

**PENYIMPANAN DINGIN SAYUR SAWI HIJAU (*BRASSICA JUNCEA L*)
MENGUNAKAN KOTAK PENDINGIN SEDERHANA**

Analysis of a Cooling System for Cabbage in a Box Cooler

S. Ubis¹⁾, H. Rawung²⁾, S. Kairupan²⁾ dan H. Wullur²⁾

1) Mahasiswa Program Studi Teknik Pertanian UNSRAT

2) Dosen Teknik Pertanian UNSRAT

ABSTRACT

This study aims to modify the cold storage tool for green cabbage, assessing air circulation by measuring the temperature in the ice chamber, chamber vegetables, vegetable base, stem and leaf vegetables, vegetables weight loss measure, calculate the cooling rate is based on temperature measurements, measure the storage time with a freshness indicator and measure humidity outside environment, this study uses descriptive method. Temperature measurement starts with measuring the temperature of the ice which is used as a coolant in the cooling box is simple. After being measured and the measurement data obtained after the average is taken of the obtained temperature of ice - 20°C. 6 From the graph it appears that at the beginning of the cold storage temperature drops drastically visible in all sections where the thermometer is installed. The fall in temperature is due to the sublimation process that begins with the process of convection heat transfer between the air in the ice room with a block of ice. When traced line temperature curve for all observation points per day then obtained an average temperature of space vegetables and vegetables are in a position under 10°C from the first day until the day of the fifth and sixth while the ice room temperature is under 10°C only until the day to five. For day to six, seven and eight all temperatures have been in the position above 10°C. Weight loss data observed or measured at the beginning and end of the cold storage. The difference between the initial weight of the final weight or lose weight, as in the figure averaged 57.3 gr. The cooling rate is a function of temperature fluctuations within a certain time or depending on the initial temperature and the temperature of a particular moment. In this study, the initial temperature and the temperature at certain times fluctuate so that the calculations, the positive numbers and a minus. The highest cooling rate was obtained at room temperature ice is 0,64°C / h and the lowest cooling rate was obtained at room temperature ice also is -0.39°C / h. The results of visual observation is also in accordance with the temperature graph obtained, wherein the vegetable room temperature begins to rise beyond 10°C after the fifth day of the storage process in progress. Thus it can be said that the duration of cold storage greens using a simple cooler box can only last for five days of storage. Measurement of moisture was observed only on the outside or environmental humidity and wet bulb thermometer observed in the dry and the ball is then plotted on a graph psychrometric chart. Graph of Figure 11 above shows that the humidity during the day at 01.00pm low humidity and late afternoons outside air humidity tends to increase and reached a peak in the morning at 04.00 am

Keywords : cold storage, cabbage, box cooler

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan memodifikasi alat penyimpanan dingin untuk sayur sawi hijau, mengkaji sirkulasi udara dengan mengukur suhu di ruang es, ruang sayur, pangkal sayur, batang sayur dan daun, mengukur kehilangan berat sayur, menghitung laju pendinginan yang didasarkan pada pengukuran suhu, mengukur lama penyimpanan dengan indikator kesegaran serta mengukur kelembaban lingkungan luar, penelitian ini menggunakan metode deskriptif.

Pengukuran suhu diawali dengan mengukur suhu es yang digunakan sebagai pendingin pada kotak pendingin sederhana. Setelah diukur diperoleh data hasil pengukuran dan setelah diambil rata-rata maka diperoleh suhu es -20°C . Dari gambar grafik 6 terlihat bahwa di awal proses penyimpanan dingin nampak suhu turun secara drastis di semua bagian di mana termometer dipasang. Turunnya suhu ini akibat terjadinya proses sublimasi yang diawali dengan proses pindah panas konveksi antara udara di ruang es dengan balok es.

Bila ditelusuri garis kurva suhu untuk semua titik pengamatan per hari maka diperoleh rata-rata suhu dari ruang sayur dan sayur berada pada posisi di bawah 10°C mulai dari hari pertama sampai pada hari kelima dan keenam sedangkan suhu ruang es berada di bawah 10°C hanya sampai pada hari ke lima. Untuk hari ke enam, tujuh dan delapan semua suhu sudah berada pada posisi di atas 10°C .

