

Pengaruh Suhu Penyimpanan dan Jumlah Perforasi Kemasan Terhadap Karakteristik Fisik dan Kimia Brokoli (*Brassica oleracea* var. Royal G) *Fresh-Cut* [The Effect of Storage Temperatures and Perforations on Physical and Chemical Characteristics of Fresh-Cut Broccoli (*Brassica oleracea* var. Royal G)]

Ali Asgar

Balai Penelitian Tanaman Sayuran, Jln. Tangkuban Parahu No. 517, Lembang, Bandung Barat, Jawa Barat, Indonesia 40391

E-mail: asgar1957@yahoo.com

Diterima: 2 September 2015; direvisi: 22 Maret 2017; diterbitkan: 3 April 2017

ABSTRAK. *Fresh-cut* adalah perlakuan dengan membuang bagian yang tidak dikonsumsi pada sayuran dan buah-buahan dengan dikupas atau dipotong sehingga 100% produk dapat digunakan untuk kemudian dikemas dan didistribusikan kepada konsumen dalam kondisi nutrisi, *flavor*, dan kesegaran yang masih terpelihara. *Fresh-cut* atau pengolahan minimal dalam bentuk potongan segar merupakan alternatif untuk mempercepat dan mempermudah proses pengolahan, meningkatkan keamanan dan kualitas, memperluas distribusi, dan mengurangi limbah sampah yang dapat mencemari lingkungan. Dalam mempertahankan mutu brokoli *fresh-cut* selama penyimpanan direkomendasikan untuk menggunakan kemasan dan penyimpanan pada suhu dingin. Tujuan penelitian adalah untuk mendapatkan suhu penyimpanan dan jumlah perforasi yang memberikan efek paling baik pada kualitas segar brokoli potongan. Penelitian dilakukan dari bulan April sampai Juli 2014 di Laboratorium Fisiologi Hasil, Balai Penelitian Tanaman Sayuran (BALITSA) di Lembang. Penelitian menggunakan rancangan acak kelompok (RAK) pola faktorial. Faktor pertama adalah suhu penyimpanan, yaitu 5°C dan 10°C. Faktor kedua adalah jumlah perforasi, yaitu 0,5% dan 1% dan tiap perlakuan diulang sebanyak enam kali. Hasil penelitian terpilih adalah perlakuan brokoli yang disimpan pada suhu 5°C dengan jumlah perforasi 0,5%. Jumlah lubang perforasi yang berlebihan mengakibatkan kebusukan pada brokoli.

Kata kunci: *Fresh-cut* brokoli; Karakteristik; Suhu penyimpanan; Perforasi

ABSTRACT. *Fresh-cut* is a treatment for vegetable or fruit by removing the part that is not consumed peeling or cutting so that 100% of the products can be used for later packaged and distributed to the consumer in a state of nutrition, flavor, and freshness are preserved. *Fresh-cut* or minimal processing in the form of fresh cuts is an alternative to accelerate and simplify processing, improve security and quality, expand distribution, and reduce waste that can pollute the environment. In maintaining the quality of *fresh-cut* broccoli during storage is recommended to use the packaging and storage at cold temperature. The purpose of this study was to determine the storage temperatures and the number of perforations that provide the best effect on the quality of *fresh-cut* broccoli. This research was conducted from April to July 2014 in the Laboratory of Postharvest, Indonesian Vegetable Research Institute (IVEGRI) at Lembang. The research used randomized block design with factorial pattern. The first factor was the storage temperature 5°C and 10°C. The second factor was number of perforations 0,5% and 1%. Each treatment was repeated six times. The result of selected study was broccoli stored at 5°C with a number of perforations of 0.5%. Excessive number of perforated holes caused broccoli to be rot.

Keywords: *Fresh-cut* broccoli; Characteristics; Storage temperature; Perforation

Fresh-cut adalah perlakuan dengan membuang bagian yang tidak dikonsumsi pada sayuran dan buah-buahan dengan dikupas atau dipotong sehingga 100% produk dapat digunakan untuk kemudian dikemas dan didistribusikan pada konsumen dalam kondisi nutrisi, *flavor*, dan kesegaran yang masih terpelihara (James & Ngarmsak 2010), Musaddad (2013). Oleh karena itu produk *fresh-cut* disebut sebagai produk siap guna (*ready to use*) sehingga memudahkan dalam proses pengolahan selanjutnya. Menurut Ahvenainen (2000), produk *fresh-cut* adalah produk yang siap dikonsumsi dengan informasi masa simpan dan catatan keamanan serta nutrisi yang jelas dan disimpan pada penyimpanan dingin yang suhunya terpantau. Pada proses awal bahan biasanya diperlakukan dengan suhu dingin

(*precooling*), kemudian dicuci dengan desinfektan, dikupas, direndam dengan bahan pengawet mikrob, anti *browning* dan pengawet tekstur kemudian dikemas dan disimpan pada suhu dingin (Barta *et al.* 2006, Rivera 2005).

Fresh-cut atau pengolahan minimal dalam bentuk potongan segar merupakan alternatif untuk mempercepat dan mempermudah proses pengolahan, meningkatkan keamanan dan kualitas, memperluas distribusi, dan mengurangi limbah sampah yang dapat mencemari lingkungan. Namun, menurut Dong *et al.* (2000) dan Del Aguila *et al.* (2006), pemotongan yang dilakukan pada proses tersebut menyebabkan luka pada jaringan brokoli dan menimbulkan peningkatan laju respirasi, mempercepat kehilangan air, mempermudah

kerusakan oleh mikroba sehingga produk mengalami penurunan kualitas bahan dibandingkan dengan produk utuh. Luka pada jaringan menyebabkan berkurangnya keutuhan sel sehingga menyebabkan peningkatan laju respirasi, degradasi membran sel, reaksi pencokelatan, dan laju transpirasi yang akhirnya terjadi penurunan kualitas (Sapers *et al.* 1991).

