

Pemanfaatan Panas pada Tungku Pembakaran Sebagai Pembangkit Listrik dengan Peltier

Putri Ramadhani Roziqin*, Ratnasari Nur Rohmah

Jurusan Teknik Elektro/Fakultas Teknik – Universitas Muhammadiyah Surakarta
Surakarta, Indonesia

*putrir1999@gmail.com

Abstract— This article describes research on an effort to use the heat sources from a furnace to produce an alternative electrical energy. The main component in this research is the peltier component which is a thermoelectric element that working on hot difference effect. The optimum arrangement of the peltier components used in this study was determined by conducting an experimenting with varieties of series-parallel combinations, to obtain the required voltage and current. Other components used in this study are the MT3608 Step-Up Module, TP4056, 18650 Lithium Battery, 5V USB Boost Module, and Galvalum. The results on performance tests shows that this micro thermal power plant is working as expected. Fifteen peltiers combine in 5 serial and 3 parallel arrays, and other supporting components, have succeeded in producing electricity that can be used to charge 18650 Lithium battery. The gain of DC electrical energy from the 5 series 3 parallel peltier circuit is 0.425W at a temperature of 65°C. And the existence of a step-up module and a 5V USB Boost, increase the benefits of the system, in which the electricity generated can be used to supply 5V dc loads.

Abstrak— Artikel ini memaparkan penelitian pemanfaatan sumber panas dari suatu tungku pembakaran untuk menghasilkan energi listrik alternatif. Komponen utama dalam penelitian ini adalah komponen peltier yang merupakan elemen thermo yang mengimplementasikan efek kerja panas. Susunan komponen peltier yang digunakan dari penelitian ini, ditentukan dengan eksperimen beberapa kombinasi seri-paralel, untuk mendapatkan besar tegangan dan arus yang diperlukan. Selain peltier, komponen lain yang digunakan pada penelitian ini adalah, Modul Step-Up MT3608, TP4056, Baterai Lithium 18650, Modul USB Boost 5V, dan galvalum. Hasil dari uji coba menunjukkan sistem pembangkit listrik yang dibuat telah bekerja sesuai dengan yang diharapkan. Lima belas peltier dengan kombinasi susunan 5 serial, 3 paralel, dan komponen pendukung lainnya, telah berhasil menghasilkan listrik yang bisa digunakan untuk mengisi Baterai Lithium 18650. Perolehan energi listrik dc dari rangkaian peltier 5 seri 3 paralel adalah sebesar 0,425W pada temperatur suhu 65(°C). Adanya modul step-up dan USB Boost 5V, memperbesar manfaat dari sistem yang dibuat, dimana listrik yang dihasilkan bisa digunakan untuk mencatu beban 5V dc.

Kata Kunci— *electrical energy; peltier; fire heat; furnace; lithium battery*

I. PENDAHULUAN

Energi listrik memiliki peranan yang penting dalam pencapaian tujuan sosial, ekonomi maupun lingkungan untuk kehidupan berkelanjutan serta merupakan pendukung bagi kegiatan ekonomi nasional. Penggunaan energi listrik di Indonesia meningkat sangat pesat sejalan dengan pertumbuhan ekonomi dan penambahan penduduk. Sedangkan akses menuju energi listrik yang andal dan terjangkau merupakan prasyarat utama untuk meningkatkan standar hidup masyarakat [1]. Berbagai

peralatan dan teknologi yang dipakai dalam kegiatan sehari-hari dalam perkembangan teknologi zaman sekarang hampir sebagian besar menggunakan energi listrik. Hal ini menjadikan energi listrik sebagai sumber energi utama. Saat ini bahan bakar fosil adalah bahan yang banyak digunakan sebagai sumber pembangkit listrik, tetapi bahan tersebut merupakan sumber daya alam yang tidak dapat diperbarui (*non renewable energy*) dan ketersediaannya terbatas jika dipakai terus menerus dan semakin lama akan habis seiring berjalannya waktu [2–6]. Banyaknya permintaan kebutuhan listrik yang terus meningkat mengakibatkan ketidakseimbangan antara permintaan dan persediaan, maka sumberenergiilistrik yang dapat diperbarui akan sangat diperlukan (*renewable energy*).

Naskah diterima 18 Juni 2021, diterima setelah revisi 12 Juli 2021, terbit online 25 Februari 2022. Emitor merupakan jurnal Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Surakarta yang terakreditasi Sinta 4 dengan alamat Gedung H Lantai 2 UMS, Jalan Ahmad Yani Tromol Pos 1 Surakarta Indonesia 57165.