Data kehilangan berat diamati atau diukur diawal dan diakhir proses penyimpanan dingin. Selisih antara berat awal berat akhir atau kehilangan berat, setelah di rata-ratakan diperoleh angka 57,3 gr. Laju pendinginan merupakan fungsi dari fluktuasi suhu dalam waktu tertentu atau tergantung pada suhu awal dan pada suhu saat tertentu. Dalam penelitian ini suhu awal dan suhu pada saat tertentu berfluktuasi sehingga hasil perhitungan diperoleh angka positif dan minus. Laju pendinginan tertinggi diperoleh pada suhu ruang es yaitu $0,64^{\circ}\text{C}/\text{jam}$ dan laju pendinginan terendah diperoleh pada suhu ruang es juga yaitu $-0,39^{\circ}\text{C}/\text{jam}$. Hasil pengamatan visual juga sesuai dengan grafik suhu yang diperoleh, dimana suhu ruang sayur mulai meningkat melampaui 10°C setelah hari kelima proses penyimpanan berlangsung. Dengan demikian dapat dikatakan bahwa lamanya penyimpanan dingin sawi hijau menggunakan kotak pendingin sederhana hanya dapat bertahan selama lima hari penyimpanan. Pengukuran kelembaban diamati hanya pada kelembaban luar atau lingkungan dan diamati pada thermometer bola basah dan bola kering kemudian diplot pada Grafik psychrometric chart. Dari Gambar Grafik 11 kelembaban di atas terlihat bahwa disiang hari pukul 01.00pm kelembaban rendah dan menjelang sore kelembaban udara luar cenderung meningkat dan mencapai puncaknya pada pagi hari pukul 04.00am.

Kata kunci : Penyimpanan dingin, sawi hijau, kotak pendingin sederhana

PENDAHULUAN

Indonesia merupakan daerah yang baik untuk tanaman sayur-sayuran. Banyak sayur yang bermanfaat bagi pertumbuhan dan perkembangan manusia, salah satunya sayur sawi hijau. Sawi hijau telah lama dikenal oleh pedagang internasional dengan sebutan *green mustard*.

Setelah panen, produk hortikultura seperti sawi biasanya mengalami kemunduran mutu. Hal ini disebabkan karena setelah dipanen sayur masih melakukan aktivitas hidupnya seperti respirasi dan transpirasi. Kehilangan substrat dan air karena proses respirasi dan transpirasi tidak dapat diganti dan di saat inilah proses kemunduran dan deteriorasi terjadi seperti pelayuan. Penurunan mutu karena proses pelayuan dan pembusukkan pada sayur-sayuran daun dilaporkan sangat tinggi. Di negara-negara yang sedang berkembang hal-hal ini dapat mencapai 40-50% (Kader, 2002). Suhu produk pada saat panen biasanya tergantung suhu udara lingkungan pada saat itu. Suhu yang tinggi akan memacu aktivitas metabolisme. Laju respirasi akan berjalan dengan cepat sehingga menyebabkan proses pengrusakan berlangsung dengan cepat.

Sayur sawi hijau biasanya dijual pada pasar-pasar swalayan dan pasar-pasar tradisional. Di pasar swalayan sayur ini dijual di dalam lemari-lemari pendingin, sedangkan di pasar-pasar tradisional hanya dihamparkan di atas meja penjualan, sebagian lagi ditumpuk pada wadah-wadah yang bukan merupakan tempat penyimpanan sayur karena tidak dilengkapi dengan alat

pendingin. Untuk memperpanjang masa simpan biasanya pedagang pengecer menyiram dengan air agar kesegaran sayur dapat dipertahankan. Hal ini di sebabkan karena pedagang pengecer tidak tahu cara penyimpanan sayur yang dapat tahan lebih lama. Untuk itu perlu kiranya dapat dicarikan metode penyimpanan yang dapat diterima secara teori tetapi harganya murah. Untuk memecahkan masalah pedagang pengecer sayuran di pasar tradisional perlu dibuat satu alat yang dapat digunakan sebagai tempat penyimpanan sayur dengan pertimbangan bahwa alat tersebut dapat dibuat sendiri oleh pedagang pengecer, menggunakan bahan yang mudah didapat, murah, tidak menggunakan listrik atau kipas, dan sumber pendingin tersedia dan mudah diperoleh.

Selain di pasar, kotak penyimpanan dingin ini dapat digunakan oleh pedagang-pedagang antar pulau untuk mempertahankan mutu sayur selama beberapa hari. Pedagang antar pulau biasanya mengemas sayuran dengan kotak dari kayu atau dikemas dengan karung atau wadah lain. Kotak, karung atau wadah tersebut tidak menggunakan sistem pendinginan, sehingga sayur yang diantarpulaukan tersebut sering mengalami kemunduran mutu atau layu sebelum mencapai tujuan. Diharapkan kotak pendingin sederhana ini dapat membantu pedagang antar pulau untuk mempertahankan mutu atau menghambat kemunduran mutu dalam waktu yang lebih lama sehingga sayuran yang diantarpulaukan tiba di tempat tujuan masih dalam keadaan segar.

Sebelum ini, Rorimpandey (2009) meneliti tentang alat pendingin sederhana untuk produk-produk hortikultura dengan objek penelitian bunga potong Gladiol. Pada alat tersebut, es diletakkan di bawah produk hortikultura dengan dibantu oleh kipas untuk pindah panas konveksi. Dengan pendingin sederhana ini umur bunga potong bisa diperpanjang. Karena masalah penyimpanan sayur sawi hijau di lapangan perlu adanya rancangan dan penelitian tentang penyimpanan yang murah, tersedia dan mudah digunakan.

