

# Pemanfaatan Panas Tungku Pembakaran Bata Merah Untuk Pembangkit Listrik Menggunakan *Thermoelectric Generator*

Hary Witjahjo<sup>1</sup>, Adang Saepudin<sup>2</sup>, Asep Handani<sup>3</sup>

<sup>123</sup>Program Studi Teknik Mesin, Sekolah Tinggi Teknologi Texmaco, Indonesia  
Email : hwitjahjo@gmail.com

Received 06 Maret 2026 | Revised 17 Maret 2026 | Accepted 27 Maret 2026

## ABSTRAK

Tungku pembakaran bata merah tradisional menghasilkan panas buangan yang belum dimanfaatkan secara optimal dan umumnya terbuang ke lingkungan. Panas buangan tersebut sebenarnya memiliki potensi untuk dikonversi menjadi energi listrik melalui pemanfaatan efek *Seebeck* menggunakan *thermoelectric generator* (TEG). Pengujian dilakukan dalam tiga kondisi, yaitu tanpa beban, dengan beban pompa sirkulasi air, serta dengan beban gabungan pompa dan lampu. Parameter yang diukur meliputi suhu sisi panas dan sisi dingin, selisih suhu ( $\Delta T$ ), tegangan, arus, dan daya listrik. Seluruh data direkam menggunakan sistem data logger berbasis sensor termokopel tipe-K dan INA219. Hasil pengujian tanpa beban menunjukkan bahwa pada selisih suhu rata-rata sebesar 28.60 °C, sistem TEG mampu menghasilkan tegangan rata-rata sebesar 14.51 V. Pada pengujian dengan beban, daya listrik rata-rata yang diterima aki berada pada kisaran 0.2 sampai dengan 0.28 W setelah melewati *stepdown converter*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem TEG mampu memanfaatkan panas buangan tungku pembakaran bata merah sebagai sumber energi listrik alternatif skala kecil. Meskipun daya yang dihasilkan relatif rendah, Namun sistem ini dapat digunakan untuk daya beban berdaya rendah.

**Kata kunci:** *Thermoelectric*, Generator, Tungku, Bata Merah, Efek *Seebeck*.

## ABSTRACT

*Traditional red brick kilns produce waste heat that is not optimally utilized and is generally wasted into the environment. This waste heat actually has the potential to be converted into electrical energy through the utilization of the Seebeck effect using a thermoelectric generator (TEG). Tests were conducted under three conditions, namely no load, with a water circulation pump load, and with a combined pump and lamp load. The parameters measured included the hot and cold side temperatures, temperature difference ( $\Delta T$ ), voltage, current, and electrical power. All data were recorded using a data logger system based on K-type thermocouple sensors and INA219. The results of the no-load test showed that at an average temperature difference of 28.60 °C, the TEG system was able to produce an average voltage of 14.51 V. In the test with a load, the average electrical power received by the battery was in the range of 0.2 to 0.28 W after passing through a stepdown converter. The results of the study indicate that the TEG system is able to utilize the waste heat of the red brick kiln as a small-scale alternative electrical energy source. Although the power generated is relatively low, this system can be used to power low-power loads.*

**Keywords:** *Thermoelectric*, Generator, Furnace, Red Brick, Seebeck Effect

## 1. PENDAHULUAN

Proses pembakaran bata merah umumnya dilakukan dengan metode tradisional yang memproduksi suhu tinggi antara 920°C–1020°C, menggunakan bahan bakar seperti kayu dan sekam padi. Namun, sebagian besar panas yang dihasilkan terbuang ke lingkungan sebagai limbah panas. Masalah yang sering muncul adalah lokasi tungku pembakaran yang jauh dari pemukiman dan tidak terjangkau listrik PLN, menjadikan energi panas yang terbuang memiliki potensi untuk dikonversi menjadi energi listrik. Salah satu teknologi yang dapat dimanfaatkan untuk tujuan ini adalah *Thermoelectric Generator* (TEG), yang beroperasi berdasarkan efek Seebeck, di mana perbedaan suhu antara dua sisi material semikonduktor menghasilkan tegangan listrik. Dengan memasang TEG pada area panas buangan tungku dan menggunakan sistem pendingin di sisi dingin, energi panas yang terbuang dapat diubah menjadi energi listrik untuk penerangan di area pembakaran bata merah yang belum terjangkau listrik. Beberapa penelitian telah mengeksplorasi pemanfaatan energi panas limbah untuk konversi energi listrik menggunakan TEG. Misalnya, Masaji (2019) merancang sistem TEG yang dihubungkan dengan *buck converter* berbasis IC TL494 untuk menghasilkan tegangan DC stabil dari panas limbah industri. Penelitian ini fokus pada pengendalian tegangan keluaran menggunakan umpan balik PWM, meskipun tidak diterapkan pada tungku bata merah. Di sisi lain, Putra & Habibullah (2023) mengembangkan prototipe sistem TEG di pabrik semen yang memanfaatkan panas dari suspension preheater. Mereka menggunakan modul TEG SP1848 dengan sistem pendinginan *waterblock* untuk mengisi baterai 5V sebesar 500 mAh dalam waktu 60 menit. Penelitian yang diusulkan akan memfokuskan penerapan TEG khususnya pada tungku bata merah tradisional, menggunakan pendingin *waterblock* untuk meningkatkan selisih suhu ( $\Delta T$ ) dan memenuhi kebutuhan penerangan di area tungku pembakaran yang belum terjangkau listrik. Dengan demikian, penelitian ini berjudul "Pemanfaatan Panas Tungku Pembakaran Bata Merah untuk Pembangkit Listrik Menggunakan Thermoelectric Generator."

