

KARAKTERISTIK DAN TEKNOLOGI PENANGANAN PRODUK BUAH DAN SAYURAN TEROLAH MINIMAL (*FRESH CUT*)

Qanytah*, Ridwan Rachmat, dan Irpan Badrul Jamal

Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Pascapanen Pertanian
Jl. Tentara Pelajar 12, Kampus Penelitian Pertanian, Bogor 16114
Email: nita_mayall@yahoo.com*)

ABSTRAK

Meningkatnya permintaan buah dan sayuran segar yang dapat dikonsumsi secara langsung berdampak pada peningkatan permintaan terhadap produk buah dan sayuran terolah minimal (*fresh cut*). Penyediaan produk buah dan sayuran terolah minimal masih banyak menghadapi kendala terkait umur simpannya yang pendek dan mudah mengalami perubahan komposisi kandungan gizi dan rasa. Hal ini terjadi karena jaringan tumbuhan merupakan jaringan hidup yang dapat mengisolasi berbagai reaksi dan substrat. Dalam proses penanganan produk terolah minimal terjadi luka pada jaringan tanaman, baik yang disengaja maupun yang tidak disengaja. Luka dapat terjadi dalam proses *grading*, sortasi, pencucian, pengupasan, pemotongan, pengemasan, transportasi, dan proses bongkar muat. Pada jaringan tanaman yang mengalami luka tersebut, berbagai perubahan fisik, fisiologi, dan kimia dapat terjadi. Pengetahuan tentang perubahan karakteristik tersebut diperlukan sebagai dasar pemilihan teknologi yang tepat untuk mempertahankan mutu dan memperpanjang umur simpan produk buah dan sayuran terolah minimal. Pengaruh proses fisiologis, kimiawi, dan mikrobiologis pada produk terolah minimal dapat diminimalisasi dengan perlakuan seperti asidifikasi, penggunaan *edible coating*, anti mikroba alami, *firming agent*, *modified atmosphere packaging*, perlakuan dingin, dan perlakuan panas.

Kata kunci: karakteristik, penanganan, terolah minimal, buah, sayuran.

ABSTRACT. Qanytah, Ridwan Rachmat, dan Irpan Badrul Jamal. 2013. **Characteristics and Postharvest Technology of Fresh-Cut Fruits and Vegetables.** The increasing demand for ready to eat fresh fruits and vegetables, has increased demand for fresh cut fruits and vegetables. Supply for fresh cut fruits and vegetables is still facing many problems due to their short shelf life and changes in nutritional composition and taste. This is because plant tissue is a living tissue that can isolate many reactions and substrates. Plant tissues of fresh cut products may be wounded plant tissue during grading, sorting, washing, trimming, slicing, packaging, transporting, and loading processes. Physical, physiological, and chemical processes may occur as a result of tissue wounding. Understanding of these characteristics would help select appropriate technologies to maintain the product quality and to prolong their shelf life. The effects of physiological, chemical, and microbiological processes on fresh cut products could be minimized by treatments such as acidification, edible coating, natural antimicrobial, firming agents, modified atmosphere packaging, low temperature, and heat treatments.

Keywords : characteristics, handling, *fresh cut*, fruit, vegetable.

PENDAHULUAN

Teknologi pengolahan minimal adalah rangkaian kegiatan pada produk bahan pangan segar (buah dan sayuran) yang antara lain meliputi kegiatan menghilangkan bagian-bagian yang tidak dapat dikonsumsi dan memperkecil ukuran produk¹, dengan mempertahankan kesegaran alaminya tanpa menurunkan mutu gizi dan menjamin umur simpannya, agar lebih mudah digunakan oleh konsumen². Rangkaian kegiatan dalam penanganan produk terolah minimal meliputi pembersihan (*cleaning*), pencucian (*washing*), pengupasan (*trimming/peeling*), pemotongan (*coring, slicing, shredding, cutting*), pembuangan biji (*deseeding*) dan pengemasan (*packing*). Beberapa istilah digunakan untuk penanganan produk terolah minimal, seperti pengolahan minimal (*minimally process*), proses ringan (*lightly processed*), proses sebagian (*partially processed*), proses segar (*fresh processed*), dan proses awal (*pre-prepared*)².

Berbagai jenis buah dan sayuran terolah minimal saat ini dijual di berbagai supermarket. Jenis buah tropis terolah minimal meliputi melon, semangka, mangga, manggis, rambutan, nangka, pampelo, pepaya, durian, jeruk besar, nenas, durian, dan campuran buah. Sayuran terolah minimal meliputi wortel, jagung, brokoli, bunga kol, seledri, kubis, asparagus, ubi jalar, dan campuran sayuran.

Perubahan gaya hidup masyarakat yang membutuhkan produk yang mudah disimpan, tidak memakan tempat, produk dengan sedikit limbah, waktu yang lebih pendek untuk menyiapkan makanan, dan jumlah anggota keluarga lebih sedikit namun membutuhkan campuran produk sayur dan buah yang beragam menyebabkan berkembangnya produk buah dan sayuran terolah minimal. Hal ini disebabkan oleh kebutuhan masyarakat akan produk buah-buahan dan sayuran segar yang mudah untuk digunakan maupun dikonsumsi.

Meningkatnya permintaan buah segar, secara langsung meningkatkan permintaan terhadap produk terolah minimal. Di Amerika, penjualan produk terolah minimal meningkat dari US\$3.3 milyar pada 1999 menjadi US\$15.5 milyar pada tahun 2007³. Permintaan salad dan sayuran terolah minimal meningkat pada tahun 2008, sedangkan permintaan buah terolah minimal cenderung menurun. Industri produk terolah minimal di Eropa menunjukkan peningkatan secara eksponensial sejak tahun 1980. Menurut Rabobank⁴, tuntutan konsumen terhadap hidup yang sehat dan nyaman merupakan kunci tumbuhnya industri buah

dan sayuran terolah minimal. Di Belanda, Swiss, Italia, Spanyol, dan Inggris juga menunjukkan peningkatan permintaan produk buah dan sayuran terolah minimal. Pasar produk terolah minimal di Jepang dan Korea telah tumbuh sejak tahun 1980 dan 1990. Produk sayuran terolah minimal merupakan industri terbesar di kedua negara tersebut. Di Jepang dan Korea, pasar produk terolah minimal mencapai US \$ 2.6 pada tahun 2005 dan 1.1 milyar pada tahun 2006. Konsumsi produk terolah minimal di Jepang mulai meningkat sejak tahun 1980. Sedangkan industri produk terolah minimal di Korea berkembang pesat sejak tahun 1990, dimana setiap tahun terus meningkat dengan pertumbuhan penjualan rata-rata lebih dari 10% sejak tahun 2000. Konsumen utama produk terolah minimal adalah sekolah dan restoran⁵.

Perkembangan produk terolah minimal di negara-negara berkembang masih tertinggal⁶. Buah terolah minimal yang diproduksi oleh industri rumah tangga di negara berkembang termasuk Indonesia umumnya dijual di pasar tradisional menggunakan gerobak dorong atau di sekolah-sekolah. Di supermarket produk terolah minimal yang dijual berupa buah potong dan sayuran non daun. Potensi produk buah dan sayur terolah minimal dari negara berkembang yaitu beragamnya jenis, warna, rasa, dan tekstur buah dan sayuran.

Komoditas buah dan sayuran memiliki peran yang penting dalam kesehatan dan gizi manusia. Namun penyediaan produk buah dan sayuran yang siap konsumsi masih banyak menghadapi kendala terkait umur simpannya yang pendek, mudah mengalami perubahan komposisi kandungan gizi, mudah rusak, dan mudah mengalami perubahan rasa atau *off flavour*. Buah dan sayuran segar merupakan produk yang masih hidup dan terus mengalami proses pematangan dan kerusakan jaringan sebagai akibat dari proses fisiologis. Berbagai hal yang tidak diharapkan dapat terjadi selama proses penanganan, penyimpanan, distribusi dan pemasaran produk buah dan sayuran terolah minimal. Setiap komoditas yang berbeda akan memberikan respon yang berbeda selama penanganan dan perlakuan pada produk terolah minimal. Oleh karena itu, diperlukan pengetahuan tentang karakteristik komoditas buah dan sayuran utuh dan produk terolah minimal untuk mempertahankan mutu produk. Untuk peningkatan sanitasi, penyiapan dan penanganan produk hortikultura terolah minimal diperlukan pengetahuan mengenai fisiologi pasca panen.

