari rangkaian seri dan paralel. Pada rangkaian seri, elemen-elemen disusun secara berurutan sehingga tegangan total adalah jumlah dari tegangan masing-masing elemen, tetapi arusnya tetap sama. Sedangkan pada rangkaian paralel, elemen-elemen disusun secara paralel sehingga arus total adalah jumlah dari arus masing-masing elemen, tetapi tegangannya tetap sama.

Jika kedua rangkaian ini digabungkan atau digunakan secara bergantian, keuntungan yang bisa didapat adalah optimalisasi penggunaan energi sesuai kebutuhan. Misalnya, rangkaian seri dapat digunakan untuk aplikasi yang memerlukan tegangan tinggi sementara rangkaian paralel untuk aplikasi yang memerlukan arus tinggi. Ini akan meningkatkan efisiensi dan fleksibilitas dalam penggunaan energi yang dihasilkan oleh peltier dari sampah rumah tangga.

1. Waktu: 47.6 menit
 Untuk menghitung daya, kita perlu mengonversi waktu ke dalam satuan jam:
 $Waktu = 47.6 \text{ menit} = \frac{47.6}{60} \text{ jam} \approx 0.7933 \text{ jam}$

2. Tegangan: 3.031 Volt

3. Arus: 0.3371 Ampere

4. Hitung Daya:
 $Daya = Tegangan \times Arus$
 $Daya = 3.031 \text{ V} \times 0.3371 \text{ A}$
 $Daya \approx 1.0222 \text{ W}$

Gambar 9. Perhitungan daya

Pada percobaan pertama dengan 50 liter sampah rumah tangga dalam rangkaian seri, total daya yang dikumpulkan dalam rentang waktu efektif 46 menit adalah sekitar 0.79 Wh. Untuk percobaan dengan 100 liter sampah rumah tangga, total daya yang dikumpulkan adalah sekitar 1.22 Wh. Pada percobaan dengan 150 liter sampah rumah tangga, total daya yang dikumpulkan adalah sekitar 1.58 Wh. Untuk percobaan dengan 200 liter sampah rumah tangga, total daya yang dikumpulkan adalah sekitar 2.04 Wh.

Dengan konfigurasi paralel, pada percobaan dengan 50 liter sampah rumah tangga, total daya yang dikumpulkan adalah sekitar 0.63 Wh. Untuk percobaan dengan 100 liter sampah rumah tangga, total daya yang dikumpulkan adalah sekitar 1.02 Wh. Pada percobaan dengan 150 liter sampah rumah tangga, total daya yang dikumpulkan adalah sekitar 1.43 Wh. Untuk percobaan dengan 200 liter sampah rumah tangga, total daya yang dikumpulkan adalah sekitar 1.96 Wh.

Perhitungan yang lebih akurat menunjukkan bahwa total daya yang dikumpulkan selama rentang waktu efektif memang cukup signifikan, dan peningkatan volume sampah secara langsung berkontribusi terhadap peningkatan total daya yang dihasilkan. Kombinasi optimal dari kedua konfigurasi ini dapat memberikan fleksibilitas dalam memenuhi berbagai kebutuhan daya, baik yang memerlukan tegangan tinggi maupun arus tinggi, sehingga meningkatkan efisiensi sistem secara keseluruhan.

SIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian ini, dapat disimpulkan bahwa rancang bangun tungku pembakaran dan kompor bahan bakar oli pada alat pengolahan limbah sampah dapat menghasilkan energi listrik secara berkelanjutan. Teknologi ini memanfaatkan panas dari proses pengolahan limbah untuk menghasilkan listrik, mengurangi ketergantungan pada sumber energi konvensional, dan mendukung pengelolaan limbah yang lebih baik. Spesifikasi alat yang digunakan meliputi desain tungku pembakaran dengan satu setengah tong besi setinggi 135 cm dan berdiameter 60 cm, terbuat dari plat besi setebal 4 mm, dengan komponen utama seperti ruang pembakaran, jalur api, jaring penahan sampah, serta sistem kontrol dan penyimpanan energi di bagian samping. Pembakaran dilakukan menggunakan kompor berbahan bakar oli bekas.

REFERENSI

Journal:

- Oktariansyah, Dani, et al. "Design and build a waste power plant (WPP) at the University of Singaperbangsa Karawang." *Teknika: Jurnal Sains dan Teknologi* 17.1 (2021): 67-77.
- Roziqin, Putri Ramadhani, and Ratnasari Nur Rohmah. "Pemanfaatan Panas Pada Tungku Pembakaran Sebagai Pembangkit Listrik Dengan Peltier." *Emitor: Jurnal Teknik Elektro* 22.1 (2022): 17-25.
- Wardoyo, Wardoyo. "Studi Karakteristik Pembangkit Listrik Termoelektrik melalui Pemanfaatan Panas Knalpot Sepeda Motor Sport 150 Cc." *Jurnal Konversi Energi dan Manufaktur* 3.2: 354368.

Proceeding:

- Champier, Daniel. "Thermoelectric generators: A review of applications." *Energy conversion and management* 140 (2017): 167-181. Yamin L, Wanming C. *Implementation of Single Precision Floating Point Square Root on FPGAs*. IEEE Symposium on FPGA for Custom Computing Machines. Napa. 2008: 226-232.
- Leonov, Vladimir, Chris Van Hoof, and Ruud JM Vullers. "Thermoelectric and hybrid generators in

- wearable devices and clothes.*" 2009 Sixth International Workshop on Wearable and Implantable Body Sensor Networks. IEEE, 2009.
3. Myers, A. C., and J. S. Jur. "*Effects of thermal energy harvesting on the human–clothing–environment microsystem.*" IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. Vol. 254. No. 7. IOP Publishing, 2017.
 4. Chen, Wei-Hsin, et al. "Evaluation of power generation from thermoelectric cooler at normal and low-temperature cooling conditions." *Energy for sustainable development* 25 (2015): 8-16.

Textbooks:

1. Duffie, John A., and William A. Beckman. *Solar engineering of thermal processes*. New York: Wiley, 1980.
2. Anderson, J. D., Wendt, J. *Computational Fluid Dynamics*. New York: McGraw-Hill. 1995: 25-29

Thesis/Dissertation:

1. Al-Zubadi, Shaimaa Fadhil. *Phenomena of mixing ethylene glycol/water system for freezing point measurements*. Diss. M. Sc. Thesis, Al-Nahrain University, Baghdad, 2007.