



SAYURAN DAN BUAH

Sayuran adalah tanaman hortikultura, umumnya mempunyai umur relatif pendek (kurang dari setahun) dan merupakan tanaman musiman. Kehilangan dalam jumlah dan mutu terjadi cukup besar pada tanaman hortikultura dari saat panen hingga pada saat konsumsi. Kisaran kehilangan paska panen buah segar dan sayuran diperkirakan mencapai 5 – 25 persen pada negara-negara maju dan 20 – 50 persen pada negara-negara sedang berkembang.

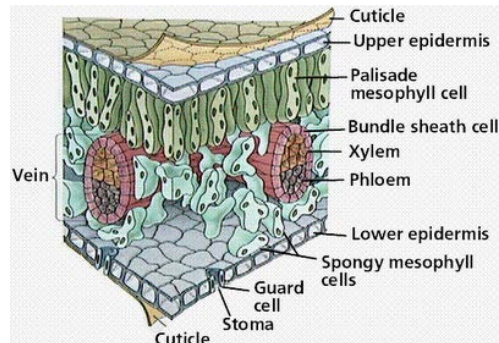
Setiap jenis dan varietas sayur-sayuran mempunyai warna, rasa, aroma, dan kekerasan yang berbeda-beda, sehingga sebagai bahan pangan, sayur-sayuran dapat menambah variasi makanan. Dari buah dan sayuran, manusia mendapatkan vitamin C yang tidak dapat dibentuk oleh tubuh manusia itu sendiri. Di samping vitamin, buah dan sayuran juga merupakan sumber penting karbohidrat, mineral, dan protein serta serat. Serat merupakan komponen yang penting juga karena disinyalir dapat mengendalikan beberapa penyakit pada manusia yang dalam dietnya kurang akan serat.

A. Struktur sayur dan buah

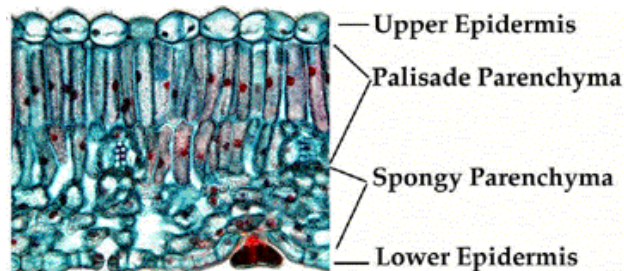
Struktur sayuran dan buah-buahan dibagi menjadi beberapa system yaitu: sistem jaringan kulit, system dasar dan sistem pembuluh.

Parenkima

Sel-sel Parenkima berfungsi dalam penyimpanan, fotosintesis dan bagian besar jaringan dasar dan jaringan pembuluh. Parenkim palisade adalah sel-sel memanjang yng terdapat di daun tepat di bawah jaringan epidermis. Mesofil terdapat di bawah palisade. Sel-sel parenkim juga berada di antara xilem dan floem dari jaringan pembuluh. Sel parenkim terbesar berada di dalam daerah silinder pusat, seperti pada batang jagung.



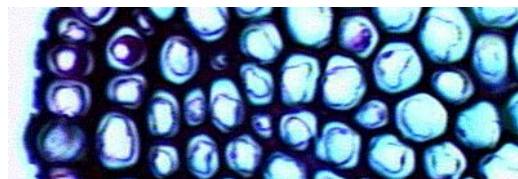
Gambar 1.1. Sel-sel Parenkim pada tanaman
Sumber: (www.sinauer.com) (www.whfreeman.com)



Gambar 1.2. Parenkim Palisade dan spongi pada tanaman
Sumber : (gopher://wiscinfo.wisc.edu:2070/

Kolenkim

Sel kolenkim mendukung tanaman. Sel-sel ini dicirikan dengan penebalan dinding selnya, biasanya menjadi bagian dari ikatan pembuluh atau pada pojok-pojok batang yang tajam.

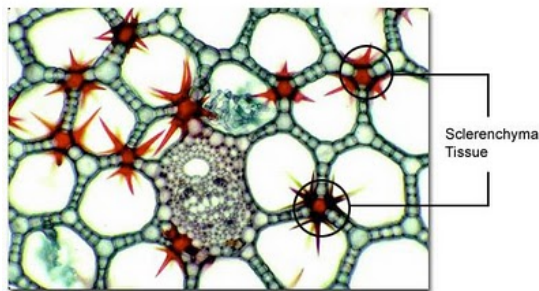


Gambar 1.3. Kolenkim pada tanaman
Sumber: (gopher://wiscinfo.wisc.edu:2070)



Sklerenkim

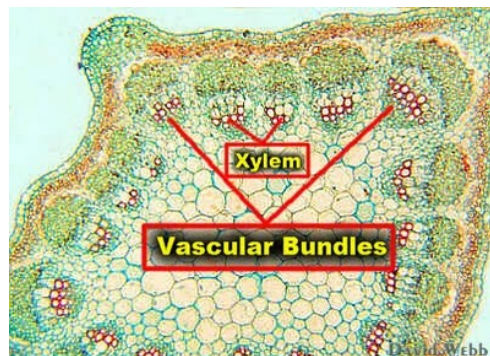
Sel-sel sklerenkim biasanya ada sebagai berkas serabut. Sel ini dicirikan dengan penebalan pada dinding sel sekundernya. Saat dewasa ini sel-selnya mati. Jenis umum sel-sel sklerenkim disebut serabut. Pada buah pir sel-sel ini disebut sklereid atau sel batu.



Gambar 1.4. Sklerenkim dalam tanaman
(<http://www.tutorvista.com>)

Xylem

Xylem adalah istilah yang diterapkan untuk dinding berkayu pada sel-sel tertentu dari tanaman. Sel-sel Xylem mengantarkan air dan mineral dari akar ke daun.

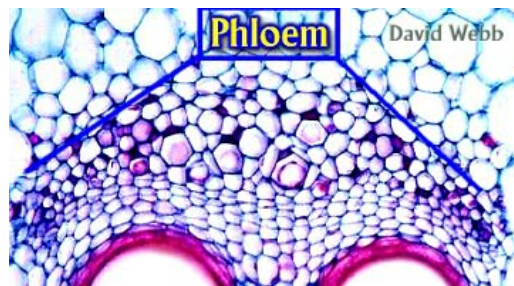


Gambar 1.5. Xylem pada tanaman
(<http://www.botany.hawaii.edu>)



Phloem

Sel-sel Floem mengantarkan makanan dari daun menuju seluruh tubuh tanaman. Tetap hidup saat tua dan tetap hijau. Sel-sel floem biasanya berada di sebelah luar xylem. Dua sel yang pada umumnya terdapat pada floem adalah sel pengiring (companion cells) dan sel tapis (sieve cells). Sel-sel pengiring mempertahankan inti sel mereka dan mengontrol sel-sel tapis yang berdekatan. Makanan terlarut seperti sukrosa, mengalir melalui sel tapis ini.



Gambar 1.6. Floem pada tanaman
(<http://www.botany.hawaii.edu/>)

B. Komposisi kimiawi

Seiring dengan semakin bertambahnya umur organ panen, umumnya kandungan komponen makromolekul bertambah besar. Perubahan tersebut bertanggung jawab langsung terhadap nilai nutrisi dari komoditi panen tersebut. Perubahan kimiawi harus tercapai maksimal pada saat panen. Apabila tidak, maka dihasilkan sifat pasca panen yang berkualitas tidak baik

1. Air

Kandungan air pada buah dan sayuran serta bunga potong 4actor mencapai 90% dari seluruh senyawa yang ada pada jaringan atau organ bersangkutan. Namun



demikian, kandungan air pada komoditi panen sangat bervariasi dari yang sangat rendah 50 % pada umbi kentang hingga sangat tinggi yaitu mencapai 95% pada buah mentimun, semangka, dan melon. Kandungan air tersebut tergantung pada ketersediaan air dalam jaringan pada saat dipanen. Jadi, waktu pemanenan akan dapat dijadikan pertimbangan penting sehubungan dengan kandungan air jaringan organ panen bersangkutan.

Pada kondisi sesaat setelah panen, kenampakan komoditi panen tentunya akan segar, tetapi seiring dengan lamanya waktu pasca panen, komoditi akan kehilangan air yang dicirikan kenampakannya tidak segar lagi atau layu. Tentunya, kondisi ini secara langsung mempengaruhi kualitas penampakan maupun kualitas nutrisi.

2. Karbohidrat

Keberadaan senyawa ini berkisar dari kisaran rendah (2%) hingga cukup tinggi (40%). Secara umum, karbohidrat merupakan penyusun sel terbesar. Karbohidrat merupakan senyawa hasil fotosintesis tanaman berhijau daun. Dalam jaringan buah dan sayuran serta bunga potong, karbohidrat dapat berupa:

a. Gula

Gula yang tergolong monosakarida merupakan gula reduksi yang bertanggung jawab pada reaksi pencoklatan non-enzimatik. Sedangkan yang tergolong disakarida bertanggung jawab terhadap rasa manis pada buah. Kandungan gula (sukrosa) pada beberapa jenis buah-buahan yang tergolong klimaterik seringkali meningkat selama pendewasaan sel. Contoh buah yang menunjukkan fenomena ini adalah 5acto dan pisang. Sedangkan pada buah tomat, selama proses pertumbuhan dan pendewasaan sel, kenaikan kandungan gula sangat kecil bahkan sering tidak 5actor terdeteksi. Pada buah apel terjadi kenaikan kandungan gula hanya pada saat pemanenan. Berbeda dengan buah yang tergolong non-klimaterik, kandungan gula yang pada saat belum memasuki fase pendewasaan cukup tinggi, akan menurun terus seiring dengan pendewasaan buah.



Contoh yang menunjukkan fenomena seperti ini adalah jeruk. Kenaikan gula masih dapat terjadi sesaat setelah memasuki fase pendewasaan yaitu pada buah nanas. Akan tetapi kenaikan ini hanya berlangsung selama satu hingga dua bulan, setelah itu menurun terus seiring dengan proses pemasakan.

Pada beberapa literature dijelaskan bahwa kandungan gula reduksi seperti glukosa dan fruktosa pada buah-buahan baik yang tergolong klimaterik maupun non-klimaterik pada umumnya akan meningkat selama pertumbuhan dan pendewasaan sel. Kenaikan tersebut tidak terjadi terus, melainkan kemudian menurun setelah atau sesaat memasuki fase pemasakan dan akhirnya mengalami *climacteric*.

b. Pati

Merupakan polisakarida yang terkandung dalam jaringan buah maupun sayuran selain pectin, selulosa, dan hemiselulosa. Pada umumnya buah-buahan dan sayuran mengandung pati sebagai hasil dari fotosintesis. Buah-buahan seperti apel, *climacteric*, pisang dan sayuran seperti tomat banyak mengandung pati. Pada beberapa jenis buah dan sayuran kandungan patinya akan terus bertambah selama pendewasaan sel, sedangkan pada beberapa buah kenaikannya dilanjutkan dengan penurunan. Pati terbentuk dalam sitoplasma yang kemudian mengisi seluruh volume sel. Pati terdiri atas amilosa dan amilopektin yang tidak larut dalam air dingin dan berasa tidak manis.

c. Pektin

Merupakan penyusun lamella tengah suatu sel. Lamella tengah berada di antara dinding sel yang satu dengan dinding sel lainnya. Protopektin merupakan senyawa dasar pembentukan pectin yang banyak terdapat pada buah mentah dan bersifat tidak larut. Keberadaannya banyak di lamella tengah. Pektin mulai terbentuk bersamaan dengan proses pemasakan buah. Buah yang banyak mengandung *climacteric* adalah jeruk, apel, tomat, dan pisang. Kadar pectin dalam tanaman kurang dari 5 persen.



Kandungan zat pectin di dalam buah maupun sayuran mempengaruhi kekerasan (tekstur) buah dan sayuran bersangkutan. Selama proses pematangan dan pemasakan pada umumnya kandungan pectin akan menurun sedangkan komponen lainnya yang terlarut dalam air akan meningkat. Hal inilah yang menyebabkan fenomena pelunakan pada jaringan buah maupun sayuran seiring dengan proses pemasakan.

d. Selulosa dan hemiselulosa

Sifat senyawa ini tidak larut dalam air, tetapi keberadaannya menentukan bentuk dan struktur pada tanaman. Selulosa dan hemiselulosa tidak dapat dicerna oleh alat pencernaan manusia. Oleh karena itu senyawa ini tidak memiliki nilai gizi dan berarti bagi tubuh manusia, namun bermanfaat bagi kelancaran gerakan tinja dalam pencernaan manusia.