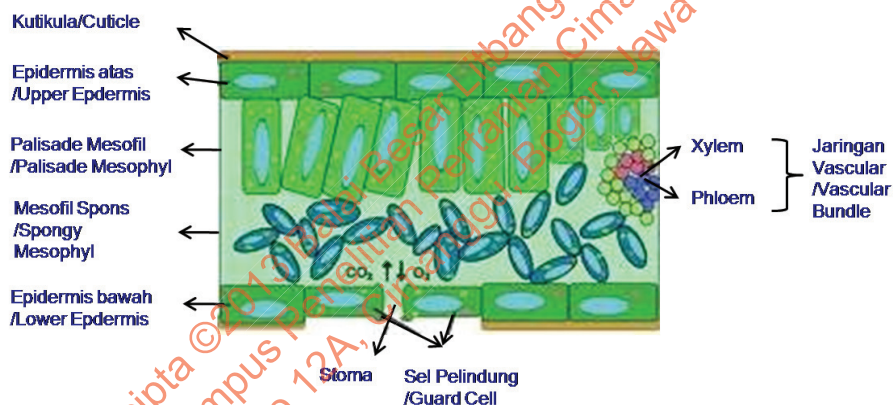
Makalah ini membahas perubahan karakteristik yang terjadi pada produk buah dan sayuran terolah minimal yang mempengaruhi mutu dan umur simpannya. Disamping itu dibahas pula berbagai teknologi yang dapat menghambat perubahan karakteristik yang tidak diharapkan dari berbagai literatur dan hasil-hasil penelitian. Informasi yang dibahas dalam makalah ini diharapkan dapat mendorong penelitian dan pengembangan produk buah dan sayuran terolah minimal Indonesia di masa yang akan datang.

STRUKTUR JARINGAN BUAH DAN SAYURAN

Buah dan sayuran terdiri atas berbagai sistem jaringan sebagaimana disajikan dalam Gambar 1. Masing-masing bagian dalam struktur jaringan tersebut memiliki fungsi yang berbeda untuk mendukung proses metabolisme dalam jaringan tumbuhan (Tabel 1).

Menurut Saltveit⁸, jaringan tumbuhan terdiri atas berbagai kompartemen yang dapat mengisolasi berbagai reaksi dan substrat. Proses isolasi ini dapat melindungi sel dari reaksi yang tidak diharapkan yang merusak sel. Membran sel berfungsi sebagai pelindung dan membagi sel menjadi beberapa lapisan membran. Mempertahankan integritas membran merupakan hal penting untuk memelihara vitalitas sel dan kualitas produk. Membran vakuola menyimpan dan melindungi asam organik, gula, dan pigmen. Membran sel melindungi sel dari pengaruh lingkungan. Membran mitokondria berfungsi mengubah energi potensial dalam bentuk makanan menjadi *Adenosine Triphosphate* (ATP) dan tempat terjadinya metabolisme oksidatif. Membran *Lysosom* berfungsi untuk menghancurkan struktur yang tidak dikehendaki atau sudah tidak berfungsi.

Dalam proses penanganan produk terolah minimal dapat menimbulkan luka pada jaringan tanaman (Gambar 2), baik yang disengaja maupun



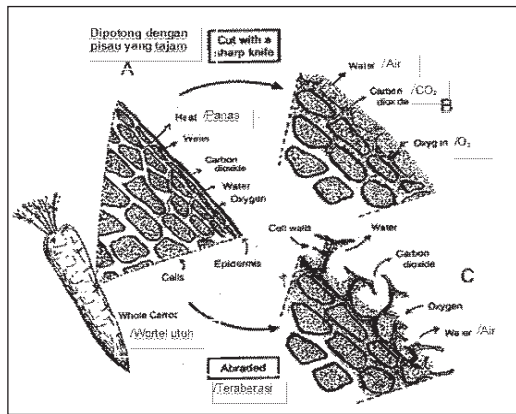
Gambar 1. Sistem jaringan tumbuhan⁷

Figure 1. Plant tissue system⁷

Tabel 1. Sistem jaringan pada buah dan sayuran beserta fungsinya⁸

Table 1. Types and functions of tissue systems in fruits and vegetables⁸

Jaringan <i>Plant Tissue</i>	Fungsi <i>Function</i>
Jaringan Kutikula/ <i>Cuticle</i>	merupakan lapisan lilin pada bagian luar struktur jaringan buah dan sayur yang menjadi pelindung terhadap proses kehilangan air dan masuknya patogen ke dalam buah
Jaringan Epidermis/ <i>Epidermis</i>	merupakan lapisan pertama sel-sel hidup yang memproduksi lapisan kutikula dan juga berfungsi sebagai pelindung
Jaringan Periderm <i>Inner Tissue</i>	merupakan jaringan bagian dalam yang mengandung bagian yang kita makan
Jaringan Struktural <i>Structural Tissue</i>	Jaringan yang mendukung sel dan memberi bentuk dan tekstur komoditas
Jaringan Vaskular <i>Vascular Tissue</i>	merupakan jaringan penghubung dalam struktur jaringan komoditas



Gambar 2. Kondisi jaringan tanaman yang mengalami luka⁸.

Figure 2. Plant tissue condition after wounding⁸

yang tidak disengaja. Luka dapat terjadi dalam proses *grading*, sortasi, pencucian, pengupasan, pemotongan, pengemasan, transportasi, dan proses bongkar muat. Pada jaringan tanaman yang mengalami luka tersebut, berbagai perubahan fisik, fisiologi, dan kimia dapat terjadi.

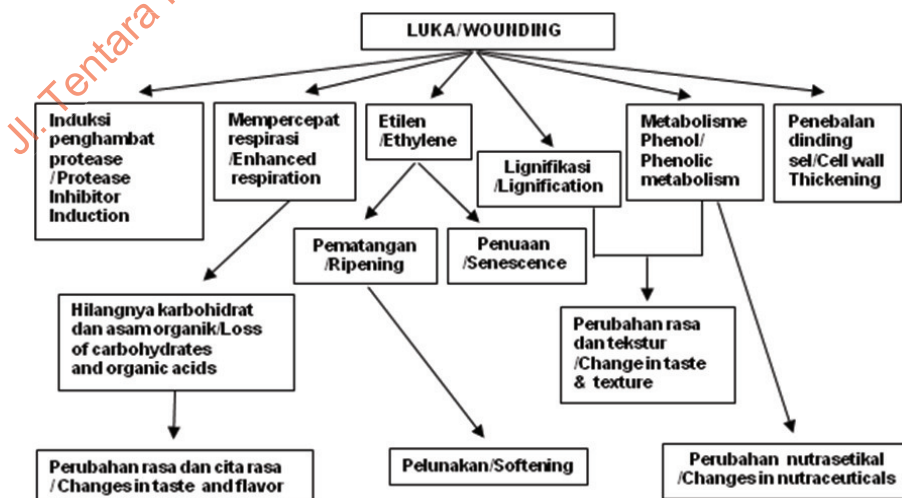
Gambar 3 menunjukkan berbagai reaksi jaringan tanaman terhadap luka. Secara umum, proses penanganan produk terolah minimal meningkatkan laju proses metabolisme akibat kerusakan produk segar tersebut. Kerusakan fisik atau luka akibat penanganan meningkatkan respirasi, produksi etilen, dan laju reaksi-reaksi biokimia lainnya yang menyebabkan perubahan warna (*browning*), perisa, tekstur, dan mutu gizi (seperti hilangnya vitamin). Makin banyak luka yang terjadi, maka respon fisiologis produk semakin tinggi⁹.

