

Karakteristik Peltier dan Media Penyimpan Kalor pada Perancangan Sistem Pendingin Kotak Penyimpan Vaksin

Imron Rosyadi*, Haryadi, Hadi Wahyudi, Novreza Pratama dan M Haykal Fasya

Teknik Mesin, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
Jl. Raya Palka No. Km 3, Panancangan, Kec. Cipocok Jaya, Kab. Serang, Banten 42124, Indonesia

*E-mail: imron_jtm@untirta.ac.id

Diterima: 05-11-2021; Direvisi: 12-11-2021; Dipublikasi: 30-04-2022

Abstrak

Imunisasi diberikan untuk memberikan kekebalan pada tubuh dengan cara mengadakan pencegahan suatu penyakit atau meminimalkan efek yang diakibatkan oleh suatu penyakit terhadap suatu penyakit dengan cara memberikan vaksin kepada tubuh. Vaksin berpotensi mengalami kerusakan apabila terpapar dengan suhu panas dan suhu beku, Vaksin harus disimpan pada suhu antara 2°C - 8°C untuk menjaga kualitasnya. Penggunaan media penyimpanan kalor pada ice pack yang berisi air atau material berubah fasa / *Phase Change Material* (PCM) telah dilakukan pengujian. Namun masih belum ditemukan oleh peneliti terkait karakteristik sebagai media penyimpanan kalor. Pada penelitian ini diuji karakteristik beberapa thermoelectric atau dikenal dengan peltier, diuji juga beberapa media penyimpanan kalor dengan menggunakan media air, PCM dan penggunaan material Ice pack dari plastik dibandingkan dengan bahan aluminium. Penggunaan PCM pada 6 pack PCM (1800 ml) waktu yang dibutuhkan dari suhu beku sampai ke temperature 8°C adalah 13,89 jam memiliki kemampuan terbaik dalam menyimpan kalor, akan tetapi, suhu bekunya yang berada jauh dibawah suhu beku air yaitu di -12°C dapat menyebabkan kerusakan pada vaksin karena terpapar temperatur beku dibawah 2°C. Penggunaan PCM lebih disarankan untuk media penyimpanan kalor pada makanan dan minuman. Pada aplikasi penggunaan vaksin, lebih disarankan menggunakan 6 pack air dengan material aluminium dengan waktu terbaik 10,21 jam dimana suhu minimal rata-rata nya adalah 5,7°C.

Kata kunci: aluminium; ice pack; karakteristik; PCM; thermoelectric

Abstract

Immunization is given to provide immunity to the body by preventing a disease or minimizing the effects caused by a disease against a disease by giving a vaccine to the body. Vaccines have the potential to be damaged when exposed to heat and freezing temperatures. Vaccines must be stored at temperatures between 2 °C - 8 °C to maintain their quality. The use of heat storage media in ice packs containing water or Phase Change Material (PCM) has been tested. However, researchers have not found any related characteristics as a heat storage medium. In this study, the characteristics of thermoelectric or its called peltier. This study also find the characteristic of several heat storage media were tested using water media, PCM and the use of plastik ice packs compared to aluminum. The use of PCM on 6 packs of PCM (1800 ml) the time it takes from freezing to a temperature of 8 °C is 13.89 hours. It has the best ability to store heat, however, its freezing temperature is far below the freezing temperature of water, which is -12 °C. can cause damage to the vaccine by exposure to freezing temperatures below 2 oC. The use of PCM is recommended for heat storage media in food and beverages. In the application of vaccine use, it is recommended to use 6 packs of water with aluminum material with the best time of 10.21 hours where the average minimum temperature is 5.7 °C.

Keywords: aluminium; characteristic; ice pack; PCM; thermoelectric

1. Pendahuluan

Vaksin adalah produk biologi yang berisi antigen berupa mikroorganisme yang sudah mati atau masih hidup yang dilemahkan, masih utuh atau bagiannya, atau berupa toksin mikroorganisme yang telah diolah menjadi toksoid atau protein rekombinan, yang ditambahkan dengan zat lainnya, yang bila diberikan kepada seseorang akan menimbulkan kekebalan spesifik secara aktif terhadap penyakit tertentu [1]. Imunisasi diberikan untuk memberikan kekebalan pada tubuh dengan cara mengadakan pencegahan suatu penyakit atau meminimalkan efek yang diakibatkan oleh suatu penyakit terhadap suatu penyakit dengan cara memberikan vaksin kepada tubuh. Imunisasi yang diwajibkan oleh Pemerintah kepada seseorang sebagai bagian dari masyarakat dalam rangka melindungi yang bersangkutan dan masyarakat sekitarnya dari

penyakit yang dapat dicegah. Vaksin berpotensi mengalami kerusakan apabila terpapar dengan suhu panas dan suhu beku, Vaksin harus disimpan pada suhu antara 2 °C - 8 °C untuk menjaga kualitasnya [1].