Usaha yang dapat dilakukan untuk mempertahankan kualitas dan memperpanjang umur simpan produk olahan minimal (*fresh-cut*) antara lain dengan pengemasan dan penyimpanan pada suhu rendah. Prinsip penyimpanan pada suhu rendah atau pendinginan menyatakan bahwa pada setiap penurunan suhu 8°C, kecepatan reaksi metabolisme berkurang setengahnya. Menurut Zainal & Tawali (2004), penyimpanan buah anggur pada suhu dingin yang stabil dapat memperpanjang daya simpan buah dilihat dari segi penurunan bobot atau kadar air. Kehilangan air sebanyak 2 – 6% dapat menyebabkan penurunan kualitas.

Brokoli dengan pengolahan minimal merupakan brokoli yang dibuang bagian bonggol dan daunnya, kemudian dibentuk dan sesuai ukuran untuk dikonsumsi. Bahan tersebut masih melakukan aktivitas fisiologis dan transpirasi sehingga perlu dilakukan pemilihan kemasan yang dapat mengendalikan transmisi uap air dengan tingkat permeabilitas terhadap udara yang sesuai untuk kemudian dapat memberikan pengaruh positif terhadap kelangsungan hidupnya. Ben-Yehosua (1985) menyatakan bahwa upaya menjaga kondisi atmosfer internal (*microatmosphere*) melalui pembungkusan buah dengan plastik film dapat menghambat penurunan integritas membran dan pelunakan.

Film kemasan yang baik untuk penyimpanan produk segar buah dan sayuran adalah film kemasan yang mempunyai permeabilitas terhadap CO₂ lebih tinggi dibandingkan permeabilitas terhadap O₂ sehingga akumulasi CO₂ akibat respirasi lebih sedikit daripada penyusutan O₂ (Suhelmi 2007).

Sirichote *et al.* (2008) menyatakan bahwa metode pengolahan, film pengemas, dan suhu penyimpanan merupakan faktor penting yang memengaruhi kualitas rambutan yang diolah minimal. Rajkumar & Mitali (2009) menyatakan bahwa penggunaan polietilen tertutup pada penyimpanan suhu dingin sangat efektif dalam memperpanjang umur simpan jambu air. Ini menunjukkan bahwa pengemasan mempunyai peranan penting dalam memperpanjang umur simpan.

Sebagai perbandingan, hasil penelitian tentang pengemasan jamur tiram dalam kantong plastik yang dilakukan Handayani (2008) menunjukkan desain kemasan terbaik adalah plastik PP (polypropilen)

dengan empat lubang berdiameter 5 mm yang disimpan pada suhu 5°C, kondisi tersebut dapat mempertahankan kualitas jamur tiram putih hingga 12 hari. Hasil penelitian Mandana *et al.* (2012) menunjukkan bahwa perlakuan perendaman di dalam 300 ppm klorin dengan perforasi kemasan sebesar 3% secara signifikan mampu menekan susut bobot dan tingkat pembusukan pada buah cabai merah besar dibandingkan perlakuan lainnya dan kontrol. Wadah pengemasan sayuran tanpa lubang perforasi dapat menyebabkan pembusukan sehingga perlu adanya lubang perforasi yang dapat membuang hasil respirasi melalui lubang perforasi tersebut. Untuk menghambat laju respirasi dilakukan pengemasan dalam kantong plastik. Namun, kemasan tersebut harus dilubangi untuk mencegah terjadinya reaksi anaerob yang menimbulkan pembusukan dan bau yang tidak enak.

Menurut Gillies & Toivonen (1995), kehilangan bobot brokoli yang di-*hydrocooling* dan dibungkus dengan *wrapping plastic* berlubang berkurang, warna lebih baik daripada di-*top iced* atau ruang berpendingin brokoli tanpa *plastic film*.

Tujuan penelitian adalah untuk memperoleh suhu penyimpanan dan jumlah perforasi kemasan yang memberikan pengaruh paling baik terhadap mutu brokoli *fresh-cut*. Dengan hipotesis suhu penyimpanan dan jumlah perforasi berpengaruh terhadap mutu brokoli *fresh-cut*.

BAHAN DAN METODE

Waktu dan Tempat

Penelitian dilakukan dari bulan April sampai Juli 2014 di Laboratorium Fisiologi Hasil Balai Penelitian Tanaman Sayuran dengan menggunakan rancangan acak kelompok pola faktorial. Faktor pertama adalah suhu penyimpanan yang terdiri dari 5°C dan 10°C. Faktor kedua adalah jumlah perforasi yang terdiri dari 0,5% dan 1%. Tiap kombinasi perlakuan diulang enam kali sehingga percobaan terdiri dari 2 x 2 x 6 = 24 satuan percobaan.

Bahan Penelitian

Bahan baku utama yang digunakan dalam penelitian ini adalah brokoli lokal Bejo (varietas Green King) yang dipanen dari kebun Balai Penelitian Tanaman Sayuran (BALITSA) Lembang dengan massa bunga (*curd*) mencapai ukuran maksimal dan padat (kompak), serta kuncup bunga belum mekar. Panen dilakukan pada umur 50–70 hari setelah tanam. Setelah panen, batang dipotong berukuran panjang 15 cm yang disertai

dengan 3–4 helai daun, kemudian dipotong kembali menjadi 4–5 cm untuk ukuran *fresh-cut*.

Sebelumnya dilakukan penelitian pendahuluan untuk menentukan posisi lubang kemasan dan diperoleh hasil akhir terbaik, yaitu posisi perforasi model I (lubang menyebar di seluruh permukaan baki), model II (tanpa perforasi di dasar) dan model III (tanpa perforasi di dasar dan di atas), di mana jumlah lubang yang digunakan sebanyak 29 lubang dengan diameter lubang 0,3 cm.

Brokoli *fresh-cut* ditimbang sebanyak 150 g untuk tiap kombinasi perlakuan. Bahan dimasukkan ke dalam baki *styrofoam* sesuai dengan perlakuan, yaitu: (1) kemasan baki berperforasi 0,5% dan (2) kemasan baki berperforasi 1%. Brokoli *fresh-cut* yang telah dikemas disimpan pada *cold storage* sesuai dengan perlakuan selama 15 hari dan pengamatan dilakukan pada hari ke-0, 5, 10, dan 15.

