

Teknik Pendinginan dengan Konsentrasi Es Kering dan Lama Waktu Penyimpanan Dingin terhadap Mutu Sawi Putih

Cooling Techniques with Concentration of Dry Ice and Long Cold Storage Time on the Quality of Chinese Cabbage

Ni Wayan Diana Sepriani, Ida Ayu Rina Pratiwi Pudja*, Yohanes Setiyo

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

email: rinapratiwipudja@unud.ac.id

Abstrak

Sawi putih merupakan salah satu sayuran yang memiliki nilai gizi cukup tinggi sebagai sumber vitamin dan mineral. Penelitian ini bertujuan untuk memperoleh lama waktu penyimpanan dan suhu terbaik selama penyimpanan dingin terhadap mutu sawi putih. Rancangan Percobaan Penelitian ini menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL) satu faktor yang terdiri dari 3 taraf yaitu (P0) sebagai kontrol/tanpa es kering, (P1) menggunakan 1 kg es kering dan (P2) menggunakan 2 kg es kering yang di simpan dalam kotak styrofoam selama 8 jam dengan waktu pengamatan setiap 0 jam, 2 jam, 4 jam, 6 jam dan 8 jam untuk memvalidasi penelitian ini maka dilakukan pengulangan sebanyak tiga kali ulangan. Parameter yang diamati pada penelitian meliputi suhu bahan, laju pendinginan, susut bobot, color difference, dan umur simpan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan es kering dapat mempertahankan mutu sawi putih di bandingkan dengan tanpa menggunakan es kering pada waktu penyimpanan. Waktu penyimpanan terbaik yaitu 8 jam dan suhu terbaik yaitu 13°C sampai dengan 10°C. Jumlah es yang dibutuhkan untuk mencapai suhu optimal pada penyimpanan dingin adalah lebih dari 1 kg dan atau kurang dari atau sama dengan 2 kg es kering untuk 3 kg sawi putih.

Kata kunci: *es kering, pendinginan, sawi putih, waktu penyimpanan.*

Abstract

Chinese cabbage is one of the vegetables that has a high enough nutritional value as a source of vitamins and minerals. This study aims to obtain the best storage time and temperature during cold storage on the quality of Chinese cabbage. Experimental Design This study used a one-factor Completely Randomized Design (CRD) consisting of 3 levels, namely (P0) as a control/without dry ice, (P1) using 1 kg of dry ice and (P2) using 2 kg of dry ice stored in styrofoam box for 8 hours with observation times every 0 hours, 2 hours, 4 hours, 6 hours and 8 hours to validate this research, it was repeated three times. Parameters observed in this study include material temperature, cooling rate, weight loss, color difference, and shelf life. The results showed that the use of dry ice can maintain the quality of cabbage compared to without using dry ice during storage. The best storage time is 8 hours and the best temperature is 13°C to 10°C. The amount of ice needed to reach the optimal temperature in cold storage is more than 1 kg and or less than or equal to 2 kg of dry ice for 3 kg Chinese cabbage.

Keywords: *chinese cabbage, cooling, dry ice, storage time*

PENDAHULUAN

Sayur sawi putih merupakan tanaman hortikultura yang sangat diperlukan bagi tubuh, karena memiliki nilai gizi yang sangat penting bagi kesehatan manusia, yaitu sebagai sumber vitamin dan mineral. sawi putih merupakan salah satu produk hortikultura yang banyak diminati oleh masyarakat, disamping itu sawi putih merupakan produk hortikultura yang mudah rusak walaupun sudah dipanen masih melakukan proses metabolisme yaitu respirasi dan terus melakukan transpirasi, penuaan hingga akhirnya layu (Takaendengan *et al.*, 2015). Komoditas sawi putih yang telah diberi perlakuan

pasca panen yang baik diharapkan dapat memiliki kualitas yang dapat bersaing di pasar domestik maupun mancanegara (Penglipurati & Adiluhung, 2018). Produk sayuran segar biasanya disimpan pada suhu dingin setelah panen untuk mencegah kerusakan yang berlebihan (Wulantika, 2021). Masalah terbesar dengan menyimpan sawi putih adalah umur simpannya yang pendek. Kemunduran atau kerusakan sayuran hijau ditandai dengan layu, daun menguning, pelunakan batang keras dan pembusukan. Umur simpan sayuran berdaun hijau segar pada suhu kamar hanya 1-2 hari (Harnanik, 2018).

Penelitian ini menggunakan es kering dalam proses pendinginan dengan suhu -78°C (-109.3°F) pada tekanan atmosfer. Es kering mempunyai kelebihan menguap langsung menjadi gas tanpa meninggalkan sisa cairan, konsentrasi gas yang tinggi dapat menurunkan pertumbuhan mikroba (Abidin dan Baheramsyah, 2017). Sebuah penelitian oleh Diputra *et al.*, (2021) tentang modifikasi kotak polistiren yang digunakan untuk penyimpanan dingin kubis dengan menggunakan es kering sebagai bahan pendingin dapat mempertahankan kualitas kubis. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mendapatkan suhu dan waktu terbaik dalam penyimpanan sawi putih.

METODE PENELITIAN

Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Teknik Pascapanen, Gedung Agrokomples, Kampus Sudirman Universitas Udayana. Pelaksanaan penelitian ini dilakukan pada bulan Januari 2022 sampai dengan bulan Februari 2022.

Bahan dan Alat

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sawi putih yang di peroleh dari petani di Desa Candikuning, Kecamatan Baturiti, Tabanan, dengan menggunakan media es kering. Alat yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari kotak *Styrofoam* ukuran $31 \times 21 \times 28$ cm, timbangan digital, thermometer digital, es kering, plastisin, pisau, Colorimeter (Model No: PCE-CSM 1).

Rancangan Percobaan

Rancangan Percobaan Penelitian ini menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL) faktor tunggal yang terdiri dari 3 taraf yaitu (P0) sebagai kontrol/tanpa es kering, (P1) menggunakan 1 kg es kering dan (P2) menggunakan 2 kg es kering yang di simpan dalam kotak *styrofoam* selama 8 jam dengan waktu pengamatan setiap 0 jam, 2 jam, 4 jam, 6 jam dan 8 jam untuk memvalidasi penelitian ini maka dilakukan pengulangan sebanyak tiga kali ulangan.

Pelaksanaan Penelitian

Sayur sawi putih didapatkan dikebun petani di Desa Candikuning, Kecamatan Baturiti. Setelah dipanen kemudian sayur sawi putih dibuang bagian terluar kelopaknya yang sudah tua atau *trimming*, kemudian sawi putih dipilih dengan kriteria yang baik dan segar ditandai dengan daun sawi putih yang berwarna hijau muda, memiliki kelopak yang banyak dan berlapis-lapis, dan berat ± 1000 gram. Selanjutnya sawi putih dicuci menggunakan air

mengalir dari PDAM. Proses *pre-cooling* merupakan pendinginan pendahuluan guna memperlambat respirasi serta memperkecil kerentanan terhadap serangan mikroorganisme. Hal ini dilakukan dengan mencelupkan ke dalam air es selama 30 detik menggunakan suhu 2°C . Penimbangan berat sawi putih dilakukan dengan menimbang sawi putih satu persatu dengan menggunakan timbangan dengan merek Adventure Pro Av untuk mengetahui berat sawi putih yang digunakan sebagai sampel dalam perlakuan. Penyimpanan dingin menggunakan 3 kotak *styrofoam* yang berisi es kering dimana masing-masing kotak *styrofoam* berisi es kering yang beratnya berbeda. Kotak 1 tidak menggunakan es kering (kontrol) dengan 3 kg sawi putih, kotak 2 berisi 1 kg es kering dengan 3 kg sawi putih, serta kotak 3 berisi 2 kg es kering dengan berisi 3 kg sawi putih. Perlakuan tersebut diulang sebanyak 3 kali, Jika terdapat pengaruh yang benar antara masing-masing perlakuan, maka dilakukan uji beda nyata terkecil (BNT).

