

PERANCANGAN LEMARI PENDINGIN SAYURAN DENGAN MEDIA ES BATU DAN KONTROL KELEMBABAN

Abdul Muin⁽¹⁾, Dewi Rawani^(1*), Rita Maria Veranika⁽¹⁾ dan Imam Akbar⁽¹⁾

⁽¹⁾Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Tridianti, Palembang
Sumatra Selatan, Indonesia

^(*)E-mail *Corresponding Author* :dewi_rawani@univ-tridianti.ac.id

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk merancang sebuah lemari pendingin sayuran yang menggunakan media es batu dan kontrol kelembaban. Lemari pendingin ini dirancang untuk mengawetkan sayuran yang tidak habis terjual di warung kampung. Penelitian ini menggunakan metode eksperimen dengan menguji tiga jenis sayuran, yaitu bayam, tomat, dan kentang. Pengujian dilakukan selama 10 jam dengan membandingkan kondisi sayuran yang disimpan di dalam dan di luar lemari pendingin. Hasil penelitian menunjukkan bahwa lemari pendingin dapat menurunkan suhu ruang hingga 19,7 °C dan 21,5 °C untuk ketiga jenis sayuran. Laju pendinginan yang terjadi masing-masing untuk bayam sebesar 3,342 °C/jam, untuk tomat 2,54 °C/jam, dan untuk kentang 2,285 °C/jam. Penurunan berat produk yang terjadi paling besar pada bayam, yaitu sebesar 31 gram, sedangkan yang paling kecil pada kentang, yaitu sebesar 2 gram. Kelembaban relatif yang tercapai berkisar antara 61% hingga 72%. Dari segi kesegaran dan tekstur, bayam menunjukkan perubahan yang paling signifikan, sedangkan tomat dan kentang masih terjaga kualitasnya. Penelitian ini membuktikan bahwa lemari pendingin sayuran dengan media es batu dan kontrol kelembaban dapat digunakan sebagai alternatif teknologi tepat guna untuk pengawetan sayuran di warung kampung.

Kata Kunci: Lemari Pendingin, Es batu, Kelembaban, Sayuran, Pengawetan.

Abstract

This study aims to design a vegetable refrigerator that uses ice cubes and humidity control. This refrigerator is designed to preserve vegetables that are not sold out in village stalls. This study uses an experimental method by testing three types of vegetables, namely spinach, tomatoes, and potatoes. The test was carried out for 10 hours by comparing the condition of the vegetables stored inside and outside the refrigerator. The results showed that the refrigerator could lower the room temperature to 19.7 °C and 21.5 °C for the three types of vegetables. The cooling rate that occurred for spinach was 3.342 °C/hour, for tomatoes 2.54 °C/hour, and for potatoes 2.285 °C/hour. The product weight loss that occurred was greatest in spinach, which was 31 grams, while the smallest was in potatoes, which was 2 grams. The relative humidity achieved ranged from 61% to 72%. In terms of freshness and texture, spinach showed the most significant change, while tomatoes and potatoes still maintained their quality. This study proves that vegetable refrigerators with ice cubes and humidity control can be used as an alternative appropriate technology for vegetable preservation in village stalls.

Keywords: Refrigerator, Ice cubes, Humidity, Vegetables, Preservation Spherodizing

1 PENDAHULUAN

Sayuran dan buah-buahan merupakan salah satu bahan pangan yang sangat penting bagi kehidupan manusia. Sayuran dan buah-buahan memiliki kandungan nutrisi, vitamin, mineral, dan antioksidan yang bermanfaat untuk kesehatan [1]. Namun, sayuran dan buah-buahan juga memiliki umur simpan yang terbatas karena proses metabolisme dan respirasi yang terus berlangsung setelah pascapanen. Proses ini menyebabkan penurunan kualitas, seperti kehilangan air, pelayuan, perubahan warna, tekstur, rasa, dan aroma, serta pertumbuhan mikroorganisme pembusuk [2], [3]. Oleh karena itu, diperlukan

