
Modifikasi Kotak Polistiren Untuk Penyimpanan Dingin Sayur Kubis Dengan Menggunakan Es Kering Sebagai Media Pendingin

Modification of Polystyrene Box for Cabbage Storage Using Dry Ice as a Cooling Media

Bagus Made Brahmanda Diputra, Ida Bagus Putu Gunadnya*, I Putu Gede Budisanjaya

Program Studi Teknik Pertanian dan biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Udayana, Badung, Bali, Indonesia

*email: gunadnya@unud.ac.id

Abstrak

Penelitian telah dilakukan pada modifikasi kotak polistiren sebagai kotak pengiriman kubis segar menggunakan es kering sebagai media pendingin. Penelitian ini bertujuan untuk menguji kotak yang dimodifikasi untuk mengetahui kotak modifikasi yang paling sesuai digunakan untuk menjaga kesegaran sayuran. Kotak polistiren yang dimodifikasi dibuat dengan memisahkan ruangan kotak menjadi dua bagian, satu bagian untuk menempatkan es kering sebagai media pendingin, dan bagian lainnya untuk menyimpan kubis segar. Kotak dimodifikasi menjadi lima jenis kotak model, dua jenis media pendinginan diletakkan di bawah sayuran segar, sedangkan tiga jenis kotak model sisanya untuk menempatkan media pendingin di atas sayuran. Pengujian dilakukan selama 7 jam dan dilakukan pengukuran suhu di sekitar kotak, suhu di dalam kotak, dan suhu pusat kubis segar. Pengukuran lain yang dilakukan adalah berat es kering yang digunakan selama penyimpanan dingin, penurunan berat kubis segar, pengamatan visual kerusakan kubis segar, dan perhitungan keseimbangan energi. Penempatan es kering di bawah kubis segar menyebabkan suhu tengah kubis segar jauh di atas suhu penyimpanan yang disarankan, 0°C, sementara menempatkan media pendingin di atas sayuran memberi dampak negatif pada sayuran di mana suhu tengah kubis segar di bawah 0°C untuk dua jenis kotak model, kecuali es kering yang ditempatkan di wadah dari pelat seng. Berdasarkan perhitungan energi, terungkap bahwa hampir lebih dari 75% energi pendingin digunakan untuk mengatasi beban pendinginan selain untuk mendinginkan kubis segar. Ditemukan bahwa kotak model yang paling sesuai untuk menyimpan kubis segar adalah kotak model kelima.

Kata kunci: *es kering, kubis segar, kotak polistiren, kotak model, pendinginan.*

Abstract

Research had been carried out to modify polystyrene box as fresh cabbage delivery box using dry ice as a cooling medium. The research aims were to find out the most suitable model box to maintain the freshness of the vegetables. Modified polystyrene box was made by separating the box into two compartments, one compartment for placing dry ice, and another compartment for storing the fresh cabbage. The box was modified into five types which consisted of two types of the box where the cooling medium was placed below the fresh vegetable, while for the rest, the cooling medium was placed above the vegetable. The tests were performed for 7 hours with the hourly observation that consisted of the temperature surrounding the model box, temperature inside the box, and temperature of the center of the fresh cabbage. Other conducted measurements were the weight of dry ice used during cold storage, weight loss of fresh cabbage, visual observation on the deterioration of the fresh cabbage, and energy equilibrium calculation. Placing dry ice below the fresh cabbage caused the center temperature of the fresh cabbage to far above the recommended storing temperature, 0oC, while placing the cooling medium above the vegetable gave a negative impact on the vegetable where the center temperature of the fresh cabbage was below 0oC for the two types of model boxes, except for the fifth type box where dry ice was placed in a basin made of zink plate. Based on energy calculation it was revealed that almost more than 75% of cooling energy was used to overcome the surrounding cooling load. It was found that the most suitable model box for storing the fresh cabbage was the fifth type.

Keywords: *Cooling, dry ice, fresh cabbage, polystyrene box, model box, cooling.*

PENDAHULUAN

Kubis merupakan salah satu sayuran yang diperlukan oleh pasar tradisional, pasar modern, restoran dan hotel. Produksi kubis di Bali pada tahun 2018 mencapai 33.305,6 ton dan pada tahun 2019 menurun hampir sepecahnya menjadi 17.576,4 ton (BPS, 2020). Jumlah produksi yang besar ini disalurkan oleh para pemasok ke lokasi penjualan seperti di atas. Banyak pemasok yang menyalurkan produk segar pertanian ini ke restoran dan hotel karena harga yang ditawarkan lebih tinggi daripada menjualnya di pasar tradisional. Penawaran harga yang lebih tinggi harus diimbangi oleh pemasok dengan menyediakan produk yang lebih bermutu dan dengan menekan kehilangan pascapanen serendah-rendahnya.

Kehilangan pascapanen produk segar dari budidaya sampai dengan pedagang pengecer di negara sedang berkembang rata-rata 22% atau seperlima dari total produksi. Kisaran kehilangan pascapanen adalah 5-50% (Prusky, 2011). Sedangkan FAO (2011) melaporkan bahwa jumlah kehilangan buah dan sayuran dalam pendistribusian di Asia Tenggara mencapai 10% dari total produksi. Menurut Sheel (2014) penggunaan wadah penyimpanan yang tidak tepat untuk pengangkutan sayuran akan menyebabkan pengurangan umur simpan, penurunan mutu dan kehilangan pascapanen sayuran.

Untuk menghindari kehilangan pascapanen dan mempertahankan mutu dalam penyaluran produk segar disarankan menggunakan mobil *coolbox*, tetapi harga mobil *coolbox* ini masih sangat mahal (Putra, 2014). Untuk itu, penggunaan wadah yang bisa digunakan berulang-ulang seperti kotak polistiren yang dikenal dengan nama dagang kotak *styrofoam* sudah digunakan oleh para pemasok sayuran. Penggunaan kotak polistiren sudah dicoba oleh Takaendengan *et al.* (2015) untuk pengiriman kubis. Demikian pula Sagas *et al.* (2015) menyebutkan bahwa penggunaan kotak polistiren sebagai wadah penyimpanan sayuran pak choi mampu mempertahankan mutu sayuran ini daripada bila pak choi disimpan didalam kemasan karung atau kotak kayu. Kandungan yang terdapat pada sayuran kubis terdiri dari kalori, karbohidrat, lemak,

protein, kalsium, fosfor, besi, vitamin A, vitamin B1, vitamin C, antioksidan dan air Wisnuwardhani (2015).

