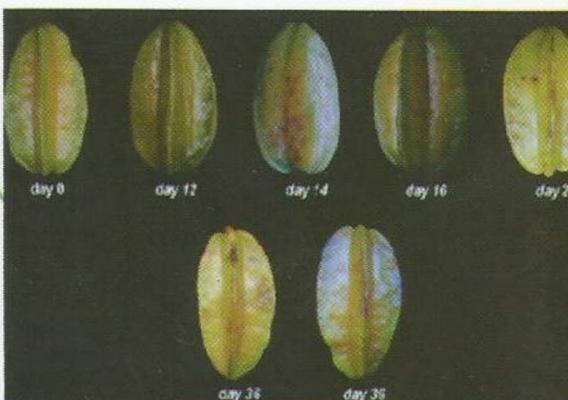
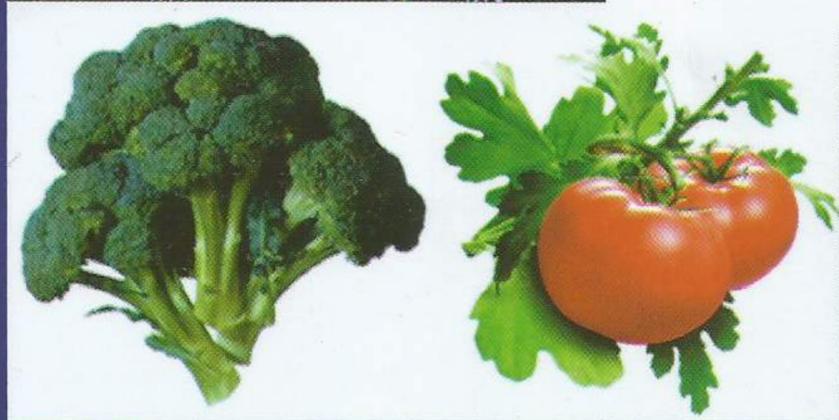


# DASAR-DASAR PENANGANAN PASCA PANEN Buah dan Sayur



PURWIYATNO HARIYADI  
NUR AINI



DATA PENTING: Judul, Penulis, Penerbit, dan PERISTIWA BUKU. BUKU ini adalah hak cipta dari Penerbit. Dilarang keras memperbanyak, memfotokopi sebagian atau seluruh isi buku ini, serta memperjualbelikannya tanpa mendapat izin tertulis dari Penerbit.

# DASAR-DASAR PENANGANAN PASCA PANEN Buah dan Sayur

## Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

Dilarang keras memperbanyak, memfotokopi sebagian atau seluruh isi buku ini, serta memperjualbelikannya tanpa mendapat izin tertulis dari Penerbit.

© 2015, Penerbit Alfabeta, Bandung

Tan01 (xvi + 192) 16 x 24 cm

Judul Buku : Dasar-dasar Penanganan Pasca Panen  
Buah dan Sayur

Penulis : Prof. Dr. Purwiyatno Hariyadi, M.Sc., CFS.  
Dr. Nur Aini, S.TP., M.P.

Penerbit : **ALFABETA** cv  
Jl. Gegerkalong Hilir 84 Bandung  
Telp. (022) 200 8822 Fax. (022) 2020 373  
Website: [www.cvalfabeta.com](http://www.cvalfabeta.com)  
Email: [alfabetabd@yahoo.co.id](mailto:alfabetabd@yahoo.co.id)

Cetakan Kesatu : November 2015

ISBN : 978-602-289-188-8

Anggota Ikatan Penerbit Indonesia (IKAPI)

**Dasar-Dasar  
PENANGANAN  
PASCA PANEN**

**Purwiyatno Hariyadi  
Nur Aini**

## DAFTAR ISI

	Halaman	
DAFTAR TABEL	iii	
DAFTAR GAMBAR	vi	
BAB I	PENDAHULUAN	1
BAB 2	PENGETAHUAN BAHAN	7
	I. Batasan Buah Dan Sayuran	7
	II. Struktur Sel Buah Dan Sayuran	10
	III. Komposisi Kimia Buah Dan Sayuran	13
BAB 3	DASAR- DASAR FISILOGI PASCA PANEN BUAH DAN SAYURAN	54
	I. Fisiologi Perkembangan Buah dan Sayuran	55
	II. Pematangan Buah	57
	III. Pelayuan ( <i>Senescence</i> )	73
BAB 4	RESPIRASI BUAH & SAYURAN	76
	I. Biokimia Respirasi	76
	II. Metoda Pengukuran Laju Respirasi	81
	III. Fisiologi Respirasi	86
	IV. Respirasi dan Daya Simpan	89
BAB 5	ETILEN	93
	I. Biosintesa Etilen	93
	II. Produksi Etilen	95
	III. Pengaruh Etilen	96
	IV. Sifat-sifat Fisikokimia Gas Etilen	99
BAB 6	SISTEM PEMANENAN DAN PENYIMPANAN BUAH SAYURAN	101
	I. Pemanenan Dan Penanganan Pasca Panen	101
	II. Penyimpanan	105
BAB 7	SUHU PENYIMPANAN	113
	I. Pengaruh Suhu Pada Fisiologi Pasca Panen	114
	II. Pengaruh Suhu Terhadap Keseimbangan Pati dan Gula	115
	III. Suhu dan Daya Awet	117
	IV. Suhu dan Mikroorganisme Pembusuk	123

BAB 8	KELEMBABAN RUANG PENYIMPANAN	125
	I. Proses Transpirasi dan Kelembaban Udara	126
	II. Faktor-faktor yang Mempengaruhi Transpirasi	127
BAB 9	KOMPOSISI ATMOSFIR	132
	I. Pengaruh Komposisi Atmosfir Pada Metabolisme Sel	132
	II. Cara-cara Modifikasi dan Pengendalian Kondisi Atmosfir	139
	III. Penerapan Atmosfir Terkendali pada Penyimpanan Buah dan Sayur	145
	IV. Modified Atmosphere Selama Penyimpanan Makanan pada Suhu Rendah	148
BAB 10	MUTU BUAH DAN SAYURAN	151
	I. Pengertian Mutu	151
	II. Kriteria Mutu dan Metoda Evaluasinya	152
	DAFTAR PUSTAKA	159

## DAFTAR TABEL

Tabel	Judul	Halaman
1-1	Buah-buahan yang dapat digunakan sebagai sumber vitamin C dan ukuran yang setara dengan kebutuhan vitamin C sehari-hari	2
1-2	Musim panen beberapa buah-buahan di Indonesia	3
1-3	Produksi beberapa jenis buah dan sayur di Indonesia selama tahun 2006 sampai 2010	4
2-1	Berbagai kacang-kacangan yang sering digunakan sebagai sayur-sayuran	7
2-2	Beberapa contoh sayuran yang dibedakan berdasarkan atas bagian tanaman asalnya	8
2-3	Komposisi gula sederhana pada beberapa jenis buah dan sayur (dalam satuan gram pada 100 gram bagian yang dapat dimakan)	14
2-4	Jenis dan rumus kimia komponen dinding sel	15
2-5	Beberapa jenis senyawa pektat pada dinding sel tanaman	20
2-6	Asam amino yang terdapat pada protein	22
2-7	Senyawa-senyawa non protein yang mengandung unsur N	25
2-8	Enzim penghidrolisa senyawa pektat	27
2-9	Perbedaan enzim endopoligalakturonase dan eksopoligalakturonase	29
2-10	Kadar lipid pada beberapa jenis buah dan sayuran	34
2-11	Kadar serat pangan beberapa jenis buah dan sayur	35
2-12	Asam organik yang terdapat pada buah dan sayur	36
2-13	Senyawa-senyawa volatile pembentuk aroma	37
2-14	Senyawa karakter flavor utama pada buah dan sayur	38
2-15	Kadar vitamin A dan C pada beberapa buah dan sayur	43
2-16	Kadar mineral pada beberapa jenis buah	44
2-17	Pigmen utama pada tanaman dan sifat-sifatnya	47
2-18	Senyawa flavonoid pada buah dan sayur	51
3-1	Perubahan bagian-bagian buah durian (endosperm, kotiledon dan embrio) pada berbagai tingkatan umur buah	57
3-2	Perubahan-perubahan yang terjadi bersamaan dengan proses pematangan buah-buahan	58
3-3	Perubahan warna yang terjadi pada beberapa buah selama proses pematangan	63

3-4	Senyawa volatil yang terdeteksi selama pematangan buah pisang	67
3-5	Perubahan komponen volatile pada buah sirsak selama empat tahap pematangan	68
3-6	Indikator kematangan beberapa jenis buah dan sayur	73
4-1	Buah dan sayur berdasarkan laju respirasinya	85
4-2	Kecepatan respirasi buah utuh dan potong	86
4-3	Klasifikasi beberapa buah-buahan berdasarkan pada pola respirasinya selama proses pematangan	88
4-4	Faktor-faktor yang berpengaruh pada laju respirasi pada jaringan tanaman yang utuh (intact)	92
5-1	Konsentrasi ambang etilen bagi berbagai buah-buahan	95
5-2	Kecepatan produksi etilen pada buah dan sayur	96
5-3	Pengaruh etilen pada berbagai proses fisiologi produk hortikultura	96
5-4	Produksi etilen beberapa jenis buah pada suhu penyimpanan berbeda	97
5-5	Kondisi pematangan beberapa buah menggunakan etilen	98
5-6	Sifat-sifat fisiko-kimia gas etilen	100
6-1	Penyebab utama kerusakan pasca panen dan menurunnya mutu buah dan sayur	102
6-2	Jumlah panas yang dilepaskan oleh berbagai buah dan sayuran (pada 40°C)	107
6-3	Rekomendasi suhu dan kelembaban udara pada penyimpanan beberapa buah dan sayur	109
6-4	Aplikasi metode precooling untuk buah dan sayur	111
7-1	Pengaruh suhu terhadap kecepatan respirasi	114
7-2	Kadar vitamin C beberapa jenis komoditas pada berbagai suhu penyimpanan	119
7-3	Perkiraan umur simpan Buah dan sayur yang Disimpan pada Kelembaban Relatif dan Suhu Dingin Optimum	121
7-4	Gejala normal yang sering timbul karena CI untuk beberapa buah-buahan dan sayuran	122
7-5	Mikroorganisme yang bersifat <i>psychrotrophic</i>	124
8-1	Maksimum kehilangan kadar air (% dari berat segar awal) dimana buah dan sayuran menjadi tidak patut lagi dijual	126
8-2	Kelembaban relatif yang direkomendasikan untuk buah dan sayur pada penyimpanan suhu rendah optimum	127

8-3	Hubungan antara tekanan uap air dan kelembaban udara pada berbagai suhu	129
9-1	Konsentrasi O <sub>2</sub> kritis pada berbagai buah dan sayur	134
9-2	Konsentrasi kritis CO <sub>2</sub> pada berbagai buah dan sayuran	136
9-3	Konsentrasi O <sub>2</sub> dan CO <sub>2</sub> yang mengakibatkan terjadinya <i>injury</i> pada beberapa jenis buah dan sayur	137
9-4	Kondisi yang Direkomendasikan Untuk Penyimpanan CA pada Apel dan Pear di USA	148
9-5	Rekomendasi CAS pada kondisi optimum untuk penyimpanan buah dan sayur	149
10-1	Kriteria mutu pada buah-buahan dan sayuran	153
10-2	Pengaruh Penyimpanan terhadap Flavor Aprikot Kaleng	156
10-3	Standar Nasional Indonesia (SNI) beberapa jenis buah	157

## DAFTAR GAMBAR

Gambar	Judul	Halaman
2-1	Contoh sayuran berbentuk akar, batang, daun, bunga, buah	9
2-2	Sketsa sel parenkim tumbuhan dewasa	10
2-3	Struktur kimia amilosa dan amilopektin	16
2-4	Struktur kimia selulosa	17
2-5	Struktur kimia hemiselulosa	17
2-6	Struktur kimia lignin	19
2-7	Asam pektinat (senyawa pektat yang mempunyai DE = 50)	20
2-8	Hubungan antar substansi pektat	21
2-9	Reaksi demetilasi senyawa pectin oleh enzim pektinesterase	29
2-10	Reaksi yang dikatalisa enzim poliphenol oksidase	30
2-11	Reaksi yang dikatalisa enzim polifenolase dengan substrat tyrosin	31
2-12	Reaksi yang dikatalisa oleh enzim lipoksigenase	33
2-13	Biosintesis S-l-propenyl-L-cysteine sulfoxide pada pembentukan flavor bawang	41
2-14	Produksi senyawa flavor melalui oksidasi asam lemak	42
2-15	Peningkatan kadar mineral selama pertumbuhan buah kiwi	44
2-16	Macam-macam senyawa phenol sebagai substrat Polifenol Oksidase	45
2-17	Struktur flavonoid	46
2-18	Asam sinamat dan berbagai turunannya	46
2-19	Struktur kimia klorofil a dan b	48
2-20	Struktur kimia berbagai karotenoid	49
2-21	Struktur dasar flavonoid	50
2-22	Struktur kimia antosianin	50
2-23	Pigmen yang mempunyai struktur kimia mirip flavonoid	51
2-24	Struktur kimia 2 kelompok betalain	53
2-25	Komponen pada buah dan sayur yang berperan sebagai antioksidan	53
3-1	Tahapan perkembangan buah dan sayuran	55
3-2	Tahapan perkembangan buah nanas	56
3-3	Perkembangan yang terjadi pada buah mulai dari embryo	58
3-4	Mekanisme kerja enzim yang mengakibatkan perubahan pada	59

	pematangan buah	
3-5	Reaksi perubahan senyawa pectin pada buah selama proses pemasakan	60
3-6	Peran enzim dalam pematangan buah yang mengakibatkan perubahan tekstur	61
3-7	Parameter yang mempengaruhi perubahan tekstur buah boysenberry selama pematangan	62
3-8	Perubahan kadar air dan warna buah boysberry selama pematangan	64
3-9	Perubahan kadar gula dan asam pada mangga <i>var Keitt</i> yang disimpan pada 22°C	66
3-10	Perkembangan morfologi pada biji durian	70
3-11	Perubahan kecepatan respirasi beberapa varietas pepaya selama perkembangan	72
4-1	Perubahan karbohidrat tersimpan selama respirasi	77
4-2	Reaksi <i>Embden-Meyerhof-Parnas</i> (EMP)	78
4-3	Siklus Krebs	79
4-4	Jalur respirasi anaerobic	81
4-5	Cara pengukuran laju reaksi	83
4-6	Hubungan antara pertumbuhan buah/sayur dengan laju respirasi	86
4-7	Pola respirasi beberapa jenis buah klimaterik	87
4-8	Pola respirasi beberapa jenis buah non klimaterik	88
4-9	Hubungan antara kecepatan respirasi dan umur simpan beberapa buah dan sayur	89
4-10	Perubahan kecepatan respirasi ketimun selama penyimpanan	90
5-1	Biosintesa etilen pada tanaman	94
5-2	Pola produksi etilen dari buah klimakterik dan buah non klimakterik	95
7-1	Kadar gula jagung manis pada berbagai suhu penyimpanan	116
7-2	<i>Chilling injury</i> pada belimbing Atkin yang disimpan pada suhu 5°C dengan tambahan waktu 1 hari pada 20°C	120
8-1	Hubungan antara kelembaban relative/ <i>relative humidity</i> dengan tekanan uap air pada berbagai suhu	128
8-2	Kecepatan transpirasi dan perubahan CO <sub>2</sub> pada buah nanas selama siang dan malam hari	131
9-1	Laju respirasi buah dan sayur pada variasi konsentrasi O <sub>2</sub> dan CO <sub>2</sub> (komposisi CO <sub>2</sub> :O <sub>2</sub> :N <sub>2</sub> )	135
9-2	<i>Injury</i> karena konsentrasi CO <sub>2</sub> tinggi dan O <sub>2</sub> rendah pada apel.	139

9-3	Sistem pemusnahan etilen dengan atom oksigen (O) yang diproduksi dengan radiasi ultraviolet	141
9-4	Perbandingan antara Modified Atmosfer Secara Aktif dan Pasif Terhadap Perubahan Kecepatan O <sub>2</sub> dan CO <sub>2</sub> pada Buah Cabe	142
9-5	Profil gradient konsentrasi O <sub>2</sub> dan CO <sub>2</sub>	143
9-6	Proses transfer berbagai gas dalam sistem penyimpanan	144
9-7	Skema peralatan absorpsi air untuk memindahkan karbon dioksida	147

# Bab 1.

## PENDAHULUAN

Buah dan sayuran mempunyai peran sangat penting dalam diet sehari-hari. Buah dan sayuran sering disertakan dalam setiap menu makanan di berbagai daerah dan negara, walaupun dengan tujuan yang beraneka ragam. Diantara tujuan tersebut adalah untuk memberikan variasi, citarasa, atau untuk memenuhi kriteria keindahan penyajian makanan tersebut. Namun yang lebih penting dari itu, buah dan sayuran juga merupakan sumber berbagai zat gizi, khususnya vitamin dan berbagai mineral. Secara keseluruhan buah dan sayuran mempunyai kandungan zat gizi mikro yang tinggi, tetapi rendah kandungan kalori dan lemaknya.