Peningkatan laju respirasi menyebabkan kehilangan air dan menurunkan kadar karbohidrat, vitamin dan asam organik, dan berdampak negatif terhadap perisa dan aroma. Kehilangan air juga dipercepat oleh degradasi membran dan dinding sel sebagai akibat dari hilangnya turgor jaringan. Pada saat yang bersamaan, pada bagian yang dipotong dimana dinding dan membran sel pecah menyebabkan gula yang sebelumnya terisolasi di dalam sel menjadi tersedia bagi mikroba sebagai sumber energi yang dapat mempercepat pertumbuhan mikroba dan merusak jaringan oleh mikroba⁹.

PERUBAHAN FISILOGIS PRODUK TEROLAH MINIMAL

Setelah dipanen, buah dan sayuran merupakan jaringan yang tetap hidup dan aktif melakukan reaksi metabolisme, dimana proses respirasi terus berlanjut, diikuti perubahan-perubahan fisiologi seperti proses pelunakan jaringan, penurunan kadar asam-asam organik, perubahan warna, dan kehilangan senyawa-senyawa mudah menguap yang berperan dalam pembentukan aroma. Perubahan fisiologis yang tidak terkontrol dengan baik akan mempercepat proses penurunan mutu yang akan berakhir dengan penuaan jaringan hingga terjadinya kerusakan¹⁰.

Produk terolah minimal lebih mudah mengalami kerusakan dibandingkan dengan produk utuh¹¹. Perlakuan pengolahan minimal terhadap buah dan sayuran mengakibatkan kehilangan kulit sebagai lapisan pelindung, sehingga dapat menyebabkan terjadinya induksi sintesis etilen,



Gambar 3. Berbagai respon fisiologi dan biokimia jaringan tanaman terhadap luka⁹.

Figure 3. Various physiological and biochemical responses to wounding⁹.

degradasi membran lipid, reaksi pencoklatan, pembentukan metabolit sekunder, kehilangan air dan terjadinya peningkatan laju respirasi (Gambar 4). Induksi sintesis etilen adalah pembentukan etilen karena bereaksinya enzim pembentuk etilen dengan oksigen yang perlu dihindari karena dapat mempercepat penuaan. Perubahan-perubahan fisiologis tersebut akan memperpendek umur simpan buah dan sayur terolah minimal.

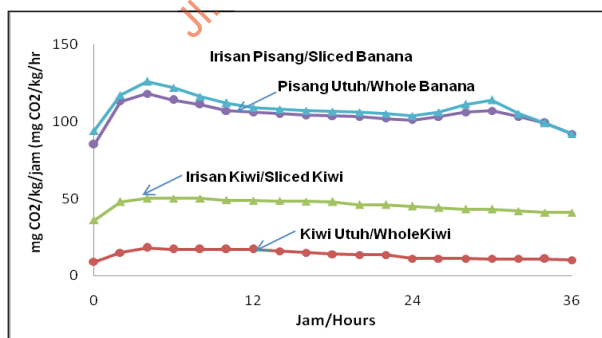
Menurut Kyung⁹, proses penanganan buah dan sayuran terolah minimal akan mengakibatkan aktivitas respirasi produk meningkat 20-70% tergantung jenis produk, cara pemotongan, dan suhu. Apabila produk dikemas pada kondisi anaerob, maka akan terjadi respirasi anaerob yang menyebabkan terbentuknya etanol, keton dan aldehida, sehingga menyebabkan terjadinya *off-flavor*.

James dan Ngamsak⁶ menyatakan bahwa jenis enzim yang berperan paling penting pada produk hortikultura terolah minimal adalah polifenol oksidase yang menyebabkan *browning*. Enzim lain yang juga penting adalah lipoksidase. Enzim ini mengkatalis proses peroksidasi yang menyebabkan terbentuknya senyawa-senyawa aldehida dan keton yang mempunyai aroma yang tidak sedap. Akibat proses penanganan komoditas terolah minimal juga terjadi peningkatan produksi etilen (Gambar 5) yang berperan pada kerusakan fisiologis dan potongan buah-buahan, seperti lunaknya daging buah.

PERUBAHAN BOKIMIA PRODUK TEROLAH MINIMAL

Perubahan Warna

Browning atau pencoklatan merupakan salah satu akibat dari perubahan fisiologis produk terolah minimal dan menyebabkan penurunan mutu produk.



Gambar 4. Laju respirasi pada irisan dan buah utuh pisang dan kiwi pada suhu 20°C⁹.

Figure 4. Respiration rates of sliced and whole banana and kiwifruit held at 20°C⁹.

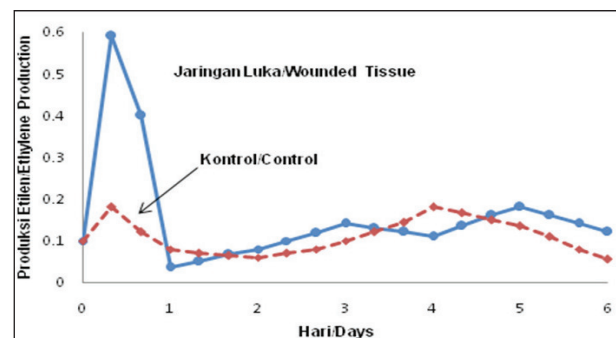
Proses tersebut menyebabkan terjadinya oksidasi fenol yang dihasilkan oleh enzim *Polyphenol oxidase (PPO enzyme)*¹². Kandungan enzim PPO yang tinggi pada umumnya ditemukan pada jaringan yang kaya dengan kandungan fenol. Berlanjutnya proses *browning* tergantung konsentrasi PPO aktif dan fenol pada jaringan, pH, suhu dan oksigen serta kandungan antioksidan¹³. Hal ini akan berpengaruh terhadap kecepatan proses pencoklatan pada produk buah dan sayuran. Pada umumnya, semakin lama produk disimpan, maka produk akan semakin cokelat. Perubahan warna yang terjadi pada berbagai produk terolah minimal akibat proses pencoklatan disajikan pada Gambar 6.

Perubahan Cita Rasa

Komponen utama cita rasa pada buah segar yaitu kemanisan, keasaman, rasa getir, dan rasa pahit. Pada umumnya komponen cita rasa dan aroma pada buah terolah minimal hilang melalui reaksi enzimatis pada saat proses pemotongan dan pada saat terjadinya peningkatan laju respirasi pada jaringan buah. Kerusakan akibat aktivitas mikroba juga menyebabkan degradasi cita rasa pada produk terolah minimal. Produk terolah minimal dapat mengalami *off-flavour* apabila ditumbuhi oleh bakteri asam laktat atau *Pseudomonas*, yang menyebabkan terjadinya proses fermentasi yang memproduksi asam, alkohol, dan gas karbondioksida (CO₂). Selain itu, akan menyebabkan meningkatnya aktivitas enzim lipase dan rusaknya asam amino pada buah oleh mikroorganisme dan menyebabkan perubahan cita rasa¹⁴.

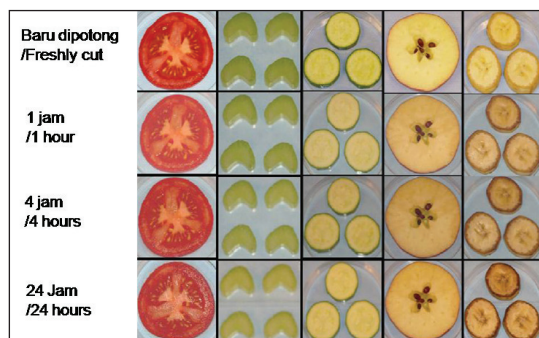
Perubahan Kualitas Gizi

Vitamin A, B6, C, tiamin, niasin, mineral dan serat pangan memberikan kontribusi terhadap kualitas gizi buah dan sayuran segar. Kandungan bahan-



Gambar 5. Pengaruh luka terhadap produksi etilen pada daun selada⁹.

Figure 5. Effect of wounding on the rate of ethylene production from lettuce tissue⁹.



Gambar 6. Perubahan warna pada produk terolah minimal⁸.

