

PENGARUH KEMASAN *STARCH-BASED PLASTICS* (BIOPLASTIK) TERHADAP MUTU TOMAT DAN PAPRIKA SELAMA PENYIMPANAN DINGIN

THE EFFECTS OF STARCH-BASED PLASTICS (BIOPLASTICS) ON THE QUALITY OF TOMATO AND BELL PEPPER DURING COLD STORAGE

Tajul Ifflah^{1)*}, Sutrisno¹⁾, dan Titi Candra Sunarti²⁾

¹⁾Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Institut Pertanian Bogor
Kampus IPB Darmaga Bogor, PO Box 220 Bogor, 16002
E-mail: t_iefflah@yahoo.com

²⁾Departemen Teknologi Industri Pertanian, Institut Pertanian Bogor

ABSTRACT

Losses of horticulture product were caused by several reasons, one of them was the un-appropriate post-harvest handling. One of the post-harvest method that could maintain the quality of the horticulture product is controlling the storage temperature and packaging techniques to that product. The objectives of this research were to determine the characteristics of horticultural products (tomato and bell pepper) in the cold storage that were packed with bioplastics and high density polyethylene (HDPE). The sample of packed products stored at three temperature levels (5, 10, and 15°C) for 21 days. The results showed that the types of plastic influenced respiration rate (CO₂ production rate). The tomatoes packed with bioplastic had climateric phase at the day of 21th which was later than the one of HDPE. However, bell pepper packed with bioplastic started senescence phase at 9th day which was earlier than the one HDPE at 12th day.

Keywords: bioplastic, cold storage, tomato, bell pepper

ABSTRAK

Salah satu tindakan pascapanen yang dapat dilakukan untuk meminimalkan terjadinya susut salah adalah dengan memperhatikan teknik pengemasan dan suhu penyimpanan terhadap produk hortikultura. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji karakteristik mutu produk hortikultura golongan klimakterik (tomat) dan golongan non-klimakterik (paprika), yang dikemas dengan kemasan berbentuk *fruit bag* dari jenis bioplastik yang dibandingkan dengan plastik konvensional. Produk disimpan di dalam *cold storage* pada 5, 10 dan 15°C selama 21 hari. Hasil dari penelitian menunjukkan kemasan bioplastik dapat menunda fase klimakterik tomat hingga hari penyimpanan ke-21 lebih lama daripada yang dikemas dengan HDPE. Namun, paprika yang dikemas dengan bioplastik mulai memasuki fasa *senescence* pada hari penyimpanan ke-12 lebih cepat daripada yang dikemas dengan HDPE.

Kata kunci: bioplastik, penyimpanan dingin, tomat, paprika

PENDAHULUAN

Hortikultura merupakan produk yang mudah mengalami kerusakan (*perishable*) yang dapat menyebabkan susut secara kuantitas maupun kualitas. Kerusakan tersebut semakin besar apabila tindakan pascapanen yang dilakukan tidak sesuai. Salah satu tindakan untuk memperbaiki mutu produk adalah dengan memperhatikan teknik pengemasan dan suhu penyimpanan.

Pengemasan merupakan salah satu bagian dari rangkaian penanganan pascapanen dari produk hortikultura. Saat ini kemasan plastik banyak digunakan sebagai bahan kemasan yang populer karena tidak hanya serbaguna dan murah, namun juga fleksibel dalam penggunaannya. Akan tetapi salah satu keterbatasan kemasan plastik yang pada akhirnya dibuang adalah kemasan plastik sangat sulit didaur ulang. Kehadiran bahan kemasan plastik di tempat pembuangan sampah menjadikan masalah tersendiri, di samping itu juga karena ketergantungan

pada produksi minyak bumi dalam produksinya (Comstock *et al.*, 2004). Hal lain adalah kecenderungan konsumen yang ingin mengkonsumsi pangan dalam keadaan segar dan nyaman, serta keinginan untuk mendapatkan kualitas produk yang baik dan aman. Oleh sebab itu, konsumen menuntut bahan kemasan yang lebih alami, sekali guna, berpotensi untuk terurai (*biodegradable*) serta dapat di daur ulang (Lopez-Rubio *et al.*, 2004). Untuk memenuhi keinginan konsumen tersebut, beberapa tahun terakhir sudah dikembangkan berbagai bahan kemasan yang berasal dari sumberdaya terbarukan yang dengan mudah dapat terurai yang dikenal dengan sebutan plastik *biodegradable* (bioplastik) yang tersedia dalam berbagai jenis dan bentuk.

Bentuk kemasan bioplastik yang saat ini sering digunakan untuk mengemas produk hortikultura adalah kantong plastik yang dikenal dengan sebutan *fruit bag*. Penggunaan *fruit bag* telah banyak diaplikasikan untuk mengemas produk hortikultura pada supermarket. Kemasan dengan

bentuk seperti ini didesain sederhana dan tipis namun kuat untuk mewardahi produk dalam jumlah banyak, terutama buah dan sayuran. Umumnya kemasan *fruit bag* hanya digunakan untuk mewardahi produk selama pengangkutan dari supermarket ke rumah, namun penggunaannya bertambah menjadi wadah penyimpanan dalam lemari pendingin dengan alasan kepraktisan tanpa harus menggunakan wadah lain. Adapun tujuan penelitian ini untuk mengkaji karakteristik kualitas produk hortikultura golongan klimakterik yang diwakili oleh tomat dan golongan non-klimakterik diwakili oleh paprika yang dikemas dengan bioplastik.

METODE PENELITIAN

Bahan dan Alat

Bahan yang digunakan untuk penelitian ini adalah paprika dan tomat yang diperoleh dari pedagang pengumpul yang memiliki perkebunan di daerah Lembang. Buah tomat dan paprika dipetik pada tingkat *mature green* (± 60 hari bunga mekar atau tingkat kematangan 50%) dan langsung dibawa pada hari yang sama. Bahan lain yang digunakan adalah kemasan bioplastik dan HDPE berbentuk *fruit bag* yang diperoleh dari PT Tirta Marta. Selain itu juga digunakan bahan kimia untuk analisis kadar Vitamin C berupa larutan iod, indikator kanji dan aquades.