Seiring dengan banyaknya penggunaan sumber listrik yang tidak dapat diperbaharui, peningkatan pertumbuhan ekonomi Indonesia juga terus meningkat sejalan dengan meningkatnya konsumsi energi listrik. Peningkatan konsumsi listrik diperkirakan naik rata-rata 6,5% per tahunnya hingga tahun 2020. Konsumsi listrik yang besar akan menjadi masalah karena jumlah ketersediaan listrik tidak sebanding dengan jumlah kebutuhannya. Kebijakan yang diambil oleh PLN (Perusahaan Listrik Negara) sebagai BUMN (Badan Usaha Milik Negara) yang menyediakan energi listrik semakin menunjukkan bahwa PLN sudah tidak mampu lagi memenuhi kebutuhan listrik nasional [7]. Akibatnya semakin menipis cadangan sumber energi listrik, terutama bahan bakar minyak khususnya bahan bakar fosil yang tidak terbarukan. Hal ini menuntut Indonesia agar mencari bahan bakar alternatif yang bersifat terbarukan. Pernyataan tersebut merupakan bukti terjadinya krisis ketenagalistrikan di Indonesia [8].

Energi terbarukan merupakan sebuah pengembangan dari berbagai sumber daya yang sudah ada. Berbagai peneliti membuat pengembangan sumber daya yang dapat diperbarui atau dapat digunakan secara terus menerus, agar bisa digunakan dalam jangka panjang tanpa takut kehabisan jika digunakan. Peneliti melakukan pengembangan sumber daya listrik karena semakin tinggi permintaan energi listrik. Dikutip dari dinas lingkungan hidup dan kebersihan, konsep dari energi yang terbarukan sendiri baru mulai dikenal secara meluas pada tahun 1970-an. Karena penggunaan energi yang tidak terbarukan secara masif dan besar-besaran maka muncul energi terbarukan yang merupakan sebuah kemajuan atas pengembangannya. Salah satu energi alternatif atau terbarukan untuk mengurangi penggunaan bahan bakar fosil sebagai penghasil listrik adalah peltier. Peltier dapat membangkitkan energi listrik apabila terjadi perbedaan suhu pada sisi badan peltier. Peltier merupakan elemen thermo yang mengimplementasikan efek kerja panas. Peltier ini memiliki dua plat, satu dingin dan satunya panas. Diantara plat ada beberapa thermocouple yang merupakan semikonduktor berbahan Bismuth Telluride dengan 2 tipe yang berbeda, satu tipe N dan satunya tipe P [9–11].

Bahan pada komponen termoelektrik adalah bahan yang dapat mengkonversi energi panas menjadi energi listrik atau jika diberi tegangan listrik maka akan terjadi beda temperatur. Dampak atau resiko dari alat termoelektrik kecil tidak menghasilkan gas beracun karbon dioksida maupun polusi lain seperti elemen logam berat [12]. Terdapat dua konsep yang mendasari cara kerja peltier. Konsep seebeck sebagai efek dari dua buah

material logam yang tersambung berada di lingkungan dengan dua temperatur berbeda, maka di material tersebut akan mengalir arus listrik atau gaya gerak listrik. Sedangkan efek termoelektrik adalah kebalikan dari efek *seebeck* apabila dua buah logam direkatkan kemudian dialirkan listrik maka di antara kedua sisi logam tersebut terjadi perbedaan temperatur [13]. Panas reversibel dari reaksi elektroda, yang disebut sebagai panas *Peltier elektrokimia* (EPH), juga merupakan kuantitas yang sangat penting dalam termoelektrokimia, sering digunakan untuk penelitian tentang termodinamika dan kinetika reversibel [14]. Perubahan energi total elektron berlawanan tanda dengan perubahan energi elektrostatisnya. Jika partikel bermuatan bergerak bebas dalam medan listrik, energi dibebaskan. Tanda yang berlawanan berarti bahwa energi diserap pada sambungan panas termokopel. Persimpangan panas didinginkan, dan yang dingin dipanaskan.

Jadi, perbedaan suhu antara dua sambungan termokopel menghasilkan tegangan, jika rangkaian terputus. Tegangan tergantung pada suhu. Ini adalah efek Seebeck. Jika rangkaian ditutup, arus listrik memanaskan sambungan dingin dan mendinginkan sambungan panas. Efek arus ini mengurangi perbedaan suhu antara sambungan termokopel. Jika catu daya eksternal dialihkan ke sirkuit, itu menghasilkan arus listrik, mendinginkan satu persimpangan dan memanaskan yang lain, tergantung pada arah arus. Ini adalah efek Peltier [15]. Perangkat thermoelectric dapat digunakan untuk menghasilkan energi listrik arus searah (DC) ketika terjadi perbedaan temperatur. Namun, saat ini bahan thermoelectric yang tersedia mempunyai $ZT < 1$ dan efisiensi perangkat dalam menghasilkan energi listrik jarang melebihi 5%. Kinerja ini membatasi thermoelectric generator untuk aplikasi dimana persyaratannya untuk operasi jarak jauh, tahan uji, tidak ada bagian yang bergerak, dan tidak menimbulkan suara telah melebihi aspek yang lebih buruk dari biaya mahal dan efisiensi konversi yang rendah [16]. Penggunaan peltier sebagai penghasil listrik juga dapat meningkatkan penggunaan sumber alternatif yang efisien dan ekonomis, karena sumber yang digunakan adalah sumber yang tersedia di bumi seperti salah satu contoh yaitu menggunakan sampah, di mana saat ini terdapat limbah atau sampah plastik yang sering tertimbun di pinggir jalan maupun di aliran sungai. Selain karena sumber yang tersedia sangat banyak, energi alternatif ini juga tidak menggunakan banyak biaya, jika menggunakan sampah maka dapat menggunakan sampah kering yang mudah di bakar sebagai sumber panas untuk pembangkit listrik dengan peltier. Energi alternatif ini juga dapat