penanganan yang tepat untuk mempertahankan kualitas dan memperpanjang umur simpan sayuran dan buah-buahan. Salah satu cara penanganan yang umum digunakan adalah dengan menggunakan teknologi pendinginan [4]. Teknologi pendinginan dapat menghambat proses metabolisme dan respirasi, mengurangi kehilangan air, dan menghambat pertumbuhan mikroorganisme [5]. Teknologi pendinginan dapat berupa penyimpanan dingin (*chilling storage*) atau penyimpanan beku (*freezing storage*) [6]. Penyimpanan dingin adalah penyimpanan pada suhu rendah di atas titik beku, yaitu antara 0°C hingga 20°C, sedangkan penyimpanan beku adalah penyimpanan pada suhu di

bawah titik beku, yaitu antara $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ hingga $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$. Setiap jenis sayuran dan buah-buahan memiliki suhu dan kelembaban optimum yang berbeda-beda untuk penyimpanan dingin. Suhu dan kelembaban optimum adalah suhu dan kelembaban yang dapat mempertahankan kualitas produk tanpa menyebabkan kerusakan akibat pendinginan (*chilling injury*) atau pembekuan (*freezing injury*) [7].

Teknologi pendinginan yang ada saat ini masih membutuhkan biaya yang cukup tinggi, baik untuk pembuatan, operasional, maupun perawatan. Hal ini menjadi kendala bagi para pelaku usaha kecil, seperti warung kampung, yang menjual sayuran dan buah-buahan. Warung kampung seringkali mengalami kerugian karena sayuran dan buah-buahan yang tidak habis terjual menjadi rusak dan tidak dapat dijual kembali. Oleh karena itu, diperlukan sebuah alternatif teknologi pendinginan yang sederhana, murah, dan mudah diaplikasikan untuk mengawetkan sayuran dan buah-buahan di warung kampung [8].

Penelitian ini bertujuan untuk merancang sebuah lemari pendingin sayuran yang menggunakan media es batu dan kontrol kelembaban. Lemari pendingin ini dirancang untuk mengawetkan sayuran yang tidak habis terjual di warung kampung. Lemari pendingin ini menggunakan prinsip pemanfaatan energi peleburan es yang diletakkan dalam sebuah wadah di dalam lemari tertutup yang berisi produk yang akan didinginkan. Es batu menyerap panas dari udara dan produk sehingga suhu ruang lemari akan turun, sedangkan pada es terjadi proses peleburan yang menghasilkan air. Air yang dihasilkan kemudian dikontrol kelembabannya dengan menggunakan pipa PVC yang berfungsi sebagai *humidifier*. Kelembaban yang dihasilkan dapat mempertahankan kesegaran dan tekstur produk. Lemari pendingin ini dibuat dari bahan-bahan sederhana, seperti kayu, triplek, styrofoam, aluminium, dan es batu.

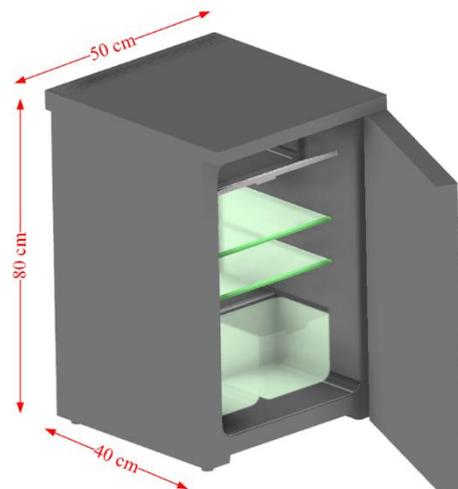
Penelitian ini menggunakan metode eksperimen dengan menguji tiga jenis sayuran, yaitu bayam, tomat, dan kentang. Pengujian dilakukan selama 10 jam dengan membandingkan kondisi sayuran yang disimpan di dalam dan di luar lemari pendingin. Parameter yang diamati meliputi suhu ruang lemari, suhu dinding lemari, suhu produk, massa air leburan es, massa produk, dan kelembaban relatif. Selain itu, juga dilakukan pengamatan visual terhadap kesegaran dan tekstur produk.

2 METODOLOGI

Penelitian ini dilakukan dengan langkah-langkah sebagai berikut.