Peralatan yang digunakan adalah lemari pendingin (*cold storage*) dengan suhu 5, 10 dan 15°C, Gas Analyzer Shimadzu untuk mengukur laju respirasi produk yang dikemas selama penyimpanan, Rheometer model CR-3000 untuk mengukur kekerasan produk, Kromameter Minolta tipe CR-310 untuk mengukur perubahan warna produk, Refraktometer Atago PR-201 untuk mengetahui total padatan terlarut produk, timbangan, *sealer*, selang plastik dan peralatan gelas yang dibutuhkan dalam analisis Vitamin C.

Tata Laksana Penelitian

Kemasan yang digunakan diukur nilai densitasnya terlebih dahulu. Nilai densitas dari kemasan yang digunakan diperoleh dengan cara membagi nilai massa terhadap volume. Nilai massa didapatkan dari hasil penimbangan kemasan sedangkan nilai volume diperoleh dari perkalian panjang, lebar dan tebal kemasan. Karakteristik lainnya dari kemasan yang digunakan pada penelitian ini telah diuji oleh Raynasari (2012).

Tomat dan paprika disortasi terlebih dahulu untuk memisahkan antara buah yang cacat dan yang bagus. Produk seberat $\pm 0,5$ kg dikemas menggunakan kemasan HDPE dan bioplastik berbentuk *fruit bag* yang kemudian di-*seal*. Untuk pengamatan konsentrasi O₂ dan CO₂ dalam kemasan, dibuat 2 buah lubang pada salah satu sisi kemasan yang dihubungkan dengan selang plastik. Selanjutnya produk disimpan di dalam *cold storage*

dengan suhu 5, 10 dan 15°C selama 21 hari. Pengamatan dilakukan pada hari ke-0 dan setiap tiga hari sekali terhadap laju respirasi, penurunan bobot produk, perubahan warna, kekerasan, total padatan terlarut dan kadar vitamin C. Hasil analisis dilakukan uji secara statistik dengan menggunakan Rancangan Acak Lengkap Faktorial (Mattjik dan Sumertajaya, 2006).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakteristik Kemasan

Kemasan HDPE dan bioplastik yang digunakan memiliki luas yang sama yaitu 250 mm×400 mm dengan ketebalan 45 μ m. Dari hasil perhitungan, densitas bioplastik (75,56-77,00 g/cm³) lebih kecil daripada densitas HDPE (84,89-86,78 g/cm³), dimana nilai densitas yang rendah menunjukkan struktur *amorf* (tidak teratur) lebih mendominasi sedangkan densitas yang lebih tinggi memiliki struktur kristalin yang lebih besar. Syamsu (2007) menyatakan struktur molekul *amorf* memiliki kerapatan yang lebih rendah daripada molekul kristalin. Penurunan kerapatan molekul menyebabkan densitas dari molekul tersebut menjadi lebih rendah. Berdasarkan nilai densitas, bioplastik menunjukkan kerapatan yang kecil (lebih renggang) yang menyebabkan gas seperti oksigen dan karbondioksida serta uap air lebih mudah keluar masuk dibandingkan HDPE.

Pengujian terhadap jenis kemasan yang digunakan dalam penelitian ini telah dilakukan oleh Raynasari (2012) dimana diketahui nilai permeabilitas uap air bioplastik lebih besar (21,56 g/m²/24 jam) daripada HDPE (13,10 g/m²/jam). Hasil tersebut menunjukkan kemasan bioplastik lebih mudah melewatkan uap air daripada HDPE. Dengan nilai permeabilitas uap air yang besar, produk hortikultura yang dikemas dengan bioplastik tidak akan mengalami akumulasi uap air hasil dari proses respirasi yang dapat menyebabkan kemungkinan terjadinya pertumbuhan mikro-organisme.

Aplikasi Bioplastik Untuk Produk Hortikultura

Perubahan Fisiologi : Laju Respirasi

Respirasi merupakan proses metabolisme utama pada produk hasil panen yang dapat menyebabkan kerusakan fisik dan kimia pada produk hasil panen. Reaksi kimia sederhana untuk respirasi adalah : $C_6H_{12}O_6 + 6 O_2 \rightarrow 6 CO_2 + 6 H_2O + 675 \text{ kal}$ (Winarno, 2002).

Dalam proses respirasi, produk hortikultura memerlukan oksigen (O₂) untuk memecah bahan-bahan organik dan menghasilkan CO₂, uap air dan panas sehingga laju respirasi biasanya dinyatakan dalam laju konsumsi O₂ dan atau laju produksi CO₂. Akan tetapi laju respirasi suatu produk hortikultura lazimnya diketahui berdasarkan perubahan konsentrasi CO₂ yang dihasilkan. Dari perubahan

tersebut, produk hortikultura dapat dibedakan menjadi dua, yaitu golongan klimakterik dan golongan non-klimakterik. Golongan klimakterik memiliki karakteristik dengan adanya puncak aktivitas respirasi selama pematangan yang menunjukkan kualitas buah siap untuk dikonsumsi. Sebaliknya pada buah golongan non-klimakterik hanya menunjukkan penurunan bertahap pada proses respirasi selama penyimpanan dengan pola yang berbeda tergantung dari masing-masing buah (Bower *et al.*, 1993).

Saat memasuki fase pra klimakterik golongan klimakterik mengalami respirasi yang rendah kemudian mengalami peningkatan drastis hingga mencapai respirasi maksimum yang disusul dengan penurunan yang drastis pula yang diindikasikan sebagai fase *senescence* (Sampaio *et al.*, 2007). Puncak respirasi ini bervariasi pada tiap-tiap buah. Respirasi untuk golongan non-klimakterik juga memiliki hubungan antara tingkat respirasi yang tinggi dengan umur simpan yang pendek. Buah golongan non-klimakterik tidak menunjukkan proses pematangan setelah dipanen dan pola respirasinya akan berubah menjadi lambat setelah pemanenan. Istilah klimakterik hanya melibatkan peningkatan respirasi buah ditinjau dari produksi CO₂ (Villavicencio *et al.*, 2001).