Kotak pendingin sederhana merupakan salah satu ide untuk mengatasi masalah tersebut karena dibuat berdasarkan fenomena-fenomena alam yang terjadi tentang pergerakan udara secara alami. Untuk itu perlu diteliti tentang penyimpanan dingin sayur sawi hijau menggunakan kotak pendingin sederhana.

Tujuan Penelitian

1. Memodifikasi alat penyimpanan dingin untuk sayur sawi hijau.
2. Mengkaji sirkulasi udara dengan mengukur suhu di ruang es, ruang sayur, pangkal sayur, batang sayur dan daun.
3. Mengukur kehilangan berat sayur.
4. Menghitung laju pendinginan yang didasarkan pada pengukuran suhu.
5. Mengukur lama penyimpanan dengan indikator kesegaran serta mengukur kelembaban lingkungan luar.

Manfaat Penelitian

Hasil penelitian ini dapat menjadi pedoman bagi pedagang dan petani sawi hijau untuk penanganan pasca panen sawi hijau khususnya dan produk hortikultura pada umumnya.

METODOLOGI PENELITIAN

Tempat dan Waktu

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Pascapanen Jurusan Teknologi Pertanian Fakultas Pertanian Universitas Sam Ratulangi Manado. Penelitian ini dilaksanakan selama 3 bulan dimulai awal bulan Oktober 2013 sampai medio Januari 2014.

Alat dan Bahan

a. Alat

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah kotak styrofoam, penyangga es yang terbuat dari besi siku aluminium, termometer, wadah pencucian, timbangan, pisau, kran, plastisin, *lakban* transparan, pemotong es dan alat tulis menulis.

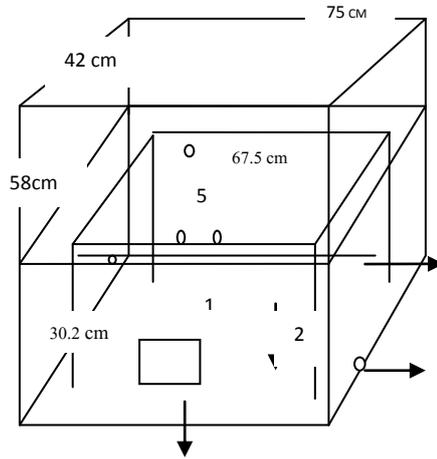
b. Bahan

Air, es batu sebanyak 63 kg, sayur sawi hijau sebanyak 24 kg, umur panen 2 bulan setelah tanam, produk ini diambil langsung dari petani di desa Paslaten kecamatan Tomohon.

Pendingin Sederhana

Pendingin sederhana terdiri dari: komponen utama yaitu *chamber* atau ruang pendingin yang berbentuk kotak. Rak, yaitu tempat meletakkan es dan beberapa lubang kecil untuk

menempatkan termometer, juga satu lubang pembuangan. Sketsa Kotak pendingin sederhana ditunjukkan pada gambar di bawah ini



Gambar 4. Sketsa kotak pendingin sederhana

Keterangan :

1. Tempat untuk meletakkan es
2. Ruang untuk meletakkan sayur
3. Kaca sebagai pengontrol
4. Lubang pembuangan
5. Lubang untuk menempatkan thermometer

Metode Penelitian

Metode yang digunakan adalah metode deskriptif dengan pengambilan data dilakukan sebanyak 3 kali, pengamatan berlangsung selama 8 hari. Data yang diperoleh dituangkan dalam bentuk tabel. Kemudian digambarkan dalam bentuk grafik kemudian dibahas. Pengamatan dilakukan pada 3 titik. Yaitu pangkal batang, batang daun dan daun.

Prosedur Penelitian

1. Sawi hijau yang digunakan untuk penelitian dipanen langsung dari kebun petani di pagi hari. Setelah itu sawi hijau dicuci dan ditiriskan selama 5 menit.
2. Sawi hijau 30.2 cm dian dikemas dan langsung dibawa ke Laboratorium Pascapanen Jurusan Teknologi Pertanian Fakultas Pertanian Universitas Sam Ratulangi Manado.
3. Sayur ditimbang sebanyak 8 kg untuk masing-masing ulangan, kemudian dimasukkan ke dalam kotak pendingin sederhana.
4. Balok es ditimbang sebanyak 21 kg untuk masing-masing ulangan, kemudian dimasukkan kedalam kotak pendingin sederhana.
5. Termometer diletakkan pada tempat yang sudah ditentukan, pada sayur diletakkan pada pangkal, batang dan daun. Untuk pengukuran suhu termometer diletakkan di ruang es di atas es dan ruang sayur diatas sayur.
6. Kemudian kotak ditutup untuk menghindari kebocoran diantara penutup dengan kotak styrofoam ditutup lagi dengan lakban transparan.
7. Pengamatan dilakukan setiap 3 jam setelah balok es dimasukkan kedalam kotak pendingin.
8. Setiap 3 jam stop kran dibuka untuk membuang air setelah itu stop kran ditutup kembali.
9. Pengamatan kehilangan berat dilakukan melalui penimbangan

yang dilakukan sebelum sayur dimasukkan ke dalam kotak pendingin sederhana dan setelah selesai penyimpanan. Khusus untuk penimbangan di akhir penyimpanan sayur sawi hijau dikibas-kibaskan terlebih dahulu kemudian ditimbang.