Parameter yang Diamati

Suhu Bahan

Suhu bahan (sawi putih) dianalisis menggunakan analisis sidik ragam. Pengukuran suhu menggunakan thermometer digital dan analisis data menggunakan software SPSS versi. 18.

Color Difference

Pengenalan warna dengan perbedaan warna diukur dengan colorimeter (Nomor Model: PCE-CSM1). Nilai yang ditampilkan pada alat ini adalah nilai yang digunakan saat menganalisis data perbedaan warna, yang dihitung menggunakan persamaan:

$$\Delta E^* = \sqrt{\Delta L^{*2} + \Delta a^{*2} + \Delta b^{*2}} \quad [1]$$

Dimana:

ΔE^* adalah perbedaan warna total. ΔL^* , Δa^* , dan Δb^* adalah perbedaan warna dari nilai L^* a^* b^* . L (Lightness) adalah kecerahan warna, di mana 0 berarti hitam dan 100 putih. a adalah warna hijau dan merah, dimana a+ adalah merah dan a- adalah hijau. b adalah warna biru dan kuning dimana b+ adalah kuning dan b- adalah biru.

Umur Simpan

Umur simpan sawi putih ditentukan berdasarkan penampilan, yaitu. berdasarkan tes bintik warna subjektif. Uji umur simpan dilakukan oleh 10 orang panelis dari Fakultas Teknik Pertanian Universitas Udayana. Pengujian produk dimulai ketika tidak rusak atau berubah warna pada daun. Kriteria pengujian dan umur simpan bintik-bintik berwarna diberikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Kriteria Uji Skor Masa Simpan Sawi Putih

Kriteria Warna	Skala Numerik
Putih	5
Agak Kuning	4
Kuning	3
Sangat Kuning	2
Coklat	1

Dimana:

Nilai 5 = 100 % warna sawi putih bersih

Nilai 4 = < 25 % sawi putih berwarna agak kuning

Nilai 3 = > 25 % dan < 50 % sawi putih berwarna kuning

Nilai 2 = > 50 % permukaan sawi putih sangat kuning

Nilai 1 = 100 % permukaan sawi putih berwarna coklat

Analisis Data

Laju Pendinginan

Laju pendinginan suhu ruang adalah laju dimana sistem pendingin menurunkan suhu ruang per satuan waktu atau selang waktu tertentu (Aryawan *et al.*, 2016). Laju pendinginan ruang dapat dihitung dengan metode persamaan berikut:

$$\text{Laju pendinginan suhu ruang} = \frac{dT}{dt} \quad [2]$$

Dimana:

dT = Beda temperatur (°C)

dt = Selang waktu (menit)

Susut Bobot

Penurunan berat dipantau menggunakan timbangan digital pada jam 0, 4, 6 dan 8 jam. Data perubahan penurunan berat badan disajikan dalam persentase dan dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$\text{Susut bobot (g/kg)} = \frac{W_0 - W_t}{3kg} \quad [3]$$

Dimana:

W_0 = Berat awal produk (g)

W_t = Berat produk pada jam ke-t (g)

Penimbangan berat awal sawi putih ditimbang sebelum dimasukkan ke dalam kotak *styrofoam* dan berat akhir sawi putih ditimbang setelah sawi putih disimpan dalam kotak *styrofoam*. Persamaan empiris panas spesifik bahan pangan sebagai fungsi kadar air menurut Aghbashlo *et al.* (2011) yaitu:

Panas spesifik bahan

Untuk suhu bahan pangan di atas titik beku, maka panas spesifik didekati dengan persamaan (Sweat 1974): $C_p = 12,55.M + 837 \text{ J/kg-}^\circ\text{K}$. Untuk suhu bahan pangan di bawah titik beku, jika sawi memiliki kadar air 90%, maka nilai $C_p = 867,12 \text{ J/kg-}^\circ\text{K}$.

Panas Respirasi

Respirasi produk hortikultura hasil penelitian Harsojuwono (1999) persamaan empiris panas respirasi sebagai fungsi suhu (Θ) seperti terlihat dirumuskan: $Q_p = 19,4(e)^{0,108\Theta}$. Nilai panas respirasi kentang adalah 0,399 kJ/kg-hari

Panas untuk menaikkan suhu bahan

Panas untuk menaikkan suhu bahan dituliskan dengan persamaan $Q_\Theta = m_k \cdot C_p \cdot (\Delta\Theta)$. [4]

Dimana:

Q_Θ = panas untuk merubah suhu bahan

m_k = berat bahan

C_p = panas spesifik bahan

$\Delta\Theta$ = selisih suhu bahan dan suhu lingkungan

Panas untuk menguapkan air dari bahan

$$Q_{ua} = \mu \cdot h_{fg} \quad [5]$$

Dimana:

μ = berat yang hilang/susut

h_{fg} = Panas Laten Penguapan

Panas masuk dari lingkungan (Q_l)

$$Q_l = U \cdot A \cdot \Delta T$$

$$\Delta T = T_l - T_d$$

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{h_a} + \frac{k}{\Delta x} + \frac{1}{h_l} \quad [6]$$

Dimana:

U = Hambatan Panas *Styrofoam*

hl = Koefisien Pindah Panas Konveksi *Styrofoam* Awal

hd = Koefisien Pindah Panas Konveksi *Styrofoam* Akhir

Tl = Suhu Awal

Td = Suhu Akhir

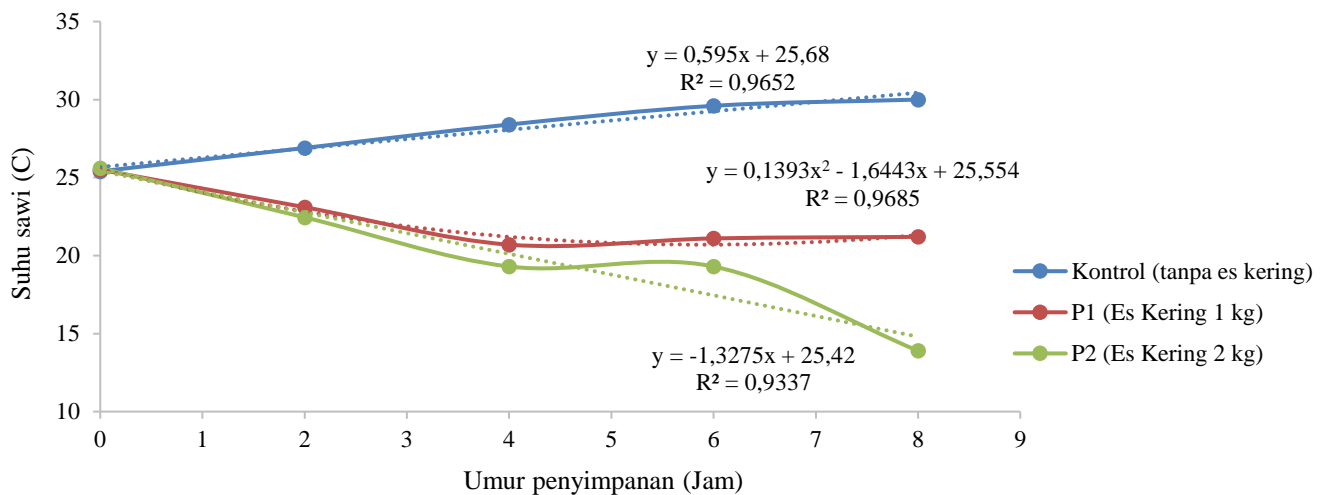
A = Luas Permukaan

HASIL DAN PEMBAHASAN

Parameter Penelitian

Suhu Bahan

Berdasarkan waktu penyimpanan sangat berbeda nyata. Perlakuan terbaik terdapat pada perlakuan yang menggunakan 2 kg es kering dan waktu penyimpanan 8 jam (P2,A3) dan semua perlakuan kontrol menjadi perlakuan yang kurang baik. Hal ini terjadi karena interaksi es kering di dalam ruang penyimpanan dengan lama waktu penyimpanan dapat mempertahankan mutu sawi putih pada ruang penyimpanan. Perlakuan suhu dan waktu pada parameter suhu bahan disajikan pada Gambar 1.