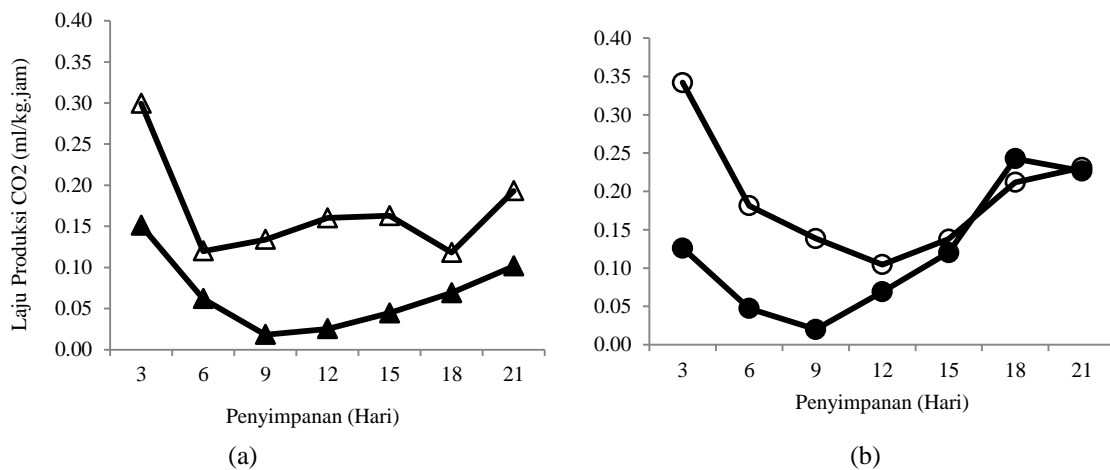
Kemasan juga dapat mempengaruhi komposisi gas selama penyimpanan karena kemasan dapat bertindak sebagai *barrier*. Lama penyimpanan juga mempengaruhi ketersediaan gas CO₂ dan O₂ dimana semakin lama penyimpanan ketersediaan gas O₂ semakin berkurang dan produksi CO₂ juga mengalami penurunan. Pada kondisi seperti ini biasanya produk telah mengalami kemunduran kualitas karena sudah tidak adanya substrat untuk didegradasi.

Dari hasil sidik ragam diperoleh jenis plastik dan lama penyimpanan berpengaruh terhadap laju respirasi tomat, namun suhu penyimpanan tidak

memberikan pengaruh terhadap laju respirasi tomat. Gambar 1 menunjukkan perbedaan laju produksi CO₂ tomat yang dikemas dengan HDPE mengalami fase klimakteriknya (mengalami lonjakan produksi CO₂) antara hari penyimpanan ke-12 dan 15, sedangkan tomat yang dikemas dengan bioplastik baru mengalami lonjakan produksi CO₂ pada akhir penyimpanan (hari ke-21).

Kondisi tersebut dipengaruhi oleh densitas dari kemasan dimana bioplastik memiliki densitas yang cenderung lebih rendah yang mengindikasikan dominasi struktur *amorf* yang lebih besar sehingga ikatan antar molekul penyusunnya lebih renggang. Dengan keadaan yang lebih renggang ini menyebabkan kemampuan bioplastik untuk dilewati oleh CO₂ lebih mudah. Dengan kemampuan untuk dilewati oleh gas lebih besar, menjadikan komposisi gas didalam kemasan bioplastik cenderung dalam keadaan stabil. Hal ini berbeda dengan kemasan HDPE yang densitasnya lebih kecil sehingga susunan molekulnya yang cenderung rapat menyebabkan terakumulasinya gas CO₂ hasil proses respirasi.

Hasil sidik ragam memperlihatkan jenis plastik dan lama penyimpanan berpengaruh terhadap laju respirasi paprika, namun suhu penyimpanan tidak memberikan pengaruh terhadap laju respirasi paprika. Dari Gambar 1 dapat dilihat laju produksi CO₂ paprika yang dikemas dengan bioplastik mengalami penurunan pada hari ke-9 dan paprika yang dikemas dengan HDPE mengalami penurunan pada hari ke-12. Perbedaan penurunan laju produksi CO₂ antara paprika yang dikemas dengan bioplastik dan HDPE dipengaruhi oleh perbedaan densitas plastik yang digunakan dimana bioplastik memiliki densitas yang lebih besar sehingga molekul antar penyusunnya lebih renggang sehingga produksi CO₂ hasil respirasi tidak terakumulasi di dalam kemasan bioplastik.



Gambar 1. Pengaruh lama penyimpanan terhadap laju produksi CO₂ (a) tomat yang dikemas HDPE (Δ) dan bioplastik (\blacktriangle) dan (b) paprika yang dikemas HDPE (\circ) dan bioplastik (\bullet)

Laju produksi CO₂ paprika yang dikemas dengan HDPE lebih tinggi sebagai akibat terlalu rapatnya penyusunan kemasan ini sehingga kemungkinan terakumulasinya gas karbondioksida lebih besar yang menyebabkan terjadinya respirasi anaerobik. Secara umum penurunan laju produksi CO₂ pada produk hortikultura golongan non-klimakterik merupakan akibat tidak adanya lagi substrat yang harus didegradasi pada proses respirasi sehingga CO₂ yang dihasilkan menjadi sedikit yang mengindikasikan paprika telah mengalami kemunduran kualitas. Laju produksi CO₂ paprika baik dikemas dengan bioplastik ataupun HDPE kembali mengalami peningkatan hingga akhir penyimpanan merupakan aktivitas kapang yang ditandai dengan adanya miselium pada pangkal buah.

Perubahan Fisikokimia

Penurunan Bobot

Penurunan bobot selama penyimpanan merupakan salah satu parameter mutu yang mencerminkan tingkat kesegaran produk hortikultura. Penurunan bobot menunjukkan berat dari buah pada akhir penyimpanan yang dinyatakan dalam persentase penurunan bobot. Berdasarkan hasil sidik ragam lama penyimpanan berpengaruh terhadap penurunan bobot tomat dan paprika. Persentase penurunan bobot baik pada tomat dan paprika pada awal penyimpanan berbeda nyata dengan akhir penyimpanan yang dapat dilihat pada Gambar 2.

Gambar 2 menunjukkan persentase penurunan bobot tomat yang dikemas dengan HDPE pada hari penyimpanan ke-21 lebih kecil (1,988%) daripada bioplastik (2,742%) yang mengindikasikan bobot akhir tomat yang dikemas dengan HDPE lebih besar daripada bioplastik. Ini dipengaruhi oleh karakteristik plastik terhadap permeabilitas uap air, dimana selama penyimpanan selain terjadi respirasi, juga terjadi transpirasi yaitu penguapan air dari permukaan buah yang menyebabkan kekeringan dan kelayuan. Proses transpirasi ini merupakan bagian dari proses respirasi yang terjadi selama penyimpanan dimana pada saat terjadinya pemecahan makromolekul kompleks menghasilkan air dalam bentuk uap. Uap air yang terbentuk ini akan lebih mudah melewati kemasan bioplastik karena kemasan ini memiliki nilai permeabilitas yang lebih tinggi (21,56 g/m²/24 jam) daripada HDPE (13,10 g/m²/jam).