digunakan untuk sumber pencahayaan, seperti di *Desa Borimatangka Kecamatan Bajeng Barat Provinsi Sulawesi Selatan* telah menggunakan pembangkit listrik dengan peltier sebagai pencahayaan peternakan ayam. Sumber yang digunakan yaitu limbah kayu dan kotoran ternak [17]. Penelitian perihal konstruksi TEC saat sepeda motor hidup pada putaran mesin 4500 rpm dengan pendinginan sirip-sirip aluminium dan modul tipe termoelektrik HZ14 terjadi perbedaan temperatur 65°C pada waktu 15 menit dan didapat tegangan output 664-665mVa [18].

Maka dari itu dalam penelitian ini disajikan sebuah gagasan Pemanfaatan Panas pada Tungku Pembakaran dengan Peltier. Terdapat beberapa alat dan bahan yang digunakan yaitu peltier TEC1-12706, Modul Step-Up MT3608, TP4056, Baterai Lithium 18650, Modul USB Boost 5V, dan galvalum. Konsep dari alat yang dibuat ialah dengan memanfaatkan komponen peltier sebagai penghasil listrik. Peltier dapat menghasilkan listrik karena terdapat perbedaan panas dan dingin yang diserap oleh peltier. Sisi panas menyerap panas yang dihasilkan oleh pembakaran pada galvalum sedangkan sisi dingin dihasilkan oleh udara luar. Listrik yang dihasilkan kemudian dinaikkan menggunakan modul Step-Up MT3608. Kemudian TP4056 digunakan sebagai control pengisian ke baterai. Baterai digunakan sebagai penyimpanan sementara. Selanjutnya USB Boost 5V digunakan sebagai connector USB. Output yang dihasilkan tersebut kemudian dimanfaatkan untuk pengisian daya handphone, sebagai sumber Arduino, maupun yang lainnya yang membutuhkan sumber tegangan 5V.

II. METODE PENELITIAN

Metode yang digunakan yaitu dengan cara metode observasi, dimulai dari studi literatur (mencari kajian pustaka yang sudah ada agar dapat dijadikan dasar pelaksanaan observasi), pembuatan alat (mulai dari desain, pembelian bahan, perakitan), pengujian kelayakan (pengujian awal alat dapat digunakan), pengujian kelengkapan (pengujian yang bertujuan untuk mendapatkan hasil nyata yang akan dibahas sebagai analisa sesuai dengan data dari lapangan), sampai analisa hasil seperti yang terlihat dalam Gambar 1.

Penelitian ini dimulai dengan perencanaan konsep seperti pemilihan jenis peltier, menentukan jumlah peltier, pemilihan bahan untuk tungku pembakaran, dan pemilihan bahan bakar. Setelah itu menyiapkan alat dan bahan yang digunakan seperti thermogun untuk mengukur suhu, multimeter digital untuk mengukur

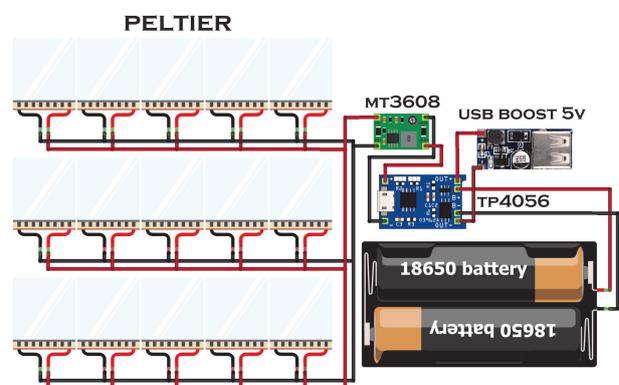


Gambar 1: Diagram Alir Metode Pelaksanaan

tegangan dan arus, dan komponen elektronika. Kemudian perancangan alat atau pembuatan alat seperti pembuatan tungku pembakaran, pemasangan peltier pada tungku, dan pemasangan komponen elektronika. Kemudian pengujian alat. Jika alat yang dibuat sudah berjalan dengan baik maka dilanjut melakukan pendataan hasil dan pembuatan laporan. Tetapi jika pengujian belum berhasil maka dilakukan perbaikan setelah itu diuji kembali sampai berhasil. Efisiensi maksimal dari perangkat thermoelectric dalam pembangkit listrik ditentukan oleh hubungan Persamaan 2 [19–21].

$$\eta_{\max} = \left[\frac{T_H - T_C}{T_H} \right] \left[\frac{\sqrt{ZT_m + 1} - 1}{\sqrt{1 + ZT_m + \frac{T_C}{T_H}}} \right] \quad (1)$$

dengan Z adalah *figure of merit*, T_H dan T_C adalah temperatur sisi panas dan sisi dingin. T_m adalah rata-rata yang didapat dari hubungan $(T_H + T_C)/2$.