Buah dan sayuran kaya akan berbagai vitamin, khususnya vitamin A (wortel, pepaya, mangga, dan berbagai sayuran daun) serta vitamin C (jambu biji, jeruk dan tomat). Buah dan sayuran juga kaya akan berbagai mineral, khususnya potasium, magnesium, besi dan kalsium sehingga buah dan sayuran mempunyai peranan penting dalam usaha perbaikan gizi masyarakat. Seperti diketahui, vitamin dan mineral yang terkandung pada buah dan sayuran berperan untuk melancarkan fungsi-fungsi metabolisme dalam tubuh. Kebutuhan akan vitamin C, yaitu sekitar 30-80 mg per hari, dapat dipenuhi dengan mengkonsumsi 100 g buah belimbing, atau sekitar 2 buah belimbing ukuran sedang (Direktorat Gizi, 1976, Tabel 1-1).

Karbohidrat dari buah dan sayuran merupakan hal yang perlu di"unggul"kan, mengingat bahwa sebagian besar dari karbohidrat tersebut adalah serat (*dietary fibers*). Serat diberi batasan sebagai bagian tanaman yang tahan atas hidrolisa oleh enzim-enzim di dalam saluran pencernaan mamalia (IFT, 1989). Serat mempunyai pengaruh atas menurunnya konsentrasi kolesterol pada plasma darah dan banyak dilaporkan mempunyai pengaruh lain yang menguntungkan bagi kesehatan manusia. Berbagai hasil penelitian telah menunjukkan kemungkinan bahwa serat dapat mengurangi berbagai penyakit yang ada hubungannya dengan saluran pencernaan.

Hal-hal tersebut di atas memberikan andil terhadap makin pentingnya peran buah dan sayuran pada menu makanan sehari-hari, khususnya dalam upaya membangun gizi keluarga dan masyarakat. Laporan *The Surgeon General*, AS (HHS, 1988) secara jelas merekomendasikan untuk meningkatkan konsumsi buah dan sayuran sehingga mengurangi konsumsi makanan yang banyak mengandung kalori dan lemak. Karenanya, perdagangan buah dan sayuran juga semakin penting dan berkembang.

Bersamaan dengan hal itu, diperlukan pengetahuan tentang cara-cara penanganan buah dan sayuran, sehingga selama pengangkutan, penyimpanan, distribusi dan pemasaran, buah dan sayuran tidak banyak mengalami kerusakan. Kerusakan buah dan sayuran tentunya akan berarti kerugian secara ekonomi.

Untuk dapat mengurangi dan mencegah timbulnya kerusakan pasca panen buah dan sayuran, harus diketahui lebih dulu tentang sifat dan penyebab kerusakan tersebut. Lebih lanjut, diperlukan usaha penelitian, yang dilanjutkan dengan tindakan pendidikan, latihan dan penyuluhan pada sebanyak mungkin orang yang terlibat

dalam rantai pasca panen, dimulai dari petani produsen, pengumpul, pengecer, dan konsumen.

**Tabel 1-1. Buah-buahan yang dapat digunakan sebagai sumber vitamin C dan ukuran yang setara dengan kebutuhan vitamin C sehari-hari<sup>\*)</sup>.**

<b>Nama Buah</b>	<b>Berat Buah<sup>**)</sup> untuk mencukupi kebutuhan vitamin C dalam 1 hari</b>
Jambu monyet (mede)	25 g = 1 buah ukuran sedang
Jambu biji	50 g = 1 buah ukuran sedang
Belimbing	100 g = 2 buah ukuran sedang
Jeruk Bali	100 g = 2 siung ukuran sedang
Jeruk Garut	100 g = 2 buah ukuran sedang
Kedondong	100 g = 2 buah ukuran sedang
Rambutan	100 g = 10 buah ukuran sedang
Mangga	100 g = 2 buah ukuran sedang
Nenas	150 g = 1/2 buah ukuran sedang
Sawo Manila	150 g = 2 buah ukuran sedang
Sirsak	150 g = 1/2 gelas
Pisang ambon	300 g = 3 buah ukuran sedang

<sup>\*)</sup> Direktorat Gizi, 1976

<sup>\*\*)</sup> Buah ditimbang tanpa kulit dan biji

Penanganan pasca panen buah dan sayuran telah merupakan cabang ilmu dari fisiologi tanaman, yang menggunakan pendekatan interdisiplin antara ilmu fisiologi, hortikultura dan ilmu pangan. Perhatian terhadap pentingnya penanganan pasca panen buah dan sayuran ini terus meningkat. Hal ini disebabkan kesalahan pada praktek-praktek penanganan pasca panen akan menyebabkan kerusakan, yang berakibat pada kehilangan (*loss*) jumlah atau pun kehilangan/ menurunnya mutu buah dan sayuran tersebut.

Berbagai lembaga atau badan yang berkecimpung dalam soal penanganan pasca panen, telah memperkirakan bahwa kisaran kehilangan pasca panen buah segar dan sayuran mencapai 5 – 25 persen pada negara-negara maju dan 20 – 50 persen pada negara-negara sedang berkembang.

Bagi Indonesia, keperluan penanganan pasca panen ini lebih penting mengingat bahwa Indonesia adalah negara kepulauan. Pulau yang satu menghasilkan produk yang berlainan dengan pulau yang lain. Perdagangan produk hortikultura antar pulau menuntut adanya teknologi penyimpanan dan pengangkutan yang baik. Disamping itu, kenyataan bahwa sebagai negara tropis, Indonesia

mempunyai beraneka-ragam buah dan sayuran yang masing-masing mempunyai musim panen yang berbeda-beda (Table 1-2).

**Table 1-2. Musim panen beberapa buah-buahan di Indonesia <sup>\*)</sup>**

Jenis Buah/ Sayuran	Bulan	
	Masa berbuah Sedikit	Masa berbuah banyak
Alpukat	J-F-Mr-Ap- <b>M-Jn</b> -Jl-Ag-S-O-N-D	<b>J-F</b> -Mr-Ap-M-Jn-Jl-Ag-S-O- <b>N-D</b>
Belimbing manis	<b>J-F</b> -Mr-Ap-M-Jn-Jl-Ag-S-O-N-D	J-F-Mr-Ap-M-Jn- <b>Jl-Ag</b> -S-O-N-D
Belimbing wuluh	-	<b>J-F-Mr-Ap-M-Jn-Jl-Ag-S-O-N-D</b>
Buah Nona	<b>J-F-Mr-Ap-M-Jn</b> -Jl-Ag-S-O-N-D	J-F-Mr-Ap-M-Jn- <b>Jl-Ag</b> -S-O-N-D
Duku/Langsar	-	<b>J-F</b> -Mr-Ap-M-Jn-Jl-Ag-S- <b>O-N-D</b>
Durian	-	<b>J-F</b> -Mr-Ap-M-Jn-Jl-Ag-S- <b>O-N-D</b>
Jambu Air	J-F-Mr-Ap-M-Jn-Jl-Ag- <b>S-O-N-D</b>	J-F-Mr-Ap-M-Jn- <b>Jl-Ag</b> -S-O-N-D
Jambu biji	<b>J-F-Mr-Ap-M-Jn-Jl-Ag-S-O-N-D</b>	<b>J-F-Mr-Ap-M-Jn-Jl-Ag-S-O-N-D</b>
Jeruk besar	<b>J-F-Mr-Ap-M-Jn-Jl-Ag-S-O-N-D</b>	J-F-Mr-Ap- <b>M-Jn</b> -Jl-Ag- <b>S-O-N-D</b>
Jeruk keprok	<b>J-F-Mr-Ap-M-Jn-Jl-Ag-S-O-N-D</b>	J-F-Mr-Ap- <b>M-Jn</b> -Jl-Ag-S- <b>O-N-D</b>
Jeruk manis	<b>J-F-Mr-Ap-M-Jn-Jl-Ag-S-O-N-D</b>	J-F-Mr-Ap- <b>M-Jn</b> -Jl-Ag-S- <b>O-N-D</b>
Mangga	-	<b>J-F</b> -Mr-Ap-M-Jn-Jl- <b>Ag-S-O-N-D</b>
Manggis	-	<b>J-F-Mr-Ap-M-Jn-Jl-Ag-S-O-N-D</b>
Gandaria	-	<b>J-F-Mr-Ap-M-Jn-Jl-Ag-S-O-N-D</b>
Juwet	-	J-F-Mr-Ap-M-Jn-Jl- <b>Ag-S-O-N-D</b>
Kebembem	-	J-F-Mr-Ap-M-Jn-Jl- <b>Ag-S-O-N-D</b>
Kedondong	-	<b>J-F-Mr-Ap-M-Jn-Jl-Ag-S-O-N-D</b>
Kecapi	-	J-F-Mr-Ap-M-Jn-Jl-Ag-S- <b>O-N-D</b>
Kesemek	-	J-F-Mr-Ap- <b>M-Jn-Jl</b> -Ag-S-O-N-D
Lobi-lobi	-	J-F-Mr-Ap- <b>M-Jn-Jl</b> -Ag-S-O-N-D
Nangka/cempedak	-	<b>J-F-Mr-Ap-M-Jn-Jl-Ag-S-O-N-D</b>
Nanas	-	<b>J-F-Mr-Ap-M-Jn-Jl-Ag-S-O-N-D</b>
Pepaya	-	<b>J-F-Mr-Ap-M-Jn-Jl-Ag-S-O-N-D</b>
Pisang	-	<b>J-F-Mr-Ap-M-Jn-Jl-Ag-S-O-N-D</b>
Semangka	-	<b>J-F-Mr-Ap-M-Jn-Jl-Ag-S-O-N-D</b>
Salak	-	<b>J-F-Mr-Ap-M-Jn-Jl-Ag-S-O-N-D</b>
Sirsak	-	<b>J-F-Mr-Ap-M-Jn-Jl-Ag-S-O-N-D</b>

<sup>\*)</sup>Data dari Sub Balai Penelitian Hortikultura Pasar Minggu, 1989 dan Broto 2012)

Produksi buah di Indonesia cenderung menunjukkan peningkatan selama lima tahun terakhir seperti dapat dilihat pada Tabel 1-3. Untuk keperluan pengadaan jenis-buah-buahan tertentu diluar musim panennya, maka diperlukan usaha penanganan dan pengawetan buah yang memadai. Selain berpotensi sebagai komoditi perdagangan dalam negeri, buah dan sayuran tropika juga merupakan komoditi ekspor yang penting. Berbagai produk hortikultura dari daerah tropika, seperti produk-produk mangga, rambutan dan sebagainya, mempunyai nilai tinggi di negara berhawa dingin.

**Tabel 1-3. Produksi beberapa jenis buah dan sayur di Indonesia selama tahun 2006 sampai 2010**

<b>Buah</b>	<b>Produksi pada tahun... (dalam ton)</b>				
	<b>2006</b>	<b>2007</b>	<b>2008</b>	<b>2009</b>	<b>2010</b>
Mangga	1.621.997	1.818.619	2.105.085	2.243.440	1.287.287
Jeruk	2.565.543	2.625.884	2.467.632	2.131.768	2.028.904
Pisang	5.037.472	5.454.226	6.004.615	6.373.533	5.755.073
Pepaya	643.451	621.524	717.899	772.844	675.801
Nanas	1.427.781	1.395.566	1.433.133	1.558.196	1.406.445
Durian	747.848	594.842	682.323	797.798	492.139
Manggis	72.634	112.722	78.674	105.558	84.538
Alpukat	239.463	201.635	244.215	257.642	224.278
Belimbing	70.298	59.984	72.397	72.443	69.089
Duku	157.655	178.026	158.649	195.364	228.816
Jambu biji	196.180	179.474	212.260	220.202	204.551
Jambu air	128.648	94.015	111.495	104.885	85.973
Nangka	683.904	601.929	675.455	653.444	578.327
Salak	861.950	805.879	862.465	829.014	749.876
Rambutan	801.077	705.823	978.259	986.841	522.852
Sawo	107.169	101.263	120.649	127.876	122.813
Sirsak	84.373	55.798	55.042	65.359	60.754
Markisa	119.683	106.788	138.027	120.796	132.011
Melon	55.370	59.815	56.883	85.861	85.161
Blewah	67.708	57.725	55.991	75.124	30.668
Semangka	392.586	350.780	371.498	474.327	348.631
Sukun	88.339	92.014	113.778	110.923	89.231
Melinjo	239.209	205.728	230.654	221.097	214.355
Kubis	1.267.745	1.288.740	1.323.702	1.358.113	1.384.044
Cabai	1.185.057	1.128.792	1.153.060	1.378.727	1.328.864

**Tabel 1-3. Produksi beberapa jenis buah dan sayur di Indonesia selama tahun 2006 sampai 2010 (Lanjutan)**

Wortel	391.371	350.171	367.111	358.014	403.827
Bawang merah	794.931	802.810	853.615	965.164	1.048.934
Kentang	1.011.911	1.003.733	1.071.543	1.176.304	1.060.805
Bawang putih	21.051	17.313	12.339	15.419	12.295
Daun bawang	571.268	479.927	547.743	549.365	541.374
Kembang kol	135.518	124.252	109.497	96.038	101.205
Lobak	49.344	42.076	48.376	29.759	32.381
Kacang panjang	461.239	488.500	455.524	483.793	488.449
Tomat	629.744	635.474	725.973	853.061	891.616
Terung	358.095	390.846	427.166	451.564	482.305
Buncis	269.532	266.790	266.551	290.993	336.494
Ketimun	598.890	581.206	540.122	583.139	547.141
Labu siam	212.697	254.056	394.386	321.023	369.846
Kangkung	292.950	335.087	323.757	360.992	350.879
Bayam	149.435	155.862	163.817	173.750	152.334

Sumber: Badan Pusat Statistik (2012)

Dalam rangka memenuhi kebutuhan dalam negeri maupun kebutuhan ekspor buah dan sayuran, maka peranan teknologi pasca panen akan semakin mendesak. Jelas bahwa peranan ahli fisiologi pasca panen tentunya akan semakin penting untuk masa-masa mendatang. Peranan ahli fisiologi pasca panen terutama adalah untuk mempelajari dan menyediakan teknologi pasca panen sehingga kerusakan produk selama selang waktu panen sampai konsumsi dapat ditekan kepada tingkat yang seminimum mungkin. Setelah dipanen, buah dan sayuran terus melakukan reaksi respirasi. Laju reaksi respirasi ini sangat penting untuk menentukan daya awet/kesegaran buah dan sayuran. Umumnya, laju reaksi respirasi ini berbanding terbalik dengan daya simpan segar buah dan sayuran yang bersangkutan. Karena itu, dari segi fisiologi maupun biokimia, usaha memperpanjang kesegaran dan mengurangi kerusakan tersebut dapat dicapai dengan memperlambat reaksi respirasi produk ke tingkat yang serendah-rendahnya yang masih dimungkinkan.