Selain wadah, pendinginan produk segar merupakan langkah penting pada rantai penanganan pascapanen. Kitinoja dan Thompson (2010) menyatakan bahwa penurunan suhu produk segar setelah panen sangat mengurangi laju respirasi, memperpanjang masa simpan, melindungi produk dari penurunan mutu, mengurangi kehilangan bobot, dan kehilangan air serta kerusakan. Menurut Muin (2017) kubis sebagai salah satu produk hortikultura adalah produk yang mudah rusak. Kubis seperti juga komoditi hortikultura lainnya walaupun sudah dipanen, masih melakukan proses metabolisme yaitu respirasi dan terus melakukan transpirasi serta pematangan, penuaan dan akhirnya layu. Oleh karena itu, kubis perlu didinginkan setelah dipanen. Chakraverty *et al.* (2003) menyatakan bahwa suhu penyimpanan yang direkomendasikan untuk kubis adalah pada suhu 0°C.

Ada beberapa metode pendinginan yang dilakukan untuk sayuran, diantaranya adalah metode *top-icing* menggunakan cacahan es. Metode lain yang bisa dipilih dan digunakan adalah dengan menggunakan es kering (*dry ice*) sebagai medium pendingin. Metode pendinginan dengan menggunakan es kering disebut sebagai pendinginan kriogenik. Menurut Chakraverty *et al.* (2003) dan Vigneault *et al.* (2009) pendinginan kriogenik menggunakan N₂ air, CO₂ cair atau dengan menggunakan es kering. Penggunaan es kering lebih menguntungkan daripada menggunakan cacahan es karena kapasitas pendinginan es kering 92% lebih tinggi daripada es. Selain metode pendinginan, peletakan medium pendingin di dalam wadah penyimpanan dingin perlu dikaji pengaruhnya terhadap produk segar yang disimpan.

Disamping untuk mendinginkan sayuran yang disimpan, dingin es atau es kering digunakan juga untuk mengatasi beban panas lingkungan sayuran. Panas sayuran dan lingkungannya disebut sebagai beban pendinginan. Lebih lanjut Vigneault *et al.* (2009) menyebutkan sumber beban pendinginan berupa beban panas internal dan beban panas eksternal. Beban panas internal meliputi panas lapang dan panas respirasi yang dihasilkan produk

segar. Beban panas eksternal berupa panas lingkungan produk yang disimpan. Dalam penyimpanan dingin sayur kubis perlu dilakukan perhitungan beban pendinginan selama penyimpanan dingin.

Oleh karenanya, dalam penelitian ini dilakukan percobaan peletakan es kering sebagai sumber pendingin di dalam kotak polistiren yang dimodifikasi. Dalam penelitian ini dipelajari pengaruh peletakan es kering di dalam kotak polistiren sebagai penyimpan dingin, diantaranya pengaruh peletakan terhadap perubahan suhu kubis, perubahan bobot sayur, dan kesetimbangan energi selama penyimpanan dingin kubis. Tujuan dari penelitian ini adalah menentukan kotak modifikasi yang paling sesuai untuk penyimpanan sayur kubis. Dimana kotak modifikasi ini ada lima model yang akan digunakan dan mencari modifikasi kotak mana yang cocok untuk suhu penyimpanan kubis tersebut selama 7 jam.

METODE PENELITIAN

Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian diawali dengan memodifikasi alat penyimpanan dingin yang dilakukan di Denpasar. Pada tahap percobaan dilakukan di Laboratorium Teknik Pascapanen, Fakultas Teknologi Pertanian Universitas Udayana. Penelitian dilakukan selama satu bulan yaitu pada bulan September 2019.

Alat dan Bahan Penelitian

Alat-alat yang diperlukan untuk memodifikasi alat berupa antara lain: palu, gergaji pemotong manual, paku berukuran 5 cm, dan penggaris. Alat ukur yang digunakan adalah timbangan gantung (merek Passport 274491, berat maksimum yang mampu diukur adalah 50 kg, dengan kesalahan ketelitian alat 2%), dan thermometer digital (TPM - 10 thermometer aquarium dengan kabel 1M – T 110 – black).

Bahan utama yang digunakan kubis yang diperoleh dari pengepul yang langsung dikirimkan ke supplier. Kotak polistiren dengan panjang 55 cm, lebar 30 cm dan tinggi 60 cm, dan es. Bahan lain yang digunakan dalam penelitian adalah kawat jaring, seng, dan kayu reng.

Pelaksanaan Penelitian

Penelitian dilakukan dalam dua tahap berupa tahap memodifikasi terhadap kotak polipropilen dilakukan berdasarkan pada peletakan media pendingin yang menggunakan es kering. Dan tahap percobaan penyimpanan yang dilakukan sesuai dengan lima model kotak penyimpanan yang berbeda.

Hasil modifikasi alat disebut sebagai model dan dibuat 5 model modifikasi kotak yaitu: Kotak model 1, es kering diletakkan di bawah kubis dan kubis dialasi dengan kawat jaring. Kotak model 2, seperti kotak model 1 dengan dinding bawah kotak dilubangi sebanyak 3 buah lubang berdiameter 1 cm. Kotak model 3, kotak dimodifikasi seperti kotak model 1 tetapi letak antara sayur kubis dengan es kering ditukar yaitu sayur kubis diletakkan di bawah es kering yang dialasi dengan kawat jaring. Kotak model 4, seperti kotak model 3 dan dinding bawah dilubangi sebanyak 3 buah dengan ukuran lubang 1 cm. Kotak model 5, modifikasi kotak sama dengan kotak model 3 tetapi es kering dialasi dengan lembaran seng.