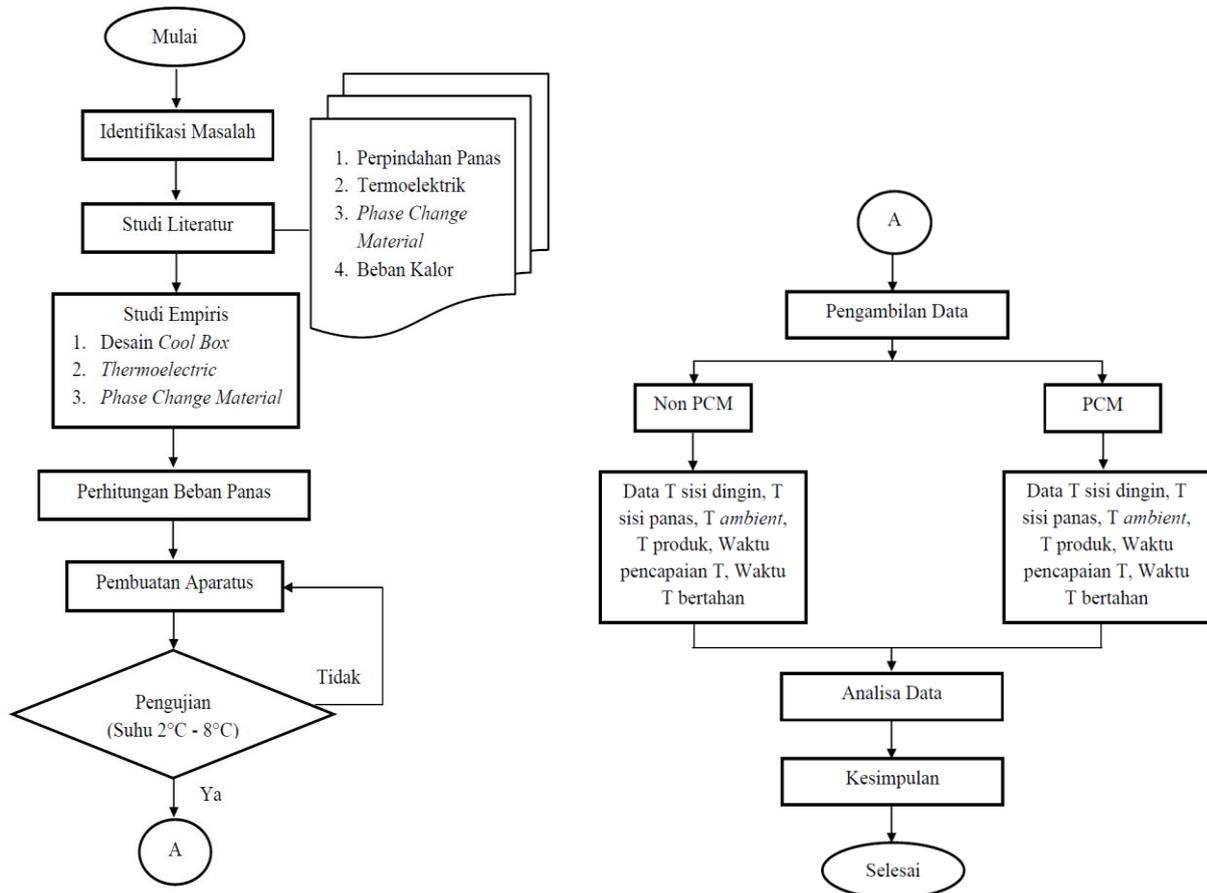
Pada penelitian tahun 2011 dan 2012 menunjukkan bahwa banyak terjadinya kerusakan vaksin pada sistem rantai dingin yang terjadi selama perjalanan dari pabrik pembuat hingga ketempat tujuan vaksin. Hal ini disebabkan karena tidak dikelola dengan baik [2]. Penelitian lain oleh Susyanty dkk tahun 2014 [3] juga menunjukkan tentang pengelolaan rantai dingin vaksin memiliki hasil baik di tingkat provinsi, namun hasil yang sama belum ditunjukkan di tingkat kabupaten dan puskesmas. Begitu juga pada penelitian oleh Kairul dkk tahun 2016 [4] pada 12 Puskesmas di Sorolangan menunjukkan adanya pengelolaan rantai dingin vaksin yang kurang baik di tingkat kabupaten. Studi oleh Program *Appropriate Technology in Health (PATH)* dan Departemen Kesehatan RI tahun 2001- 2003 menyatakan bahwa 75% Vaksin di Indonesia telah terpapar suhu beku selama distribusi. Penelitian lain juga menunjukkan bahwa penemuan vaksin beku dalam pengelolaan rantai dingin masih sering terjadi, sehingga diperlukan sarana, prasarana, dan tenaga yang tepat guna mencegah terjadinya kerusakan pada vaksin [5] .

Dengan pengelolaan rantai pasok yang baik diharapkan vaksin dapat diterima oleh pasien dapat keadaan baik dan meminimalkan terjadinya kerusakan akibat paparan sinar matahari selama proses distribusi. Kotak penyimpanan vaksin dengan menggunakan teknologi *Thermoelectric* atau disebut peltier dikenalkan pada penelitian ini untuk menjaga temperatur sesuai yang diinginkan yaitu pada temperature 2 – 8 °C. Pemanfaatan elemen peltier banyak diaplikasikan dalam sistem kontrol temperature [6],[7], [8], terutama pada proses pendinginan seperti untuk sistem kontrol temperatur udara dan temperatur air [9]. Elemen peltier memiliki bentuk yang *compact* dengan daya yang kecil, sehingga sangat sesuai digunakan sebagai alat pendingin cool box. Penggunaan media penyimpan kalor pada *ice pack* yang berisi air atau material berubah fasa / *Phase Change Material (PCM)* telah dilakukan pengujian . Namun masih belum ditemukan oleh peneliti terkait karakteristik. Tujuan dari riset ini adalah ingin menyajikan data dan Analisa tentang karakteristik termoelektrik sebagai alat pendingin *cooling box* dan karakteristik beberapa media penyimpan kalor dengan menggunakan media air, PCM dan penggunaan material *Ice pack* dari plastik dibandingkan dengan bahan Aluminium. Sehingga dengan data ini diharapkan dapat memberikan gambaran yang jelas yang dapat dimanfaatkan seorang perancang yang ingin merancang alat *cooling box* berbasis termoelektrik dengan media penyimpan panas secara lebih jelas.

