

Potensi Material Berubah Fasa PEG-400 sebagai Sistem *Cold Storage* Sayur Selada

Maduri F¹, Sri Rahayu Alfitri Usna^{1*}, Astuti¹, Afdhal Muttaqin¹, Mairizwan²

¹Laboratorium Material, Departemen Fisika

Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Andalas

Kampus Unand Limau Manis, Padang, 25163, Indonesia

²Laboratorium Instrumen, Departemen Fisika

Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Padang

Jl. Prof. Dr. Hamka Air Tawar, Padang, 25131, Indonesia

Info Artikel

Histori Artikel:

Diajukan: 19 Desember 2022

Direvisi: 10 Maret 2023

Diterima: 21 Maret 2023

Kata kunci:

Cold Storage

PCM

PEG-400

Selada

Temperatur

Keywords:

cold storage

PCM

PEG-400

lettuce

temperature

Penulis Korespondensi:

Sri Rahayu Alfitri Usna

Email:

sriahayualfitri@sci.unand.ac.id

ABSTRAK

Kesegaran sayur dapat dijaga dengan menyimpan sayur dalam *cold storage* pada kondisi sejuk (5-10 °C). Polietilen glikol (PEG)-400 merupakan salah satu *phase change material* (PCM) yang memiliki rentang titik lebur 4 °C hingga 8 °C dan panas laten yang cukup besar yaitu 187 kJ/kg sehingga berpotensi untuk dikembangkan sebagai sistem *cold storage*. Pada penelitian ini diuji potensi PCM PEG-400 sebagai sistem *cold storage* sayur. Massa PCM PEG-400 divariasikan dari 2 kg, 2,5 kg, 3 kg, dan 3,5 kg, dengan kotak *cold storage* dari styrofoam ukuran 34 x 25 x 30 cm³ dan ketebalan 2,5 cm. Sayur yang diuji yaitu selada dengan massa 250 g. PCM PEG-400 dibekukan di dalam freezer lalu dimasukkan ke dalam kotak styrofoam yang telah berisi selada. Kotak ditutup rapat dan perubahan temperatur setiap waktu diukur hingga temperatur PCM mendekati temperatur lingkungan. Hasil penelitian menunjukkan 3 kg PCM PEG-400 efektif menurunkan temperatur selada hingga 5 °C selama 4 jam dan 2 kg PCM PEG-400 efektif menurunkan temperatur selada hingga 10 °C selama 4 jam 35 menit.

Vegetable freshness can be maintained by storing vegetables in cold conditions (5–10 °C). Polyethylene glycol (PEG)-400 is a phase change material (PCM) with a melting point range of 4°C to 8°C and a large latent heat of 187 kJ/kg, so it has the potential to be developed as a cold storage system. This study tested the potential of PEG-400 PCM as a vegetable cold storage system. The mass of PEG-400 PCM varies from 2 kg, 2.5 kg, 3 kg, and 3.5 kg, with cold storage boxes made of styrofoam measuring 34 x 25 x 30 cm³ and 2.5 cm thick. The tested vegetable was lettuce with a mass of 250 g. PEG-400 PCM was frozen in the freezer and put in a styrofoam box containing lettuce. The box was tightly closed, and the temperature change over time was measured until the PCM temperature approached the ambient temperature. The results showed that 3 kg of PEG-400 PCM effectively reduced the temperature of lettuce by five °C for 4 hours, and 2 kg of PEG-400 PCM reduced the temperature of lettuce by five °C for 4 hours and 35 minutes.

Copyright © 2023 Author(s). All rights reserved

I. PENDAHULUAN

Sayur selada merupakan salah satu jenis sayuran daun yang sangat cepat mengalami penurunan kualitas atau kesegarannya (Aviana, 2021). Penurunan kualitas sayur dapat disebabkan oleh turunnya kadar air dan aktivitas mikroorganisme (Qi dkk., 2022). Salah satu cara yang dapat dilakukan untuk menjaga kualitas sayur dan memperpanjang umur simpan adalah dengan cara menyimpan sayur pada temperatur rendah atau kondisi sejuk di bawah 10 °C (Ashari dkk., 2006). Temperatur penyimpanan sayur selada pada cold storage direkomendasikan pada suhu 5 °C (Rantung et al., 2020). Penyimpanan sayur pada temperatur 5 °C dapat memperpanjang umur simpan sayur selama 5 hari (Rosdiana dkk., 2021).