Paprika hingga pada hari penyimpanan ke-21 yang dikemas dengan HDPE persentase penurunan bobotnya lebih besar (14,052%) daripada bioplastik (6,699%). Ini disebabkan karena sifat selektif permeabel masing-masing plastik berbeda dimana HDPE selektif permeabelnya lebih besar terhadap CO₂ daripada O₂, sehingga CO₂ lebih mudah melewati kemasan ini. Kondisi seperti ini menyebabkan paprika yang dikemas dengan HDPE

mengalami respirasi anaerob yang mengakibatkan paprika seperti terfermentasi sehingga jumlah air yang merembes dari paprika lebih banyak yang dapat mengurangi bobot paprika selama penyimpanan.

Permeabilitas juga berkaitan erat dengan densitas dari kemasan sendiri. Pendapat tersebut didukung oleh Equistar (2003) dimana permeabilitas plastik dapat dipengaruhi oleh struktur kristalin dari plastik. Daerah kristalin pada plastik lebih tahan terhadap permeabilitas gas dan uap air, sedangkan daerah *amorf* lebih mudah untuk ditembusi oleh molekul uap air dan gas.

Penelitian Manolopoulou *et al.* (2010) menghasilkan pola penurunan bobot yang sama pada paprika yang disimpan pada suhu 10°C dengan kemasan LDPE dan MDPE dimana paprika yang dikemas dengan plastik yang densitas lebih rendah menghasilkan penyusutan bobot yang lebih tinggi (0,65%) daripada plastik dengan densitas yang lebih besar (0,32%).

Kekerasan

Perubahan kekerasan merupakan salah satu aktivitas fisiologis yang terjadi sebagai akibat langsung dari kehilangan air pada produk hortikultura, dimana pada produk hortikultura mengakibatkan menurunnya tingkat kekerasan. Perubahan ini dikarenakan adanya kehilangan air yang menjadikan komposisi dinding sel berubah sehingga menyebabkan menurunnya tekanan turgor sel. Perubahan secara kimiawi juga terjadi pada dinding sel yang tersusun dari senyawa-senyawa kompleks dari golongan karbohidrat struktural, seperti selulosa, hemiselulosa, pektin dan lignin (Gonzalez-Aguilar, 2004).

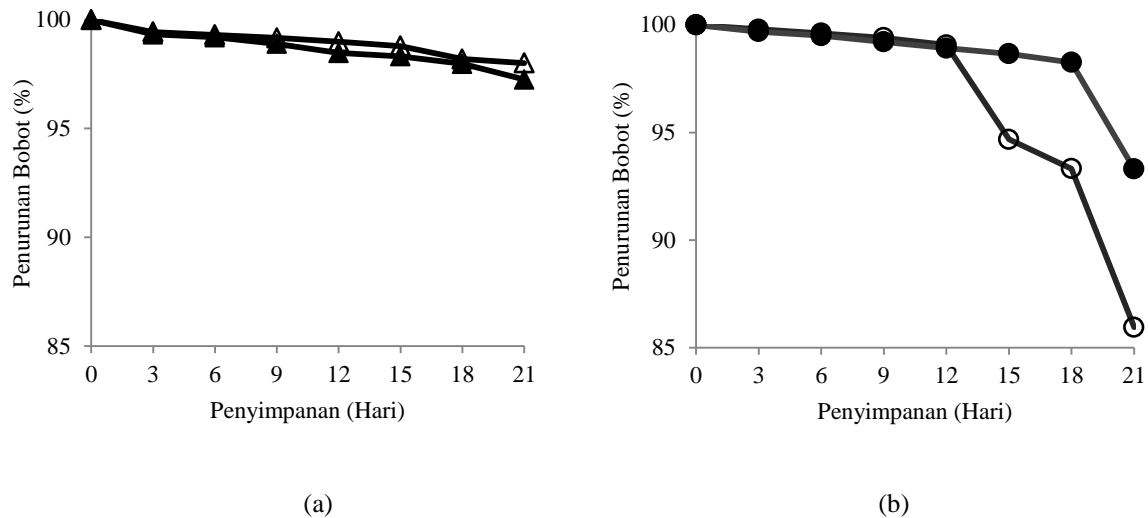
Hasil sidik ragam menunjukkan suhu berpengaruh terhadap perubahan kekerasan dari tomat dan paprika. Uji lanjut Duncan menunjukkan nilai kekerasan tomat dan paprika pada suhu penyimpanan 10°C tidak berbeda nyata dengan nilai kekerasan tomat dan paprika yang disimpan pada suhu 5 dan 15°C namun suhu penyimpanan 5 dan 15°C berbeda nyata (Tabel 1).

Menurut Tucker *et al.* (1993) perubahan tekstur menjadi lebih lunak atau lembut pada buah salah satunya dapat ditimbulkan oleh mekanisme kehilangan tekanan turgor, degradasi kandungan pati atau pemecahan dinding sel buah. Kehilangan tekanan turgor sebagian besar merupakan proses non-fisiologis yang berhubungan dengan dehidrasi buah pascapanen. Suhu penyimpanan merupakan salah satu faktor yang menyebabkan terjadinya perubahan kekerasan dari buah. Apabila suhu penyimpanan terlalu tinggi dapat menyebabkan proses respirasi dan transpirasi berlangsung lebih cepat sehingga menyebabkan kandungan air dari buah lebih cepat mengalami penurunan yang dapat mengakibatkan berkurangnya ketegaran buah (*firmness*).