2. Material dan metodologi

2.1. Diagram alir Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Prestasi Mesin, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, Cilegon, Banten. Metodologi penelitian yang digunakan adalah metode studi literatur dan metode eksperimen. Langkah – langkah pelaksanaan eksperimen yang akan dilakukan pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 1 tentang diagram alir penelitian. Identifikasi permasalahan ini meliputi data permasalahan dan kebutuhan yang diperlukan untuk perancangan. Dari hasil survey yang dilakukan diketahui bahwa alat vaksin yang dibutuhkan adalah alat yang ringan, compact, mudah dibawa, mudah dalam pengoperasian dan mudah dalam perawatannya. Studi literatur yang dilakukan mempelajari konsep perpindahan panas, pembebanan panas, kapasitas penyimpanan panas dan *Phase Change Material (PCM)* dll. Pengujian dilakukan pada varian material media *ice pack* yaitu *plastik BPA* dan Aluminium.



Gambar 1. Diagram alir penelitian

Variabel penelitian diambil dari faktor-faktor yang dapat mempengaruhi hasil penelitian yaitu :

- 1) Variabel Terikat:
 - a) Suhu pendinginan
 - b) Waktu pendinginan
- 2) Variabel Bebas
 - a) Jenis material kotak penyimpanan / *ice pack* (Al dan Plastik BPA Free / Food Grade material)
 - b) Fluida penyimpan kalor (air dan PCM)

2.2. Alat dan Bahan

Pengujian karakteristik dilakukan menggunakan peralatan percobaan terdiri dari : *Termoelectric cooler, Isolation cotton washer peltier*, Baterai 18650, 12V 50Ah, Termocouple, *Fan DC 12 V, Cool Pack* (Al dan Plastik), *Data Logger Labjack T7*, Baterai, *Cool Box, Heat sink* dan *Thermal Paster*.

Pada percobaan ini dalam mengukur besarnya perubahan temperatur yang terjadi digunakan alat data logger LabJack T7-Pro. Pencatatan perubahan temperatur dilakukan secara real time. Sehingga proses pengambilan data temperatur menggunakan data logger sangat tepat. Pada penelitian ini PCM yang digunakan adalah jenis PCM yang ada di pasaran yang banyak digunakan sebagai media penyimpan kalor. Adapun karakteristik dari PCM adalah sebagai berikut :

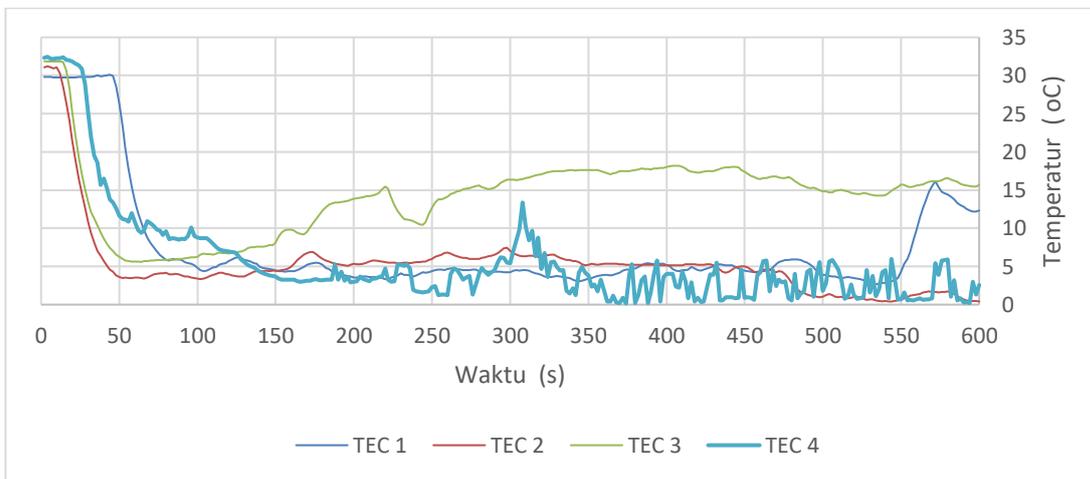
Tabel 1. Karakteristik PCM dan Air sebagai material uji penyimpan kalor

Specification		Discription
Appearance	Visual	Water white
Pour Point , °C	ASTM D97	-12 typical
Kinematic Viscosity @ 40 °C, mm ² /s	ASTM D445	70 typical
Kinematic Viscosity @ 100 °C, mm ² /s	ASTM D445	9 typical
Relative density @ 15 °C	ASTM D4052	0,87 typical
Flash point °C	ASTM D92	240 typical

3. Hasil dan pembahasan

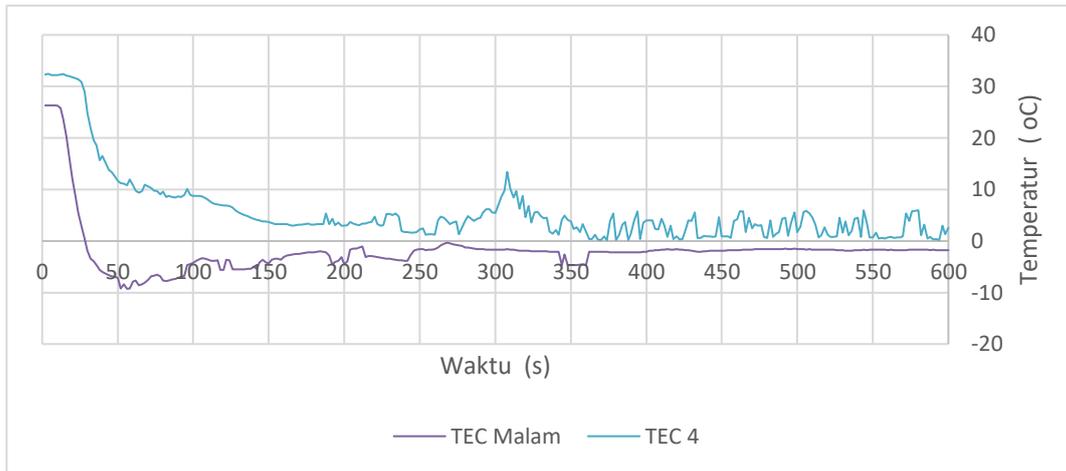
3.1. Hasil Pengujian Elemen Performa Peltier

