

Smart Mini Water Chiller Ramah Lingkungan Berbasis Termoelektrik

Mutaufiq^{1*}, Yopi Yogasmana², Ega Taqwali Berman³, Kamin Sumardi⁴, dan Apri Wiyono⁵

^{1,2,3,4,5}Pendidikan Teknik Mesin, Pendidikan Teknologi dan Kejuruan, Universitas Pendidikan Indonesia
Jl. Dr. Setiabudhi No. 229 Bandung 40154 Jawa Barat Indonesia

e-mail: taufiq_top@upi.edu¹, yopiyogasmana@upi.edu², egatb@upi.edu³, kaminsumardi@upi.edu⁴,
apri.wiyono@upi.edu⁵

Received : Desember, 2024

Accepted : April, 2024

Published : April, 2024

Abstract

The Chiller is one of the cooling machine teaching aids in the Indonesian Education University Refrigeration Laboratory. This tool still uses a vapor compression refrigeration system, so it requires a compressor with large electrical energy and synthetic refrigerants which are less environmentally friendly. This research aims to design a Smart Mini Water Chiller (SMWC) as a cooling system that is environmentally friendly and energy efficient. The SMWC cooling system is designed to use thermoelectric which does not require freon and a compressor like vapor compression refrigeration systems. So, the SMWC cooling system is environmentally friendly and also saves electrical energy. Apart from that, the SMWC cooling system is designed using an ON/OFF control system and temperature monitoring via cell phone. The research has been carried out experimentally with a research and development approach which includes concept, design, collecting materials, assembly and testing. Testing was carried out to determine the reliability of the SMWC when operated offline and online. Test results show that SMWC can be controlled ON/OFF and its performance monitored remotely. The minimum temperature that can be achieved by SMWC when using an air load is 4,8 °C and when using a water load it is 21,9 °C. Meanwhile, the average SMWC electrical energy consumption is 454,67 10⁻⁴ kWh for air loads and 458,08 10⁻⁴ kWh for water loads.

Keywords: energy saving, mini water chiller, no refrigerant, smart control, thermoelectric

Abstrak

Chiller merupakan salah satu alat peraga mesin pendingin yang ada di Laboratorium Refrigerasi Universitas Pendidikan Indonesia. Alat ini masih menggunakan sistem refrigerasi kompresi uap sehingga membutuhkan kompresor berenergi listrik besar serta refrigeran sintetik yang kurang ramah terhadap lingkungan. Penelitian ini bertujuan untuk merancang bangun Smart Mini Water Chiller (SMWC) sebagai sistem pendingin yang ramah lingkungan dan hemat energi. Sistem pendingin SMWC dirancang menggunakan termoelektrik yang tidak membutuhkan freon dan kompresor seperti sistem refrigerasi kompresi uap. Sehingga sistem pendingin SMWC ramah terhadap lingkungan dan juga hemat energi listrik. Selain itu sistem pendingin SMWC dirancang menggunakan sistem kendali ON/OFF dan monitoring temperatur melalui telepon seluler. Penelitian telah dilakukan secara eksperimen dengan pendekatan research and development yang meliputi concept, design, collecting materials, assembly, dan uji coba. Pengujian dilakukan untuk mengetahui kehandalan SMWC ketika dioperasikan secara luring dan daring. Hasil pengujian menunjukkan bahwa, SMWC dapat dikontrol secara ON/OFF dan dipantau performanya dari jarak jauh. Temperatur minimum yang dapat dicapai SMWC saat menggunakan beban udara yaitu 4,8 °C dan saat menggunakan beban air sebesar 21,9 °C. Sedangkan rerata konsumsi energi listrik SMWC sebesar 454,67 10⁻⁴ kWh untuk beban udara dan 458,08 10⁻⁴ kWh untuk beban air.

Kata Kunci: hemat energi, mini water chiller, smart kontrol, tanpa refrigeran, termoelektrik

1. PENDAHULUAN

Mesin pendingin *Chiller* merupakan salah satu alat peraga di Laboratorium Refrigerasi, Fakultas Pendidikan Teknologi dan Kejuruan, Universitas Pendidikan Indonesia. Alat peraga pendidikan ini merupakan hasil modifikasi dari AC (*Air Conditioning*) jenis *wall mounted* sehingga masih menggunakan sistem kompresi uap. *Chiller* merupakan mesin pendingin yang biasa digunakan untuk memproduksi *Chilled water* (air dingin). *Chilled water* yang dihasilkan oleh *Chiller* dapat dimanfaatkan untuk berbagai keperluan diantaranya sebagai pengkondisi temperatur udara. Pada bidang pengkondisian udara berkapasitas besar, *Chilled water* digunakan sebagai refrigeran sekunder (fluida kerja) yang dapat mereduksi penggunaan refrigeran yang cukup mahal.