Kadar selulosa dalam tanaman mencapai 25 persen, sedangkan hemiselulosa kurang dari 5 persen. Gula terdapat banyak pada buah masak, sedangkan pati atau tepung terdapat banyak pada buah mentah dan sayuran. Gula utama yang terdapat pada buah meliputi sucrose, glucose, dan fructose. Glukose dan fructose terdapat banyak pada buah dan sayuran yang jumlahnya seringkali sama. Buah 7actor maupun sub-tropik seperti kesemek, leci, pisang, dan delima memiliki kandungan glucose dan fructose yang cukup tinggi (10 persen). Sedangkan buah anggur yang termasuk buah sub-tropik merupakan buah yang memiliki kandungan gula tinggi (di atas 10 persen). Jenis gula 7actor7 tidak selalu terdapat dalam buah maupun sayuran, namun berada pada kisaran 8 hingga 10 persen pada buah 7actor seperti rambutan, pisang, belimbing, 7acto, dan nangka. Manusia dapat mencerna dan memanfaatkan gula dan pati (tepung) sebagai sumber 7actor dalam dietnya. Jadi, sayuran dengan kandungan tepung tinggi merupakan pemasok penting 7actor harian manusia. Tepung pada buah pisang dan ubi jalar serta kentang merupakan penyedia 7actor dalam diet masyarakat yang baik pada 7actor sedang berkembang.



Karbohidrat juga terdapat sebagai serat dalam jumlah yang cukup banyak. Serat tidak dicerna, hanya melewati usus halus begitu saja. Tidak dicernanya serta dikarenakan tubuh manusia tidak memproduksi enzim yang dapat memecah polimer-polimer serta menjadi monomer. Selulose, senyawa pectin, dan hemiselulose adalah polimer karbohidrat yang menyusun serat. Lignin senyawa 8actor88 polimer kompleks terikat melalui unit propil juga merupakan komponen utama serat.

3. Protein

Senyawa ini pada buah dan sayuran maupun bunga potong sangat kecil, yaitu berkisar 3%. Protein umumnya tersedia sebagai enzim. Seperti diketahui bahwa protein tersusun dari senyawa nitrogen, namun kebanyakan nitrogen pada buah, sayuran dan bunga potong terdapat sebagai nitrogen non protein. Nitrogen banyak tersedia sebagai asam amino bebas, 8actor88r8, glutamin, purin, pirimidin, nukleotida dan lain sebagainya. Buah dan sayuran merupakan komponen diet yang tidak penting bagi penyedia protein. Protein umumnya berfungsi sebagai enzim dan bahan senyawa yang disimpan seperti halnya pada komoditi sereal dan kacang-kacangan.

4. Lipida

Senyawa ini keberadaannya dalam sitoplasma dan sebagai penyusun 8actor88 sel. Bersama-sama dengan protein, lipida merupakan fosfolipida dan sering sebagai bahan timbunan dalam bentuk trigliserida. Senyawa ini banyak tertimbun pada komoditi kacang-kacangan dan buah apokat hingga kadar 20 – 40 persen. Namun pada buah dan sayuran senyawa ini keberadaannya sangat rendah, yaitu sekitar 1 persen. Lipid dikandung dalam lapisan kutikula pada permukaan buah dan sayuran, dan juga pada 8actor88 sel. Buah apokat merupakan buah yang kandungan lemaknya cukup tinggi, yaitu mencapai 20 persen.

5. Asam Organik



Asam organik merupakan senyawa yang keberadaannya nyata disaat buah maupun sayuran masih dalam stadia muda. Selama proses pematangan, kandungan asam organik biasanya akan menurun sedangkan kandungan gula pada umumnya meningkat. Akibat dari fenomena ini, rasa buah akan menjadi manis, yang semulanya kecut ataupun sepat.

Beberapa senyawa yang tergolong asam organik adalah asam sitrat, asam malat, asam tatarat, asam klorogenat, asam 9actor99, dan lain-lain. Dalam beberapa buku dipaparkan bahwa asam malat, oksaloasetat, sitrat, laktat, suksinat dan fumarat terdapat dalam buah apel. Buah nanas mengandung asam sitrat dan asam malat. Buah pisang mengandung asam malat, asam sitrat, asam tatarat, asam format. Pada buah jeruk terkandung asam sitrat, asam malat, asam oksalat, dan asam tatarat. Sedangkan pada buah tomat terkandung asam sitrat, asam malat, asam oksalat, asam suksinat, asam fumarat, dan asam galakturonat.

Beberapa jenis komoditi hortikultura yang banyak mengandung asam sitrat adalah arbei, pear, jeruk, nanas, tomat, kentang, dan sayuran daun. Sedangkan yang banyak mengandung asam malat adalah apel, pisang, melon, plum, seledri, wortel, brokoli, dan selada. Senyawa yang tergolong dalam asam organik tersebut di atas bertanggung jawab terhadap rasam asam. Nilai rasa yang dimiliki oleh sebuah komoditi hortikultura merupakan perimbangan antara kandungan asam organik dan kandungan gula.

6. Senyawa Volatil dan Pewarna

Senyawa volatile merupakan senyawa yang bertanggung jawab terhadap nilai rasa dan aroma. Senyawa yang bertanggung jawab terhadap aroma buah maupun sayuran dan bunga potong merupakan senyawa ester yang sifatnya mudah menguap. Senyawa yang bertanggung jawab terhadap warna komoditi hortikultura meliputi kloropil, antosianin, flavonoid, dan karotenoid. Zat warna hijau dikendalikan oleh kloropil yang jenisnya ada dua yaitu kloropil a dan kloropil b. Zat warna ini berada



dalam protoplas dan disebut sebagai kloroplas. Pada daun, kadar zat warna ini mencapai 0,1 persen.

Antosianin merupakan zat warna yang lebih dikenal sebagai pigmen berwarna merah, biru atau ungu yang bersifat dapat larut dalam air. Jadi buah, sayuran maupun bunga potong yang berwarna merah dikarenakan adanya antosianin.

Flavonoid merupakan pigmen berwarna kuning. Pigmen ini bersifat lebih tahan terhadap panas maupun oksidasi. Warna kuning dan merah muda pada buah, sayuran maupun bunga potong disebabkan oleh adanya senyawa karotenoid. Terdapat dua macam senyawa ini, yaitu santofil dan karoten. Keberadaan senyawa ini biasanya bersamaan dengan kloropil, namun ada juga yang tidak bersama kloropil. Yang pertama kadarnya berkisar 0,005– 0,008 persen, sedangkan yang kedua dapat mencapai 0,1 persen.

7. Vitamin dan Mineral

Vitamin C (asam askorbat) merupakan komponen minor dari buah dan sayuran, namun sangat penting dalam diet manusia. Keberadaan vitamin C umumnya besar pada buah-buahan. Buah dan sayuran juga penting sebagai sumber nutrisi untuk vitamin A dan asam folat. Umumnya buah dan sayuran memasok sekitar 40 persen nutrisi dan vitamin dari kebutuhan harian. Umumnya, buah-buahan dan beberapa sayuran merupakan sumber vitamin C dan pro Vitamin A (karoten).

8. Senyawa Beracun

Komoditi panen tidak saja memiliki nilai nutrisi (gizi) yang bervariasi dari rendah hingga tinggi, tetapi juga mengandung beberapa senyawa yang bersifat meracun. Beberapa senyawa bersifat meracun yang terdapat dalam buah maupun sayuran meliputi hydrogen sianida, alkaloid, kafein, hemaglutinin, mimosin, leukonin, dan saponin.



C. Perubahan Fisiologi

Perubahan fisiologi sayuran dan buah menentukan tingkat kualitas bagi konsumen. Perubahan ada yang dikehendaki namun ada pula yang tidak dikehendaki. Perubahan fisiologi yang terjadi pada komoditi panen meliputi perubahan kimia yang akhirnya juga mempengaruhi terjadinya perubahan fisik. Perubahan kimia yang terjadi meliputi perubahan kandungan karbohidrat, etilen, asam, lipida, protein dan zat warna. Sedangkan perubahan fisik meliputi perubahan warna, tekstur, dan perubahan citarasa.

Buah klimaterik umumnya mencapai tingkatan masak penuh sesudah respirasi klimaterik. Perubahan-perubahan yang terjadi pada pematangan buah adalah sebagai berikut:

1. Warna

Perubahan warna pada buah merupakan suatu perubahan dapat diamati oleh konsumen. Perubahan warna tersebut digunakan sebagai indikator buah sudah masak atau belum. Pada umumnya, perubahan yang terjadi adalah warna hijau mulai hilang. Pada buah klimaterik kehilangan warna hijau sangat cepat setelah memasuki titik awal pemasakan. Beberapa buah non-klimaterik menunjukkan tanda-tanda hilangnya warna hijau dengan dicapainya kelayakan untuk dikonsumsi. Perubahan zat warna alami biasanya terjadi karena proses degradasi atau sintesis ataupun kedua-duanya.

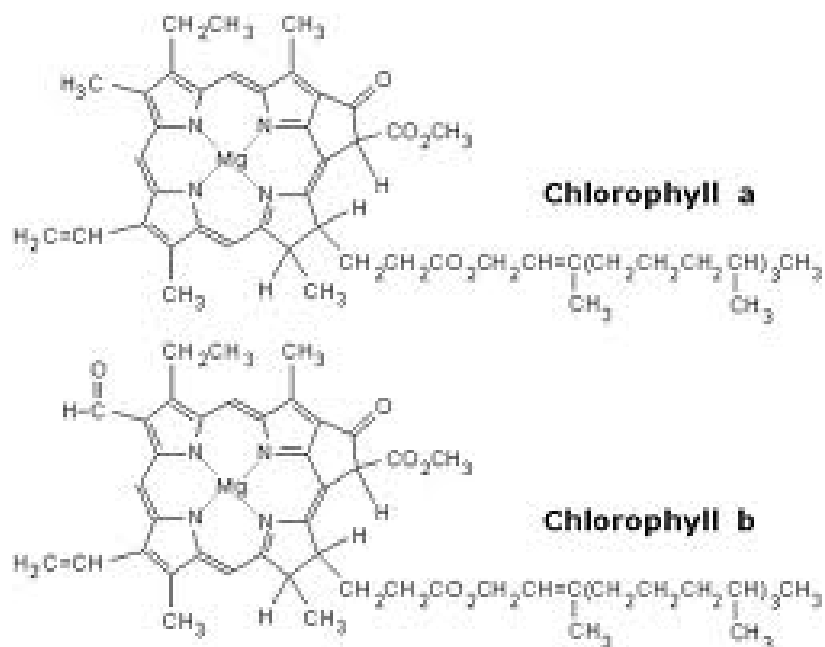
a. Klorofil

Perubahan pada buah-buahan dari hijau menjadi kuning merah atau oranye disebabkan terjadinya pemecahan klorofil dan pembentukan karetenoid. Hal tersebut biasanya terjadi pada buah jeruk. Pada buah pisang, perubahan warna terjadi diduga karena terjadinya pemecahan klorofil sedikit demi sedikit secara enzimatik sehingga zat warna alami lainnya akan terbuka. Perubahan enzimatik klorofil ini disebabkan adanya aktivitas enzim klorofilase yang akan merubah klorofil menjadi klorofilid.

Enzim klorofilase berada dalam jaringan tanaman sebagai bagian daripada klorofil lipoprotein kompleks.

Proses hilangnya warna hijau dikarenakan klorofil mengalami degradasi struktur. Faktor yang bertanggung jawab terhadap terjadinya degradasi klorofil adalah perubahan pH, enzim klorofilase, dan sistem oksidatif. Kehilangan warna tergantung pada satu atau seluruh faktor tersebut yang bekerja secara berurutan dan bersamaan merusak struktur klorofil. Hilangnya klorofil berkaitan dengan pembentukan dan/atau munculnya pigmen kuning hingga merah.