Pada Gambar 2 disajikan grafik hubungan temperature dan waktu pendinginan dari kondisi temperatur ruang. Waktu pendinginan dilakukan selama 10 menit atau 600 detik. Sedangkan waktunya dipilih pagi hari pukul 10 WIB. Temperatur ruang pada saat pengujian berada pada temperatur sekita 30 °C. TEC 1,2,3, dan 4 diuji untuk melihat performance masing masing TEC. Hasil pengujian menunjukkan bahwa temperature rata rata pada TEC 1 adalah 4,62 °C, pada TEC 2 adalah 4,19 °C, pada TEC 3 adalah 13,93 °C, pada TEC 4 adalah 3,87 °C. Hasil pengujian ini menunjukkan bahwa setiap peltier memiliki performa yang berbeda beda. Hasil tertinggi adalah Peltier TEC 4 , sedangkan TEC 3 memiliki nilai performa terendah dan tidak berhasil mencapai temperature yang diinginkan. Untuk itu TEC ini selanjutnya tidak dapat digunakan sebagai material pengujian.



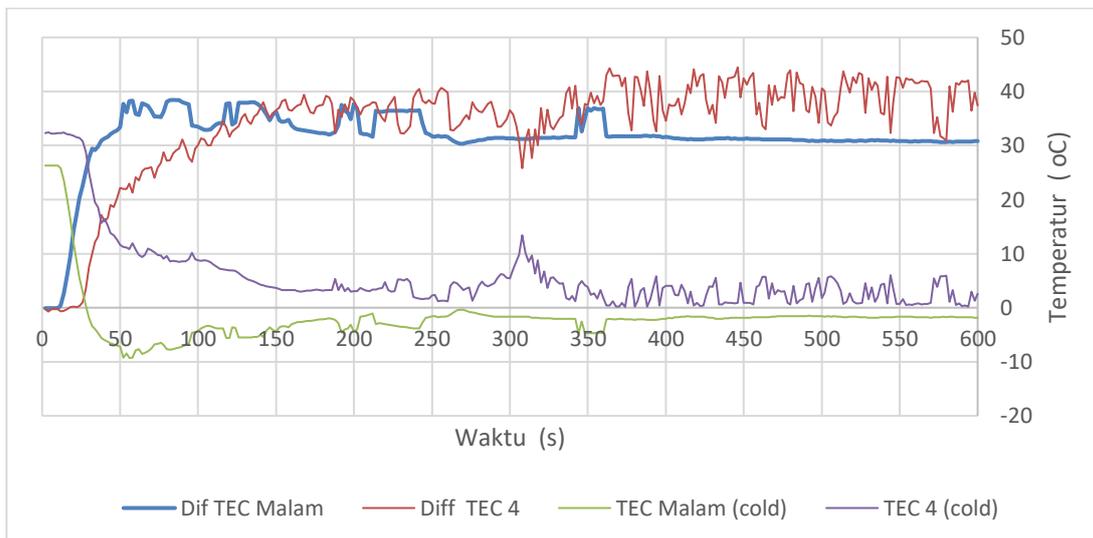
Gambar 2. Grafik hubungan Waktu (s) dan Temperatur pada sisi peltier yang dingin (°C)

Pada Gambar 3 disajikan grafik hubungan antara waktu pendinginan di pagi hari pk 10 WIB dan pengujian di malam hari. Pada pagi hari temperatur lingkungan adalah 30 °C. Sedangkan pada malam hari yaitu pada suhu 26 °C. Hasil pengujian menunjukkan bahwa waktu pengujian pada malam hari menghasilkan temperature rata rata sampai -1,92 °C dan temperatur terdingin dapat mencapai -9,29 °C. °C. Hal ini menjadi menarik, karena apabila dibandingkan dengan capaian terbaik di pagi hari yaitu TEC 4, maka Peltier TEC malam jauh lebih efektif dengan selisih 5,79 °C. Dari pengujian ini dapat ditarik kesimpulan bahwa factor temperatur udara lingkungan sangat memengaruhi performa dari elemen peltier.



Gambar 3. Grafik hubungan Waktu (s) dan Temperatur pada sisi peltier yang dingin (°C) dengan perbedaan waktu siang dan malam

Pada Gambar 4 menunjukkan grafik hubungan antara beda temperatur peltier pada sisi bagian panas dan dingin terhadap waktu. *Thermoelektrik* yang dibandingkan adalah TEC Malam dan TEC 4. Hasil pengujian menunjukkan bahwa semakin tinggi beda temperatur yang dihasilkan maka didapat performa terbaik dari elemen peltier. Pada TEC Malam didapatkan performa terbaik pada waktu detik ke 56 dimana temperatur yang dihasilkan adalah $-9,29\text{ }^{\circ}\text{C}$. Beda temperatur yang terjadi pada waktu tersebut adalah $38,19\text{ }^{\circ}\text{C}$. Hal ini merupakan beda temperature tertinggi yang dicapai oleh TEC Malam.