1. Membuat lemari pendingin dengan ukuran $80\text{ cm} \times 50\text{ cm} \times 40\text{ cm}$ yang dapat dilihat pada gambar 1. Lemari pendingin terdiri dari kerangka kayu, dinding triplek tebal 8 mm , isolator styrofoam tebal 24 mm , dan plat aluminium tebal $0,35\text{ mm}$. Di dalam lemari pendingin terdapat dua rak yang

digunakan untuk meletakkan produk. Di bagian atas lemari pendingin terdapat sebuah wadah yang digunakan untuk meletakkan es batu. Di bagian bawah lemari pendingin terdapat sebuah pipa PVC yang berfungsi sebagai *humidifier*. Pipa PVC ini memiliki lubang-lubang kecil yang disambungkan dengan selang ke wadah es batu. Air leburan es batu akan mengalir melalui selang dan pipa PVC dan keluar melalui lubang-lubang kecil sebagai uap air yang meningkatkan kelembaban ruang lemari.



Gambar 1. Design Lemari Pendingin

2. Membeli sayuran segar yang akan diuji, yaitu bayam, tomat, dan kentang. Sayuran-sayuran ini dipilih karena memiliki karakteristik yang berbeda-beda, baik dari segi bentuk, ukuran, tekstur, maupun kandungan air. Sayuran-sayuran ini dicuci bersih dan dikeringkan sebelum pengujian.
3. Menimbang massa awal sayuran yang akan diuji. Setiap jenis sayuran dibagi menjadi dua bagian yang sama, yaitu sekitar $1,6\text{ kg}$. Satu bagian sayuran dimasukkan ke dalam lemari pendingin dan satu bagian lagi dibiarkan di luar lemari pendingin sebagai pembanding.
4. Menimbang massa awal es batu yang akan digunakan sebagai media pendingin. Es batu yang digunakan berbentuk kubus dengan ukuran sekitar $2\text{ cm} \times 2\text{ cm} \times 2\text{ cm}$. Jumlah es batu yang digunakan untuk setiap jenis sayuran adalah sekitar 2 kg . Es batu dimasukkan ke dalam wadah yang terletak di bagian atas lemari pendingin.
5. Menempatkan alat ukur suhu dan kelembaban. Alat ukur suhu yang digunakan adalah termometer digital yang ditempatkan di tiga lokasi, yaitu di dekat produk, di dekat dinding lemari, dan di dekat es batu.
6. Menyalakan lemari pendingin dengan menghubungkan pipa PVC dengan selang ke wadah es batu. Air leburan es batu akan mengalir melalui selang dan pipa PVC dan keluar melalui

lubang-lubang kecil sebagai uap air yang meningkatkan kelembaban ruang lemari.

7. Mengamati dan mencatat data suhu ruang lemari, suhu dinding lemari, suhu produk, massa air leburan es, massa produk, dan kelembaban relatif setiap satu jam selama 10 jam. Data suhu dan kelembaban dibaca dari alat ukur yang ditempatkan di dalam lemari pendingin. Data massa air leburan es dibaca dari timbangan digital yang ditempatkan di bawah wadah es batu. Data massa produk dibaca dari timbangan digital yang ditempatkan di bawah rak produk
8. Mengamati dan mencatat kondisi visual produk yang disimpan di dalam dan di luar lemari pendingin setiap satu jam selama 10 jam. Kondisi visual yang diamati meliputi kesegaran, warna, tekstur, dan aroma produk
9. Menghitung laju pendinginan produk, penurunan berat produk, dan efisiensi lemari pendingin dengan menggunakan rumus-rumus berikut:

Laju pendinginan produk (L_p) dihitung dengan persamaan 1 [9]:

$$L_p = \frac{T_p - T_a}{t} \quad (1)$$

Dimana T_p adalah suhu produk awal ($^{\circ}\text{C}$), T_a adalah suhu produk akhir ($^{\circ}\text{C}$), dan t adalah waktu pengujian (jam).

Penurunan berat produk (P_b) dihitung dengan persamaan 2 [10]:

$$P_b = \frac{m_p - m_a}{m_p} \times 100\% \quad (2)$$

Dimana m_p adalah massa produk awal (gram), dan m_a adalah massa produk akhir (gram).

