

Design and Construction of a Solar Concentrator System as a Small-Scale Electrical Energy Harvester

Article History:

Received
9 January 2025

Revised
8 February 2025

Accepted
24 March 2025

**AKHMAD MUSAFA, HERLANGGA PRATAMA CHAN,
CHEISA KURNIA AZZAHRA, DICKY KHAIRUDIN, NIFTY
FATH**

Program Studi Teknik Elektro, Universitas Budi Luhur, Indonesia

Email: akhmad.musafa@budiluhur.ac.id

ABSTRAK

Pemanenan energi matahari sebagai sumber energi listrik alternatif selain menggunakan panel fotovoltaik juga dapat dilakukan dengan solar concentrator. Tulisan ini membahas rancangan sistem solar concentrator yang menggunakan antena parabola sebagai pemanen energi listrik skala kecil. Bagian permukaan dalam parabola dilapisi metallized PET-film agar memantulkan pancaran sinar matahari ke satu titik fokus pada pelat besi yang ditempeli Thermo Electric Generator (TEG) yang berfungsi mengubah energi panas menjadi energi listrik. Tegangan keluaran Peltier SP1848 akan dinaikkan menggunakan boost converter agar mencapai tegangan level tegangan yang dapat digunakan untuk pengisian baterai. Energi listrik yang disimpan pada baterai digunakan untuk mencatu beban lampu AC. Hasil pengujian menunjukkan energi listrik yang dihasilkan solar concentrator sebesar 3,8 V untuk temperatur ambien rata-rata 20°C.

Kata kunci: solar concentrator, pemanen energi, peltier, panas matahari.

ABSTRACT

Harvesting solar energy as an alternative source of electrical energy, besides using photovoltaic panels, can also be done with a solar concentrator. This paper discusses the design of a solar concentrator system that uses a parabolic antenna as a small-scale electrical energy harvester. The inner surface of the parabola is coated with a metallized PET film, which is to reflect sunlight to a single focal point on an iron plate attached to a thermoelectric generator (TEG). The TEG functions to convert heat energy into electrical energy. The Peltier SP1848 output voltage will be increased using a boost converter to reach a voltage level that can be used for battery charging. The electrical energy stored in the battery is used to supply the AC power load. The experimental findings indicate that the electrical energy yield of the solar concentrator is 3.8 volts, with an average ambient temperature of 20°C.

Keywords: solar concentrator, energy harvesting, peltier, solar thermal

This is an open-access article under the CC BY-SA license 

1. PENDAHULUAN

Salah satu faktor penting yang menentukan keberhasilan pertanian adalah sistem irigasi. Salah satu jenis sistem irigasi yang umum digunakan adalah dengan menggunakan pompa air (**Syahid, dkk, 2022**). Pompa air irigasi umumnya menggunakan pompa diesel, yang membutuhkan bahan bakar solar untuk pengoperasianya, sehingga dinilai kurang efisien secara ekonomi. Untuk mengatasi permasalahan ini dapat dilakukan dengan mengganti pompa diesel dengan pompa listrik. Namun kondisi lahan pertanian yang umumnya sulit dan jauh dari jangkauan jaringan listrik mengakibatkan pompa listrik tidak populer digunakan sebagai pompa air untuk irigasi. Solusi yang dapat dilakukan adalah dengan memanfaatkan energi terbarukan seperti energi matahari sebagai sumber energi listrik alternatif untuk pompa irigasi. Besar intensitas radiasi matahari dengan rata-rata radiasi perhari sekitar 4,8 KWh/m², sehingga energi matahari menjadi potensi energi yang besar untuk digunakan sebagai sumber energi terbarukan (**Roza & Mujirudin, 2019**) (**Timotius, dkk, 2023**).

Pemanfaatan energi matahari pada umumnya dilakukan dengan menggunakan panel fotovoltaik (PV) yang mengubah radiasi cahaya matahari menjadi energi listrik. Studi tentang sistem PV pada sistem irigasi pertanian telah diusulkan pada beberapa penelitian terdahulu. Sistem pemompaan air dengan menggunakan panel PV merupakan salah satu metode alternatif terbaik untuk permasalahan irigasi pertanian di India (**Shinde & Wandre, 2016**). Selanjutnya pada (**Santra, dkk, 2017**) telah dilakukan studi perbandingan biaya pengoperasian pompa irigasi yang menggunakan panel PV dengan pompa listrik terhubung jaringan dan juga pompa diesel. Hasil studi menunjukkan bahwa biaya siklus hidup tahunan sistem pompa PV lebih rendah daripada pompa listrik yang terhubung dengan jaringan dan pompa diesel. Pada *paper* (**Meyer, dkk, 2018**) juga dilakukan studi tentang kelayakan sistem pompa air yang menggunakan PV sebagai catu daya di daerah pedesaan di Afrika Selatan. Hasil studi menunjukkan bahwa sistem pompa air dengan PV lebih unggul dibandingkan sistem pompa air dengan mesin-mesin diesel, sehingga dapat meningkatkan produksi tanaman. Untuk di Indonesia, juga telah dilakukan studi pemanfaatan PV sebagai catu daya pompa irigasi di Subak Kanca Tegeh, Selan Bawak Village, Tabanan Bali (**Parti, dkk, 2023**).

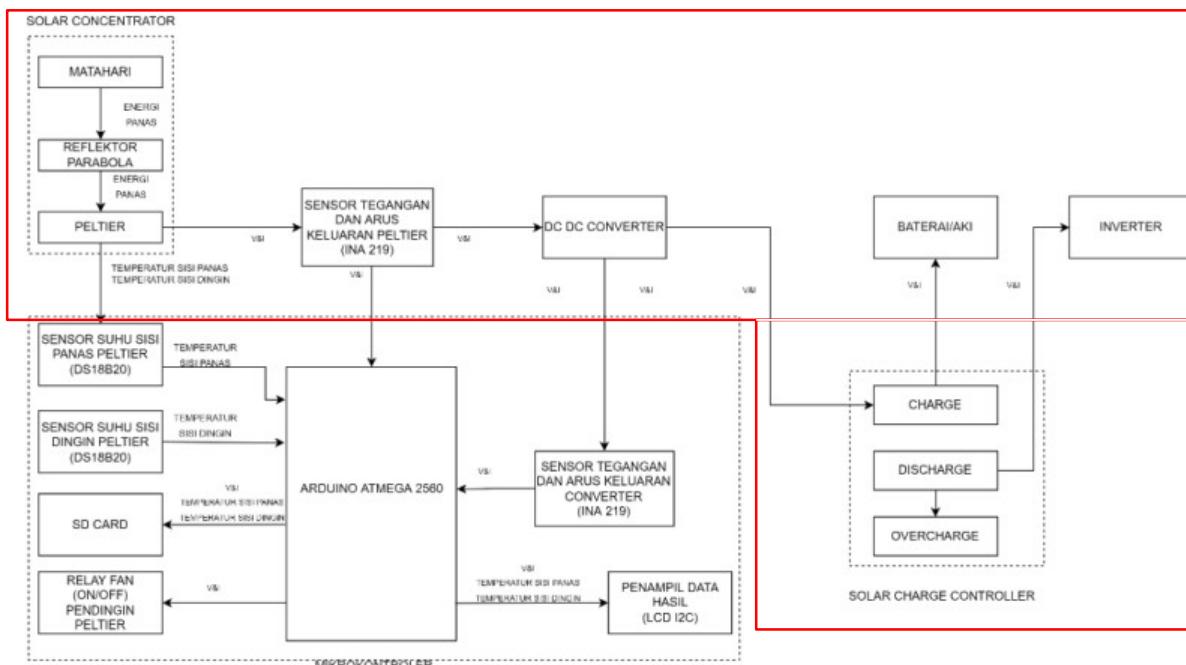
Selain dengan menggunakan PV, cara lain yang dapat dilakukan untuk memanfaatkan energi listrik dari energi matahari adalah dengan menggunakan *solar concentrator* (SC). Studi tentang pemanfaatan SC sebagai pembangkit energi listrik dari sumber energi matahari telah dilakukan pada penelitian sebelumnya. Pada *paper* (**Salazar, dkk, 2017**), (**Anand & Kumar, 2021**) dan (**Nguimdo, dkk, 2021**) telah dilakukan studi pemodelan dan analisis transfer panas pada sistem SC jenis parabola dan simulasinya. Selanjutnya pada (**Viña & Alagao, 2018**) dan (**Hantosh, dkk, 2023**) juga dilakukan studi pembangkitan energi listrik dari energi matahari menggunakan konsentrator parabola dan modul *Thermo Electric* (TE) dan analisis pembangkitan energi listrik dengan TE secara komputasi (**Kossyvakis, dkk, 2015**). Hasil studi dari beberapa referensi ini berfokus pada pemodelan, perancangan dan analisis pembangkitan energi listrik dengan TE pada sistem SC tanpa adanya PV. Pada *paper* (**Bamroongkhan, dkk, 2021**) dilakukan perancangan studi kinerja sistem hibrida termoelektrik parabola-PV yang digunakan untuk menghasilkan energi panas dan listrik, dan analisis teknis-ekonomis sistem PV-SC (**Obalanlege, dkk, 2022**).