Gambar 2: Diagram Wiring

i. Perancangan Elektronika

Gambar 2 menunjukkan diagram wiring dari alat yang dibuat. Pada penelitian ini menggunakan peltier TEC1-12706 sebanyak 15 peltier yang dirangkai secara 5 seri 3 paralel, karena pada pengujiannya dibutuhkan tegangan minimum 2,5V dan arus minimum 0.12A untuk dapat menyalakan komponen penunjang lainnya. Tulisan yang tertera pada badan peltier menunjukkan seri dan spesifikasi dari modul peltier tersebut, dalam tulisan yang tertera pada badan peltier menunjukkan bahwa modul peltier tersebut memiliki spesifikasi sebagai berikut:

1. Ukurana: $40 \times 40 \times 3.9\text{mm}$
2. $I_{\text{max}} - 7\text{A}$
3. $U_{\text{max}} - 15.4\text{V}$
4. $Q_{\text{max}} - 62.2\text{W}$
5. $T_{\text{max}} - 69\text{C}$
6. 1.7 Ohm resistance
7. 127 thermo couples
8. Suhu max: 180°C
9. Suhu operasi min: -50°C

Untuk lebih jelasnya dalam memahami atau membaca spesifikasi dari modul peltier bisa dilihat pada gambar 3 (a). Modul peltier yang sering digunakan secara umum memiliki ukuran dimensi yang sama yaitu sekitar $4\text{cm} \times 4\text{cm}$, gambaran dari ukuran dimensi yang dimiliki modul peltier bisa dilihat pada gambar 3 (b). Banyak jenis atau macam modul peltier yang ada dipasaran, namun yang masuk dan ada di Indonesia tidak begitu banyak. Di bawah ini bisa dilihat pada gambar 3 (c) beberapa macam modul peltier yang banyak digunakan beserta spesifikasi yang dimiliki.

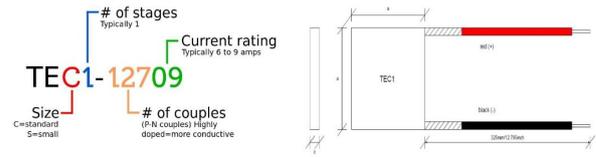
Tegangan yang dihasilkan oleh rangkaian peltier 5 seri 3 paralel tersebut kemudian akan dinaikkan menggunakan modul step-up MT3608. Tabel 1 merupakan datasheet dari modul step-up MT3608.

Pada perancangan ini tegangan hanya dinaikkan sampai 5V untuk mensupply tegangan ke komponen TP4056. Berikut Tabel 2 datasheet dari komponen TP4056.

Komponen TP4056 ini digunakan untuk mengatur pengisian daya ke baterai. Prinsip kerja dari komponen TP4056 ini yaitu jika baterai sudah terisi penuh maka

Tabel 1: Datasheet modul step-up MT3608

Modul step-up MT3608		
Tegangan input	Tegangan output	Arus maksimal
2 – 24V	Up to 28V	4A



(a) (b)

Model	a*a*c to mm/inch	Schenkel	I _{max} to A	U _{max} to V	Q _{cmax} to W ΔT=0	ΔT max to K Q _c = 0
TEC1-12704T200	40*40*4,7/ 1.575*1.57 5*0.185	127	4	15,2	37,7	67,0
TEC1-12705T200	40*40*4,2/ 1.575*1.57 5*0.165	127	5	15,2	47,1	67,0
TEC1-12706T200	40*40*3,9/ 1.575*1.57 5*0.154	127	6	15,2	56,5	67,0
TEC1-12708T200	40*40*3,9/ 1.575*1.57 5*0.142	127	8	15,2	75,4	64,0
TEC1-12710T200	40*40*3,9/ 1.575*1.57 5*0.13	127	10	15,2	94,2	64,0

(c)

Gambar 3: Spesifikasi dan modul peltier (a) arti tulisan pada peltier (b) ukuran peltier (c) data peltier

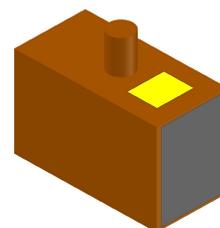
Tabel 2: Datasheet Modul TP4056 Modul TP4056

Modul TP4056	
Tegangan kerja	Arus maksimal
4,5 - 5V	1A

komponen tersebut akan secara otomatis memutus daya yang mengalir ke baterai. Tetapi jika baterai belum terisi penuh maka komponen tersebut akan secara otomatis menghubungkan kembali daya ke baterai supaya baterai dapat terisi kembali. Kemudian terdapat juga komponen USB Boost. Berikut Tabel 3 datasheet USB Boost.