Tabel 1. Pengaruh suhu penyimpanan terhadap kekerasan tomat dan paprika

Suhu Penyimpanan (°C)	Perubahan Kekerasan (N)			
	Tomat		Paprika	
	HDPE	Bioplastik	HDPE	Bioplastik
5	2.484 ^b	2.415 ^b	2.769 ^b	2.679 ^b
10	2.206 ^{ab}	2.172 ^{ab}	2.623 ^{ab}	2.698 ^{ab}
15	1.983 ^a	1.912 ^a	2.520 ^a	2.537 ^a

Ket.: Angka-angka pada kolom yang sama yang diikuti huruf yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata pada taraf 0,05



Gambar 2. Pengaruh lama penyimpanan terhadap penurunan bobot (a) tomat yang dikemas HDPE (Δ) dan bioplastik (\blacktriangle) dan (b) paprika yang dikemas HDPE (\circ) dan bioplastik (\bullet)

Suhu rendah sangat mempengaruhi perubahan nilai kekerasan buah. Semakin rendah suhu penyimpanan maka semakin lambat penurunan nilai kekerasan buah (Kitinoja dan Adel, 2003). Proses hidrolisis protopektin dan pektin yang berperan dalam menjaga tingkat kekerasan buah berlangsung lebih cepat pada suhu yang lebih tinggi. Pektin sendiri merupakan polimer yang tersusun dari asam galakturonat, dimana secara alami pektin akan dihidrolisis oleh enzim pektinase selama pematangan. Hidrolisis pektin menjadi unit yang lebih sederhana dan bersifat larut dalam air akan menyebabkan perubahan dari tekstur (Prasanna *et al.*, 2007).

Suhu juga dapat mempengaruhi terhadap karakteristik bioplastik selama penyimpanan dimana permeabilitas uap air dari bioplastik semakin menurun sehingga proses transpirasi tidak terjadi dengan cepat dan buah tidak akan mengalami kehilangan turgor yang akan mempengaruhi kekerasan buah. Sebaliknya hal yang berbeda terjadi pada HDPE dimana permeabilitas uap air akan meningkat pada suhu penyimpanan yang rendah. Hasil penelitian Raynasari (2002) menunjukkan permeabilitas uap air bioplastik mengalami penurunan dengan semakin rendahnya suhu penyimpanan dimana nilai permeabilitas bioplastik

yang disimpan selama 30 hari pada suhu 3-7°C (13.8528-19.1088 g/m²/24 jam) lebih kecil daripada suhu -10-(-6)°C (16.7208-20.5416 g/m²/24 jam). Sebaliknya permeabilitas uap air HDPE meningkat dengan menurunnya suhu penyimpanan dimana pada suhu 3-7°C (11.0088-16.7208 g/m²/24 jam) namun lebih kecil daripada suhu penyimpanan -10-(-6)°C (13.3752-19.1088 g/m²/24 jam). Menurunnya permeabilitas uap air bioplastik disebabkan granula pati yang merupakan bahan utama penyusun bioplastik mengalami pembengkakan pada suhu rendah (retrogradasi) hingga akhirnya pecah yang menyebabkan terjadinya ikatan kuat antara molekul penyusun bioplastik sehingga mengakibatkan molekul uap air semakin sulit dapat melewati bioplastik. Berbeda dengan HDPE yang nilai permeabilitas uap airnya mengalami peningkatan selama penyimpanan.

Perubahan Warna

Perubahan warna terjadi akibat sintesis pigmen tertentu, seperti karotenoid dan flavonoid, disamping terjadinya perombakan klorofil. Perombakan klorofil menyebabkan pigmen karotenoid yang sudah ada namun tidak nyata menjadi nampak. Perubahan warna yang terjadi pada buah-buahan sering dijadikan sebagai kriteria

utama bagi konsumen untuk menentukan mentah ataupun matangnya suatu buah. Warna pada buah-buahan disebabkan oleh pigmen yang umumnya dibedakan atas 4 kelompok yaitu klorofil, antosianin, flavonoid dan karotenoid (Winarno, 2002).

Perubahan warna dilihat berdasarkan perubahan nilai L^* (menunjukkan kecerahan warna), a^* (menunjukkan perubahan warna hijau ke merah) dan b^* (menunjukkan perubahan warna biru menjadi kuning). Berdasarkan hasil sidik ragam, jenis plastik, suhu dan lama penyimpanan tidak berpengaruh terhadap perubahan nilai L^* tomat, sedangkan perubahan nilai a^* dan b^* tomat dipengaruhi oleh suhu dan lama penyimpanan (Tabel 2).

Nilai a^* tomat berbeda nyata di tiap-tiap suhu penyimpanan dimana semakin tinggi suhu penyimpanan menjadikan nilai a^* berubah menjadi positif yang mengindikasikan terjadinya perubahan warna dari hijau menjadi merah. Nilai a^* tomat berbeda nyata di tiap-tiap suhu penyimpanan dimana semakin tinggi suhu penyimpanan menjadikan nilai a^* berubah menjadi positif yang mengindikasikan terjadinya perubahan warna dari hijau menjadi merah. Hal ini disebabkan karena terjadinya degradasi klorofil lebih cepat terjadi pada suhu yang lebih tinggi. Perubahan nilai b^* pada suhu 15°C berbeda nyata dengan suhu penyimpanan 5 dan 10°C. Tomat yang dikemas dengan bioplastik pada suhu 10°C dapat menunda terjadinya perubahan warna bila dilihat dari nilai a^* dan b^* .

Nunes (2008) menyatakan pigmen buah tomat didominasi oleh karoten dan likopen, akumulasi likopen selama *ripening* akan menghambat biosintesis karoten sehingga menjadikan buah tomat terlihat berwarna merah. Sintesis dan perombakan likopen dipengaruhi oleh suhu, sedangkan karoten tidak. Suhu antara 30-35°C dapat menghambat sintesis likopen.

Berdasarkan hasil sidik ragam, perubahan nilai L^* dan a^* pada paprika tidak dipengaruhi oleh jenis plastik akan tetapi dipengaruhi oleh suhu dan lama penyimpanan, sedangkan nilai b^* paprika hanya dipengaruhi oleh lama penyimpanan. Perubahan nilai L^* dan a^* paprika yang dipengaruhi suhu penyimpanan dapat dilihat pada Tabel 3.

Nilai L^* dan a^* paprika pada suhu 5 dan 10°C berbeda nyata dengan suhu 15°C dimana semakin tinggi suhu penyimpanan nilai L^* dan a^* semakin meningkat walaupun nilai a^* yang dihasilkan belum menjadi positif (merah). Paprika yang dikemas dengan bioplastik menghasilkan nilai a^* yang lebih rendah daripada yang dikemas dengan HDPE, yang mengindikasikan perubahan warna lebih cepat terjadi.

Menurut Nyanjage *et al.* (2005), kehilangan warna hijau terjadi dengan cepat pada penyimpanan suhu kamar yang disebabkan oleh peningkatan kerusakan klorofil dan sintesis pigmen β -karoten dan likopen yang terjadi selama proses pematangan. Penyimpanan buah golongan non-klimakterik pada suhu rendah seperti paprika dapat mencegah terjadinya penurunan kualitas sehingga dapat mempertahankan warna hijau paprika lebih lama.