Gambar 1. Grafik Suhu Bahan Sawi Putih Selama Waktu Penyimpanan

Pada Gambar 1 menunjukkan bahwa perlakuan kontrol (P0) terjadi peningkatan suhu akibat terjadinya respirasi pada sawi putih yang menyebabkan meningkatnya suhu pada sawi putih tersebut. Hubungan suhu sawi dengan waktu penyimpanan adalah linier dengan persamaan $y = 0,595x + 25,68$. Peningkatan suhu berdampak pada peningkatan panas respirasi, walaupun panas untuk penguapan air juga meningkat pada perlakuan ini. Untuk perlakuan penambahan es kering 1 kg pada sawi yang disimpan atau P1, hubungan suhu sawi dengan waktu penyimpanan adalah kwadratik dengan persamaan $y = 0,1395x^2 - 1,6443x + 25,554$. Suhu sawi mengalami penurunan dari 25,5°C menjadi 20,7°C (suhu terendah, jam ke 4) dan kemudian meningkat sampai suhu 21,2°C (jam ke 8). Penurunan suhu sawi sebagai akibat penyubliman es kering, namun setelah es kering habis suhu sawi mengalami peningkatan. Perlakuan penambahan es kering sebanyak 2 kg pada penyimpanan sawi sebanyak 3 kg atau P2, hubungan suhu sawi dengan waktu penyimpanan adalah linier dengan persamaan $y = -1,3275x + 25,42$. Suhu sawi selama penyimpanan menurun dari 25,6°C menjadi 13,9°C (jam ke 8). Penurunan suhu akibat dari es kering yang digunakan mampu menurunkan suhu dalam sawi putih dan hal ini menunjukkan bahwa semakin banyak menggunakan es kering suhu bahan yang didapatkan akan semakin menurun menurut (Putra *et al.*, 2014). Suhu optimal untuk penyimpanan sawi adalah 10°C – 13°C, oleh sebab itu berdasarkan grafik penurunan suhu, maka perlakuan P2 atau penambahan es kering 2 kg pada 3 kg sawi yang disimpan di *styrofoam* adalah perlakuan terbaik yang mampu mempertahankan mutu sawi.

Neraca Energi

Pada Tabel 2, disajikan panas untuk menaikkan suhu sawi, panas untuk penguapan air dari sawi ke

lingkungan dan panas yang ke luar atau masuk kemasan kotak *styrofoam*. Panas untuk perubahan suhu sawi didekati dengan persamaan $Q_{\theta} = m_p \cdot C_p \cdot \Delta\theta$. Oleh karena itu, karena suhu sawi meningkat untuk perlakuan P0 dan menurun untuk perlakuan P1 dan P2, maka jumlah panas untuk perlakuan P0 adalah positif, sedangkan untuk perlakuan P1 dan P2 adalah negatif.

Total panas untuk perubahan suhu sawi untuk perlakuan P0, P1, dan P2 masing-masing adalah 30,01 KJoule/kg sawi, -48,2 KJoule/kg sawi dan -73,23 KJoule/kg sawi. Panas respirasi sawi didekati dengan persamaan $Q_r = 19,4(e)^{0,108 \cdot \theta}$. Total panas respirasi sawi untuk perlakuan P0, P1, dan P2 masing-masing adalah 2,05 KJoule/kg sawi, 1,1 KJoule/kg sawi dan 0,93 KJoule/kg sawi. Total panas respirasi untuk perlakuan dengan semakin banyaknya es kering yang diberikan semakin kecil, hal ini disebabkan suhu sawi semakin turun jika es kering yang diberikan selama penyimpanan semakin banyak. Namun sebaliknya, total panas untuk menguapkan air dan panas yang masuk dari lingkungan ke sawi yang disimpan di kotak *styrofoam* menunjukkan peningkatan dengan meningkatnya jumlah es kering yang diberikan.

Total panas untuk menguapkan air dari sawi ke lingkungan untuk perlakuan P0, P1, dan P2 masing-masing adalah 0,10 KJoule/kg sawi, 0,107 KJoule/kg sawi dan 0,12 KJoule/kg sawi dan total panas yang masuk dari lingkungan ke sawi untuk perlakuan P0, P1, dan P2 masing-masing adalah 0,50 KJoule/kg sawi, 1,99 KJoule/kg sawi dan 2,56 KJoule/kg sawi. Gambar 2 disajikan hubungan antara waktu penyimpanan dengan panas yang diberikan es kering pada penyimpanan sawi di kotak *styrofoam*.

Tabel 2. Neraca Energi

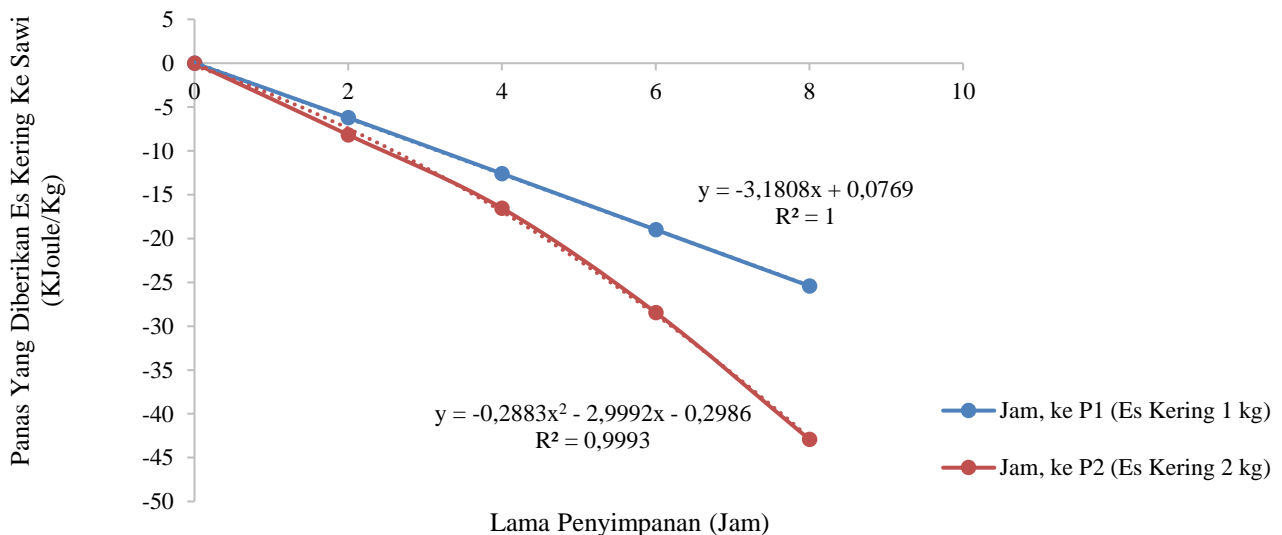
Jam, ke	Panas untuk menaikkan suhu bahan, KJoule/kg		
	Kontrol (tanpa es kering)	P1 (Es Kering 1 kg)	P2 (Es Kering 2 kg)
0	0.00	0.00	0.00
2	0.16	-0.18	-0.21
4	10.23	-15.83	-20.81
6	10.60	-16.25	-21.32
8	9.02	-16.30	-30.31