Efisiensi lemari pendingin (E_l) dihitung dengan persamaan 3 [11]:

$$E_l = \frac{Q_p}{Q_e} \times 100\% \quad (3)$$

Dimana Q_p adalah energi yang diserap oleh produk (Joule), dan Q_e adalah energi yang dilepaskan oleh es batu (Joule).

Energi yang diserap oleh produk (Q_p) dihitung dengan persamaan 4 [12]:

$$Q_p = m_p \times c_p \times (T_p - T_a) \quad (4)$$

Dimana c_p adalah kalor jenis produk (Joule/kg $^{\circ}\text{C}$)

Energi yang dilepaskan oleh es batu (Q_e) dihitung dengan persamaan 5 [12]:

$$Q_e = m_e \times (L_f + c_w \times (T_f - T_i)) \quad (5)$$

Dimana m_e adalah massa es batu awal (gram), L_f adalah kalor lebur es (Joule/gram), c_w adalah kalor jenis air (Joule/gram $^{\circ}\text{C}$), T_f adalah suhu air leburan es ($^{\circ}\text{C}$), dan T_i adalah suhu es batu awal ($^{\circ}\text{C}$).

10. Menganalisis data yang diperoleh dengan menggunakan metode statistik deskriptif dan inferensial. Metode statistik deskriptif digunakan untuk menghitung nilai rata-rata, simpangan baku, dan koefisien variasi dari data yang diperoleh. Metode statistik inferensial digunakan untuk menguji hipotesis dengan menggunakan uji t berpasangan. Hipotesis yang diuji adalah:

- H_0 : Tidak ada perbedaan yang signifikan antara suhu produk yang disimpan di dalam dan di luar lemari pendingin.
- H_1 : Ada perbedaan yang signifikan antara suhu produk yang disimpan di dalam dan di luar lemari pendingin.
- H_0 : Tidak ada perbedaan yang signifikan antara penurunan berat produk yang disimpan di dalam dan di luar lemari pendingin.
- H_1 : Ada perbedaan yang signifikan antara penurunan berat produk yang disimpan di dalam dan di luar lemari pendingin.
- H_0 : Tidak ada perbedaan yang signifikan antara kelembaban relatif yang tercapai di dalam dan di luar lemari pendingin.
- H_1 : Ada perbedaan yang signifikan antara kelembaban relatif yang tercapai di dalam dan di luar lemari pendingin.

Kriteria pengujian hipotesis adalah:

- Jika nilai p-value $< 0,05$, maka H_0 ditolak dan H_1 diterima.
- Jika nilai p-value $> 0,05$, maka H_0 diterima dan H_1 ditolak.

3 HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan hasil perancangan alat lemari pendinginan es batu yang telah kami kembangkan yang dapat dilihat pada gambar 2.



Gambar 2. Lemari pendingin es batu

Data hasil pengujian dapat dilihat pada tabel 1 dan 2

Tabel 1. Laju pendinginan produk, penurunan berat produk, dan efisiensi lemari pendingin untuk ketiga jenis sayuran

Jenis Sayuran	Suhu Ruang (°C)	Suhu Dinding (°C)	Suhu Produk (°C)	Massa Air Leburan Es (gr)	Masa Produk (gr)	Kelembaban Relatif (%)
Bayam	19,7 ± 0,8	20,3 ± 0,9	20,1 ± 0,7	1,23 ± 56	1,56 ± 31	68,4 ± 3,2
Tomat	21,5 ± 0,6	22,1 ± 0,7	21,8 ± 0,5	1,09 ± 43	1,59 ± 18	64,7 ± 2,8
Kentang	21,9 ± 0,5	22,5 ± 0,6	22,2 ± 0,4	1,06 ± 39	1,59 ± 2	61,3 ± 2,4

Tabel 2. Laju pendinginan produk, penurunan berat produk, dan efisiensi lemari pendingin untuk ketiga jenis sayuran