Pada tahap kedua dilakukan percobaan dengan beban sayur kubis. Percobaan dilakukan dengan menggunakan es kering dan 3 buah sayur kubis yang diletakkan sesuai dengan setiap kotak model hasil modifikasi. Berat total rata-rata dari ketiga buah sayur kubis adalah 2.59 kg dan es kering yang digunakan memiliki berat rata-rata 2,59 kg. Pada pusat setiap kubis dimasukkan sensor suhu dari thermometer digital. Demikian pula pada titik tengah ruang pendinginan diletakkan sensor suhu untuk mengukur suhu udara ruang pendinginan. Di luar kotak penyimpanan dingin diletakkan pula satu sensor untuk mengukur suhu ruang. Pengamatan dilakukan setiap jam selama 7 jam. Percobaan dilakukan mulai jam 10 sampai dengan jam 17 WITA.

Pengukuran dan Perhitungan

Parameter yang diukur selama percobaan adalah titik tengah suhu ruang penyimpanan, suhu pusat kubis dan berat kubis. Pengukuran suhu dilakukan pada suhu ruang penyimpanan kotak, suhu ruang di dalam kotak, dan suhu pusat setiap kubis. Pengukuran suhu dilakukan dengan menggunakan thermometer digital. Pengukuran lain yang

dilakukan adalah pengukuran berat setiap kubis dengan menggunakan timbangan gantung. Demikian pula dengan berat es kering ditimbang dengan menggunakan timbangan gantung sebelum dan sesudah percobaan. Satu pengamatan yang dilakukan berupa pengamatan visual terhadap kerusakan daun kubis setelah penyimpanan dingin.

Perhitungan yang dilakukan adalah menghitung kesetimbangan energi untuk setiap model yang dioperasikan dalam kondisi terbebani. Panas berasal dari panas sayur kubis (Q_c) yang disimpan yang berupa panas sensibel dan panas respirasi, dan panas lain-lain (Q_{misc}) yang bersumber pada udara di dalam ruang penyimpanan dingin, dinding kotak penyimpanan dan infiltrasi udara luar kotak. Sumber-sumber panas ini menjadi beban pendingin dari model yang dibuat. Sumber panas (Q_i) ini diserap oleh es kering sebesar Q_{di} . Cara menghitung kesetimbangan energi adalah sbb:

$$Q_l = Q_c + Q_{misc} \quad (1)$$

$$Q_{di} = m_{di}\lambda_{di} \quad (2)$$

$$Q_c = m_c c_{p_c}(T_{ci} - T_{cf}) + m_c q_{res} \quad (3)$$

m_{di} = berat es kering yang menguap (kg), λ_{di} = panas sublimasi es kering (kJ/kg), m_c = berat kubis (kg), c_{p_c} = panas jenis kubis (kJ/kg°C), T_{ci} = suhu awal kubis (°C) dan T_{cf} = suhu akhir kubis (°C) serta q_{res} adalah panas respirasi kubis (W/kg). Menurut Toledo (2007), panas respirasi dihitung dengan menggunakan rumus:

$$q_{res} = a \exp(bT) \quad (4)$$

Nilai a dan b untuk kubis adalah 16.8 dan 0.074 dan nilai suhu kubis (T , °C) yang digunakan adalah suhu rata-ratanya. Nilai kapasitas jenis (c_p) kubis

diketahui sebesar 4,02 kJ/kg°C, untuk di atas 0°C dan bernilai 1,85 4,02 kJ/kg°C untuk suhu kubis dibawah 0°C (ASHRAE, 2006). Untuk panas sublimasi es kering digunakan nilai 571 kJ/kg (ASHRAE. 2014).

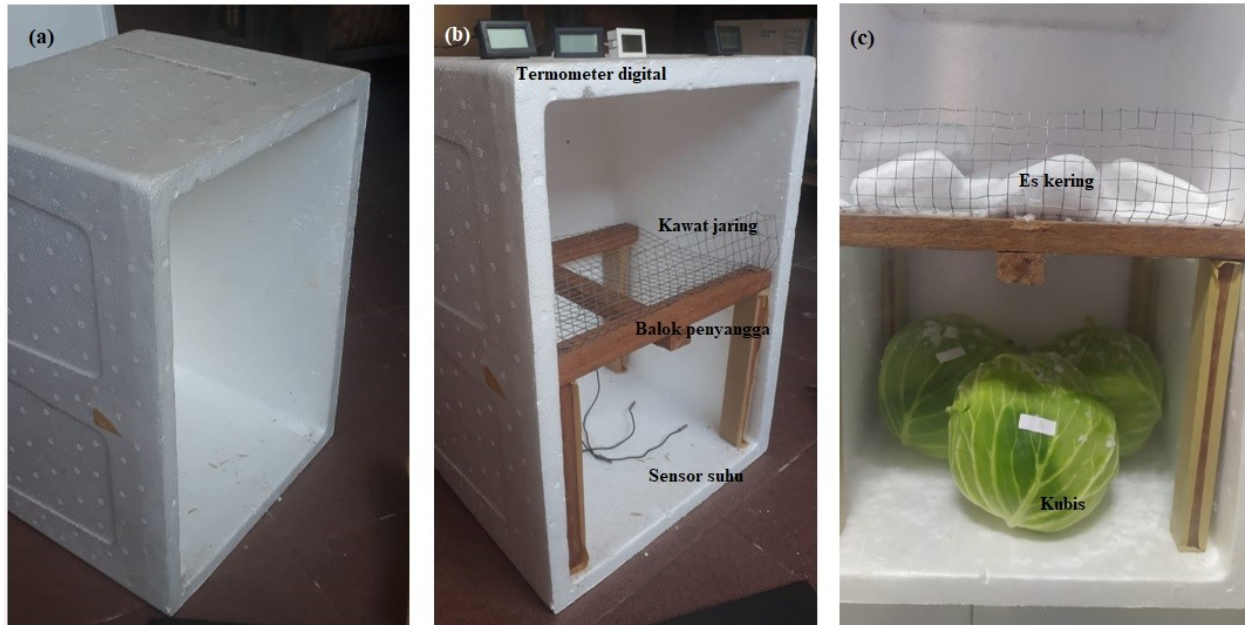
Analisis Data

Data suhu ruang penyimpanan dingin dari kotak model hasil modifikasi setelah diisi kubis dan suhu pusat kubis dianalisis dengan menggunakan analisis *boxplot*. *Outlier* dihitung berdasarkan pada data yang berada di luar 1,5 x inter-kuartil (Montgomery dan Runger, 2014). Analisis data untuk pembuatan *boxplot* dilakukan dengan menggunakan *software* SPSS versi 18. Data yang lain dianalisis secara deskriptif dengan menampilkan grafik, tabel dan gambar.