Pengamatan yang dilakukan adalah respons kimia yang meliputi analisis kadar air (Gravimetri) dan vitamin C (Iodimetri), respons fisik yang meliputi susut bobot, kekerasan (penetrometer), dan kecerahan warna yang dinyatakan dengan nilai L, a, b (Chromameter).

Analisis data dilakukan dengan menggunakan uji Duncan pada taraf 5%.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kadar Air

Hasil analisis statistik kadar air pada Tabel 1 menunjukkan bahwa suhu penyimpanan dan jumlah perforasi tidak berpengaruh terhadap kadar air brokoli *fresh-cut* dan tidak ada interaksi di antara keduanya. Bahan pengemas dan suhu rendah dapat menekan

laju respirasi serta mempertahankan kesegaran. Pengemasan berperforasi dapat mengurangi kehilangan kandungan air sayuran segar sehingga dapat mencegah terjadinya dehidrasi. Perubahan kadar air disebabkan oleh terjadinya proses respirasi pada sayuran (Shakty 2008, Rosalina 2012).

Proses tersebut dapat mengaktifkan enzim dalam sel bahan. Aktivitas enzim dapat meningkatkan hidrolisis zat-zat dalam sel. Proses hidrolisis menghasilkan CO₂ dan H₂O sehingga dapat meningkatkan kandungan air. Hal ini sejalan dengan hasil penelitian Singh & Sagar (2010) yang menyatakan bahwa sayuran daun yang dikemas mengalami peningkatan kadar air selama penyimpanan dan peningkatan pada suhu kamar relatif lebih tinggi dibandingkan dengan suhu rendah. Kadar air brokoli pada perlakuan suhu penyimpanan yang rendah dan dikemas dapat mempertahankan kesegaran karena proses laju respirasi terhambat dan sebaliknya jika pada suhu penyimpanan yang tinggi maka kadar air yang terkandung pada brokoli akan semakin menurun sehingga kesegaran dan kekerasan ikut menurun.

Zain *et al.* (2005) mengemukakan teori bagan psikometrik dan konsep energi. Penurunan suhu akan berakibat pada penurunan uap air. Konsep energi mengemukakan bahwa air mengalir dari energi tinggi ke energi rendah. Pada ruang dengan kadar air udara lebih rendah, energi H₂O-nya lebih kecil. Dengan asumsi kadar air bahan yang disimpan sama maka penurunan suhu dapat menyebabkan peningkatan selisih energi H₂O antara bahan dengan udara. Peningkatan selisih ini berakibat pada peningkatan air yang hilang dari bahan. Oleh karena itu kadar air yang hilang semakin banyak seiring dengan penurunan suhu penyimpanan. Berdasarkan perubahan kadar air maka semua perlakuan kemasan berperforasi memberikan

Tabel 1. Kadar air (%) brokoli *fresh-cut* dari berbagai suhu penyimpanan dan jumlah perforasi hari ke-5, 10, dan 15 [*Water content (%) of fresh-cut broccoli from different storage temperature and total perforation at 5th, 10th, and 15th day*] Kadar air hari ke-0 = 87, 27%

Perlakuan (<i>Treatments</i>)	Rerata (<i>Average</i>)		
	Hari ke-5 (<i>Day 5th</i>)	Hari ke-10 (<i>Day 10th</i>)	Hari ke-15 (<i>Day 15th</i>)
Suhu penyimpanan (<i>Storage temperature</i>)			
5°C	89,95 a	90,82 a	91,63 a
10°C	90,54 a	91,19 a	91,74 a
Jumlah perforasi (<i>Number of perforation</i>)			
0,5%	90,54 a	91,68 a	91,86 a
1%	89,95 a	90,33 a	91,51 a

Rerata diikuti huruf yang sama tidak berbeda nyata menurut uji jarak berganda Duncan taraf 5% (*Number in the same column followed by the same letter are not significantly different according to DMRT 5%*)

pengaruh positif dalam melindungi produk dari kehilangan air.

Vitamin C

Hasil analisis statistik vitamin C brokoli *fresh-cut* hari ke-5, 10, dan 15 penyimpanan tidak terjadi interaksi. Tabel 2 menunjukkan bahwa perlakuan penyimpanan pada suhu 5°C memberikan vitamin C paling tinggi dan berbeda nyata dengan perlakuan pada suhu 10°C.

Suhu penyimpanan berpengaruh terhadap kandungan vitamin C dari brokoli, seperti yang dinyatakan oleh Safaryani (2007), yaitu stabilitas vitamin C biasanya meningkat dengan penurunan suhu penyimpanan. Mengingat sifat vitamin C yang mudah berubah akibat oksidasi yang dapat dipercepat oleh suhu tinggi, cahaya, dan juga panas namun stabil jika merupakan kristal (murni) maka kehilangan ini dapat dicegah dengan penyimpanan pada suhu dingin (5°C).

Brokoli yang disimpan pada suhu 5°C selama 5, 10, dan 15 hari memiliki kandungan vitamin C lebih tinggi dibandingkan dengan yang disimpan pada suhu 10°C, meskipun kandungan vitamin C tersebut mengalami penurunan dari hari ke hari hingga hari ke-15.

Semakin lama penyimpanan maka kandungan vitamin C semakin berkurang (Tabel 2). Hal ini disebabkan oleh adanya aktivitas enzim askorbat oksidase yang berperan dalam perombakan vitamin C. Enzim asam askorbat akan mengoksidasi asam L-askorbat menjadi asam L-dehidroaskorbat (Safaryani 2007). Asam ini secara kimia juga sangat labil dan mengalami perubahan lebih lanjut menjadi asam L-diketogulonat yang tidak lagi memiliki keaktifan sebagai vitamin C. Suasana basa menyebabkan asam

L-diketogulonat teroksidasi menjadi asam oksalat dan asam L-treonat. Hal ini berarti aktivitas enzim yang berperan dalam perombakan vitamin C masih berlangsung terus dengan bertambahnya waktu penyimpanan. Di samping itu aktivitas enzim ini selain dipengaruhi oleh suhu juga dipengaruhi oleh lama penyimpanan.