Penyimpanan sayur pada temperatur rendah biasanya menggunakan lemari pendingin (kulkas). Namun, metode ini kurang cocok untuk proses pendistribusian sayur selada ke luar daerah. Salah satu metode alternatif yang memungkinkan digunakan yaitu dengan menyimpan sayur selada dalam kotak cold storage berisi material berubah fasa (phase change material, PCM). PCM merupakan bahan-bahan yang memiliki kemampuan untuk menyerap dan melepaskan energi panas laten dalam jangka waktu yang cukup lama tanpa terjadinya perubahan temperatur (Hikma & Saktioto, 2020; Sukoco dkk., 2021). Cara kerja PCM yaitu dapat menyerap panas laten dari lingkungan dan menjaga temperatur tetap stabil pada rentang titik lebur (Güngör Ertuğral, 2022). Berdasarkan komposisi kimianya, PCM dibagi menjadi tiga kelompok yaitu PCM organik, anorganik, dan campuran (Astika dkk., 2019).

Alkan et al. (2006) melakukan penelitian menggunakan campuran PCM polietilen glikol (PEG) dengan polimer akrilik sebagai penyimpan energi termal (thermal energy storage, TES). PEG/polimer akrilik dapat diaplikasikan untuk pemanas ruang dan pemanas gedung. Penelitian ini menggunakan PEG/polimer akrilik dengan perbandingan 50:50, 60:40, 70:30, dan 80:20. Sifat termal PCM diuji dengan differential scanning calorimetry (DSC). Hasil dari penelitian menunjukkan bahwa massa PEG/polimer akrilik 80:20 menunjukkan sifat termal terbaik dibanding perbandingan yang lain karena memiliki titik lebur yang lebih tinggi yaitu 56,94 °C dan panas laten 148,85 J/g.

Pudjiastuti dkk. (2011) melakukan penelitian tentang *cold roll box* (CRB) berisi PCM untuk mempertahankan kesegaran produk pertanian. PCM yang digunakan yaitu PCM komersial produk KITECH yang memiliki titik lebur -4°C. Produk pertanian yang diuji adalah selada dan brokoli. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa sistem CRB dapat menjaga kesegaran produk pertanian saat proses pendistribusian selama 22 jam. Namun, PCM yang digunakan cukup mahal sehingga kurang cocok digunakan oleh petani skala kecil.

Irsyad dkk. (2020) melakukan penelitian pemanfaatan PCM untuk menjaga kesegaran sayur. Pada penelitian ini juga dibandingkan potensi PCM parafin, paduan parafin cair dan parafin padat, serta penggunaan es batu sebagai cold storage sayur. Sayur yang diuji pada penelitian ini adalah sayur bayam. Hasil yang diperoleh menunjukkan dengan penggunaan es batu suhu sayur dapat bertahan di bawah 20 °C selama 11 jam, namun sayur mengalami perubahan warna dan berair karena air dalam sayur terkondensasi. Pada penggunaan PCM parafin, sayur hanya mampu bertahan pada suhu di bawah 20 °C selama dua jam, tetapi secara fisik sayur lebih segar.

Pada penelitian ini diuji potensi PCM PEG-400 untuk mempertahankan temperatur penyimpanan sayur selada agar tetap berada pada kondisi sejuk (≤ 5 °C). PEG-400 merupakan PCM organik jenis nonparafin (Pratama et al., 2022) yang berbentuk cairan kental jernih pada temperatur ruang. PCM PEG-400 memiliki titik lebur 4 °C hingga 8 °C yang berada pada rentang temperatur rekomendasi penyimpanan sayur selada dan panas laten 187 kJ/kg (Mehling & Cabeza, 2008; Pudjiastuti, 2011) yang terbilang cukup tinggi sehingga mampu menyerap kalor yang cukup besar dari lingkungan. Penggunaan PCM PEG-400 pada cold storage sayur diharapkan dapat menjaga kesegaran sayur selada dalam jangka waktu yang lebih lama.