## 2. METODE

### 2.1 Metodologi Penelitian

Penelitian ini dimulai dengan identifikasi masalah melalui pengamatan langsung di lokasi pembakaran bata merah tradisional di Perkebunan Jalan Cipendeuy, Pabuaran, Desa Cikelenting, Kecamatan Cipendeuy, Kabupaten Subang. Proses pembakaran yang dilakukan menggunakan metode konvensional mengeluarkan panas yang tidak dimanfaatkan, bocor ke lingkungan tanpa adanya pengalihan untuk sistem pemanfaatan energi. Selain itu, area sekitar tungku terbakar, terutama saat malam hari, tidak memiliki penerangan yang memadai. Proses pembakaran bata yang berlangsung selama beberapa hari ini membutuhkan sistem untuk memanfaatkan limbah panas agar dapat menghasilkan energi listrik sebagai sumber penerangan sederhana yang tidak bergantung pada sumber listrik eksternal. Oleh karena itu, dirancang sistem yang memanfaatkan limbah panas dari tungku pembakaran sebagai sumber energi alternatif. Sistem thermoelectric generator dipilih karena kemampuannya untuk mengubah perbedaan suhu menjadi energi listrik melalui efek Seebeck, yang dapat diterapkan pada panas yang tersedia di area tungku pembakaran bata merah.

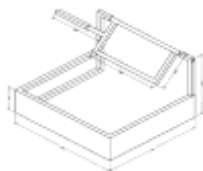
### 2.2 Tahap perancangan alat

Proses ini meliputi pembuatan sistem secara mekanik dan elektrik.

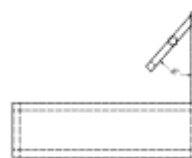
#### 1. Perancangan Aspek Mekanikal

## Pemanfaatan Panas Tungku Pembakaran Bata Merah Untuk Pembangkit Listrik Menggunakan *Thermoelectric Generator*

Perancangan aspek mekanikal sistem *thermoelectric generator* (TEG) melibatkan desain rangka untuk menempatkan komponen yang mendukung kinerja TEG. Rangka ini terbuat dari material besi hollow 20 mm x 20 mm dan dirancang untuk diletakkan pada area tungku pembakaran bata merah, memungkinkan transfer radiasi panas ke modul TEG dan komponen pendingin *waterblock*.



**Gambar 1. Desain Rangka Tampak Atas**

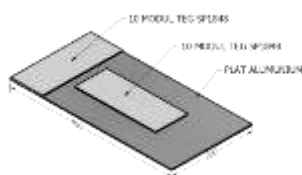


**Gambar 2. Desain rangka tampak samping kanan**



**Gambar 3. Desain Rangka**

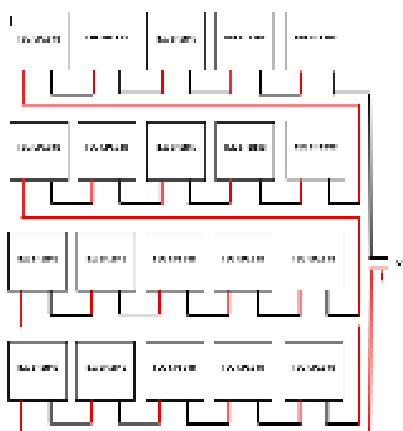
Rancangan pemasangan modul *thermoelectric generator* (TEG) pada plat aluminium melibatkan 20 modul TEG SP1848. Pendingin menggunakan *waterblock* dan sistem sirkulasi air dengan pompa, sementara plat aluminium dipilih karena konduktivitas thermal yang baik,



**Gambar 4. Modul Termoelectric Generator**

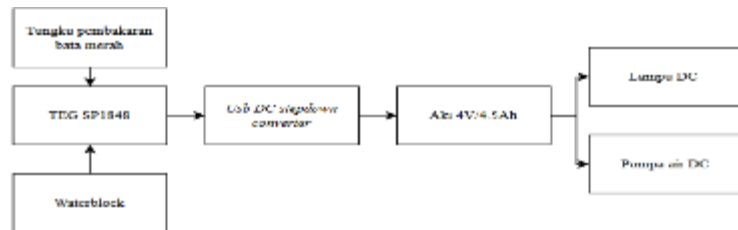
memungkinkan distribusi panas yang merata dari dinding tungku ke modul TEG.

### 2. Perancangan Aspek Elektrikal

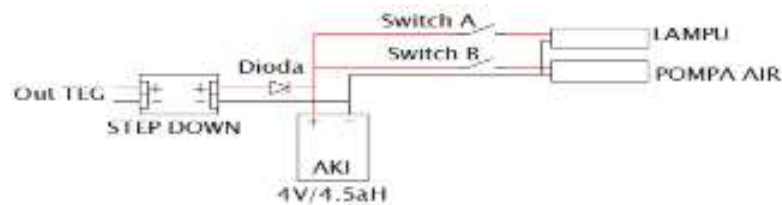


**Gambar 5. Instalasi kelistrikan penyusunan modul TEG**

Perancangan aspek elektrikal modul TEG bertujuan untuk menyalurkan energi yang dihasilkan untuk disimpan di aki dan sebagai sumber tegangan pompa. Instalasi 20 TEG SP1848 dilakukan secara seri, menghubungkan output ke modul step down converter untuk menurunkan dan menstabilkan tegangan sesuai spesifikasi pengisian aki 4V/4.5Ah. Dioda digunakan sebagai penyearah untuk melindungi sistem dari arus balik. Aki berfungsi sebagai penyedia energi utama bagi lampu dan pompa air, yang dikendalikan secara manual oleh switch A dan B. Blok diagram sistem elektrik konversi panas menjadi listrik dengan TEG dilampirkan.



**Gambar 6. Blok diagram sistem elektrik**



**Gambar 7. Instalasi rangkaian sistem TEG**

Sistem pendingin menggunakan waterblock untuk meningkatkan selisih suhu  $\Delta T$  dan efisiensi TEG. Step down converter mengubah tegangan output TEG menjadi stabil untuk aki, mencegah overcharging. Aki 4V / 4.5Ah menyimpan energi dari TEG untuk memberi daya pada lampu dan pompa. Lampu menerangi area sekitar tungku pembakaran bata merah malam hari, sedangkan pompa sirkulasi menjaga suhu sisi dingin waterblock.