Sistem pendingin yang dapat digunakan untuk mengkondisikan temperatur cukup banyak jenisnya, diantaranya yaitu sistem pendingin cryogenic, steirling, steam jet, absorpsi, termoelektrik, kompresi uap, *magnetic refrigeration*, dan lain-lain [1]–[3]. Sistem pendingin *cryogenic*, *steirling*, *steam jet*, dan *magnetic refrigeration* merupakan jenis sistem pendingin yang digunakan untuk aplikasi khusus. Sistem pendingin yang biasa diaplikasikan pada mesin pendingin *Chiller* adalah sistem pendingin kompresi uap. Sistem pendingin kompresi uap memang merupakan sistem pendingin yang sangat handal dan paling banyak digunakan untuk berbagai aplikasi pendinginan [4], termasuk untuk mesin pendingin *chiller*. Hanya saja sistem pendingin ini membutuhkan freon dan kompresor untuk beroperasi. Padahal sudah diketahui bahwa freon memiliki nilai GWP (*Global Warming Potential*) tinggi yang dapat mengakibatkan pemanasan global di permukaan bumi dan nilai ODP (*Ozone Depletion Potential*) yang dapat memicu terjadinya kerusakan lapisan ozon [5]–[7]. Selain itu kompresor merupakan komponen elektronik yang membutuhkan suplai listrik cukup besar sehingga berakibat pada pemborosan energi.

Berbagai kekurangan sistem pendingin kompresi uap, membuka peluang untuk mencari sistem pendingin lain yang hemat energi dan ramah lingkungan serta kinerja yang

masih mampu menanggulangi beban panas yang harus ditangani. Mesin pendingin yang berpotensi untuk menggantikan mesin pendingin kompresi uap adalah sistem pendingin berbasis termoelektrik [8]. Sistem pendingin ini terdiri dari rangkaian semi konduktor (peltier) yang dilapisi plat pada kedua sisinya. Pada saat rangkaian semi konduktor dialiri arus DC, salah satu sisinya menjadi dingin tanpa perlu refrigeran dan kompresor. Sehingga sisi dingin dari semi konduktor dapat dimanfaatkan untuk mendinginkan air yang akan disirkulasikan ke ruang yang didinginkan [9]. Sistem pendingin termoelektrik tidak membutuhkan freon (refrigeran) dan kompresor seperti pada sistem pendingin AC atau refrigerator. Sehingga sistem pendingin ini ramah terhadap lingkungan serta hemat energi.

Sistem pendingin termoelektrik banyak dikembangkan untuk diaplikasikan pada bidang yang membutuhkan sistem pendingin berkapasitas kecil. Diantaranya digunakan untuk meningkatkan kinerja *solar still*. Sistem pendingin termoelektrik digunakan untuk meningkatkan perbedaan suhu antara gelas dan air yang menjadi parameter kinerja *solar still*. Sisi dingin termoelektrik digunakan untuk mendinginkan kaca dan sisi panasnya digunakan untuk memanaskan air yang melewati penukar panas koil heliks. Hasil penelitian menunjukkan bahwa modifikasi *solar still* dengan penambahan termoelektrik dapat meningkatkan produktivitas sebesar 2,32 kali dan menghasilkan efisiensi sebesar 76,4%. Selain itu, efisiensi eksergi maksimum pada *solar still* konvensional dan *solar still* hasil modifikasi adalah sekitar 1,48% dan 0,8% [10]. Kajian lain memaparkan aplikasi sistem pendingin berbasis termoelektrik digunakan pada sistem pendingin surya hibrida yang digerakkan oleh unit fotovoltaik/termal terkonsentrasi (CPV/T). Sehingga pendinginan modul PV lebih efektif dan memberikan lebih banyak listrik dengan energi termal lebih sedikit. Diperoleh juga ada lebih banyak efek pendinginan dari pendingin termoelektrik. Hasil penelitian menunjukkan bahwa COP keseluruhan sistem pada 1000 W/m² meningkat dari 0,151 menjadi 0,233 ketika suhu *outlet* PV/T meningkat dari 65 °C menjadi 90 °C [11]. Penelitian lain menceritakan bahwa

sistem termoelektrik dapat membantu sistem manajemen termal baterai pada kendaraan listrik. Penelitian ini mengkombinasikan pendinginan paksa dengan udara, pendinginan air, dan pendinginan menggunakan termoelektrik. Hasil eksperimen menunjukkan bahwa temperatur permukaan baterai turun sekitar dari 55 °C menjadi 12 °C [12].

Melalui artikel ini, disajikan sistem pendingin mesin mini *water Chiller* berbasis termoelektrik yang dilengkapi *smart control* serta monitoring temperatur dan konsumsi energi melalui telepon seluler. Hasil riset ini diharapkan dapat menjadi alternatif mesin *water Chiller* menggunakan sistem pendingin berbasis termoelektrik yang dapat digunakan untuk berbagai aplikasi pengkondisian udara yang *smart* dan mudah digunakan. Ini sekaligus melengkapi alat peraga praktikum yang ada di laboratorium Refrigerasi Universitas Pendidikan Indonesia yang dapat menambah wawasan keilmuan di bidang pendingin untuk seluruh mahasiswa bidang pendingin.

2. METODE PENELITIAN

2.1 Diagram Alur Penelitian

Kegiatan penelitian telah dilaksanakan di Laboratorium Refrigerasi dan Tata Udara, Fakultas Pendidikan Teknologi dan Kejuruan, Universitas Pendidikan Indonesia, Bandung. Penelitian dirancang secara eksperimen dengan pendekatan *research and development* meliputi *concept design, collecting materials, assembly*, dan uji coba. Gambar 1 menunjukkan diagram alur penelitian untuk menghasilkan Mini *Water Chiller* (MWC).