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Hasil Modifikasi Kotak Penyimpanan Dingin Kubis

Kotak polistiren (Gambar 1a) disekat menjadi dua bagian, yaitu satu bagian sebagai tempat penyimpanan kubis dan satu bagian lainnya untuk penyimpanan es kering sebagai media pendingin. Sebagai penyangga berat es kering atau kubis digunakan balok kayu dan untuk wadah es kering atau kubis digunakan kawat jaring atau seng (Gambar 1b). Setelah kelima model modifikasi ini dilakukan maka sensor suhu diletakkan di dalam alat. Pada Gambar 1c terlihat es kering diletakkan di atas kubis. Sebagai langkah terakhir adalah kotak penyimpanan dingin ditutup dan pengukuran suhu mulai dilakukan.



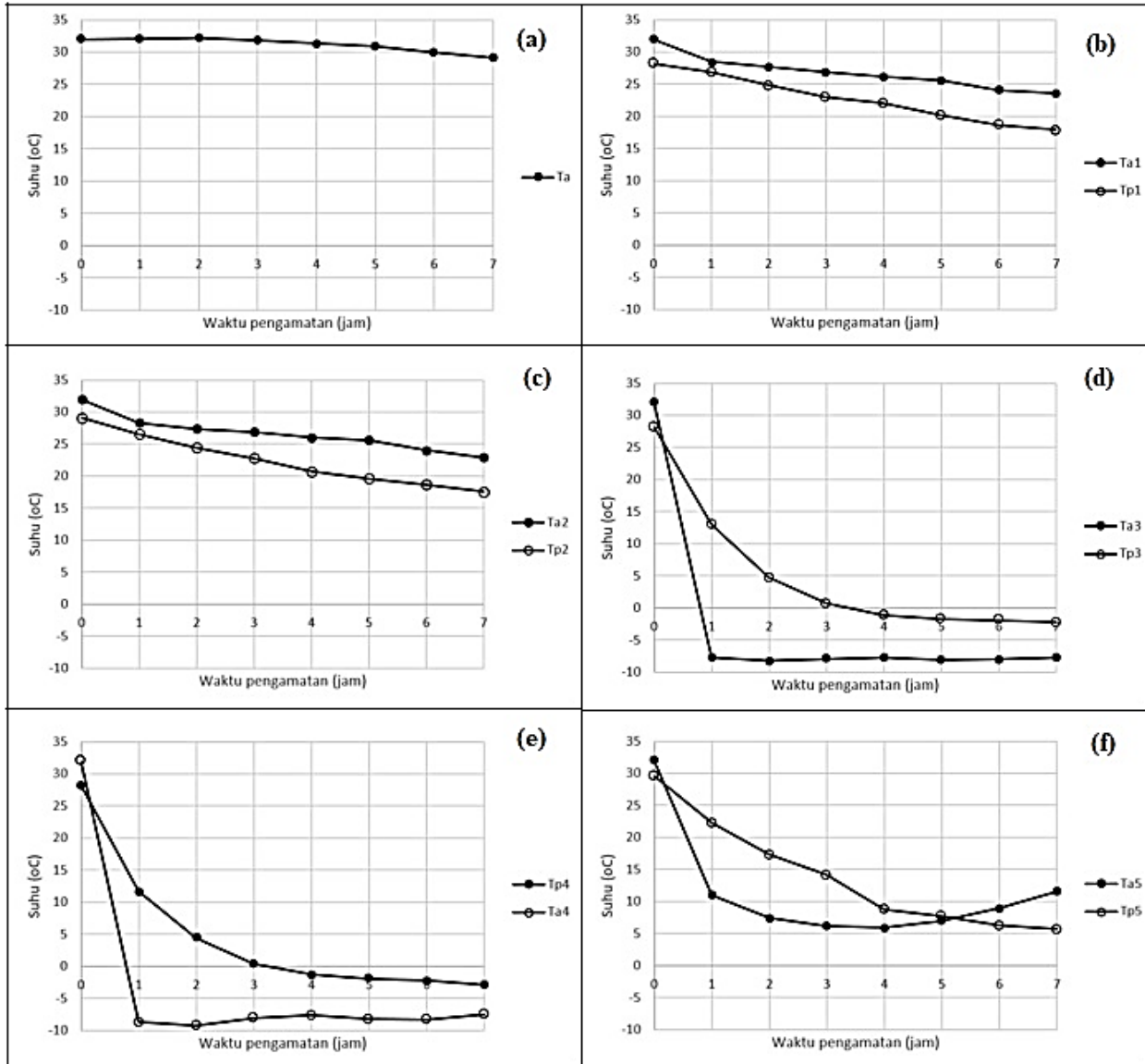
Gambar 1. Kotak polistiren sebelum dimodifikasi (a), kotak setelah dimodifikasi dan dilengkapi dengan sensor suhu (b), dan kotak penyimpanan hasil modifikasi yang sudah diisi es kering dan kubis pada tempat yang sudah ditentukan (c).

Alat yang dibuat dalam lima kotak model dapat berfungsi dengan baik walaupun setelah di dalam kotak disimpan sayur kubis dengan berat rata-rata 2,59 kg. Baik suhu ruangan penyimpanan dingin maupun suhu pusat kubis menurun dengan bertambahnya waktu pengamatan. Balok-balok penyangga dapat berfungsi dengan baik dan mampu menahan beban berat es kering dan berat sayur kubis.