Jam, ke	Panas respirasi, KJoule/kg bahan, KJoule/kg		
	Kontrol (tanpa es kering)	P1 (Es Kering 1 kg)	P2 (Es Kering 2 kg)
0	0.30	0.31	0.31
2	0.36	0.24	0.22
4	0.42	0.18	0.16
6	0.48	0.19	0.16
8	0.50	0.19	0.09

Jam, ke	Panas masuk dari lingkungan ke ruang penyimpanan, KJoule/kg		
	Kontrol (tanpa es kering)	P1 (Es Kering 1 kg)	P2 (Es Kering 2 kg)
0	0.24	0.23	0.23
2	0.16	0.36	0.39
4	0.08	0.48	0.55
6	0.02	0.46	0.55
8	0.00	0.45	0.83

Jam, ke	Panas penguapan air, KJoule/kg		
	Kontrol (tanpa es kering)	P1 (Es Kering 1 kg)	P2 (Es Kering 2 kg)
0	0	0	0
2	0.002925	0.0156	0.0234
4	0.00585	0.0312	0.0468
6	0.02925	0.0234	0.0312
8	0.06045	0.0195	0.0195

Keterangan: Satuan nilai pada tabel adalah KJoule/kg



Gambar 2. Panas Yang Diberikan Es Kering Ke Sawi.

Untuk perlakuan P1, hubungan antara lama penyimpanan sawi dengan akumulasi panas yang diberikan es kering berpola linier, sedangkan untuk perlakuan P2 hubungan tersebut berpola kwadratik. Berdasarkan pola hubungan ini, maka P2 lebih efektif menghasilkan suhu penyimpanan yang baik

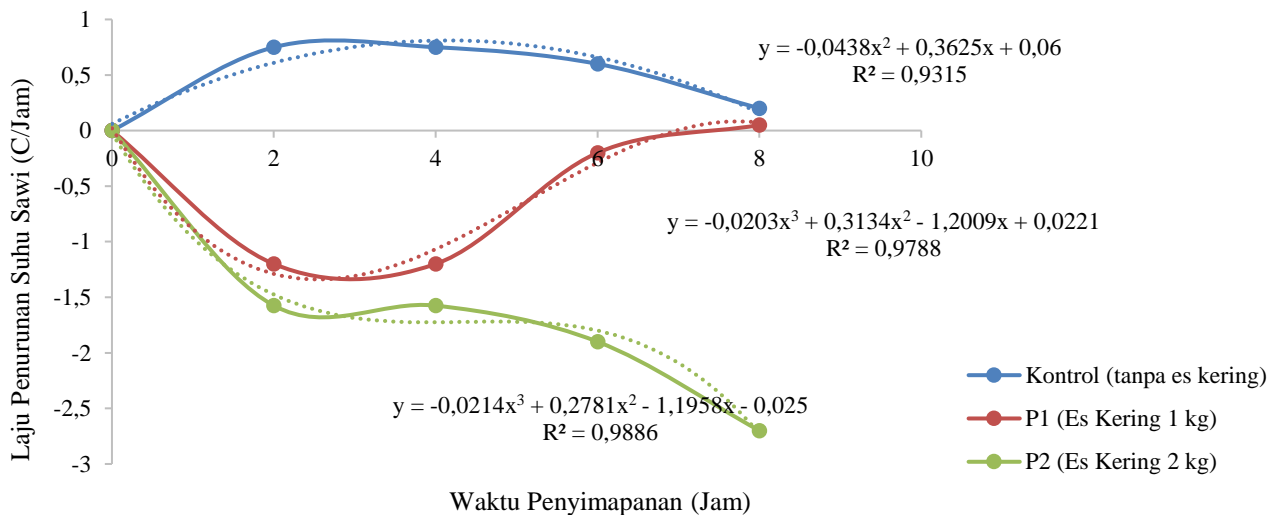
untuk sawi, karena ada titik optimumnya dan kalor yang diberikan es kering ke sawi lebih banyak.

Laju Pendinginan

Hasil uji beda nyata terkecil (BNT) menunjukkan bahwa pada penggunaan es kering 2 kg (P2) dan waktu penyimpanan 4 jam (A1) memiliki nilai rata-

rata laju pendinginan yang paling tinggi, sangat berbeda nyata dengan perlakuan yang menggunakan es kering sebanyak 1 kg (P1) dan sangat berbeda nyata dengan perlakuan yang tidak menggunakan es kering (P0). Waktu penyimpanan 6 jam (A2) semua perlakuan sangat berbeda nyata namun, yang memiliki nilai rata-rata laju pendinginan tertinggi adalah perlakuan dengan menggunakan es kering 2 kg (P2), Pada waktu penyimpanan 8 jam (A3) seluruh perlakuan sangat berbeda nyata hal ini dapat yang menunjukkan perlakuan tanpa menggunakan es kering (P0) menjadi perlakuan terburuk karena memiliki nilai laju pendinginan terendah dari seluruh perlakuan. Grafik pengaruh perlakuan es kering dan waktu penyimpanan penyimpanan dapat dilihat pada Gambar 3. Berdasarkan Gambar 3, untuk perlakuan P0 atau tanpa es kering yang terjadi adalah laju peningkatan suhu, hubungan lama penyimpanan dengan laju peningkatan suhu ditulis dengan persamaan $y = -0.0438x^2 + 0.3625x + 0.06$

dan peningkatan mencapai puncak pada penyimpanan jam ke 4, hal ini menjelaskan sawi yang disimpan tanpa adanya proses pendinginan aktivitas metabolisme respirasi juga menjapai puncak, dan panas respirasi sebagian besar dipergunakan untuk menaikkan suhu bahan dan suhu udara. Sisa panas dipergunakan untuk menguapkan air. Namun untuk perlakuan P1 dan P2, dari Gambar 3 terlihat adanya laju pendinginan suhu sawi atau laju pendinginan negatif. Hubungan lama penyimpanan dengan laju pendinginan untuk perlakuan P1 dan P2 masing-masing ditulis dengan persamaan $y = -0.0203x^3 + 0.3134x^2 - 1.2009x + 0.0221$ dan $y = -0.0214x^3 + 0.2781x^2 - 1.1958x - 0.025$. Kedua persamaan ini berpola polynomial level 3, artinya ada titik belok pada laju pendinginan, titik belok laju pendinginan untuk perlakuan P1 dan P2 masing-masing terjadi di jam ke 6 dan jam ke 2. Titik belok menandakan terjadinya perubahan nilai yang signifikan pada laju pendinginan.