2.2 Konsep Desain, Bahan, dan Perakitan

Mini *Water Chiller* (MWC) di desain agar dapat beroperasi secara luring atau daring. Sehingga MWC menjadi perangkat pemproduksi air dingin yang *smart* dan dapat diaplikasikan untuk berbagai kebutuhan pengkondisian temperatur udara. Desain sistem pendingin MWC disajikan pada gambar 2 Rancangan *Smart Mini Water Chiller* (SMWC). SMWC dibangun menggunakan sistem pendingin berbasis termoelektrik. Peltier/TEC (*Thermoelectric Cooling*) menjadi piranti utama sistem pendingin termoelektrik. Untuk mendapatkan mini *water Chiller* sesuai rancangan dibutuhkan enam unit peltier untuk mendinginkan air, *water block* berukuran 200

mm x 40 mm sebagai tempat air bersirkulasi, sebuah *heat sink* berukuran 300 mm x 80 mm untuk membuang kalor dari sisi panas peltier, dua buah kipas untuk meneruskan panas dari *heat sink* ke lingkungan, sebuah wadah air berukuran 16 liter sebagai tempat produk *chilled water*, sebuah pompa untuk mensirkulasikan air, dan lain-lain. Selanjutnya agar menjadi smart MWC, MWC diintegrasikan dengan Sistem Kendali dan *Monitoring Performa* (SKMP) hasil riset tahun 2022 [13].

2.3 Pengujian *Smart Mini Water Chiller*

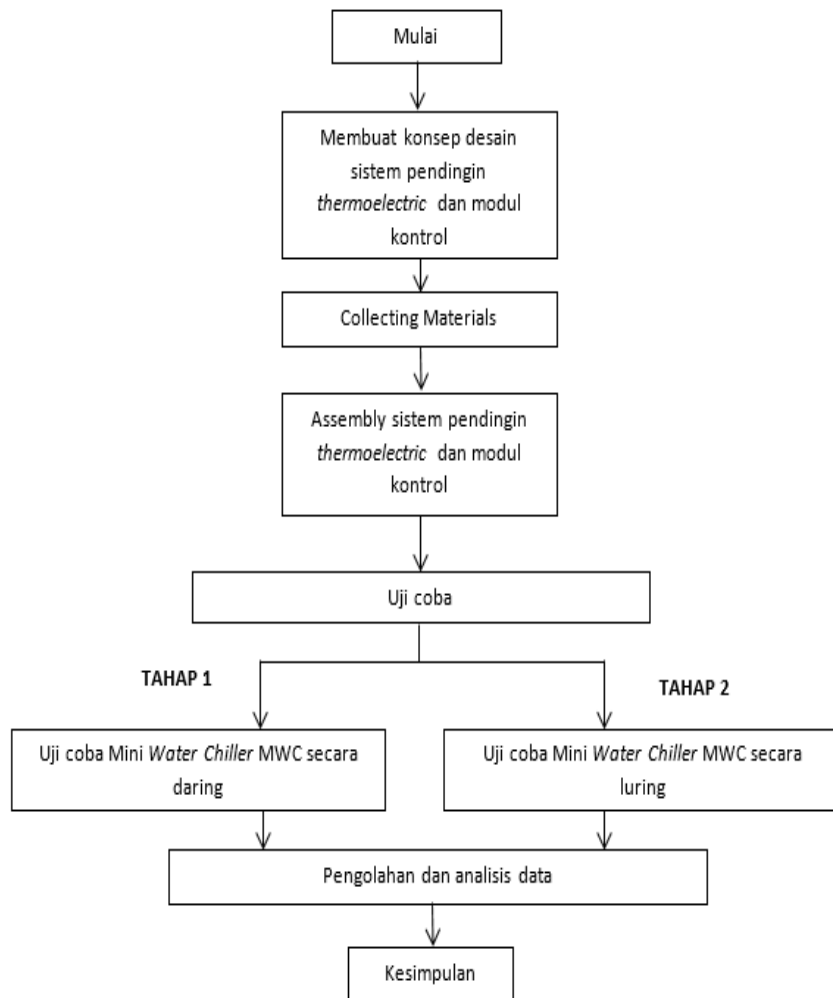
Pengujian dilakukan untuk mengetahui kehandalan *Smart Mini Water Chiller* (SMWC) saat dioperasikan secara luring atau daring untuk mendinginkan air di dalam wadah air berkapasitas 16 liter. Pengujian secara luring dilakukan di lokasi 1 (Laboratorium Refrigerasi dan Tata Udara), seperti tampak pada gambar 4 lokasi pengambilan data. Pengujian difokuskan untuk mengetahui performa terbaik SMWC yang meliputi, temperatur permukaan *water block* yang didalamnya ada air, temperatur *heat sink*, dan konsumsi energi listrik. Skema pengujian SMWC disajikan pada gambar 3 pengujian performa SMWC secara luring dan daring.