Menurut penelitian Sri Haryati (2007), penurunan vitamin C pada brokoli dapat mencapai 50% hanya dalam beberapa hari penyimpanan. Hasil terbaik adalah brokoli *fresh-cut* yang disimpan pada suhu 5°C dengan kandungan vitamin C tertinggi (76,9 mg/100 g).

Susut Bobot

Hasil analisis statistik susut bobot brokoli *fresh-cut* hari ke-5, 10, dan 15 menunjukkan tidak terjadi interaksi. Pada hari ke-5 menunjukkan bahwa suhu penyimpanan dan jumlah perforasi kemasan tidak berpengaruh terhadap susut bobot brokoli *fresh-cut* (Tabel 3).

Pada hari ke-10 dan ke-15 dengan suhu penyimpanan 10°C, susut bobot brokoli lebih tinggi dibandingkan dengan yang disimpan pada suhu 5°C. Menurut Finger *et al.* (1999), kecepatan susut bobot pada brokoli sangat dipengaruhi oleh suhu dan kelembapan udara pada tempat penyimpanan. Semakin tinggi suhu dan semakin rendah kelembapan udara maka laju respirasi brokoli akan semakin tinggi sehingga menurunkan bobot bahan tersebut menurun.

Finger *et al.* (1999) menjelaskan bahwa susut bobot brokoli menyebabkan ketegaran bahan menjadi menurun sehingga brokoli menunjukkan tanda-tanda kelayuan. Selain itu, klorofil pada bunga brokoli akan mengalami degradasi yang menyebabkan warna

Tabel 2. Kandungan vitamin C (mg/100 g) brokoli *fresh-cut* dari berbagai suhu penyimpanan dan jumlah perforasi hari ke-5, 10, dan 15 (*Vitamin C content (mg/100 g) of fresh-cut broccoli from different storage temperature and total perforation at 5th, 10th, and 15th day*) Kandungan vitamin C hari ke-0 = 70,04 mg/100 g

Perlakuan (<i>Treatments</i>)	Rerata (<i>Average</i>)		
	Hari ke-5 (<i>Day 5th</i>)	Hari ke-10 (<i>Day 10th</i>)	Hari ke-15 (<i>Day 15th</i>)
Suhu penyimpanan (<i>Storage temperature</i>)			
5°C	76,9 b	76,2 b	72,4 b
10°C	68,1 a	65,5 a	64,9 a
Jumlah perforasi (<i>Number of perforation</i>)			
0,5%	72,85 a	72,58 a	71,66 a
1%	72,17 a	69,07 a	65,33 a

Rerata diikuti huruf yang sama tidak berbeda nyata menurut uji jarak berganda Duncan taraf 5% (*Number in the same column followed by the same letter are not significantly different according to DMRT 5%*)

Tabel 3. Susut bobot (%) brokoli *fresh-cut* dari berbagai suhu penyimpanan dan jumlah perforasi hari ke 5, 10, dan 15 [Weight loss (%) of *fresh-cut* broccoli from different storage temperature and total perforation at 5th, 10th, and 15th day]

Perlakuan (Treatments)	Rerata (Average)		
	Hari ke-5 (Day 5 th)	Hari ke-10 (Day 10 th)	Hari ke-15 (Day 15 th)
Suhu penyimpanan (Storage temperature)			
5°C	0,55 a	1,08 a	1,65 a
10°C	0,56 a	1,11 b	1,74 b
Jumlah perforasi (Number of perforation)			
0,5%	0,56 a	1,08 a	1,66 a
1%	0,55 a	1,12 a	1,73 a

Rerata diikuti huruf yang sama tidak berbeda nyata menurut uji jarak berganda Duncan taraf 5% (Number in the same column followed by the same letter are not significantly different according to DMRT 5%)

brokoli berubah menjadi kekuningan. Perubahan warna yang terjadi pada klorofil dapat disebabkan oleh beberapa hal, perubahan warna hijau menjadi kuning kemudian kecokelatan disebabkan oleh pigmen klorofilnya jauh lebih sedikit dibandingkan karoten.

Setyadjit & Sjaifullah (1994) menyatakan bahwa suhu tinggi menyebabkan proses transpirasi lebih cepat daripada suhu rendah. Transpirasi yang tinggi dapat menurunkan kadar air buah manggis sehingga susut bobot menjadi besar. Selain itu, suhu tinggi menyebabkan respirasi meningkat. Oleh karena pada proses respirasi terjadi pemecahan senyawa organik hasil fotosintesis menjadi CO₂ dan air sehingga bobot buah berkurang.

Semakin lama penyimpanan, susut bobot produk semakin meningkat. Menurut Sembiring (2009) susut bobot yang semakin meningkat selama penyimpanan menunjukkan semakin meningkatnya proses respirasi dan transpirasi. Proses respirasi dan transpirasi mengakibatkan kehilangan substrat dan air sehingga terjadi perubahan susut bobot. Bobot buah dan sayur senantiasa menurun selama pematangan dan penyimpanan. Dari Tabel 3, perlakuan terpilih adalah brokoli *fresh-cut* pada suhu 5°C dengan nilai susut bobot paling rendah (0,55%) pada hari ke-5, 1,08% pada hari ke-10, dan 1,65% pada hari ke-15.

Kekerasan

Prinsip dari pengukuran kekerasan dengan penetrometer adalah pada penetrasi yang semakin dalam menunjukkan jaringan yang semakin mudah ditembus atau lemah. Peningkatan nilai kekerasan menunjukkan semakin lunaknya jaringan brokoli *fresh-cut*.

Pada hari ke-5, 10, dan 15, suhu penyimpanan dan jumlah perforasi tidak berpengaruh terhadap kekerasan brokoli *fresh-cut* dan tidak ada interaksi di antara keduanya. Pada hari ke-5, ketegaran dari bunga

brokoli masih dapat dipertahankan, selain itu diperoleh nilai rerata yang relatif sama derajatnya pada semua tingkatan suhu penyimpanan dan jumlah perforasi.