Berdasarkan latar belakang permasalahan yang telah diuraikan, maka pada *paper* ini dibahas rancang bangun sistem SC skala kecil yang akan digunakan untuk memanfaatkan energi matahari. Hasil rancang bangun ini kedepannya akan digabungkan dengan sistem PV yang akan digunakan sebagai sumber energi untuk pompa air irigasi pertanian.

Pembahasan selanjutnya pada *paper* ini adalah pada Bagian 2 menjelaskan metode penelitian, yaitu perancangan sistem mekanik dan elektronik. Hasil dan pembahasan diuraikan pada Bagian 3, dan kesimpulan dari penelitian ini disajikan pada Bagian 4.

2. METODE PENELITIAN

Metode yang digunakan dalam penelitian ini dibagi dalam dua tahapan, yaitu perancangan dan pengujian sistem. Pada perancangan perangkat keras sistem dibuat purwarupa sistem *solar concentrator* (SC) dengan sistem kontrol elektronik menggunakan mikrokontroler. Diagram blok rancangan sistem ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram Blok Sistem Pemanen Energi Listrik dengan Solar Concentrator

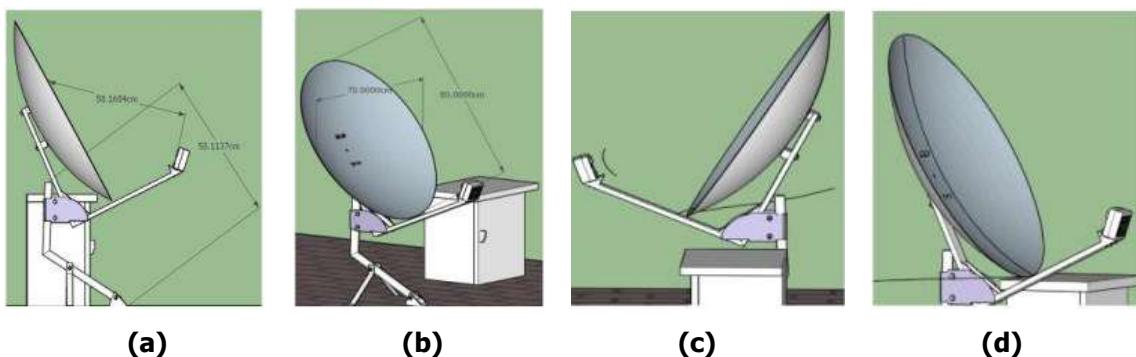
Saat matahari bersinar, piringan parabola berbentuk cermin cekung yang bagian permukaanya sudah dilapisi dengan stiker kaca satu arah dari material PET (*metallized PET-film*) akan menangkap radiasi sinar matahari dan memantulkannya menuju satu titik pelat besi yang sudah dipasangi komponen *Thermo Electric Generator* (TEG). Komponen TEG berfungsi mengubah energi panas dari radiasi matahari menjadi energi listrik (**Pratama, 2018**). Besarnya energi listrik yang dihasilkan ditentukan oleh perbedaan suhu sisi panas dan sisi dingin elemen TEG. Semakin besar perbedaan suhu pada elemen TEG maka semakin besar energi listrik yang dihasilkan (**Simatupang & Purnama, 2019**). Penempatan SC harus tepat agar alat berfungsi secara maksimal, salah satunya ditempatkan pada permukaan yang luas sehingga tidak ada penghalang cahaya ke parabola *dish* (**Subarjo, dkk, 2020**).

Tegangan DC keluaran TEG relatif kecil, sehingga perlu dinaikkan dengan menggunakan perangkat *boost converter* (**Sirait & Matalata, 2018**). Tegangan keluaran *boost converter* selanjutnya akan digunakan untuk melakukan pengisian (*charging*) baterai sebagai perangkat penyimpan energi listrik melalui perangkat *Solar Charge Controller* (SCC) yang umum digunakan pada sistem PV. SCC juga berfungsi untuk melakukan proses pelepasan energi (*discharging*) dari baterai ke beban. Karena beban yang digunakan adalah beban AC maka tegangan DC dari baterai terlebih dahulu diubah menjadi tegangan AC oleh perangkat *inverter*. Skema kerja ini sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 1 yang diberi kotak warna merah.

Pada sistem SC ini dilengkapi dengan perangkat akuisisi data untuk pembacaan arus dan tegangan yang dihasilkan, dan menampilkannya pada modul *Liquid Crystal Display* (LCD). Algoritma program pada mikrokontroler akan mengatur kondisi *on/off* dari pendingin TEG. Sensor INA219 digunakan untuk membaca arus dan tegangan yang dihasilkan oleh TEG dan tegangan keluaran *boost converter*.

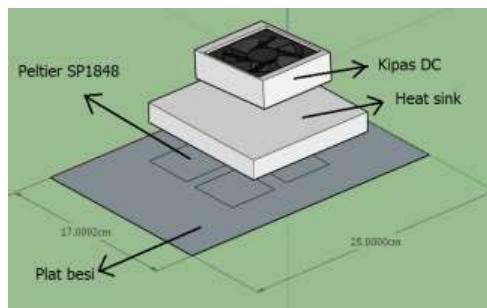
2.1 Perancangan Mekanik *Solar Concentrator*

Rancangan mekanik SC ditunjukkan pada Gambar 2. Mekanik SC dirancang menggunakan bahan yang terbuat dari pelat dan pipa besi. Parabola *dish* dirancang dengan bentuk mengacu pada (**Alamayreh & Alahmer, 2023**) dengan memanfaatkan antena parabola TV dengan bahan dasar dari pelat besi yang berbentuk oval dan permukaannya dirancang cekung ke dalam.