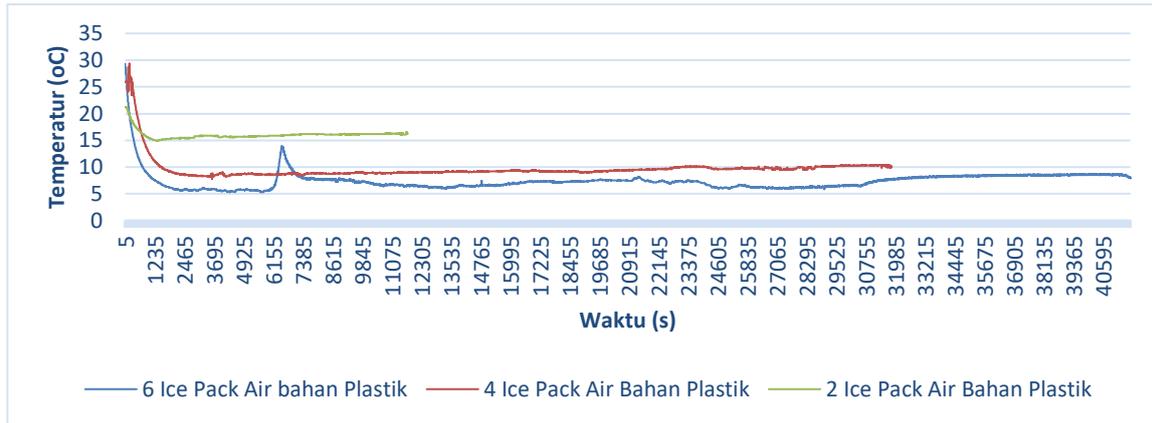
Gambar 4. Grafik hubungan antara waktu dan Beda Temperatur

3.2. Hasil Pengujian Media Penyimpan Kalor

Pada pengujian penggunaan media penyimpan panas menggunakan fluida air dan PCM. Masing masing diuji pada kotak penyimpan vaksin dalam kondisi awal adalah beku. Selanjutnya dibiarkan mencair sampai suhu yang dicapai adalah $8\text{ }^{\circ}\text{C}$. Sedangkan kotak penyimpan fluida pendingin *ice pack* dengan membandingkan antara material plastik Pengujian menggunakan fluida air dan PCM dilakukan pada kotak penyimpan vaksin dalam kondisi awal adalah beku dan divariasikan material pack nya menggunakan material food grade *plastik* dan Alumunium.

3.2.1. Penggunaan media air sebagai media penyimpan kalor

Media yang digunakan untuk menyimpan kalor terdiri dari air dan PCM. Masing masing dilakukan pengujian dengan varian 2,4,6 pack *ice pack* dengan bahan pack nya adalah dari plastik dan aluminium.



Gambar 5. Hubungan temperatur dan waktu mencapai 8°C pada penggunaan media air pada 2,4,6 *Ice pack* Air bahan Plastik

Pada air 2 pack plastik (600 ml) tidak tercapai suhu dibawah 8 °C yakni hanya 14,92 °C suhu yang dicapai. Pada 4 pack (1200 ml) waktu yang dibutuhkan dari suhu beku sampai ke temperature 8 °C adalah 2 jam 8 menit 50 detik. Pada air dengan 6 pack (1800 ml) 10 jam 1 menit 37 detik. Pada air 2 pack aluminium (600 ml) membutuhkan waktu 60.75 Menit dari suhu beku sampai ke temperature 8 °C, sedangkan untuk 4 pack aluminium (1200 ml) membutuhkan waktu 10.21 Jam. Pada air dengan 6 pack aluminium (1800 ml) 8,9 jam.



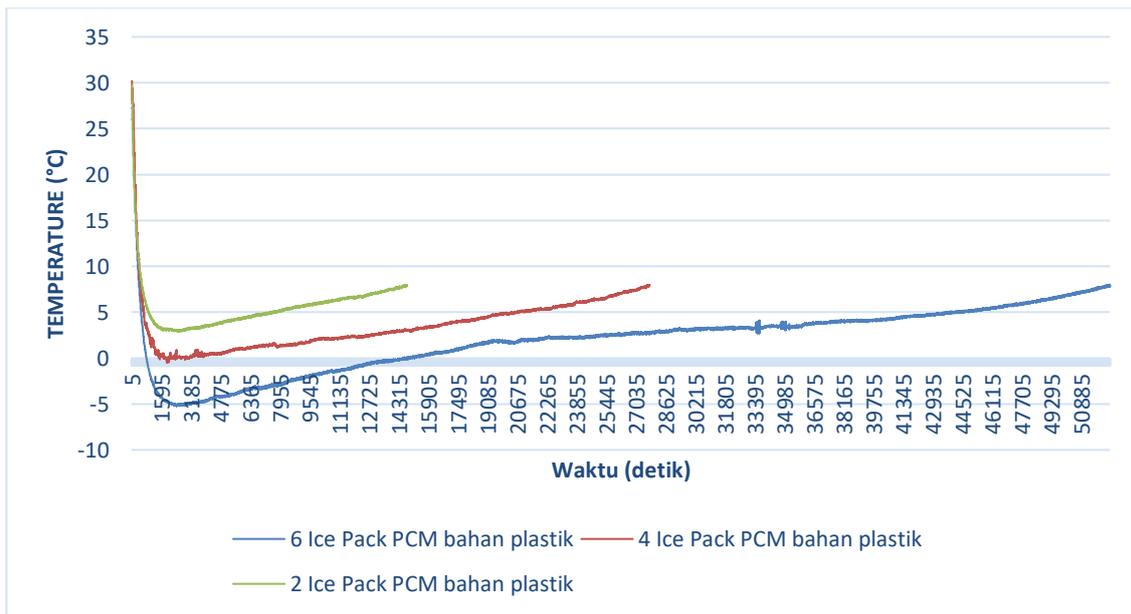
Gambar 6. Hubungan temperature dan waktu mencapai 8°C pada penggunaan 2,4,6 *Ice pack* bahan Aluminium