Pada hari ke-10 dan ke-15, brokoli yang disimpan dalam kemasan dengan jumlah perforasi 0,5% memiliki nilai kekerasan lebih rendah dibandingkan dengan yang disimpan dalam kemasan dengan jumlah perforasi 1%. Komoditas dengan laju respirasi tinggi (seperti brokoli) akan memiliki umur simpan lebih pendek dibanding dengan yang memiliki laju respirasi rendah (Saltveit 1996) yang akan berpengaruh terhadap kekerasan dan ketegarannya. Ariestiani (2012) berpendapat bahwa pemberian lubang-lubang perforasi pada brokoli mutlak diperlukan karena brokoli mempunyai kecepatan respirasi tinggi dan sangat sensitif terhadap kerusakan anaerob. Walaupun kecepatan respirasinya tinggi, tetapi jika jumlah lubang perforasinya berlebihan akan mengakibatkan terjadinya kebusukan pada brokoli tersebut. Produk yang memiliki kecepatan respirasi rendah, tidak terlalu banyak membutuhkan oksigen maka dari itu pemberian perforasi 0,5% dirasa cukup pada kemasan brokoli *fresh-cut* ini agar memungkinkan masuknya O₂ yang cukup dan menghindarkan kerusakan dalam hal ini brokoli kehilangan kekerasan dan ketegarannya.

Data pada Tabel 4 menunjukkan bahwa semakin lama penyimpanan, nilai angka kekerasan brokoli semakin meningkat artinya brokoli semakin lunak. Hal ini menandakan bahwa brokoli mulai kehilangan ketegarannya seiring dengan lamanya penyimpanan. Aktifnya enzim-enzim pektinmetilesterase, yaitu pada hasil tanaman berada dalam proses masak, ternyata telah melangsungkan pemecahan atau kerusakan pektin menjadi senyawa-senyawa lain yang menyebabkan berubahnya tekstur hasil tanaman, biasanya hasil tanaman yang tadinya keras akan berubah menjadi lunak. Perubahan tekstur akan berlangsung lebih cepat ketika hasil tanaman berada dalam penyimpanan.

Tabel 4. Kekerasan (mm) brokoli *fresh-cut* dari berbagai suhu penyimpanan dan jumlah perforasi hari ke 5, 10, dan 15 [*Hardness (mm) of fresh-cut broccoli from different storage temperature and total perforation at 5th, 10th, and 15th day*] Kekerasan hari ke-0 = 1,48 mm

Perlakuan (<i>Treatments</i>)	Rerata (<i>Average</i>)		
	Hari ke-5 (<i>Day 5th</i>)	Hari ke-10 (<i>Day 10th</i>)	Hari ke-15 (<i>Day 15th</i>)
Suhu penyimpanan (<i>Storage temperature</i>)			
5°C	1,53 a	1,64 a	1,96 a
10°C	1,49 a	1,59 a	1,97 a
Jumlah perforasi (<i>Number of perforation</i>)			
0,5%	1,47 a	1,57 b	1,87 b
1%	1,54 a	1,65 a	2,05 a

Rerata diikuti huruf yang sama tidak berbeda nyata menurut uji jarak berganda Duncan taraf 5% (*Number in the same column followed by the same letter are not significantly different according to DMRT 5%*)

Tabel 5. Nilai L brokoli *fresh-cut* dari berbagai suhu penyimpanan dan jumlah perforasi hari ke-5, 10, dan 15 [*L value of fresh-cut broccoli from different storage temperature and total perforation at 5th, 10th, and 15th day*] Nilai L hari ke-0 = 35,33

Perlakuan (<i>Treatments</i>)	Rerata (<i>Average</i>)		
	Hari ke-5 (<i>Day 5th</i>)	Hari ke-10 (<i>Day 10th</i>)	Hari ke-15 (<i>Day 15th</i>)
Suhu penyimpanan (<i>Storage temperature</i>)			
5°C	36,20 a	34,14 a	38,01 a
10°C	42,48 b	44,82 b	44,34 b
Jumlah perforasi (<i>Number of perforation</i>)			
0,5%	40,30 a	40,34 a	41,82 a
1%	38,14 a	38,63 a	40,53 a

Rerata diikuti huruf yang sama tidak berbeda nyata menurut uji jarak berganda Duncan taraf 5% (*Number in the same column followed by the same letter are not significantly different according to DMRT 5%*)

Dari Tabel 4 diperoleh hasil bahwa perlakuan terpilih untuk nilai kekerasan adalah kemasan dengan jumlah perforasi sebanyak 0,5%.

Analisis Warna

Menurut Soekarto (1985), sistem warna Hunter Lab memiliki tiga atribut, yaitu nilai L, a, dan b. Nilai L menunjukkan kecerahan sampel (warna kromatis, 0= hitam sampai 100 = putih). Warna kromatik merah sampai hijau ditunjukkan oleh nilai a (a= 0 sampai 100 untuk warna merah, a = 0 sampai -80 untuk warna hijau). Warna kromatik biru sampai kuning ditunjukkan oleh nilai b (b= 0 sampai 70 untuk warna kuning, b= 0 sampai -70 untuk warna biru).

Nilai L

Hasil analisis statistik nilai L brokoli *fresh-cut* ternyata tidak terjadi interaksi. Hasil pengujiannya disajikan pada Tabel 5. Semakin tinggi nilai L, warna semakin cerah. Tabel 5 menunjukkan bahwa pada hari ke-5 sampai ke-15 diperoleh hasil perlakuan pada suhu penyimpanan 5°C berbeda nyata dengan suhu 10°C dalam hal kecerahan (nilai L).

Warna bunga brokoli sebelum penyimpanan (hari ke-0 mempunyai nilai L sebesar 35,33) hingga hari ke-5 warna hijau brokoli masih dapat dipertahankan. Kondisi warna bunga brokoli yang menunjukkan paling hijau dan segar adalah pada penyimpanan suhu 5°C, ini menunjukkan bahwa brokoli yang disimpan pada suhu rendah (dingin) akan tetap terjaga kesegaran dan warna bunganya. Brokoli yang disimpan pada suhu 5°C dengan RH (kelembapan relatif) 90% memberikan hasil terbaik dalam mempertahankan tingkat kesegaran.