2. Suhu Ruang, Suhu di dalam Ruang Penyimpanan Dingin dan Suhu Pusat Kubis

Suhu ruang tempat penyimpanan kotak penyimpanan dingin selama percobaan berkisar antara 29.1 – 32.1°C (Gambar 2a). Penggunaan kotak model 1 menyebabkan suhu udara di dalam kotak lebih tinggi daripada suhu pusat kubis selama 7 jam penyimpanan. Suhu pusat kubis turun dari

28,2°C menjadi 23.6°C, sedangkan suhu udara di pusat dalam kotak berkisar antara 23.6 - 32.2°C (Gambar 2b) dan suhu pusat kubis tidak pernah mencapai 0°C sebagai suhu rekomendasi penyimpanan untuk kubis. Demikian pula dengan penggunaan kotak model 2, tidak menyebabkan suhu pusat kubis mencapai suhu rekomendasi (Gambar 2c). Sementara dengan menggunakan kotak model 3 dan 4 menyebabkan suhu pusat kubis menurun dengan cepat dan mencapai suhu di bawah 0°C setelah 3 jam penyimpanan (Gambar 2d dan 2e). Suhu udara di dalam kotak bernilai lebih rendah daripada suhu pusat kubis dan terjadi penurunan suhu dengan cepat. Penggunaan kotak model 5 untuk menyimpan kubis tidak mampu membuat suhu pusat kubis, walaupun kebanyakan suhu udara di dalam kotak lebih banyak bernilai dibawah suhu kubis (Gambar 2f).



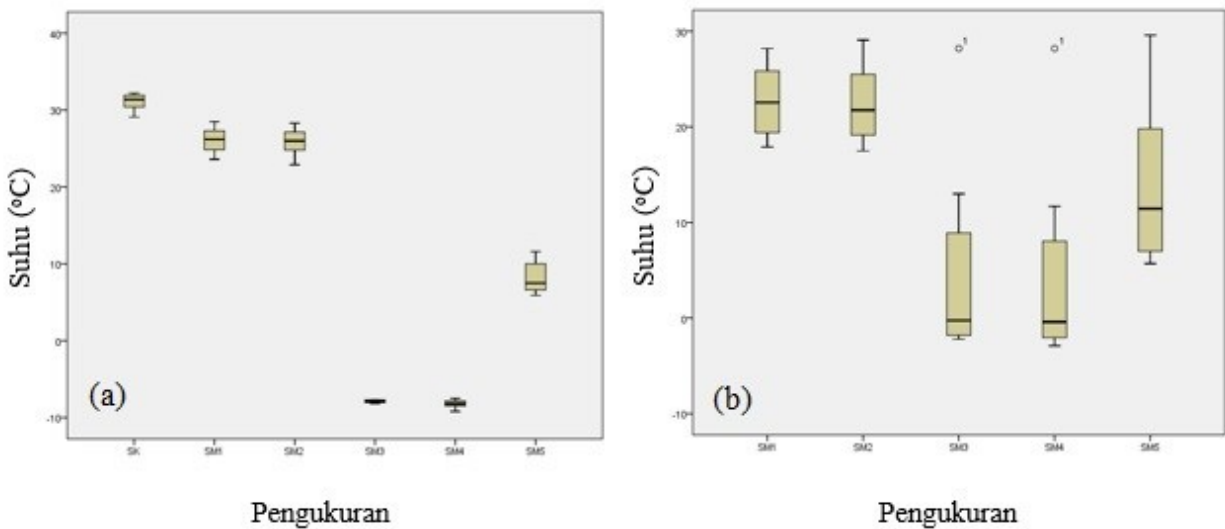
Gambar 2. Perubahan suhu udara di ruang penyimpanan kotak (a), perubahan suhu udara di dalam kotak penyimpanan (T_a) dan suhu pusat kubis (T_p) selama penyimpanan 7 jam pada kotak model 1 (b), kotak model 2 (c), kotak model 3 (d), kotak model 4 (e), dan kotak model 5 (f).

Penempatan medium pendingin di bawah kubis tidak mampu mendinginkan suhu pusat kubis sehingga mencapai suhu rekomendasi. Sebaliknya dengan mengubah letak medium pendingin menjadi berada di atas kubis di ruang penyimpanan menyebabkan suhu pusat kubis mencapai di bawah 0°C , kecuali untuk kotak model 5. Hal ini terjadi karena di dalam kotak terjadi konveksi alami dan terjadi aliran udara dingin dari atas kotak ke bawah kotak. Menurut Cengel (2002) aliran fluida secara alami seperti efek buoyansi yang diperlihatkan

dengan aliran naik fluida yang lebih panas karena fluida lebih panas lebih ringan dan sebaliknya terjadi aliran fluida dingin dari atas ke bawah karena fluida lebih dingin memiliki berat yang lebih tinggi daripada fluida lebih hangat. Aliran fluida dingin dari bawah ke atas tidak dimungkinkan, hal ini kelihatannya menyebabkan suhu udara di dalam kotak untuk kotak model 1 dan 2 bernilai lebih besar daripada suhu pusat kubis.

Dari analisis *boxplot* diperoleh bahwa suhu median yang merupakan suhu rata-rata udara luar, udara di dalam kelima kotak model. Suhu rata-rata ruang penyimpanan kotak dan suhu udara di dalam kotak model 1, 2, 3, 4, dan 5 berturut-turut adalah: 31,1, 26,1, 25,9, -7,9, -8,2, dan 8,3°C. Sebaran suhu udara di dalam kotak sangat sempit dan sebaran suhu di dalam kotak model 1 dan 2 adalah sama dan sebaran suhu udara di dalam kotak model 3 dan 4 juga sama seperti diperlihatkan pada Gambar 3a. Sedangkan suhu median atau suhu rata-rata pusat kubis untuk kotak model 1, 2, 3, 4, dan 5 berturut-turut adalah 22,7, 22,4, 1,6, 1,2, dan 14,0°C. Sebaran suhu lebih besar dan fenomena yang sama dengan sebaran suhu udara di dalam kotak. Sebaran suhu pusat kubis yang disimpan di dalam kotak 1 dan 2 sama dan demikian pula dengan kotak 3 dan 4. Diperoleh pula bahwa ada suhu *outlier* dari suhu pusat kubis dari kubis yang disimpan di dalam kotak model 3