Klorofil dalam sayuran dan buah-buahan mudah mengalami degradasi karena pengaruh panas, asam, alkali atau enzim. Hasil degradasi tersebut terdapat pada Gambar 1.7.



Gambar 1.7. Struktur molekl klorofil a dan b

Pada kondisi asam lemah, ion Mg pada klorofil akan disubstitusi oleh ion H, hal ini akan menyebabkan warna hijau berubah menjadi coklat yaitu feofitin. Perlakuan klorofil-a dengan penambahan asam menyebabkan perpindahan magnesium digantikan



oleh dua atom hidrogen membentuk sebuah feofitin-a yang berwarna hijau kecoklatan. Hidrolisis dari ini (kebalikan dari reaksi esterifikasi) mengeluarkan gugus fitol dan akhirnya membentuk gugus bernama feoforbida-a (phaeophoripide-a). komponen yang sama juga terbentuk walaupun diperoleh dari klorofil b.

Pengolahan sayuran atau buah-buahan, terkadang cairan perebus bersifat basa. Hal ini bertujuan untuk mempertahankan warna hijau. Namun demikian, terjadi dampak negative yang muncul, yaitu tekstur bahan menjadi lunak, karena komponen selulosa terdegradasi oleh alkali. Selain itu vitamin C dan tiamin sangat peka terhadap pemanasan dalam suasana alkalis. Perubahan warna dapat juga dicegah dengan penambahan $Mg(OH)_2$, namun hal ini memberikan dampak yaitu teksturnya semakin keras karena adanya reaksi $Mg(OH)_2$ dengan pectin membentuk garam pektat.

Klorofil dapat juga bereaksi dengan basa yang menghasilkan gugus bernama filin (phyllins) yaitu sebuah komponen porpirin bergugus magnesium. Jenis perubahan dari klorofil-a ini membentuk klorofilin-a, Filin dapat bereaksi dengan asam membentuk porpirin.

Pengolahan sayuran berwarna hijau dalam keadaan tertutup akan menyebabkan warna sayuran menjadi coklat. Hal ini disebabkan pada pemanasan akan dihasilkan asam-asam volatile dari sayuran, sedangkan asam yang dihasilkan tidak dapat keluar. Akibatnya, klorofil berubah menjadi feofitin yang berwarna coklat.

Klorofil yang memiliki atom Mg pada strukturnya, dapat disubstitusi dengan atom lain, seperti Fe, Zn dan Cu. Perebusan sayuran hijau dengan wadah yang terbuat dari tembaga (Cu) dapat menghasilkan sayuran berwarna hijau cerah, namun rasa sayuran menjadi getir dan berbau tembaga.

Perubahan warna yang terjadi di klorofil dapat disebabkan beberapa hal. Daun dapat berubah menjadi warna kuning ataupun kecoklatan. Perubahan tersebut dipengaruhi oleh kandungan klorofil dibandingkan dengan pigmen warna lainnya. Misalnya, pada daun hijau menjadi kuning lalu kecoklatan, pigmen klorofilnya akan



lebih sedikit dibandingkan karoten. Menurunnya kemampuan klorofil karena disfungsi daun tersebut menyerap cahaya untuk melakukan fotosintesis. Selain itu, karoten juga diketahui lebih stabil dibandingkan dengan klorofil. Sehingga, warna pigmen karoten tetap bertahan walaupun klorofil mulai menghilang.

Pigmen daun klorofil yang berwarna hijau tersebut mempunyai sifat tidak stabil dan dapat mudah berubah menjadi coklat bila berhubungan dengan asam. Hal ini disebabkan oleh atom Mg yang digantikan dengan atom H. Hal tersebut mengakibatkan terbentuknya senyawa yang disebut feofitin. Senyawa tersebut yang memacu perubahan warna pada daun dari kuning menjadi coklat. Degradasi pigmen klorofil tersebut terjadi jika pada pH rendah dan pemanasan 70-100°C. Hal inilah yang memicu terjadinya proses feofitinisasi.

Klorofil juga dapat mengalami perubahan warna menjadi merah. Gugus fitol yang berperan besar dalam perubahan warna ini. Apabila klorofil kehilangan gugus fitolnya, klorofil akan membentuk klorofilid yaitu senyawa berwarna merah terang larut dalam air tetapi lebih stabil dibandingkan klorofil. Tanaman tinggi ada 2 macam klorofil, yaitu: klorofil a: $C_{55}H_{72}O_5N_4Mg$ (berwarna hijau tua) dan Klorofil b: $C_{55}H_{70}O_6N_4Mg$ (berwarna hijau muda). Rumus bangunnya berupa satu cincin yang terdiri atas 4 pirol dengan Mg sebagai inti. Rumus bangun ini hamper serupa dengan rumus bangun haemin (zat darah), dimana intinya bukan Mg, melainkan Fe. Pada klorofil terdapat suatu rangkaian yang disebut fitil yang terlepas menjadi fitol $C_{20}H_{39}OH$, jika terkena air (hidrolisis) dan pengaruh enzim klorofilase. Fitol itu lipofilik (suka lemak), sedang sisanya disebut rangka porfin, sifatnya hidrofilik (suka air).

Perbedaan kedua klorofil tersebut terletak pada atom C no. 3 dimana metil pada klorofil a diganti dengan aldehida pada klorofil b. Pada hakikatnya klorofil merupakan senyawa yang tidak stabil sehingga sulit untuk menjaga agar molekulnya tetap utuh dengan warna hijau yang menarik. Beberapa peneliti berpendapat bahwa dalam peranannya klorofil pecah dan kloroplas keluar. Klorofil dalam daun masih berikatan



dengan protein ketika proses pemanasan, protein terdenaturasi dan klorofil lepas, sehingga warna klorofil menjadi coklat atau pudar.

Sifat fisik klorofil a dan pheophytina adalah larut dalam alkohol, eter, benzena, danaseton; dalam bentuk murni sedikit larut dalam petroleum eter; tidak larut air. Sedangkan sifat klorofil b dan pheophytin b adalah larut dalam alkohol, eter, benzena, dan aseton; dalam bentuk murni tidak larut dalam petroleum eter; tidak larut dalam air. Sifat Chlorophyllide dan pheophorbide adalah tidak mengandung rantai samping phytol; tidak larut minyak dan larut dalam air

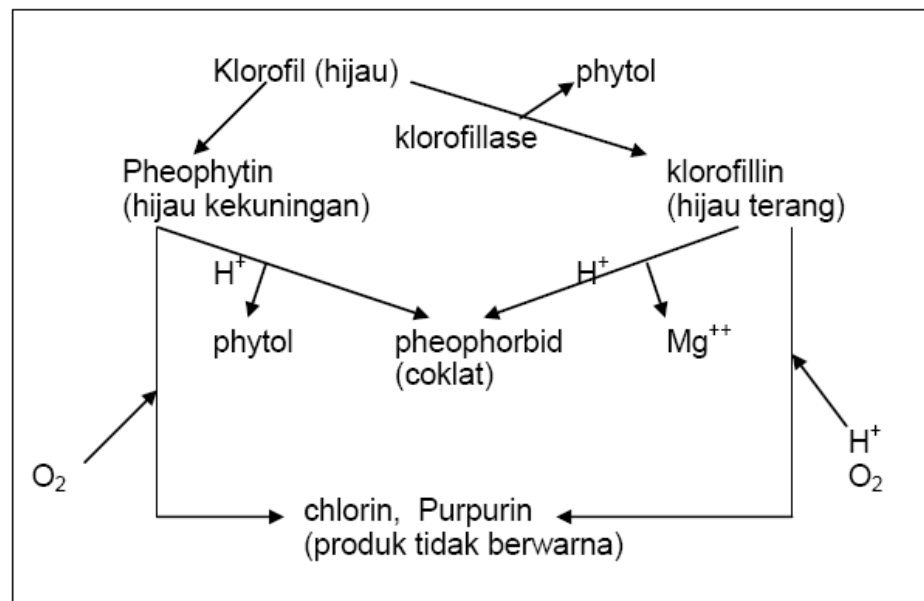
Ketika sayuran hijau yang dimasak dan terkena asam, magnesium akan dihapus dari pusat struktur cincin ini dan diganti dengan sebuah atom hidrogen. Klorofil berubah menjadi molekul yang disebut pheophytin, dan klorofil b akan berubah menjadi pheophytin b. Warna perubahan sayuran dari hijau cerah untuk zaitun-abu-abu. (Pheophytin memberikan warna hijau-abu-abu, dan b pheophytin menyediakan zaitun warna hijau).

Pheophytinisasi adalah proses dimana klorofil mengalami perubahan selama pengolahan pangan dengan mengganti ion Mg menjadi H. Dampak terbentuknya pheophytin adalah perubahan bahan pangan menjadi warna coklat zaitun kusam. Chlorophyllideter terbentuk dengan menghilangkan rantai samping phytol. Chlorophyllide berwarna hijau seperti klorofil. Jika Mg diambil dari chlorophyllide maka akan terbentuk pheophorbide dengan warna seperti pheophytin.

Klorofilase merupakan satu-satunya enzim yang dapat mengatalis degradasi klorofil. Derivat klorofil yang terbentuk ketika dilakukan proses pemanasan dapat dikelompokkan menjadi dua, berdasarkan ada/tidaknya atom magnesium di tengah tetrapirrol. Derivat yang mengandung Mg berwarna hijau, sedangkan yang tidak mengandung Mg berwarna kecoklatan. Jika ada ion seng atau tembaga, akan terbentuk kompleks seng atau tembaga yang berwarna hijau. Atom magnesium pada klorofil

mudah digantikan oleh ion hidrogen, yang akan menghasilkan warna coklat feofitin. Reaksi ini merupakan reaksi irreversible dalam larutan air.

Degradasi klorofil pada jaringan sayuran dipengaruhi oleh pH. Pada media basa (pH 9), klorofil sangat stabil terhadap panas, sedangkan pada media asam (pH 3) tidak stabil. Penurunan satu nilai pH yang terjadi ketika pemanasan jaringan tanaman melalui pelepasan asam, hal ini mengakibatkan warna daun memudar setelah pemanasan. Penambahan garam klorida seperti sodium, magnesium, atau kalsium menurunkan feofitinisasi, karena terjadi pelapisan elektrostatis dari garam (Fennema 1996). Pigmen klorofil bisa digunakan untuk memberi warna pada bahan pangan tanpa adanya efek negatif yang ditimbulkan.



Gambar 1.8. Skema jalur degradasi klorofil



b. Karotenoid

Karotenoid adalah golongan senyawa kimia organik bernutrisi yang terdapat pada pigmen alami tumbuhan dan hewan. Berdasarkan struktur kimianya, karotenoid termasuk ke dalam golongan terpenoid. Karotenoid merupakan zat yang menyebabkan warna merah, kuning, oranye, dan hijau tua pada buah dan sayuran. Peran penting karotenoid adalah sebagai agen antioksidan dan dalam sistem fotosintesis. Selain itu, karotenoid juga dapat diubah menjadi vitamin esensial.

Secara umum, semua karotenoid merupakan struktur asiklik $C_{40}H_{56}$ yang tersusun dari 8 unit isoprenoid (C_5). Senyawa tersebut dibagi menjadi dua kelas utama, yaitu karoten yang umum ditemukan pada sayur atau buah berwarna kuning, dan xantofil yang umum ditemukan pada sayur atau buah berwarna hijau. Karoten hanya mengandung atom karbon dan hidrogen, sementara xantofil adalah bentuk turunan teroksidasi dari karotenoid yang memiliki satu atau lebih atom oksigen

Karotenoid mempunyai sifat-sifat tertentu, diantaranya tidak larut dalam air, larut sedikit dalam minyak, larut dalam hidrokarbon alifatik dan aromatik seperti heksana dan benzena serta larut dalam kloroform dan metilen klorida. Karotenoid harus selalu disimpan dalam ruangan gelap (tidak ada cahaya) dan dalam ruangan vakum, pada suhu $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$. Karotenoid yang terbaik disimpan dalam bentuk padatan kristal dan didalamnya terdapat pelarut hidrokarbon seperti petroleum, heksana atau benzena.