Gambar 2. Rancangan Mekanik *Solar Concentrator*; (a) Tampak Samping Kanan *Solar Concentrator*, (b) Tampak Depan *Solar Concentrator*, (c) Menunjukkan Kemiringan Dudukan Pelat Besi, (d) Menunjukkan Lengkungan Permukaan Parabola *Dish*

Pada bagian penerima pengumpul sinar matahari digunakan pelat besi yang direkatkan dengan kipas, penyerap panas (*heatsink*), dan TEG menggunakan *Peltier* SP1848 sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 3. Pada bagian penopang alat menggunakan bahan yang berbentuk pipa besi yang dirancang dapat diatur posisi kemiringannya.



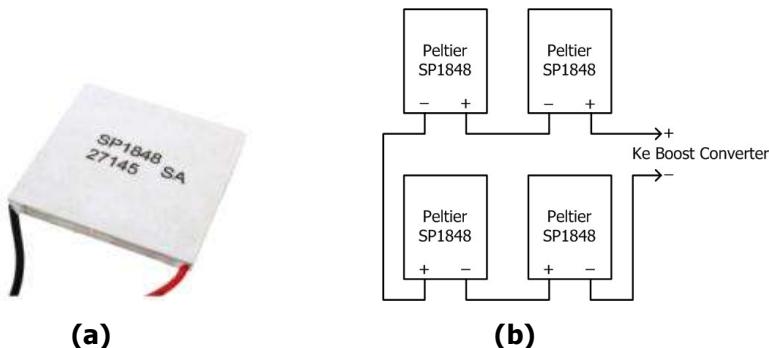
Gambar 3. Rancangan Pelat Besi Penerima/Pengumpul Sinar Matahari

Parabola *dish* yang digunakan memiliki diameter vertikal 80 cm dan diameter horisontal 70 cm. Panjang kaki penopang adalah 59 cm, tinggi tiang penopang dudukan TEG adalah 100 cm, jarak pelat besi TEG ke permukaan parabola *dish* 58 cm, luas permukaan pelat besi dudukan TEG 25 cm x 17 cm, dan tebal pelat besi dudukan TEG adalah 1 mm. Sudut kemiringan titik tengah 45° dan sudut kemiringan pelat besi 35° mengarah ke parabola *dish*. Kipas pendingin yang digunakan adalah kipas DC 12 V. Bahan yang digunakan untuk memantulkan cahaya menuju pelat besi adalah stiker kaca satu arah dengan material PET (*metallized PET-film*) yang menghasilkan daya pemantulan sinar UV dapat mencapai 99%. Ukuran kotak untuk panel yang digunakan yaitu 40 cm x 30 cm.

2.2 Perancangan Sistem Elektronik

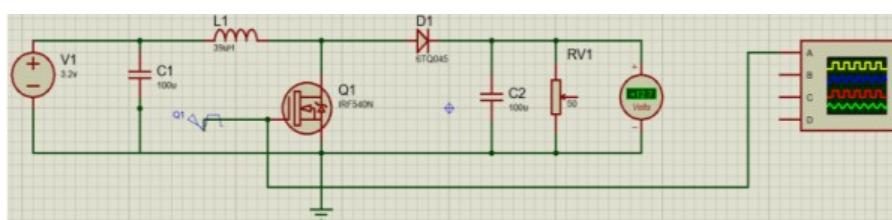
Sistem elektronik yang digunakan pada pemanen energi menggunakan SC terdiri dari rangkaian TEG (*peltier*), rangkaian *boost converter*, *Solar Charge Controller*, *inverter*, rangkaian sensor arus dan tegangan, rangkaian *relay*, dan rangkaian penampil (*display*) menggunakan LCDI2C.

Komponen TEG yang digunakan pada sistem SC ini adalah *Peltier* SP1848 dengan bentuk fisik ditunjukkan pada Gambar 4(a). *Peltier* SP1848 bekerja menghasilkan tegangan keluaran DC dengan memanfaatkan selisih suhu (ΔT) pada sisi panas dan sisi dingin *peltier* sehingga dapat menghasilkan tegangan dan arus. Dalam perancangan, *peltier* menerima panas dari radiasi matahari melalui pelat besi dan menerima pendinginan dari i kipas DC.



Gambar 4. (a) Bentuk Fisik *Peltier* SP1848, (b) Rangkaian TEG dengan *Peltier* SP1848

Peltier SP1848 memiliki ukuran 40 mm x 40 mm dan dapat menerima panas sampai dengan 150°C . Pada perancangan ini digunakan empat buah *Peltier* SP1848 yang dirangkai secara seri sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 4(b), yang bertujuan untuk memperbesar tegangan keluaran. Berdasarkan *datasheet*, satu buah *Peltier* SP1848 mampu menghasilkan tegangan maksimal 4,8 V jika selisih suhu antara sisi panas dan sisi dingin mencapai 100°C . Dalam penelitian ini, karena tegangan keluaran *Peltier* SP1848 hanya mencapai 3,2 V (kurang dari 12 V) yang dibutuhkan untuk pengisian baterai, maka tegangan keluaran rangkaian *peltier* perlu dinaikkan sampai 12 V dengan menggunakan *boost converter* dengan skematik rangkaian ditunjukkan pada Gambar 5.