Jika dibandingkan dengan penggunaan air pack plastik, material aluminium terbukti memiliki kemampuan konduktivitas thermal yang baik. Pada 2 pack , material aluminium terbukti memiliki kemampuan untuk mencapai temperature di bawah 8 °C dengan suhu minimal rata rata 7 °C dan pada bagian termokopel A (posisi mendekati dasar cooler box) mencapai 0,31 °C. Juga pada 4 pack, material alumunium terbukti memiliki kemampuan menyimpan kalor dengan selisih 8,06 jam. Tentunya hal ini merupakan hasil yang baik , sehingga penggunaan material aluminium sangat direkomendasikan pada penggunaan *ice pack*. Penggunaan material aluminium sebagai media *ice pack* pernah diuji pada elemen peltier pada kotak minuman berkapasitas 34L dengan beban 1L air di dalam kotak dan variasi jumlah elemen peltier dan variasi blok aluminium (dengan aluminium dan tanpa aluminium) [10]. Pada pengujian menggunakan blok aluminium,

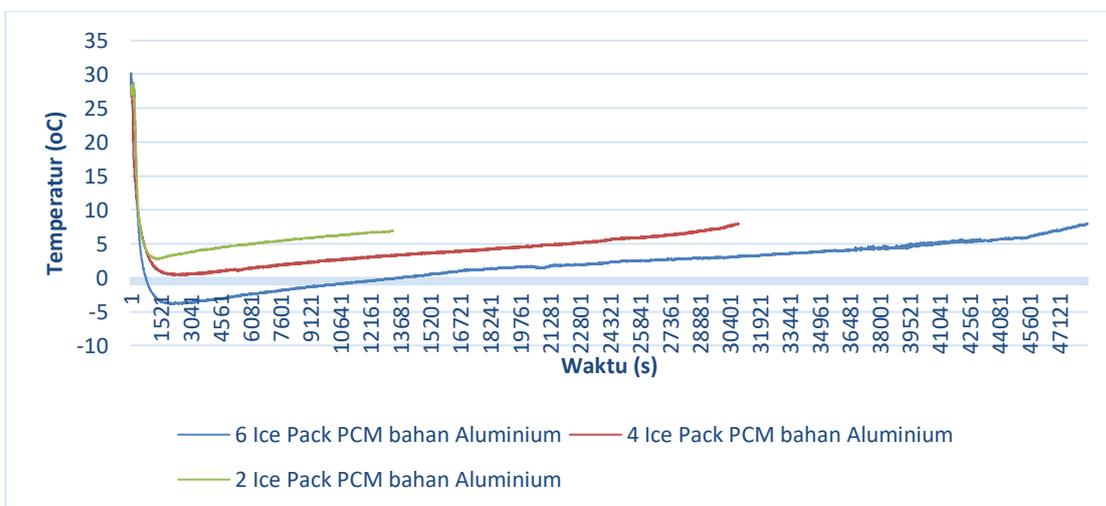
temperatur ruangan menjadi lebih dingin, hal ini dapat dicapai karena adanya penambahan tebal isolasi di sekitar blok aluminium sehingga rugi-rugi kalor dari sisi dingin peltier berkurang. Terlihat di sini bahwa penambahan blok aluminium meningkatkan kinerja penyerapan kalor modul TEC sehingga temperatur ruangan yang lebih rendah dapat dicapai.

3.2.2. Penggunaan PCM sebagai media penyimpan kalor

Hasil pengujian untuk penggunaan media penyimpan kalor dari PCM dengan variasi 2,4 dan 6 pack disajikan pada gambar 7 dan 8. Pada pengujian media penyimpan kalor PCM 2 pack plastik (600 ml) tercapai suhu dibawah 8 °C yakni suhu rata-rata minimal adalah 2,91 °C dengan waktu sampai pada temperature 8 °C 3,39 jam. Pada 4 pack PCM plastik (1200 ml) waktu yang dibutuhkan dari suhu beku sampai ke temperature 8 °C adalah 7,29 jam dengan suhu minimal rata-rata -0,48 °C.



Gambar 7. Hubungan temperature dan waktu mencapai 8 °C pada penggunaan 2,4,6 Ice pack PCM bahan plastik



Gambar 8. Hubungan temperature dan waktu mencapai 8 °C pada penggunaan 2,3,4 Ice pack PCM bahan Aluminium

Pada 6 pack PCM plastik (1800 ml) 13,89 jam. Sedangkan pada pengujian material PCM 2 pack aluminium (600 ml) tercapai suhu rata rata minimal adalah 4,17 °C. Waktu mencapai suhu 8 °C ditempuh dalam waktu 3,51 jam . Pada 4 pack PCM aluminium (1200 ml) waktu yang dibutuhkan dari suhu beku sampai ke temperature 8 °C adalah 8,56 jam dengan suhu minimal rata-rata -0,37 °C. Pada dengan 6 pack PCM aluminium (1800 ml) 12,92 jam. Jika dibandingkan material PCM dengan material plastik dan aluminium, maka pada 2 *ice pack* , PCM plastik lebih lama yaitu selisih 14,43 menit. Sedangkan pada 4 pack, maka penggunaan PCM aluminium terbukti lebih handal dengan selisih waktu untuk mencapai temperature 8 °C adalah 1,27 jam. Pada 6 pack, PCM *plastik* memiliki kemampuan menyimpan kalor lebih lama dibandingkan dengan aluminium 57 menit.

Pengujian material PCM dari minyak goreng sebagai material penyimpan kalor pada lemari pendingin didapatkan hasil dimana temperatur beban pendingin dan temperatur ruang penyimpanan mampu mempertahankan suhu dingin lebih lama dibandingkan dengan tanpa menggunakan PCM [11]. Pada menit ke 300, temperatur beban pendingin pada lemari pendingin menggunakan PCM lebih rendah 49,6% dibandingkan dengan lemari pendingin tanpa menggunakan PCM.