Perubahan warna hijau tersebut diakibatkan oleh substitusi magnesium (Mg) oleh hidrogen (H) dengan bantuan enzim klorofilase membentuk feofitin (Histifarina & Sinaga 1997). Mekanismenya adalah klorofil yang bersifat tidak stabil dan ion magnesium yang terdapat di dalamnya dapat dengan mudah digantikan oleh ion hidrogen. Akibatnya warna sayuran yang semula hijau berubah menjadi kecokelatan karena terbentuknya feofitin.

Setelah beberapa hari, tingkat kecerahan bunga brokoli meningkat. Proses metabolik (respirasi) akan terus berlanjut sehingga brokoli akan mengalami

Tabel 6. Nilai a brokoli *fresh-cut* dari berbagai suhu penyimpanan dan jumlah perforasi hari ke 5, 10, dan 15 (*a value of fresh-cut broccoli from different storage temperature and total perforation at 5th, 10th, and 15th day*) Nilai a hari ke-0 = -11,67

Perlakuan (<i>Treatments</i>)	Rerata (<i>Average</i>)		
	Hari ke-5 (<i>Day 5th</i>)	Hari ke-10 (<i>Day 10th</i>)	Hari ke-15 (<i>Day 15th</i>)
Suhu penyimpanan (<i>Storage temperature</i>)			
5°C	-10,45 a	-9,13 a	-4,53 a
10°C	-11,33 a	-7,91 a	-10,85 b
Jumlah perforasi (<i>Number of perforation</i>)			
0,5%	-10,88 a	-8,31 a	-7,49 a
1%	-10,90 a	-8,73 a	-7,89 a

Rerata diikuti huruf yang sama tidak berbeda nyata menurut uji jarak berganda Duncan taraf 5% (*Number in the same column followed by the same letter are not significantly different according to DMRT 5%*)

Tabel 7. Nilai b brokoli *fresh-cut* dari berbagai suhu penyimpanan dan jumlah perforasi hari ke-5, 10, dan 15 (*b value of fresh-cut broccoli from different storage temperature and total perforation at 5th, 10th, and 15th day*) Nilai b hari ke-0 = 21,90

Perlakuan (<i>Treatments</i>)	Rerata (<i>Average</i>)		
	Hari ke-5 (<i>Day 5th</i>)	Hari ke-10 (<i>Day 10th</i>)	Hari ke-15 (<i>Day 15th</i>)
Suhu penyimpanan (<i>Storage temperature</i>)			
5°C	17,71 a	15,21 a	20,63 a
10°C	23,94 b	24,21 b	27,66 b
Jumlah perforasi (<i>Number of perforation</i>)			
0,5%	20,75 a	20,53 a	25,01 a
1%	20,91 a	18,90 a	23,29 a

Rerata diikuti huruf yang sama tidak berbeda nyata menurut uji jarak berganda Duncan taraf 5% (*Number in the same column followed by the same letter are not significantly different according to DMRT 5%*)

kebusukan yang ditandai dengan hilangnya nilai gizi dan faktor mutu brokoli (dalam hal ini antara lain perubahan warna floret atau bunga brokoli). Komoditas dengan laju respirasi tinggi (seperti brokoli) akan memiliki umur simpan lebih pendek dibanding dengan yang memiliki laju respirasi rendah (Saltveit 1996). Dengan demikian, usaha mempertahankan mutu dan memperpanjang umur simpan pada dasarnya adalah menekan laju respirasi serendah mungkin tanpa mengganggu proses metabolismenya. Kesimpulan dari Tabel 5, perlakuan terpilih adalah penyimpanan brokoli *fresh-cut* pada suhu 5°C.

Yamashita *et al.* (2006) mencoba mengemas *fresh-cut-broccoli* dengan plastik *polypropylene* yang berisi serbuk (*sadengan chet*) *1-methylcyclopropene* (1-MCP) dan dibungkus dengan film yang berbasis pati *biodegradable*. Brokoli disimpan pada suhu 12°C. Setelah 8 hari, warna dan tekstur produk sama dengan brokoli segar, tanpa menimbulkan perubahan rasa. Kemasan dengan 1-MCP dalam bentuk serbuk efisien dapat memperlambat penguningan dan penurunan vitamin C sampai batas umur simpan brokoli, ini merupakan alternatif, yaitu 1-MCP dapat digunakan untuk produk-produk *fresh-cut*. Selain itu,

serbuk tersebut dapat menyerap air serta mengurangi pembusukan serta *off-flavor*.

Nilai a

Pada hari ke-5, 10, dan 15 antara suhu penyimpanan dan jumlah perforasi tidak terjadi interaksi terhadap nilai a brokoli *fresh-cut*. Hal ini dapat diduga bahwa pada suhu penyimpanan yang lebih rendah, bunga brokoli dapat mempertahankan warna hijaunya. Pada suhu 5°C brokoli masih dapat mempertahankan warna hijaunya dan pada suhu 10°C perubahan warna tidak terlalu nampak sehingga brokoli kelihatan masih agak hijau. Selain itu diduga jumlah perforasi yang tidak terlalu berbeda jauh yang menyebabkan suhu penyimpanan dan jumlah perforasi tidak berpengaruh terhadap nilai a brokoli *fresh-cut*.

Pada hari ke-15 brokoli yang disimpan pada suhu 10°C lebih hijau daripada yang disimpan pada suhu 5°C. Sejalan dengan penelitian Aminudin (2010) bahwa pada suhu penyimpanan yang lebih rendah dapat mempertahankan warna hijau bunga brokoli dan pada suhu penyimpanan yang tinggi dapat menyebabkan warna bunga brokoli menjadi cepat berubah.

Dari Tabel 6 menunjukkan bahwa perlakuan terpilih diperoleh pada penyimpanan pada suhu 5°C karena

memiliki nilai a yang paling rendah. mengalami penurunan selama penyimpanan hingga hari ke-15.

Nilai b

Hasil analisis statistik pengaruh suhu penyimpanan dan jumlah perforasi terhadap nilai b brokoli *fresh-cut* ternyata tidak terjadi interaksi. Hasil pengujiannya disajikan pada Tabel 7. Semakin tinggi nilai b, warna brokoli semakin mengarah ke kuning.