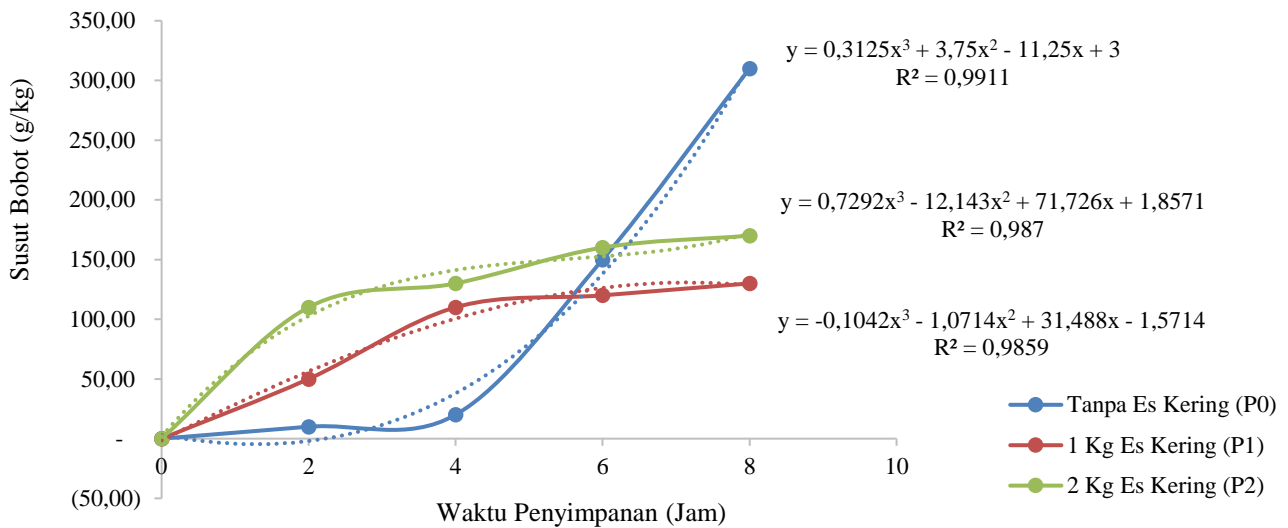


Gambar 3. Grafik Nilai Laju Pendinginan Sawi Putih Selama Waktu Penyimpanan.

Nilai rata-rata laju pendinginan tertinggi dapat dilihat pada grafik (P2,A1) atau menggunakan es kering 2 kg dan waktu penyimpanan 4 jam, penggunaan es kering 1 kg (P1) dan waktu penyimpanan 4 jam (A1) menjadi nilai rata-rata tertinggi ke dua, setelah perlakuan (P2,A1), namun nilai rata-rata kedua perlakuan yaitu perlakuan P1 dan P2 tersebut menurun signifikan setelah perlakuan waktu simpan 4 jam hal ini dikarenakan setelah 4 jam es kering sudah mulai menguap sehingga laju pendinginan yang dihasilkan menjadi kurang maksimal, hal ini terjadi seiring lamanya waktu pendinginan selisih suhu yang di inginkan sudah mulai berkurang (Asiah *et al.*, 2020), dan menyebabkan penurunan nilai rata-rata laju pendinginan suhu ruang pada kotak penyimpanan.

Susut Bobot

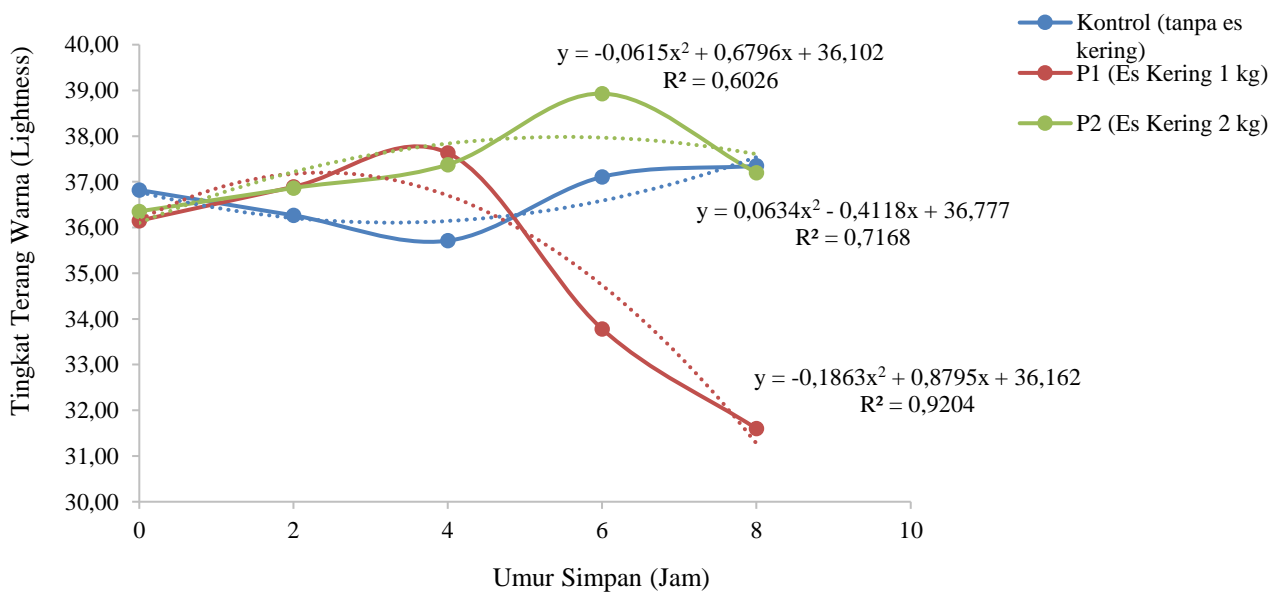
Grafik susut bobot pada sawi putih yang disimpan dengan perlakuan tanpa penambahan es kering, penambahan es kering 1 kg dan penambahan es kering 2 kg diilustrasikan pada Gambar 4. Berdasarkan Gambar 4, menurut Hendra dan Hidayat, (2020) susut bobot pada perlakuan waktu simpan yang semakin tinggi itu menunjukkan bahwa sawi putih mengalami kehilangan berat yang semakin banyak. Hubungan antara waktu penyimpanan dan akumulasi penyusutan berat sawi untuk perlakuan P0, P1 dan P2 masing-masing dituliskan: $y = 0.3125x^3 + 3.75x^2 - 11.25x + 3$, $y = -0.1042x^3 - 1.0714x^2 + 31.488x - 1.5714$ dan $y = 0.7292x^3 - 12.143x^2 + 71.726x + 1.8571$. Pola hubungan waktu penyimpanan dan akumulasi susut bobot adalah polynomial level 3.



Gambar 4. Grafik Akumulasi Susut Bobot Sawi Putih Selama Penyimpanan.

Perlakuan P0, menunjukkan susut bobot dari jam ke 0 sampai jam ke 6 lebih rendah dari perlakuan P1, sehingga pada waktu penyimpanan ini, penyimpanan di suhu ruang menghasilkan penguapan lebih rendah dari pada jika sawi disimpan di suhu dingin atau penyimpanan dengan penambahan es kering 1 kg. Proses dehidrasi pada penyimpanan di suhu dingin lebih mendorong terjadinya dehidrasi yang berdampak pada susut bobot. Perlakuan P0, menunjukkan susut bobot dari jam ke 0 sampai jam ke 6 lebih rendah dari perlakuan P2, sehingga pada waktu penyimpanan ini, penyimpanan di suhu ruang menghasilkan penguapan lebih rendah dari pada jika sawi disimpan di suhu dingin atau penyimpanan dengan penambahan es kering 2 kg. Proses dehidrasi pada penyimpanan di suhu dingin lebih mendorong

terjadinya dehidrasi yang berdampak pada susut bobot. Perlakuan P1, menunjukkan susut bobot dari jam ke 0 sampai jam ke 8 lebih rendah dari perlakuan P2, sehingga pada waktu penyimpanan ini, penyimpanan sawi dengan penambahan es kering 1 kg menghasilkan penguapan lebih rendah dari pada jika sawi disimpan dengan penambahan es kering 2 kg dan mulai jam ke 6 susut bobot dari kedua perlakuan ini mulai mengecil. Total susut bobot untuk perlakuan P0, P1 dan P2 masing-masing adalah 930 g, 390 g dan 510 g atau 0,31%, 0,13 % dan 0,17 %. Hasil uji BNT menunjukkan perlakuan P0, P1 dan P2 waktu penyimpanan selama 4 jam memiliki jumlah susut bobot yang sangat berbeda nyata. Namun, untuk waktu penyimpanan 6 jam dan 8 jam nilai susut bobot tidak berbeda nyata antar perlakuan



Gambar 5. Tingkat Kecerahan Warna Sawi Putih Selama Penyimpanan.