Jenis Sayuran	Laju Pendinginan Produk (°C/jam)	Penurunan Berat Produk (%)	Efisiensi Lemari Pendingin (%)
Bayam	3,342 ± 0,123	1,97 ± 0,10	62,8 ± 2,7
Tomat	2,514 ± 0,087	0,63 ± 0,06	55,9 ± 2,2
Kentang	2,285 ± 0,067	0,13 ± 0,01	54,1 ± 2,0

Tabel 3. Hasil uji t berpasangan untuk suhu produk, penurunan berat produk, dan kelembaban relatif untuk ketiga jenis sayuran

Jenis Sayuran	Suhu Produk	Penurunan Berat Produk	Kelembaban Relatif
Bayam	p-value < 0,05	p-value < 0,05	p-value < 0,05
Tomat	p-value < 0,05	p-value < 0,05	p-value < 0,05
Kentang	p-value < 0,05	p-value < 0,05	p-value < 0,05

Berdasarkan tabel di atas, dapat dianalisis Suhu ruang lemari, suhu dinding lemari, dan suhu produk menunjukkan penurunan yang signifikan selama 10 jam pengujian. Hal ini menunjukkan bahwa lemari pendingin dapat menurunkan suhu produk hingga mencapai suhu optimum untuk penyimpanan dingin. Suhu optimum untuk penyimpanan dingin bayam adalah sekitar 0 °C hingga 5 °C, untuk tomat adalah sekitar 10 °C hingga 13 °C, dan untuk kentang adalah sekitar 4 °C hingga 10 °C. Suhu produk yang disimpan di dalam lemari pendingin lebih rendah daripada suhu produk yang disimpan di luar lemari pendingin. Hal ini menunjukkan bahwa lemari pendingin dapat menghambat proses metabolisme dan respirasi produk, serta mengurangi kehilangan air akibat penguapan. Hasil uji t berpasangan menunjukkan bahwa ada perbedaan yang signifikan antara suhu produk yang disimpan di dalam dan di luar lemari pendingin dengan nilai p-value < 0,05. Hipotesis nol ditolak dan hipotesis alternatif diterima.

Massa air leburan es menunjukkan peningkatan yang signifikan selama 10 jam pengujian. Hal ini menunjukkan bahwa es batu dapat melebur dengan

baik dan menyerap panas dari udara dan produk. Massa air leburan es yang paling besar terjadi pada bayam, yaitu sebesar 1.234 gram, sedangkan yang paling kecil terjadi pada kentang, yaitu sebesar 1.062 gram. Hal ini menunjukkan bahwa bayam membutuhkan energi pendinginan yang paling besar, sedangkan kentang membutuhkan energi pendinginan yang paling kecil. Hal ini sesuai dengan karakteristik produk, yaitu bayam memiliki kandungan air yang paling tinggi, sedangkan kentang memiliki kandungan air yang paling rendah. Kandungan air yang tinggi menyebabkan produk lebih mudah kehilangan air dan membutuhkan energi pendinginan yang lebih besar.

Massa produk menunjukkan penurunan yang signifikan selama 10 jam pengujian. Hal ini menunjukkan bahwa produk mengalami kehilangan air akibat penguapan dan respirasi. Penurunan berat produk yang paling besar terjadi pada bayam, yaitu sebesar 1,97%, sedangkan yang paling kecil terjadi pada kentang, yaitu sebesar 0,13%. Hal ini menunjukkan bahwa bayam mengalami pelayuan yang paling parah, sedangkan kentang mengalami pelayuan yang paling ringan. Hal ini sesuai dengan karakteristik produk, yaitu bayam memiliki kandungan air yang paling tinggi, sedangkan kentang memiliki kandungan air yang paling rendah. Kandungan air yang tinggi menyebabkan produk lebih mudah kehilangan air dan mengalami pelayuan [13]. Penurunan berat produk yang disimpan di dalam lemari pendingin lebih kecil daripada penurunan berat produk yang disimpan di luar lemari pendingin. Hal ini menunjukkan bahwa lemari pendingin dapat mengurangi kehilangan air produk akibat penguapan dan respirasi. Hasil uji t berpasangan menunjukkan bahwa ada perbedaan yang signifikan antara penurunan berat produk yang disimpan di dalam dan di luar lemari pendingin dengan nilai p-value < 0,05. Hipotesis nol ditolak dan hipotesis alternatif diterima.