### 2.3 Perhitungan Teoritis

Perhitungan teoritis dilakukan untuk mengestimasi kinerja sistem TEG dalam mengubah energi panas buangan menjadi energi listrik, menggunakan data modul TEG SP1848-27145 dan observasi lapangan. Penelitian ini menghitung tegangan output, arus, daya, dan efisiensi sistem secara teoritis, dengan 20 modul TEG yang disusun secara seri, sehingga total tegangan yang dihasilkan merupakan akumulasi dari setiap modul.

#### 1. Selisih Suhu ( $\Delta T$ )

Selisih suhu ini biasa dilambangkan dengan  $\Delta T$  dan dihitung menggunakan persamaan (3.1).

$$\Delta T = T_{hot} - T_{cold} \tag{1}$$

Keterangan:

$\Delta T$  = Selisih suhu antara sisi panas dan sisi dingin ( $^{\circ}\text{C}$ )

$T_{hot}$  = Suhu permukaan tempat modul TEG menerima panas ( $^{\circ}\text{C}$ )

$T_{cold}$  = Suhu permukaan pendingin ( $^{\circ}\text{C}$ )

## 2. Tegangan *Output*

Rumus yang digunakan untuk menghitung tegangan total dari susunan TEG adalah:

$$V_t = V_m \times N \quad (1)$$

Keterangan:

$V_m$  = Tegangan *output* dari satu modul TEG (Volt)

$N$  = jumlah modul TEG yang disusun secara seri

$V_t$  = total tegangan *output* dari seluruh rangkaian TEG (Volt)

## 3. Daya output

Untuk menghitung daya *output* pada TEG menggunakan persamaan berikut.

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

Dimana:

$P$  = Daya listrik (Watt)

$V$  = Tegangan *output* (Volt)

$I$  = Arus listrik (Ampere)

## 4. Perhitungan Pengisian Aki

Untuk mengetahui berapa lama waktu yang diperlukan untuk mengisi aki dari *TEG*, digunakan rumus:

$$t = \frac{Ah}{I_t} \quad (4)$$

Keterangan:

$t$  = waktu pengisian aki (jam)

$Ah$  = kapasitas aki (Ampere-hour)

$I_t$  = arus keluaran dari sistem *TEG*

## 4. Kebutuhan Alat dan Bahan

Berikut tabel kebutuhan alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian.

**Tabel 1. Komponen yang dibutuhkan**

No	Komponen	Kuantitas
1	Besi hollow 20×20 mm	7 meter
2	Elektroda	1 kg
3	Plat aluminium 400×200×3 mm	1 pcs
4	Mur dan baut	50 pcs
5	Kayu Lembaran 300×300 mm	1 lembar
6	Modul <i>TEG</i> SP1848-27145	20 pcs
7	<i>Waterblock</i> aluminium	2 pcs
8	<i>Thermal Paste</i>	5 pcs
9	Lem	5 pcs
10	<i>Stepdown converter HW-318</i>	1 pcs
11	Botol aluminium (Tangki Air)	1 pcs
12	Selang air	5 meter
13	Pompa motor DC	1 pcs

No	Komponen	Kuantitas
14	Aki 4V 4.5Ah	1 pcs
15	Switch	2 pcs
16	Lampu DC	1 pcs
17	Pipa kapiler tembaga	2 meter

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 3.1 Hasil Perancangan

Berikut hasil dari perancangan terkait perancangan mekanik, sistem konversi energi, dan sistem pendingin untuk menghasilkan tegangan listrik.

##### 1. Perancangan Rangka

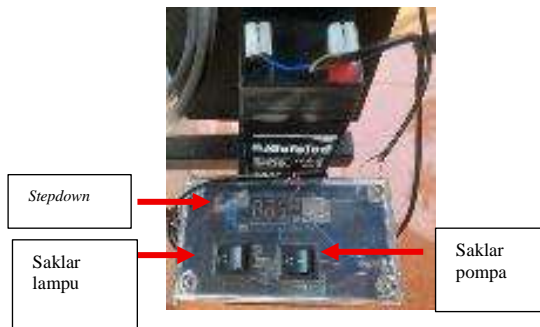


**Gambar 8. Perancangan rangka tampak depan**



**Gambar 9. Perancangan rangka tampak samping**

##### 2. Perancangan Sistem Konversi Energi



**Gambar 10. Rangkaian elektrik**

##### 3. Perancangan Sistem Pendingin

Hasil perancangan menggunakan metode pendinginan *waterblock* untuk mempercepat proses pendinginan seperti pada gambar 11 dan 12.



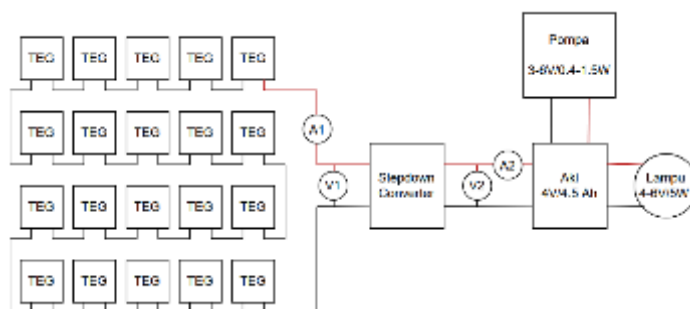
**Gambar 11. Sistem pendingin waterblock**



**Gambar 12. Tangki penampungan**

### 3.2 Pengujian dan Analisis

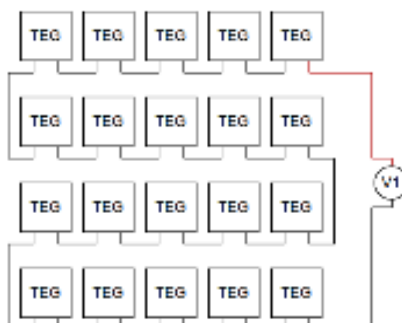
Pengujian dilakukan untuk mengetahui kinerja dari sistem *thermoelectric generator* (TEG) dalam mengubah panas buangan menjadi energi listrik. Pengukuran suhu sisi panas dan dingin dilakukan menggunakan sensor *thermocouple type-k* dengan modul *MAX6675*, sedangkan tegangan dan arus diukur menggunakan multimeter digital dan sensor *INA219* yang terhubung ke sistem data *logger*.