Figure 6. Color changes on fresh cut products⁸

bahan seperti flavonoid, karotenoid, polifenol dan fitonutrien lainnya yang berhubungan dengan penurunan risiko terhadap kanker dan serangan jantung juga ditemukan dalam buah dan sayuran. Menurut Gil¹⁵, buah dan sayuran terolah minimal akan tampak mengalami kerusakan secara visual sebelum terjadinya kehilangan nutrisi. Buah dan sayuran terolah minimal kehilangan kandungan gizinya apabila daging buah terekspose oleh oksigen. Buah yang dipotong dan disimpan dalam lemari pendingin selama 5-6 hari akan kehilangan 10-25% vitamin C dan karotenoid. Menurut *The United States Food and Drug Administration*¹⁶, sayuran yang dipotong atau dikupas juga akan kehilangan 50% kandungan vitamin C dalam waktu 1-2 minggu¹⁷. Penurunan kandungan vitamin C selama penyimpanan dapat diakibatkan karena terjadinya oksidasi menjadi asam dehidroaskorbat oleh enzim asam askorbat oksidase sebagai akibat aktivitas mikroorganisme¹⁸.

Antioksidan mudah rusak apabila terekspose oleh oksigen atau cahaya. Reaksi oksidasi juga terjadi apabila terekspose asam atau halida seperti hipoklorit yang digunakan sebagai larutan untuk sanitasi produk. Interaksi reaksi ini dengan enzim seperti askorbat oksidase, polifenol oksidase, sitokrom oksidase, dan peroksidase juga dapat menyebabkan kerusakan buah dan sayuran terolah minimal. Reaksi pencokelatan yang disebabkan oleh oksidasi fenol dengan dikatalisasi oleh enzim PPO akan menyebabkan timbulnya melanin dan menurunkan kandungan gizi produk¹⁹.

Luka juga menyebabkan meningkatnya oksidasi asam lemak oleh lipoksigenase yang dapat menyebabkan terjadinya penurunan kandungan karotenoid²⁰. Pemecahan glukosa menjadi asam piruvat selama proses pematangan menyebabkan kandungan total gula buah selama penyimpanan mengalami penurunan. Kecenderungan yang

terjadi pada buah yang disimpan adalah mula-mula terdapat kenaikan kandungan gula, kemudian terjadi penurunan gula²¹. Penurunan total gula juga dapat disebabkan oleh aktivitas mikroorganisme. Adanya mikroorganisme akan menguraikan gula sederhana sebagai nutrisi untuk pertumbuhannya.

Perubahan Tekstur

Bagian permukaan buah dan sayuran terolah minimal yang tidak dilindungi akan mengalami kehilangan air dengan cepat. Kehilangan air ini akan menyebabkan keriput dan rusaknya produk terolah minimal sehingga mengurangi kerenyahan dan kepadatan teksturnya. Pelunakan jaringan produk terolah minimal selama penyimpanan merupakan akibat dari perubahan struktur dinding sel. Hal ini disebabkan oleh aktivitas enzim yang menurunkan kekakuan sel pektin dan menurunnya resistensi terhadap tekanan. Penurunan kekakuan yang berhubungan dengan kehilangan air merupakan penyebab utama pelunakan jaringan buah dan sayuran terolah minimal⁶.

KERUSAKAN MIKROBIOLOGIS PRODUK TEROLAH MINIMAL

Secara ekologis produk buah dan sayuran merupakan tempat yang baik bagi pertumbuhan berbagai jenis mikroflora. Pada buah-buahan yang utuh, daging buah aman untuk dikonsumsi setelah dikuliti, karena permukaan kulit buah merupakan bagian yang secara fisik maupun kimia dapat berfungsi sebagai pelindung dari kontaminasi mikroorganisme. Ketika produk hortikultura dikupas dan dipotong-potong atau diiris, permukaan produk tersebut akan langsung kontak dengan udara dan mudah terkontaminasi oleh bakteri, kapang, maupun khamir. Pada bagian kulit yang rusak, karena kondisi yang asam, biasanya dapat ditumbuhi oleh bakteri dan cendawan tahan asam yang merupakan mikroorganisme pembusuk. Kondisi asam tersebut akan mencegah tumbuhnya bakteri patogen. Pada sayuran segar, mikroorganisme yang ada didominasi oleh organisme yang bersumber dari tanah.

Secara umum, pH jaringan tumbuhan berkisar antara 5-7, yang merupakan kondisi optimum bagi pertumbuhan berbagai jenis mikroba. Berbeda dengan sayuran, buah mengandung asam organik sehingga pH jaringan buah dapat mencapai kurang dari 4,6. Namun beberapa buah seperti semangka, mentimun, dan pisang memiliki pH yang lebih tinggi²².

Tabel 2. Mikroorganisme yang ditemukan dalam buah dan sayuran terolah minimal²²

Table 2. Microorganisms present in fresh-cut of fruits and vegetables²²

Mikroorganisme Microorganisms	Tipe Type
<i>Pseudomonas</i>	Gram Negatif
<i>Enterobacter</i>	Gram Negatif
<i>Leuconostoc mesenteroides</i>	Gram Positif
<i>E. coli</i>	Gram Negatif
<i>Salmonella</i>	Gram Negatif
<i>Listeria monocytogenes</i>	Gram Positif
<i>Clostridium botulinum</i>	Gram Positif
<i>Vibrio chlorerae</i>	Gram Negatif
<i>Virus Hepatitis A</i>	-
<i>Yersinia enterocolitica</i>	Gram Negatif

Mikroorganisme yang umumnya berkembang pada sayuran adalah saprofit seperti coliform, bakteri asam laktat, dan pseudomonas yang berasal dari tanah, udara dan air. Cendawan seperti *Aureobasidium*, *Fusarium*, dan *Alternaria* juga kadang ditemukan, namun jumlahnya relatif lebih sedikit daripada bakteri. Meskipun diketahui dan hingga kini dinyatakan bahwa produk buah dan sayuran yang diolah minimal (produk *fresh cut*) tergolong aman jika ditinjau dari segi kasus keracunan dan kasus penyakit yang ditimbulkannya, akan tetapi pada produk terolah minimal dapat ditemukan juga bakteri patogen (Tabel 2).

Salah satu bakteri yang harus diperhatikan pada produk segar adalah bakteri *L.monocytogenes*. Bakteri ini tergolong bakteri gram positif yang bersifat fakultatif anaerob (dapat hidup dalam kondisi oksigen rendah) seperti pada kondisi penyimpanan produk terolah minimal secara umum, dengan temperatur minimal untuk pertumbuhannya berkisar 0 - 4 °C. Investasi bakteri ini dapat menyebabkan penyakit meningitis, *septicaemia*, janin yang tidak berkembang (*still birth*) dan kematian bayi dalam kandungan (*abortion*). Hal ini menyebabkan di banyak negara diberlakukan kontrol/aturan yang ketat terhadap adanya *Listeria*, misalnya di negara Perancis populasi maksimum adalah sebanyak 10² CFU/gr bahan, sedangkan di Jerman < 10² CFU dinyatakan belum memerlukan tindakan dan apabila populasi telah >10² CFU diharuskan melakukan suatu tindakan investigasi, sementara United Kingdom dan USA memberlakukan semua makanan golongan makanan siap saji harus bebas *Listeria*²³.

Meskipun bakteri ini dapat menyebabkan berbagai penyakit dan di banyak negara dilakukan kontrol yang ketat terhadap adanya *Listeria*, namun hasil penelitian Son SM²² menunjukkan bahwa di beberapa negara masih ditemukan insiden ditemukannya *Listeria* pada produk buah dan sayuran terolah minimal (Tabel 3). Untuk mengatasi hal tersebut, standar proses penanganan produk-produk yang memiliki potensi tinggi terkontaminasi oleh *Listeria* perlu ditingkatkan dan dikontrol lebih ketat.