Kelembaban relatif menunjukkan peningkatan yang signifikan selama 10 jam pengujian. Hal ini menunjukkan bahwa pipa PVC dapat berfungsi sebagai *humidifier* yang menghasilkan uap air dari air leburan es. Kelembaban relatif yang tercapai berkisar antara 61% hingga 72%. Kelembaban relatif yang optimal untuk penyimpanan dingin bayam adalah sekitar 95% hingga 100%, untuk tomat adalah sekitar 90% hingga 95%, dan untuk kentang adalah sekitar 85% hingga 90%. Kelembaban relatif yang tercapai di dalam lemari pendingin lebih tinggi daripada kelembaban relatif yang tercapai di luar lemari pendingin. Hal ini menunjukkan bahwa lemari pendingin dapat mempertahankan kesegaran dan tekstur produk. Hasil uji t berpasangan menunjukkan bahwa ada perbedaan yang signifikan antara kelembaban relatif yang tercapai di dalam dan di luar lemari pendingin dengan nilai p-value < 0,05. Hipotesis nol ditolak dan hipotesis alternatif diterima.

Berdasarkan hasil pada tabel 4 dapat dilihat kondisi visual produk menunjukkan perbedaan yang

signifikan antara produk yang disimpan di dalam dan di luar lemari pendingin. Produk yang disimpan di dalam lemari pendingin masih terjaga kesegaran, warna, tekstur, dan aroma, sedangkan produk yang disimpan di luar lemari pendingin mengalami perubahan kualitas, seperti pelayuan, perubahan warna, keriput, dan bau tidak sedap. Perubahan kualitas yang paling signifikan terjadi pada bayam, sedangkan yang paling kecil terjadi pada kentang. Hal ini sesuai dengan karakteristik produk, yaitu bayam memiliki kandungan air yang paling tinggi, sedangkan kentang memiliki kandungan air yang paling rendah. Kandungan air yang tinggi menyebabkan produk lebih mudah mengalami perubahan kualitas akibat penguapan dan respirasi.

Tabel 4. Hasil pendinginan sayuran menggunakan alat

Keterangan	Visual
Kondisi bayam sebelum dimasukan ke dalam lemari pendingin sebelum pengujian, terlihat segar dan tekstur lembut. Warna hijau segar.	
Hasil akhir setelah 10 jam pengujian, warna dan tekstur bayam masih terlihat segar, hanya saja ada sedikit pengurangan bobot bayam yaitu sebesar 31 gr (pengujian di dalam lemari pendingin), dan masih bisa dijual kembali.	
Sedangkan pada pengujian bayam diluar lemari pendingin, terjadi penurunan bobot sebanyak 332 gr. Warna pucat dan tekstur terlihat kejal. Kesegaran sudah sangat menurun, sehingga tidak bisa untuk dijual kembali.	
Keterangan	Visual
Kondisi tomat sebelum dimasukan ke dalam lemari pendingin sebelum pengujian, terlihat segar dan tekstur kenyal dan masih dapat dijual kembali. Penurunan bobot hanya sebesar 7 gr.	

pengujian tomat diluar lemari pendingin, terjadi penurunan bobot sebanyak 10 gr cukup kecil, Warna dan tektur terlihat masih baik dan kejal dan masih bisa untuk dijual kembali.



Keterangan	Visual
Kondisi kentang sebelum dimasukan ke dalam lemari pendingin saat waktu pengujian, terlihat segar dan tekstur keras. Warna segar. Masih dapat dijual. Penurunan bobot hanya 2 gr	
pengujian kentang diluar lemari pendingin, terjadi penurunan bobot sebanyak 7 gr, Warna dan tekstur terlihat masih baik dan keras. Masih dapat untuk dijual kembali.	