Data pada Tabel 7 menunjukkan bahwa pada penyimpanan hari ke-5, 10, dan 15, brokoli yang disimpan pada suhu 5°C berwarna lebih hijau dibandingkan dengan yang disimpan pada suhu 10°C. Pada penyimpanan dengan suhu 5°C, warna brokoli yang paling hijau adalah yang disimpan selama 5 hari. Ini menunjukkan bahwa brokoli yang disimpan pada suhu 5°C dengan RH (kelembapan relatif) 90% memberikan hasil terbaik dalam mempertahankan tingkat kesegaran. Data pada Tabel 7 juga menunjukkan bahwa jumlah lubang pada kemasan tidak berpengaruh terhadap nilai b.

KESIMPULAN DAN SARAN

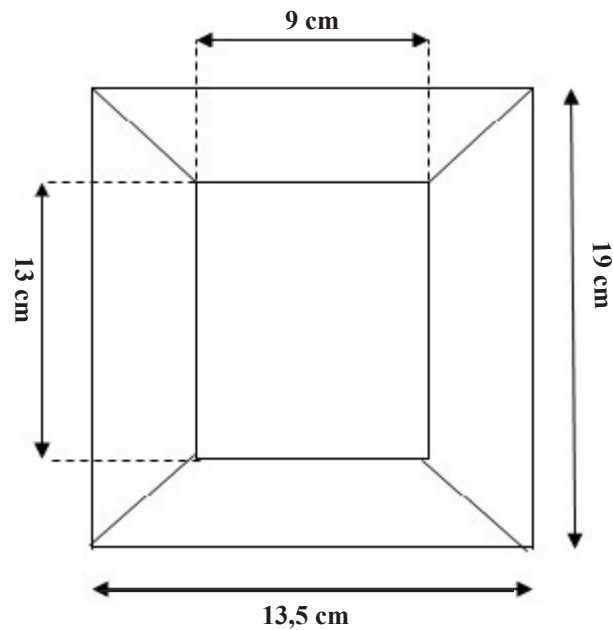
Suhu penyimpanan dan jumlah lubang kemasan tidak berpengaruh terhadap kadar air. Pada penyimpanan dengan suhu 5°C penurunan kadar vitamin C lebih rendah, susut bobot lebih kecil dan warna hijau brokoli masih bertahan (nilai b = 20,63), sedangkan untuk brokoli segar = 21,90. Kemasan dengan perforasi 0,5% dapat mempertahankan kekerasan brokoli sampai 15 hari.

DAFTAR PUSTAKA

1. Ahvenainen, 2000, 'Minimal processing in practice : Fresh Fruit and Vegetable', in Ohlsson, T & Bengtsson, N (eds.). *Minimal processing technologies in the food industry*, CRC Press, Boca Raton, USA.
2. Aminudin 2010, 'Kajian pengemasan brokoli (*Brassicca oleracea* L. var. *Italic*) secara atmosfer termodifikasi dikombinasikan dengan top icing selama transportasi darat', Tesis, Bogor (ID), Institut Pertanian Bogor, Bogor.
3. Ariestiani 2012, 'Perubahan karakteristik sayur dan buah yang dikemas dengan kemasan plastik pada berbagai kondisi penyimpanan', Skripsi, Fakultas Teknologi Industri Pangan, Universitas Padjadjaran, Bandung.
4. Barta Z, Houston, AI, McNamara, JM, Welham RK, Hedenstro MA, Weber TP & Fero, O 2006, *Annual routines of non-migratory birds: Optimal moult strategies*, Oikos 112, pp. 580-93.
5. Ben-Yehosua, S 1985, 'Individual seal-packaging of fruits and vegetables in plastic film, A new postharvest technique', *HortSci.*, vol. 20, no. 1 pp. 32-7.
6. Del Aguila, JS, Sasaki FF, Heiffig, LS, Ortege, EMM, Jacomono, AP & Kluge, RA 2006, 'Fresh-cut radish using different cut types and storage temperature', *Postharvest, Biol. Technol.*, vol. 40, pp. 149-54.
7. Dong, X, Wrolstad, RE & Sugar, D 2000, 'Extending shelf life of fresh-cut pears', *J. Food Sci.*, vol. 65, no. 1 pp. 182-6.
8. Finger, FL, Endres, L, Mosquim & Puiatti, M 1999, 'Physiological changes during postharvest senescence of broccoli', *Pesq. Agropec. Bras., Brasília*, vol. 34, no. 9, pp. 1565-9.
9. Gillies, SL & Toivonen PMA 1995, 'Cooling Method Influences the Postharvest Quality of Broccoli', *HortSci.*, vol. 30, no. 2, pp. 313-5.
10. Handayani, RT 2008, 'Pengemasan atmosfer termodifikasi jamur tiram putih (*Pleurotus ostreatus*)', Skripsi, Departemen Teknologi Industri Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor, Bogor.
11. Histifarina, D & Sinaga, RM 1997, 'Pengaruh penyimpanan sistem atmosfer termodifikasi terhadap mutu sayuran brokoli', *J. Hort.*, vol. 7, no. 1, hlm. 574-852.
12. James, JB & Ngarmasak, T 2010, 'Processing of fresh-cut tropical fruits and vegetables', in Rosa S. Rolle (ed.), *Fresh-cut products and their market trends : A technical guide*, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Regional Office for Asia and the Pacific Bangkok, pp.1-6.
13. Mandana, GO, Utama IMS, & Yulianti NL 2012, 'Pengaruh larutan disinfektan dan pengemasan atmosfer termodifikasi menggunakan film plastik terperforasi terhadap susut bobot dan mutu buah cabai merah besar (*Capsicum annum* L.) selama penyimpanan', Tesis, Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Udayana.
14. Musaddad, D 2013, 'Laju perubahan mutu kubis bunga diolah minimal pada berbagai pengemasan dan suhu penyimpanan', *J. Hort.*, vol. 23 no. 2, hlm. 184-94.
15. Rajkumar, P & Mitali, D 2009, 'Effect of different storage methods on nutritional quality of waterapple fruits (*Syzygium javanica* L.)', *Bulgarian J. Agric. Sci.*, vol. 15, no. 1, pp. 1-6.
16. Rivera, EV 2005, 'A Review of chemical disinfection methods for minimally processed leafy vegetables', Thesis, Food Science Graduate Program College of Agriculture, Kansas State University, Manhattan, Kansas.
17. Rosalina, Y 2012, 'Analisis konsentrasi gas sesaat dalam kemasan melalui lubang berukuran mikro untuk mengemas buah segar dengan sistem kemasan atmosfer termodifikasi', *Agrointek*, vol. 5, no. 1, hlm. 53-8.
18. Safaryani, N 2007, 'Pengaruh suhu dan lama penyimpanan terhadap penurunan kadar vitamin C Brokoli (*Brassica oleracea* L.)', *Buletin Anatomi dan Fisiologi*, vol. XV, no. 2, hlm 39-46.
19. Saltveit, ME 1996, 'Physical and physiological change in minimally processed fruits and vegetables in phytochemistry of fruits and vegetables', Thomas-Barberan (ed.), Oxford Univ. Press, USA. F.A.
20. Sapers, GM, Miller, RE, Miller, FC, Cooke, PH & Choi, CW 1991, 'Enzymatic browning control in minimally processed mushroom', *J. Food Sci.*, vol. 59, no. 5, pp. 1042-7.
21. Sembiring, NN 2009, 'Pengaruh jenis bahan pengemas terhadap kualitas produk cabai merah (*Capsicum annum* L.) segar kemasan selama penyimpanan dingin', Tesis, Universitas Sumatera Utara, Medan.