Berbeda dengan pengujian luring yang mentargetkan data performa terbaik yang dapat dicapai SMWC, pengujian daring lebih difokuskan hanya untuk mengetahui SMWC dapat dioperasikan *ON/OFF* dan di pantau performanya dari jarak jauh. Sehingga pengujian ini dilakukan dengan cara *me-remote (ON/OFF)* SMWC secara spontan tanpa memperhitungkan waktu sistem beroperasi. Kemudian titik pengambilan data juga dipilih secara acak sesuai dengan tempat pemberhentian motor. Pada waktu dan titik pengambilan data yang sama, juga dilakukan memonitor parameter performa SMWC melalui telepon seluler dari beberapa lokasi di kota Bandung sampai Lembang Bandung Barat. Gambar 4 menunjukkan lokasi titik pengambilan data SMWC.

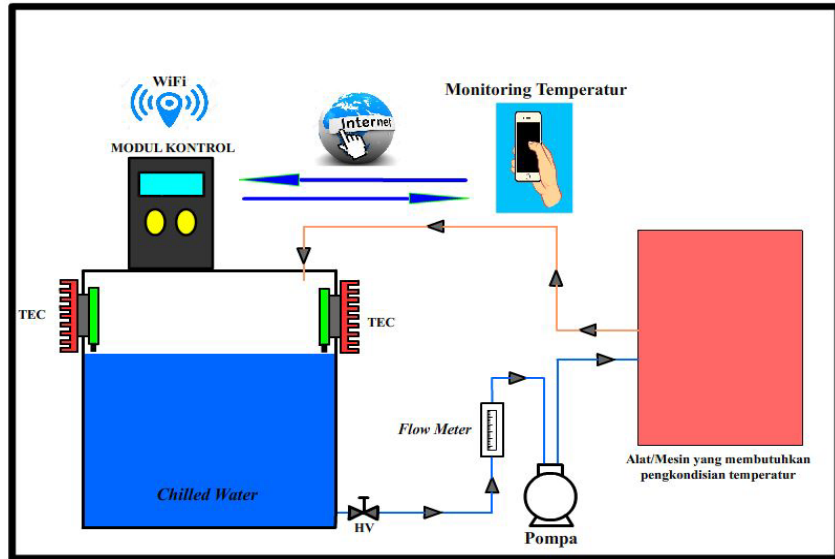
Berdasarkan gambar 4 lokasi pengambilan data, terdapat sebelas titik lokasi pengambilan data. Pengambilan data dilakukan dengan menggunakan sepeda motor dimulai dari titik 0 Km didekat Laboratorium Refrigerasi dan Tata Udara (tempat penyimpanan SMWC),

kemudian dilanjutkan menuju lokasi ke-2 di dekat terminal Ledeng, kemudian lokasi ke-3 di dekat Orion Town House, lokasi ke-4 di dekat Hotel Padasuka, lokasi ke-5 di dekat RSUD Lembang, lokasi ke-6 di dekat Hotel Cemara Hijau, lokasi ke-7 di dekat RM sate kelinci Lembang, lokasi ke-8 di dekat Betrix Lembang, lokasi ke-9 di dekat Borma Lembang, lokasi ke-10 di perempatan Panorama, dan lokasi ke-11 di Masjid At-Taqwa Lembang. Seluruh lokasi pengambilan data ditentukan secara acak

sesuai dengan tempat berhentinya sepeda motor. Pengambilan data daring diawali dengan menandai lokasi pada google maps. Selanjutnya pada setiap titik pengambilan data, dilakukan pengujian *ON/OFF* (menghidupkan atau mematikan) SMWC melalui telepon seluler yang sudah diinstal aplikasi *eWelink*. Selain uji coba sistem *ON/OFF*, juga dilakukan monitoring konsumsi energi listrik dan temperatur pada *water block* dan *heatsink*.



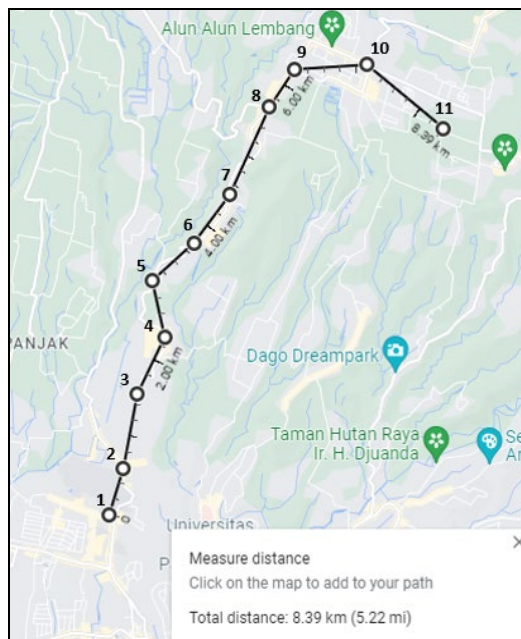
Gambar 1. Diagram Alur Penelitian untuk Menghasilkan Mini Water Chiller (MWC)



Gambar 2. Rancangan Smart Mini Water Chiller (SMWC)



Gambar 3. Pengujian Performa SMWC Secara Luring dan Daring



Gambar 4. Lokasi Pengambilan Data

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian *Smart Mini Water Chiller* (SMWC) telah dilakukan secara daring dan secara luring. Pengujian daring difokuskan untuk mengetahui kehandalan SMWC saat dikendalikan secara ON/OFF dari jarak jauh dan dipantau kinerjanya melalui telepon seluler android dari berbagai lokasi. Telepon seluler akan membaca temperatur dan konsumsi energy melalui data yang dikirim oleh sensor yang terpasang pada SMWC. Sensor-sensor tersebut sudah dirancang oleh pabrik pembuatnya agar dapat berkomunikasi melalui aplikasi *eWelink* yang sudah terinstal pada telepon seluler. Selanjutnya pengujian luring difokuskan untuk melihat kinerja maksimal yang dapat dicapai oleh SMWC saat beroperasi dengan beban udara dan beban air.