**Gambar 13. Blok Diagram sistem**

#### 1. Pengujian output TEG (Tanpa Beban)

Pengujian dilakukan di lokasi tungku pembakaran bata merah tradisional (lio), TEG dipasang pada dinding luar tungku dengan jarak 50 cm dari lubang api. Seluruh data direkam menggunakan sistem data logger selama proses pengujian berlangsung.

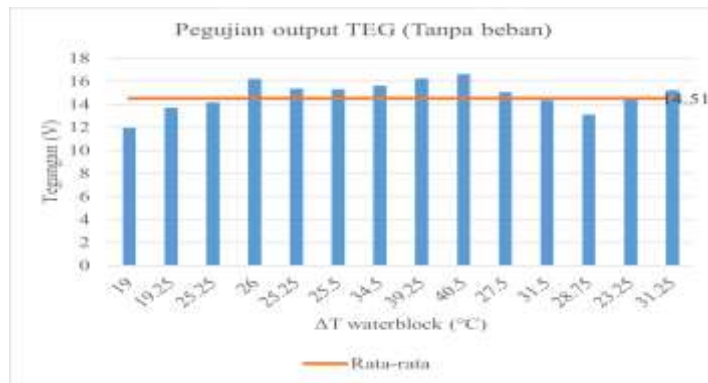


**Gambar 14. Pengukuran output TEG (Tanpa beban)**

**Tabel 2. Pegujian output TEG (Tanpa beban)**

Pengukuran Ke-	$T_{hot}$ (°C)	$T_{coldwaterblok}$ (°C)	$\Delta T$ waterblock (°C)	Tegangan output TEG (V)
1	43.50	24.50	19.00	10.26
2	48.50	29.25	19.25	11.96
3	55.00	29.75	25.25	13.71
4	59.00	33.00	26.00	14.16
5	63.00	37.75	25.25	16.24
6	62.50	37.00	25.50	15.36
7	68.25	33.75	34.50	15.32
8	68.50	29.25	39.25	15.62
9	68.25	27.75	40.50	16.26
10	63.75	36.25	27.50	16.64
11	63.25	31.75	31.50	15.07

Pengukuran Ke-	$T_{hot}$ (°C)	$T_{coldwaterblok}$ (°C)	$\Delta T$ waterblock (°C)	Tegangan output TEG (V)
12	59.50	30.75	28.75	14.33
13	54.50	31.25	23.25	13.12
14	60.25	29.00	31.25	14.39
15	62.00	29.75	32.25	15.24
Rata-rata	59.98	31.38	28.60	14.51



**Gambar 15. Pengujian output TEG (Tanpa beban)**

Pengujian tanpa beban pada TEG menunjukkan suhu  $T_{hot}$  rata-rata 59.98 °C dan  $T_{cold}$  31.38 °C, dengan selisih suhu ( $\Delta T$ ) 28.60 °C menghasilkan tegangan output rata-rata 14.51 V. Tegangan output meningkat seiring bertambahnya  $\Delta T$  meskipun fluktuasi terjadi karena perubahan suhu pada tungku pembakaran. Secara teoritis, satu modul TEG seharusnya menghasilkan sekitar 1,33 V pada  $\Delta T$  28.60 °C, tetapi hasil pengujian menunjukkan nilai lebih rendah akibat distribusi panas tidak merata. Meskipun demikian, sistem TEG berhasil memproduksi tegangan listrik dari pemanfaatan panas buangan tungku.

2. Pengujian *output Stepdown Converter* untuk Pengisian Aki dengan Beban Pompa

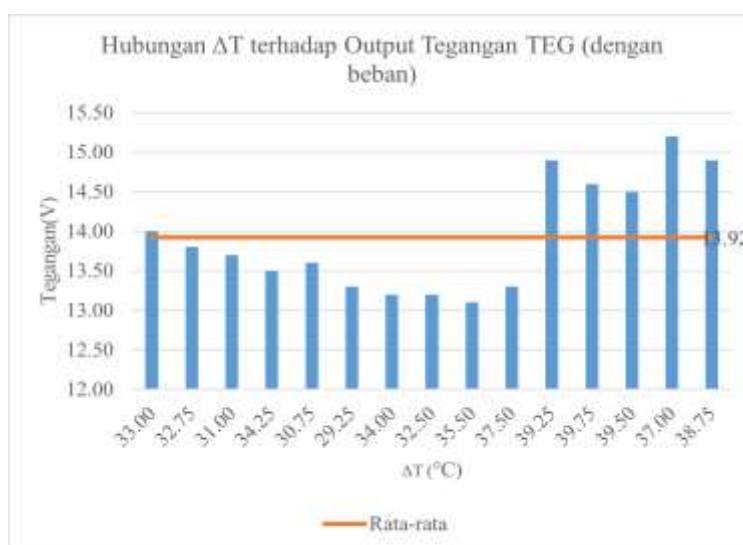
**Tabel 3. Pengujian output Stepdown Converter untuk Pengisian Aki dengan Beban Pompa**