Tabel 3: Datasheet Modul USB Boost

Modul USB Boost		
Tegangan input	Tegangan output	Arus maksimal
0,9 - 5V	5V	600mA



Gambar 4: Desain Tungku

Selain dapat menaikkan tegangan output, komponen ini juga dapat menstabilkan tegangan keluaran menjadi 5V DC. Setelah tegangan distabilkan selanjutnya rangkaian dapat digunakan untuk perangkat-perangkat elektronik yang membutuhkan tegangan 5V seperti pengisian daya baterai handphone, sebagai sumber daya untuk menyalakan Arduino, menyalakan kipas DC 5V.

ii. Perancangan desain tungku

Gambar 4 menunjukkan desain dari tungku yang digunakan. Untuk dimensi tungku tersebut yaitu $P \times L \times T = 60\text{cm} \times 30\text{cm} \times 40\text{cm}$. Area warna kuning tersebut digunakan untuk penempatan peltier. Peltier diletakkan pada bagian atas tungku supaya dapat menyerap panas dengan baik. Sedangkan untuk area warna abu-abu tersebut digunakan untuk pintu masuk bahan yang akan dibakar.

III. HASIL PENELITIAN DAN DISKUSI

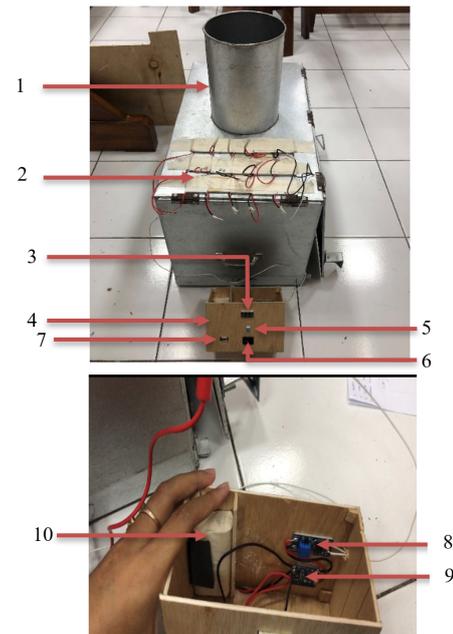
Pengujian yang pertama dengan menggunakan perbedaan suhu awal dengan penambahan air dingin dan pemasangan TEC secara seri menghasilkan data tabel percobaan dan data tabel perhitungan seperti pada gambar 5. Pada pembahasan ini penulis merancang prototipe tungku pembakaran yang di sisi bagian atas tungku terdapat rangkaian peltier yang telah disusun. Peltier tersebut nantinya digunakan untuk membangkitkan energi listrik. Pengujian dilakukan untuk mengetahui daya listrik yang dihasilkan oleh peltier. Pengujian dilakukan dengan cara melakukan pembakaran pada tungku dengan memanfaatkan suhu yang berbeda yang didapat dari rangkaian peltier. Dalam penyusunannya dibagi menjadi 3 yaitu secara seri, paralel, dan seri paralel.

i. Hasil Hardware

Hasil hardware ditunjukkan pada gambar 5, dengan susunan piranti: (1) tungku pembakaran 60 cm \times 30 cm \times 40 cm, (2) susunan peltier TEC-12706, (3) tampilan tegangan baterai (4) boks rangkaian 10cm \times 5cm \times 8cm, (5) push button indikator baterai (6) saklar dc untuk menyalakan output usb, (7) step up usb, (8) modul step up MT 3608, (9) controller charge TP 4056, (10) baterai Littium 18650.

ii. Mengukur Tegangan dan Arus 1 Buah Peltier

Peltier dapat menghasilkan listrik dengan memanfaatkan efek seebeck, efek seebeck merupakan fenomena



Gambar 5: Hasil hardware

yang mengubah perbedaan temperatur menjadi energi listrik. Berikut Tabel 7 dan gambar 6 menunjukkan grafik data tegangan dan arus yang diperoleh 1 buah peltier ketika diberikan suhu panas pada salah satu sisi peltier:

Tabel 4: Buah Peltier

Suhu (C)	Tegangan (V)	Arus (A)
25	0	
30	0.20	
35	0.38	
40	0.40	
45	0.44	
50	0.46	
55	0.48	
60	0.50	
65	0.54	0.05

iii. Merangkai Peltier Secara Serial

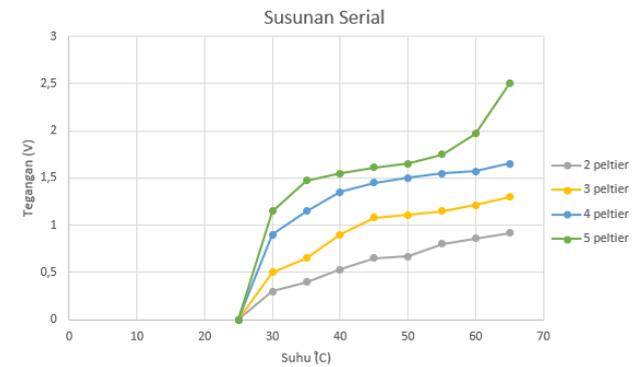
Sesuai dengan dasar teori, rangkaian seri akan menambahkan jumlah tegangan pada suatu rangkaian. Pengujian kali ini dimulai dari 2 peltier, 3 peltier, 4 peltier, dan 5 peltier dengan kenaikan tegangan tiap peltier berkisar 0,3 sampai 0,5 volt, perubahan kenaikan tegangan dapat dilihat dalam Persamaan 2 berikut.