Color Difference

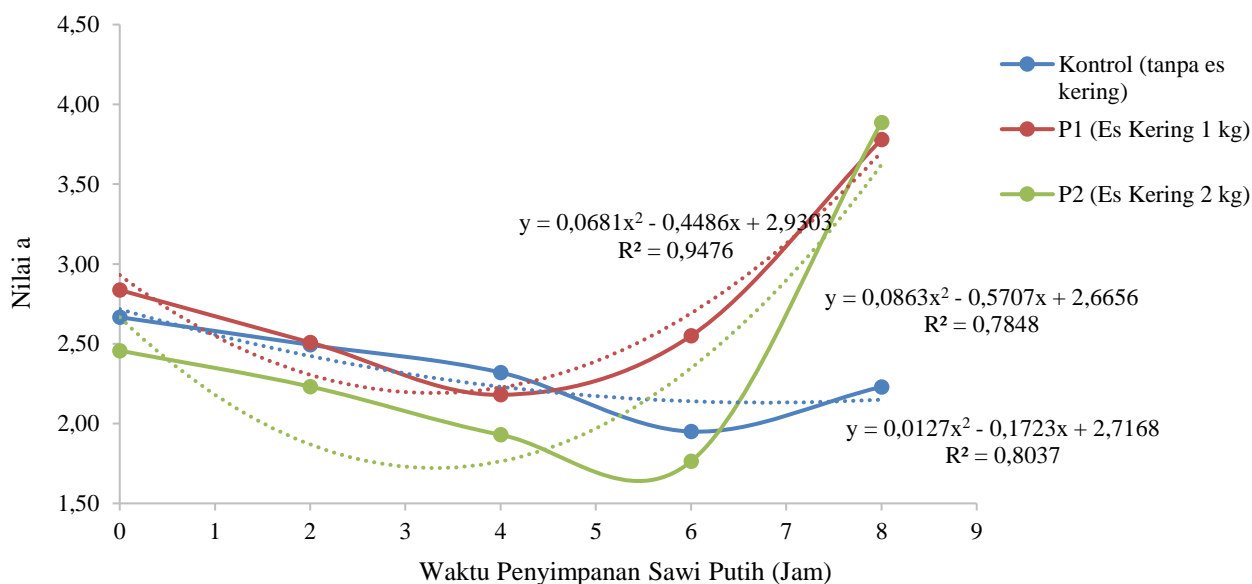
Nilai L atau lightness

Tingkat kecerahan warna dinilai dari parameter L berada dari 0 (hitam) dan 100 (putih). Kecenderungan perubahan kecerahan warna sawi yang disimpan seperti Gambar 5. Hubungan antara waktu penyimpanan sawi putih di kotak *styrofoam* dengan tingkat kecerahan adalah polynomial level 2, hubungan tersebut untuk perlakuan P0, P1, dan P2 dituliskan: $y = 0.0634x^2 - 0.4118x + 36.777$, $y = -0.1863x^2 + 0.8795x + 36.162$ dan $y = -0.1425x^2 + 1.1012x + 35.907$. Ada perbedaan yang mendasar dengan perlakuan pemberian es kering dibandingkan kontrol, pada perlakuan kontrol didapatkan titik minimum kecerahan yang terjadi di jam ke 4, sedangkan pada perlakuan penambahan es kering P1 dan P2 didapatkan titik maksimum kecerahan yang terjadi di jam ke 4 dan ke 6. Proses dehidrasi pada perlakuan P1 dan P2 menjadi penyebab utama perubahan kecerahan warna sawi menjadi semakin putih pada waktu penyimpanan 0 sampai 6 jam, sedangkan proses evaporasi menjadi penyebab perubahan warna menjadi semakin hitam untuk perlakuan P0 di jam ke 0 – 6.

Perlakuan P0, di jam ke 6 sampai 8 mengalami peningkatan nilai L, sehingga warna berubah menjadi semakin cerah atau putih, sedangkan perlakuan P1 mulai jam ke 4 sampai jam ke 8 nilai L semakin kecil atau kecerahan warna semakin menurun. Demikian pula untuk perlakuan P2 mulai jam ke 6 nilai L juga mengecil.

Nilai a

Nilai a yang menunjukkan warna hijau dan merah, dimana a+ adalah merah dan a- adalah hijau dari sawi putih yang disimpan di kotak *styrofoam* dengan perlakuan penambahan es kering seperti Gambar 6. Hubungan antara waktu penyimpanan dengan nilai a berpola polynomial level dua, hubungan tersebut untuk perlakuan P0, P1 dan P2 masing-masing adalah: $y = 0.0127x^2 - 0.1723x + 2.7168$, $y = 0.0681x^2 - 0.4486x + 2.9303$ dan $y = 0.0863x^2 - 0.5707x + 2.6656$. Titik minimum nilai a untuk perlakuan P0, P1 dan P2 masing-masing terjadi di jam ke 6, 4 dan 6, hal ini menjelaskan dari jam ke 0 ke jam tercapainya titik minimum terjadi perubahan warna merah ke hijau karena nilai a menurun, sedangkan kenaikan nilai a berarti terjadi perubahan warna hijau ke merah.



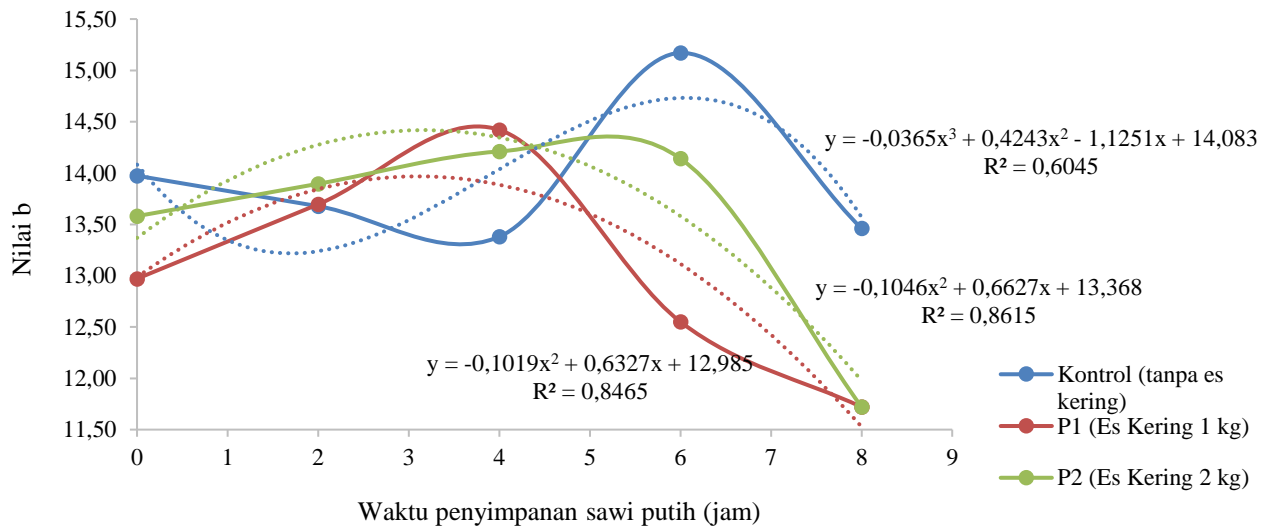
Gambar 6. Nilai a yang Menunjukkan Warna Hijau dan Merah

Sawi putih yang diberikan perlakuan es kering pada perlakuan P1 dan P2 memiliki nilai a masing-masing 3,78 dan 3,89 dan cenderung lebih hijau dari perlakuan P0 yang memiliki nilai a terakhir 2,23.