Kontaminasi bakteri pada produk sayuran terolah minimal juga ditemukan pada wortel terolah minimal yaitu bakteri mesofilik²⁴ (Gambar

Tabel 3. Insiden ditemukannya *Listeria monocytogenes*/*Listeria* spp. pada produk buah dan sayuran terolah minimal²²

Table 3. Incidence of *Listeria monocytogenes*/*Listeria* spp. in fresh-cut fruits and vegetables²²

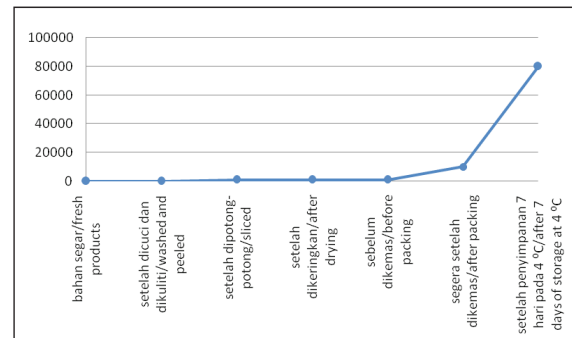
Produk Product	Frekuensi (%) Frequency (%)	Negara Countries	Tahun Year
Salad sayuran terolah minimal (<i>Fresh cut salad</i>)	13.3	Inggris	1988
Salad sayuran (<i>Vegetable Salad</i>)	25.0	Irlandia Utara	1993
Salad sayuran (<i>Vegetable Salad</i>)	2.3	Jerman	1992
Tomat (<i>Tomatoes</i>)	13.3	Pakistan	1992
Mentimun (<i>Cucumbers</i>)	6.7	Pakistan	1992
Sayuran daun (<i>Leafy Vegetables</i>)	22.7	Malaysia	1994
Buah terolah minimal (<i>Fresh cut of Fruits</i>)	12.5	Venezuela	1988

7). Jumlah bakteri mesofilik pada wortel tersebut semakin meningkat selama proses penanganan dan penyimpanan. Hal ini menunjukkan bahwa dengan teknik penyimpanan yang kurang tepat, akan mendukung perkembangan bakteri mesofilik.

PERSYARATAN MUTU BUAH DAN SAYUR UNTUK DIOLAH MINIMAL

Mutu buah dan sayur segar bukan hanya dipengaruhi oleh kondisi pascapanen namun juga oleh faktor prapanen, termasuk diantaranya: varietas, iklim, tanah, pupuk, pestisida, tingkat kematangan, dan status air selama penanaman¹⁴. Oleh karena itu, produk buah dan sayur terolah minimal yang bermutu baik hanya dapat diproduksi dari bahan baku hasil panen yang baik pula.

Konsep mutu sangat luas, yakni karakteristik yang ada pada suatu produk yang menjadi penentu terhadap penerimaan konsumen atas suatu produk¹⁴. Untuk buah dan sayur segar, termasuk produk buah dan sayuran terolah minimal, komponen mutu yang menjadi perhatian utama konsumen antara lain penampilan secara visual, tekstur yang berhubungan dengan apa yang diindera di mulut (*mouth-feel*), cita rasa khususnya yang berhubungan dengan rasa dan aroma, kandungan gizi dan faktor keamanan bila dikonsumsi^{25, 26}. Dari segi sensoris, konsumen lebih menitikberatkan pada pertimbangan warna, cita rasa, dan tekstur. Ketiganya merupakan karakteristik buah dan sayuran yang berhubungan erat dengan kondisi fisiologi bahan dan kondisi mikrobiologis pada bahan. Demikian juga halnya dengan kandungan gizi serta keamanan pada produk buah dan sayur terolah minimal erat hubungannya dengan kondisi mikrobiologis bahan. Untuk menghasilkan produk



Gambar 7. Jumlah bakteri mesofilik (x 1000 CFU) pada wortel terolah minimal²⁴.

Figure 7. The amount of mesophylic bacteria (x 1000 CFU) in fresh-cut carrot²⁴

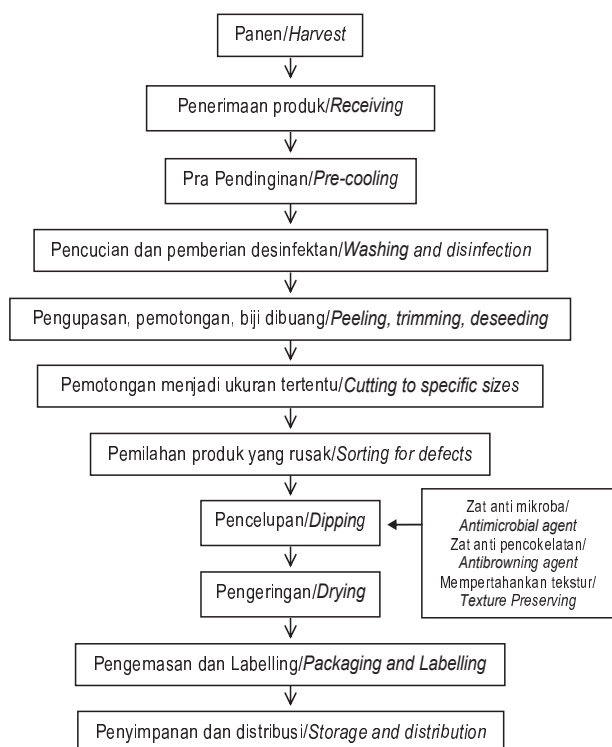
buah dan sayuran terolah minimal bermutu dan memiliki umur simpan yang relatif panjang, harus diproses secara baik dan benar, dengan persyaratan sebagaimana tercantum pada Tabel 4.

Proses penanganan produk buah dan sayuran terolah minimal meliputi beberapa tahap seperti pra pendinginan, pencucian dan pemberian desinfektan, pengupasan, pemotongan, pemilahan, pencelupan, pengeringan, pengemasan dan distribusi (Gambar 8). Buah dan sayuran yang digunakan untuk produk terolah minimal harus dalam kondisi mutu terbaik, dan ditangani dengan hati-hati untuk menghindari kerusakan dan kontaminasi. Peralatan harus dalam kondisi baik misalnya pisau yang tajam, kantong dan kotak kemasan yang bersih, dan pekerja harus mengenakan pakaian yang bersih. Idealnya, produk yang telah dipanen harus didinginkan sebelum diproses atau disimpan untuk menghilangkan panas lapangan. Teknik pra pendinginan yang dapat digunakan diantaranya *chilled water baths*, *forced air cooling*, *vacuum cooling* dan pengemasan dengan campuran es dan air untuk menghilangkan

Tabel 4. Persyaratan proses penanganan buah dan sayuran terolah minimal²⁷

Table 4. Standard process for fresh-cut fruits and vegetables²⁷

- Mutu bahan baku yang baik
- *Hygiene* yang ketat dan praktek penanganan yang baik (*good handling/ manufacturing practices*), manajemen HACCP yang efektif
- Penanganan dan proses dilakukan pada suhu yang rendah
- Pembersihan dan pencucian yang baik dilakukan sebelum dan sesudah pengupasan
- Mutu air yang baik (sensoris, mikrobiologis, pH) digunakan pada pencucian
- Penggunaan bahan tambahan untuk desinfektan atau pencegah pencokelatan (*browning*) dalam air pencuci tidak berlebih
- Penggunaan *spin drying* secara hati-hati setelah pencucian
- Pengupasan secara hati-hati
- Pemotongan/pengirisian secara hati-hati
- Bahan dan metode kemasan yang benar
- Suhu dan kelembaban yang benar selama distribusi dan ritel

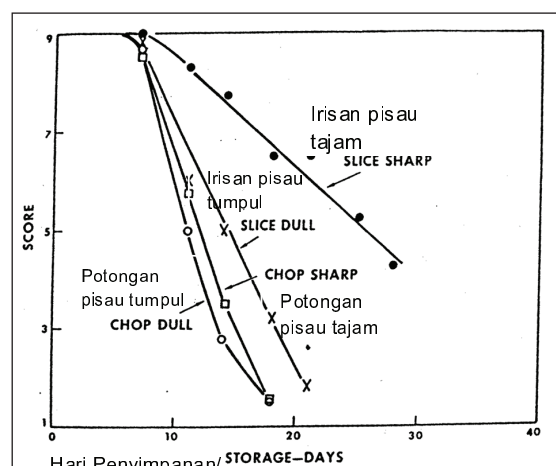


Gambar 8. Proses penanganan buah dan sayuran terolah minimal⁶

Figure 8. Postharvest handling of fresh-cut fruits and vegetables⁶

panas lapangan. Suhu selama proses pendinginan harus diperhatikan agar tidak terjadi *chilling injury* yaitu suatu kondisi bahan hasil pertanian (buah dan sayur) mengalami kerusakan akibat perlakuan pada suhu dingin yakni sekitar 0 – 10 °C sebagai akibat dari kerusakan membran, perubahan kandungan metabolik dan terbentuknya toksin²⁸ dengan gejala atau ciri-ciri antara lain mengalami pencoklatan dan timbul rasa manis (pada kentang), muncul noda hitam pada permukaan kulit (pada buah pisang), dan tekstur buah rusak (pada buah tomat).