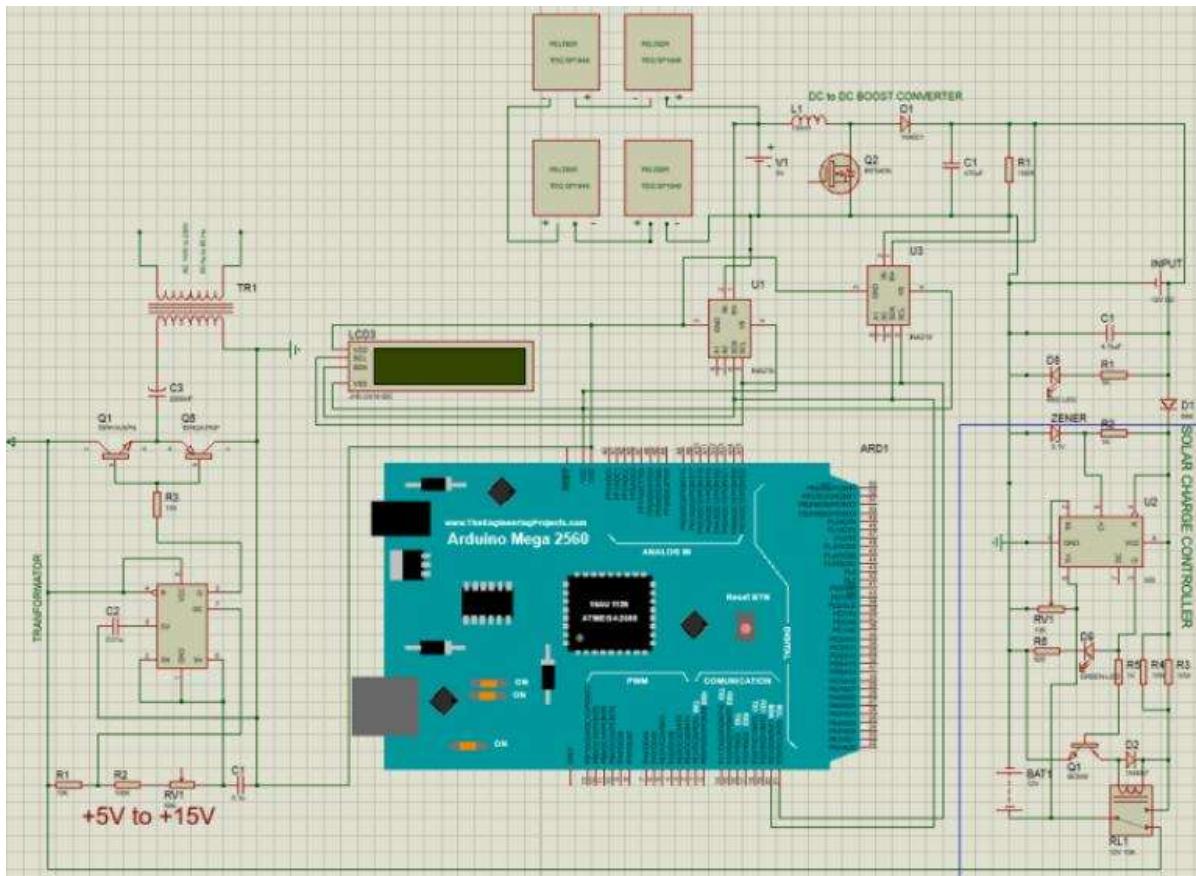


Gambar 5. Rangkaian *Boost Converter*

Rangkaian *boost converter* mendapatkan tegangan masukan dari rangkaian *Peltier* SP1848 sebesar 3,2 V. Rangkaian ini dirancang agar dapat menghasilkan tegangan keluaran sebesar 12 V. Untuk mendapatkan tegangan keluaran yang diinginkan, maka pada komponen *switching boost converter* perlu diberikan *duty cycle* (D) yang dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan (1), dengan V_o dan V_s masing-masing adalah tegangan keluaran dan masukan *boost converter*. Dengan $V_s = 3,2\text{V}$ dan $V_o=12\text{V}$, maka nilai *duty cycle* D yang dihasilkan adalah 73%.

$$V_o = \frac{V_s}{1-D} \quad (1)$$

Rangkaian sistem SC keseluruhan ditunjukkan pada Gambar 6. Sensor INA219 pada rangkaian ini digunakan untuk membaca tegangan yang telah dihasilkan oleh TEG dan *boost converter*. Hasil pembacaan sensor INA219 dikirim ke mikrokontroler untuk ditampilkan di LCD.



Gambar 6. Skematik Rangkaian Elektronik pada Sistem *Solar Concentrator*

Solar Charge Controller (SCC) berfungsi sebagai pusat kontrol pengisian dan pemutus tegangan baterai. Tegangan masukan pada SC bersumber dari tegangan keluaran *peltier* yang telah dinaikkan levelnya oleh *boost converter*. Ketika baterai sudah terisi penuh maka SCC akan menghentikan proses pengisian ke baterai untuk menghindari terjadinya *overcharge*. Pada saat baterai mengalirkan energi listrik ke beban terjadi proses pengosongan (*discharging*) baterai, SCC akan mengatur agar proses pengosongan baterai berhenti pada saat kapasitas baterai mencapai 20% dari kapasitas total agar baterai tidak terlalu kosong yang bertujuan untuk menjaga ketahanan baterai.

Pada sistem SC ini, baterai yang digunakan memiliki kapasitas 12V, 5Ah. Batas maksimum penggunaan baterai umumnya adalah 75% dari kapasitas dan jika telah mencapai batas tersebut harus segera dilakukan pengisian. Pengisian baterai pada umumnya membutuhkan tegangan 2,15 V pada tiap *cell*-nya. Dengan demikian proses pengisian baterai membutuhkan tegangan 13 V DC dengan kekuatan arus pengisian yang bergantung pada kebutuhan. Proses pengisian baterai pada umumnya dilakukan secara lambat dengan menggunakan kekuatan arus pengisian sekitar 10% dari kapasitas. Hal ini bertujuan untuk mengurangi resiko terjadinya panas berlebih (*overheat*) pada baterai. Sedangkan untuk pengisian cepat (*fast charging*) dilakukan dengan menggunakan kekuatan arus pengisian sekitar 40% dari kapasitas baterai.

Berdasarkan kondisi ini, dengan asumsi rugi-rugi (*/losses*) pengisian baterai adalah 20%, maka waktu pengisian baterai (T_{charge}) dengan metode pengisian secara umum dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan (2). Cap_{bat} adalah kapasitas baterai dan I_{charge} adalah arus pengisian baterai.

$$T_{charge} = (Cap_{bat}/I_{charge}) + 20\% \times (Cap_{bat}/I_{charge}) \quad (2)$$

$$T_{charge} = (5Ah/(10\% \cdot 5Ah)) + 20\% \times (5Ah/(10\% \cdot 5Ah)) = 12 \text{ jam}$$

Sedangkan waktu pengosongan baterai ($T_{discharge}$) dihitung dengan Persamaan (4), yang bergantung pada besar arus ($I_{discharge}$) yang dialirkan baterai ke beban, yang dihitung dengan Persamaan (3). Jika diasumsikan beban yang digunakan sebesar 50 Watt, maka:

$$I_{discharge} = \frac{P_{load}}{V_{bat}} = \frac{50W}{12V} = 4,1A \quad (3)$$

Dengan demikian, waktu pengosongan/pemakaian baterai adalah:

$$T_{discharge} = (Cap_{bat}/I_{discharge}) - diefesiensi batere (20\%) \quad (4)$$

$$T_{discharge} = (5Ah/4,1A) - 0,2 = 1 \text{ jam}$$

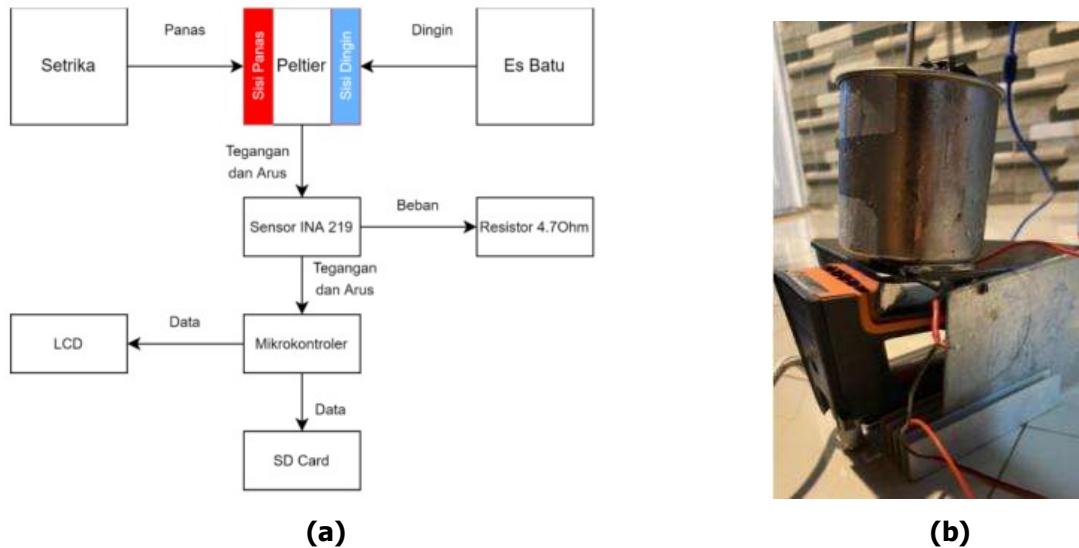
Tegangan keluaran baterai sebesar 12 VDC akan terlebih dahulu diubah menjadi tegangan AC dengan menggunakan *inverter*. *Inverter* yang digunakan dalam penelitian ini memiliki kapasitas beban mencapai 500 W. Dengan daya yang dihasilkan oleh baterai sebesar 60 W, maka artinya baterai dapat mencatut daya ke *inverter* sebesar 60 W/jam.