dan 4 (Gambar 3b). Berdasarkan pada suhu rata-rata yang dicapai berdasarkan analisis *boxplot*, kelihatannya kotak model 3 dan 4 merupakan kotak penyimpanan yang sesuai untuk penyimpanan dingin kubis. Dari Gambar 2d dan 2e terlihat suhu pusat kubis mencapai suhu rata-rata di bawah 0°C lebih dari 3,5 jam dari 7 jam penyimpanan yang mengakibatkan sayur kubis yang disimpan di kotak model 3 dan 4 mengalami *chilling injury* seperti terlihat dari pengamatan visual yang ditampilkan pada Gambar 4. Oleh karenanya, kotak model 5 merupakan kotak modifikasi yang paling sesuai untuk penyimpanan sayur kubis. Suhu pusat sayur kubis yang disimpan di dalam kotak model 5 mampu mencapai suhu rata-rata 14,0°C dan suhu pusat sayur kubis ini paling mendekati suhu rekomendasi penyimpanan.



Keterangan: SK = suhu kamar, SM1 = kotak model 1, SM2 = kotak model 2, SM3 = kotak model 3, SM4 = kotak model 4, dan SM5 = kotak model 5.

Gambar 3. Perubahan suhu udara lingkungan dan udara di dalam kotak model (a), suhu pusat kubis yang disimpan dingin di dalam kotak model (b).

3. Berat Es Kering yang Diperlukan untuk Mendinginkan Kubis selama Penyimpanan

Berat es kering yang digunakan merupakan selisih dari berat es kering awal pendingin dikurangi dengan berat es kering setelah penyimpanan 7 jam. Untuk mendinginkan kubis pada kelima model kotak pendingin yang dibuat dengan rata-rata berat 2,59 kg, memerlukan rata-rata 2.04 kg es kering.

Rata-rata berat kubis yang mampu didinginkan selama 7 jam untuk kelima model adalah 1,27 kg kubis per kg es kering. Berat kubis tertinggi yang mampu didinginkan per kg es kering diperoleh pada kotak pendingin model 2, yaitu 1,88 kg kubis. Sementara, perbandingan terkecil diperoleh pada kotak pendingin model 5 sebesar 1,04 kg kubis per kg es kering (Tabel 1).

Perbedaan kemampuan es kering dalam mendinginkan kubis dan mempertahankan suhu kubis selama penyimpanan menunjukkan bahwa model kotak pendingin memengaruhi proses pendinginan kubis. Walaupun berat kubis yang mampu disimpan dingin diperoleh pada penyimpanan kubis di dalam kotak pendingin model 2 tetapi selama penyimpanan 7 jam, suhu pusat kubis yang dicapai masih jauh di atas 0°C, yaitu rata-rata 22,4°C seperti terlihat pada Gambar 2c. Sebaliknya, walaupun dengan menggunakan kotak pendingin model 5 menyebabkan berat es kering digunakan tertinggi, yaitu untuk setiap kg es kering hanya mampu mendinginkan 1,04 kg kubis tetapi suhu pusat kubis mampu mencapai suhu

14,0°C pada lama penyimpanan yang sama. Hal ini menunjukkan bahwa penggunaan kotak pendingin model 5 menyebabkan efek pendinginan es kering kubis lebih besar digunakan untuk mendinginkan kubis dan mempertahankan suhu kubis selama penyimpanan. Kotak model 5 yang meniru konstruksi kulkas, yaitu medium pendingin diletakkan di atas produk yang disimpan. Pada kotak ini medium pendingin diletakkan pada nampan dari lembaran seng dan memisahkannya dari kubis yang disimpan. Dengan cara seperti ini, kotak penyimpan dingin ini mampu menghasilkan suhu pusat kubis lebih mendekati suhu penyimpanan yang direkomendasikan.

Tabel 1. Berat es kering yang digunakan dalam penyimpanan dingin kubis

Model	Berat kubis (kg)	Es kering yang digunakan (kg)	Perbandingan berat kubis dengan es kering (kg/kg)
1	3.00	1.70	1.76
2	3.01	1.60	1.88
3	2.10	2.30	0.91
4	2.29	2.14	1.07
5	2.55	2.45	1.04
Rata-rata	2.59	2.04	1.27

4. Perubahan Berat dan Kerusakan Kubis selama Penyimpanan Dingin

Selama penyimpanan dingin, kubis yang disimpan di beberapa model kotak mengalami perubahan berat seperti terlihat pada Tabel 2. Perubahan berat sayur kubis dihitung berdasarkan pada selisih berat sayur sesudah disimpan 7 jam dengan berat awal sayur. Penyimpanan kubis di dalam kotak model 2 dan 4 mengakibatkan berat kubis meningkat masing-masing sebesar 0,33 dan 0,87%. Sebaliknya, berat kubis mengalami penurunan setelah disimpan di dalam kotak model 5 sebesar 1,57%. Kubis yang disimpan pada kotak model 1 tidak mengalami perubahan selama 7 jam penyimpanan dingin. Kubis yang disimpan pada kotak model 2 dan 4 mengalami peningkatan berat setelah disimpan dingin selama 7 jam. Sebaliknya kubis yang disimpan di dalam kotak model 5, kubis mengalami penurunan berat. Bila dibandingkan dengan kesalahan ketelitian alat timbangan yang

digunakan yang mencapai 2%, maka perubahan berat kubis yang diamati tidak terlalu berarti. Lebih lanjut, Takaendengan *et al.* (2015) melaporkan bahwa penyimpanan dingin pada suhu 0°C atau 5°C masih memungkinkan terjadinya kehilangan bobot kubis yang disimpan.