Tomat ataupun paprika yang dikemas dengan bioplastik dan disimpan pada suhu yang lebih rendah mengalami perubahan warna yang lebih cepat karena dipengaruhi oleh sifat permeabilitas uap air bioplastik yang berubah menjadi rendah. Permeabilitas uap air yang menjadi rendah mengindikasikan densitas bioplastik lebih kecil sebagai akibat daerah *amorf* yang menurun sehingga daerah kristalin lebih mendominasi yang menjadikan kerapatannya meningkat. Dengan meningkatnya kerapatan bioplastik menjadikan aliran gas oksigen tidak mudah keluar masuk melalui kemasan ini sehingga degradasi klorofil terjadi lebih lambat.

Lastriyanto *et al.* (2007) mengatakan permeabilitas gas O_2 , CO_2 dan uap air pada suhu yang sama merupakan tolok ukur yang sering digunakan untuk mengevaluasi suatu bahan pengemas. Semakin rendah suhu menyebabkan koefisien permeabilitas terhadap uap air dan gas CO_2 dan O_2 semakin besar akan tetapi ini dipengaruhi oleh bahan utama penyusun bahan pengemas itu sendiri.

Total Padatan Terlarut

Buah-buahan dan sayuran menyimpan karbohidrat untuk persediaan bahan dan energi. Persediaan tersebut digunakan untuk melaksanakan aktivitas sisa hidupnya. Oleh karena itu dalam proses pematangan, kandungan gula dan karbohidrat selalu berubah. Dari analisis sidik ragam menunjukkan jenis plastik dan suhu penyimpanan tidak berpengaruh terhadap nilai TPT baik pada tomat dan paprika. Akan tetapi lama penyimpanan berpengaruh terhadap nilai TPT tomat dan paprika. Nilai TPT tomat cenderung mengalami peningkatan selama penyimpanan.

Gambar 3 menunjukkan pada awal penyimpanan nilai TPT tomat baik yang dikemas dengan HDPE ataupun bioplastik memiliki nilai yang hampir sama hingga hari penyimpanan ke-9, dimana TPT tomat yang dikemas dengan bioplastik meningkat walau kemudian mengalami penurunan pada hari penyimpanan ke-12. Nilai TPT paprika baik yang dikemas dengan HDPE ataupun bioplastik memiliki nilai TPT yang hampir sama selama penyimpanan.

Tabel 2. Pengaruh suhu penyimpanan terhadap perubahan warna tomat

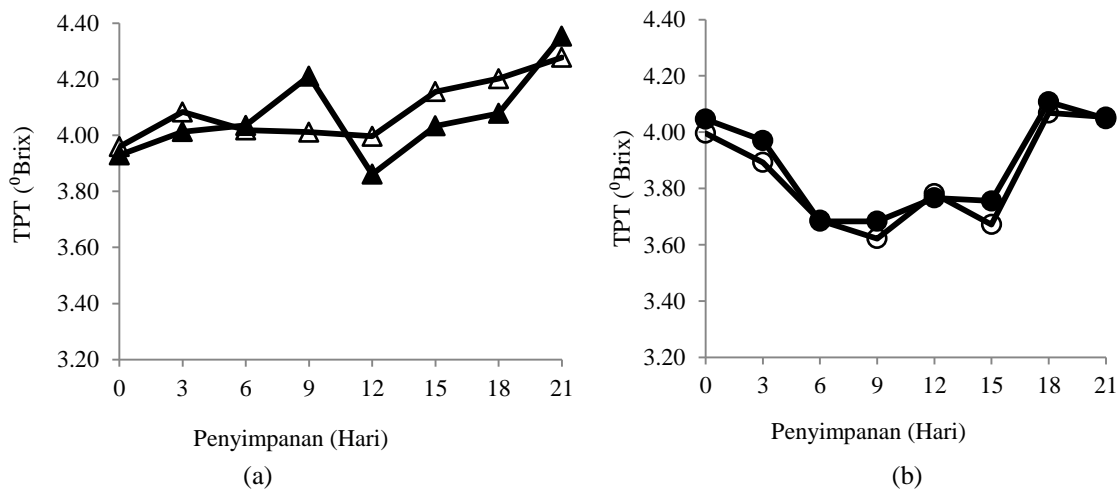
Suhu Penyimpanan (°C)	Perubahan warna tomat			
	a*		b*	
	HDPE	Bioplastik	HDPE	Bioplastik
5	-3.339 ^a	-2.549 ^a	19.116 ^b	19.886 ^b
10	3.309 ^b	2.750 ^b	20.056 ^b	19.364 ^b
15	7.790 ^c	8.277 ^c	16.723 ^a	18.420 ^a

Ket: angka-angka pada kolom yang sama yang diikuti huruf yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata pada taraf 0,05

Tabel 3. Pengaruh suhu penyimpanan terhadap perubahan warna paprika

Suhu Penyimpanan (°C)	Perubahan warna paprika			
	L*		a*	
	HDPE	Bioplastik	HDPE	Bioplastik
5	39.126 ^a	38.583 ^a	-8.559 ^a	-7.242 ^a
10	39.329 ^a	40.260 ^a	-7.621 ^a	-6.808 ^a
15	41.345 ^b	41.623 ^b	-4.454 ^b	-4.288 ^b

Ket: angka-angka pada kolom yang sama yang diikuti huruf yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata pada taraf 0,05



Gambar 3. Pengaruh lama penyimpanan terhadap perubahan TPT (a) tomat yang dikemas HDPE (Δ) dan bioplastik (\blacktriangle) dan (b) paprika yang dikemas HDPE (\circ) dan bioplastik (\bullet)

Tomat yang dikemas dengan bioplastik nilai TPTnya lebih rendah daripada tomat yang dikemas dengan HDPE karena laju respirasi tomat yang dikemas dengan HDPE berlangsung lebih cepat dimana fase klimakteriknya antara hari penyimpanan ke-12 dan 15. Tomat yang dikemas dengan bioplastik produksi CO_2 nya mulai mengalami peningkatan setelah hari penyimpanan ke-9. TPT paprika yang dikemas dengan HDPE dan bioplastik memiliki pola yang sama dimana mengalami penurunan pada hari penyimpanan ke-9 dan 15.