II. METODE

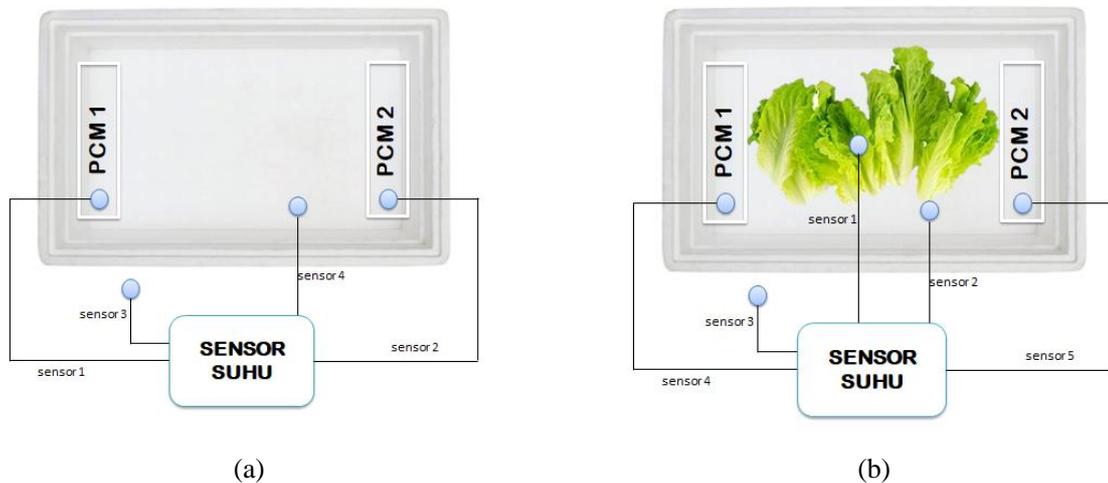
Penelitian ini dilakukan di Laboratorim Fisika Material, Departemen Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam. PCM yang digunakan yaitu PEG-400 dengan variasi massa 2 kg, 2,5 kg, 3 kg, dan 3,5 kg dan sayur yang diuji yaitu selada sebanyak 250 g. Kotak *cold storage* yang digunakan dari bahan *styrofoam* dengan ukuran 34 x 20 x 30 cm³ dengan ketebalan 2,5 cm. Untuk mengukur perubahan temperatur tiap waktu digunakan sensor temperatur DS18B20 berbasis Arduino Uno.

2.1 Potensi PCM PEG-400 dalam Menurunkan dan Mempertahankan Temperatur Kotak *Cold Storage* Kosong

PCM PEG-400 sebanyak 2 kg dibagi dalam dua wadah plastik masing-masing dengan massa 1 kg. Selanjutnya PCM didinginkan dalam *freezer* hingga berubah dari fase cair ke fase padat. Padatan PCM PEG-400 kemudian dimasukkan ke dalam kotak *cold storage* dan ditutup rapat. Proses perubahan temperatur setiap waktu diukur menggunakan sensor temperatur dengan posisi tiap sensor ditunjukkan oleh Gambar 1.a.

2.2 Potensi PCM PEG-400 dalam Menurunkan dan Mempertahankan Temperatur Sayur Selada

PCM PEG-400 sebanyak 2 kg dibagi dalam dua wadah plastik masing-masing dengan massa 1 kg, lalu dibekukan. Setelah berbentuk padatan, PCM PEG-400 serta 250 g sayur selada dimasukkan ke dalam kotak *cold storage* dan ditutup rapat. Proses perubahan temperatur setiap waktu diukur menggunakan sensor temperatur dengan posisi tiap sensor ditunjukkan oleh Gambar 1.b.