## Bab 2.

## PENGETAHUAN BAHAN

### I. BATASAN BUAH DAN SAYURAN

Dalam literatur, dapat dijumpai berbagai batasan (definisi) tentang buah. Secara botani, buah diberi batasan sebagai organ reproduktif tanaman atau bagian yang mengandung biji dari tanaman berbunga. Buah juga sering didefinisikan sebagai bagian *ovary*, tanpa atau dengan bagian tanaman lain yang berasosiasi dengan *ovary*.

Menurut pengertian botani, buah dapat dikelompokkan dalam dua kelompok. Kelompok pertama adalah buah parenkimatik (buah yang komponen utamanya berupa jaringan parenkim) Dalam literatur, buah dalam kelompok ini sering disebut "*fleshy fruit*". Contoh buah parenkimatik adalah buah pisang (*Musa spp.*), apel (*Malus sylvestris*), dan tomat (*Lycopersicon esculentum*).

Kelompok kedua adalah buah sklerenkimatik atau buah "kering" (*dry fruit*), seperti bijih padi (*Oryza sativa*), gandum (*Triticum sativum*), jagung (*Zea mays*), buncis (*Pisum sativum*) dan kacang-kacangan atau leguminosa. Seperti kita ketahui, batasan diatas tidak sama dengan pengertian buah dalam kegiatan perdagangan atau pun dalam benak konsumen sehari-hari.

Kebanyakan buah sklerenkimatik tidak termasuk dalam pengertian buah dalam perdagangan sehari-hari. Sebagian leguminosa yang lain bahkan diartikan dalam pengertian sayur-sayuran (Lihat Tabel 2-1). Sebagian yang lain, khususnya biji-bijian (padi dan gandum) yang secara botani termasuk sebagai buah, biasanya tidak termasuk dalam kategori buah atau pun sayuran dalam pengertian perdagangan sehari-hari.

Dalam pengertian sehari-hari, khususnya dalam perdagangan, buah biasanya berupa jaringan tanaman yang ber"daging", yang dapat dimakan baik sebelum atau kadang-kadang, setelah dimasak. Buah umumnya mempunyai kandungan gula tinggi (berasa manis), keasaman cukup tinggi, dan mempunyai karakteristik bau dan aroma yang khas. Pengertian atau batasan buah inilah yang akan dianut dalam pembahasan dalam buku ini.

Sayuran diklasikasikan sebagai tanaman hortikultura. Umur panensayuran pada umumnya relatif pendek (kurang dari satu tahun) dan secara umum merupakan tanaman musiman, artinya hampir semua jenis sayuran dapat dijumpai sepanjang tahun, tidak mengenal musim. Karakteristik ini sedikit berbeda dengan beberapa jenis buah seperti mangga, durian dan sebagainya yang hanya dijumpai pada musim-musim tertentu satu kali dalam satu tahun.

Secara botani maupun morfologi, sayuran agak sulit diberi batasan. Hal ini disebabkan dalam pengertian umum, sayuran mencakup hampir semua bagian

tanaman, baik berupa organ reproduktif maupun tidak. Sayuran dapat berupa bagian akar, batang, daun, bunga, biji, atau pun umbi dari tanaman. Bahkan beberapa bagian tanaman yang secara botani diklasifikasikan sebagai buah, dalam pengertian perdagangan umum dimasukkan dalam kelompok sayur-sayuran. Contohnya adalah tomat, buncis, dan labu (*Curcubita* spp.; lihat Tabel 2-2). Secara umum, sayuran adalah bagian tanaman yang dapat dimakan, umumnya mempunyai tekstur lunak, mempunyai kandungan gula yang relatif rendah, sering dikonsumsi sebagai lalap, gado-gado atau salad, dan kalau dimasak umumnya ditambahkan garam dan disajikan bersama dengan daging, ikan serta lauk lainnya.

**Tabel 2-1. Berbagai kacang-kacangan yang sering digunakan sebagai sayur-sayuran**

<b>Nama Indonesia</b>	<b>Nama Latin</b>	<b>Nama Inggris</b>
Kacang tanah	<i>Arachis hypogaea</i>	<i>Ground nut</i>
Kacang gude	<i>Cajanus cajan</i>	<i>Pigeon nut</i>
Kedelai	<i>Glycine max</i>	<i>Soy bean</i>
Miju-miju	<i>Lens esculenta</i>	<i>Lentil</i>
Koro	<i>Phaseolus lunatus</i>	<i>Lima bean</i>
Kacang merah	<i>Phaseolus vulgaris</i>	<i>Kidney bean</i>
Kecipir	<i>Psophocarpus tetra</i>	<i>Wing bean</i>
Kacang tunggak/tolo	<i>Virga sinensis</i>	<i>Cowpea</i>

Sayuran dapat dikelompokkan berdasarkan bagian dari tanaman misalnya akar, umbi, batang, daun, buah, bunga, biji dan sebagainya. Bagian-bagian tersebut yang dapat dimanfaatkan sebagai sayuran konsumsi, antara lain wortel, kentang, yang diambil dari bagian umbinya, kangkung, bayam, selada, sawi yang diambil dari bagian daun, asparagus, rebung dari bagian batang. Pengelompokan dan contoh masing-masing sayuran ini dapat dilihat pada Tabel 2-2.

Selain berdasarkan bagian-bagian tanaman, sayuran juga dapat dikelompokkan berdasarkan pada iklim dimana sayuran dapat tumbuh baik yaitu: sayuran yang tumbuh di daerah iklim panas atau tropis, yaitu daerah yang mempunyai suhu udara sekitar 25°C atau lebih dan sayuran yang tumbuh di daerah iklim sedang dan sub tropis yaitu daerah yang mempunyai suhu udara maksimum 22°C. Contoh sayuran tropis yaitu daun pepaya, petai, cabe, terong, kangkung, buncis serta daun singkong. Contoh sayuran yang tumbuh di daerah iklim sedang dan sub-tropis yaitu wortel, kobis (kol), brokoli, kentang, seledri, jamur, bakung, selada dan sebagainya.

Pengelompokan sayuran saat ini berkembang dengan munculnya istilah sayuran organik dan anorganik. Sayuran organik merupakan sayuran hasil budidaya secara organik artinya bahan-bahan yang digunakan untuk sarana pertumbuhan seperti pupuk, pengendali hama dan lain-lain menggunakan bahan alami. Jenis sayuran ini akhir-akhir ini sangat diminati konsumen mengingat semakin tingginya kesadaran akan konsumsi sayuran yang terhindar dari bahan-bahan kimia sintetis seperti pestisida sintetis, dan pupuk kimia.

**Tabel 2-2. Beberapa contoh sayuran yang dibedakan berdasarkan atas bagian tanaman asalnya\*)**

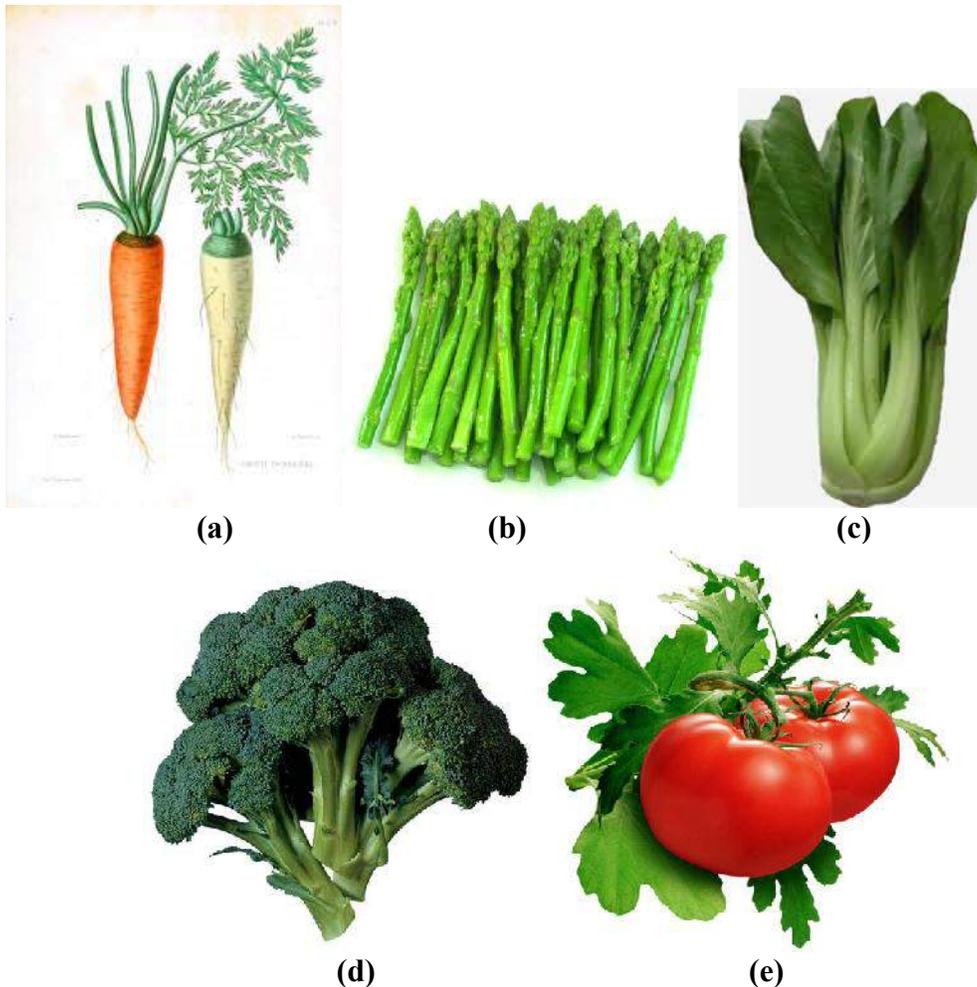
<b>Bagian Tanaman</b>	<b>Contoh</b>
Akar	Wortel, bawang-bawangan (bawang merah, bawang putih), lobak, ubi jalar, kentang, bit
Batang	Asparagus, bambu muda, daun bawang, kangkung
Daun	Kol, bayam, kangkung, kubis, selada, kale, sawi, daun singkong, daun papaya
Bunga	Brokoli, bunga kol, bunga turi
Buah (mentah/muda)	Pepaya, jagung manis, jagung sayur ( <i>baby corn</i> ), jagung muda (jw: <i>putren</i> ), ketimun, cabe, waluh, kacang-kacangan, tomat, nangka muda, terung, buncis, keluwih, gambas, paria
Buah (matang)	Tomat, waluh
Kecambah	Taoge (kecambah kacang hijau, kedelai, dll)

\*) dikumpulkan dari berbagai pustaka

Saat ini juga beredar kelompok sayuran yang dikenal sebagai sayuran transgenik. Tanaman transgenic merupakan produk rekayasa genetik yang dikenal sebagai GMO (Genetically Modified Organism). GMO adalah organisme (dalam hal ini lebih ditekankan kepada tanaman dan hewan) yang telah mengalami modifikasi genome (rangkaiannya gen dalam khromosome) sebagai akibat ditransformasikannya satu atau lebih gen asing yang berasal dari organisme lain (dari species yang sama sampai divisi yang berbeda). Gen yang ditransformasikan diharapkan dapat mengeluarkan atau mengekspresikan suatu produk yang bermanfaat bagi manusia.

Buah dan sayuran umumnya sama-sama mempunyai kandungan air yang cukup tinggi (sekitar 75-95%), kandungan protein dan lemak yang relatif rendah (kecuali buah-buahan tertentu seperti apokad dan durian). Dari daerah ke daerah, pengertian buah dan sayuran ini bisa saja berbeda-beda. Demikian pula, untuk produk yang sama, misalnya nangka, bisa berfungsi sebagai sayur atau buah, tergantung pada umur fisiologinya.

Anatomi buah-buahan dan sayuran secara detail tidak akan didiskusikan pada buku ini. Pembaca disarankan untuk membaca buku-buku tentang anatomi dan fisiologi tanaman secara umum jika ingin pembahasan lebih lanjut. Beberapa contoh jenis buah-buahan dan sayuran dapat dilihat pada Gambar 2-1.



**Gambar2-1. Contoh sayuran berbentuk a. akar b. batang; c. daun d. bunga e. buah (diambil dari berbagai sumber)**

## **II. STRUKTUR SEL BUAH DAN SAYURAN**

Buah dan sayuran tersusun dari berbagai macam jaringan, dimana masing-masing jaringan terdiri dari sel-sel. Sel-sel tersebut tumbuh dan berkembang sesuai dengan fungsinya, sedemikian sehingga keseluruhan tanaman dapat tumbuh dan berkembang dengan baik. Berbagai jenis sel-sel tanaman, secara umum akan diperkenalkan pada pembahasan ini.

### **Sistem jaringan**

Jaringan buah dan sayuran pada umumnya dibagi dalam 4 macam; yaitu jaringan pelindung (jaringan kulit; dermal/skin tissue), jaringan vaskuler (vascular system), jaringan parenkima, dan jaringan pendukung.

### **Jaringan Pelindung**

Sel-sel pada jaringan pelindung (jaringan epidermis) adalah sel-sel yang berada di sekitar permukaan, membentuk lapisan pelindung yang melapisi organ tanaman, membentuk "kulit" dalam pengertian sehari-hari. Lapisan paling luar dari jaringan pelindung ini disebut jaringan epidermis. Pada jaringan ini, sel-sel tersusun secara rapi satu sama lain sehingga tidak menyisakan ruangan kosong diantara sel-sel. Sel-sel pada jaringan epidermis ini umumnya pejal dan pada permukaan luar biasanya kaya akan komponen-komponen penguat, terutama lilin dan kutin. Lapisan lilin pada buah apel dan ketimun merupakan contoh yang nyata dan mudah diamati. Jaringan pelindung ini mempunyai peranan yang penting, yaitu melindungi bagian yang ada didalamnya dari gangguan fisik maupun mekanik dari luar.