Berdasarkan unsur-unsur penyusunnya karotenoid dapat digolongkan dalam dua kelompok pigmen yaitu karoten dan xantofil. Karoten mempunyai susunan kimia yang hanya terdiri dari C dan H seperti α -karoten, β -karoten dan γ -karoten. Sedangkan xantofil terdiri dari atom-atom C, H dan O. Contoh senyawa yang termasuk dalam xantofil antara lain : cantaxanthin, astaxanthin, rodoxanthin dan torularhodin.

Karotenoid mempunyai sifat-sifat tidak larut dalam air, tetapi larut dalam lemak, mudah diisomerisasi dan dioksidasi, menyerap cahaya, meredam oksigen singlet, memblokir reaksi radikal bebas dan dapat berikatan dengan permukaan hidrofobik



Karotenoid berada dalam lemak bersama-sama dengan klorofil. Pigmen warna ini menyebabkan buah berwarna kuning, oranye dan merah-oranye. Karotenoid adalah senyawa ajeg dan tetap ada (*intact*) dalam jaringan bahkan saat senesensi terjadipun pigmen ini masih ada. Pigmen ini kemungkinan disintesis selama stadia perkembangan tanaman, akan tetapi karotenoid tersebut karena adanya klorofil. Setelah klorofil terdegradasi, pigmen karotenoid muncul. Contoh fenomena ini pada perubahan warna yang terjadi di kulit pisang. Namun terdapat fenomena lain yaitu pembentukan karotenoid bersamaan dengan terdegradasinya klorofil.

Contoh fenomena ini terjadi pada tomat. Selama proses pematangan buah terjadi sintesis karotenoid yang sangat pesat. Hal ini kemungkinan disebabkan karena zat yang dibebaskan selama pemecahan klorofil dapat digunakan untuk sintesis karoten. Tanaman yang kandungan karbohidratnya rendah, biasanya kandungan karotenoidnya juga rendah. Pada umumnya, senyawa karotenoid pada buah terdapat dalam bentuk xantofil, karoten, dan likopen. Selama terjadinya proses pematangan, jumlah xantofil umumnya menurun, tetapi pada buah pisang dan apel selama pematangan kandungan senyawa karotenoidnya tetap. Pada sayuran daun umumnya memiliki susunan karotenoid yang sama yaitu mengandung xantofil dan karoten, tetapi tidak mengandung likopen. Sedangkan umbi-umbian umumnya hanya terkandung karotenoid yang sedikit, kecuali pada umbi ubi jalar dan wortel.

Pengolahan sayuran dan buah-buahan dapat menyebabkan kerusakan sedikit pada karoten. Namun apabila proses pengolahannya dengan pengeringan, maka dapat menyebabkan kerusakan karoten. Hal ini karena karoten mudah teroksidasi terutama pada suhu yang sangat tinggi. Selama penyimpanan, kadar karoten bahan akan menurun.

c. Flavonoid

Flavonoid adalah suatu zat warna yang terdapat hampir pada semua jenis tanaman. Hampir seluruh jaringan tanaman mengandung flavonoid. Senyawa ini mudah larut



dalam air dan terdapat dalam cairan sel. Kelompok flavonoid meliputi antosianin yang berwarna merah, biru atau ungu; antosantin yang berwarna kuning; dan katekin dan leukoantosianin yang merupakan senyawa berwarna kurang nyata tetapi dapat berubah menjadi warna coklat. Dua senyawa terakhir ini sering disebut sebagai tannin. Antosianin menghasilkan warna-warna merah-ungu pada buah maupun sayuran. Antosianin dapat larut dalam air sehingga antosianin umumnya dijumpai dalam vakuola sel, namun sering pula pada lapisan epidermis. Antosianin menghasilkan warna-warna kuat yang sering menutupi karotenoid dan klorofil. Warna yang ditimbulkan oleh zat warna ini diakibatkan karena penggabungan antosianidin dengan monosakarida. Senyawa monosakarida yang biasa bergabung dengan antosianidin adalah glukosa, galaktosa, dan kadang-kadang pentosa.

Kestabilan antosianin dipengaruhi antara lain secara enzimatis dan non enzimatis. Secara enzimatis, kehadiran enzim polifenol oksidase mempengaruhi kestabilan antosianin karena dapat merusak antosianin. Sedangkan secara non enzimatis kestabilannya dipengaruhi oleh pH, cahaya, dan suhu.

Antosianin (bahasa Inggris: *anthocyanin*, dari gabungan kata Yunani: *anthos* = "bunga", dan *cyanos* = "biru") adalah pigmen larut air yang secara alami terdapat pada berbagai jenis tumbuhan. Sesuai namanya, pigmen ini memberikan warna pada bunga, buah, dan daun tumbuhan hijau, dan telah banyak digunakan sebagai pewarna alami pada berbagai produk pangan dan berbagai aplikasi lainnya. Warna diberikan oleh antosianin berkat susunan ikatan rangkap terkonjugasinya yang panjang, sehingga mampu menyerap cahaya pada rentang cahaya tampak. Sistem ikatan rangkap terkonjugasi ini juga yang mampu menjadikan Antosianin sebagai antioksidan dengan mekanisme penangkapan radikal. Antosianin merupakan sub-tipe senyawa organik dari keluarga flavonoid, dan merupakan anggota kelompok senyawa yang lebih besar yaitu polifenol. Beberapa senyawa antosianin yang paling banyak ditemukan adalah pelargonidin, peonidin, sianidin, malvidin, petunidin, dan delphinidin.



Faktor-faktor yang mempengaruhi kestabilan

1) pH

Warna yang ditimbulkan oleh antosianin tergantung dari tingkat keasaman (pH) lingkungan sekitar sehingga pigmen ini dapat dijadikan sebagai indikator pH. Warna yang ditimbulkan adalah merah (pH 1), biru kemerahan (pH 4), ungu (pH 6), biru (pH 8), hijau (pH 12), dan kuning (pH 13). Untuk mendapatkan warna yang diinginkan, antosianin harus disimpan menggunakan larutan bufer dengan pH yang sesuai.

2) Kation

Sebagian kation, terutama kation divalen dan trivalen harus dihindari karena dapat menyebabkan perubahan warna antosianin menjadi biru hingga terjadi pengendapan pigmen. Selain itu, permukaan tembaga, baja ringan, dan besi juga sebaiknya dihindari.

3) Oksigen

Saat terlarut di dalam suatu larutan campuran, antosianin akan teroksidasi perlahan-lahan.

4) Protein

Apabila sumber antosianin bereaksi dengan protein maka akan terbentuk uap atau endapan. Peristiwa ini lebih dipengaruhi oleh pigmen non fenolik yang bereaksi dengan protein seperti gelatin.

5) Enzim

Penggunaan beberapa enzim dalam pengolahan makanan yang mengandung antosianin dapat mengakibatkan kandungan antosianin di dalamnya hilang atau berkurang. Hal ini sebagian disebabkan oleh enzim glukosidase yang ada pada tahap preparasi enzim.



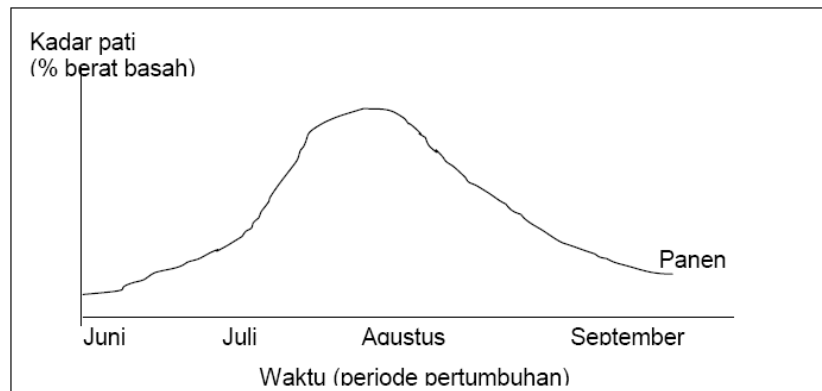
2. Karbohidrat

Tanaman seringkali menyimpan karbohidrat dalam buahnya untuk persediaan energi. Karbohidrat tersebut kemudian digunakan oleh buah untuk melangsungkan keaktifan dan sisa hidupnya. Oleh karena itu, dalam proses pematangan kandungan karbohidrat (pati) dan gula selalu berubah. Perubahan pati dalam sayuran dan buah-buahan dapat dibagi dalam lima kategori, yaitu buah dengan kandungan pati tinggi, buah dengan kandungan pati rendah, sayuran dengan kandungan pati tinggi, umbi-umbian, dan sayuran dengan kandungan pati sangat rendah. Selain sebagai sumber energi, karbohidrat juga merupakan komponen yang penting untuk mempengaruhi rasa yang menyenangkan melalui perimbangan antara gula dan asam. Warna yang menarik dan tekstur yang utuh, juga merupakan peranan karbohidrat pada buah. Perubahan kuantitatif karbohidrat berkaitan dengan proses pemasakan, yaitu terjadi akibat pemecahan polimer karbohidrat, khususnya perubahan pati menjadi glukose (gula). Perubahan ini tentunya mempengaruhi rasa dan tekstur buah. Peningkatan gula cenderung menyebabkan rasa manis pada buah. Oleh karena itu buah akan lebih dapat diterima oleh konsumen bilamana perubahan ini telah terjadi di saat buah tersebut dikonsumsi. Demikian pula halnya dengan buah non-klimaterik. Perubahan-perubahan karbohidrat terjadi selama proses pemasakan dan pematangan buah. Pada buah muda, karbohidrat masih banyak dalam bentuk pati (polisakarida) sehingga rasa buah tidak manis. Selama proses pematangan buah, pati akan berubah menjadi senyawa-senyawa yang lebih sederhana seperti glukosa, fruktosa, dan sukrosa sehingga rasa buah akan menjadi manis. Perubahan tersebut terjadi secara enzimatik dengan bantuan enzim seperti amilase, glukoamilase, dan fosfolirase.

Pemecahan senyawa polimer karbohidrat khususnya pektin dan hemisellulose akan melemahkan dinding sel dan daya kohesif yang mengikat sel-sel. Pada tahap awal, tekstur menjadi lebih lunak tetapi pada akhirnya struktur tanaman akan rusak. Protopektin adalah bagian senyawa pektin yang tidak dapat larut. Selain polimernya

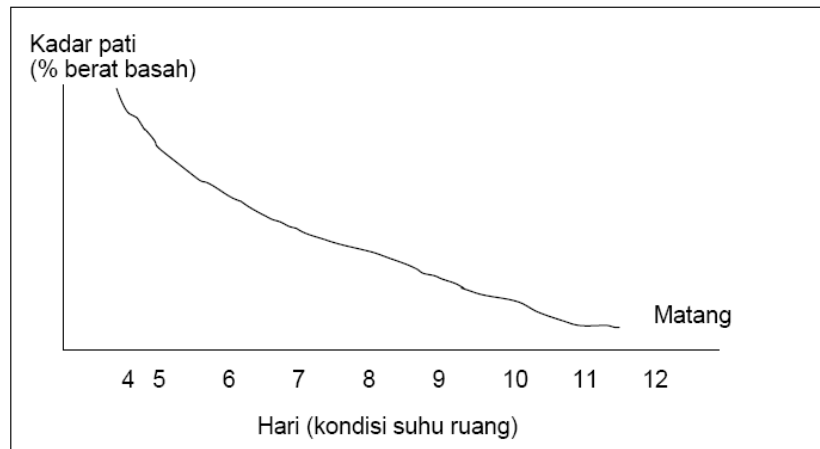


yang besar, protopektin berikatan dengan polimer lainnya melalui penghubung (jembatan) kalsium. Ikatan ini juga terikat erat dengan gula lainnya dan turunan fosfat menjadi bentuk politopektin yang berbobot molekul rendah dan sangat mudah terlarut dalam air. Laju degradasi senyawa pektin secara langsung berhubungan dengan laju pelunakan jaringan buah. *Buah dengan Kandungan Pati Tinggi* Yang termasuk buah-buahan dengan kandungan pati tinggi antara lain apel dan pisang. Perubahan kandungan pati kedua macam buah tersebut dapat dilihat pada Gambar berikut :



Gambar 1.9. Skema perubahan kandungan pati pada buah apel (Hulme, 1968).