3.2.3. Perbandingan Penggunaan Air dan PCM sebagai media penyimpan kalor

Penggunaan PCM dibandingkan dengan air sebagai fluida penyimpan kalor menunjukkan hal yang yang menarik. Pada 2 *ice pack* air pada wadah plastik (600 ml) tidak tercapai suhu dibawah 8 oC yakni hanya 14,92 oC suhu yang dicapai. Sedangkan pada PCM 2 *ice pack* air plastik (600 ml) yakni suhu rata rata minimal adalah 2,91 °C dengan waktu sampai pada temperature 8 °C 3,39 jam. Hal ini menunjukkan bahwa PCM dapat bertahan lebih lama untuk sampai suhu 8 °C. Pada 4 *ice pack* air dengan bahan plastik (1200 ml) waktu sampai pada temperature 8 °C adalah 2 jam 8 menit 50 detik. Sedangkan pada Pada air 4 pack PCM (1200 ml) waktu yang dibutuhkan dari suhu beku sampai ke temperature 8 °C adalah 7,29 jam dengan suhu minimal rata-rata -0,48 °C. Ada selisih waktu cukup lama yaitu 5,16 jam. Kemampuan PCM ini lebih baik dari air pada suhu dibawah temperatur bekunya, hal ini disebabkan karena panas spesifik pada kondisi padat lebih tinggi dibandingkan saat fase cair nya. Pengaruh dari range temperatur perubahan fasa dari padat ke cair yang lebar dan panas laten yang besar menyebabkan kemampuan PCM sangat baik dalam menyimpan kalornya. Penelitian serupa terkait PCM yang menguji PCM paraffin dengan air untuk penyimpanan ikan [12], penurunan temperatur ikan lebih cepat terjadi dengan menggunakan es baik dalam kemasan maupun curah dibandingkan dengan PCM dari paraffin. Hal ini disebabkan karena konduktivitas termal paraffin yang lebih rendah dibandingkan air. Range temperatur perubahan fasa yang besar yakni 5 – 15 °C menyebabkan kenaikan temperatur paraffin lebih cepat. PCM dikenal memiliki panas laten yang tinggi dan dapat menyimpan sejumlah besar energi panas di siang hari saat meleleh, sehingga mengurangi perubahan suhu udara dalam ruangan yang dihasilkan oleh energi matahari dan internal [13]. Pada Analisa Kinerja Phase Change Material Dengan Wadah Berbahan Logam Untuk Reefer Container [14], hasil percobaan yang telah dilakukan diperoleh perbandingan kinerja PCM dengan ketiga jenis wadah yang telah ditentukan tersebut.. Pada hasil data percobaan yang diperoleh, cool box percobaan aluminium dapat mempertahankan temperature lebih lama dibandingkan percobaan stainless steel dan HDPE.

Dalam hal aplikasi panas matahari, ketidaksesuaian antara pasokan panas dan permintaan panas perlu diperhitungkan, yang membuat penyimpanan energi panas berbasis PCM [15]. Penerapan PCM yang tepat memerlukan pengetahuan yang baik tentang sifat termo-fisika bahan dan pengetahuan praktis tentang energi tersimpan aktual yang bergantung pada laju pemanasan/pendinginan PCM [16]. Proses peleburan PCM yang digunakan untuk aplikasi bangunan tidak sepenuhnya terjadi pada suhu tertentu, seperti pada PCM murni, tetapi diselesaikan pada rentang suhu tertentu [17]. Artinya range temperatur perubahan fasa seperti pada PCM dapat berlangsung dengan varian yang pendek atau Panjang. Untuk mengukur jumlah panas yang diserap oleh PCM selama perubahan fasa diukur dari kapasitas panas spesifik ekivalen material

digunakan. Kapasitas panas ekuivalen biasanya sesuai dengan kurva Gaussian, dengan nilai maksimum terjadi pada suhu leleh puncak.

Pada pengujian 6 ice pack air (1800 ml), untuk mencapai temperature 8 °C dicapai dengan waktu 10 jam 1 menit 37 detik. Pada 6 pack PCM (1800 ml) waktu yang dibutuhkan dari suhu beku sampai ke temperatur 8 °C aedangkadalah 13,89 jam. Percobaan ini menghasilkan waktu terlama untuk mencapai ke suhu 8 °C dari suhu bekunya. Penggunaan PCM lebih disarankan untuk alat penyimpan makanan atau minuman dibandingkan dengan penggunaan untuk vaksin karena suhu nya yang jauh dibawah suhu beku air yakni di temperature -12 °C.

Secara umum penggunaan material PCM terbukti memiliki kemampuan menyimpan kalor jauh lebih baik dibandingkan dengan air. Hal ini tentunya sangat menguntungkan bila digunakan untuk menyimpan kalor pada waktu yang lama. Akan tetapi perlu diingat bahwa vaksin juga dapat terpapar akibat kondisi suhu beku di bawah 2 °C. Penggunaan PCM 2 pack lebih direkomendasikan karena suhu minimal rata-rata masih diatas 2 °C. Pada 2 pack PCM *plastik* suhu minimal rata rata adalah 2,9 °C, sedangkan pada PCM aluminium adalah 4,17 °C. Untuk itu pilihan terbaik untuk PCM adalah material plastik 2 pack. Akan tetapi penggunaan air dengan material aluminium lebih direkomendasikan pada aplikasi penggunaan vaksin , dengan waktu terbaik 10,21 jam dimana suhu minimal rata rata nya adalah 5,7 °C.