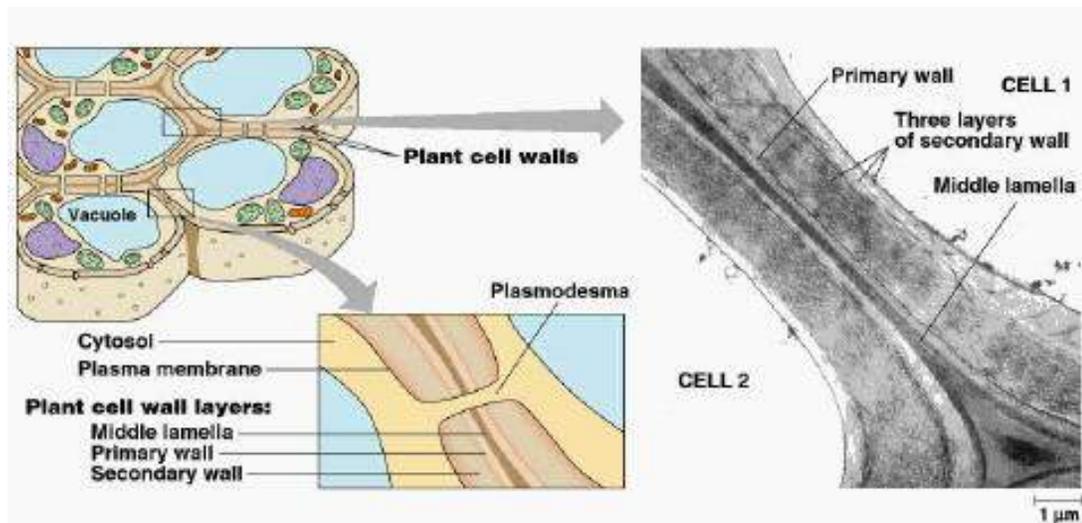
### **Jaringan vaskuler**

Jaringan vaskuler ini terdiri dari dua macam, yaitu jaringan xilem dan phloem. Xilem, yang berperan dalam transportasi air, biasanya terdiri dari sel-sel yang berbentuk memanjang seperti tabung. Jaringan phloem, bertanggungjawab atas transportasi bahan-bahan organik.

### **Jaringan parenkim**

Jaringan parenkim merupakan jaringan utama pada kebanyakan buah dan sayuran, yaitu jaringan yang bisa dimakan (*edible portion*). Sel-sel ini berbeda bentuk (*morphologi*) dan fisiologinya, tergantung pada kegiatan dan kondisi fisiologi tanaman. Sel-sel pada jaringan parenkim ini umumnya bersegi banyak dan beragam. Karena ini, sel-sel dalam jaringan parenkim umumnya tidak tersusun secara rapi, sehingga diantara sel-sel terdapat banyak rongga udara (*intercellular air spaces*). Rongga udara ini mempunyai peranan yang penting dalam pengendalian mutu selama proses penanganan pasca panen. Pada varietas apel tertentu, rongga udara ini dapat mencapai sekitar 25% dari keseluruhan volume. Namun jaringan parenkim pada kentang tersusun cukup rapi sehingga hanya mempunyai rongga udara sekitar 1% saja.

Sel parenkim dewasa biasanya mempunyai dinding sel yang cukup tipis dan mengandung vakuola yang cukup besar. Secara umum, sketsa sel parenkim dapat disajikan seperti Gambar 2-2. Pada Gambar 2-2 dapat diamati adanya *middle lamella*, yaitu senyawa perekat antar sel, yang mengikat dinding sel yang satu dengan yang lainnya guna menjaga kesatuan jaringan. Umumnya *middle lamella* terdiri dari senyawa-senyawa pektat (akan didiskusikan pada Bab Berikutnya).



**Gambar 2-2. Sketsa sel parenkim tumbuhan dewasa (Sumber: <http://kentsimmons.uwinnipeg.ca/cm1504/cellwall.htm>)**

Struktur dinding sel sangat penting dalam menjaga kesatuan sel. Sel-sel pada jaringan parenkim sering mempunyai dinding sel primer atau pun sekunder (*plasmalemma*). Umumnya, dinding sel sekunder ini sangat minimal dan tipis. Namun, dalam proses penuaan, dinding sel sekunder ini dapat menebal dan mengalami proses lignifikasi (pembentukan lignin) sehingga menghasilkan tekstur yang keras (sering disebut *woody texture*). Karenanya, struktur dinding sel pada jaringan parenkima sangat berperan pada karakteristik tekstur pada buah dan sayuran. Misalnya, hilangnya karakteristik tekstur renyah (karena adanya proses pengempukan) selama proses pematangan erat berhubungan dengan perubahan struktural pada dinding sel. Komponen-komponen utama dinding sel adalah karbohidrat kompleks, seperti selulosa, hemiselulosa, senyawa pektat, dan lignin. Komposisi kimia dinding sel secara lebih detail dibahas pada bab berikut.

Setelah dinding sel utama dan plasmalemma, komponen sel parenkim yang utama adalah protoplasma. Protoplasma merupakan bagian utama sel yang mengandung struktur-struktur subseluler atau organel-organel, seperti plastida, mitokondria, dan inti sel. Pada buah-buahan dan sayuran, mitokondria mempunyai peranan penting, terutama dalam hubungannya dengan penanganan pasca panen, karena bertanggungjawab pada proses respirasi. Didalam mitokondria terdapat berbagai enzim yang sangat berperan dalam proses-proses biokimia. Plastida juga mempunyai peranan penting, terutama karena (i) plastida mengandung dua pigment penting, dan (ii) tempat pembentukan dan penyimpanan pati. Ada 3 macam plastida, yaitu chloroplast (plastida yang mengandung pigmen hijau; khlorophil), chromoplas (plastida yang mengandung karotenoid), dan leukoplas (plastida yang bertanggungjawab atas pembentukan dan penyimpanan pati).

Protoplasma ini dipisahkan dari vakuola oleh membran tipis yang disebut tonoplas. Vakuola mengandung berbagai macam senyawa; terutama

senyawa-senyawa yang bertanggungjawab atas flavor dan citarasa, seperti gula, asam, dan berbagai senyawa organik lainnya. Disamping itu, pigmen flavonoid (terutama anthosianin dan anthosantin) juga terdapat pada vakuola. Komponen utama vakuola adalah air, dimana sekitar 90% dari total air dalam sel ada tersimpan dalam vakuola.

### **Jaringan-jaringan pendukung.**

Ada dua macam jaringan pendukung pada tanaman, yaitu jaringan kollenkima dan sklerenkima. Sel kollenkima mempunyai ciri bentuk yang memanjang dan ketebalan dinding sel yang tidak merata. Sel-sel sklerenkima mempunyai dinding sel yang tebal dan merata, dan umumnya telah mengalami lignifikasi. Jaringan-jaringan ini dinamakan sebagai jaringan pendukung sebab ia berkontribusi langsung dengan keseluruhan struktur dari buah dan sayuran. Karenanya, jaringan pendukung ini juga bertanggung jawab atas tekstur kenyal dan mempunyai ketahanan yang cukup atas adanya panas.

## **III. KOMPOSISI KIMIA BUAH DAN SAYURAN**

Sebagaimana bahan biologi lainnya, buah dan sayuran mempunyai variasi komposisi kimia yang tidak hanya tergantung pada spesies, tetapi juga tergantung pada beberapa factor seperti musim, jenis dan kesuburan tanah, umur, tingkat kematangan dan lain-lain. Dalam bab ini akan diuraikan secara umum berbagai komponen utama yang erat hubungannya dengan mutu buah dan sayuran.

### **A. AIR**

Kebanyakan hasil pertanian mempunyai kandungan air sekitar 80%, dengan beberapa kekecualian khusus, seperti ketimun, kol, dan semangka yang mempunyai kandungan air sekitar 95%. Umbi-umbian, seperti ubi jalar (*sweet potato, yam*), singkong, dan juga beberapa jenis buah dan sayuran yang mempunyai kadar pati tinggi (misalnya jagung), umumnya mempunyai kadar air cukup rendah, sekitar 50%. Sel yang lebih muda umumnya mengandung lebih banyak air daripada sel yang lebih tua.

Air setidaknya mempunyai 4 fungsi, yaitu (1) sebagai komponen struktural, yaitu sebagai bagian dari matrik jaringan, (2) sebagai bahan pembasah, (3) sebagai penstabil konformasi polimer, dan (4) sebagai pelarut atau perantara, khususnya dalam proses transportasi garam (ion kalsium khususnya), berbagai senyawa organik (khususnya yang berukuran kecil), dan enzim.

Dalam hubungannya dengan mutu buah dan sayuran, air mempunyai peranan penting. Khususnya sebagai bagian dari cairan vakuola, air berperan menjaga tekanan turgor. Kehilangan air akan menyebabkan buah dan sayuran kehilangan kesegaran dan kelihatan lembek yang diakibatkan karena hilangnya tekanan turgor pada individu-individu sel. Sehubungan dengan itu, maka

pemanenan hendaknya dilakukan pada saat produk mempunyai kadar air yang tinggi, sehingga tingkat kesegaran dan tekstur berada pada puncak mutunya. Ditambah lagi, setelah pemanenan kadar air produk biasanya akan menurun sebagai akibat dari proses penguapan sehingga kesegaran produk pun akan berkurang. Untuk menjaga kesegaran produk maka penguapan air hendaknya dikurangi dengan cara mengatur kelembaban ruang penyimpanan, pengemasan, atau pun dengan cara melapisi permukaan buah dan sayuran dengan senyawa lilin.

## **B. KARBOHIDRAT**

Karbohidrat dalam buah-buahan dan sayuran cukup beraneka ragam, mulai dari monosakarida sampai polisakarida yang mempunyai berat molekul sangat tinggi. Kandungan karbohidrat ini juga sangat beragam, berkisar dari 2 sampai 20% berdasarkan berat basah. Pada sayuran tertentu, yaitu dari kelompok *cucurbitaceae*, kadar karbohidrat ini bahkan bisa mencapai 30%.

Pada sayuran, cadangan energi biasanya tersimpan dalam bentuk pati. Pada buah-buahan, karbohidratnya terutama terdiri dari gula-gula sederhana. Gula umumnya digunakan sebagai simpanan energi paling dominan pada buah-buahan (kecuali adpokad, dimana cadangan lemak juga dominan). Kadar gula-gula sederhana umumnya meningkat selama proses pematangan buah-buahan.

### **B.1. Gula Sederhana**

Gula-gula sederhana yang terdapat pada buah-buahan terutama adalah sukrosa, glukosa dan fruktosa. Buah-buahan biasanya mempunyai kandungan gula-gula sederhana lebih tinggi daripada sayuran. Buah-buahan tropika dan subtropika umumnya cenderung mempunyai kandungan gula lebih tinggi dibandingkan dengan buah-buahan dari daerah/negara berhawa dingin (Tabel 2-3.). Leci, kesemek, dan pisang, contohnya, mempunyai kandungan gula sederhana lebih dari 10%. Sebagai kekecualian, buah anggur yang merupakan buah-buahan dari iklim sedang, mempunyai kandungan gula lebih dari 10%. Sukrosa merupakan gula yang sering ditemukan pada buah-buahan tropika, yaitu sekitar 8-10% pada rambutan, pisang, mangga, dan buah nangka. Dalam jumlah kecil, gula-gula sederhana yang lain yang sering pula ditemukan pada buah dan sayuran adalah xylosa, arabinosa, manosa, galaktosa dan maltosa.

### **B.2. Polisakarida**

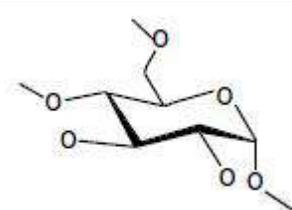
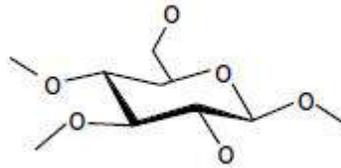
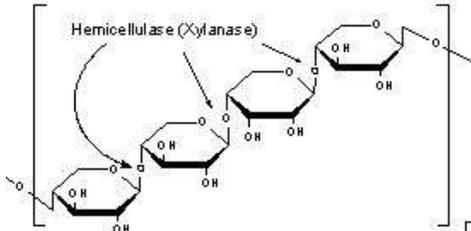
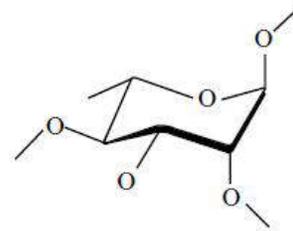
Kelompok polisakarida yang penting adalah pati (sebagai cadangan energi), selulosa, hemiselulosa, senyawa pektat (pektin) dan lignin (sebagai komponen utama /dinding sel). Tabel II-4. memberikan ringkasan tentang jenis dan rumus kimia komponen dinding sel.

**Tabel 2-3. Komposisi gula sederhana pada beberapa jenis buah dan sayur  
(dalam satuan gram pada 100 gram bagian yang dapat dimakan)**

Jenis buah	Fruktosa	Glukosa	Sukrosa	Gula lain	Jumlah gula
Anggur	6,7	6,0	-	-	12,9
Apel	5,6	1,8	2,6	-	10,0
Adpokad	0,1	0,1	-	-	0,2
Aprikot	0,4	1,9	4,4	-	6,7
Belimbing	15 mg	13 mg	4 mg	-	-
Cherri	6,1	5,5	-	-	11,6
<i>Grapefruit</i>	1,6	1,5	2,3	0,1 (sorbitol)	5,7
Jeruk	2,0	1,8	4,4	-	8,3
Mangga	3,8	0,6	8,2	-	12,7
Nangka	-	-	-	-	-
Nenas	2,1	1,7	6	-	9,9
Peach	4,0	4,5	0,2	-	8,7
Pear	5,3	4,2	1,2	-	10,7
Plum	3,2	5,1	0,1	0,1 (sorbitol)	8,6
Pisang	2,9	2,4	5,9	-	11,3
Rambutan	3	2,8	9,9	-	15,7
Semangka	2,7	0,6	2,8	-	6,2
Strawberry	2,3	2,6	1,3	-	6,2
Broccoli	0,66	-	0,43	0,33 (raffinosa, stakhiosa)	1,42
Kubis	1,39	1,73	0,25	0,14 (raffinosa, stakhiosa)	3,51
Tomat	1,0	0,9	-	-	1,9
Kembang kol	1,29	1,02	0,35	-	-
Wortel	-	-	4,11	0,086 (xylitol)	4,196

\*) Diambil dari berbagai sumber

**Tabel 2-4. Jenis dan rumus kimia komponen dinding sel.**

Komponen	Rumus kimia	Struktur
Pati	$-\alpha$ -D-Glcp	
Selulosa	$\beta$ -D-Glcp	
Hemiselulosa	Polimer dinding sel yang larut dalam alkali	
Pektin	$-\alpha$ -L-Rhap	
Lignin		$R = \begin{array}{c} \text{C} - \text{C} - \text{C} \\   \quad   \quad   \\ R' \quad R' \quad R' \end{array}$ <p>Lignin "monomer"</p>  <p><math>R' = -H, -OH,</math> or <math>=O</math>      4-alkylcatechol</p>