4 KESIMPULAN

Berdasarkan hasil dari Penelitian ini yang merancang sebuah lemari pendingin sayuran menggunakan media es batu dan kontrol kelembaban untuk mengawetkan sayuran yang tidak habis terjual di warung kampung. menggunakan metode eksperimen dengan menguji tiga jenis sayuran, yaitu bayam, tomat, dan kentang, selama 10 jam dengan membandingkan kondisi sayuran yang disimpan di dalam dan di luar lemari pendingin. Hasil penelitian menunjukkan bahwa lemari pendingin dapat menurunkan suhu produk hingga mencapai suhu optimum untuk penyimpanan dingin, mengurangi kehilangan air produk, dan mempertahankan kesegaran dan tekstur produk. Selain itu, penelitian juga menunjukkan bahwa ada perbedaan yang signifikan antara suhu produk, penurunan berat produk, dan kelembaban relatif yang tercapai di dalam dan di luar lemari pendingin. Sehingga hal ini membuktikan bahwa lemari pendingin sayuran dengan media es batu dan kontrol kelembaban dapat digunakan sebagai alternatif teknologi tepat guna untuk pengawetan sayuran di warung kampung. ditulis

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada Yayasan Pendidikan Nasional Tridinanti (YPNT) melalui hibah penelitian dengan Nomor : 089/Unanti.A12/LPPM/PI/2023 dan semua narasumber, responden, dan kolega yang telah memberikan kontribusi dalam penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] J. L. Slavin and B. Lloyd, "Health benefits of fruits and vegetables," *Advances in Nutrition*. 2012, doi: 10.3945/an.112.002154.
- [2] J. W. Lampe, "Health effects of vegetables and fruit: Assessing mechanisms of action in human experimental studies," 1999, doi: 10.1093/ajcn/70.3.475s.
- [3] R. H. Liu, "Health benefits of fruit and vegetables are from additive and synergistic combinations of phytochemicals," 2003, doi: 10.1093/ajcn/78.3.517s.
- [4] K. Muthukumarappan, B. Tiwari, and G. J. Swamy, "Refrigeration and freezing preservation of vegetables," in *Handbook of Vegetables and Vegetable Processing: Second Edition*, 2018.
- [5] T. Seki *et al.*, "Brown-fat-mediated tumour suppression by cold-altered global metabolism," *Nature*, 2022, doi: 10.1038/s41586-022-05030-3.
- [6] Y. H. Yau and B. Rismanchi, "A review on cool thermal storage technologies and operating strategies," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2012, doi: 10.1016/j.rser.2011.09.004.
- [7] R. E. Paull, "Effect of temperature and relative humidity on fresh commodity quality," *Postharvest Biol. Technol.*, 1999, doi: 10.1016/S0925-5214(98)00090-8.
- [8] N. J. Ogbuagu, S. I. Oluka, and K. C. Ugwu, "Development of a passive evaporative cooling structure for storage of fresh fruits and vegetables," *J. Emerg. Technol. Innov. Res.*, 2017.
- [9] I. Pramacakrayuda, I. Adinugraha, H. Wijaksana, and N. Suarnadwipa, "Analisis Performansi Sistem Pendingin Ruang Dikombinasikan dengan Water Heater," *J. Energi Dan Manufaktur*, vol. 4, no. 1, pp. 57–61, 2010.
- [10] N. Alfiyani, N. Wulandari, and D. R. Adawiyah, "Validasi Metode Pendugaan Umur Simpan Produk Pangan Renyah dengan Metode Kadar Air Kritis," *J. Mutu Pangan Indones. J. Food Qual.*, 2019, doi: 10.29244/jmpi.2019.6.1.1.
- [11] U. A. Gani, M. Taufiqurrahman, P. Studi Teknik Mesin, U. Tanjungpura, and J. H. Hadari Nawawi, "Analisa Coefisien Of Performance (COP) Dengan Dua Modul Thermoelektrik Tipe TEC-12705 Pada Pendingin Dispenser," *Tek. Rekayasa Tek. Mesin*, 2022.
- [12] P. Shayler, "Thermodynamics," in *Introduction to Mechanical Engineering: Part 1*, 2022.
- [13] A. Sharpley, B. Foy, and P. Withers, "Practical and Innovative Measures for the Control of Agricultural Phosphorus Losses to Water: An Overview," *J. Environ. Qual.*, 2000, doi: 10.2134/jeq2000.00472425002900010001x.