Rangkaian *relay* pada Gambar 6 digunakan untuk mengatur kondisi *on* dan *off* kipas yang berfungsi untuk mendinginkan sisi dingin *peltier*. Pengaturan *on* dan *off* kipas dilakukan berdasarkan hasil pembacaan tegangan keluaran *Peltier* SP1848. Ketika tegangan yang dihasilkan oleh *peltier* lebih besar atau sama dengan 3 V maka kipas akan *on*, sedangkan jika tegangan yang dihasilkan *peltier* kurang dari 3 V maka kipas akan *off*. Pada sistem juga terdapat sensor suhu DS18B20 yang digunakan untuk membaca suhu permukaan yang terdapat pada sisi panas dan sisi dingin *peltier*. Hasil pembacaan sensor suhu akan dikirim ke mikrokontroler, untuk mengetahui selisih suhu antara sisi panas dan sisi dingin *peltier*. Seluruh data hasil pembacaan sensor dan hasil pengolahan mikrokontroler akan ditampilkan pada LCD dan disimpan pada SD *card*.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Pengujian Karakteristik *Peltier* SP1848 dan Analisis Hasil

Berdasarkan perancangan yang dilakukan, selanjutnya dilakukan pengujian terhadap alat yang telah dibuat. Tahap awal yang dilakukan adalah melakukan pengujian terhadap perangkat *Peltier* SP1848 untuk mengetahui karakteristik tegangan yang dihasilkan berdasarkan selisih suhu yang terjadi (ΔT) pada sisi dingin dan sisi panas *peltier* dan membandingkannya dengan *datasheet*. Dalam pengujian dilakukan pengamatan pada masukan yang digunakan *peltier* berupa ΔT dan keluaran yang dihasilkan berupa tegangan dan arus. Skema pengujian *peltier* ditunjukkan pada Gambar 7. Peralatan yang digunakan adalah satu *Peltier* SP1848, setrika, gelas yang diisi es batu, dua buah sensor suhu DS18B20, satu sensor INA219, mikrokontroler, SD *card*, LCD, dan dengan beban resistor 4.7 ohm.



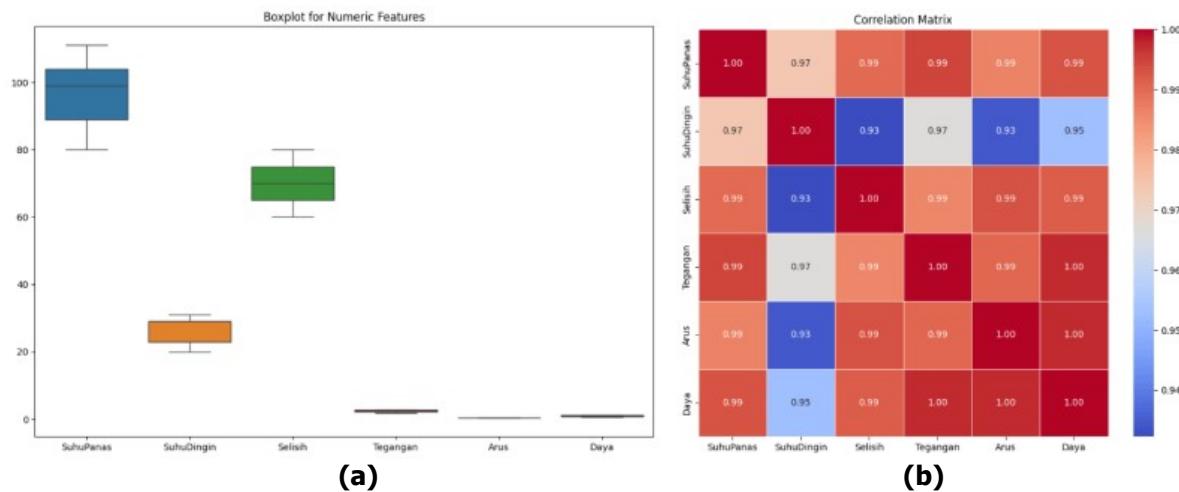
Gambar 7. Pengujian Peltier SP1848, (a) Diagram Pengujian, (b) Dokumentasi Pengujian

Pengujian dilakukan dengan cara memanaskan sisi panas *peltier* dengan setrika dan mendinginkan sisi dingin *peltier* dengan bongkahan es. Pengujian dilakukan selama 60 menit. Suhu pada sisi panas dan sisi dingin dibaca oleh sensor suhu DS18B20, hasil pembacaan suhu dikirim ke mikrokontroler. Tegangan dan arus keluaran *Peltier* SP1848 diukur dengan menggunakan sensor INA219 dan hasilnya dikirim ke mikrokontroler. Semua data hasil pengukuran oleh sensor diolah di dalam program untuk selanjutnya ditampilkan pada LCD dan disimpan di SD card. Hasil pengujian karakteristik *Peltier* SP1848 disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil Pengujian Karakteristik Peltier SP1848

No	Suhu sisi Panas <i>Peltier</i> (°C)	Suhu sisi Dingin <i>Peltier</i> (°C)	Selisih Suhu <i>Peltier</i> (°C)	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (Watt)
1	80	20	60	1.91	0.375	0.72
2	81	20	61	1.92	0.376	0.72
3	82	20	62	1.95	0.376	0.73
4	83	20	63	1.97	0.377	0.74
5	87	23	64	2.06	0.38	0.78
6	89	24	65	2.13	0.384	0.82
7	89	23	66	2.22	0.389	0.86
8	92	25	67	2.27	0.397	0.9
9	93	25	68	2.34	0.399	0.93
10	96	27	69	2.43	0.404	0.98
11	99	29	70	2.49	0.406	1.01
12	100	29	71	2.56	0.411	1.05
13	101	29	72	2.59	0.417	1.08
14	102	29	73	2.62	0.42	1.1
15	104	30	74	2.72	0.424	1.15
16	104	29	75	2.76	0.43	1.19
17	105	29	76	2.77	0.431	1.19
18	106	29	77	2.78	0.433	1.2
19	107	29	78	2.8	0.437	1.22
20	109	30	79	2.83	0.44	1.25
21	111	31	80	2.86	0.441	1.26
Rata-Rata				2.42	0.407	0.99

Berdasarkan data pada Tabel 1, dengan menggunakan analisis statistik deskriptif, diperoleh data nilai rata-rata, standar deviasi, nilai minimum, kuartil pertama (25%), median (50%), kuartil ketiga (75%), dan nilai maksimum untuk setiap variabel. Parameter hasil analisis deskriptif ditunjukkan pada Gambar 8 dan Tabel 2.