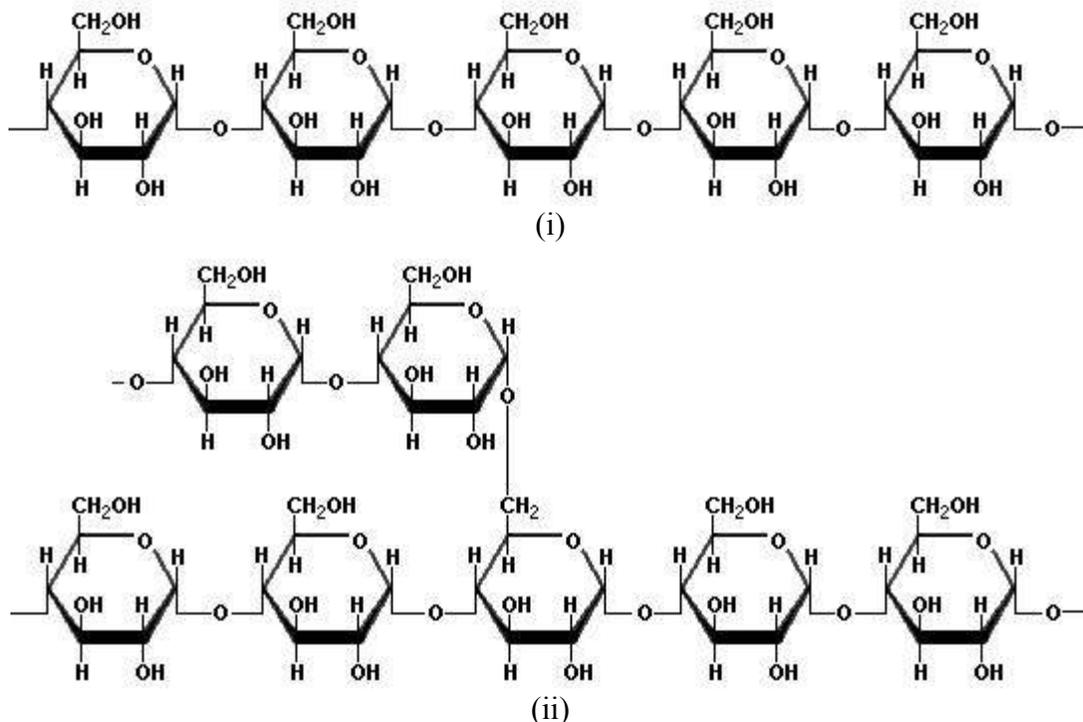
\*) Diambil dari berbagai sumber

### B.2.a.Pati

Pati merupakan cadangan karbohidrat paling dominan pada tanaman. Pati terdapat dalam bentuk butiran-butiran kecil yang disebut granula. Bentuk dan ukuran granula pati ini merupakan karakteristik dari setiap jenis pati, dan karenanya sering digunakan untuk identifikasi. Granula pati mempunyai distribusi ukuran,

bentuk dan dimensi yang berbeda yang tergantung pada jenis pati, pertumbuhan dan kondisi pemanenan. Ukuran granula pati bervariasi dari yang paling kecil dalam pati beras dan oat (1,5 – 9  $\mu\text{m}$ ) sampai yang terbesar pada pati kentang (sampai 100  $\mu\text{m}$ ). Beberapa pati sereal seperti terigu, *rye* dan *barley* mempunyai distribusi ukuran yang bimodal. Granula yang kecil (granula B) mempunyai bentuk spheric dengan diameter kurang dari 10  $\mu\text{m}$  dan granula besar (granula A) berbentuk lenticular dengan diameter sekitar 20  $\mu\text{m}$  (Eliason dan Gudmunson, 1996). Pati terdiri dari dua polimer, yaitu polimer amilosa dan amilopektin.

Amilosa merupakan homopolimer rantai lurus, mengandung sekitar 200 - 1000 satuan glukosa, yang terikat satu sama lain dengan ikatan glikosidik  $\alpha$ -(1-4). Amilopektin juga merupakan homoglikan, tetapi secara keseluruhan merupakan rantai bercabang. Amilopektin mempunyai ikatan  $\alpha$ -(1-4) pada rantai lurusnya dan ikatan  $\alpha$ -(1-6) pada titik percabangannya. Amilopektin terdiri dari sekitar 2000 - 200.000 satuan glukosa. Titik percabangan ini terjadi pada sekitar 20 - 25 satuan glukosa, karena itu ikatan  $\alpha$ -(1-6) tersebut berjumlah sekitar 4-5% dari keseluruhan ikatan yang ada pada amilopektin. Struktur kimia amilosa dan amilopektin dapat dilihat pada Gambar 2-3.

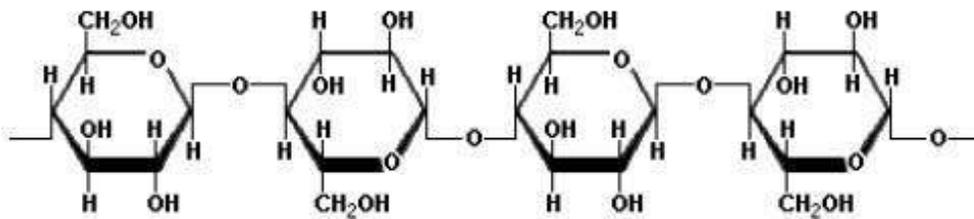


**Gambar 2-3. Struktur kimia (i) amilosa; (ii) amilopektin**

### **B.2.b. Selulosa**

Selulosa, sebagaimana amilosa dan amilopektin, juga merupakan homopolimer dari sekitar 8000-12000 satuan glukosa, dengan ikatan  $\beta$ -(1-4).

Struktur kimia selulosa dapat dilihat pada Gambar 2-4. Dalam dinding sel, secara lebih detail, sebagaimana terlihat pada Gambar 2-4, ikatan hidrogen antara rantai selulosa dapat terbentuk antara gugus hidroksil (OH) pada C-3 pada rantai selulosa yang satu dengan oksigen pada ikatan glikosidik rantai selulosa yang lain. Adanya ikatan hidrogen tersebut membuat beberapa (umumnya sekitar 40) rantai selulosa bergabung dan terikat erat membentuk struktur seperti benang kristalin, dengan ukuran sekitar 3,5 nm. Dalam dinding sel, benang-benang tersebut membentuk struktur yang sangat teratur. Bagian selulosa yang demikian disebut bagian kristalin, sedangkan bagian lain, yang strukturnya tidak teratur, disebut bagian amorphous. Dalam sel, umumnya sekitar 15-20% dari keseluruhan selulosa berada pada struktur amorphous.

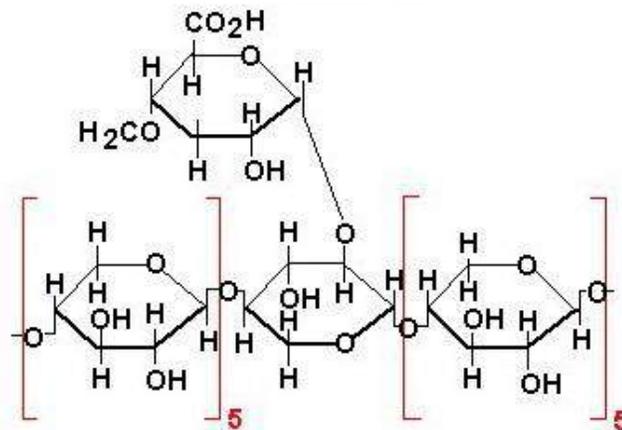


**Gambar2-4. Struktur kimia selulosa**

Selulosa mempunyai peranan penting dalam tekstur buah dan sayuran. Namun, kandungan selulosa itu sendiri tidak secara langsung berhubungan dengan tekstur. Proporsi dari bagian kristal dan amorphous, atau derajat kristalinitas, dari keseluruhan selulosa telah diketahui lebih menentukan tekstur buah dan sayuran daripada total kandungan selulosa. Mudah diduga, bahwa tingginya tingkat kristalinitas berhubungan dengan meningkatnya kekerasan pada tekstur.

### **B.2.c.Hemiselulosa**

Hemiselulosa merupakan senyawa kompleks yang mengandung berbagai macam gula polisakarida. Hemiselulosa ini diperoleh dengan cara ekstraksi oleh basa dari residu dinding sel yang telah mengalami ekstraksi senyawa pektat lebih dulu. Hemiselulosa ini dibangun dari berbagai gula sederhana, yaitu pentosa (xilosa dan arabinosa) dan beberapa heksosa (glukosa, galaktosa, dan mannanosa). Secara skematis struktur kimia hemiselulosa dapat dilihat pada Gambar 2-5.

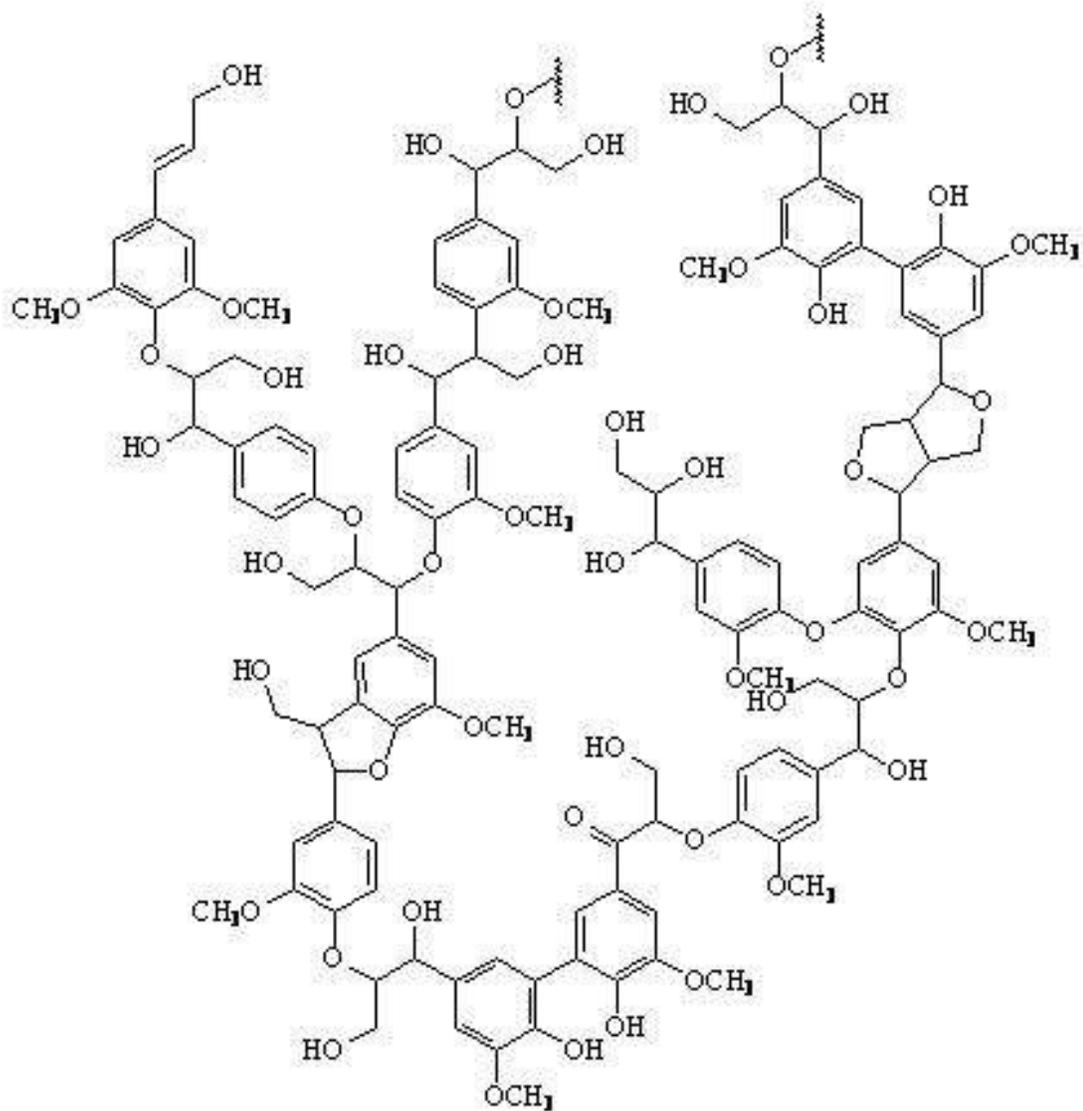


**Gambar 2-5. Struktur kimia hemiselulosa**

Hemiselulosa mempunyai rantai utama yang merupakan polimer satuan-satuan  $\beta$ -(1-4) D-xilopiranosil. Karena rantai utama yang mirip selulosa itulah maka ia disebut hemi-(setengah)-selulosa. Polimer xilosa tersebut biasanya mempunyai  $\beta$ -L-arabinosa sebagai cabang pada posisi C3 dari satuan xilosa tertentu. Cabang lain yang sering pula dijumpai adalah 4-O-metilester dari asam D-glukoronat, D- atau L-galaktosa, dan gugus-gugus ester asetil.

#### **B.2.d.Lignin**

Lignin merupakan komponen dinding sel yang penting, dan sering berasosiasi dengan karbohidrat. Lignin sebetulnya bukan termasuk karbohidrat. Lignin adalah polimer kompleks dari senyawa aromatik, termasuk senyawa phenol, tidak larut dalam air, mempunyai berat molekul sangat tinggi, dan biasanya terikat secara kovalen dengan hemiselulosa di dinding sel. Betapa kompleksnya senyawa lignin ini dapat dilihat pada Gambar 2-6.



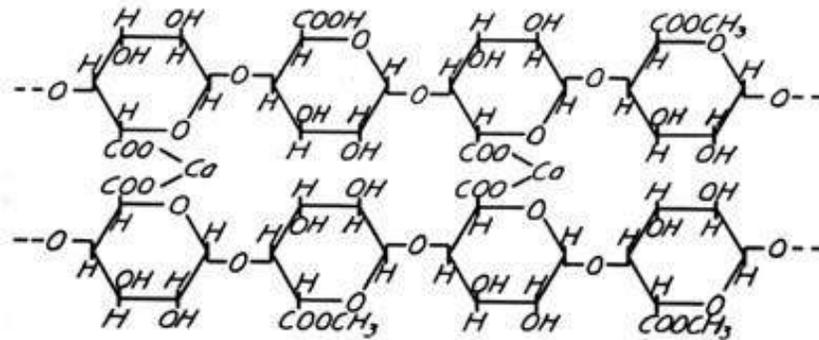
**Gambar 2-6. Struktur kimia lignin**

### **B.2.e. Senyawa Pektat**

Sekitar 1/3 dari total padatan pada dinding sel adalah senyawa pektat. Albedo buah jeruk (bagian kulit jeruk yang biasanya berwarna putih dan berstruktur seperti busa) merupakan sumber senyawa pektat yang baik. Sekitar 50% dari berat kering albedo adalah senyawa pektat. Secara kimia, struktur senyawa pektat ini sangat kompleks. Senyawa pektat adalah kelompok polisakarida tanaman yang kompleks, dimana komponen utamanya adalah satuan-satuan asam  $\alpha$ -D-galakturonat dan/atau metil ester galakturonat yang terikat melalui ikatan glikosida  $\alpha$ -(1-4). Asam glukuronat adalah salah satu asam uronat, yaitu asam yang diperoleh dengan spesifik oksidasi atas salah satu gugus alkohol primer dari

monosakarida. Asam glukoronat diperoleh dari oksidasi atas gugus OH pada C-6 glukosa.