10. Penyimpanan dilakukan hingga sayur/daun secara visual kelihatan layu.

Variabel yang diamati

1. Distribusi Suhu

Distribusi suhu pada penelitian ini diukur dengan meletakkan sensor termometer batang dipangkal, batang dan daun. Untuk ruang es diukur pada ruang es dan pada ruang sayur diukur pada ruang sayur dan suhu luar diukur dengan termometer.

2. Kelembaban

Kelembaban diukur dengan menggunakan termometer bola basah dan bola kering yang ditempatkan di ruang tempat penelitian berlangsung. Data yang diperoleh di plot pada psychrometric chart kemudian garis kelembaban diperoleh lalu dibaca dan dicatat. Data kelembaban diperoleh adalah data kelembaban lingkungan, sedangkan data kelembaban di dalam ruang es dan ruang pendinginan tidak terukur karena keterbatasan alat dan tidak dapat dianalisis pada psychrometric chart.

3. Laju Pendinginan

Menurut Mohsenin (1980) laju pendinginan atau seringkali merupakan koefisien pendinginan adalah suatu ukuran karakteristik sistem pendinginan. Laju

pendinginan pada bahan dihitung dengan menggunakan rumus:

$$CR = \frac{T_o - T_i}{t} \dots\dots\dots(3)$$

Dimana :

CR : Laju Pendinginan (°C/jam)

To : Suhu awal t menit sebelum(°C)

Ti : Suhu pada waktu tertentu (°C)

t : Waktu (jam)

4. Kehilangan Berat.

Menurut Kandati (2007) menentukan kehilangan berat pada sawi hijau dalam hubungannya dengan penurunan suhu melalui penimbangan yang dilakukan sesudah bahan didinginkan. Rumus yang digunakan adalah:

$$W_L = W_o - W_\infty$$

$$\%W_L = \frac{W_L}{W_o} \times 100\% \dots\dots\dots(4)$$

Dimana :

W_L : Berat bahan yang hilang (g)

W_o : Berat mula – mula (g)

W_∞ : Berat akhir bahan setelah didinginkan (g)

5. Kelayuan

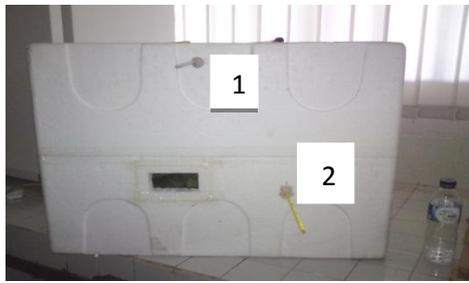
Kelayuan sawi hijau diamati secara visual dan dianalisis berdasarkan pada kehilangan berat.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Suhu

Pengukuran suhu diawali dengan mengukur suhu es yang digunakan sebagai pendingin pada kotak pendingin sederhana. Setelah

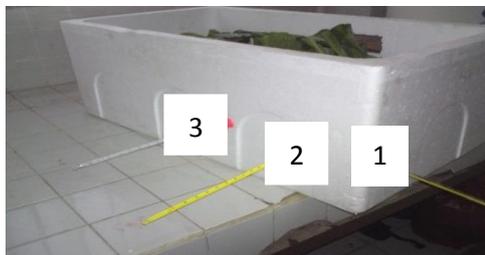
diukur diperoleh data hasil pengukuran dan setelah diambil rata-rata maka diperoleh suhu es -20°C . Setelah pengukuran suhu es, sayur dimasukkan ke dalam ruang sayur kemudian penyangga es dipasang dan es dimasukkan ditempatnya yaitu ruang es, kemudian thermometer sebagai pengukur suhu dipasang dengan sensor diletakkan pada titik-titik yang sudah ditentukan, kotak pendingin sederhana ditutup seperti pada ruang es, ruang sayur, pangkal sayur, batang sayur dan daun.