Pengujian Ke-	$T_{hot}$ (°C)	$T_{cold}$ (°C)	$\Delta T$ (°C)	Output TEG			Output Stepdown Converter		
				Voltage (V2)	Current (A1)	Power (W1)	Voltage (V2)	Current (A2)	Power (W)
1	68.50	35.50	33.00	14.00	0.036	0.50	4.98	0.044	0.22
2	67.00	34.25	32.75	13.80	0.034	0.47	5.02	0.046	0.23
3	59.50	28.50	31.00	13.70	0.034	0.46	5.03	0.044	0.22
4	60.50	26.25	34.25	13.50	0.034	0.46	5.02	0.044	0.22
5	59.00	28.25	30.75	13.60	0.035	0.47	4.99	0.045	0.23
6	59.50	30.25	29.25	13.30	0.035	0.46	4.98	0.046	0.23
7	61.00	27.00	34.00	13.20	0.034	0.45	5.02	0.044	0.22
8	60.50	28.00	32.50	13.20	0.035	0.47	5.02	0.028	0.14
9	60.75	25.25	35.50	13.10	0.035	0.46	5.03	0.042	0.21
10	61.75	24.25	37.50	13.30	0.035	0.47	5.03	0.044	0.22
11	64.75	25.50	39.25	14.90	0.034	0.50	5.02	0.038	0.19
12	64.00	24.25	39.75	14.60	0.034	0.50	5.02	0.046	0.23

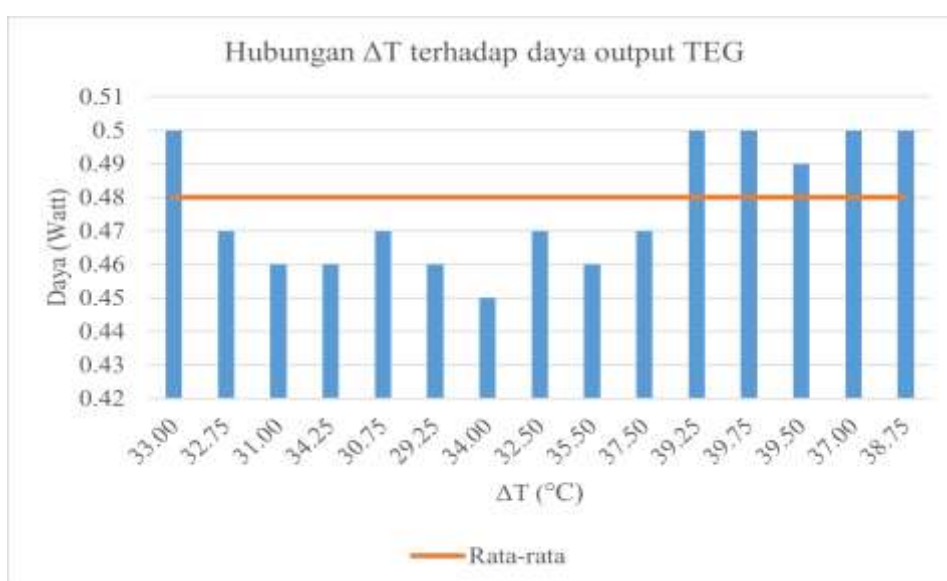
Pemanfaatan Panas Tungku Pembakaran Bata Merah Untuk Pembangkit Listrik Menggunakan *Thermoelectric Generator*

Pengujian Ke-	Thot (°C)	Tcold (°C)	ΔT (°C)	Output TEG			Output Stepdown Converter		
				Voltage (V2)	Current (A1)	Power (W1)	Voltage (V2)	Current (A2)	Power (W)
13	65.50	26.00	39.50	14.50	0.034	0.49	5.02	0.046	0.23
14	67.50	30.50	37.00	15.20	0.033	0.50	5.02	0.045	0.23
15	67.25	28.50	38.75	14.90	0.033	0.50	4.89	0.042	0.20
Rata-rata	63.13	28.15	34.98	13.92	0.034	0.48	5.01	0.043	0.21

Berdasarkan hasil pengujian pada Tabel 3.2, diperoleh nilai rata-rata suhu sisi panas (*Thot*) sebesar 63.13 °C dan suhu sisi dingin (*Tcold*) sebesar 28.15 °C dengan selisih suhu ( $\Delta T$ ) rata-rata sebesar 34.98 °C. menghasilkan tegangan rata-rata keluaran TEG sebelum *stepdown converter* sebesar 13.92 V dengan arus rata-rata 0.034 A, sehingga menghasilkan daya sekitar 0.48 W.

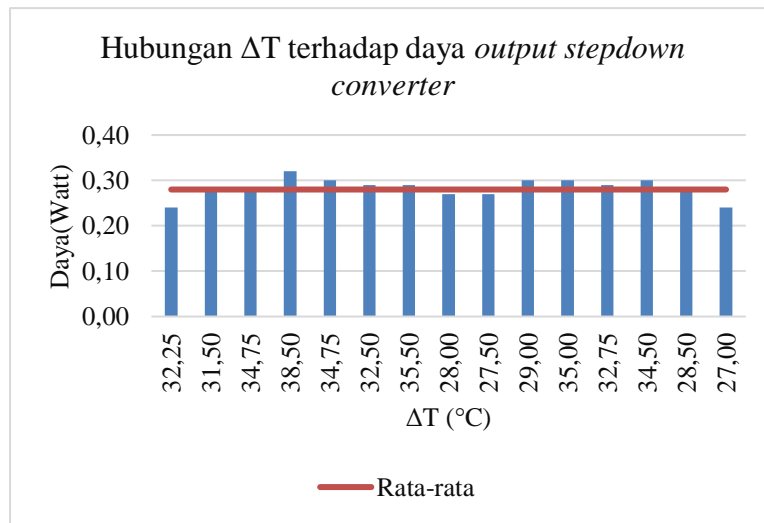


Gambar 16. Hubungan  $\Delta T$  terhadap Output Tegangan TEG (dengan beban)



Gambar 17. Hubungan  $\Delta T$  terhadap daya output TEG

Setelah melewati *stepdown converter*, tegangan keluaran sistem masih stabil pada kisaran 5.01 V, dengan arus rata-rata sebesar 0.043 A. Daya listrik rata-rata yang diterima aki sebesar 0.21 W.