22. Setyadjit & Sjaifullah 1994, 'Penyimpanan buah manggis dalam suhu dingin', *J. Hort.*, vol. 4, no. 1, pp. 64-76.
23. Shakty 2008, '*Teknik penyimpanan hasil pertanian buah jeruk*', diunduh 23 Juli 2014, <<http://one.indoskripsi.com>>.
24. Sirichote, A, Jongpanyalert, B, Srisuwan, L, Chanthachum, S, Pisuchpen, S & Ooraikul, B 2008, 'Effect of minimal processing on the respiration rate and quality of rambutan cv. Rong-Rien, Songklanakarin', *J. Sci. Technol.*, vol. 30, suppl. 1, pp. 57-63.
25. Singh, U & Sagar, VR 2010, 'Quality characteristic of dehydrated leafy vegetables influenced by packing material and storage temperature', *J. Sci. & Ind. Res.*, vol. 69, pp. 785-9.
26. Soekarno, ST 1985, *Penilaian organoleptik untuk industri pangan dan hasil pertanian*, Bharata Karya Aksara, Jakarta.
27. Sri Haryati 2007, *Pengaruh suhu dan lama penyimpanan terhadap penurunan kadar vitamin C brokoli (Brassica oleraceae L.)*, diakses 24 Maret 2017, <http://eprint.undip.ac.id/6190/1/sri_haryati_pengaruh_suhu_dan_lama_penyimpanan_vitamin_c%E2%80%A6.pdf>
28. Suhelmi, M 2007, 'Pengaruh kemasan polypropylene rigid kedap udara terhadap perubahan mutu sayuran segar terolah minimal selama penyimpanan', Tesis, Fakultas Pertanian, IPB, Bogor.
29. Yamashita, F, Matias, AN, Grossmann, MVE, Roberto, SR, Benassi M de T 2006, 'Active packaging for fresh-cut broccoli using 1-methylcyclopropene in biodegradable sachet', *Ciências Agrárias*, Londrina, vol. 27, no. 4, pp. 581-9.
30. Zain, S., Ujan, S, Sawitri, & Ulfi I 2005, '*Teknik penanganan hasil pertanian*', Pustaka Giratuna, Bandung, pp. 69-94.
31. Zainal & Tawali AB 2004, 'Perubahan mutu buah anggur impor (*Vitis vinivera*) pada berbagai suhu penyimpanan', *Jurnal Sains dan Teknologi*, vol. 8, no. 4, hlm. 67-90.

Lampiran. Perhitungan perforasi pengemas (*Calculation of packaging perforation*)



Luas baki styrofoam

Luas bagian atas :

Panjang = 19 cm

Lebar = 13,5 cm

Luas = 19 cm x 13,5 cm
= 256,5 cm²

Luas bagian bawah :

Panjang = 13 cm

Lebar = 9 cm

Luas = 13 cm x 9 cm
= 117 cm²

Luas bagian pinggir panjang :

Panjang = 19 – 13 cm

Lebar = 5 cm

Luas = (19 + 13)/2 x 5
= 80 cm² x 2
= 160 cm²

Luas bagian pinggir lebar :

Panjang = 13 – 9 cm

Lebar = 5 cm

Luas = (13 + 9)/2 x 5
= 55 cm² x 2
= 110 cm²

Luas keseluruhan = 643,5 cm²

Diameter (D) lubang = 0,38 cm

Jari-jari (r) lubang = 0,19 cm

Luas lubang = 0,1133 cm²

Perforasi 0,5% :

Σ lubang = 0,5% x 643 = 3,22
= 3,22/0,1133
= 28 lubang

Σ lubang bagian atas = 256/643 = 0,40 x 28 = 11 lubang

Σ lubang bagian bawah = 117/643 = 0,18 x 28 = 5 lubang

Σ lubang bagian pinggir panjang = 160/643 = 0,25 x 28 = 7 lubang

Σ lubang bagian pinggir lebar = 110/643 = 0,17 x 28 = 5 lubang

Perforasi 1% :

Σ lubang = 1% x 643 = 6,43
= 6,43/0,1133
= 57 lubang

Σ lubang bagian atas = 256/643 = 0,40 x 57 = 23 lubang

Σ lubang bagian bawah = 117/643 = 0,18 x 57 = 10 lubang

Σ lubang bagian pinggir panjang = 160/643 = 0,25 x 57 = 14 lubang

Σ lubang bagian pinggir lebar = 110/643 = 0,17 x 57 = 10 lubang