Pada buah apel, sewaktu dipanen kadar patinya sudah rendah. Pati yang tinggal sedikit tersebut dalam penyimpanan setelah panen akan habis. Pada buah pisang waktu dipanen masih mengandung pati, sebanyak 20-30 persen. Setelah 4-8 hari penyimpanan pada suhu ruang, kandungan patinya menurun sampai sekitar 4 persen, dan setelah 12 hari penyimpanan kandungan patinya hampir habis.



Gambar 1.10. Skema perubahan kandungan pati pada buah pisang

(Von Loesecke, 1960)

3. Protein

Kandungan protein dalam buah kadarnya relatif rendah. Kenaikan proses respirasi terdapat tendensi diikuti kenaikan kadar protein. Selama penyimpanan, terjadi degradasi protein yang akan terbentuk anion asam amino dan sebagian amoniak. Terbentuknya amoniak akan menyebabkan perubahan pH yang cukup besar.

Kandungan protein dan asam amino bebas pada buah-buahan sedikit dan tidak memiliki peranan dalam mempengaruhi kualitas. Perubahan dalam kandungan senyawa bernitrogen terjadi tetapi hanya menandakan variasi dalam aktivitas metabolisme saat tahap pertumbuhan yang berbeda. Selama stadium klimaterik, sebagian besar buah mengalami penurunan asam amino yang seringkali menunjukkan adanya peningkatan sintesis protein. Selama senesensi, asam amino bebas meningkat sebagai akibat pecahnya enzim dan menurunnya aktivitas metabolisme. Asam-asam amino metionin dan/atau betalanin diduga merupakan prekursor etilen dalam jaringan sayuran dan buah-buahan. Peranan asam-asam amino dalam pematangan buah. Perubahan asam-asam amino dalam buah mangga selama pematangan adalah alanin, triptopan, isoleusin, valin dan glisin meningkat dengan cepat. Lisin, prolin dan treonin



dikatabolisis selama pematangan. Pada waktu klimaterik terdapat peningkatan kadar asam glutamat, glutamin, leusin dan arginin, tetapi pada lepas klimaterik kandungan asam-asam amino tersebut menurun. Terdapat perubahan kandungan asam aspartat, asparagin, sistein, histidin, tirosin, fenilalanin dan metionin. Asam-asam amino ini dikatabolisis pada waktu klimakterik meningkat, tetapi meningkat pada klimakterik menurun.

Sedikit kenaikan dalam kadar protein telah diamati selama pematangan buah mangga, dan juga pada buah alpukat dan tomat. Pada buah apel yang telah matang, kandungan proteinnya kurang dari 0,1 persen (dari berat segar), dan jumlah tersebut 60 sampai 90 persen terdapat pada kulitnya. Terjadinya kenaikan kadar protein ternyata diikuti oleh kenaikan proses respirasi atau proses klimakterik. Hal ini mungkin menunjukkan terjadinya sintesis enzim-enzim yang berperan dalam proses pematangan buah.

4. Asam organik

Asam organik non-volatil adalah salah satu di antara komponen utama seluler yang mengalami perubahan selama pematangan buah. Sebagai contoh, asam organik utama dalam buah mangga adalah asam sitrat, asam malat dan asam askorbat.

Umumnya kandungan asam organik menurun selama pemasakan. Hal ini disebabkan karena asam organik direspirasikan atau diubah menjadi gula. Asam-asam organik dapat dianggap sebagai sumber cadangan energi pada buah, dan kemudian diharapkan menurun selama aktivitas metabolisme selama pemasakan. Perkecualian bagi pisang dan nanas. Pada kedua buah tersebut kandungan asam yang tinggi diperoleh pada stadium masak penuh, namun kandungan asam pada kedua jenis buah ini tidak tinggi saat stadium perkembangan.

Fenomena ini bertolak belakang dengan fenomena yang terjadi pada jenis buah lainnya. Telah diketahui bahwa terjadi penurunan keasamaan pada buah mangga selama pematangan dengan kenaikan pH dari 2,0 menjadi 5,5. Kadar asam-asam sirat,



malat dan askorbat dilaporkan menurun sebanyak masing-masing 10,40 dan 2,5 kali. Asam malat merupakan asam yang mula-mula menghilang, diikuti oleh asam sitrat. Hal ini menunjukkan katabolisis sitrat melalui malat terjadi. Jumlah asam sitrat dan malat dalam buah tomat adalah sebesar 60 persen dari total asam organik yang terdapat dalam buah. Sedangkan pada proses pematangan, perbandingan asam malat - sitrat menurun, yang menunjukkan adanya konversi malat menjadi sitrat.

5. Gula Sederhana

Meskipun dalam sayuran dan buah-buahan terkandung banyak sekali jenis gula, tetapi perubahannya terutama hanya menyangkut tiga macam gula, yaitu sukrosa, glukosa dan fruktosa. Perubahan kandungan gula dapat dikelompokkan menjadi lima kategori, yang pada umumnya menggunakan kriteria yang sama seperti pada pengelompokan perubahan pati.

D. Kerusakan buah dan sayuran

Kerusakan yang terjadi pada sayuran yang telah dipanen, disebabkan karena organ panen tersebut masih melakukan proses metabolisme dengan menggunakan cadangan makanan yang terdapat dalam sayuran tersebut. Berkurangnya cadangan makanan tersebut tidak dapat digantikan karena sayuran tersebut sudah terpisah dari pohonnya ataupun telah dicabut (untuk bayam, sawi) sehingga mempercepat proses hilangnya nilai gizi sayur dan mempercepat senesen. Sedangkan tingkat kerusakan sayuran dipengaruhi oleh difusi gas ke dalam dan ke luar jaringan yang terjadi melalui lentisel yang tersebar di permukaan sayur. Menghambat proses tersebut tentunya secara teoritis dapat pula dilakukan sehingga dapat memperlambat laju kerusakan.



1. *Chilling Injury*

Kebanyakan spesies yang berasal dari daerah tropis dan sub-tropis dan beberapa dari daerah dingin dirusak oleh suhu dengan kisaran 0-20°C. *Chilling stress* terjadi pada species ini pada suhu *non-freezing* dan dalam beberapa produk yaitu sedikit di atas suhu beku. Fenomena ini terutama kali penting dalam penanganan pascapanen dan penyimpanan produk tanaman, yaitu penggunaan suhu rendah adalah cara yang paling efektif untuk memperpanjang masa simpan kebanyakan produk.

Tingkat kerusakan suhu rendah (*Chilling injury*) yang terjadi pada produk pascapanen tergantung pada suhu dimana produk tersebut ditempatkan, lamanya penempatan atau penyimpanan, dan sensitifitas dari produk terhadap suhu chilling. Makin rendah suhu dimana produk tersebut ditempatkan yaitu di bawah batas minimum atau treshold suhu rendah, maka semakin besar pula kerusakan atau injury. Kecepatan perkembangan tanda-tanda kerusakan dalam penyimpanan adalah juga umumnya menurun dengan turunnya suhu; akan tetapi, setelah dikeluarkan ke kondisi suhu *non-chilling*, manifestasi penuh dari stress akan jelas terlihat. Begitu pula halnya, semakin lama penempatan produk pada suhu *chilling* di bawah suhu treshold, maka semakin besar kerusakan yang terjadi.

Produk pascapanen yang umumnya sensitif terhadap suhu chilling adalah asparagus, bayam, mentimum, terung, beberapa kultivar dari kentang, dan pumpkin,. Suhu kritikal treshold atau suhu minimum yang mana di bawah suhu ini terjadi *chilling stress* adalah bervariasi luas antar spesies. Beberapa buah yang mengalami pemasakan, dapat secara signifikan mempercepat kepekaan terhadap suhu chilling. Alpukat dan tomat cenderung sangat sensitif jika berada pada perkembangan stadia pre-klimakterik tetapi sensitifitasnya hilang begitu mengalami pemasakan. Kepekaanya meningkat maksimum begitu mendekati puncak klimakterik, menurun dengan cepat setelahnya sejalan dengan pemasakan buah. Kepekaan terhadap chilling injury diperkirakan



dipengaruhi oleh kondisi pertumbuhan atau produksinya dan nutrisi mineral. Bukti menunjukkan bahwa organela dalam sel bervariasi dalam sensitivitasnya.

Chilling Stress dan kerusakannya tidak hanya terjadi selama penyimpanan. Suhu chilling mungkin dijumpai di lapangan, selama penanganan atau transit, atau selama distribusi wholesale, di tempat retail dan di rumah tangga. Penempatan pisang dalam lemari pendingin di rumah adalah merupakan hal yang umum menyebabkan kerusakan dingin. Untuk kebanyakan produk yang sensitif terhadap suhu chilling, kehilangan mutu umumnya lambat dalam perkembangannya dibandingkan dengan buah pisang.

2. *Stress-suhu tinggi*

Suhu tinggi merupakan faktor tunggal paling kritis dan sangat penting dalam menjaga mutu produk pasca panen. Untuk tanaman yang utuh, konversi dari air dalam tanaman dari stadia cair ke gas dan kemudian hilang atau menguap atau mengalami transpirasi dari tanaman itu sendiri adalah merupakan cara utama dari tanaman untuk menjaga suhunya tetap dalam kisaran fisiologis yang aman. Dengan evaporasi atau transpirasi tanaman ubi jalar dapat tumbuh pada kondisi dimana suhu permukaan tanah melebihi 50°C pada siang hari yaitu dengan cara kemampuannya menjaga suhu daunnya maksimum tetap di bawah 33°C. Namun pengendalian suhu dengan transpirasi membutuhkan penggantian air yang berlanjut.

Hal ini bisa terjadi bila tanaman atau bagian masih tumbuh di lapangan. Ketika bagian tanaman dipisahkan dari sistem perakaran saat pemanenan atau dihalangi dari penyerapan air, maka tanaman akan kehilangan potensinya untuk menekan peningkatan suhu yang terjadi. Sebagai konsekwensinya, suhu lingkungan atmosfer sekitar, energi panas dari matahari yang menghantam produk, panas yang timbul dari hasil metabolisme produk itu sendiri sering menyebabkan peningkatan peningkatan suhu yang progresif dalam produk yang dipanen tersebut. Jika suhu tidak dikurangi,



maka akan terjadi kehilangan mutu yang signifikan. Sehingga, satu perhatian utama untuk untuk kebanyakan produk tanaman setelah panen adalah bagaimana cara mengilangkan panas tersebut.

Ahli fisiologi pascapanen dan keteknikan pertanian telah menemukan untuk berbagai produk tentang pengaruh suhu terhadap mutu selama penempatan pada suhu tinggi. Juga telah ditemukan cara yang paling baik dan disukai untuk penghilangan atau pengeluaran panas yang ada dalam produk, dan juga telah ditentukan suhu optimum produk untuk penyimpanannya. Bagian tanaman yang dipisah dari pohon induknya mempunyai hambatan ketersediaan mineral, karbohidrat, hormon dan bahan penting lainnya. Akibatnya, tanggapan potensi produk terhadap suhu tinggi mengalami hambatan juga. Pada kebanyakan kasus, produk pascapanen yang telah terlepas akan jauh lebih peka terhadap stress suhu tinggi dibandingkan dengan tanaman utuh.

Suhu tertinggi dimana produk bisa bertahan hidup adalah bervariasi menurut spesies, kultivar, stadia perkembangan, kondisi, dan bagian tanaman itu sendiri. Sebagai contoh bakteri termofilik dapat tumbuh dan berkembang pada suhu diatas suhu didih air.

3. Freezing Injury.

Suhu pembekuan untuk produk pascapanen bervariasi dan kerusakan yang terjadipun bervariasi. Kebanyakan buah dan sayuran mengalami pembekuan dari satu sampai beberapa derajat dibawah titik beku dari air. Penurunan titik beku adalah karena adanya bahan-bahan terlarut dari cairan sel. Pada kebanyakan produk, pembekuan merupakan bencana yang berakibat fatal terhadap mutu, produk menjadi tidak bermanfaat. Kebanyakan non-fleshy products (seperti biji dan kacang-kacangan) dapat bertahan terhadap suhu sedikit dibawah pembekuan dengan hanya sedikit kerusakan. Sebagai contoh, biji gandum (Kadar air 10.6%) dan umbi *Ranunculus* (kadar air 9%) memperlihatkan daya tahannya terhadap suhu -196oC tanpa kehilangan daya tahannya.