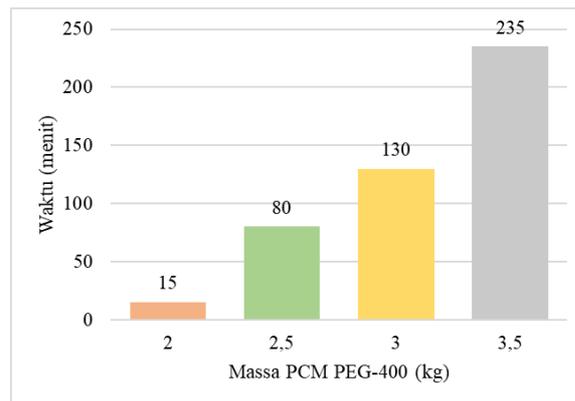
Gambar 1 (a) Posisi sensor temperatur pengujian potensi PCM PEG-400 pada kotak *cold storage* kosong
(b) Posisi sensor temperatur pengujian potensi PCM PEG-400 pada sayur selada

III. HASIL DAN DISKUSI

3.1 Hasil Uji Potensi PCM PEG-400 dalam Menurunkan dan Mempertahankan Temperatur Kotak *Cold Storage* Kosong

Potensi PCM PEG-400 dalam menurunkan dan mempertahankan temperatur kotak *cold storage* dengan memvariasikan massa PCM PEG-400. Gambar 2 menunjukkan bahwasannya semakin bertambah massa PCM PEG-400 maka semakin lama temperatur kotak *cold storage* dapat bertahan pada suhu (≤ 10 °C). Sesuai dengan Azas Black yaitu kalor jenis sebanding dengan massa dari suatu benda (Pitts & Sisson, 2008), sehingga dengan bertambah banyaknya massa PCM semakin baik kemampuan PCM dalam menyerap panas kotak *cold storage* (Usrah, 2018). Hal ini dapat dilihat dari seberapa lama PCM PEG-400 mampu mempertahankan temperatur kotak *cold storage*.

PCM PEG-400 dengan massa 2 kg dan 2,5 kg cukup efektif dalam menurunkan dan mempertahankan temperatur kotak *cold storage* di bawah 5 °C, namun selang waktu pendinginan relatif singkat sehingga kurang direkomendasikan sebagai sistem *cold storage* sayur selada. Massa PCM PEG-400 sebanyak 3 kg dan 3,5 kg mampu mempertahankan temperatur di bawah 5 °C dengan durasi pendinginan lebih lama dibandingkan dengan 2 kg dan 2,5 kg yaitu berturut-turut selama 4 jam 35 menit serta 6 jam 50 menit.