3.1 Pengujian Daring

Pengujian daring untuk mengetahui kehandalan SMWC ditampilkan pada tabel 1 hasil pengujian sistem kendali ON/OFF jarak

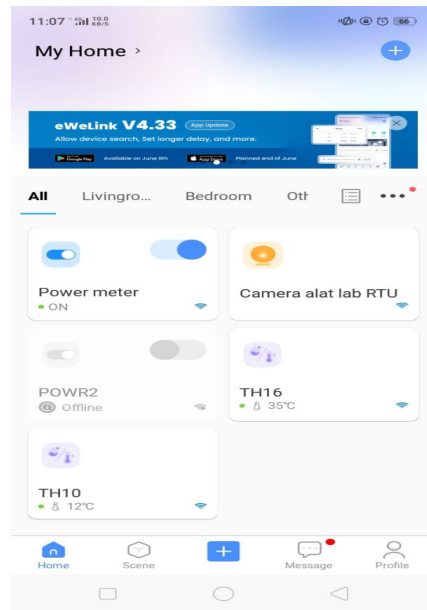
jauh melalui telepon seluler. Berdasarkan data yang disajikan pada tabel 1, SMWC dapat dihidupkan atau dimatikan dari seluruh titik lokasi pengujian. SMWC mulai diuji-coba ON/OFF dari lokasi terdekat pada koordinat (X, Y) dititik -6.864132091199857, 107.59306621138816 yaitu di dekat Laboratorium RTU FPTK UPI. Pada lokasi ini SMWC dapat beroperasi sesuai dengan perintah aplikasi *eWelink* yang ada pada telepon seluler. Kemudian pengujian dilanjutkan pada lokasi kedua didekat terminal Ledeng pada titik -6.819035621544985, 107.62579091518138, kemudian dilanjutkan pada lokasi ketiga dekat Orion Town House, dititik -6.850633505150175, 107.59573313637691, dilanjutkan sampai titik lokasi pengujian terjauh pada titik -6.821435257592992, 107.63144736766158 di Masjid At-Taqwa Lembang dengan jarak 8,4 Km, SMWC dapat beroperasi dengan baik sesuai perintah melalui aplikasi *eWelink* pada telepon seluler android. Gambar 5 menyajikan tampilan aplikasi *eWelink* pada telepon seluler.

Tabel 1: Hasil Pengujian Sistem Kendali ON/OFF Jarak Jauh Melalui Telepon Seluler

No.	Lokasi	Koordinat Lokasi Pengambilan Data	Kondisi Mini Water Chiller saat sistem kontrol ON/OFF	
		(X,Y)	Berfungsi Baik	Tidak Berfungsi
1	Laboratorium RTU FPTK UPI	-6.864132091199857, 107.59306621138816	√	-
2	Terminal Ledeng	-6.819035621544985, 107.62579091518138	√	-
3	Orion Town House	-6.850633505150175, 107.59573313637691	√	-
4	Hotel Padasuka	-6.844532683893543, 107.60004535171966	√	-
5	RSUD Lembang	-6.838008346719727, 107.59808109582663	√	-
6	Hotel Cemara Hijau	-6.833775221945147, 107.60324766291059	√	-
7	RM sate kelinci, Lembang	-6.828668895609602, 107.60722764698052	√	-
8	Betrix, Lembang	-6.818856907096015, 107.61168662275249	√	-
9	Borma, Lembang	-6.814659567443164, 107.61480632237058	√	-
10	Perempatan Panorama	-6.814305045759654, 107.6227069086902	√	-
11	Masjid At-Taqwa Lembang	-6.821435257592992, 107.63144736766158	√	-

Pada gambar 5 tampilan aplikasi *eWelink* pada telepon seluler. Aplikasi ini tersedia secara gratis pada *play store* yang mudah disesuaikan dengan kebutuhan alat kontrol SMWC. Pada *eWelink* terdapat beberapa menu yang digunakan untuk mengontrol SMWC secara ON/OFF dan memantau performa SMWC dari jarak jauh. Menu camera digunakan untuk memantau kondisi SMWC secara umum, baik itu SMWC sedang bekerja atau sedang mati.

Kemudian menu POWR2 digunakan untuk menghidupkan/mematikan (ON/OFF) SMWC. Kemudian menu *power meter* digunakan untuk memantau konsumsi energi SMWC selama beroperasi, serta menu TH10 dan TH16 digunakan untuk memantau temperatur *heat sink* dan temperatur permukaan *water block*. Melalui menu-menu tersebut performa SMWC dapat dimonitor secara *real time* selama 24 jam.