Nilai b

Nilai b yang menunjukkan warna biru dan kuning dimana b+ adalah kuning dan b- adalah biru pada sawi putih yang disimpan di kotak *styrofoam* dengan perlakuan penambahan es kering 1 kg (P1), 2 kg (P2) serta kontrol atau tanpa es kering (P0) seperti

Gambar 7. Sawi putih untuk perlakuan P0, lebih kuning dibandingkan dengan perlakuan P1 dan P2 di jam terakhir penyimpanan (8jam). Selain itu pada perlakuan tanpa es kering terjadi dua puncak (minimum dan maksimum), puncak minimum terjadi di jam ke 4 dan puncak maksimum jam ke 6. Perlakuan pemberian es kering P1 dan P2 hanya mengalami puncak maksimum di jam ke 4 dan 6. Jumlah es kering yang diberikan pada penyimpanan sawi berpengaruh besar pada proses dehidrasi yang berdampak pada perubahan nilai b.

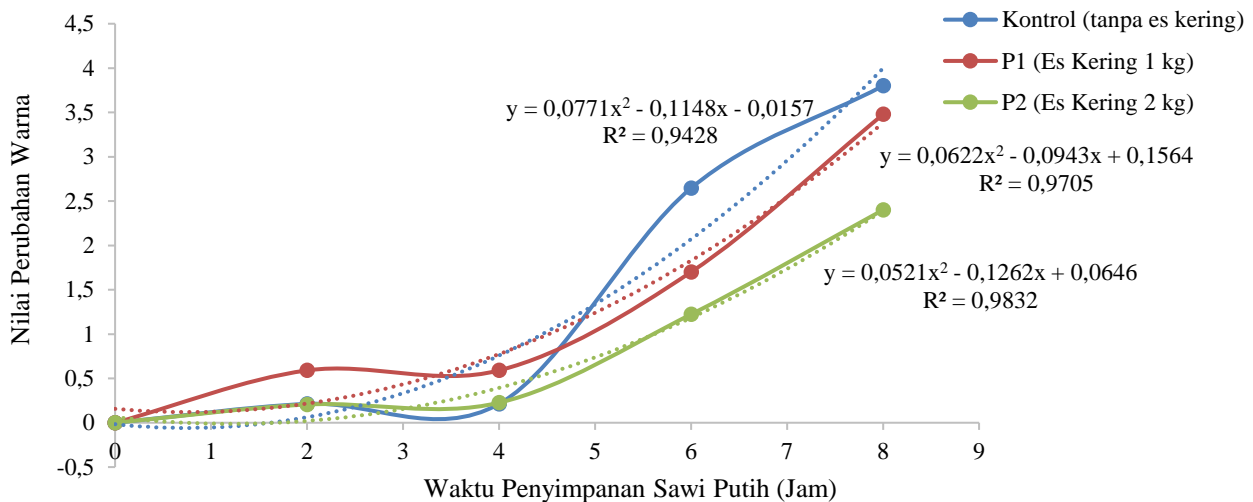


Gambar 7. Nilai b atau Tingkat Warna Biru Sampai Kuning

Sawi putih yang diberikan perlakuan es kering pada perlakuan P1 dan P2 memiliki nilai b masing-masing 11,72 dan 11,72 dan cenderung lebih kuning dari perlakuan P0 yang memiliki nilai b terakhir 13,46.

Adapun grafik *color difference* sawi putih hasil perlakuan penyimpanan dengan perlakuan P0 P1 dan P2 di sajikan dalam Gambar 8. Perubahan nilai ΔE atau *color difference* semua perlakuan meningkat dari 0 hingga akhir penyimpanan 8 Jam.

Nilai ΔE atau *color difference*



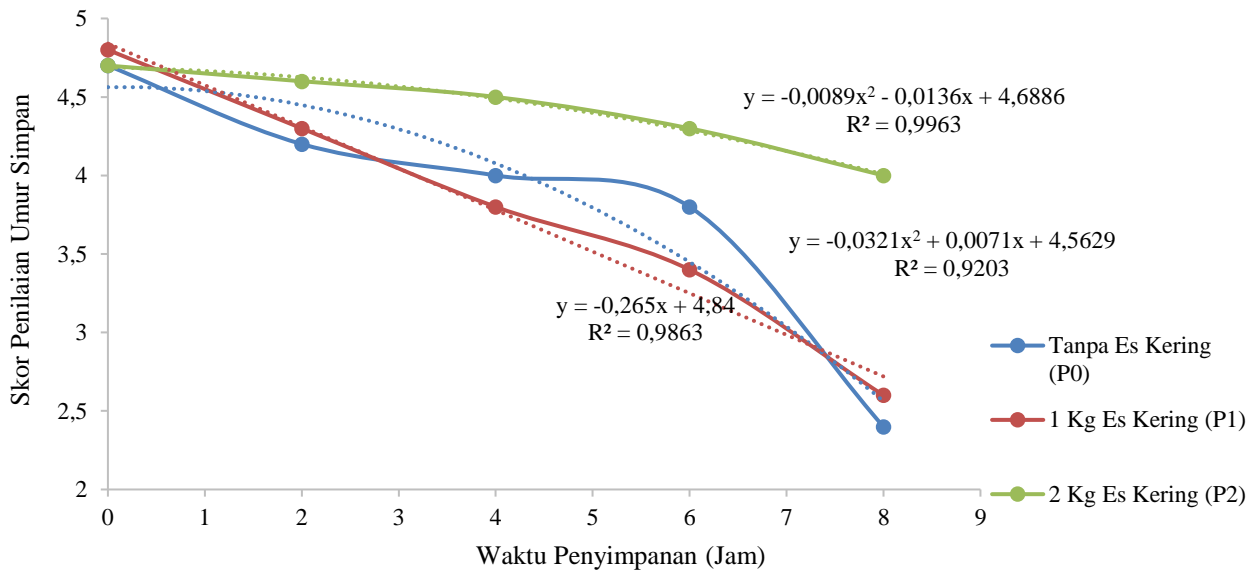
Gambar 8. Grafik Nilai Perbedaan Warna Total Sawi Putih Selama Waktu Penyimpanan

Berdasarkan Gambar 8 menunjukkan bahwa pada perlakuan yang menggunakan es kering sebanyak 1 kg (P1) dan es kering 2 kg (P2) nilai ΔE lebih tinggi dari perlakuan kontrol. Hasil grafik yang meningkat artinya nilai kecerahan yang menunjukkan kondisi sawi putih yang tidak mengalami perubahan warna kekuningan. Perubahan warna sawi putih kuning dan coklat merupakan kerusakan yang terjadi bila lama penyimpanan meningkat akibat kerusakan fisiologis dan serangan mikroorganisme pembusuk. (Utama, 2013).