4. Kesimpulan

Dari hasil pengujian ditunjukkan bahwa tidak semua produk peltier berkerja dengan performa terbaiknya. Untuk itu sangat penting untuk mengetahui karakteristik dari *thermoelectric cooler* sebelum dilakukan tahapan selanjutnya yaitu instalasi alat pada cooler box. Penggunaan PCM pada 6 pack PCM (1800 ml) waktu yang dibutuhkan dari suhu beku sampai ke temperature 8 °C adalah 13,89 jam memiliki kemampuan terbaik dalam menyimpan kalor. Akan tetapi suhu bekunya yang berada jauh dibawah suhu beku air yaitu di -12 °C dapat menyebabkan kerusakan pada vaksin karena terpapar temperatur berku dibawah 2 °C. Sehingga penggunaan PCM lebih disarankan untuk media penyimpan kalor pada makanan dan minuman. Untuk aplikasi vaksin dapat digunakan PCM *plastik* 2 pack dengan suhu minimal rata rat 2,9 °C dengan waktu penyimpanan kalor sampai 8 °C selama 3,39 jam. Pada aplikasi penggunaan vaksin, lebih disarankan menggunakan 6 pack air dengan material aluminium dengan waktu terbaik 10,21 jam dimana suhu minimal rata rata nya adalah 5,7 °C.

Ucapan terima kasih

Ucapan Terima Kasih kami ucapkan kepada Universitas Sultan Ageng Tirtayasa yang telah mendanai penelitian ini pada hibah penelitian internal dengan skema Hibah Penelitian Madya (PDM).

Daftar Pustaka

- [1] Peraturan Menteri Kesehatan RI No.12. Tentang Penyelenggaraan Imunisasi, 5, 46–57. http://hukor.kemkes.go.id/uploads/produk_hukum/PMK_No._12_ttg_Penyelenggaraan_Imunisasi_.pdf; 2017.
- [2] Kemenkes RI. Modul pelatihan imunisasi bagi petugas puskesmas. Jakarta: Kementerian Kesehatan RI; 2013.
- [3] Susyanty, A. L., Supardi, S., Herman, M. J., & Lestary, H. Kondisi sumber daya tenaga pengelola vaksin di dinas kesehatan provinsi, dinas kesehatan kabupaten/kota dan puskesmas. Buletin Penelitian Sistem Kesehatan; 2014. 17(3), p. 285–296.
- [4] Kairul, Udiyono, A., Saraswati, L. D. Gambaran pengelolaan rantai dingin vaksin program imunisasi dasar (studi di 12 puskesmas induk Kabupaten Sarolangun). Jurnal Kesehatan Masyarakat (E-Journal). 2016; 4(6): p. 417–423.

- [5] Hanson, C. M., George, A. M., Sawadogo, A., Schreiber, B. Is freezing in the vaccine cold chain an ongoing issue ? a literature review. *Vaccine*. 2017; 35(17): p. 2127– 2133. <https://doi.org/10.1016/j.vaccine.2016.09.070>.
- [6] Terang, UHSG. Analisa Kinerja Sistem Pendingin Peltier Yang Menggunakan Sel PV Dengan Sumber Energi Radiasi Matahari. *Jurnal Energi Dan Manufaktur*. 2016; 9 (2).
- [7] Cahaya, Ficho. Perancangan Dan Pembuatan Kotak Pendingin Berbasis Termoelektrik Untuk Aplikasi Penyimpanan Vaksin Dan Obat - Obatan. *Jurnal Ilmiah GIGA*. 2015; 18(2): p. 73 – 80.
- [8] Brahmbhatt, Jitendra. A Design Of Thermoelectric Cooler And Optimization. *International Journal Of Science Technology And Engineering*. 2015; 2 (6): p.007.
- [9] Gandhi, Frima dan Yusfi, Meqorry. Perancangan Sistem Pendingin Air Menggunakan Elemen Peltier Berbasis Mikrokontroler ATmega8535. *Jurnal Fisika Unand*. 2016; 5 (1): p. 35-41.
- [10] Aziz, Azridjal. Aplikasi Modul Pendingin Termoelektrik Sebagai Media Pendingin Kotak Minuman. *Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Riau*. Pekanbaru; 2017.
- [11] Fauzan, Iwan.. Penggunaan PCM Sebagai Material Penyimpan Kalor Pada Lemari Pendingin. *Jurnal SIMETRIS*. 2019; 13 (1).
- [12] Irsyad, M., Anam C., Risano A.Y.E., Amrul. Penggunaan Material Fasa Berubah Untuk Menjaga Kesegaran Ikan. *Jurnal Teknologi UMJ*. 2021; 13 (2). DOI: <https://dx.doi.org/10.24853/jurtek.13.2.153-160>.
- [13] P. Sittisart, M. Farid. Fire retardants for phase change materials. *Appl. Energy - APPL ENERG*. 2011 September; 88: p. 3140–314. doi: 10.1016/j.apenergy.2011.02.005.
- [14] Janarko, Yusuf. Analisa Kinerja Phase Change Material Dengan Wadah Berbahan Logam Untuk Reefer Container. Departemen Teknik Sistem Perkapalan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya; 2017.
- [15] L. Navarro, A. de Gracia, A. Castell, L.F. Cabeza, Experimental study of an active slab with PCM coupled to a solar air collector for heating purposes. *Energy Build*. 2016; 128: p. 12–21.
- [16] P. Rolka, T. Przybylinski, R. Kwidzinski, M. Lackowski. The heat capacity of low-temperature phase change materials (PCM) applied in thermal energy storage systems. *Renew. Energy*. 2021; 172: p. 541–550. doi: 10.1016/j.renene.2021.03.038.
- [17] G. Evola, L. Marletta. The effectiveness of PCM wallboards for the energy refurbishment of lightweight buildings. *Energy Procedia*. 2015 February; 62: pp. 13–21. doi: 10.1016/j.egypro.2014.12.362.