Akan tetapi, jaringan yang sama dengan kadar air meningkat (berturut turut 25oC dan 30-50oC) didapatkan terbunuh. Dengan demikian ini suatu bukti bahwa kemampuan jaringan bertahan terhadap suhu beku sangat tergantung pada kadar air. Jaringan yang kadar airnya rendah cenderung mempunyai air sedikit dan air ini berada pada stadia terikat dalam jaringan. Air terikat ini tidak dapat dikonversi menjadi kristal es walau pada suhu sangat rendah.

Beberapa sel-sel yang biasanya terbunuh oleh suhu beku - mungkin membeku tanpa kehilangan kemampuannya berkecambah jika proses pembekuan tersebut berlangsung dalam kondisi perlahan. Kristal es mungkin dibentuk secara intracellular atau extracellular tergantung pada laju pendinginan. Biasanya es extracellular terbentuk terlebih dahulu, terjadi pada ruang antar sel diluar sel. Karena Kristal es membesar, sel-sel berkonstraksi dan mungkin berikutnya menyebabkan sel-sel kolaps. Konstraksi disebabkan oleh redistribusi air dalam jaringan. Saat kristal es mulai terbentuk dalam medium extracellular, bahan terlarut dalam air berpisah, meningkatkan potensial kimia dalam larutan yang tidak beku. Situasi ini mengakibatkan ketidakseimbangan osmotik antara air intracellular dan extracellular, yang mana mungkin mengendalikan terjadinya pergerakan air intracellular keluar melalui membran plasma. Dengan demikian, bekunya air extracellular mengakibatkan peningkatan konsentrasi bahan terlarut untuk baik larutan extracellular maupun intracellular. Pergerakan air berlanjut sampai potensial kimia dari air yang tidak beku adalah dalam keadaan setimbang dengan air yang menjadi es.

Jika laju pendinginan relatif lambat, aliran air melalui membran plasma cukup cepat sehingga supercooling medium intracellular berlebihan tidak terjadi dan es intracellular tidak terjadi. Namun jika pendinginan terjadi terlalu cepat, laju transfer air dapat tidak efisien. Hasilnya adalah supercooling berlebihan dari larutan intracellular dan umumnya terjadi pembentukan es dalam sel. Pembentukan es ini menyebabkan *sunscalding* dari bagian daun dari tanaman ornamental evergreen selama musim



dingin. Tanaman tidak dirubah oleh pembekuan lambat normal selama musim dingin, sebagai contoh, beberapa spesies mungkin dapat bertahan pada suhu -87°C . Akan tetapi, saat hari sangat cerah dan adanya sinar matahari langsung, jaringan daun dapat meleleh atau *thawing* walau lingkungan sekitarnya suhunya sedikit dibawah suhu beku. Halangan intermiten sinar matahari oleh mendung dapat mengakibatkan pendinginan secara cepat ($8-10^{\circ}\text{C}$ per menit) dan membekukan daun, menyebabkan pembentukan es intercellular. Dengan demikian, tanaman yang sama dapat bertahan pada suhu ekstrem rendah, namun mungkin mati oleh suhu hanya sedikit di bawah suhu beku. Setelah *thawing*, jaringan yang rusak karena beku akan menunjukkan kenampakan lembek dan lekukan berair dengan kerusakan pada membran plasma sebagai hal umum.

Fenomena ini menyarankan bahwa kerusakan tidaklah diakibatkan oleh disfungsi metabolisme seperti yang terjadi dengan chilling injury. Kerusakan terjadi adalah bila laju pendinginan terjadi relatif cepat dan terjadi pembentukan es intercellular. Kerusakan bisa juga terjadi bila laju pendinginan relatif lambat karena memadatnya atau terjadinya dehidrasi dari larutan intercellular. Manifestasi kerusakan beku dapat terjadi karena 1) adanya lisis atau splitting dari membran plasma selama penghangatan atau *thawing*, 2) berubahnya perilaku osmotik selama penghangatan atau *thawing*, dan 3) pembentukan es intracellular.

4. Stres air

Stress air merupakan permasalahan yang universal dalam memproduksi hasil tumbuhan agrikultura. Bahkan dalam kondisi kelembaban tanah optimum, tanaman dapat mengalami siklus harian terjadinya stress air ringan tapi berpengaruh nyata. Dengan kata lain, stress air juga terjadi pada kelembaban yang berlebihan, kejadian yang sering terjadi dalam wilayah bercurah hujan tinggi. Stress air mulai ketika kandungan air jaringan, di dalam sel (intracellular) maupun di luar sel (extracellular), menyimpang dari kondisi optimum. Ketika desakan atau tekanan itu terjadi akibat



kehilangan air, tekanan turgor sel akan turun drastis dan berada di bawah nilai maksimumnya. Hal ini akan mempengaruhi tingkat pertumbuhan yang mana perluasan atau pelebaran sel-sel baru dikendalikan oleh tekanan turgor. Konsekwensi ekonomis dari terhambatnya pertumbuhan pertumbuhan dan kehilangan hasil setiap tahun akibat dari stress air ini adalah besar. Potensi terjadinya stress air tidak berhenti hanya saat panen; potensi stress kebanyakan hasil pascapanen meningkat dengan tajam.

Ketika tumbuhan tumbuh, mereka mampu mendapatkan keseimbangan dinamis dengan lingkungan antara pengambilan air oleh akar dan kehilangan akibat transpirasi. Ketika bagian individual terpisah dari tumbuhan induk saat panen, kemampuan mereka untuk mengganti kehilangan air akibat transpirasi di eliminasi, membuat mereka lebih mudah terpengaruh oleh stress air. Ketidakhadiran dari potensi pengganti air ini adalah nyata dalam hasil seperti buah-buahan dan sayursayuran yang terpisah dari tumbuhan induk atau sistem perakaran saat panen. Stress karena kekurangan air berakibat padatekanan dehidrasi langsung di dalam sel-sel yang mengarah pada tekanan-tekanan tidak langsung (seperti: hambatan metabolisme, perubahan dalam aktivasi enzim, dsb).

Buah, sayuran dan bunga, mutunya menurun secara cepat hanya dengan sedikit kehilangan air. Umumnya, hanya dengan kehilangan 5-10% air maka produk akan mengalami kemunduran dan tidak dapat dipasarkan (lihat Tabel berikut). Terjadi kehilangan kerenyahan dan turgiditas dan degreening. Kehilangan air berakibat pada penurunan berat segar dari produk pascapanen, bila dijual berdasarkan berat maka akan menjadi kehilangan nilai. Kehilangan nilai ini disebabkan pula karena kehilangan atau perubahan mutu. Stress air dapat menyebabkan diskolorasi pada bunga, sayuran daun dan beberapa buah; kehilangan flavor dan aroma, menurunnya nilai nutrisi seperti vitamin, meningkatnya kepekaan terhadap chilling injury dan kerusakan fisik lainnya; meningkatnya kejadian invasi patogen; dan meningkatnya laju pelayuan.

Biji dan bagian tanaman pascapanen dapat pula bertahan akibat stress kelebihan air. Kadar air optimal untuk penyimpanan adalah jauh lebih rendah dibandingkan



dengan yang ormal mengalami perkecambahan, pertumbuhan dan perkembangan dan siklus reproduksi. Dalam hal ini, kadar air rendah adalah diinginkan untuk menjaga mutu dalam jangka panjang untuk kebanyakan biji. Pada kebanyakan biji, peningkatan kadar air di atas optimum untuk penyimpanan berakibat pada perubahan mutu yang tidak diinginkan, dimana dari pandangan pascapanen mewakili stress. Stress kelebihan air juga umum terjadi untuk produk pascapanen bila air dibiarkan tetap pada permukaan produk. Pada kondisi dimana bila suhu di bawah titik embun dari uap air udara disekitar produk, maka akan terjadi kondensasi dipermukaan produk dan akan merangsang invasi patogen.

5. Stress Oksigen

Pengurangan ketersediaan molekul oksigen terhadap enzim yang memerlukan oksigen, akan terjadi penurunan metabolisme dari sel. Akan tetapi, tidak terjadi perubahan besar dalam laju metabolisme sebelum mencapai lingkungan oksigen dengan konsentrasi rendah (seperti $< 1.5\%$). Faktor kritisnya adalah konsentrasi aktualnya dalam sel-sel. Konsentrasi oksigen internal adalah

dikendalikan oleh resistansi produk terhadap difusi oksigen, laju penggunaan molekul, dan perbedaan tekanan partial gas tersebut antara lingkungan luar dan dalam produk. Akibat perbedaan dalam hal laju penggunaan dan difusinya, maka terjadi variasi besar dalam hal optimum konsentrasi oksigen internal untuk berbagai produk. Produk yang padat (seperti kentang) umumnya mempunyai kebutuhan oksigen eksternal lebih tinggi dibandingkan produk yang kurang padat. Seperti, beberapa produk harus disimpan pada suhu lebih tinggi untuk mencegah kerusakan dingin, namun laju penggunaan oksigen meningkat. Rekomendasi konsentrasi oksigen untuk produk pascapanen pada kondisi optimum penyimpanannya telah banyak dipublikasikan dalam literatur.

Kondisi oksigen yang rendah setelah panen sering berkembang bila pertukaran udara tidak mencukupi, seperti pengemasan yang ketat (biasanya bila suhu produk tinggi), kurangnya kendali kondisi gas dalam atmosfer penyimpanan. Tingkat



kerusakan akibat oksigen rendah adalah sangat terantung pada lamanya ekspose pada kondisi anaerobik. Makin lama ekspose, makin banyak akumulasi stress metabolat dan semakin tinggi kerusakan yang terjadi. Akan tetapi, karena reaksi konversi pyruvat menjadi etanol adalah dapat balik bila dikembalikan pada kondisi arobik, maka kebanyakan tanaman, bila tidak terjadi kerusakan yang serius, mereka dapat mampu menggunakan kembali metabolat yang dihasilkan, sehingga mencegah terjadinya kerusakan.

Stress oksigen ringan digunakan untuk menurunkan laju metabolisme, menurunkan laju perubahan mutu dan meningkatkan masa simpannya, sehingga stress ringan ini adalah bermanfaat. Contoh manfaatnya adalah; penurunan laju pelembehan, kehilangan berat, perubahan komposisi dan kehilangan karena pigmentasi. Untuk produk klimakterik, kondisi penyimpanan rendah konsentrasi oksigen digunakan untuk menghambat pemasakan.

6. Stress Etilen

Etilen yang berada dilingkungan penyimpanan, apakah dia diproduksi oleh produk yang disimpan, mikroorganisme, atau sumber lainnya, diketahui menyebabkan stress nyata untuk banyak produk pascapanen. Hormon ini mempengaruhi laju metabolisme kebanyakan produk tanaman yang lembut atau succulent dan umumnya aktif pada konsentrasi sangat rendah. Etilen telah memperlihatkan pengaruhnya terhadap peningkatan laju respirasi, mengganggu aktivitas sejumlah enzim, meningkatkan permeabilitas membran, mengganggu kompartementalisasi sel, mengganggu transportasi auxin dan metabolime. Perubahan selular yang diakibatkan oleh etilen menyebabkan percepatan pelayuan.

Kehilangan utama mutu adalah disebabkan oleh adanya induksi absisi, perubahan flavor, warna dan tekstur. Pada wortel, etilen menyebabkan peningkatan konsentrasi senyawa phenolics dan menginduce pembentukan coumarin yang pahit. Plavour yang jelek berkembang pada cabbage dan kentang, dan pada buah klimakterik



umumnya mengakibatkan perubahan gula dan asam. Pada jaringan hijau, etilen memacu degradasi chlorofil, mengakibatkan penguningan yang tidak diinginkan, seperti pada mentimun, cabbage, brussel sprouts, broccoli, cauliflower dan juga daun tanaman hias. Penyebab kerusakan biologis dari dalam tanaman: pengaruh etilen
Penyebab kerusakan biologis dari luar: Hama dan penyakit.