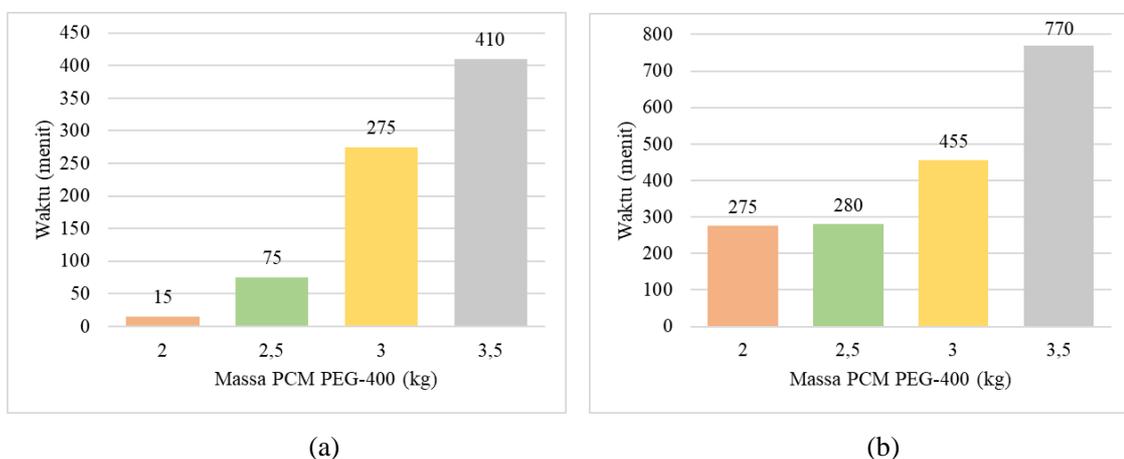


Gambar 2 Grafik hasil uji PCM PEG-400 sebagai sistem *cold storage*

3.2 Hasil Uji Potensi PCM PEG-400 dalam Menurunkan dan Mempertahankan Temperatur Sayur Selada

PCM PEG-400 dengan massa 2 kg dan 2,5 kg mampu menurunkan temperatur sayur selada hingga $\leq 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ dalam waktu yang lebih lama. Namun durasi pendinginan relatif singkat yaitu berturut-turut 15 menit dan 1 jam 15 menit. PCM PEG-400 dengan massa 3 kg mampu menurunkan dan mempertahankan temperatur sayur selada di bawah $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ selama 4 jam 35 menit dan PCM PEG-400 dengan massa 3,5 kg selama 6 jam 50 menit seperti yang dapat dilihat pada Gambar 3a.

Pada Gambar 3b menunjukkan massa simpan sayur pada temperatur rendah di bawah $10\text{ }^{\circ}\text{C}$. PCM PEG-400 dengan massa 2 kg dan 2,5 kg mampu mempertahankan temperatur sayur dengan waktu yang hampir sama yaitu 4 jam 35 menit dan 4 jam 40 menit. PCM dengan massa 3 kg mampu mempertahankan temperatur sayur pada temperatur rendah yaitu selama 7 jam 35 menit dan 3,5 kg PCM PEG-400 selama 12 jam 50 menit.



Gambar 3 (a) Potensi PCM PEG-400 sebagai sistem *cold storage* sayur dengan pendinginan di bawah $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ (b) Potensi PCM PEG-400 sebagai sistem *cold storage* sayur dengan pendinginan di bawah $10\text{ }^{\circ}\text{C}$

PCM PEG-400 dengan massa 2 kg dapat menurunkan temperatur sayur selada hingga $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ selama kurang dari 1 jam dan PCM PEG-400 sebanyak 2,5 kg selama 1 jam. Sedangkan massa 3 kg mampu menurunkan dan mempertahankan temperatur sayur selada hingga di bawah $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ selama 4 jam dan dengan massa 3,5 kg selama kurang dari 7 jam. Sehingga PCM PEG-400 yang bisa digunakan untuk mempertahankan temperatur sayur selada sebanyak 250 g dalam kotak *cold storage* ukuran $34 \times 25 \times 30\text{ cm}^3$ dengan ketebalan 2,5 cm yaitu minimal 3 kg. Namun, dari segi biaya kurang direkomendasikan untuk digunakan sebagai sistem distribusi sayur selada karena jumlah PCM PEG-400 lebih besar dibandingkan jumlah sayur selada dengan perbandingan PCM terhadap sayur adalah 1:12. Semakin

bertambahnya massa PCM PEG-400 maka semakin lama temperatur kotak *cold storage* dapat bertahan hingga 10 °C karena jumlah panas di dalam kotak *cold storage* yang diserap lebih banyak.

IV. KESIMPULAN

Dari penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan untuk menurunkan dan mempertahankan temperatur 250 g sayur selada di dalam kotak *cold storage* ukuran 34 x 25 x 30 cm³ agar berada pada kondisi sejuk (<10 °C) setidaknya dibutuhkan PCM PEG sebanyak 2 kg. PCM PEG-400 dengan massa 3 kg efektif menurunkan dan mempertahankan temperatur sayur selada selama 4 jam sesuai dengan temperatur penyimpanan sayur pada *cold storage* yang direkomendasikan yaitu 5 °C.