$$\varepsilon_T = \varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \varepsilon_3 + \dots + \varepsilon_n \quad (2)$$



Gambar 6: Buah peltier

dengan $\epsilon = ggl (v)$. Kenaikan tegangan juga dapat dilihat dari gambar grafik dan tabel di bawah ini. Berikut Tabel 5 dan gambar 7 menunjukkan data kenaikan tegangan pada rangkaian seri:



Gambar 7: Grafik kenaikan tegangan pada susunan serial

iv. Merangkai Peltier Secara Paralel

Sesuai dengan dasar teori, rangkaian paralel akan menambahkan jumlah arus pada suatu rangkaian. Pengujian kali ini dimulai dari 2 peltier, dan 3 peltier dengan kenaikan arus 0,07 ampere, perubahan kenaikan arus dapat dilihat dari rangkaian paralel seperti terlihat dalam Persamaan 3.

$$I_T = I_1 + I_2 \tag{3}$$

dengan $I =$ arus (A). Kenaikan arus juga dapat dilihat dari gambar grafik dan tabel dibawah ini. Berikut Tabel 6 dan gambar 8 menunjukkan kenaikan arus pada rangkaian paralel :

v. Merangkai Peltier 5 Serial 3 Paralel

Untuk mendapatkan hasil yang optimal, dilakukan rangkaian gabungan antara seri dan paralel. Perolehan energi listrik dari rangkaian peltier 5 seri 3 paralel sebesar

Tabel 5: Nilai kenaikan tegangan pada susunan serial

Jumlah Peltier	Suhu (C)	Tegangan (V)	Arus (A)
2	25	0	
	30	0.30	
	35	0.40	
	40	0.53	
	45	0.65	
	50	0.67	
	55	0.80	
3	60	0.86	
	65	0.92	0.05
	25	0	
	30	0.50	
	35	0.65	
	40	0.90	
	45	1.08	
4	50	1.11	
	55	1.15	
	60	1.21	
	65	1.30	0.05
	25	0	
	30	0.90	
	35	1.15	
5	40	1.35	
	45	1.45	
	50	1.50	
	55	1.55	
	60	1.57	
	65	1.65	0.05
	5	25	0
30		1.15	
35		1.47	
40		1.55	
45		1.61	
50		1.65	
55		1.75	
5	60	1.97	
	65	2.50	0.05

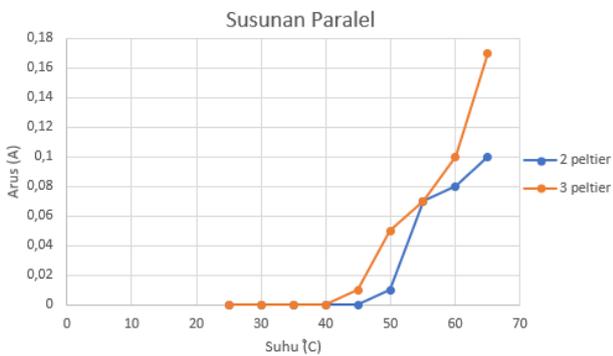
0,425W. Berikut Tabel 7 dan gambar 9 menunjukkan data tegangan dan arus yang diperoleh 15 buah peltier ketika diberikan suhu panas pada salah satu sisi peltier dan terhubung secara seri paralel:

vi. Pengujian Pengisian Baterai

Pengisian baterai dilakukan ketika panas api telah diserap peltier dan diubah menjadi energi listrik, selanjutnya tegangan listrik dinaikkan agar dapat menyalakan

Tabel 6: Nilai kenaikan arus pada susunan paralel

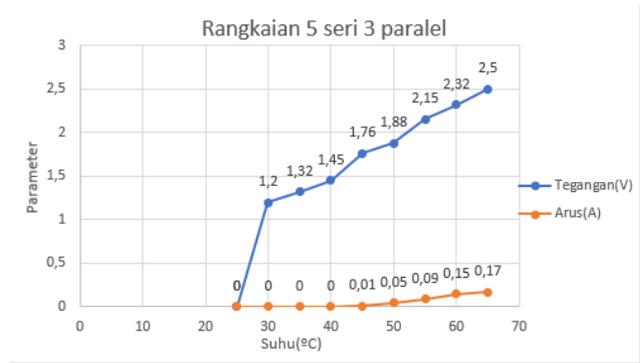
Jumlah	Suhu (C)	Tegangan (V)	Arus (A)
2	25	0	0
	30	0.15	0
	35	0.28	0
	40	0.30	0
	45	0.31	0
	50	0.33	0.01
	55	0.35	0.07
	60	0.36	0.08
65	0.41	0.10	
3	25	0	0
	30	0.17	0
	35	0.21	0
	40	0.30	0
	45	0.31	0.01
	50	0.32	0.05
	55	0.35	0.07
	60	0.37	0.10
65	0.41	0.17	