Keterangan :

1. Suhu ruang es
2. Suhu ruang sayur

Gambar 5. Pengukuran suhu ruang es dan suhu ruang sayur menggunakan termometer

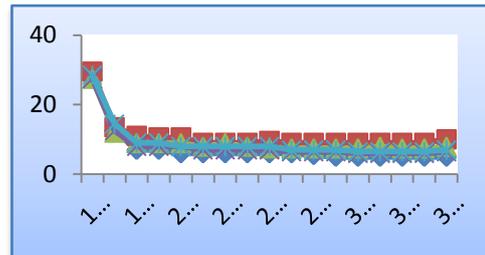


Keterangan :

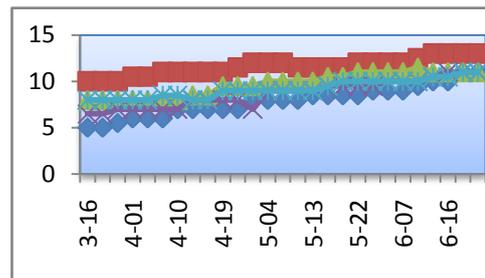
1. Suhu di pangkal
2. Suhu di batang sayur
3. Suhu di daun

Gambar 6. Pengukuran suhu pada pangkal sayur, batang sayur dan daun

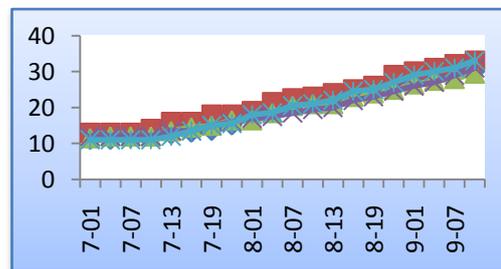
Data pengukuran suhu yang diperoleh tersebut digambarkan dalam bentuk Grafik seperti terlihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Rata-rata suhu ruang sayur dan ruang es hari pertama sampai hari ketiga



Gambar 8. Rata-rata suhu ruang sayur dan ruang es hari ketiga sampai hari keenam



Gambar 9. Rata-rata suhu ruang sayur dan ruang es hari ketujuh sampai hari kesembilan

Dari gambar di atas terlihat bahwa di awal proses penyimpanan dingin nampak suhu turun secara drastis di semua bagian di mana termometer dipasang. Turunnya suhu ini akibat terjadinya proses sublimasi yang diawali dengan proses pindah panas konveksi antara udara di ruang es dengan balok es. Di sini udara di ruang es yang mengandung energi panas bersentuhan dengan balok es sehingga sebagian es tersublimasi berubah wujud dari padat menjadi gas. Sebagian panas dari udara digunakan oleh balok es untuk mencair, kemudian menetes ke bawah mengenai sayur sawi hijau yang disimpan pada ruang sayur. Turunnya udara dingin dan uap air dingin dari ruang es ke ruang sayur merupakan pembuktian hukum termodinamika ke-2 yang menjelaskan bahwa tidak ada proses pindah panas dari dingin ke panas. Penelitian ini membuktikan bahwa terjadi perpindahan udara dan uap air dari dingin ke panas atau dari ruang es ke ruang sayur. Sedangkan uap hasil proses sublimasi turun ke bawah karena uap tersebut mempunyai massa yang lebih besar dan udara yang tadinya mengandung energi yang tinggi kehilangan energinya sehingga udara itu pun bergerak ke bawah dari ruang es ke ruang sayur akibatnya suhu udara di ruang sayur turun drastis.

Turunnya suhu udara di ruang sayur dimanfaatkan oleh sayur itu sendiri untuk proses pindah panas konveksi tahap dua dimana udara dingin dan uap air dingin bersentuhan dengan sayur sehingga terjadi proses pindah panas konveksi dari sayur ke udara dingin dan uap hasil sublimasi. Untuk udara dingin

energi yang berpindah dari sayur ke udara dingin menyebabkan udara yang mengandung butir-butir uap air yang bermassa kecil terus digerakkan oleh energi yang berasal dari sayur bergerak ke atas ke ruang es. Sedangkan uap air yang bermassa besar hasil sublimasi menempel pada sayur baik di pangkal batang, batang maupun daun terus membesar kemudian menetes ke bawah ke dasar kotak pendingin. Selain itu cairan dari lelehan balok es yang menetes dari ruang es ke ruang sayur (mengenai sayur) juga ikut mendinginkan sayur karena terjadi proses konveksi antara sayur dengan fluida cairan es. Air yang tertampung di dasar kotak pendingin dibuang keluar sistem dengan membuka kran pada kotak pendingin 3 jam sekali.

Dalam satuan operasi atau dalam mengoperasikan alat-alat pasca panen dikenal dua sistem yaitu sistem terbuka dan sistem tertutup. Penelitian ini menggunakan sistem tertutup di mana lingkungan tidak berpengaruh pada sistem, tetapi air yang tertampung pada dasar kotak pendingin harus dibuang karena kekhawatiran akan berdampak pada perubahan warna sayur yang disimpan yaitu sayur akan menguning. Dalam sistem tertutup pada volume tetap pergerakan udara dingin ke bawah dan pergerakan uap air dingin ke bawah dari ruang es ke ruang sayur, volume udara tersebut digantikan oleh udara dari bawah ke atas atau dari ruang sayur ke ruang es. Bila proses ini terus berlanjut maka dapatlah dikatakan atau diartikan bahwa terjadi sirkulasi udara dari atas ke bawah dan dari bawah ke atas secara terus menerus selama proses penelitian berlangsung. Data pada Lampiran 1