DAFTAR PUSTAKA

- Alkan, C., Sari, A., & Uzun, O., 2006, Poly(ethylene glycol)/acrylic polymer blends for latent heat thermal energy storage, *AIChE Journal*, 52(9), 3310–3314, <https://doi.org/10.1002/aic.10928>.
- Ashari, A. H., Surung, M. Y., & Beraerah, 2006, Produktivitas Tanaman Selada pada Berbagai Dosis Posidan-HT, *Jurnal Agrisistem*, 2, 36–42.
- Astika, I. M., Winaya, I. N. S., Subagia, I. D. G. A., Wirawan, I. K. G., Santhiarsa, I. G. N. N., Suarsana, I. K., Primbadi, I. G. N., & Dwijana, I. G. K., 2019, Phase Change Materials for Building Applications: A Review, *Prosiding SNTTM XVIII*, (Vol. 9).
- Aviana, P. P., 2021, Gambaran Faktor yang Mempengaruhi Konsumsi Buah dan Sayur Pada Anak di SD Negeri Bojong, Mungkid, Kabupaten Magelang, *Skripsi*, Universitas Muhammadiyah Magelang.
- Güngör Ertuğral, T., 2022, Review of Phase Change Materials as an Environmental Approach for Postharvest Fruit and Vegetable Cold Storage, *Journal Of Global Climate Change*, 1(1), 21–32. <https://doi.org/10.56768/jytp.1.1.04>.
- Hikma, N., & Saktioto, 2020, Eco-Green Air Cooler System: Pemanfaatan Phase Change Material sebagai Alternatif Pengganti Air Conditioning di Kota Pekanbaru, *Jurnal SNFUR-5*.
- Irsyad, M., Tobing, N. A. H. L., & Susila, M. D., 2020, Pemanfaatan Material Fasa Berubah untuk Mempertahankan Kesegaran Sayuran, *Jurnal Program Studi Teknik Mesin*, 9(2). <https://doi.org/10.24127/trb.v9i2.1295>.
- Mehling, H., & Cabeza, L. F., 2008, *Heat and Cold Storage with PCM*, Springer Berlin Heidelberg, <https://doi.org/10.1007/978-3-540-68557-9>.
- Pitts, D., & Sisson, L., 2008, *Perpindahan Kalor* (T. Simarmata, Ed.), Erlangga.
- Pratama, N., Rosyadi, I., & Wahyudi, H., 2022, Pengaruh Material Berubah Fasa (PCM) sebagai Media Penyimpan Panas terhadap Karakteristik Cooling Box Peltier, *Jurnal Teknik Mesin*, 6(1), 4.
- Pudjiastuti, W., 2011, Jenis-Jenis Bahan Berubah Fasa dan Aplikasinya, *J. Kimia Kemasan* (Vol. 33, Issue 1).
- Pudjiastuti, W., Hendartini, H., Supeni, G., & Listyarini, A., 2011, Penelitian Menggunakan Cold Roll Box (CRB) Dengan Phase Change Materials (PCMs) Untuk Mempertahankan Kesegaran Produk Pertanian, *Jurnal Kimia Dan Kemasan*, 33(2), 179–182.
- Qi, T., Ji, J., Zhang, X., Liu, L., Xu, X., Ma, K., & Gao, Y., 2022, Research Progress of Cold Chain Transport Technology for Storage Fruits and Vegetables, *Journal of Energy Storage* (Vol. 56), Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.est.2022.105958>.
- Rantung, L. E., Lengkey, L. C. Ch. E., & Wenur, F., 2020, Analisis Kualitas Selada (*Lactuca Sativa L.*) yang Ditanam Pada Dua Media Selama Penyimpanan Dingin, *Jurnal Teknologi Pertanian*.
- Rosdiana, Agusta, W., & Kurniawan, E., 2021, Pengaruh Teknik Pencucian dan Suhu Ruang Terhadap Kualitas Selada (*Lactuca sativa L*) Selama Penyimpanan, *Jurnal Agribisnis Perikanan*, <https://doi.org/10.52046/agrikan.v14i2.416-426>.
- Sukoco, R. K., Indartono, Y. S., & Mujahidin, D., 2021, Eutectic Potassium Chloride (KCl) Solution as Phase Change Material (PCM) for Fish Cold Storage, *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 1109(1), 012062, <https://doi.org/10.1088/1757-899x/1109/1/012062>.
- Usrah, A. J., 2018, Analisa Pengaruh Penambahan Phase Change Material (PCM) Terhadap Pendinginan Ruang Muat Kapal Ikan, *Skripsi*, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.