Gambar 8. Hasil Analisis Statistik Deskriptif, (a) Boxplot, (b) Matriks Korelasi

Tabel 2. Hasil Analisis Statistik Deskriptif Data Pengujian Karakteristik Peltier SP1848

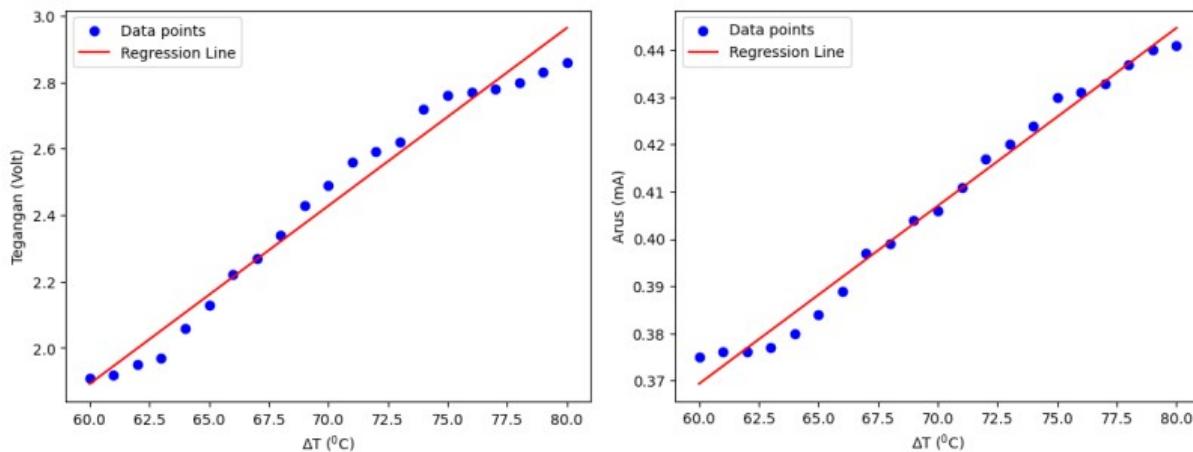
Parameter	Suhu Panas Peltier (°C)	Suhu Dingin Peltier (°C)	Selisih Suhu (°C)	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (Watt)
Nilai rata-rata	96,19	26,19	70,00	2,43	0,41	0,99
Standar Deviasi	9,90	3,86	6,20	0,34	0,02	0,19
Nilai Minimum	80,00	20,00	60,00	1,91	0,37	0,72
Kuartil Pertama (25%)	89,00	23,00	65,00	2,13	0,38	0,82
Median (50%)	99,00	29,00	70,00	2,49	0,41	1,01
Kuartil Ketiga (75%)	104,00	29,00	75,00	2,76	0,43	1,19
Nilai Maksimum	111,00	31,00	80,00	2,86	0,44	1,26

Dari data pada Tabel 2 diketahui bahwa rata-rata ΔT sebesar 70°C pada peltier akan mengakibatkan perubahan tegangan keluaran sebesar 2,43 V dan arus sebesar 0,41 A dengan daya sebesar 0,99 Watt. Jika hasil pengujian dibandingkan dengan karakteristik berdasar datasheet maka perubahan yang terjadi tiap 20°C ditunjukkan pada Tabel 3.

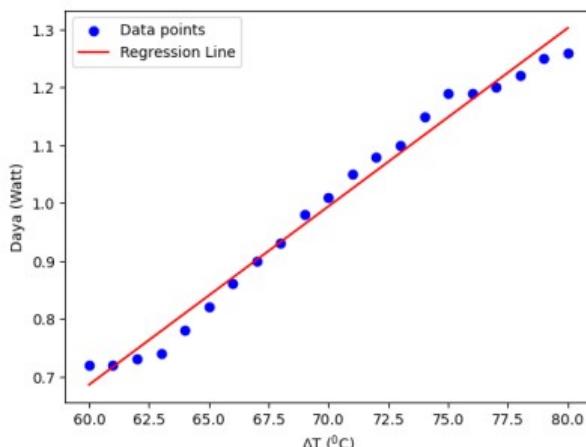
Tabel 3. Perbandingan Karakteristik Peltier SP1848 Berdasarkan Datasheet dan Hasil Pengujian

ΔT (°C)	Datasheet			Pengujian		
	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (Watt)	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (Watt)
60	2.9	0.590	1.71	1.9	0.375	0.71
80	3.9	0.730	2.84	2.8	0.441	1.23

Selanjutnya dilakukan analisis regresi linier untuk data pada Tabel 1 untuk mengetahui hubungan variabel selisih suhu (ΔT) pada peltier dengan tegangan dan arus sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 9, serta hubungan variabel selisih suhu (ΔT) pada peltier dengan daya yang dihasilkan sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 10.



Gambar 9. Grafik Karakteristik *Peltier* SP1848, (a) Pengaruh ΔT Terhadap, (b) Pengaruh ΔT Terhadap Arus



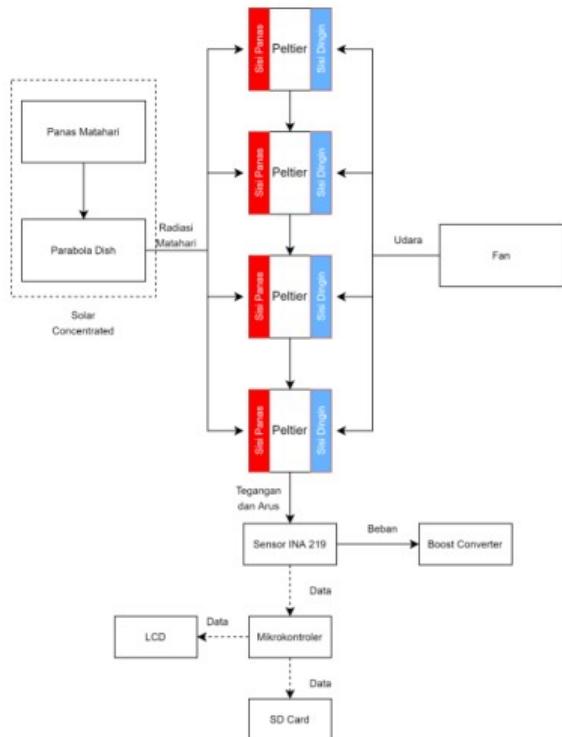
Gambar 10. Grafik Karakteristik *Peltier* SP1848 yang Menunjukkan Pengaruh ΔT Terhadap Daya Keluaran

Dari data yang disajikan pada Tabel 3 diketahui bahwa daya yang terdapat pada *datasheet* lebih besar dibandingkan nilai dari hasil pengujian. Perbedaan terjadi akibat cara yang dilakukan, dan beban yang digunakan oleh pabrikan untuk menghasilkan nilai pada *datasheet* berbeda. Selisih daya yang terjadi berdasar *datasheet* dan hasil pengujian yaitu sebesar 1 Watt dengan persentase selisih 58,4%.

3.2 Pengujian Sistem Keseluruhan dan Analisis Hasil

Pengujian keseluruhan ini dilakukan untuk mengetahui kinerja dari keseluruhan alat yang digunakan. Skema pengujian ditunjukkan pada Gambar 11. Pengujian berlokasi di dalam kampus Universitas Budi Luhur dengan waktu pengujian 60 menit yang dimulai pada pukul 10.00 sampai dengan 11.00. Pengujian bertujuan untuk mengetahui seberapa besar daya yang dihasilkan oleh empat buah *peltier* yang dirangkai seri dan dibandingkan dengan empat buah *peltier* berdasar *datasheet* yang dirangkai seri dengan nilai selisih suhu (ΔT) yang sama, kemudian dalam pengujian juga bertujuan untuk memperhatikan seberapa besar perubahan daya yang dihasilkan setiap perubahan selisih suhu (ΔT) yang terjadi. Masukan yang digunakan pada pengujian yaitu menggunakan panas radiasi matahari dan kipas DC 12 V. Pengujian dilakukan dengan kondisi cuaca cerah yang diketahui dari aplikasi cuaca pada *smartphone*. Pengujian menggunakan empat buah *Peltier* SP1848, *solar concentrator*, kipas

DC 12 V, sensor INA219, SD card, mikrokontroler, dan LCD. Data hasil pengujian disajikan pada Tabel 4.