7. Stres mekanis

Stress mekanis adalah faktor dominan pada fase penanganan pascapanen, transportasi dan penyimpanan produk pertanian. Selama periode tersebut, stress mekanis dapat berupa berbagai bentuk pelukaan fisik yang menurunkan nilai mutunya, meningkatkan kepekaannya terhadap penyakit dan kehilangan air, dan sering mempersingkat masa simpannya. Kehilangan karena stress pascapanen dapat sangat berarti. Stress mekanis berakibat pada penurunan laju pertumbuhan dan menghambat perkembangan berbagai spesies (diistilahkan dengan *thigmomorphogenesis*) dan berakibat padapelukaan fisik langsung, contohnya; terpotong, memar dan abrasi.

Umumnya, beberapa tingkat gangguan mekanis dibarengi dengan respon pelukaan. Satu sumber yang sama dari stress mekanis dapat mengakibatkan gangguan pada satu sisi dan pelukaan pada sisi lainnya. Pada beberapa kasus, satu tekanan yang menyebabkan gangguan dapat memfasilitasi pelukaan mekanis. Stress mekanis dapat timbul sebagai stress sekunder yang diinduksi oleh stress primer, seperti pembekuan. Kerusakan disebabkan benturan, gesekan, tekanan, tusukan, baik antar hasil tanaman tersebut atau dengan benda lain. Kerusakan ini umumnya disebabkan tindakan manusia yang dengan sengaja atau tidak sengaja dilakukan. Atau karena kondisi hasil tanaman tersebut (permukaan tidak halus atau merata, berduri, bersisik, bentuk tidak beraturan, bobot tinggi, kulit tipis, dll.). Kerusakan mekanis (primer) sering diikuti dengan kerusakan biologis (sekunder).



E. Penyimpanan dan Kondisi Penyimpanan

Didasarkan pada proses metabolisme yang tetap berlangsung pada sayur selama penanganan pascapanen, maka selama penyimpanan dilakukan pemilihan teknik yang dapat menekan laju metabolisme tersebut. Sedangkan pada sisi lain, yang dikehendaki oleh konsumen, adalah bahwa komoditi sayur yang dipasarkan harus masih dalam kondisi segar, sehingga teknik penyimpanan merupakan suatu faktor yang kritis untuk dipertimbangkan.

Penyimpanan sayur yang telah dipak dalam berbagai macam wadah tentunya menunggu beberapa saat untuk dipasarkan. Bagi sayur-sayur yang dipasarkan secara local, mungkin saja tidak diperlukan sistim penyimpanan yang berfasilitas pendingin namun bagi pemasaran yang berjarak jauh, maka penyimpanan yang memiliki fasilitas pendingin sangat diperlukan. Fasilitas

pendingin tersebut diperlukan untuk menjamin agar suhu dalam ruang simpan tetap stabil. Bilamana dipilih metode penyimpanan dingin, maka beberapa teknik penyimpanan dingin untuk sayur yang dapat digunakan meliputi;

- a. pendinginan ruang (*cooling room*),
- b. pendinginan tekanan udara (*forced-air cooling*),
- c. pendinginan menggunakan air (*hydro cooling*),
- d. pendinginan vacuum (*vacuum cooling*), dan
- e. pendinginan menggunakan es batu (*package icing*).

Proses respirasi yang mengendalikan pematangan dan penuaan sayur dapat lebih dihambat dengan penyimpanan dingin yang disertai penurunan kadar oksigen dan/atau peningkatan kadar karbondioksida dalam ruang penyimpanan. Namun



demikian, kondisi penyimpanan seperti kadar oksigen, karbondioksida dan suhu untuk masing-masing jenis sayur berbeda satu dengan lainnya.

Kubis

Kubis dapat dipertahankan kesegarannya bila disimpan pada suhu 0 OC dan kelembaban relative 98%. Dalam penyimpanannya, hindari penyimpanan bersama dengan buah apel atau pear, karena kedua jenis buah tersebut mengeluarkan etilen yang berefek buruk terhadap kubis.

Wortel

Mempertahankan kesegaran wortel dapat dilakukan dengan menunda panen beberapa minggu. Dalam penyimpanan dingin bersuhu 0 OC dengan kelembaban relative 98%, kesegaran umbi wortel dapat dipertahankan hingga 7 – 9 bulan. Dengan teknik hydrocooled, top-iced dan pengepakan kantong polietilen, umbi wortel yang diikat-ikat (*bunched*) dapat bertahan hanya 30 – 45 hari.

Kubis Bunga

Kubis sayur dapat disimpan dengan teknik *hydrocooling* atau *vacuum cooling*. Penyimpanan pada 0 OC dan kelembaban relative 95% dapat mempertahankan kesegaran hingga 21 – 28 hari.

Seledri

Kemungkinan perpanjangan kesegaran hingga 60 – 90 hari akan tercapai bilamana disimpan pada kondisi suhu 0 OC dengan kelembaban relative 98%. Mempertahankan kesegaran untuk 1 – 2 minggu dapat dilakukan dengan penyimpanan *hydro cooling*.

Mentimun

Penyimpanan secara hydro cooling pada suhu 10 OC -12.8 OC dan kelembaban relative 95% dapat mempertahankan kesegarannya sampai 10 – 14 hari. Umur



kesegaran akan semakin diperpanjang bilamana dikombinasikan dengan *coating/waxing*.

Terong

Waktu simpan terong sangat pendek. Kesegaran dapat dipertahankan untuk beberapa hari dengan tujuan pasar swalayan besar pada kondisi suhu 7.8 OC – 12.2 OC dan kelembaban relative 90%.

Selada

Kesegaran tetap terjaga pada penyimpanan dengan suhu 0 OC dan kelembaban relatif yang tinggi. Kondisi lingkungan simpan yang tinggi CO₂ dan rendah O₂ akan menyebabkan pencoklatan

Cabe

Umur kesegaran dapat mencapai 2 – 3 minggu bila disimpan pada kondisi suhu 7.2 OC – 10 OC. Untuk mengurangi kehilangan kelembaban air, cabe disemprotkan lilin, sehingga waktu simpan dapat diperpanjang.

Didasarkan pada proses metabolisme yang tetap berlangsung pada buah selama penanganan pascapanen, maka selama penyimpanan dilakukan pemilihan teknik yang dapat menekan laju metabolisme tersebut. Sedangkan pada sisi lain, yang dikehendaki oleh konsumen, adalah bahwa komoditi buah yang dipasarkan harus masih dalam kondisi segar, sehingga teknik penyimpanan merupakan suatu faktor yang kritis untuk dipertimbangkan. Penyimpanan buah yang telah dipak dalam berbagai macam wadah tentunya menunggu beberapa saat untuk dipasarkan. Bagi buah-buah yang dipasarkan secara local, mungkin saja tidak diperlukan sistim penyimpanan yang berfasilitas pendingin namun bagi pemasaran yang berjarak jauh, maka penyimpanan yang memiliki fasilitas pendingin sangat diperlukan.



Fasilitas pendingin tersebut diperlukan untuk menjamin agar suhu dalam ruang simpan tetap stabil. Terdapat anggapan bahwa penyimpanan dingin akan mempercepat kerusakan setelah buah-buah dikeluarkan dari yempat penyimpanan bersangkutan. Hal ini tidak benar kecuali tempat atau ruang simpan dingin kondisinya lewat batas (suhu terlalu rendah, kelembaban terlalu tinggi) terutama bagi komoditi yang sangat peka terhadap suhu dingin. Di udara terbuka proses pemasakan dan sekaligus penuaan berjalan cepat dan kerusakan segera berlangsung. Pada suhu dingin proses tersebut dihambat sehingga umur buah lebih panjang.

Bilamana dipilih metode penyimpanan dingin, maka beberapa teknik penyimpanan dingin untuk buah yang dapat digunakan meliputi

- 1) pendinginan ruang (*cooling room*),
- 2) pendinginan tekanan udara (*forced-air cooling*),
- 3) pendinginan menggunakan air (*hydro cooling*),
- 4) pendinginan vacuum (*vacuum cooling*), dan
- 5) pendinginan menggunakan es batu (*package icing*).

Umur simpan yang lebih panjang dan aman dari infeksi penyakit pada buah akan diperoleh bilamana penyimpanan dingin disertai dengan pengaturan komposisi udara simpan. Proses respirasi yang mengendalikan pematangan dan penuaan buah dapat lebih dihambat dengan penyimpanan dingin yang disertai penurunan kadar oksigen dan/atau peningkatan kadar karbondioksida dalam ruang penyimpanan. Namun demikian, kondisi penyimpanan seperti kadar oksigen, karbondioksida dan suhu untuk masing-masing jenis buah berbeda satu dengan lainnya.

Pisang

Kondisi suhu bagi penyimpanan pisang matang (hijau) adalah 56OF atau 15OC. Suhu lebih rendah akan menyebabkan kerusakan dingin. Pisang, baik yang masih



matang (hijau) maupun telah masak sangat peka terhadap suhu dingin. Oleh karena itu, bilamana sistim penyimpanan dingin dan dikombinasikan dengan pengaturan komposisi udara ruang simpan, efek merugikan penyimpanan dingin dapat ditekan. Kondisi penyimpanan tersebut adalah bersuhu 14OC, kadar CO₂ : 2,5% dan kadar O₂ : 5%.

Mangga

Umur kesegaran mangga dapat dipertahankan hingga 2 – 3 minggu bila disimpan pada kondisi suhu 13OC dan kelembaban 85 – 90 persen. Namun demikian beberapa varietas masih dapat bertahan pada suhu yang lebih rendah yaitu 10OC Di bawah suhu tersebut merupakan kondisi yang tidak baik bagi penyimpanan mangga.

Penyimpanan buah mangga pada sistim udara terkendali nampaknya tidak memberikan banyak keuntungan dalam perpanjangan masa simpan. Kondisi penyimpanan udara terkendali untuk buah mangga yang aman adalah bersuhu 13OC dengan kadar CO₂ : 5% dan kadar O₂ : 5%.

Pepaya

Pada kondisi tingkat kematangan 75 persen yang merupakan kondisi pemetikan untuk tujuan pasar yang jauh akan baik disimpan pada suhu terendah 7OC. Buah-buah pepaya pada kondisi penyimpanan ini dapat bertahan 7 – 21 hari. Untuk mencegah serangan penyakit, sebaiknya buah pepaya direndam pada air bersuhu 47OC selama 20 menit atau telah dapat menghangatkan daging buah terdalam. Pada kondisi suhu 13OC, kadar CO₂ : 5% dan kadar O₂ : 1%, buah pepaya dapat disimpan hingga 3 minggu.

Nanas

Walaupun nanas tidak tahan terhadap suhu dingin, nanas masih dapat disimpan hingga 2 – 4 minggu. Buah nanas yang setengah masak (matang maksimal) dapat disimpan hingga 2 minggu pada suhu 7 – 13°C. Sedangkan buah yang dipanen masak sebaiknya disimpan pada suhu sekitar 7°C dan akan mengalami kerusakan serius bila



disimpan pada suhu di bawah 7°C. Kadar oksigen yang optimum untuk penyimpanan udara terkendali buah nenas berkisar 2%, sedangkan kadar CO₂ tidak perlu diturunkan maupun dinaikkan dari kondisi udara normal.

Jambu Biji

Umur segar jambu biji dapat mencapai hingga 2 – 3 minggu bila kondisinya penyimpanan bersuhu 45 – 50°F atau 10 – 12°C dan kelembaban 90 persen. Kondisi paling ekstrim yang masih memberikan pengaruh baik dari penyimpanan jambu biji ini adalah suhu 7,5°C dengan kelembaban 85 – 90 persen.