Umur Simpan

Berdasarkan Gambar 9 seluruh perlakuan menunjukkan hasil yang membuat mutu sawi putih menjadi menurun namun perlakuan yang

menggunakan es kering sebanyak 2 kg (P2) dapat memperlambat turunnya mutu sawi putih dibandingkan dengan perlakuan yang menggunakan es kering sebanyak 1 kg (P1) dan perlakuan kontrol/tanpa es kering, hal ini menunjukkan bahwa penambahan suhu dingin pada masa simpan produk sawi putih dapat memperlambat turunnya mutu dari pada sawi putih tersebut. Jadi penyimpanan dingin dapat memperpanjang atau mempertahankan mutu produk pertanian seperti buah ataupun sayur sayuran, namun penyimpanan menggunakan suhu terlalu rendah pada produk buah ataupun sayuran yang terlalau lama dapat menyebabkan *chilling injury*. Hasil penelitian ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh (Cahya *et al.*, 2014).



Gambar 9. Skor Penilaian Umur Simpan Sawi Putih

Berdasarkan hasil uji beda nyata terkecil (BNT) pada perlakuan waktu 4 jam (A1) dan perlakuan menggunakan es kering sebanyak 2 kg (P2) memiliki nilai yang sangat berbeda nyata dengan perlakuan lainnya namun perlakuan menggunakan es kering sebanyak 1 kg (P1) memiliki nilai yang berbeda nyata dengan perlakuan kontrol/tanpa es kering karena nilai rata-rata dari perlakuan menggunakan 1 kg es kering (P1) nilainya hampir sama dengan perlakuan kontrol (P0). Pada perlakuan waktu simpan 6 jam (A2) nilai rata-rata masing-masing perlakuan es kering sangat berbeda nyata, perlakuan yang paling bagus adalah perlakuan yang menggunakan es kering sebanyak 2 kg (P2).

KESIMPULAN

Penggunaan es kering dapat mempertahankan mutu sawi putih di dibandingkan dengan tanpa menggunakan es kering pada waktu penyimpanan. Waktu penyimpanan terbaik yaitu 8 jam dan suhu terbaik yaitu 13°C sampai dengan 10°C. Jumlah es yang dibutuhkan untuk mencapai suhu optimal pada penyimpanan dingin adalah lebih dari 1 kg dan atau kurang dari atau sama dengan 2 kg es kering untuk 3 kg sawi putih.

DAFTAR PUSTAKA

Abidin, M., dan Baheramsyah, A. 2017. Desain Sistem Pendingin Ruang Muat Kapal Ikan Tradisional Menggunakan Insulasi dari Sekam Padi. *Jurnal Departemen Teknik Sistem Perkapalan*, 1(1), 15–31.
 Analianasari, Lestiani, N. R., dan Sri, H. 2020.

Pengendalian Proses Panen dan Pascapanen Bayam Merah Organik pada Fam Organik Tenjolaya Kabupaten Bogor. *Karya Ilmiah Mahasiswa [Agribisnis]*, 1(1), 1–12.
 Aryawan, I. P. Y., Wijaksana, H., dan Suarnadwipa, I. N. 2016. Study Eksperimental Performa Pendingin Ice Bunker dengan Kombinasi Massa Dry Ice dan Ice. *Jurnal Ilmiah Teknik Desain Mekanika, Jurusan Teknik Mesin Universitas Udayana*, 5(4), 671–675.
 Asiah, Nurul., Laras Cempaka., Kurnia Ramadhan., Stephanie Hoseva Matatula. 2020. Prinsip Dasar Penyimpanan Pangan Pada Suhu Rendah. *Cv. Nas Media Pustaka*
 Aghbashlo, M., Kianmehr, M.H., Arabhosseini, A. dan Nazghelichi, T., 2011. Modelling The Carrot Thin-Layer Drying in A Semi-Industrial Continous Band Dryer. *Czech Journal Food Science*, 5(29): 528-538.
 Buntu, T. R., Sappu, F. P., dan Maluegha, B. L. 2017. Analisis Beban Pendinginan Produk Makanan Menggunakan Cold Box Mesin Pendingin Lucas Nulle Type Rcc2. *Jurnal Online Poros Teknik Mesin*, 6(1), 20–31.
 Cahya, M., Hartanto, R., dan Novita, D. 2014. Kajian Penurunan Mutu dan Umur Simpan Jamur Tiram Putih (*Pleurotus Ostreatus*) Segar dalam Kemasan Plastik Polypropylene pada Suhu Ruang dan Suhu Rendah. *Jurnal Teknik Pertanian Lampung*, 3(1), 35–48.
 Diputra, B. M. B., Gunadnya, I. B. P., dan Budisanjaya, I. P. G. 2021. Modifikasi Kotak Polistiren Untuk Penyimpanan Dingin Sayur Kubis dengan Menggunakan Es Kering Sebagai Media Pendingin. *Jurnal Beta (Biosistem Dan Teknik Pertanian)*, 9(2), 212–

- Harnanik, S. 2018. Kajian Perubahan Karakteristik Mutu Sawi Segar Selama Penyimpanan dengan Pencucian Air Berozon pada Suhu dan Kemasan Berbeda. Prosiding Seminar Nasional I Hasil Litbangyasa Industri Palembang, BPTP Sumatera Selatan, Palembang, 18 Oktober 2018. <http://ejournal.kemenperin.go.id/pmbp/article/view/4457>
- Harsojuwono, B.A., 1999. Pengembangan Model Pengelolaan Pascapanen Pisang Cavendish. Disertasi. Program Pasca Sarjana, Universitas Airlangga
- Hendra, dan Hidayat, S. 2020. Pengaruh Pemanfaatan Cairan Hasil Fermentasi Sawi Putih (*Brassica Rapa L. Var Pekinensis*) Sebagai Bahan Pengawet Alami Terhadap Kualitas Ikan Tambakan (*Helostoma Temminckii C.V.*). *Edubiolock*, 1(2), 1–9.
- Martini, N. K. S., Utama, I. M. S., Pudja, I. A. R. P. 2017. Pengaruh Perlakuan Uap Etanol Terhadap Mutu dan Masa Simpan Bunga Kol (*Brassica Oleracea Var. Botrytis*) pada Suhu Ruang. *Jurnal Beta (Biosistem Dan Teknik Pertanian)*, 5(2), 49-58.
- Penglipurati, S. T., dan Adiluhung, H. 2018. Perancangan Sistem Penjaga Kualitas Produk Pada Sarana Jual Komoditas Hortikultura. *E-Jurnal Proceeding of Art & Design*, 5(3), 3879–3887.
- Putra, I. D., Baheramsyah, A., dan Cahyono, B. 2014. Modifikasi Coolbox dengan Insulasi Pendinginan Freon pada Ruang Muat Kapal Ikan Tradisional. *Jurnal Teknik Pomits*, 3(1), 119–123.
- Takaendengan, V., Longdong, I., dan Wenur, F. 2015. Kajian Perubahan Mutu Kubis (*Brassica Oleracea Var Gran 11*) dalam Kemasan Plastik Selama Penyimpanan. *Jurnal Unsrat*, 6(17), 67–77. <https://doi.org/10.35791/Cocos.V6i17.10532>
- Utama, I. M. S., Antara, N. S. 2013. Pasca Panen Tanaman Tropika: Buah Dan Sayur. Denpasar. Universitas Udayana, 8-9.
- Wulantika, T. 2021. Perubahan Kondisi Produk Hortikultura Pada Penyimpanan Suhu Rendah dan Suhu Ruang. *Jurnal Hortuscoler*, 2(1), 20–25. <https://jurnalpolitanipyk.ac.id/index.php/Jh>