Secara umum TPT tomat dan paprika cenderung mengalami peningkatan selama penyimpanan walaupun juga terjadi penurunan. Peningkatan nilai total padatan terlarut ini disebabkan adanya pengaruh respirasi yang mendegradasi komponen kompleks yang terdapat

pada produk yang disimpan menjadi komponen yang sederhana. Penurunan nilai TPT pada hari penyimpanan ke-12 (tomat) dan hari penyimpanan ke-9 dan 15 (paprika) bisa jadi disebabkan karena komposisi komponen kompleks tidak sama seperti pada awal penyimpanan dimana sudah terjadi akumulasi gula-gula sederhana yang kemudian digunakan kembali pada reaksi respirasi selanjutnya.

Total padatan terlarut buah akan meningkat dengan cepat ketika buah mengalami pematangan dan akan terus menurun seiring dengan lamanya penyimpanan. Semakin lama penyimpanan, komponen gula yang terurai akibat respirasi semakin banyak sehingga gula yang merupakan komponen utama bahan total padatan terlarut akan semakin menurun. Peningkatan total gula disebabkan oleh terjadinya akumulasi gula sebagai hasil dari

degradasi pati, sedangkan penurunan total gula disebabkan karena sebagian gula digunakan untuk berlangsungnya proses respirasi. Sampaio *et al.* (2007) mengatakan total padatan terlarut berkaitan erat dengan total asam dari buah dimana selama proses pematangan terjadi peningkatan progresif total padatan terlarut sebagai akibat dari transformasi polisakarida menjadi gula dan terjadinya penurunan keasaman sehingga terjadinya peningkatan rasio total padatan terlarut terhadap asam.

Vitamin C

Vitamin C merupakan mikro-nutrien yang dibutuhkan tubuh manusia agar semua metabolisme tubuh tetap berlangsung. Vitamin C merupakan vitamin yang larut dalam air dan hampir terdapat pada semua sayuran dan buah-buahan. Tomat dan paprika merupakan salah satu buah yang memiliki kandungan vitamin C tinggi.

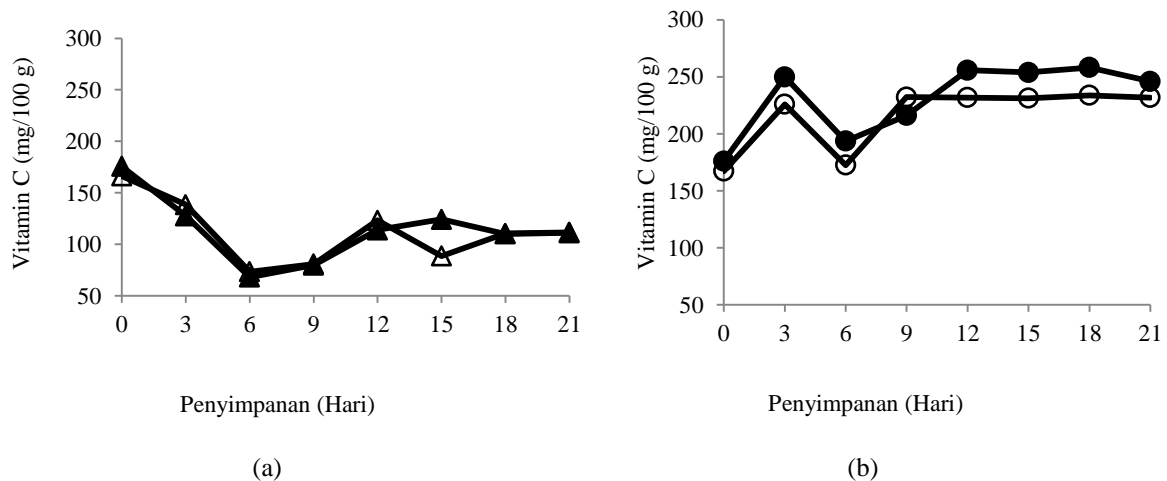
Selama masa penyimpanan, kandungan vitamin C tomat (63.067-183.333 mg/100 g) lebih rendah daripada kandungan vitamin C paprika (156.933-309.467 mg/100g). Hasil sidik ragam menunjukkan jenis plastik dan suhu penyimpanan tidak berpengaruh terhadap perubahan vitamin C tomat dan paprika. Akan tetapi lama penyimpanan berpengaruh terhadap perubahan vitamin C tomat dan paprika. Dari Gambar 4 dapat dilihat tomat dan paprika yang dikemas dengan HDPE dan bioplastik memiliki pola perubahan kandungan vitamin C yang sama selama penyimpanan. Namun secara umum nilai vitamin C tomat dan paprika yang dikemas dengan bioplastik sedikit lebih besar daripada HDPE.

Pada awal penyimpanan nilai rata-rata kandungan vitamin C tomat dan paprika hampir sama yaitu sebesar 170.87 mg/100 g bahan untuk tomat dan 171.60 mg/100 g bahan untuk paprika. Selama masa penyimpanan kandungan vitamin C

tomat cenderung mengalami penurunan sedangkan kandungan vitamin C paprika cenderung mengalami peningkatan.

Lama penyimpanan memiliki pengaruh yang cukup besar terhadap kandungan vitamin C produk hortikultura selama penyimpanan. Hal ini disebabkan selama penyimpanan respirasi terus terjadi dimana akan terbentuk gula-gula sederhana yang bertindak sebagai prekursor dalam pembentukan vitamin C. Peningkatan kandungan vitamin C biasanya akan terjadi seiring lamanya waktu penyimpanan akan tetapi apabila substrat pembentukan vitamin C tidak lagi tersedia maka kandungan vitamin C akan mengalami penurunan. Vitamin C pada produk hortikultura disintesis dari heksosa, dimana kandungan heksosa akan meningkat selama penyimpanan sehingga kandungan vitamin C dari produk hortikultura juga akan meningkat. Meningkatnya kandungan vitamin C selama fase pematangan buah terjadi akibat adanya pembentukan vitamin C yang berasal dari substrat glukosa 6-PO₄⁻. Pembentukan vitamin C ini terjadi pada jalur pentosa pospat (*pentosa phosphate pathway*) dan melibatkan senyawa intermediet lakton 6-PO₄⁻ (Hasanah, 2009). Pengaruh lama penyimpanan terhadap kandungan vitamin C tomat dan paprika disajikan pada Gambar 4.