Gambar 5. Tampilan Aplikasi *eWelink* pada Telepon Seluler

Tabel 2: Hasil Monitoring Performa SMWC Melalui Telepon Seluler

No.	Lokasi	Jarak	Temperatur Permukaan <i>Water block</i>	Temperatur <i>heatsink</i>	Daya Listrik	Konsumsi Energi Listrik
		(Km)	°C	°C	(Watt)	(kWh)
1	Laboratorium RTU FPTK UPI	0,00	24	25	224	0,02
2	Terminal Ledeng	0,50	13	34	181,91	0,04
3	Orion Town House	1,54	12	35	181,53	0,05
4	Hotel Padasuka	2,35	12	35	183,39	0,07
5	RSUD Lembang	3,00	12	35	183,39	0,08
6	Hotel Cemara Hijau	4,17	12	35	183,39	0,09
7	RM sate kelinci, Lembang	4,89	12	35	183,39	0,10
8	Betrix, Lembang	6,00	12	35	183,39	0,11
9	Borma, Lembang	6,65	12	35	183,39	0,12
10	Perempatan Panorama	7,75	12	35	183,39	0,13
11	Masjid At-Taqwa Lembang	8,40	12	35	183,39	0,15

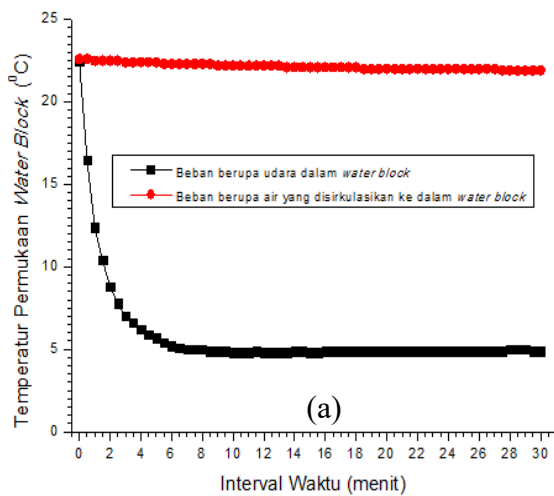
Berdasarkan hasil monitoring melalui aplikasi *eWelink*, performa SMWC dapat dipantau dari berbagai lokasi pengujian. Performa SMWC dari berbagai lokasi disajikan pada tabel 2 hasil monitoring performa SMWC melalui telepon seluler. Berdasarkan tabel 2, performa SMWC berupa temperatur permukaan *water block*, temperatur *heat sink*, daya listrik, dan konsumsi energi listrik dapat terpantau dengan baik. Seluruh data performa terpantau dengan baik mulai dari titik pengambilan data terdekat sampai lokasi terjauh dengan jarak 8,4 Km. Performa temperatur permukaan *water block* SMWC terpantau mulai dari 24 °C kemudian turun sampai temperatur 12 °C. Selanjutnya temperatur *heat sink* dapat dipantau dengan

baik oleh aplikasi *eWelink* mulai dari 25 °C sampai 35 °C. Selanjutnya konsumsi energi listrik terpantau mulai dari 0,02 kWh, kemudian naik menjadi 0,04 kWh sampai konsumsi energi tertinggi terpantau saat pengambilan data di Masjid At-Taqwa 0,15 kWh.

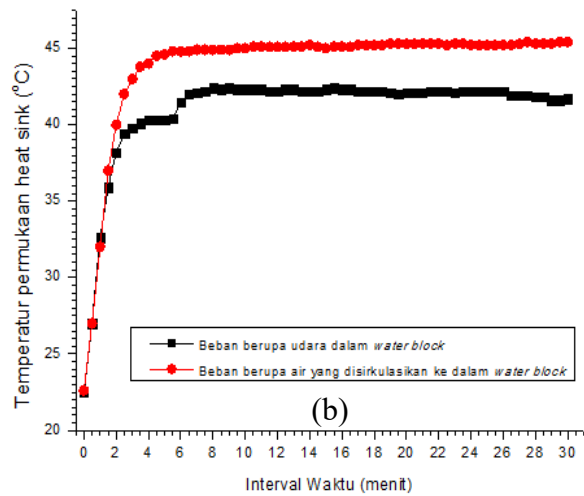
3.2 Pengujian Luring

Pengujian luring bertujuan untuk mengetahui performa terbaik yang dapat dicapai oleh SMWC. Performa SMWC diselidiki melalui parameter temperatur permukaan *water block*, temperatur *heat sink*, dan konsumsi energi listrik. Hasil monitoring performa SMWC ditampilkan pada gambar 6 (a) temperatur *water block* terhadap waktu dan 6 (b)

temperatur *heat sink* terhadap waktu, serta gambar 7 konsumsi energi listrik terhadap waktu. Pada gambar 6 (a), temperatur permukaan *water block* menginformasikan kinerja SMWC untuk menurunkan temperatur air atau udara yang ada di dalam *water block*. Semakin rendah temperatur dipermukaan *water block*, maka kinerja SMWC semakin baik. Berdasarkan gambar grafik 6(a), Temperatur permukaan *water block* dengan beban udara turun sangat cepat. Temperatur mulai turun dari 22,6 °C pada menit ke-1 sampai temperatur 5 °C pada menit ke-7. Setelah itu temperatur permukaan *water block* berisi udara turun dengan lambat sampai temperatur