menunjukkan bahwa suhu terendah di dalam kotak pendingin terjadi pada ulangan III hari ke-2 pada jam 16.00 wita (04.00 pm). Terjadinya sirkulasi udara ini dapat membuktikan hukum kedua termodinamika. Dari Gambar 7 di atas terlihat juga ada perbedaan antara suhu udara di ruang es dengan suhu udara di ruang sayur, di mana rata-rata suhu udara di ruang es lebih tinggi dibandingkan dengan suhu udara di ruang sayur. Juga terjadi perbedaan suhu antara suhu pada pangkal batang, batang, dan daun, di mana rata-rata suhu pada pangkal batang lebih tinggi dibanding dengan suhu pada batang sayur dan rata-rata suhu daun sayur lebih tinggi dibanding suhu batang sayur. Proses respirasi di daun sayur lebih besar dari pada di batang sayur. Artinya bahwa lepasan energi hasil proses respirasi paling besar dipangkal sayur diikuti oleh daun sayur dan batang sayur. Dalam proses respirasi produk hasil respirasi juga membebaskan air. Air yang terbebaskan ini dengan energi yang terbebaskan menyebabkan terjadinya proses respirasi. Kesemuanya ini berdampak pada perubahan suhu secara keseluruhan pada sayur oleh sebab itu terjadi perbedaan suhu antara pangkal batang, batang sayur, dan daun sayur.

Bila ditelusuri garis kurva suhu untuk semua titik pengamatan per hari maka diperoleh rata-rata suhu dari ruang sayur dan sayur berada pada posisi di bawah 10°C mulai dari hari pertama sampai pada hari kelima dan keenam sedangkan suhu ruang es berada di bawah 10°C hanya sampai pada hari ke lima. Untuk hari ke enam, tujuh dan delapan semua suhu sudah berada

pada posisi di atas 10°C. Naiknya suhu udara di dalam kotak penyimpanan dingin disebabkan oleh luas area sublimasi dan luas area proses pindah panas konveksi menjadi kecil. Ini terjadi karena makin lama makin sedikit es yang tersisa untuk sublimasi. Proses sublimasi yang menghasilkan uap dingin hingga luas sentuhan udara di dalam kotak penyimpanan dingin menyusup sehingga udara dingin dan uap dingin yang turun ke bawah ke ruang sayur juga berkurang akibatnya udara di ruang sayur suhunya mulai meningkat dan berdampak pada proses konveksi antara sayur dan diruang sayur juga menurun.

Kehilangan Berat

Setelah proses penyimpanan dingin sayur yang basah akibat uap sublimasi dan tetesan air lelehan es di kibas-kibaskan dulu kemudian ditimbang. Hasil penimbangan sayur dituangkan dalam bentuk dengan berat awal dan berat akhir. Selisih antara berat awal berat akhir atau kehilangan berat, setelah di rata-ratakan diperoleh angka 57,3 gr. Untuk jelasnya dapat dilihat pada Tabel 1 berikut.

Tabel 1. Nilai rata-rata penurunan berat sayur sawi hijau

Percobaan	Berat mula-mula (g)	Berat akhir (g)	Berat yang hilang (g)	Persentase berat yang hilang (%)
Ulangan I	8000	7960	40	0,5
Ulangan II	8000	7945	55	0,6

Ulangan III	8000	7923	77	0,9
Jumlah			172	2
Rata-rata			57,3	0,66

Dari Tabel diatas terlihat bahwa masing-masing ulangan terjadi penurunan berat sayur setelah di rata-ratakan diperoleh angka 57,3 gr. Angka ini menunjukkan bahwa sayur bila disimpan masih melakukan proses respirasi dan transpirasi. Proses respirasi menghasilkan karbondioksida, air, dan energi. Dari ketiga hasil respirasi dan itu pulalah yang menyebabkan kehilangan berat. Air yang mengandung energi menaikkan tekanan uap air dari butir air tersebut sehingga tekanan uap air itu menjadi tinggi dibandingkan dengan tekanan uap air diudara, dilingkungan atau disekitar sayur. Perbedaan tekanan inilah yang menyebabkan air lepas dari sayur berpindah ke udara lingkungan akhirnya sayur kehilangan berat.

Laju Pendinginan

Laju pendinginan merupakan fungsi dari fluktuasi suhu dalam waktu tertentu atau tergantung pada suhu awal dan pada suhu saat tertentu. Dalam penelitian ini suhu awal dan suhu pada saat tertentu berfluktuasi sehingga hasil perhitungan diperoleh angka positif dan minus. Ini menandakan terjadinya fluktuasi suhu sehingga diperoleh angka minus. Tapi yang terpenting dalam proses pendinginan ini terjadi perbedaan suhu antara suhu awal dan suhu pada waktu tertentu.