Senyawa pektat umumnya dibedakan berdasarkan kandungan metil esternya. Derajat esterifikasi (DE) adalah ukuran yang digunakan untuk menyatakan persen residu asam galakturonat yang teresterifikasi. Beberapa jenis senyawa pektat dan sifatnya dapat dilihat pada Tabel 2-5. Senyawa pektat seperti yang dicontohkan pada gambar berikut mempunyai DE = 50%.



Gambar 2-7. Asam pektinat (senyawa pektat yang mempunyai DE = 50)

Tabel 2-5. Beberapa jenis senyawa pektat pada dinding sel tanaman

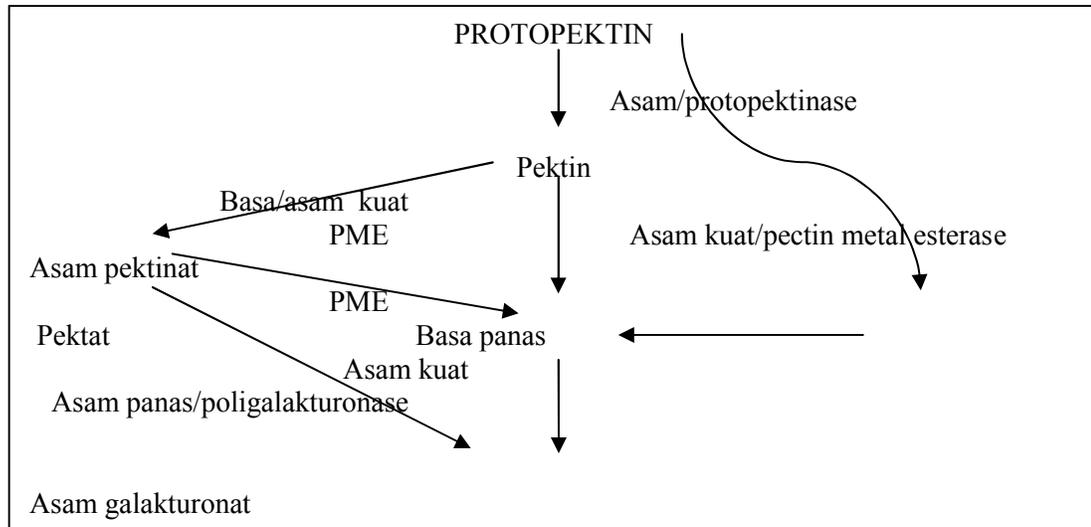
Substansi pektat	Sifat kimia
Substansi pektat	Grup koloid, kompleks polisakarida Galakturonan
Protopektin	Substansi pektat yang larut air
Asam pektat	Substansi pektat yang tidak punya gugus metil ester
Pektat	Asam pektat dalam bentuk garam
Asam pektinat	Substansi pektat yang teresterifikasi sebagian dengan gugus metal
High methoxyl pectin (HMP)	Asam pektinat dengan jumlah gugus teresterifikasi lebih dari 50 %
Low methoxyl pectin (HMP)	Asam pektinat dengan jumlah gugus teresterifikasi kurang dari 50 %

Sumber: Prasanna *et al.* (2007)

Protopektin adalah senyawa pektat yang terdapat pada buah-buahan/sayuran yang masih mentah. Protopektin mempunyai DE tinggi dan bertanggungjawab atas kekerasan tekstur pada buah-buahan yang masih mentah. Asam pektinat adalah senyawa pektat dengan DE sedang, lebih rendah dari DE protopektin. Sedangkan senyawa pektat yang hanya terdiri dari asam galakturonat saja (DE=0) disebut asam pektat. Istilah pektin sering digunakan untuk senyawa pektat (khususnya asam pektinat) yang mampu membentuk gel dalam kondisi tertentu. Pembentukan gel dari pektin tidak akan dibahas dalam bab ini.

Selama proses pematangan, pelunakan buah juga disebabkan perubahan protopektin yang bersifat tidak larut dan mempunyai berat molekul tinggi menjadi

pectin yang bersifat larut. Protopektin meningkat selama proses pematangan fisiologis, tetapi menurun setelah proses tersebut. Hubungan antar substansi pectin dapat dilihat pada Gambar 2-8.



Gambar 2.8. Hubungan antar substansi pectik

### C. PROTEIN DAN ENZIM

Kandungan protein buah dan sayuran sangat beragam tergantung pada jenis buah dan sayuran, namun pada umumnya kandungan protein ini sangat rendah. Sebagai kekecualian, leguminosa (kacang-kacangan) umumnya mempunyai kandungan protein yang cukup tinggi (15-30% dari berat segarnya). Beberapa sayuran daun (daun singkong dan daun pepaya) dan jagung manis biasanya mengandung protein cukup tinggi, yaitu sekitar 4-8%. Namun demikian, pada kebanyakan sayuran, kandungan protein ini umumnya dibawah 3%. Pada buah-buahan, kandungan protein ini lebih kecil dari 1% (berat basah).

Protein, secara kimia tersusun atas senyawa mengandung nitrogen (N), yaitu asam-asam amino (Tabel 2-6). Dalam praktek, penentuan kadar protein buah-buahan dan sayuran biasanya dilakukan dengan menentukan kadar nitrogen. Berdasarkan atas data statistik bahwa protein umumnya mengandung unsur N sekitar 16%, maka kadar protein dapat diperoleh dengan cara mengkalikan kadar N dengan faktor 6,25. Praktek ini mengabaikan kenyataan bahwa tidak semua unsur N yang terukur adalah komponen dari protein. Sebagian N merupakan komponen dari senyawa-senyawa lain non-protein yang jumlahnya beragam tergantung dari jenis produk. Jumlah N non-protein ini bisa cukup besar untuk diabaikan. Pada kentang, misalnya, komponen N non-protein ini bisa mencapai sekitar 50-60%, sedangkan pada buah apel adalah 10-70% (Salunkhe, dkk. 1991). Proporsi N non-protein ini juga dipengaruhi oleh tingkat fisiologi buah dan sayuran. Buah dan sayuran yang telah layu umumnya mengandung unsur N non-protein yang lebih tinggi.

Senyawa non-protein yang mengandung N tersebut terutama adalah asam-asam amino, yang umumnya bertanggungjawab atas sekitar 80% dari total non-protein. Disamping itu senyawa non-protein lainnya adalah basa purin, pirimidin, nukleosida, dan lain-lain. Contoh dari senyawa-senyawa non-protein yang mengandung unsur N ini dapat dilihat pada Tabel 2-7.

**Tabel 2-6. Asam amino yang terdapat pada protein**

Nama	Simbol		Berat molekul	Struktur pada pH netral
	Tiga huruf	Satu huruf		
Alanine	Ala	A	89,1	$\begin{array}{c} \text{COO}^- \\   \\ \text{H}_3\text{N}^+ - \text{C} - \text{H} \\   \\ \text{CH}_3 \end{array}$
Arginine	Arg	R	174,2	$\begin{array}{c} \text{COO}^- \\   \\ \text{H}_3\text{N}^+ - \text{C} - \text{H} \\   \\ \text{CH}_2 \\   \\ \text{CH}_2 \\   \\ \text{CH}_2 \\   \\ \text{NH} \\   \\ \text{C} = \text{NH}_2^+ \\   \\ \text{NH}_2 \end{array}$
Asparagine	Asn	N	132,1	$\begin{array}{c} \text{COO}^- \\   \\ \text{H}_3\text{N}^+ - \text{C} - \text{H} \\   \\ \text{CH}_2 \\   \\ \text{C} \\ / \quad \backslash \\ \text{H}_2\text{N} \quad \text{O} \end{array}$
Aspartic acid	Asp	D	133,1	$\begin{array}{c} \text{COO}^- \\   \\ \text{H}_3\text{N}^+ - \text{C} - \text{H} \\   \\ \text{CH}_2 \\   \\ \text{COO}^- \end{array}$
Cysteine	Cys	C	121,1	$\begin{array}{c} \text{COO}^- \\   \\ \text{H}_3\text{N}^+ - \text{C} - \text{H} \\   \\ \text{CH}_2 \\   \\ \text{SH} \end{array}$

Glutamine	Glu	Q	146,1	$  \begin{array}{c}  \text{COO}^- \\    \\  \text{H}_3\text{N}^+ - \text{C} - \text{H} \\    \\  \text{CH}_2 \\    \\  \text{CH}_2 \\    \\  \text{C} \\  / \quad \backslash \\  \text{H}_2\text{N} \quad \text{O}  \end{array}  $
Glutamic acid	Glu	E	147,1	$  \begin{array}{c}  \text{COO}^- \\    \\  \text{H}_3\text{N}^+ - \text{C} - \text{H} \\    \\  \text{CH}_2 \\    \\  \text{CH}_2 \\    \\  \text{COO}^-  \end{array}  $
Glycine	Gly	G	75,1	$  \begin{array}{c}  \text{COO}^- \\    \\  \text{H}_3\text{N}^+ - \text{C} - \text{H} \\    \\  \text{H}  \end{array}  $
Histidine	His	H	155,2	$  \begin{array}{c}  \text{COO}^- \\    \\  \text{H}_3\text{N}^+ - \text{C} - \text{H} \\    \\  \text{CH}_2 \\    \\  \text{C} - \text{NH} \\  // \quad \backslash \\  \text{C} \quad \text{CH} \\    \quad // \\  \text{H} \quad \text{N}  \end{array}  $
Isoleucine	Ile	I	131,2	$  \begin{array}{c}  \text{COO}^- \\    \\  \text{H}_3\text{N}^+ - \text{C} - \text{H} \\    \\  \text{H} - \text{C} - \text{CH}_3 \\    \\  \text{CH}_2 \\    \\  \text{CH}_3  \end{array}  $
Leucine	Leu	L	131,2	$  \begin{array}{c}  \text{COO}^- \\    \\  \text{H}_3\text{N}^+ - \text{C} - \text{H} \\    \\  \text{CH}_2 \\    \\  \text{CH} \\  / \quad \backslash \\  \text{CH}_3 \quad \text{CH}_3  \end{array}  $

Lysine	Lys	K	146,2	$  \begin{array}{c}  \text{COO}^- \\    \\  \text{H}_3\text{N}^+ - \text{C} - \text{H} \\    \\  \text{CH}_2 \\    \\  \text{CH}_2 \\    \\  \text{CH}_2 \\    \\  \text{CH}_2 \\    \\  \text{NH}_3^+  \end{array}  $
Methionine	Met	M	149,2	$  \begin{array}{c}  \text{COO}^- \\    \\  \text{H}_3\text{N}^+ - \text{C} - \text{H} \\    \\  \text{CH}_2 \\    \\  \text{CH}_2 \\    \\  \text{S} \\    \\  \text{CH}_3  \end{array}  $
Phenylalanine	Phe	F	165,2	$  \begin{array}{c}  \text{COO}^- \\    \\  \text{H}_3\text{N}^+ - \text{C} - \text{H} \\    \\  \text{CH}_2 \\    \\  \text{C}_6\text{H}_5  \end{array}  $
Proline	Pro	P	115,1	$  \begin{array}{c}  \text{COO}^- \\    \\  \text{H} \\    \\  \text{C} \\  / \quad \backslash \\  \text{H}_2\text{N}^+ \quad \text{CH}_2 \\    \quad \quad   \\  \text{H}_2\text{C} \quad \text{CH}_2  \end{array}  $
Serine	Ser	S	105,1	$  \begin{array}{c}  \text{COO}^- \\    \\  \text{H}_3\text{N}^+ - \text{C} - \text{H} \\    \\  \text{CH}_2\text{OH}  \end{array}  $
Threonine	Thr	T	119,1	$  \begin{array}{c}  \text{COO}^- \\    \\  \text{H}_3\text{N}^+ - \text{C} - \text{H} \\    \\  \text{H} - \text{C} - \text{OH} \\    \\  \text{CH}_3  \end{array}  $

Tryptophan	Trp	W	204,2	
Tyrosine	Tyr	Y	181,2	
Valine	Val	V	117,1	

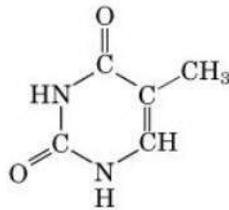
Diambil dari berbagai sumber

**Tabel 2-7. Senyawa-senyawa non protein yang mengandung unsur N**

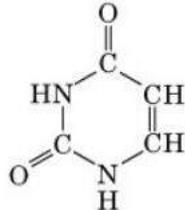
Nama senyawa	Struktur kimia
Adenine	
Guanine	
Cytosine	

---

Thymine



Uracyl



---

\*) Diambil dari berbagai sumber

Walaupun secara kuantitas protein merupakan komponen minor pada sayur dan buah, namun dalam penanganan pasca panen, protein (enzim) mempunyai peranan yang sangat penting. Berbagai perubahan kimia dan fisik, baik yang dikehendaki atau pun yang tidak, terjadi pada buah/sayuran selama penanganan pasca panen. Perubahan-perubahan tersebut sering dikatalisa oleh berbagai enzim yang memang secara alami terdapat pada buah dan sayuran. Penanganan dan pengolahan buah dan sayuran sering memerlukan adanya kontrol terhadap berbagai kegiatan enzim, sehingga mutu yang optimal dapat dicapai. Karena itu, pengetahuan tentang berbagai enzim yang terdapat pada buah/sayuran menjadi sangat diperlukan. Dalam buku ini, pembahasan akan dibatasi pada enzim yang berhubungan dengan mutu buah dan sayuran.

### C.1. Enzim-enzim yang menghidrolisa senyawa pektat

Enzim penghidrolisa senyawa pektat terdiri dari beberapa macam seperti dapat dilihat pada Tabel 2-8. Penjelasan sifat dan mekanisme kerja beberapa enzim tersebut dapat dilihat di bawah.