(a)

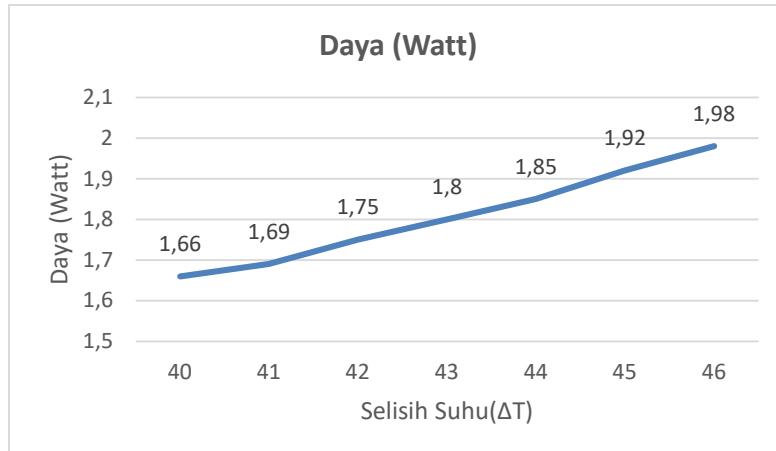
(b)

Gambar 11. Pengujian Sistem *Solar Concentrator*
(a) Diagram Pengujian (b) Dokumentasi Pengujian

Tabel 4. Hasil Pengukuran *Solar Concentrator*

No	Kondisi Cuaca	Intensitas Cahaya (lux)	Irradiasi (W/m ²)	Sisi Panas (°C)	Sisi Dingin (°C)	Selisih Suhu (°C)	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (Watt)
1	Cerah	114500	905	108	68	40	5.64	0.294	1.66
2	Cerah	114300	903	106	65	41	5.68	0.298	1.69
3	Cerah	113900	900	101	59	42	5.8	0.302	1.75
4	Cerah	112700	890	92	49	43	5.88	0.306	1.80
5	Cerah	112400	888	91	47	44	5.96	0.311	1.85
6	Cerah	112400	888	91	46	45	6.08	0.315	1.92
7	Cerah	114700	906	111	65	46	6.2	0.319	1.98

Dari data pada Tabel 4 dapat dilihat nilai yang disajikan merupakan sampel dari pengujian yang dilakukan selama 60 menit berdasarkan perubahan selisih suhu (ΔT). Karakteristik perubahan daya pada *solar concentrator* yang dipengaruhi oleh perubahan suhu (ΔT) setiap 1°C ditunjukkan pada Gambar 12.



Gambar 12. Grafik Perubahan Daya pada *Solar Concentrator* Setiap Perubahan Selisih Suhu 1°C

Dengan data pada Tabel 4, besarnya jumlah perubahan daya berdasarkan selisih suhu (ΔT) setiap 1°C pada *peltier solar concentrator* dapat dihitung dengan Persamaan (5) adalah 0,35 Watt. Sedangkan nilai rata-rata perubahan daya dari selisih suhu (ΔT) yang terjadi setiap 1°C yang dihitung dengan Persamaan (6) adalah 0,058 Watt.

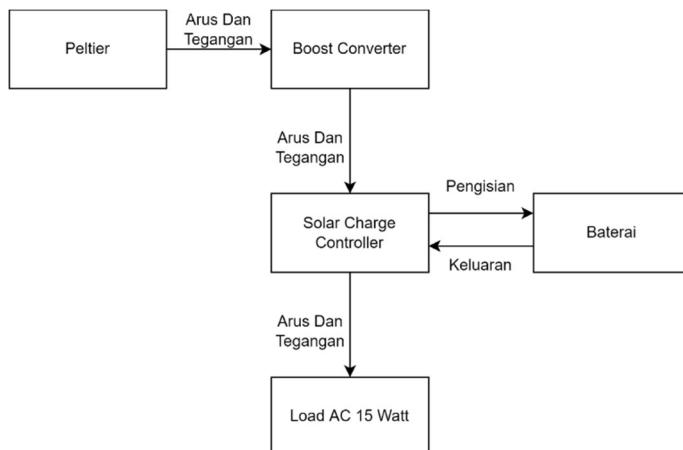
$$\sum P(\Delta T) 1^\circ C = (n_2 - n_1) + (n_3 - n_2) + (n_4 - n_3) + (n_5 - n_4) + (n_6 - n_5) + (n_7 - n_6) \quad (5)$$

$$\begin{aligned} \sum P(\Delta T) 1^\circ C &= (1,69 - 1,66) + (1,75 - 1,69) + (1,80 - 1,75) + (1,85 - 1,80) + (1,92 - 1,85) \\ &\quad + (1,98 - 1,92) = 0,35 \text{ watt} \end{aligned}$$

$$Average(\Delta T) 1^\circ C = \frac{\sum P(\Delta T) 1^\circ C}{6} = \frac{0,35}{6} = 0,058 \text{ watt} \quad (6)$$

3.3 Pengujian Pengisian Baterai

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui waktu yang dibutuhkan untuk pengisian baterai dan untuk mengetahui berapa lama waktu yang dibutuhkan baterai untuk mengeluarkan energi listrik ke beban sampai baterai harus melakukan proses pengisian kembali. Pengujian menggunakan arus dan tegangan yang dihasilkan *peltier* dan kemudian tegangan dinaikkan menjadi 13 V untuk pengisian. Pengisian akan diatur oleh *Solar Charge Controller*. Dalam proses pengisian baterai menggunakan arus pengisian yang bersumber dari keluaran *peltier*. Sedangkan beban yang digunakan untuk mengetahui seberapa lama baterai dapat mengeluarkan energi listrik yaitu dengan menggunakan beban sebuah lampu AC dengan daya 15 Watt. Skema pengujian pengisian baterai ditunjukkan pada Gambar 13. Hasil pengujian menunjukkan arus yang dihasilkan untuk pengisian baterai adalah 0,3 A.

**Gambar 13. Skema Pengujian Pengisian Baterai**

Untuk baterai dengan kapasitas 5 Ah dan dengan arus pengisian baterai sebesar 0,3 A maka waktu pengisian baterai jika dihitung dengan Persamaan (2) adalah 17,6 jam. Pada proses pengosongan baterai, arus pengosongan yang mengalir untuk beban lampu AC 15 Watt jika dihitung dengan Persamaan (3) adalah sebesar 1,25 A. Dengan demikian waktu pengosongan baterai jika dihitung dengan Persamaan (4) adalah 3,8 jam.