Bila laju pendinginan versus suhu udara rata-rata selama proses penyimpanan dingin digambar maka terlihat pendinginan itu hanya berlangsung dari hari pertama sampai hari kelima. Setelah itu suhu didalam ruang kotak pendingin sederhana lambat laun mulai naik sampai hari keenam bahkan pada hari ketujuh dan delapan suhu udara dan suhu sayur dalam kotak pendingin sederhana cenderung meningkat tajam. Laju pendinginan tertinggi diperoleh pada suhu ruang es yaitu $0,64^{\circ}\text{C}/\text{jam}$ dan laju pendinginan terendah diperoleh pada suhu ruang es juga yaitu $-0,39^{\circ}\text{C}/\text{jam}$.

Lama Penyimpanan



Gambar10. Lama penyimpanana sayur sawi hijau selama 8 hari

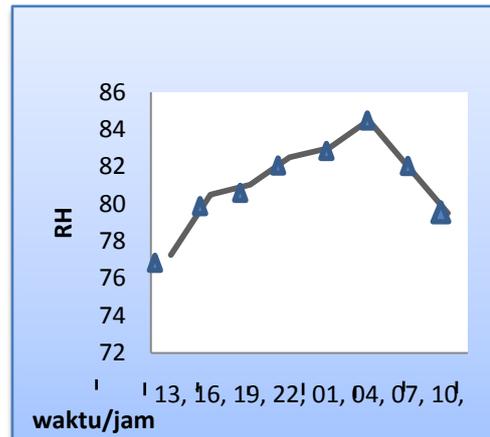
Lama penyimpanan diamati mulai dari awal penyimpanan dingin sampai pada waktu kesegaran sayur mulai menurun atau tekanan turgor berkurang. Kesegaran sayur ini dapat diamati dari jendela kaca yang dipasang pada salah satu sisi samping dari kotak penyimpanan dingin sederhana dengan memperhatikan warna pada daun yang mulai menguning, kekerasan sayur hingga pada proses pembusukkan. Dalam penelitian ini hasil pengamatan visual

menunjukkan bahwa sayur sawi hijau mulai menurun kesegarannya setelah lima hari proses pendinginan berlangsung. Hasil pengamatan visual juga sesuai dengan grafik suhu yang diperoleh, dimana suhu ruang sayur mulai meningkat melampaui 10°C setelah hari kelima proses penyimpanan berlangsung. Dengan demikian dapat dikatakan bahwa lamanya penyimpanan dingin sawi hijau menggunakan kotak pendingin sederhana hanya dapat bertahan selama lima hari penyimpanan.

Laju respirasi dikendalikan oleh suhu. Pada setiap kenaikan suhu 10°C, laju pernafasan meningkat dua atau tiga kali dengan setiap peningkatan suhu 10°C (Winarno, 2002). Menurut Muchtadi (1992) suhu di antara 32° dan 95°F (0-35°C) kecepatan respirasi pada sayuran dan buah-buahan akan meningkat sampai dua setengah kalinya untuk tiap kenaikan suhu sebesar 18°F (10°C), yang menunjukkan adanya baik pengaruh proses biologis maupun kimia. Di atas suhu 95°F (35°C), kecepatan respirasi merupakan hasil dari pengaruh suhu terhadap reaksi kimia dan pengaruh penghambatan suhu tinggi terhadap aktivitas enzim.

4.5. Kelembaban

Data pengukuran kelembaban diamati hanya pada kelembaban luar atau lingkungan dan diamati pada thermometer bola basah dan bola kering kemudian diplot pada grafik psychrometric chart. Hasil pengamatan dapat dilihat pada tabel lampiran 2. Setelah data diplot pada grafik psychrometric chart dan data dibuat grafik diperoleh hasil seperti terlihat pada gambar 11.



Gambar 9. Grafik perbandingan suhu dan perubahan Rh

Dari Gambar Grafik kelembaban diatas terlihat bahwa disiang hari pukul 01.00pm kelembaban rendah Rh 77,25 dan menjelang sore kelembaban udara luar cenderung meningkat dan mencapai puncaknya pada pagi hari pukul 04.00am dengan Rh 84.5. Kelembaban udara luar setelah pagi hari terus menurun sampai pada pukul 10.00am dengan Rh 79.5. Grafik ini mengartikan bahwa kelembaban udara luar mengikuti suhu udara luar karena memang kelembaban ini didasarkan pada perubahan suhu luar atau lingkungan. Jadi dapat dikatakan bahwa kelembaban mengikuti posisi matahari. Pada siang hari kelembaban relatif turun dan pada malam hari kelembaban naik dan mencapai puncak pada pukul 4 pagi dan kemudian menurun.

KESIMPULAN

Kesimpulan

1. Terjadi sirkulasi udara di dalam kotak pendingin sederhana akibat perbedaan temperatur udara antara ruang es dan ruang sayur dengan suhu terendah 5°C di

ruang sayur dan suhu tertinggi di daun 33°C.