Pencucian produk dilakukan beberapa kali dan harus dilakukan sesegera mungkin setelah panen. Pencucian dilakukan dengan air mengalir berkualitas prima untuk menghindari pemindahan kontaminan dari air ke produk. Pada beberapa industri produk terolah minimal yang besar seringkali digunakan air yang didaur ulang. Untuk penggunaan air yang didaur ulang ini, diperlukan kehati-hatian dan pengawasan karena berisiko terhadap meningkatnya kandungan mikroba dalam air. Selama pencucian, biasanya digunakan klorin, yaitu pada pencucian terakhir. Untuk pencucian sayuran biasanya digunakan air dengan suhu (0-5°C), pH (4.5-5.5), konsentrasi klorin (50-100 ppm) dan *Oxidation Reduction Potential* (ORP) (650-750 ppm)⁶.



Gambar 9. Pengaruh metode pemotongan terhadap umur simpan selada terolah minimal⁹.

Figure 9. Effect of cutting method on storage life of shredded lettuce⁹

Produk terolah minimal diproses melalui pengupasan, pemotongan, pengirisan dan pamarutan, yang membutuhkan pisau yang tajam. Ketajaman pisau yang digunakan pada pemotongan produk juga berpengaruh terhadap aktivitas metabolisme produk setelah dipotong-potong. Pengaruh metode pemotongan terhadap umur simpan produk terolah minimal disajikan pada Gambar 9.

Produk terolah minimal yang telah dipotong selanjutnya direndam dalam larutan *acidulant*/antioksidan yang mengandung kombinasi antara asam askorbat/asam sitrat, atau zat anti *softening* seperti kalsium khlorida. Sisa air setelah pencucian dikeringkan dengan menggunakan *conveyor shakers* atau *spin drying*. Kemasan yang digunakan untuk produk *fresh cut* buah dan sayuran diantaranya kantong plastik, *thermoformed containers* dengan lapisan film atau *plastic wrap*.

TEKNOLOGI PENANGANAN PRODUK TEROLAH MINIMAL

Berbagai teknik dilakukan untuk mempertahankan mutu dan memperpanjang umur simpan buah dan sayuran terolah minimal, yaitu: 1) meminimalisasi kerusakan mekanis dan kontaminasi mikroba selama pemotongan; 2) meminimalisasi transfer mikroba selama pencucian; 3) manajemen suhu selama proses penanganan produk terolah minimal; dan 4) perlakuan pasca pemotongan komoditas. Pengendalian terhadap luka akibat proses penanganan produk terolah minimal merupakan kunci untuk menghasilkan produk dengan mutu yang baik. Selama proses pemotongan atau pun pengirisan saja mikroflora dapat berkembang

hingga 6-7 kali populasi awal¹⁴. Penelitian Schlech, Lavigne²⁹ menemukan bahwa alat pemotong/pengiris merupakan sumber utama kontaminasi, khususnya untuk *Listeria* dan *Salmonella*.

Hasil penelitian Portela dan Cantwell³⁰ menunjukkan bahwa buah pir yang dipotong menggunakan pisau yang tajam, kualitas visualnya dapat dipertahankan lebih lama dibandingkan jika dipotong menggunakan pengiris (*slicer*) manual yang tumpul. O'Beirne³¹ menyatakan bahwa wortel yang diiris menggunakan *blunt blade* mendorong pertumbuhan *E. coli* dan memperpendek umur simpannya.

Dalam proses pencucian biasanya digunakan larutan klorin sebagai desinfektan dan atau bersamaan dengan campuran asam untuk mempertahankan pH larutan berkisar antara 4,5 – 5,5. Kadar klorin dan pH air pencuci merupakan hal yang kritikal terhadap kualitas produk terolah minimal. Pengendalian suhu merupakan hal yang penting selama tahapan proses produk terolah minimal. Suhu penyimpanan yang rendah dapat memperlambat laju respirasi, mempertahankan mutu, dan memperpanjang umur simpan. Penyimpanan dingin sangat dianjurkan karena dapat menekan laju degradasi enzimatis yang mengakibatkan pelunakan jaringan buah dan sayuran, mengurangi laju kehilangan air yang mengakibatkan kelayuan, menurunkan laju pertumbuhan mikroorganisme, serta menurunkan laju produksi etilen²⁶. Penyimpanan dingin untuk produk buah dan sayuran terolah minimal umumnya dilakukan pada suhu 2 – 5 °C. Produk irisan buah mangga arumanis yang dibekukan dengan pencelupan langsung dalam nitrogen cair selama 40 detik dapat memperpanjang umur simpan irisan mangga hingga 6 bulan³².

Pra perlakuan pada buah dan sayur dengan menggunakan panas dan suhu rendah sebelum proses penanganan produk terolah minimal dapat memperpanjang umur simpan³³. Penelitian Kim³⁴ menunjukkan bahwa perlakuan panas ringan pada apel sebelum diproses dapat mempertahankan kerenyahan buah apel terolah minimal, dan *hydrocooling* pada asparagus memperlambat laju respirasi. Mangga yang dicuci dengan 100 ppm klorin pada suhu 50°C tidak ditumbuhi oleh bakteri aerobik³⁵.

Berbagai perlakuan fisik dan kimia yang dapat dilakukan untuk memperlambat proses pembusukan jaringan dan memperpanjang umur simpan produk buah dan sayuran terolah minimal, yaitu:

1. Asidifikasi (Pengasaman)

Browning dapat diperlambat dengan mencelupkan produk ke dalam larutan asam seperti asam askorbat, sitrat, tartarat, fumarat, atau asam fosfor. Kadar penggunaan asam biasanya adalah dengan kadar 1% untuk asam sitrat atau 1% untuk asam askorbat. Kombinasi larutan asam-asam tersebut juga dapat digunakan untuk memperoleh hasil yang lebih efektif, misalnya kombinasi asam askorbat dan asam sitrat. Namun kandungan asam tersebut dapat menyebabkan terjadinya *off-flavour* atau pelunakan jaringan⁶.

2. Edible coating

Salah satu alternatif yang dapat menekan laju penurunan mutu buah terolah minimal dan memperpanjang umur simpannya adalah dengan menggunakan lapisan film yang dapat dimakan (*edible coating*) dikombinasikan dengan penyimpanan pada suhu rendah. *Edible coating* adalah lapisan tipis yang melapisi bahan pangan dan aman untuk dikonsumsi. Bahan utama pembentuk film adalah biopolimer seperti protein, karbohidrat (pektin, gum, dan pati), lemak, dan campuran dari beberapa jenis film.

Bahan dasar pembentuk lapisan film sangat mempengaruhi sifat-sifat lapisan film itu sendiri. Lapisan film yang berasal dari hidrokoloid memiliki ketahanan yang baik terhadap gas O₂ dan CO₂ meningkatkan kekuatan fisik, namun ketahanan terhadap uap air rendah akibat sifat hidroliknya. Oleh karena itu, protein dan polisakarida tidak dapat digunakan sebagai penahan (*barrier*) terhadap kelembaban pada permukaan yang mempunyai aktifitas air permukaan tinggi³⁶. Hal ini menurut Wong³⁷, berarti lapisan hidrolik sebaiknya dihindari penggunaannya untuk menyimpan buah pada kelembaban relatif yang tinggi.