4. KESIMPULAN

Pada penelitian ini telah dirancang sistem pemanen energi listrik skala kecil dengan menggunakan *solar concentrator*. Hasil pengujian *Peltier SP1848* menunjukkan nilai yang didapat melalui memiliki ketidaksamaan dari nilai yang terdapat pada *datasheet*. Pada saat selisih suhu (ΔT) 60°C nilai yang diketahui melalui *datasheet* menghasilkan tegangan 2,9 V, arus 0,590 A dan daya 1,12 Watt. Sedangkan pada pengujian nilai yang didapat berupa tegangan 1,9 V, arus 0,375 A dan daya 0,71 watt. Pada selisih suhu (ΔT) 80°C nilai yang diketahui pada *datasheet* menghasilkan tegangan 3,9 V, arus 0,730, dan daya 2 watt. Sedangkan pada pengujian didapat berupa tegangan 2,8 V, arus 0,441, dan daya 1,23 watt. Daya saat selisih suhu (ΔT) 60°C pada *datasheet* dan hasil pengujian memiliki selisih 1 Watt dengan persentase 58,4%, dan daya saat selisih suhu (ΔT) 80°C memiliki selisih 1,61 Watt dengan persentase 56,6%. Total dari setiap perubahan daya berdasarkan selisih suhu (ΔT) setiap 1°C yaitu sebesar 0,35 Watt dan rata rata perubahan daya berdasarkan selisih suhu (ΔT) setiap 1°C yaitu sebesar 0,058 Watt. Untuk selisih daya yang dihasilkan pada selisih suhu (ΔT) 40°C yang bersumber pada *datasheet* dan hasil pengujian didapat sebesar 0,99 Watt dengan persentase selisih yang terjadi sebesar 37,3%. Waktu yang dibutuhkan baterai untuk mengeluarkan energi listrik menuju beban tegangan AC dengan daya 15 Watt yaitu dapat diketahui baterai menghasilkan waktu pemakaian selama 3,8 jam. Pekerjaan selanjutnya yang akan dilakukan dari hasil penelitian ini adalah menggabungkan sistem *solar concentrator* dengan sistem pemanen energi matahari yang menggunakan panel PV yang akan dimanfaatkan sebagai sumber energi alternatif untuk pompa air irigasi pada lahan pertanian.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset dan Teknologi Republik Indonesia atas pendanaan yang diberikan dalam skema hibah Penelitian Dosen Pemula dengan kontrak utama nomor: 105/E5/PG.02.00.PL/2024, dan kontrak turunan nomor: 788/LL3/AL.04/2024 dan nomor: A/UBL/DRPM/000/054/06/24. Penulis juga

mengucapkan terima kasih kepada Universitas Budi Luhur atas dukungan yang diberikan kepada tim peneliti selama pelaksanaan penelitian ini.

DAFTAR RUJUKAN

- Alamayreh, M. I., & Alahmer, A. (2023). Design a solar harvester system capturing light and thermal energy coupled with a novel direct thermal energy storage and nanoparticles. *International Journal of Thermofluids*, 18(February).
- Anand, S., & Kumar, S. (2021). Heat Transfer Analysis of Parabolic Trough Solar Receiver Using Nanofluids. *Proceedings of the 48th National Conference on Fluid Mechanics and Fluid Power*, (pp. 575–580). https://doi.org/10.1007/978-981-19-6270-7_96
- Bamroongkhan, P., Lertsatitthanakorn, C., & Sathapornprasath, K. (2021). Case Studies in Thermal Engineering Experimental performance of a photovoltaic-assisted solar parabolic dish thermoelectric system. *Case Studies in Thermal Engineering*, 27(July).
- Hantosh, W. B., Farag, S. R., & Jumaah, S. S. (2023). Calculation of the electrical efficiency of a parabolic solar collector dish using TEG technology. *Measurement: Sensors*, 27(December 2022). <https://doi.org/10.1016/j.measen.2023.100739>
- Kossyvakis, D. N., Vossou, C. G., Provatidis, C. G., & Hristoforou, E. V. (2015). Camputation analysis and and performance optimization of a solar thermoelectric generator.pdf. *Renewable Energy*, 81.
- Meyer, J., Member, S., & Solms, S. V. O. N. (2018). Solar Powered Water Security : An Enabler for Rural Development in Limpopo South Africa. *IEEE Access*, 6, 2–11. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2018.2805367>
- Modul Pengenalan Sistem Irigasi. (2019). In *Kementerian Pekerjaan Umum dan Pekerjaan Rakyat*. Kementerian Pekerjaan Umum dan Pekerjaan Rakyat.
- Nguimdo, L. A., Teka, J., & Fopossie, F. D. (2021). Thermal Analysis of Parabolic Trough Solar Collector and Assessment of Steam Power Potential at Two Locations in Cameroon. *International Journal of Renewable Energy Research*, 11(3), 1136–1148. <https://doi.org/10.20508/ijrer.v11i3.11971.g8244>
- Obalanlege, M. A., Xu, J., Markides, C. N., & Mahmoudi, Y. (2022). Techno-economic analysis of a hybrid photovoltaic-thermal solar- assisted heat pump system for domestic hot water and power generation. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 196.
- Parti, I. K., Rasmini, N. W., Mudiana, I. N., & Purbhawa, I. M. (2023). *Modelling of Solar Power Generation Systems as a Source of Agricultural Irrigation Pumps*. 9(4), 2036–2041. <https://doi.org/10.29303/jppipa.v9i4.3126>

- Pratama, A. P. (2018). *Studi Eksperimental Termoelektrik Generator Tipe Sp 1848 27145 Sa Dan Tec1-12706 Dengan Variasi Seri Dan Paralel Pada Supra X 125 CC*. Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- Roza, E., & Mujirudin, M. (2019). Perancangan Pembangkit Tenaga Surya Fakultas Teknik Uhamka. *Ejurnal Kajian Teknik Elektro*, 4(1), 16–30.
- Salazar, G. A., Fraidenraich, N., de Oliveira, C. A. A., de Castro Vilela, O., Hongn, M., & Gordon, J. M. (2017). Analytic modeling of parabolic trough solar thermal power plants. *Energy*, 138, 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.07.110>
- Santra, P., Pande, P. C., Singh, A. K., & Kumar, P. (2017). Solar PV pumping system for irrigation purpose and its economic comparison with grid- connected electricity and diesel operated pumps. *Indian Journal of Economics and Development*, 4, 1–7.
- Shinde, V., & Wandre, S. (2016). Solar photovoltaic water pumping system for irrigation : A review. *African Journal of Agriculture Research*, 10(22), 2267–2273. <https://doi.org/10.5897/AJAR2015.9879>
- Simatupang, J. W., & Purnama, I. (2019). Study on Various Simple Power Tracking Methods for Thermoelectric Generator. *Proceeding - 2019 International Conference on Sustainable Energy Engineering and Application: Innovative Technology Toward Energy Resilience, ICSEEA 2019*, 1, 79–84. <https://doi.org/10.1109/ICSEEA47812.2019.8938655>
- Sirait, C. Y., & Matalata, H. (2018). Perancangan boost converter dengan ldr sebagai pengendali sinyal pwm untuk menaikan tegangan panel surya. *Journal of Electrical Power Control and Automation*, 1(2), 39–44. <https://doi.org/10.33087/jepca.v1i2.9>
- Subarjo, A. H., Mardwianta, B., & Wicaksono, A. B. (2020). Efisiensi Kompor Surya Parabola Berreflektor Cermin Untuk Menunjang Ketahanan Energi. *Jurnal Surya Energy*, 4(1), 345–352. <https://doi.org/10.32502/jse.v4i1.1989>
- Syahid, M., Salam, N., Piarah, W., Djafar, Z., Jalaluddin, Tarakka, R., & Gaffar, A. (2022). Pemanfaatan Pompa Air Tenaga Surya untuk Sistem Irigasi Pertanian. *Jurnal Tepat (Teknologi Terapan Untuk Pengabdian Masyarakat)*, 5(1), 102–107.
- Timotius, H., Welman Simatupang, J., Andriani, M., Situmeang, P., Ramos SM, I., & Fauzi, M. (2023). Analisis Potensi Energi Matahari Menjadi Energi Listrik Di Indonesia: Proyeksi Dan Peramalan Kapasitas Terpasang Plts Dengan Metode Double Exponential Smoothing. *TESLA: Jurnal Teknik Elektro*, 25(2), 183–195.
- Viña, R. R., & Alagao, F. B. (2018). Field test of thermoelectric generator using parabolic trough solar concentrator for power generation. *AIP Conference Proceedings*, (pp. 1941).