2. Terjadi penurunan berat sayur akibat proses respirasi dan transpirasi selama proses penyimpanan dingin sayur sebesar 172 g dari berat sayur awal 24 kg atau rata-rata 75,3 g dari berat awal 8 kg.
3. Laju pendinginan yang diperoleh dalam penelitian ini, masing-masing yaitu, untuk ruang es 0,23°C/jam, suhu ruang sayur 0,20°C/jam, pangkal sayur 0,14 °C/jam, batang sayur 0,16°C/jam dan daun 0,13°C/jam.
4. Penelitian ini berlangsung selama 8 hari dengan tingkat kesegaran sayur 5 hari dan kelembaban udara luar berfluktuasi mengikuti posisi matahari yaitu di siang hari pukul 01.00pm Rh rendah 77.25% dan di malam hari meningkat dan mencapai puncaknya di pagi hari pada pukul 04.00am 84,5%.

Saran

- Untuk lakban sebaiknya menggunakan lakban berwarna coklat bukan lakban transparan agar lebih melekat sehingga tidak ada udara yang keluar dari dalam kotak pendingin sederhana dengan begitu sayur bisa disimpan lebih lama dalam kotak pendingin sederhana.
- Untuk pembukaan kran sebaiknya dilakukan satu hari sekali atau dua hari sekali.

DAFTAR PUSTAKA

- Browne , M. E. 1999. **Theori and Problems in Physics for Engineering and Science.**, New York : McGraw-Hill, Inc.
- Edmond, J. B., A. M, Andrews. F. S. 1975. **Fundamental of Horticulture.** Mc Graw Hill Book Co. Inc., New York.
- Fennema, O. R. 1997. **Principles of Food Science.** Merceel Dekker Inc., New York.
- Handenburg, R. E., Chien Yi Wang, Alley E. Watada. 1990. **The Cormmercial Storage of Fruit, Vegetable and Florist and Nursery Stock.** United States Departement of Agricultural.
- Handerson, S. M. M. S, Perry, R. L. M. E. 1976. **Agricultural Process Engineering. Third Edition.** The AVI Pubishing Company, Inc. Wesport, Connecticut.
- Holdman, 1981. **Heat Transfer,** Mc Graw-Hill Kogakusha Ltd, Tokyo.
- Kader, A. A. 1992. **Postharvest Biologyand Technology an Over View.** In Kader, A. A. Editor. **Postharvest Tecnology of Horticultural Crops.** University of California. Division of Agriculture and Natural Resource, USA.
- Kader, A. A 2002. **Postharvest Technology of Horticultural Crops.** Devision of Agricultural and Natural Resources. University of California.

- Kandati, H. 2007. **Karakteristik Pendinginan Vakum Petsai (*Brassica Pekinensis*)**. Universitas Sam Ratulangi Manado.
- Kays, J, S. 1991. **Postharvest Physiology of Perishable plant Products**. Van Nostrand Reinhold. New York.
- Mohsenin, N. N. 1980. **Thermal Properties of Foods Agricultural Material**. Gordon and Breach Science Publishers: New York.
- Muchtadi, D. 1992. **Fisiologi Pasca Panen Sayuran dan Buah-buahan. Institute Pertanian Bogor**
- Pantastico, Er. B. 1986. **Fisiologi Pasca Panen Pemanfaatan Buah-Buahan dan Sayur-Sayuran Tropika Dan Subtropika**. UGM. Yogyakarta.
- Rorimpandey, 2009. **Uji Mutu Fisik Bunga Gladiol Selama Proses Menggunakan Prototipe Alat Pendingin Bunga Potong**. Skripsi. Jurusan Teknologi Pertanian, Universitas Sam Ratulangi Manado.
- Saparinto. C, Setyaningrum. H. D. 2011. **Penen Sayur Secara Rutin di Lahan Sempit**. Semarang
- Satuhu, S. Murtaningsih. 2004. **Mawar: Pemanfaatan Untuk Bunga Potong**. Penebar Swadaya. Jakarta.
- Sears dan Zemansky. 1962. **Fisika Untuk Universitas** 1. **Mekanika, panas dan Bunyi. Binacipta Bandung**
- Thompson, J. F. F, G. Mitchell, C. H. Crisoto, R. F. Kashmire., 1998. **Commercial Cooling of Fruits, Vegetables, and Flower**. University of California Division of Agriculture And natural Resources California.
- Tranggono dan Sutardi, 1989. **Biokimia dan Teknologi Pasca Panen. Fakultas Pangan dan Gizi**. Universitas UGM. Yogyakarta.
- Wills. R. H. H. T. H. Lee, D. Graham, W. G., Meglason, E. G. Hall., 1998. **Postharvest: An Introduction to the Physiology and Handling of Fruit and Vegetables**. New South Wales University Press United Kinsington. Australia.
- Winarno, F. G. 2002. **Fisiologi Lepas Panen Produk Hortikultura**.
- Wiryanto, K. 1993. **Penanganan Pasca Panen Bunga Anggrek**. Buletin Anggrek. No 6 (III) : 161-165