Fungsi lapisan film adalah untuk memberikan tahanan yang selektif terhadap transmigrasi gas dan uap air³⁸. Lapisan film telah banyak digunakan pada bahan-bahan farmasi, manisan, beberapa produk daging, unggas, dan hasil laut. Namun, penelitian dan aplikasi kemasan ini pada umumnya dijumpai pada buah dan sayur segar terutama buah dan sayur siap santap (*minimally processed*)³⁹. Penggunaan *edible coating* seperti sodium kaseinat atau asam stearat dapat mengurangi timbulnya bercak putih pada wortel terolah minimal⁸. Sedangkan *edible coating* gliserol 10% dan CMC 1% pada paprika memiliki laju transmisi oksigen sebesar 1,16 cc/m²/24 jam; laju transmisi uap air sebesar 225,48 g/m²/24 jam; dan kuat tarik sebesar 69,79 kgf/cm²⁴⁰.

3. Antimikroba alami

Beberapa ekstrak tumbuhan seperti jahe, marigold, dan kayu manis dapat memperlambat aktivitas mikroba. Penelitian Ngarmsak⁴¹ tentang penggunaan beberapa antimikroba alami menunjukkan bahwa ekstrak kayu manis dengan konsentrasi 500 ppm dapat mengendalikan busuk pangkal buah pada pisang. Kitosan adalah polisakarida yang diekstraksi dari *kitin* yang merupakan bahan alami dari cangkang kerang atau udang, cukup efektif dalam mengendalikan busuk pada buah rambutan yang disebabkan oleh *Lasiodiplodia theobromae*, antraknosa pada mangga, busuk pangkal buah pada pisang, dan busuk yang disebabkan oleh *Botrytis cineria* pada stroberi. Penggunaan larutan pencelup dari vanili dengan konsentrasi 80 ppm dan suhu penyimpanan 5°C efektif mengurangi pertumbuhan populasi mikroba pada mangga terolah minimal⁴¹.

4. Firming agent

Pencelupan produk terolah minimal dalam larutan kalsium khlorida dengan konsentrasi 0.5-1.0% dapat mempertahankan kekerasan buah^{42,43}, namun perlakuan tersebut menyebabkan rasa pahit pada beberapa produk buah dan sayuran. Penelitian Lee⁴⁴ menunjukkan bahwa penggunaan *Whey Protein Concentrate* (WPC) sebagai lapisan produk apel terolah minimal efektif untuk mempertahankan kekerasan buah apel. Demikian juga dengan kalsium klorida yang dikenal sebagai *firming agent*, dapat mempertahankan kekerasan daging buah apel.

5. Mengurangi Kandungan Oksigen dalam Kemasan

Adanya oksigen dalam kemasan produk terolah minimal akan menyebabkan perubahan warna produk, dan mempercepat kerusakan produk. Cara yang digunakan untuk mengurangi kandungan oksigen dalam kemasan produk diantaranya dengan metode *vacuum* dan *modified atmosphere packaging* (MAP).

Pengemasan dengan teknologi MAP dan suhu rendah dapat memperlambat laju respirasi dan proses kerusakan produk buah dan sayuran terolah minimal. Pengemasan dengan teknologi MAP dapat dilakukan secara aktif atau pasif. Metode MAP pasif yaitu dengan mengemas produk pada kemasan sehingga proses respirasi bergantung pada kondisi awal gas saat pengemasan, dan perubahan jumlah gas dalam kemasan bergantung pada permeabilitas kemasan. Metode MAP aktif adalah dengan

memasukkan gas atau campuran gas tertentu dengan bahan pengikat oksigen untuk menciptakan kondisi awal gas yang diinginkan. Pada umumnya metode MAP terdiri dari kandungan gas oksigen yang rendah dan kandungan karbondioksida yang tinggi⁶.

Untuk memaksimalkan hasil metode MAP pemilihan kemasan dengan permeabilitas tertentu dan penentuan volume *headspace* harus tepat. Kandungan oksigen dalam kemasan yang terlalu rendah dapat menyebabkan terjadinya proses respirasi anaerobik yang menyebabkan terjadinya *off flavor*.

Hasil penelitian Pilon⁴⁵ menunjukkan bahwa produk wortel terolah minimal yang disimpan pada suhu 1°C dalam kemasan BOPP/LDPE (*biaxially orientated polypropylene/low-density polyethylene*) tidak mengalami penurunan kandungan vitamin C selama penyimpanan 21 hari baik dalam kondisi pengemasan dengan vakum, atmosfer termodifikasi ataupun atmosfer biasa. Penelitian yang sama pada sayuran paprika hijau ditemukan sedikit penurunan vitamin C. Sedangkan pada penyimpanan kol china terjadi penurunan vitamin C hingga 13% pada penyimpanan 4°C. Untuk kandungan β -karoten ditemukan perubahan yang nyata sepanjang penyimpanan baik pada wortel maupun pada paprika hijau. Sedangkan kandungan mineral (kalium, kalsium, besi, mangan dan seng) tidak mengalami perubahan nyata sepanjang penyimpanan⁴⁶.

Penelitian Cervera⁴⁷ tentang pengaruh perlakuan pengemasan dan pencahayaan menunjukkan bahwa respirasi pada awal penyimpanan brokoli berlangsung sangat intens dimana komposisi gas pada kemasan brokoli yang dikemas menggunakan *polypropylene* 35 μ m pada kondisi gelap total menunjukkan bahwa setelah 3 hari penyimpanan kandungan O₂ mencapai 1,8% sedangkan CO₂ mencapai 17,8% yang menyebabkan proses respirasi menjadi lambat.

6. Perlakuan Panas

Perlakuan panas dapat mempertahankan kekerasan jaringan buah, seperti pada produk apel terolah minimal³⁴ dan potongan mangga⁴⁸. Penelitian Kim³⁴ menunjukkan bahwa perlakuan panas pada buah apel utuh pada suhu 45°C setiap 30 menit selama 2 jam sebelum buah apel diiris dapat mempertahankan tekstur buah apel terolah minimal. Sedangkan penelitian Saltveit⁸ menunjukkan bahwa perlakuan panas pada suhu 45°C selama 90 detik dapat mencegah *browning* pada selada.

PENUTUP

Penyediaan produk buah dan sayuran yang siap konsumsi masih banyak menghadapi kendala terkait umur simpannya yang pendek, mudah mengalami perubahan komposisi kandungan gizi dan rasa. Pengetahuan tentang perubahan karakteristik akibat penanganan produk buah dan sayuran terolah minimal diperlukan sebagai dasar pemilihan teknologi yang tepat untuk mempertahankan mutu dan memperpanjang umur simpannya. Pengaruh proses fisiologi, kimia, dan mikrobiologis pada produk terolah minimal dapat diminimalisasi dengan perlakuan fisik dan kimia berupa asidifikasi, penggunaan *edible coating*, anti mikroba alami, *firming agent*, MAP, perlakuan dingin, dan perlakuan panas.