**Gambar 18. Hubungan ΔT terhadap daya output stepdown converter**

Pengujian modul Termoelektrik Generator (TEG) menunjukkan bahwa daya listrik rata-rata yang dihasilkan adalah 0.48 W sebelum stepdown converter, menurun menjadi 0.21 W setelah konversi. Penurunan daya ini mencerminkan kehilangan energi selama proses konversi dan distribusi. Stepdown converter berfungsi menurunkan dan menstabilkan tegangan output TEG untuk pengisian aki. TEG terhubung dengan pompa sirkulasi air, yang mengonsumsi sebagian daya, mengakibatkan daya untuk pengisian aki lebih kecil. Meskipun ada penurunan daya, sistem mampu menghasilkan tegangan stabil sekitar 5.01 V, menyediakan daya cukup untuk pengisian aki. Hal ini menunjukkan sistem TEG berfungsi baik dalam kondisi nyata, walaupun efisiensi dipengaruhi oleh kerugian konversi dan karakteristik beban.

3. Pengujian Kinerja Stepdown Converter pada Pengisian Aki dengan Beban Pompa dan Lampu

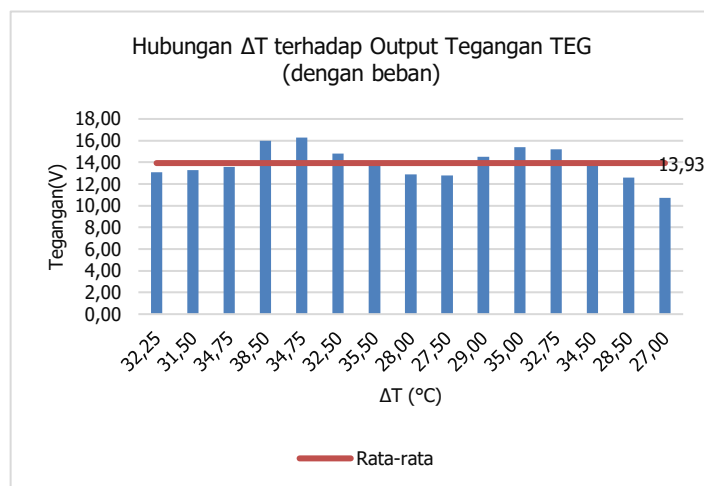
**Tabel 4. Pengujian output Stepdown Converter pada Pengisian Aki dengan Beban Pompa dan Lampu**

Pengujian Ke-	Thot (°C)	Tcold (°C)	ΔT (°C)	Voltage (V)	Current (A)	Power (W)	Voltage (V)	Current (A)	Power (W)
1	67.00	34.75	32.25	13.10	0.041	0.53	5.02	0.048	0.24
2	67.75	36.25	31.50	13.30	0.041	0.54	5.01	0.056	0.28
3	68.75	34.00	34.75	13.60	0.041	0.55	5.02	0.055	0.28
4	77.50	39.00	38.50	16.00	0.039	0.62	5.02	0.064	0.32
5	79.00	44.25	34.75	16.30	0.038	0.62	5.02	0.060	0.30
6	76.75	44.25	32.50	14.80	0.039	0.58	5.02	0.057	0.29
7	76.50	41.00	35.50	13.70	0.041	0.56	5.00	0.057	0.29
8	75.00	47.00	28.00	12.90	0.042	0.54	5.01	0.053	0.27
9	74.75	47.25	27.50	12.80	0.042	0.54	5.00	0.054	0.27
10	77.50	48.50	29.00	14.50	0.040	0.59	5.01	0.059	0.30
11	79.75	44.75	35.00	15.40	0.039	0.60	5.02	0.060	0.30
12	78.25	45.50	32.75	15.20	0.038	0.58	5.02	0.057	0.29
13	80.50	46.00	34.50	14.10	0.041	0.58	5.02	0.059	0.30
14	76.75	48.25	28.50	12.60	0.043	0.54	5.00	0.056	0.28

## Pemanfaatan Panas Tungku Pembakaran Bata Merah Untuk Pembangkit Listrik Menggunakan *Thermoelectric Generator*

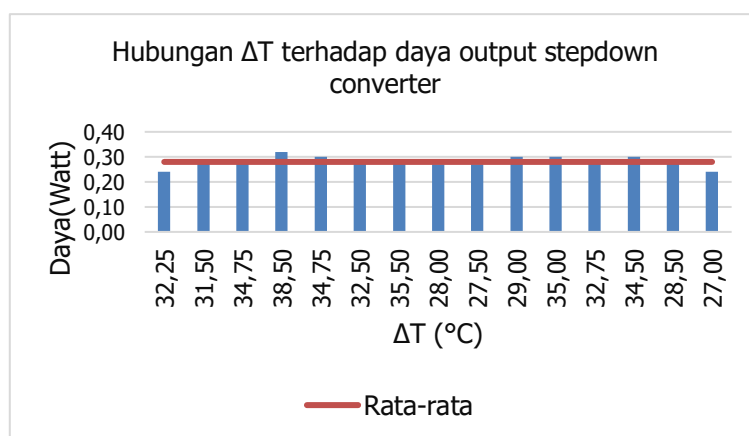
Pengujian Ke-	Thot (°C)	Tcold (°C)	ΔT (°C)	Voltage (V)	Current (A)	Power (W)	Voltage (V)	Current (A)	Power (W)
15	76.75	49.75	27.00	10.70	0.046	0.49	5.00	0.048	0.24
Rata-rata	<b>75.50</b>	<b>43.37</b>	<b>32.13</b>	13.93	0.041	0.56	5.01	0.056	0.28

Pengujian kinerja sistem Thermoelectric Generator (TEG) dilakukan untuk mengisi aki dengan beban gabungan, yaitu pompa sirkulasi air dan lampu DC. Hasil pengujian menunjukkan bahwa



**Gambar 19. Hubungan ΔT terhadap Output Tegangan TEG (dengan beban)**

suhu sisi panas (Thot) mencapai rata-rata 75.50 °C dan suhu sisi dingin (Tcold) sebesar 43.37 °C, menghasilkan selisih suhu (ΔT) rata-rata sebesar 32.13 °C. Keluaran TEG sebelum stepdown converter menunjukkan tegangan rata-rata sebesar 13.93 V dengan arus rata-rata 0.041 A, sehingga daya listrik rata-rata yang dihasilkan adalah 0.56 W. Setelah melalui stepdown converter, tegangan sistem stabil di 5.01 V dengan arus rata-rata 0.056 A, menciptakan daya listrik yang diterima aki sebesar 0.28 W.