**Tabel 2-8. Enzim penghidrolisa senyawa pektat**

Nama enzim	Substrat	Produk	Mekanisme
Pektin esterase/ Pektin metil esterase	Pektin	Asam pektat + metanol	Hydrolisis
Protopektinase	Protopektin	Pektin	Hydrolisis
Endo poligalakturonase	Asam pektat	Oligogalakturosida	Hidrolisis
Ekso poligalakturonase	Asam pektat	Monogalakturosida	Hidrolisis
Oligogalakturosida hydrolase	Asam trigalakturonat	Monogalakturosida tidak jenuh + galakturonida (n-1)	Hidrolisis
Endopolimetil	Pektin	Metil-oligogalakturonida	Hidrolisis

galakturonase				
Rhamnogalacturonase	Pectin	$\alpha$ -(1,2) L-Rha, $\alpha$ -(1,4) D-Gal		Hidrolisis
Rhamnogalacturonan acetylerase	Pectin (Hairy region)	Pectin + Acetic acid		Hydrolysis
Pectin acetyl esterase lyases	Pectins (smooth region)	Unsaturated oligogalacturonides		Hydrolysis
Endopectate lyases	Pectic acid	Unsaturated oligogalacturonides		Trans elimination
Exopectate lyases	Pectic acid	Unsaturated digalacturonides		Trans elimination
Oligogalacturonide lyases	Unsaturated digalacturonate	Unsaturated monogalacturonides oligogalacturonides		Trans elimination
Endopectin lyases	Pectin Unsaturated			Trans elimination
Arabinanase				
$\alpha$ -L-arabino-furanosidase	Arabinans	$\alpha$ -L-Arabinose		Hydrolysis
Endoarabinanase	(1,5)- $\alpha$ -Arabinans	Arabinose and higher Oligosaccharides		Hydrolysis
Galactanase				
$\beta$ -D-Galactanase	Galactans	$\beta$ -D-Galactose		Hydrolysis

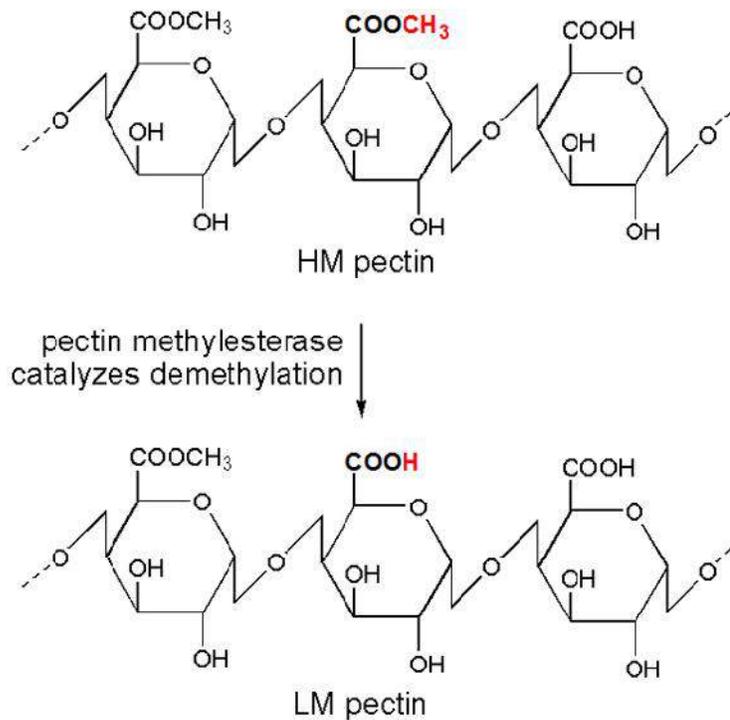
Sumber: Prasanna *et al.* (2007)

### C.1.a. Pektinesterase

Pektinesterase, sering disingkat PE, dalam sistem *Enzyme Commission* diberi nomor klasifikasi EC 3.1.1.11. Dalam literatur, enzim ini juga sering disebut sebagai pektinmetoksilase atau pektin metil esterase. Namun demikian, pektinesterase merupakan nama yang lebih sering dipakai.

Enzim PE mengkatalisa demetilasi senyawa pektin. Seperti diketahui, pektin adalah polimer dari satuan-satuan asam  $\alpha$ -D-galakturonat dan metil ester galakturonat dengan berbagai proporsi sesuai dengan derajat metilasinya. Secara skematis, reaksi demetilasi senyawa pektin oleh pektinesterase ini dapat dilihat pada Gambar 2-9.

Enzim PE ini hanya bekerja secara khusus pada metil ester pada pektin, dan tidak pada metil ester lainnya. Kebanyakan buah/sayuran mengandung PE, terutama buah jeruk dan tomat. Secara langsung, aktifitas hidrolisa senyawa pektat oleh PE ini tidak berakibat pada proses pengempukan. Namun demikian, peranan PE tetap penting dalam proses pengempukan, karena hidrolisa dan degradasi senyawa pektat lebih lanjut oleh enzim-enzim lainnya hanya akan berlangsung dengan baik setelah pektin dihidrolisa oleh pektinesterase.



**Gambar 2-9. Reaksi demetilasi senyawa pectin oleh enzim pektinesterase**

### C.1.b.Poligalakturonase

Berdasarkan mekanisme reaksinya, poligalakturonase (PG) dapat dikelompokkan menjadi dua kelas, yaitu (1) endo-PG (EC 3.2.1.15) yang menghidrolisa ikatan glikosidik  $\alpha$ -(1-4) pada poligalakturonat secara acak, dan (2) ekso-PG (EC 3.2.1.67) yang menghidrolisa ikatan glikosidik  $\alpha$ -(1-4) dari ujung-ujung poligalakturonat. Secara skematis, perbedaan aksi endo- dan ekso-PG ini dijelaskan pada Tabel 2-9.

**Tabel 2-9. Perbedaan enzim endopoligalakturonase dan eksopoligalakturonase**

Nama	Struktur	Mekanisme
Endopoligalakturonase	Poly (1,4- $\alpha$ -D-galakturonida) glikanohidrolase	Menghidrolisis secara acak ikatan $\alpha$ 1,4 (mendekati gugus karboksilat yang terdemetilasi) pada pectin
Eksopoligalakturonase	Poly (1,4- $\alpha$ -D-galakturonida) galakturonohidrolase, Poly (1,4- $\alpha$ -D-galaktosiduronate digalakturonohidrol)	Hidrolisis ikatan $\alpha$ -1,4 pada asam pektat dari ujung gugus non pereduksi, mono dan digalakturonat

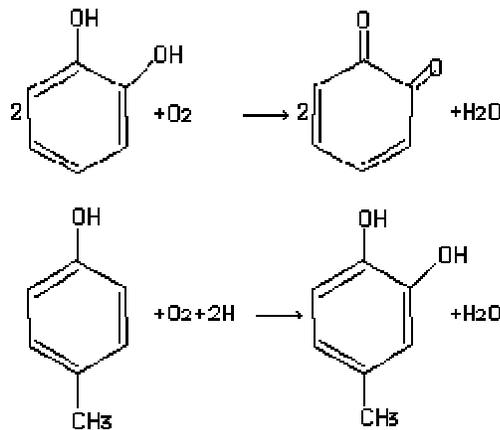
Sumber: Prasanna *et al.* (2007)

## C.2. Enzim-enzim lain

### C.2.a. Poliphenol Oksidase

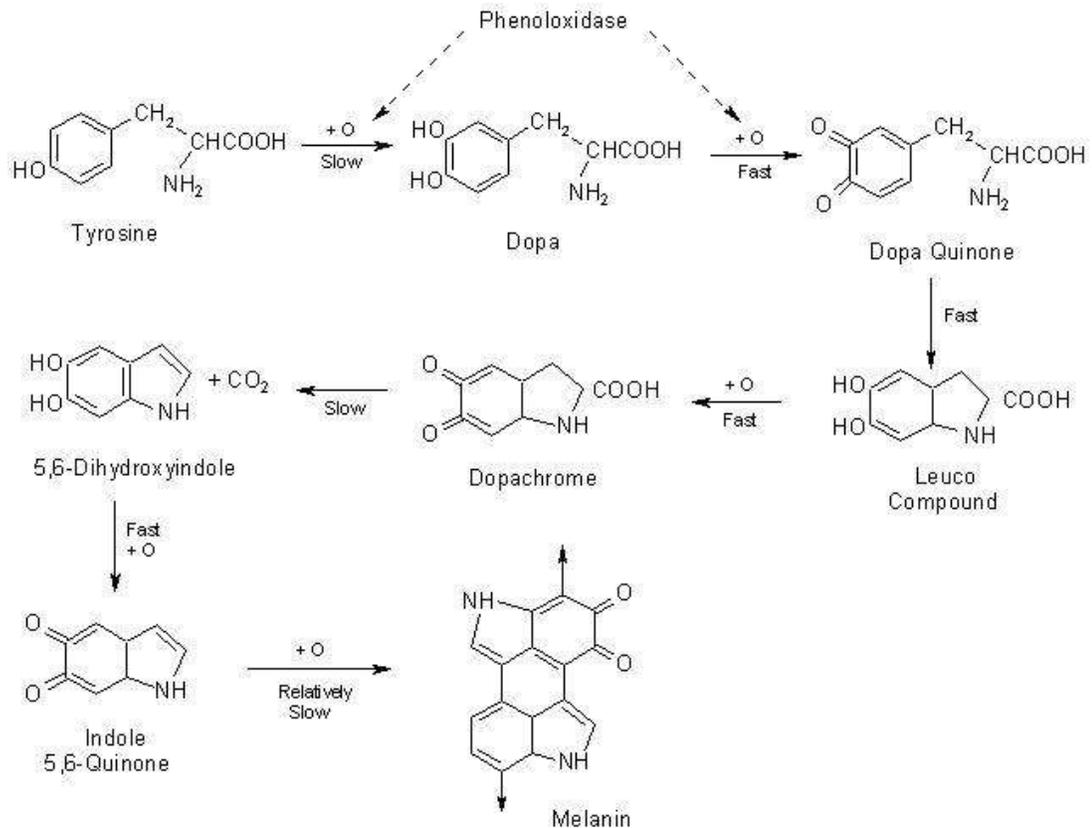
Poliphenol oksidase (PPO) merupakan enzim yang penting dalam pengolahan dan penanganan pasca panen buah dan sayuran karena enzim ini sering menyebabkan reaksi pencoklatan (browning). Dalam literatur, enzim ini dikenal dengan banyak nama, terutama berdasarkan atas kekhususan substrat. Nama-nama tersebut antara lain adalah phenolase, tironase, katekol oksidase, dan ortho-diphenol oksidase.

PPO merupakan enzim yang memerlukan unsur tembaga (Cu) sebagai kofaktor. Enzim ini mengkatalisis dua macam reaksi, yaitu (1) hidroksilasi senyawa monophenol menjadi senyawa ortho-diphenol, dan (2) oksidasi senyawa ortho-diphenol menjadi senyawa ortho-quinon. Dalam reaksi tersebut, sebagaimana terlihat pada Gambar 2-10, molekul oksigen mutlak diperlukan.



**Gambar 2-10. Reaksi yang dikatalisa enzim poliphenol oksidase**

Senyawa phenol yang merupakan substrat bagi PPO banyak terdapat pada buah dan sayuran. Dari sekian banyak senyawa phenol, 3,4, dihidroksi phenilalanin (DOPA), tirosin, katekin, dan senyawa-senyawa ester dari asam sinamat merupakan substrat utama bagi PPO untuk memulai seri reaksi pencoklatan. Warna coklat itu sendiri hanya akan terjadi kalau senyawa ortho-quinon mengalami oksidasi dan polimerasi lebih lanjut, membentuk kompleks dengan protein, sehingga membentuk senyawa dengan berat molekul yang tinggi. Sebagai contoh (lihat Gambar 2-11), jika tirosin adalah substrat utamanya, maka senyawa pigmen yang dihasilkan adalah senyawa melanin. Warna yang dihasilkan mempunyai intensitas yang beraneka, bisa merah jambu, coklat, atau pun hitam, tergantung pada tingkat polimerasi dan tingkat asosiasi dengan senyawa-senyawa lainnya (misalnya protein). Pencoklatan ini sering merugikan, namun beberapa hal pencoklatan bahkan menguntungkan (misalnya pada proses pembuatan teh hitam).

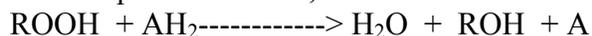


**Gambar 2-11. Reaksi yang dikatalisa enzim polifenolase dengan substrat tyrosin**

Dalam buah dan sayuran yang masih utuh, enzim dan substrat (senyawa-senyawa phenol) terpisahkan satu sama lain dalam bagian-bagian tertentu dari sel. Kerusakan mekanik atau pun fisik dapat merusak integritas bagian-bagian sel, dan akibatnya pemisahan (*compartmentation*) antara substrat dan enzim tidak dapat dipertahankan. Akibatnya, reaksi enzimatik akan berlangsung dan terbentuklah metabolit yang secara fisiologi merupakan hal yang tidak normal. Secara visual, hal ini ditandai dengan adanya proses pencoklatan secara internal (*internal browning*). Kentang, misalnya, termasuk hasil pertanian yang sangat peka terhadap proses pencoklatan internal ini.

### C.2.b.Peroksidase

Peroksidase (EC 1.11.1.7) banyak terdapat pada sel tanaman. Reaksi yang dikatalisis oleh peroksidase ini, secara skematis adalah sebagai berikut :



dimana R dapat berupa H, CH<sub>3</sub>, atau C<sub>2</sub>, sedangkan H<sub>2</sub> atau AH<sub>2</sub> adalah donor hidrogen dalam bentuk tereduksi, A adalah donor hidrogen yang sudah teroksidasi. Berbagai senyawa pada buah dan sayuran dapat bertindak sebagai donor hidrogen, antara lain adalah senyawa-senyawa phenol (p-kresol, guaiakol, resorsinal),

senyawa-senyawa amin aromatis (anilin, bensidin, o-phenilen diamin), dan nikotinamid-adenin-dinukleotida tereduksi (NADH<sub>2</sub>).

Dalam pengolahan, terutama proses blansir (blanching), peroksidase sering digunakan sebagai enzim indikator. Hal ini disebabkan peroksidase merupakan enzim yang banyak terdapat pada sel tanaman dan mempunyai ketahanan terhadap panas lebih tinggi daripada kebanyakan enzim-enzim lainnya. Karena itulah maka enzim ini dapat berperan sebagai indikator kecukupan proses blansir.

### **C.2.c. Katalase**

Katalase (EC 1.11.1.6) sebenarnya dapat dipandang sebagai peroksidase yang mempunyai sifat khusus, yaitu peroksidase yang secara khusus (spesific) menggunakan H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> sebagai donor hidrogen. Karena itu, reaksi yang dapat dikatalisa oleh katalase adalah sebagai berikut:

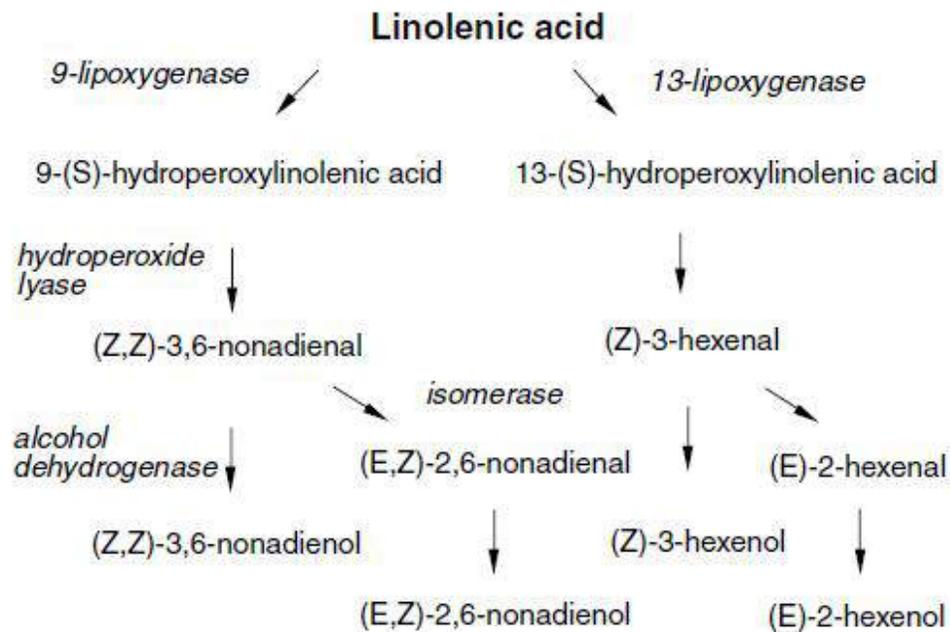


Peragaan adanya aktifitas katalase ini dapat dilakukan secara sederhana, yaitu dengan cara menambahkan H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> pada jaringan tanaman yang telah dihancurkan (diblender) atau pun pada ekstrak kasar jaringan tanaman. Sesuai dengan persamaan reaksi diatas, maka adanya aktivitas katalase akan ditandai dengan diproduksinya oksigen (O<sub>2</sub>), yang dengan mudah dapat diamati, karena munculnya gelembung-gelembung udara. Jika produksi O<sub>2</sub> dapat diukur (misalnya dengan potentiometer atau pun monometer), maka aktifitas katalase dapat pula diukur dengan sederhana. Karena kemudahan dalam deteksi, dan karena ketahanannya terhadap panas, maka katalase ini (selain peroksidase) juga sering digunakan sebagai indikator kecukupan blansir.