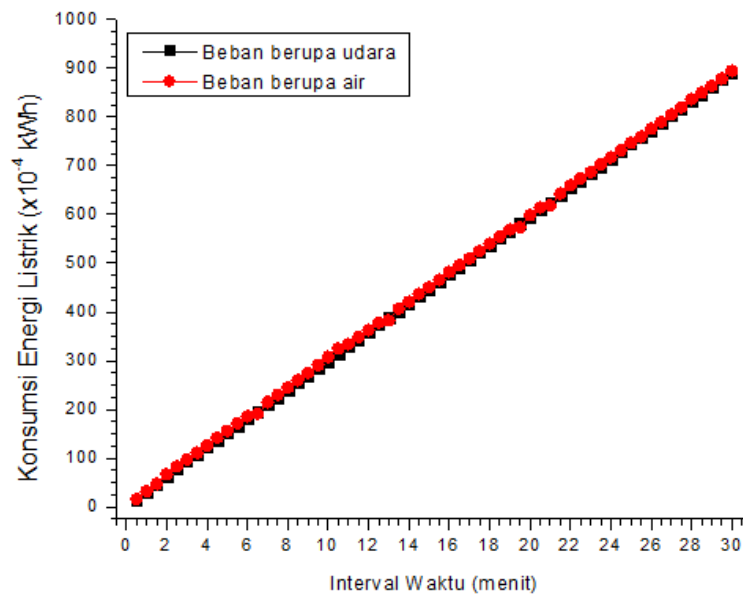
4,8 °C (menit ke-10). Setelah itu, dari menit ke-11 sampai menit ke-30, temperatur permukaan *water block* cukup konstan, hanya berubah 0,1 °C - 0,2 °C. Berbeda dengan temperatur permukaan *water block* dengan beban udara, temperatur permukaan *water block* dengan beban air relatif konstan. Gambar 6 (a) memperlihatkan, tidak ada penurunan yang cukup signifikan. Sejak menit awal sistem di-onkan temperatur permukaan *water block* hanya turun dari 22,6 °C sampai 21,9 °C. Ini artinya penurunan temperaturnya sangat kecil, hanya 0,7 °C. Selama sistem dioperasikan penurunan temperatur tidak terlalu berarti.



Gambar 6. (a) Grafik Temperatur *Water Block* Terhadap Waktu dan (b) Temperatur *Heat Sink* Terhadap Waktu

Pada sisi panas dari SMWC terdapat *heat sink* yang bertugas untuk membantu melepaskan panas dari sistem termoelektrik ke lingkungan sekitar. Gambar 6 (b) menyajikan grafik temperatur permukaan *heat sink* terhadap waktu. Berdasarkan gambar 6 (b), sejak sistem dioperasikan, temperatur permukaan *heat sink* berbeban udara naik dengan cepat. Temperatur permukaan *heat sink* naik dari 22,6 °C sampai 42 °C dalam waktu 6,5 menit. Setelah itu, temperatur naik dengan lambat sampai 42,2 °C di menit ke-26, kemudian turun lagi sampai 41,7 °C di menit ke-30. Senada dengan temperatur permukaan *heat sink* dengan beban udara, temperatur permukaan *heat sink* berbeban air naik dengan sangat

cepat pada empat menit pertama. Temperatur permukaan *heat sink* berbeban air naik dari temperatur awalnya 22,5 °C menjadi 44 °C pada menit ke-4. Selanjutnya dari menit ke-5 temperatur permukaan *heat sink* berbeban air naik dengan lambat sampai 45,3 °C pada menit ke-23. Kemudian temperatur mengalami fluktuasi (naik-turun) pada kisaran 0,1 °C – 0,2 °C sampai menit ke-30. Fluktuasi temperatur permukaan *water block* dan temperatur permukaan *heat sink*, ternyata tidak terlalu mempengaruhi parameter konsumsi energi listrik SMWC. Gambar 7 menampilkan nilai konsumsi energi listrik terhadap waktu dari SMWC.



Gambar 7. Konsumsi Energi Listrik Terhadap Waktu

Berdasarkan gambar 7 konsumsi energi listrik terhadap waktu, terlihat bahwa konsumsi energi listrik SMWC saat beroperasi dengan beban udara atau dengan beban air relatif sama. Sejak mulai beroperasi, nilai konsumsi energi listrik SMWC dengan beban udara naik secara linear mulai dari 15×10^{-4} kWh sampai 891×10^{-4} kWh dengan rerata sebesar $454,67 \times 10^{-4}$ kWh. Sedangkan saat SMWC diberikan beban air, konsumsi energi listrik hampir sama yaitu berkisar antara 16×10^{-4} kWh sampai 895×10^{-4} kWh dengan rerata $458,08 \times 10^{-4}$ kWh. Apabila di rupaikan dengan menggunakan perhitungan biaya listrik untuk pelanggan rumah tangga 1.300 – 2.200 VA sebesar Rp. 1.444,72/kWh, maka biaya operasional SMWC permenit dapat diketahui. Biaya rerata operasional SMWC saat menggunakan beban udara permenit sekitar Rp. 4,255 rupiah. Sedangkan biaya rerata SMWC saat beroperasi dengan beban air adalah Rp. 4,272 rupiah permenit. Biaya ini sangat ekonomis dibandingkan dengan biaya operasional mesin pendingin *Chiller* menggunakan sistem kompresi uap. Karena mesin pendingin sistem kompresi uap menggunakan kompresor yang membutuhkan arus listrik cukup besar. Selain ekonomis, SMWC sangat ramah terhadap lingkungan karena dapat beroperasi tanpa menggunakan refrigeran sintetik yang dapat menyebabkan pemanasan global dan dapat memicu terjadinya kerusakan ozon.