**Gambar 20. Hubungan ΔT terhadap daya output stepdown**

Berdasarkan pengujian, daya yang disuplai ke aki dalam kondisi beban pompa saja adalah 0.21 W dengan tegangan stabil di 5.01 V dan arus 0.043 A. Dengan beban gabungan (pompa dan lampu), daya meningkat menjadi 0.28 W dan arus 0.056 A, menunjukkan kinerja TEG yang baik dan stabilitas tegangan yang terjaga meskipun transaksi beban bertambah. Namun, peningkatan beban juga mengharuskan peningkatan daya dari sistem TEG.

#### 4. Analisis Perbandingan Daya Teoritis dan Aktual

Analisis potensi energi listrik dari thermoelectric generator (TEG) mengevaluasi perbandingan antara daya teoritis dan aktual. Daya teoritis dihitung berdasarkan spesifikasi modul TEG, sedangkan daya aktual diukur dari 20 modul TEG yang dirangkai seri. Setiap modul memiliki arus konsisten, sedangkan tegangan total adalah jumlah tegangan setiap modul. Modul TEG SP1848-27145 menunjukkan hubungan antara selisih suhu ( $\Delta T$ ), tegangan open circuit, dan arus keluaran, dengan hasil pengujian menunjukkan  $\Delta T$  rata-rata 32.13 °C. Perhitungan teoritis menggunakan interpolasi linier antara  $\Delta T = 20$  °C dan  $\Delta T = 40$  °C menghasilkan tegangan open circuit sebesar 1.47 V dan arus 0.312 A pada  $\Delta T = 32.13$  °C untuk satu modul TEG, dengan daya teoritis sebesar 0.46 W. Untuk 20 modul, daya teoritis total sistem mencapai 9.2 W. Namun, pengujian aktual hanya menghasilkan daya rata-rata 0.56 W, dengan tegangan 13.93 V dan arus 0.041 A, yang berarti daya rata-rata per modul sekitar 0.028 W. Penurunan daya aktual disebabkan oleh kondisi pengujian yang terhubung langsung ke beban seperti stepdown converter dan aki, sehingga modul tidak beroperasi pada titik daya maksimum. Selain itu,  $\Delta T$  merupakan rata-rata sehingga tidak semua modul memiliki perbedaan suhu yang sama. Kerugian energi dari sambungan kabel, komponen elektronik, dan efisiensi stepdown converter yang kurang dari 100% juga berkontribusi terhadap hasil ini. Meski potensi daya listrik sistem TEG tinggi secara teoritis, implementasi aktual menyajikan daya yang lebih rendah akibat pengaruh beban. Sistem TEG tetap berfungsi sebagai sumber energi listrik alternatif kecil yang dapat menghasilkan tegangan dan daya listrik secara kontinu selama proses pembakaran, memungkinkan konversi panas buangan menjadi energi listrik yang berguna untuk pengisian aki.

#### 5. Analisis Waktu Pengisian Aki

Pada pengujian, daya rata-rata aki saat beban pompa adalah 0.21 W dan saat beban gabungan pompa dan lampu adalah 0.28 W. Untuk analisis waktu pengisian aki, digunakan daya rata-rata 0.2 W. Aki memiliki tegangan 4V dan kapasitas 4.5Ah, sehingga total kapasitas energi adalah 18Wh. Dengan daya pengisian dari sistem TEG sebesar 0.2 W, waktu pengisian aki dapat dihitung secara teoritis.

$$t = \frac{E_{aki}}{P} \quad (5)$$

$$t = \frac{18Wh}{0.2 W} = 90 \text{ jam}$$

Pengisian aki dengan menggunakan sistem Thermoelectric Generator (TEG) memerlukan waktu teoritis sekitar 90 jam jika berjalan dengan efisiensi 100%. Namun, dalam praktik, waktu ini lebih lama karena efisiensi TEG tidak pernah mencapai 100%, serta adanya kerugian energi pada stepdown converter dan selama proses pengisian. Fluktuasi suhu ( $\Delta T$ ) dan penggunaan sebagian energi untuk beban seperti pompa dan lampu juga berkontribusi terhadap waktu pengisian yang lebih lama. TEG hanya mampu menghasilkan daya sekitar 0.2 W dari panas buangan tungku bakaran bata merah, menjadikannya kurang efisien untuk pengisian aki.

## 4. KESIMPULAN

### 4.1 Kesimpulan

1. Sistem thermoelectric generator (TEG) yang dirancang dapat mengonversi panas buangan dari tungku pembakaran bata merah menjadi energi listrik, dengan rata-rata suhu sisi panas 59.98 °C dan sisi dingin 31.38 °C. Selisih suhu ( $\Delta T$ ) rata-rata mencapai 28.60 °C, menghasilkan tegangan keluaran sebesar 14.51 V, menunjukkan efektivitas sistem TEG dalam memanfaatkan panas buangan.

2. Pada pengujian, TEG menghasilkan daya listrik rata-rata 0.48 W sebelum stepdown converter, dan 0.21 W setelahnya. Dengan pengujian gabungan pompa dan lampu, daya rata-rata meningkat menjadi 0.28 W. Teoritis, pengisian aki berkapasitas 4 V / 4.5 Ah dapat memakan waktu 90 jam jika efisiensi 100%.
3. Evaluasi menunjukkan bahwa energi listrik tergantung pada selisih suhu ( $\Delta T$ ) antara sisi panas dan dingin modul TEG, dengan daya pengisian aktual berkisar 0.2 hingga 0.28 W, berbeda dari teori yang mencapai 0.56 W sebelum stepdown converter. Penurunan ini disebabkan oleh rugi energi dan variasi output tegangan modul TEG, meskipun sistem TEG efektif dalam memanfaatkan panas buangan.