DAFTAR PUSTAKA

- Schlimme DV. Marketing lightly processed fruits and vegetables. Hort & Science. 1995; 30 :15-17.
- International fresh-cut produce association. Fresh-cut Produce: Get the Facts [Internet] 2000.. Tersedia di : www.fresh-cuts.org
- Cook R. Trends in the marketing of fresh produce and fresh-cut products [Internet] 2009. Tersedia di: <http://www.agecon.ucdavis.edu/people/faculty/facultydocs/Cook/Articles/freshcut2009Cook090922.pdf>
- Rabobank. European trends in fresh-cut pre-packed produce [Internet] 2009. Tersedia di: http://www.rabobank.com/content/news/news_archive/013-Europeantrendsinfresh-cutpre-packedproduce.jsp
- Kim JG. Fresh-cut market potential and challenges in Far-East Asia. Acta Hort. 2007; 746: 53-60.
- James JB, Ngarmasak T. Processing of fresh-cut tropical fruits and vegetables: A technical guide. Bangkok: Food and Agriculture Organization of the United Nations Regional Office for Asia and the Pacific; 2010.
- Primary and secondary growth mediated by meristems secondary vascular tissue [Internet] 2013. Tersedia di : <https://www.boundless.com/biology/plant-anatomy/primary-and-secondary-growth-mediated-by-meristems/secondary-vascular-tissue>
- Saltveit ME. Wound induced changes in phenolic metabolism and tissue browning are altered by heat shock. Post-harv. Biol Technol. 2000; 21: 61-69.
- Kyung SH. Biology of fresh-cut products. Makalah disampaikan pada : Training on Postharvest Technology of Fresh Produce for ASEAN member Countries; 2005; Australia.
- Aked J. Fruits and vegetables in stability and shelf-life of food. Di dalam: Kilcast K, Subramaniam P, editors. The Stability and Shelf-life of Food. New York: CRC Press; 2000.
- Krochta JM. Control of mass transfer in foods with edible coatings and films. Di dalam: Singh RE, Wirakartakusumah MA, Editors. Advances in Food Engineering. New York: CRC Press; 1992. Hal. 517-538.
- McEvily AJ, Inengar R, Otwell WS. Inhibition of enzymatic browning in foods and beverages. Critical Reviews in Food Science and Nutrition. 1992; 32: 253-273.
- Kader AA. Quality parameters of fresh-cut fruit and vegetables products. Di dalam: Lamikanra O, editor. Fresh-cut fruits and vegetables. Science, Technology and Market. Boca Raton: CRC Press; 2002. Hal. 11-20.
- Pardede E. Buah dan sayur olahan secara minimalis. VISI. 2009; 17(3):245-254.
- Gil MI, Aguayo E, Kader AA. Quality changes and nutrient retention in fresh-cut versus whole fruits during storage. J. Agric. Food Chem. 2006; 54: 4284-4296.
- Guide to minimize food safety hazards of fresh-cut fruits and vegetables. United States: Department of Health and Human Services; 2007.
- Jegtvig S. Why Does Cutting Fruits and Vegetables Cause Vitamin Loss? [Internet] 2003. Tersedia di : <http://nutrition.about.com/od/askyournutritionist/f/cutveg.htm>.
- Wiley RC. Minimally Processed Refrigerated Fruits and Vegetables. New York: Chapman and Hall; 1994.
- Va'mos-Vigya'zo' L. Polyphenol oxidase and peroxidase in fruits and vegetables. CRC Crit. Rev. Food Sci. Nutr. 1981; 15: 49-127.
- Thompson JE, Legge RL, Barber RF. The role of free radicals in senescence and wounding. New Phytol. 1987; 105: 317-344.
- Pantastico EB. Fisiologi Pasca Panen. Penerjemah : Kamariyani. Yogyakarta: Gadjahmada University Press; 1975.
- Son SM. Microbiology and sanitation for minimally processed fresh (MPF) fruits and vegetables. Makalah disampaikan pada : Training on Postharvest Technology of Fresh Produce for ASEAN member Countries; 2005; Australia.
- Francis GA, Thomas C, O'Beirne D. The microbiological safety of minimally processed vegetables. International Jour. of Food Science and Technology. 1999; 34: 1- 22.

24. Franzetti L, Galli A. Microbiologic in minimally processed stick carrot. *Annali di Microbiologia ed Enzimologia*. 1999; 49:137 – 144.
25. Lin D, Zhao Y. Innovation in the development and application of edible coatings for fresh and minimally processed fruits and vegetables. *Comprehensive Review in Food Science and Food Safety*. 2007; 6: 60 - 75.
26. Lozano JE. *Fruit Manufacturing: Scientific basis, Engineering properties, and deteriorative reaction of technological importance*. United States : Springer Science + Business Media LLC; 2006.
27. Antara NS. Proses minimum untuk meningkatkan nilai tambah produk hortikultura. Disampaikan pada: Seminar Nasional Peningkatan Keuntungan Ritel Produk Hortikultura Segar Melalui Praktek Penanganan Pascapanen dan Keamanan Pangan yang Baik; 21 September 2007; Jimbaran, Bali.
28. Cold Hardening [Internet] 2013. Tersedia di: http://en.wikipedia.org/wiki/Cold_hardening
29. Schlech WF, Lavigne PM. Epidemic listeriosis – evidence for transmission by food. *N. Engl. J. Med*. 1983; 308: 203-206.
30. Portela SI, Cantwell M. Cutting blade sharpness affects appearance and other quality attributes of fresh-cut cantaloupe melon. *J. Fd. Sci*. 2001; 1265-1270.
31. O'Beirne D. Microbial safety of fresh-cut vegetables. *Acta Hort*. 2007; 746: 159-167.
32. Mulyawanti I, Dewandari KT, Amiarsi D, Siswadi, dan Kusdinar. Teknologi pembekuan cepat puree dan irisan buah mangga arumanis. Laporan Akhir Tahun Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Pascapanen Pertanian. 2007
33. Lamikanra O, Bett-Garber KL, Ingram DA, Watson M. Use of mild heat pre-treatments for quality retention of fresh-cut cantaloupe melon. *Journal of Food Science*. 2005; 70(1): C53-C57.
34. Kim DM, Smith NL, Lee CY. Apple cultivar variations in response to heat treatment and minimal processing. *Journal of Food Science*. 1993; 58: 1111-3, 1124.
35. Ngarmsak M, Delaquis P, Toivonen PMA, Ngarmsak T, Ooraikul B, Mazza G. Effect of sanitation treatments on the microbiology of fresh-cut Thai mangoes. *Acta Hort*. 2005; 682: 1895-1900.
36. Garnida Y. Pembuatan bahan *edible coating* dari sumber karbohidrat, protein, dan lipid untuk aplikasi pada buah terolah minimal. *J. INFOMATEK*. 2006; 8(4): 207-220.
37. Wong DWS, Camirad WM, Pavlath AE. Development of edible coating for minimally processed fruits and vegetables. Lancaster : Technomic Publ. Co. Inc.; 1994.
38. Park HJ, Weller CL, Vergano PJ, Testin RF. Permeability and Mechanical Properties of Cellulose-Based Edible Films. *J. Food Science*. 1994; 58(6): 1361-1370.
39. Choi JM, Kim HE, Lee IS. Ion-beam-assisted deposition (IBAD) of hydroxyapatite coating layer on Ti-based metal substrate. *Biomaterials*. 2000; 21:469-473.
40. Miskiyah, Widaningrum, dan Winarti C. Formulasi dan aplikasi *edible coating* pada paprika (*Capsicum annuum* var Grossum L.) untuk meningkatkan masa simpan minimal 10 hari. Laporan Akhir Tahun Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Pascapanen Pertanian. 2009; Bogor.
41. Ngarmsak M, Delaquis P, Toivonen PMA, Ngarmsak T, Ooraikul B, Mazza G. Antimicrobial activity of vanillin against spoilage microorganisms in stored fresh-cut mangoes. *J. Food Prot*. 2006; 69: 1724-1727.
42. Ponting JD, Jackson R, Walters G. Refrigerated apple slices: effects of pH, sulfites and calcium on texture. *J. Food Sci.*, 1971; 36: 449-450.
43. Ponting JD, Jackson R, Walters G. Refrigerated apple slices: preservative effects of ascorbic acid, calcium and sulfites. *J. Food Sci.*, 1972; 37: 434-435.
44. Lee JY, Parkab HJ, Lee CY, Choi WY. Extending shelf-life of minimally processed apples with edible coatings and antibrowning agents *Lebensm.-Wiss. U.-Technol*. 2003; 36: 323–329.
45. Pilon L, Oetterer M, Gallo CR, Spoto MH. Shelf life of minimally carrot and green pepper. *Cienc. Tecnol. Aliment., Campinas*. 2006; 26 (1): 150 - 158
46. Klieber A, Franklin B. Ascorbic acid content of minimally processed chinese cabbage. *Acta Hort*. 2000; 518:201-206 [Internet]. Tersedia di: http://www.actahort.org/books/518/518_27.htm
47. Cervera SS, Olarte C, Echavarri JF, Ayala F. Influence of exposure to light on the sensorial quality of minimally processes cauliflower. *Journal of Food Science*. 2007; 37: 1, 12 – 18.
48. Banjongsinsiri P, Kenney S, Wicker L. Texture and distribution of pectic substances of mango as affected by infusion of pectinmethylesterase and calcium. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 2004; 84: 1493–1499.