4. KESIMPULAN

Rancang bangun *Smart Mini Water Chiller* (SMWC) telah berhasil direalisasikan. Hasil pengujian menunjukkan bahwa SMWC dapat beroperasi dengan baik pada mode daring atau luring. Temperatur minimum yang dapat dicapai SMWC saat menggunakan beban udara yaitu $4,8 \text{ }^\circ\text{C}$ dan saat menggunakan beban air sebesar $21,9 \text{ }^\circ\text{C}$. Sedangkan rerata konsumsi energi listrik SMWC sebesar $454,67 \times 10^{-4}$ kWh untuk beban udara dan $458,08 \times 10^{-4}$ kWh untuk beban air. Untuk memaksimalkan pencapaian temperatur dapat dicoba dengan memvariasikan kecepatan air yang bersirkulasi dalam SMWC.

PERNYATAAN PENGHARGAAN

Ucapan terima kasih kepada Lembaga Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat (LPPM) Universitas Pendidikan Indonesia (UPI) tahun Anggaran 2023, yang telah membantu pendanaan penelitian melalui skim Penelitian Inovasi Tenaga Kependidikan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] H. Gui *et al.*, "Review of Power Electronics Components at Cryogenic Temperatures," *IEEE Trans. Power Electron.*, vol. 35, no. 5, pp. 5144–5156, 2020.
- [2] M. O. McLinden, C. J. Seeton, and A. Pearson, "New refrigerants and system configurations for vapor-compression

- refrigeration," *Science (80-.)*, vol. 370, no. 6518, pp. 791–796, 2020.
- [3] Y. Zhang, J. Wu, J. He, K. Wang, and G. Yu, "Solutions to obstacles in the commercialization of room-temperature magnetic refrigeration," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 143, no. March, p. 110933, 2021.
- [4] M. G. Gado, S. Ookawara, S. Nada, and I. I. El-Sharkawy, "Hybrid sorption-vapor compression cooling systems: A comprehensive overview," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 143, no. January, p. 110912, 2021.
- [5] M. Beshr, V. Aute, V. Sharma, O. Abdelaziz, B. Fricke, and R. Radermacher, "A comparative study on the environmental impact of supermarket refrigeration systems using low GWP refrigerants," *Int. J. Refrig.*, vol. 56, pp. 154–164, 2015.
- [6] S. Bobbo, G. Di Nicola, C. Zilio, J. S. Brown, and L. Fedele, "Low GWP halocarbon refrigerants: A review of thermophysical properties," *Int. J. Refrig.*, vol. 90, pp. 181–201, 2018.
- [7] A. Kasaeian, S. M. Hosseini, M. Sheikhpour, and O. Mahian, "Applications of eco-friendly refrigerants and nanorefrigerants: A review," vol. 96, no. December 2016, pp. 91–99, 2018.
- [8] D. M. E. Soedjono *et al.*, "Kaji Eksperimental Portable Cool Box Menggunakan TEC1-12705 Cascade Kampus ITS Keputih Sukolilo Surabaya 60111," pp. 285–291, 2019.
- [9] A. C. Sulaiman, N. A. M. Amin, M. H. Basha, M. S. A. Majid, N. F. B. M. Nasir, and I. Zaman, "Cooling Performance of Thermoelectric Cooling (TEC) and Applications: A review," *MATEC Web Conf.*, vol. 225, pp. 1–10, 2018.
- [10] S. Shoeibi, N. Rahbar, A. Abedini Esfahlani, and H. Kargarsharifabad, "Application of simultaneous thermoelectric cooling and heating to improve the performance of a solar still: An experimental study and exergy analysis," *Appl. Energy*, vol. 263, no. September 2019, p. 114581, 2020.
- [11] M. A. Al-Nimr and B. Mugdadi, "A hybrid absorption/thermo-electric cooling system driven by a concentrated photovoltaic/thermal unit," *Sustain. Energy Technol. Assessments*, vol. 40, no. June, p. 100769, 2020.
- [12] Y. Lyu, A. R. M. Siddique, S. H. Majid, M. Biglarbegian, S. A. Gadsden, and S. Mahmud, "Electric vehicle battery thermal management system with thermoelectric cooling," *Energy Reports*, vol. 5, pp. 822–827, 2019.
- [13] M. Mutaufiq, A. A. R. Irwanto, E. T. Berman, K. Sumardi, and A. Wiyono, "Rancang Bangun Sistem Kendali Dan Monitoring Performa Alat Peraga Praktik Refrigerator," vol. 4, pp. 185–195, 2022.