Gambar 8: Grafik kenaikan arus pada susunan paralel

Tabel 7: Nilai tegangan dan arus yang diperoleh rangkaian seri paralel

Suhu(°C)	Tegangan(V)	Arus(A)
25	0	0
30	1.20	0
35	1.32	0
40	1.45	0
45	1.76	0.01
50	1.88	0.05
55	2.15	0.09
60	2.32	0.15
65	2.50	0.17

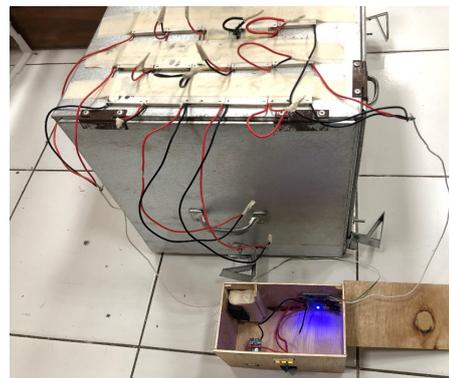


Gambar 9: Grafik tegangan dan arus yang diperoleh rangkaian seri paralel

controller charge. Controller charge digunakan untuk mengontrol pengisian baterai, pengisian baterai ditandai dengan led berwarna merah sedangkan jika baterai telah terisi penuh maka indikator led berubah menjadi warna biru. Pengisian baterai dapat dilakukan kurang lebih 5 sampai 8 jam. Berikut gambar 9 dan 10 menunjukkan proses pengisian baterai :



Gambar 10: Pengisian batterai kosong

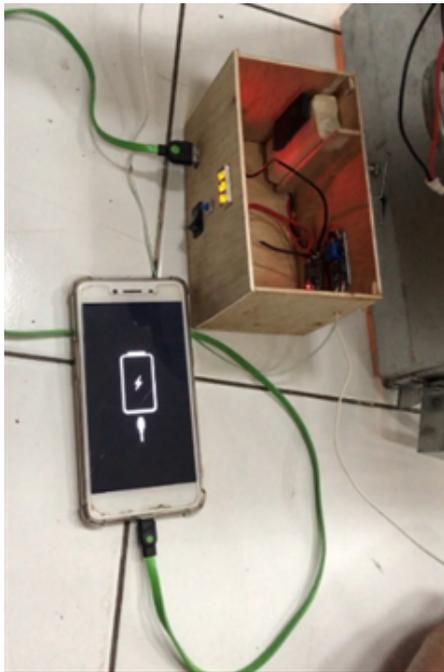


Gambar 11: Baterai telah terisi penuh

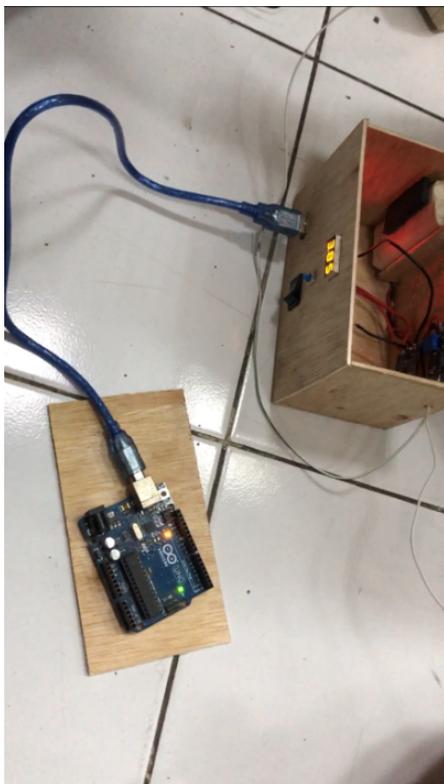
vii. *Pengujian Pengisian Daya Beban*

Pengujian selanjutnya yaitu pengisian daya pada suatu beban, pengujian berupa pengecasan handphone

dan menyalakan Arduino. Berikut gambar 11 dan 12 menunjukkan pengujian penggunaan pada beban:



Gambar 12: Pengisian daya handphone



Gambar 13: Pengujian menyalakan arduino

IV. KESIMPULAN

Dalam makalah ini pemanfaatan panas pada tungku pembakaran dengan peltier sebagai penghasil listrik telah dilakukan serta telah didapatkan hasil sesuai dengan yang diinginkan. Perolehan energi listrik dari rangkaian peltier 5 seri 3 paralel sebesar 0,425W pada temperatur suhu 65 (°C). Rangkaian ini sudah dapat menyalakan sistem untuk pengisian daya DC dengan masukan berupa usb. Panas pembakaran tungku juga dapat dilakukan dengan pembakaran sampah, bakaran arang, maupun api lilin. Ada beberapa bagian yang dapat disempurnakan seperti menggunakan jumlah peltier yang lebih banyak supaya energi yang dihasilkan lebih besar, pemberian pendinginan pada tungku agar peltier tidak cepat rusak karna terkena panas, dapat pula mengganti sumber panas seperti panas matahari dan panas knalpot kendaraan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] T. Suhaemi *et al.*, "Partisipasi masyarakat dalam pembangunan pembangkit listrik tenaga nuklir di Indonesia," in *Seminar Nasional Pendidikan Sains IV 2014*. Sebelas Maret University, 2014.
- [2] M. S. Rohman, S. Agus Supardi *et al.*, "Lantai piezoelektri sebagai penghasil sumber energi listrik dengan memanfaatkan pijakan kaki," Ph.D. dissertation, Universitas Muhammadiyah Surakarta, 2021.
- [3] K. Spanner dan B. Koc, "Piezoelectric motors, an overview," in *Actuators*, vol. 5, no. 1. Multidisciplinary Digital Publishing Institute, 2016, p. 6.
- [4] C. Chen, X. Wang, Y. Wang, D. Yang, F. Yao, W. Zhang, B. Wang, G. A. Sewvandi, D. Yang, dan D. Hu, "Additive manufacturing of piezoelectric materials," *Advanced Functional Materials*, vol. 30, no. 52, p. 2005141, 2020.
- [5] P. Dineva, D. Gross, R. Müller, dan T. Rangelov, "Piezoelectric materials," in *Dynamic fracture of piezoelectric materials*. Springer, 2014, pp. 7–32.
- [6] K. Uchino, "The development of piezoelectric materials and the new perspective," in *Advanced Piezoelectric Materials*. Elsevier, 2017, pp. 1–92.
- [7] M. Muchlis dan A. D. Permana, "Proyeksi kebutuhan listrik pln tahun 2003 sd 2020," *Pengembangan Sistem Kelistrikan Dalam Menunjang Pembangunan Nasional Jangka Panjang, Jakarta*. Retrieved from, 2003.
- [8] A. Abdulkadir, "Sekitar kenaikan harga tdl, krisis ketenagalistrikan dan usaha-usaha untuk menanggulanginya," *Energi*, no. 2001, 2001.
- [9] C. Alaoui, "Peltier thermoelectric modules modeling and evaluation," *International Journal of Engineering (IJE)*, vol. 5, no. 1, p. 114, 2011.
- [10] M. Nesarajah dan G. Frey, "Thermoelectric power generation: Peltier element versus thermoelectric generator," in *IECON 2016-42nd Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society*. IEEE, 2016, pp. 4252–4257.

- [11] M. Liao, Z. He, C. Jiang, Y. Li, F. Qi *et al.*, "A three-dimensional model for thermoelectric generator and the influence of peltier effect on the performance and heat transfer," *Applied Thermal Engineering*, vol. 133, pp. 493–500, 2018.
- [12] M. I. Sutjahja, "Penelitian bahan termoelektrik bagi aplikasi konversi energi dimasa datang," *Jurnal Maerial dan Energi Indonesia*, vol. 1, no. 1, 2010.
- [13] S. Anwar, S. P. Sari *et al.*, "Generator mini dengan prinsip termoelektrik dari uap panas kondensor pada sistem pendingin," *Jurnal Rekayasa Elekrika*, vol. 10, no. 4, pp. 180–185, 2013.
- [14] S. A. Sasmita, M. T. Ramadhan, M. I. Kamal, dan Y. Dewanto, "Alternatif pembangkit energi listrik menggunakan prinsip termoelektrik generator," *TESLA: Jurnal Teknik Elektro*, vol. 21, no. 1, pp. 57–61, 2019.
- [15] Y. Ohnuma, M. Matsuo, dan S. Maekawa, "Theory of the spin peltier effect," *Physical Review B*, vol. 96, no. 13, p. 134412, 2017.
- [16] E. Chaturvedi dan V. Mamtani, "An investigative methodology through solid modelling and numerical analysis for designing a thermo-electric generator system," *Journal of Thermal Engineering*, vol. 6, no. 2, pp. 99–113, 2019.
- [17] A. Adriani, "Analisis teknologi pembangkit listrik biomassa pada sistem pencahayaan peternakan ayam di desa borimatangkasa kec. bajeng barat," *VERTEX ELEKTRO*, vol. 11, no. 2, pp. 40–51, 2019.
- [18] H. Rafika, R. I. Mainil, dan A. Aziz, "Kaji eksperimental pembangkit listrik berbasis thermoelectric generator (teg) dengan pendinginan menggunakan udara," *Jurnal sains dan teknologi*, vol. 15, no. 1, pp. 7–11, 2016.
- [19] F. Domínguez-Adame, M. Martín-González, D. Sánchez, dan A. Cantarero, "Nanowires: A route to efficient thermoelectric devices," *Physica E: Low-dimensional Systems and Nanostructures*, vol. 113, pp. 213–225, 2019.
- [20] M. A. Zoui, S. Bentouba, J. G. Stocholm, dan M. Bourouis, "A review on thermoelectric generators: Progress and applications," *Energies*, vol. 13, no. 14, p. 3606, 2020.
- [21] X. Lu, Q. Zhang, J. Liao, H. Chen, Y. Fan, J. Xing, S. Gu, J. Huang, J. Ma, J. Wang *et al.*, "High-efficiency thermoelectric power generation enabled by homogeneous incorporation of mxene in (bi, sb) 2te3 matrix," *Advanced Energy Materials*, vol. 10, no. 2, p. 1902986, 2020.