Kerusakan yang diamati terjadi pada kubis yang disimpan di dalam kotak model 3 dan 4. Kelopak daun kubis yang paling luar mengalami perubahan warna, ditandai dengan huruf a pada Gambar 4. Warna daun kubis paling luar berubah dari warna hijau keputihan menjadi warna hijau kecoklatan. Kerusakan ini terjadi karena selama penyimpanan di dalam kotak model 3 dan 4, suhu pusat kubis mencapai 1,6 dan 1,2°C (Gambar 2b). Bila diperhatikan suhu udara di dalam ruangan untuk kotak model ini mencapai -7,9 dan -8,2°C (Gambar 2b), maka kemungkinan suhu kubis di permukaannya berada bawah 0°C. Hal ini jelas terlihat dari perkembangan suhu pusat kubis yang

disimpan pada kotak model 3 dan 4 yang lebih banyak berada di bawah 0°C (Gambar 2d dan 2e). Keadaan ini kemungkinan menyebabkan kubis mengalami *chilling injury* yang ditandai dengan terjadinya perubahan warna daun kubis. Menurut Cantwell dan Suslow (2006) tanda-tanda sayur kubis mengalami kerusakan *chilling injury* salah satunya adalah kerusakan warna pada daun terluar kubis. Kepekaan kubis terhadap suhu penyimpanan dingin bergantung pada jenis kubis (Acedo, 2010). Oleh karena itu, kubis yang digunakan pada percobaan ini kemungkinan memiliki jenis yang peka terhadap suhu penyimpanan.

Tabel 2. Perubahan berat kubis selama penyimpanan dingin.

Kotak model	Perubahan berat kubis (%)
1	0.00
2	0.33
3	0.00
4	0.87
5	1.57



Gambar 4. Kerusakan kubis selama penyimpanan dingin.

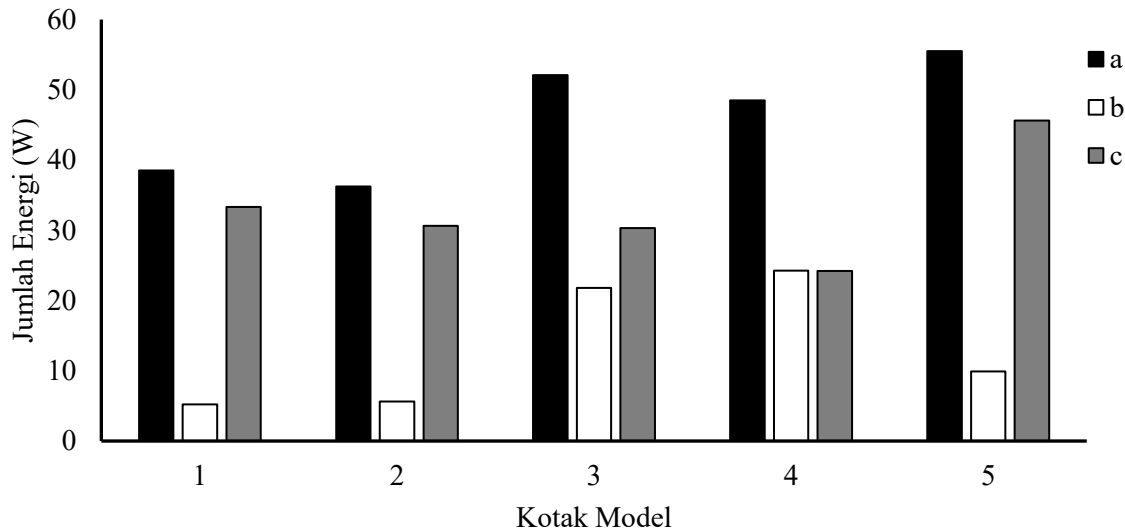
Dari Gambar 4 pada foto kubis di bawah terlihat kubis masih segar dan tidak mengalami perubahan warna. Kubis ini merupakan kubis setelah disimpan di dalam kotak model 5. Dengan demikian, kotak model 5 merupakan kotak hasil modifikasi yang sesuai digunakan sebagai tempat menyimpan dingin kubis dikarenakan kotak model 5 berhasil mendapatkan suhu 14,0°C selama 7 jam penyimpanan

5. Keseimbangan Energi selama Penyimpanan Dingin Kubis

Penggunaan energi dinyatakan dengan persentase yang dihitung dari energi yang digunakan untuk

menurunkan suhu dibagi dengan total energi dan dikalikan 100%. Jumlah energi rata-rata yang digunakan setiap kotak untuk mendinginkan kubis selama penyimpanan tujuh jam dan untuk mendinginkan lingkungan kubis adalah 46.3 W. Dari jumlah energi sebanyak ini, rata-rata 27.6% digunakan untuk mendinginkan kubis dan selebihnya, yakni sebesar 72.4% untuk mengatasi panas lingkungan penyimpanan kubis. Energi terbesar yang dimanfaatkan untuk mendinginkan kubis adalah pada kotak model 4 dan 5 (Gambar 5) berturut-turut 41.8% dan 50%. Dari Gambar 5 dapat juga diamati bahwa energi terkecil yang dimanfaatkan untuk mendinginkan kubis adalah pada kotak model 1, yaitu sebesar 13.5%. Untuk kotak model 2 dan 5 menyebabkan jumlah energi yang digunakan untuk mendinginkan kubis adalah 15,4 dan 17,5%. Penggunaan energi yang lebih besar untuk mendinginkan kubis di dalam kotak model 5 menyebabkan suhu pusat kubis mencapai suhu lebih rendah daripada suhu pusat kubis yang disimpan di dalam kotak model 1 dan 2 (Gambar 3). Rendahnya penggunaan energi untuk mendinginkan kubis menyebabkan suhu kubis hanya mampu diturunkan rata-rata menjadi 22,7°C, 22,4°C, dan 14,0°C untuk kotak model 1, 2, dan 5 (Gambar 3).

Kondisi ini menunjukkan bahwa penempatan sumber pendingin di dalam kotak penyimpanan dingin memengaruhi kemampuan medium pendingin dalam mendinginkan produk yang disimpan. Kotak model yang paling tidak efisien dalam penyimpanan dingin kubis adalah kotak model dengan es kering diletakkan di bawah kubis, yaitu kotak model 1. Pemberian lubang di sisi bawah kotak yang dimaksudkan untuk membuang kelebihan gas CO₂ yang tersublimasi di dalam kotak, tidak banyak memperbaiki kemampuan medium pendingin untuk mendinginkan kubis. Kejadian seperti ini diamati dialami kubis di dalam kotak model 2. Kotak model 5 kelihatannya merupakan modifikasi yang lebih sesuai untuk penyimpanan dingin kubis karena suhu pusat kubis sudah mendekati suhu penyimpanan yang direkomendasikan (0°C). Disamping itu, mutu visual kubis setelah disimpan di dalam kotak model 5 tampak segar dan tidak mengalami kehilangan bobot.