Apel

Umur simpan apel sangat bervariasi dari yang tersingkat 3 bulan hingga yang terpanjang 8 bulan. Hal tersebut disebabkan oleh faktor varietas, daerah produksi, cara budidaya, iklim, tingkat kematangan, dan cara-cara penanganan serta penyimpanan sangat mempengaruhi umur simpan. Suhu penyimpanan yang disarankan untuk tiap varietas adalah keadaan yang paling efektif untuk menghambat proses pemasakan dan mencegah pertumbuhan mikroba pembusuk serta menghindari penyimpangan-penyimpangan penyimpanan dingin. Umumnya berbagai varietas apel mempunyai suhu optimum penyimpanan 30 – 32°F atau sekitar 0°C dengan kelembaban nisbi 90%. Titik beku tertinggi untuk apel adalah 29,3°F atau minus 2°C, sehingga buah apel dapat disimpan pada suhu sekitar minus 1 – 0°C atau lebih. Sebagian besar apel akan mempunyai umur simpan 25 persen lebih lama jika disimpan pada 30°F (suhu buah). Namun terdapat beberapa varietas yang peka suhu dingin disarankan disimpan pada suhu 32°F atau lebih. Bila penyimpanan menggunakan sistem atmosfer terkendali, disarankan ruang penyimpanan diatur sehingga konsentrasi oksigen sekitar 2 – 3 persen, karbondioksida 1 – 8 persen dan selebihnya gas hydrogen. Sedangkan suhunya berkisar 2,2 – 3,3°C.

F. Penanganan Pascapanen



Penanganan buah dilakukan untuk tujuan penyimpanan, transportasi dan kemudian pemasaran. Langkah yang harus dilakukan dalam penanganan buah setelah dipanen meliputi pemilihan (*sorting*), pemisahan berdasarkan ukuran (*sizing*), pemilihan berdasarkan mutu (*grading*), dan pengepakan (*packing*). Namun demikian, untuk beberapa komoditi atau jenis buah tertentu memerlukan tambahan penanganan seperti *degreening*, pencucian, penggunaan bahan kimia, pelapisan (*coating*), dan pendinginan awal (*pre-cooling*).

1. *Sorting*

Sortasi dilakukan untuk memisahkan buah-buahan yang luka, busuk dan cacat lainnya untuk menghindari penyebab infeksi ke produk lain. sortasi dilakukan dilapangan dan dirumah pengemasan baik secara manual maupun mekanis.

2. *Sizing*

Pengukuran buah dimaksudkan untuk memilah-milah buah berdasarkan ukuran, berat atau dimensi terhadap buah-buahan yang telah dipilih (proses di atas – *sorting*). Proses pengukuran buah dilakukan secara manual maupun mekanik. Kalau pekerjaan ini dilakukan secara mekanik, maka persyaratan peralatan seharusnya memiliki kapasitas yang tinggi, memiliki ketepatan (akurasi), dan tidak menyebabkan luka pada buah.

3. *Grading*

Grading bertujuan untuk memisahkan produk berdasarkan mutu, warna, berat dan ukuran. umumnya pemilahan ini masih dilakukan secara visual dan manual, baik dikebun maupun rumah pengemasan. selama grading harus diusahakan agar terhindar dari kontak sinar matahari langsung.

4. *Packing*

Pengemasan berfungsi untuk melindungi buah-buahan dari kerusakan fisik selama pengangkutan. bahan pengemas luar bisa terbuat dari kayu, rotan, bambu atau



karton bergelombang. Sedangkan pengemasan untuk tingkat pengecer (disebut kemasan dalam) biasanya terbuat dari film plastik, kertas, plastik tercetak atau bahan campuran dari kertas dan plastik. Dalam satu wadah dapat terdiri hanya satu buah atau terdiri dari banyak buah. Buah-buah tersebut diatur peletakannya secara rapi sehingga kemungkinan berbenturan satu sama lainnya tidak terjadi. Sedangkan bahan wadah yang dapat digunakan dapat berupa kertas karton (dalam berbagai tipe dan jenis), peti kayu, ataupun plastik.

5. *Degreening*

Upaya menghilangkan warna hijau melalui dekomposisi pigmen dikenal sebagai *degreening*. Penghilangan warna hijau dengan maksud membentuk warna tertentu yang dikehendaki karena permintaan (kesukaan) konsumen. Buah-buah yang biasa diatur warnanya adalah pisang, mangga, dan jeruk.

Proses *degreening* dilakukan dalam ruangan khusus yang suhu dan kelembabannya dikendalikan. Suhu yang diperlukan umumnya 80°C dengan kelembaban udara berkisar 85 – 92 persen. Ke dalam ruangan tersebut dialirkan gas etilen (C_2H_4) pada konsentrasi rendah. Waktu yang diperlukan untuk mengatur warna sangat bergantung pada tingkat kematangan bahan dan tingkat kandungan klorofil bahan.

6. *Coating*

Pelapisan dimaksudkan untuk melapisi permukaan buah dengan bahan yang dapat menekan laju respirasi maupun menekan laju transpirasi buah selama penyimpanan atau pemasaran. Pelapisan juga bertujuan untuk menambah perlindungan bagi buah terhadap pengaruh luar. Beberapa penelitian membuktikan bahwa pelapisan dapat memperpanjang masa simpan dan menjaga produk segar dari kerusakan seperti pada apel, leci, mangga, dan tomat.



Pelilinan (*waxing*) merupakan salah satu pelapisan pada buah untuk menambah lapisan lilin alami yang biasanya hilang saat pencucian, dan juga untuk menambah kilap buah. Keuntungan lain pelilinan adalah menutup luka yang ada pada permukaan buah. Pelilinan digunakan untuk memperpanjang masa segar buah atau memperpanjang daya tahan simpan buah bilamana fasilitas pendinginan (ruang simpan dingin) tidak tersedia. Namun perlu diingat bahwa tidak semua komoditi buah memiliki respon yang baik terhadap pelilinan.

Faktor kritis pelilinan buah adalah tingkat ketebalan lapisan lilin. Terlalu tipis lapisan lilin yang terbentuk di permukaan buah membuat pelilinan tidak efektif, namun bila pelapisan terlalu tebal akan menyebabkan kebusukan buah. Beberapa macam lilin yang digunakan dalam upaya memperpanjang masa simpan dan kesegaran buah adalah lilin tebu (*sugarcane wax*) lilin karnauba (*carnauba wax*), resin, terpen resin termoplastik, shellac, lilin lebah madu (*bees wax*) dan sebagainya. Saat sekarang lilin komersial siap pakai yang dapat dan sering digunakan para produsen buah adalah lilin dengan nama dagang *Brogdex-Britex Wax*.

Salah satu jenis pelapis lainnya yang dikembangkan selain pelapis lilin (Kader, 1985) adalah khitosan, yaitu polisakarida yang berasal dari limbah kulit udang-udangan (*Crustaceae*), kepiting dan rajungan (*Crab*). Khitosan mempunyai potensi yang cukup baik sebagai pelapis buah-buahan misalnya pada tomat dan leci. Sifat lain khitosan adalah dapat menginduksi enzim chitinase pada jaringan tanaman yaitu enzim yang dapat mendegradasi khitin yang merupakan penyusun dinding sel fungi, sehingga ada kemungkinan dapat digunakan sebagai fungisida.

Teknik aplikasi atau penggunaan lilin pada buah dapat dengan menggunakan teknik pencelupan buah dalam larutan lilin (*dipping*), pembusaan (*foaming*), penyemprotan (*spraying*), dan pengolesan atau penyikatan (*brushing*). Tentunya masing-masing teknik cocok untuk masing-masing jenis buah yang berbeda, artinya jenis buah yang berbeda memerlukan teknik pelilinan yang berbeda.



7. *Pre-cooling*

Pre-cooling diartikan sebagai pendinginan awal, yaitu upaya menghilangkan panas lapang pada buah akibat pemanenan di siang hari. Seperti diketahui suhu yang tinggi pada buah akan merusak buah selama penyimpanan sehingga menurunkan kualitas. Makin cepat membuat panas di lapang, makin baik kemungkinan menjaga kualitas komoditi selama disimpan. *Pre-cooling* dimaksudkan untuk memperlambat respirasi, menurunkan kepekaan terhadap serangan mikroba, mengurangi jumlah air yang hilang melalui transpirasi, dan memudahkan pemindahan ke dalam ruang penyimpanan dingin bila sistim ini digunakan.

Pra-pendinginan yang merupakan arti *pre-cooling* dapat dilakukan dengan berbagai cara, namun umumnya dengan prinsip yang sama, yaitu memindahkan dengan cepat panas dari komoditi ke suatu media pendingin, seperti udara, air atau es. Waktu yang diperlukan sangat bervariasi, 30 menit atau kurang, tetapi mungkin pula lebih dari 24 jam. Perbedaan suhu antara media pendingin (*coolant*) dengan komoditi buah harus segera dikurangi agar proses *pre-cooling* efektif. Penurunan atau *pre cooling* dapat dilakukan dengan menggunakan udara dingin pada teknik *Air Cooling*, air yang diberikan es batu pada teknik *Water/Hydro Cooling*, atau sistim vakum pada teknik *Vacuum Cooling*.

G. Kasus Berkaitan dengan Buah dan Sayur

Beberapa produsen atau penjual buah dan sayur seringkali menyediakan buah dan sayuran yang tidak kondisi alami. Terkadang penjual menggunakan tindakan yang dapat berdampak pada kesehatan konsumen. Beberapa kasus misalnya, buah durian disuntik dengan ragi agar buah durian berasa manis. Beberapa pedagang juga menyuntikan biang gula (pemanis kimia) agar buah durian yang masih muda pun bisa terasa manis. tidak semua durian ia suntik dengan zat pemanis. Durian yang ia suntik itu hanya yang masih muda. Sedangkan buah durian yang matang alami juga mereka jual tanpa disuntik.



Penggunaan formalin juga sering dilakukan oleh pedagang dengan tujuan buah menjadi lebih awet dan tetap terlihat segar meski sudah dipanen setengah tahun lalu. Buah yang diawetkan dengan formalin tampak lebih menarik. Ciri-ciri: bagian kulitnya terlihat kencang dan segar meski sudah berbulan-bulan dipanen; umumnya buah yang diberi formalin adalah jeruk, anggur, dan apel; formalin pada buah yang dijual secara bertangkai, misalnya lengkeng dan anggur, dapat lebih mudah dikenali. Jika tangkainya sudah tampak layu, sementara buahnya masih sangat segar dengan bau menyengat yang bukan bau buah, patut diwaspadai.

Efek penggunaan formalin adalah: bagi tubuh manusia, formalin dikenal sebagai zat beracun, karsinogen (menyebabkan kanker), mutagen yang menyebabkan perubahan sel dan jaringan tubuh; gangguan pada persarafan berupa susah tidur, sensitif, mudah lupa, sulit berkonsentrasi; pada wanita akan menyebabkan gangguan menstruasi dan infertilitas.

Penggunaan pewarna pada semangka juga sering dilakukan oleh pedagang. Pewarna yang digunakan pada umumnya adalah pewarna tekstil. Ciri-ciri: adapun ciri-ciri buah yang telah disuntik dengan zat berbahaya biasanya meninggalkan bekas lubang kecil agak dalam. Bekas suntikan umunya berada di bagian ujung yang ada tangkai buahnya; khusus buah yang sudah disuntik dengan pewarna tekstil, biasanya warnanya lebih terang dan meninggalkan bekas di mulut; dan zat pewarna biasanya diberikan pada buah pier, mangga, belimbing, pisang, jeruk, dan semangka.

Efek mengkonsumsi buah yang menggunakan pewarna tekstil adalah: jika tertelan dapat menimbulkan gejala keracunan dan air seni berwarna merah atau merah muda; apabila dikonsumsi terus-menerus, maka zat warna sintetik akan tertimbun dalam tubuh dan dapat merusak fungsi organ-organ tertentu, terutama hati dan ginjal.

Pedagang juga sering menggunakan lilin agar penampilan buah lebih menarik. Ciri-ciri buah yang ditambah lilin adalah: buah berlilin biasanya lebih mengkilat; untuk mengetahuinya cukup dengan mengerik memakai pisau dan serbuk-serbuk putih



akan berjatuh; untuk memastikan, jika serbuk tadi dibakar akan meleleh; daging buah yang dilapis lilin biasanya sudah tidak segar; cara lain adalah membakar langsung buah. Jika mengandung lapisan lilin, kulitnya basah seperti minyak.

Efek mengonsumsi lilin yang ditambahkan pada buah sangat membahayakan kesehatan tubuh, karena tubuh kita butuh waktu lama untuk mencerna lilin. Jika zat ini terus menumpuk dalam tubuh, kemungkinan kita untuk terkena penyakit kanker sangatlah tinggi. Misalnya, kanker hati, usus, atau leukemia.