## 5. DAFTAR RUJUKAN

- [1] A. Rifandi, E. Nuraini, and A. Purnama, "REDESAIN TUNGKU PEMBAKARAN BATU BATA MENGGUNAKAN BAHAN BAKAR KAYU DAN SEKAM PADI," 2022.
- [2] M. Sami, "Pemanfaatan Panas Limbah Sekam Padi pada Proses Pengeringan Gabah," *Jurnal Sains dan Teknologi Reaksi*, vol. 9, no. 2, 2016, doi: 10.30811/jstr.v9i2.142.
- [3] M. Masaji, M. Facta, and B. Winardi, "PEMANFAATAN THERMOELECTRIC ENERGY GENERATOR (*TEG*) SEBAGAI SUMBER ENERGI LISTRIK MENGGUNAKAN BUCK CONVERTER DENGAN UMPAN BALIK TEGANGAN BERBASIS IC TL494," *TRANSIENT*, vol. 7, no. 4, 2019, doi: 10.14710/transient.7.4.1106-1112.
- [4] S. S. Putra and H. Habibullah, "Prototipe Sistem Generator Termoelektrik Sebagai Pembangkit Listrik Memanfaatkan Limbah Panas Pabrik Semen," *JTEIN: Jurnal Teknik Elektro Indonesia*, vol. 4, no. 2, Aug. 2023, doi: 10.24036/jtein.v4i2.451.
- [5] A. S. Ismailov and Z. B. Jo'rayev, "Study of arduino microcontroller board," *"Science and Education" Scientific Journal*, vol. 3, no. 3, 2022.
- [6] Badan Pusat Statistik Kabupaten Subang, "POTENSI SENTRA INDUSTRI KECIL DAN KERAJINAN RUMAH TANGGA DI KABUPATEN SUBANG TAHUN 2012 - 2013," <https://subangkab.bps.go.id/id/statistics-table/1/MTMzIzE=/potensi-sentra-industri-kecil-dan-kerajinan-rumah-tangga-di-kabupaten-subang-tahun-2012-2013.html>.
- [7] M. F. Rosyidi, D. B. Santoso, and L. Nurpulaela, "Rancang bangun kompor biomassa penghasil energi listrik untuk mengisi baterai 12 V," *Teknika: Jurnal Sains dan Teknologi*, vol. 16, no. 2, 2020, doi: 10.36055/tjst.v16i2.9112.
- [8] M. Huda and E. Hastuti, "PENGARUH TEMPERATUR PEMBAKARAN DAN PENAMBAHAN ABU TERHADAP KUALITAS BATU BATA."
- [9] Febrin Sitorus, "Pemanfaatan Waste Heat Boiler untuk Memproduksi Uap Jenuh dengan Memanfaatkan Panas Buang dari Tungku Listrik no. 4 Peleburan Calcine PT Vale Indonesia," INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER SURABAYA, 2019.
- [10] N. Bonardo *et al.*, "Science and Technology RANCANGAN TERMoelektrik GENERATOR (*TEG*) PORTABEL PADA KNALPOT SEPEDA MOTOR DENGAN MATERIAL ALUMUNIUM SEBAGAI KONDUKTOR," 2021. [Online]. Available: <http://jurnal.uts.ac.id>

- [11] C. Hudaya, "RANCANGAN TERMOELEKTRIK GENERATOR (*TEG*) PORTABEL PADA KNALPOT SEPEDA MOTOR DENGAN MATERIAL ALUMINIUM SEBAGAI KONDUKTOR," *Jurnal TAMBORA*, vol. 5, no. 1, 2021, doi: 10.36761/jt.v5i1.1001.
- [12] D. Nur Huda, D. Siti, and A. Kumala, "Didik Nur Huda & Siti Ayu Kumala / Identifikasi Termoelektrik Generator sebagai 6 SINASIS 1 (1) (2020) P r o s i d i n g S e m i n a r N a s i o n a l S a i n s Identifikasi Termoelektrik Generator sebagai Pembangkit Tenaga Listrik."
- [13] M. N. Almahmudy and S. Handayani, "PROTOTYPE PEMBANGKIT LISTRIK ALTERNATIF MENGGUNAKAN THERMOELECTRIC GENERATOR DENGAN SISTEM PENYERAPAN PANAS SINAR MATAHARI," 2020.
- [14] S. C. Puspita, H. Sunarno, and B. Indarto, "Generator Termoelektrik untuk Pengisian Aki," *Jurnal Fisika dan Aplikasinya*, vol. 13, no. 2, p. 84, Jun. 2017, doi: 10.12962/j24604682.v13i2.2748.
- [15] A. Wijaya, R. Soenoko, and S. Wahyudi, "Pengaruh rangkaian seri paralel sel peltier dan beda temperatur terhadap daya listrik yang dihasilkan sel peltier," *J Chem Inf Model*, vol. 53, no. 9, 2019.
- [16] G. Andrapica, R. I. Mainil, and A. Aziz, "Pengujian Thermoelectric Generator Sebagai Pembangkit Listrik Dengan Sisi Dingin Menggunakan Air Bertemperatur 10 °c," *Jurnal Sains dan Teknologi*, vol. 14, no. 2, 2017.
- [17] Sofia Debi Puspa, I Putu Budi Dharma, Sentot Novianto, Supriyadi, and M. Alfian Gibran, "Study Characteristic Thermal Electric Generator (*TEG*) Type SP1848 27145 SA," *Jurnal Asimetri: Jurnal Ilmiah Rekayasa & Inovasi*, 2024, doi: 10.35814/asiimetrik.v6i1.5561.