Penelitian Toor *et al.* (2006) menghasilkan akumulasi asam askorbat dalam jumlah yang sedikit selama penyimpanan pada tiga tingkatan suhu 25, 7 dan 15°C. Secara keseluruhan tidak terjadi kehilangan kandungan asam askorbat selama penyimpanan. Total asam tertitrasi yang tinggi mempengaruhi terhadap stabilnya kandungan asam askorbat dari buah. Dan buah dengan kandungan total asam tertitrasi yang tinggi menghasilkan kandungan vitamin C yang relatif stabil selama penyimpanan.



Gambar 4. Pengaruh lama penyimpanan terhadap kandungan vitamin C (a) tomat yang dikemas HDPE (Δ) dan bioplastik (▲) dan (b) paprika yang dikemas HDPE (○) dan bioplastik (●)

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Bioplastik dapat menunda fase klimakterik tomat hingga hari penyimpanan ke-21 sedangkan tomat yang dikemas dengan HDPE puncak klimakteriknya terjadi pada hari penyimpanan ke-15. Paprika yang dikemas dengan bioplastik lebih cepat memasuki fase *senescence* (hari penyimpanan ke-12) daripada yang dikemas dengan HDPE (hari penyimpanan ke-15). Penyimpanan pada suhu 10°C lebih sesuai untuk menyimpan tomat dan paprika yang dikemas dengan bioplastik, dimana perubahan nilai kekerasan tidak berbeda nyata dengan suhu penyimpanan lainnya dan degradasi warna berlangsung lebih lama.

Saran

Perlu dilakukan penelitian lanjutan dengan mengemas produk hortikultura yang berbeda untuk mengevaluasi kesesuaian kemasan bioplastik pada penyimpanan suhu rendah. Selain itu juga perlu dilakukan pengemasan dengan cara *Modified Atmosphere Packaging* (MAP) untuk mengetahui kemampuan bioplastik dalam mempertahankan komposisi atmosfer dalam kemasan.

DAFTAR PUSTAKA

- Bower JH, Jobling JJ, Patterson BD, Ryan DJ. 1998. A method for Measuring The Respiration Rate and Respiratory Quotient of Detached Plant Tissues. *Postharvest Biol Technol.* (13): 263–270.
- Comstock K, Farrell D, Godwin C, Xi Y. 2004. From Hydrocarbons to Carbohydrates : Food Packaging of The Future. Website : <http://depts.washington.edu/poeweb/gradprograms/envmgt/2004symposium/GreenPackagingReport.pdf>. [28 Maret 2011].
- Equistar. 2003. *A Guide to Polyolefin Film Extrusion*. Houston: Lyondell Chemical Company.
- González-Aguilar GA. 2004. *Pepper: In The Commercial Storage of Fruits, Vegetables, and Florist and Nursery Crops. Agriculture Handbook*. Beltsville: Department of Agriculture-Agricultural Research Service.
- Hasanah U. 2009. Pemanfaatan Gel Lidah Buaya sebagai Edible Coating untuk Memperpanjang Umur Simpan Paprika (*Capsicum annum varietas Sunny*). [Tesis]. Bogor: Institut Pertanian Bogor.
- Kitinoja L dan Kader AA. 2003. *Praktik-praktik Penanganan Pascapanen Skala Kecil: Manual untuk Produk Hortikultura*. Edisi ke-4. Davis: Postharvest Technology Research and Information Center.
- Lastriyanto A, Argo BD, Sumardi HS, Komar N, Hawa LC, Hermanto MB. 2007. Penentuan Koefisien Permeabilitas Film Edibel Terhadap Transmisi Uap Air, Gas O₂ dan Gas CO₂. *J Tek Pert.* 8 (3): 179-183.
- Lopez-Rubio A, Almenar E, Hernandez-Munoz P, Lagaron JM, Catala R, Gavara R. 2004. Overview of Active Polymer-Based Packaging Technologies for Food Applications. *Food Rev Int.* (20): 357-387.
- Manolopoulou H, Xanthopoulos G, Dourous N, Lambrinos Gr. 2010. Modified Atmosphere Packaging Storage of Green Bell Peppers : Quality criteria. *J Biosystem Eng.* 106: 535-543.
- Matjik AA dan Sumertajaya M. 2006. *Perancangan Percobaan dengan Aplikasi SAS dan Minitab*. Bogor: IPB Press.
- Nunes MCN. 2008. *Color Atlas Postharvest Quality of Fruits and Vegetables: Solanaceous and other fruit vegetables*. USA: J Wiley & Sons, Ltd.
- Nyanjage MO, Nyalala SPO, Illa AO, Mugo BW, Limbe AE, Vulimu EM. 2005. Extending Post-Harvest Life of Sweet Pepper (*Capsicum annum L.* ‘California Wonder’) with Modified Atmosphere Packaging and Storage Temperature. *Agricultura Tropica et Subtropica* 38 (2): 28-32.
- Prasanna V, Prabha TN, dan Tharanathan RN. 2007. Fruit Ripening Phenomena:an Overview. *Critical review in food science and nutrition* 47 (1): 1-19, doi:10.1080.
- Raynasari B. 2012. Pengaruh Suhu Penyimpanan Terhadap Sifat Fisik dan Mekanik Kemasan Plastik Retail. [Skripsi]. Bogor: Institut Pertanian Bogor.
- Sampaio SA, Bora PS, Holschuh HJ, Silva SM. 2007. Postharvest Respiratory Activity and Changes in Some Chemical Constituents During Maturation of Yellow Mombin (*Spondias mombin*) Fruit. *Ciênc Tecnol Aliment.* 27(3): 511-515.
- Syamsu K, Liesbestini H, Anas MF, Ani S, Dede R. 2007. Peran PEG 400 dalam Pembuatan Lembaran Bioplastik Polihidroksialkanoat yang dihasilkan oleh *Ralstonia eutropha* dari Substrat Hidrolisat Pati Sagu. *J Ilmu Pert.* 63-68.
- Toor RK dan Savage GP. 2006. Changes in Major Antioxidant Components of Tomatoes During Post-Harvest Storage. *J Food Chem.* 99: 724-727.
- Tucker GA. 1993. *Biochemistry of Fruit Ripening*. London (GB): Chapman & Hall.
- Villavicencio LE, Blankenship SM, Sanders DC, Swallow WH. 2001. Ethylene and Carbon Dioxide Concentrations in Attached Fruits of Pepper Cultivars During Ripening. *Scientia Hort.* 91: 17-24.
- Winarno FG. 2002. *Fisiologi Lepas Panen Produk Hortikultura*. Bogor: M-Brio Pr.