Gambar 5. Jumlah energi total (a), jumlah energi yang digunakan selama penyimpanan dingin kubis (b) dan (c) jumlah energi yang digunakan untuk mengatasi sumber panas lainnya beban panas kotak dan lingkungan.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Berdasarkan dari hasil penelitian yang dilaksanakan dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Kinerja alat penyimpanan sayur kubis dengan teknik pendinginan sederhana ini, dari alat dibuat dalam lima model dapat berfungsi dengan baik. Suhu ruangan penyimpanan dingin dan suhu pusat kubis menurun dengan bertambahnya waktu penyimpanan.
2. Penyimpanan kubis di dalam kotak model 1, 2 dan 5 menyebabkan suhu pusat kubis di atas 0°C, sedangkan dalam kotak model 3 dan 4 suhu pusat kubis di bawah 0°C. Kubis yang disimpan di dalam kotak model 3 dan 4 mengalami kerusakan warna pada kelopak daun terluar.
3. Perubahan bobot kubis selama penyimpanan dingin tidak banyak dipengaruhi oleh model kotak penyimpanan dingin.
4. Energi pendinginan dari es kering yang digunakan untuk mengatasi panas lingkungan adalah sebesar 72,4% dan hanya 27,6% digunakan untuk mendinginkan kubis selama penyimpanan.

5. Kotak model 5 merupakan modifikasi yang lebih sesuai untuk penyimpanan dingin kubis karena suhu pusat kubis sudah mendekati suhu penyimpanan yang direkomendasikan (0°C). Suhu pusat kubis mencapai 14°C dan warna dari kelopak daun kubis terluar tidak mengalami perubahan.

Saran

Berdasarkan dari hasil penelitian yang dilaksanakan dapat disarankan bahwa:

1. Perlu dipertimbangkan untuk mengganti pelat seng naman pada kotak model 5 dengan pelat yang memiliki nilai konduksi panas yang lebih tinggi sehingga lebih banyak panas yang tersalurkan ke ruang penyimpanan kubis.
2. Perlu dilakukan percobaan menggunakan kotak polistiren dengan kapasitas yang lebih besar untuk dapat menampung produk sayuran yang lebih banyak

Daftar Pustaka

- Acedo Jr., A.L. 2010. Postharvest Technology for Leafy Vegetables. AVRDC-The World Vegetable Center, Shanhua.
- ASHRAE. 2014. 2014 ASHRAE Handbook: Refrigeration SI Edition. American Society

- of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc., Atlanta.
- ASHRAE. 2006. 2006 ASHRAE Handbook: Refrigeration Inch-Pound Edition. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc., Atlanta.
- BPS. 2020. Provinsi Bali dalam Angka 2020. Badan Pusat Statistik, Denpasar.
- Cantwell, M. dan T. Suslow. 2006. Cabbages (Round and Chinese types): Recommendations for maintaining postharvest quality. UC Davis Postharvest Technology Research Information Center.
- Chakraverty, A., A.S. Mujumdar, G.S.V. Raghavan, H.S. Ramaswamy. 2003. Handbook of Postharvest Technology: Cereal, Fruits, Vegetables, Tea, and Spice. Marcel Dekker, Inc., New York.
- Cengel, Y.A. 2002. Heat Transfer A Practical Approach. McGraw-Hill, New York.
- FAO. 2011. Global Food Losses and Food Waste: Extent, Causes, and Prevention. FAO, Roma.
- Kitinoja, L. dan J.F. Thompson. 2010. Pre-cooling systems for small-scale producers. Stewart Postharvest Rev. 6:1–14.
- Muin, A. 2017. Sistem lemari pendingin sayuran sederhana dengan media es batu. Jurnal Desiminasi Teknologi. 5(2),146-151
- Montgomery, D.C. dan G.C. Runger. 2014. Applied Statistics and Probability for Engineers. John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey.
- Putra, I.S. 2014. Studi kelayakan pengadaan *mobile coolbox* dalam rangka mendukung pengembangan ekspor kubis. J Social Economic Arigulcure and Agribusiness. 3(2):-.
- Prusky, D. 2011. Reduction of the incidence of postharvest quality losses, and future prospects. Food Sec. 3:463-474.
- Sagas, E.Y., F. Wenur, L.C.Ch.E. Lengkey. 2015. Kajian penggunaan kotak pendingin menggunakan hancuran es untuk distribusi pak choi (*Brassica rapa*). Cocos. 6(15):-.
- Sheel, S. 2014. Logistics in Packaging, Storage and Transportation of Horticultural Produces: Perspective Bangladesh. Paper presented in the International Conference on “Logistics and Supply Chain Management in Food Industry, 2014”. January, 25 2014, Bangladesh University of Engineering and Technology (BUET), Dhaka.
- Takaendengan, V., I. Longdong dan F. Wenur. 2015. Kajian perubahan mutu kubis (*Brassica oleracea var gran 11*) dalam kemasan plastik selama penyimpanan. Cocos. 6(17):-.
- Toledo, R.T. 2007. Fundamentals of Food Process Engineering. Springer Science+Business Media, LLC, New York.
- Vigneault C., J. Thompson, S. Wu, K.P.C. Hui dan D.I. LeBlanc. 2009. Transportation of fresh horticultural produce. Postharvest Technologies for Horticultural Crops. 2:1-24.
- Wisnuwardhani, P., Lestari, D. A. H., & Santoso, H. (2015). Motivasi Konsumen Membeli Kubis Segar di Pasar Pasir Gintung Bandar Lampung. *Jurnal Ilmu-Ilmu Agribisnis*, 3(2).