### **C.2.d. Lipoksigenase**

Lipoksigenase (sering disingkat LOX), dulunya dikenal sebagai lipoksidase atau karoten oksidase. Enzim ini pertama kali diidentifikasi dari leguminosa, khususnya kedele. Enzim inilah yang menyebabkan timbulnya bau *langu* pada kedele. Enzim LOX juga banyak terdapat pada berbagai buah dan sayuran. LOX (linoleat : oksigen oksidoreduktase, EC 1.13.11.12) mengkatalisis reaksi oksidasi asam lemak tidak jenuh yang mengandung dua ikatan rangkap yang dipisahkan oleh satu gugus metilen dan dalam konfigurasi cis, sebagaimana terlihat pada Gambar 2-12. Struktur demikian ini merupakan struktur khas dari asam lemak essensial, yaitu asam linoleat, asam linolenat, dan asam arakidonat. Karena itu, dari segi gizi, aktifitas LOX penting pula untuk diperhatikan.

Walaupun pada kebanyakan hasil pertanian aktifitas LOX ini tidak diinginkan (misalnya pada kedele), namun pada beberapa buah dan sayuran lainnya LOX mempunyai peranan penting, khususnya pada proses pembentukan senyawa flavor khas. Misalnya pada buah ketimun, tomat serta jamur, yang mana flavor khas dari komoditi tersebut adalah produk-produk turunan dari hasil oksidasi lemak oleh LOX, terutama kelompok aldehida dan keton.



**Gambar 2-12. Reaksi yang dikatalisa oleh enzim lipoksigenase (Reineccus, 2006)**

#### D. LIPID

Pada buah-buahan dan sayuran, lipid dapat dibedakan atas dua macam, yaitu lipid sebagai cadangan energi (lipid simpanan) dan sebagai komponen membran sel. Kandungan total lipid pada buah dan sayuran sangat beragam. Kandungan lipid, berdasarkan berat kering, pada buah pisang, anggur dan apel berturut-turut adalah 0,1; 0,2 dan 0,06%, sedangkan kandungan lipid pada alpukat mencapai sekitar 35-70% (Haard, 1985), dan buah zaitun mengandung sekitar 30-70% (Salunkhe dkk, 1991). Sebagai ilustrasi, kandungan lipid pada berbagai buah dan sayuran dapat dilihat pada Tabel 2-10 .

Lipid mempunyai peranan penting dalam menjaga mutu, terutama sebagai jaringan pelindung pada permukaan buah-buahan dan sayuran. Termasuk dalam kategori ini adalah senyawa-senyawa lilin (*wax*) yang mengandung berbagai asam lemak, asam-asam hidroksi, alkohol, ester, keton, eter, dan hidrokarbon -yang umumnya mempunyai rantai antara 18 - 22 atom karbon. Pada lapisan pelindung ini umumnya juga terdapat senyawa kutin dan suberin, yang merupakan senyawa kompleks. Keduanya banyak mengandung asam-asam hidroksi, seperti asam phloinolic (HO-(CH)-(CHOH)-CHCOOH) yang berpolimerisasi satu sama lain membentuk kompleks poliester.

Selain itu, walaupun merupakan komponen minor, lipid juga mempunyai peranan penting dalam pembentukan mutu flavor buah-buahan dan sayuran, lihat diskusi pada seksi **F. Komponen Flavor**) dan sifat-sifat fisiologi lainnya (misalnya dalam hubungannya dengan ketahanannya terhadap suhu rendah).

**Tabel 2-10. Kadar lipid pada beberapa jenis buah dan sayuran**

<b>Buah/sayur</b>	<b>Kadar lipid rata-rata (%)</b>
Anggur	0,2
Apel	0,06
Alpukat	35 – 70
Durian	5,4
Pisang	0,1
Zaitun	50
Asparagus	0,12
Bayam	0,3
Bawang putih	0,1
Bawang merah	0,1
Brokoli	0,37
Kangkung	0,4
Kubis	0,2
Kembang kol	0,2
Kentang	0,1
Ketimun	0,1
Labu kuning	0,1
Lettuce	0,2
Seledri	0,1
Semangka	0,2
Tomat	0,2
Ubi jalar	0,2
Wortel	0,2

\*diambil dari berbagai sumber

## **E. SERAT**

Dari segi gizi, selulosa, hemiselulosa, dan senyawa pektin mempunyai peranan yang penting. Hal ini disebabkan polisakarida tersebut (berlainan dengan pati; amilosa dan amilopektin), tidak dapat dicerna oleh enzim pencernaan, dan karenanya sering disebut sebagai serat. Lignin juga merupakan komponen serat. Serat ini tidak dapat dicerna oleh manusia sebab manusia tidak mempunyai enzim yang mampu mengurai serat menjadi satuan-satuan monomer sederhananya. Pati dan selulosa, misalnya, mempunyai komposisi yang sama, yaitu sama-sama terdiri dari satuan glukosa tetapi ikatan antar glukosanya berbeda. Pati mempunyai ikatan  $\alpha$ -(1-4) yang dapat dihidrolisa oleh enzim amilase, sedangkan selulosa mempunyai ikatan  $\beta$ -(1-4) yang hanya dipecah oleh enzim selulase yang tidak tersedia dalam saluran pencernaan manusia. Demikian pula, manusia tidak mempunyai enzim yang diperlukan untuk mencerna senyawa pektin dan hemiselulosa.

Serat mempunyai peranan penting dalam diet, terutama diduga mempunyai peranan dalam penanggulangan berbagai penyakit yang banyak diderita oleh orang-orang yang kurang makan makanan berserat. Penyakit-pernyakit yang diduga

disebabkan oleh kekurangan makanan berserat tersebut antara lain adalah kanker usus, penyakit usus buntu, konstipasi, diabetes, diverticulosis, haemorrhoids,, dan kegemukan. Hal ini diperoleh dari studi epidemiologi dan juga dari studi perbandingan dari berbagai kelompok berdasarkan dietnya.

Kadar serat pada berbagai buah dan sayur cukup bervariasi seperti dapat dilihat pada Tabel 2-11.

**Tabel 2-11. Kadar serat pangan beberapa jenis buah dan sayur**

<b>Jenis buah/sayur</b>	<b>Kadar serat (%)</b>
Almond	12,2
Apel	2,4
Alpukat	6,8
Durian	3,8
Jeruk	2,4
Kiwi	3,4
Nanas	1,4
Peach	1,5
Pear	3,1
Pisang	2,6
Strawberry	2
Plum	1,4
Asparagus	2,1
Brokoli	2,6
Bayam	2,2
Kangkung	2
Kentang	2,2
Kubis	2,5
Lettuce	2,1
Onion	1,7
Wortel	2,8
Strawberry	2
Tomat	1,2

Sumber: Vicente *et al.* (2009)

## **F. KOMPONEN FLAVOR**

Pada dasarnya mutu citarasa suatu buah merupakan keseimbangan ratio antara gula dan asam, ditambah dengan adanya komponen flavor yang khas. Pada sayuran, kandungan gula biasanya tidak begitu penting (kecuali pada jagung manis, ubi jalar, dan waluh). Sebaliknya, kandungan gula pada buah-buahan merupakan unsur penting yang menentukan cita rasa. Kandungan gula pada buah-buahan sangat beraneka, tergantung pada asal tanaman, musim, jenis dan sebagainya (lihat seksi **B. Karbohidrat**).

Asam yang terdapat pada buah dan sayuran adalah asam-asam organik, yaitu asam-asam yang mempunyai gugus karboksilat (-COOH). Kebanyakan buah dan sayuran mempunyai kandungan asam organik yang cukup tinggi sehingga tidak semuanya dapat dimetabolisma melalui siklus kreb dan seri metabolik lainnya. Kelebihan ini biasanya disimpan dalam vakuloa. Buah jeruk bisa mempunyai kandungan asam organik sekitar 3%. Asam organik yang dominan pada buah dan sayuran adalah asam malat dan asam sitrat (Tabel 2-12). Berbagai asam organik yang lain adalah asam tartarat (pada buah anggur), asam oksalat (pada bayam), dan asam isositrat (pada *blackberry*).

**Tabel 2-12. Asam organic yang terdapat pada buah dan sayur**

Buah/sayur	Asam organic (mg/1000 ml)				
	Sitrat	Askorbat	Malat	Quinat	Tartarat
Apel	19,5	Sedikit	518	TD	TD
Anggur	23	Sedikit	285	TD	162
Cherri	12,5	Sedikit	727	TD	TD
Jeruk	1240	TD	125	TD	TD
Kiwi	730	114	501	774	Sedikit
Mangga	263,5	TD	74	TD	81
Nanas	625	TD	93,5	TD	TD
Nectarine	140	Sedikit	383	136	TD
Peach	109	Sedikit	358	121	Sedikit
Pear	TD	Sedikit	371	220	TD
Pisang	235	TD	370	TD	TD
Plum	TD	Sedikit	294	214	TD
Strawberi	207	56	199	TD	TD
Asparagus	60	TD	95	TD	TD
Bayam	TD	56	TD	TD	TD
Brokoli	210	TD	120	TD	TD
Kembang kol	TD	79	TD	TD	TD
Kubis	TD	58	TD	TD	TD
Tomat	430	18	80	TD	TD
Wortel	32,5	TD	274,5	TD	TD

\*) Diambil dari berbagai sumber

\*\*\*) TD = tidak ada data

Disamping asam-asam karboksilat, beberapa senyawa terutama senyawa phenol dan asam askorbat juga mempunyai karakteristik keasaman, terutama karena adanya dua gugus enol. Karena itu, perlu diperhatikan bahwa ada dua metoda yang sering dipakai untuk menentukan keasaman produk-produk nabati; yaitu nilai pH dan keasaman tertitrasi (*titratable acidity*). Pengukuran pH menunjukkan konsentrasi ion  $H^+$  (ingat :  $pH = -\log [H^+]$ ) dan karena itu nilai pH akan dipengaruhi oleh adanya buffer yang secara alami sering terdapat pada buah/sayuran. Penentuan keasaman tertitrasi dilakukan dengan cara menitrasi ekstrak buah/sayuran dengan

menggunakan basa kuat sampai menunjukkan pH netral. Pengukuran keasaman tertitrisasi dengan cara demikian melibatkan semua asam-asam organik, senyawa phenol, asam amino, dan senyawa-senyawa lain yang mungkin berinteraksi dengan basa kuat.

Komponen flavor pada buah dan sayuran adalah khas untuk masing-masing jenis. Komponen flavor tersebut adalah senyawa volatil, umumnya berupa senyawa-senyawa ester, lakton, alkohol, asam, aldehida, keton, asetal, hidrokarbon, beberapa senyawa phenol dan eter. Senyawa volatil pembentuk flavor khas buah dan sayuran tersebut terdiri berbagai macam senyawa kimia, seperti dapat dilihat pada Tabel 2-13. Kebanyakan buah dan sayuran masing-masing mempunyai sekitar 100 senyawa volatil yang berbeda dalam jumlah yang sangat kecil. Sebagai gambaran, senyawa volatil pada buah apel telah diidentifikasi sebanyak 159 senyawa, terdiri dari 20 asam organik, 28 alkohol, 71 ester, 26 senyawa karbonil, 9 ether dan asetal, dan 5 hidrokarbon (Nursten, 1970).

**Tabel 2-13. Senyawa-senyawa volatile pembentuk aroma**

<b>Kelompok komponen</b>	<b>Karakter sensori</b>	<b>Contoh</b>
Aldehid	Fruit, green Oxidized, sweet	Acetaldehyde, hexanal Decanal, vanillin
Alkohol	Bitter, medicinal Piney, caramel	Linalool, menthol A-terpinol, maltol
Ester	Fruity Citrus	Ethyl acetate, ethyl butyrate Geraniol acetate
Keton	Butter, caramel	Diacetyl, furanones
Produk reaksi Maillard	Brown, burnt, caramel, earthy	Pyrazine(s), pyridine, furans
Fenolik	Medicinal, smokey	Phenol(s), guaiacols
Terpenoids	Citrus, piney Citrus	Limonene, pinene Valencene

Sumber: Fisher dan Scott (1997)

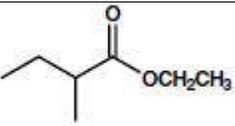
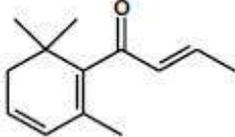
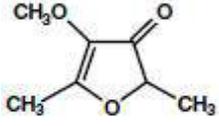
Senyawa volatil ini umumnya mempunyai berat molekul kurang dari 250. Sebenarnya, senyawa-senyawa volatil ini sekitar 99% berupa CO<sub>2</sub>. Sisanya (sekitar 1% dari total senyawa volatil), sekitar 0.5-0.75% adalah etilen, yang tidak berhubungan dengan aroma secara langsung. Karena itu, senyawa yang betul-betul berhubungan dengan aroma ini sangat sedikit, sering dalam skala persejuta bagian (ppm, *part per million*). Pada buah pisang matang, konsentrasi senyawa aroma ini berkisar antara 65-338 ppm, dan pada buah arbei hanya berkisar 5-10 ppm (Kay, 1991). Senyawa volatil tersebut mempunyai intensitas aroma yang cukup kuat, namun bervariasi dengan cukup menyolok. Contohnya, senyawa vanilin sudah mulai bisa dideteksi dengan penciuman manusia pada konsentrasi 0,001 µg/m<sup>3</sup>, sedangkan senyawa dietilether baru bisa dideteksi pada konsentrasi 1 mg/m<sup>3</sup> atau lebih (Kay, 1991).

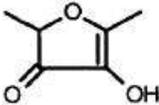
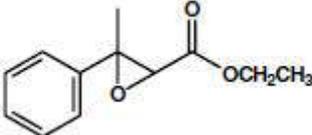
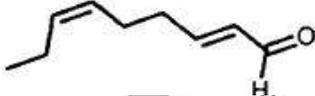
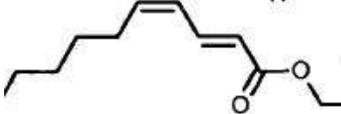
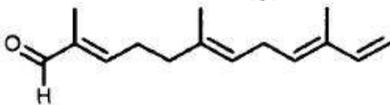
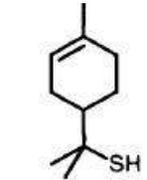
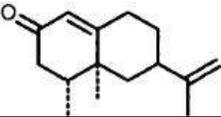
Disamping itu, sering hanya beberapa senyawa volatil saja yang betul-betul bertanggungjawab atas karakteristik aroma buah dan sayuran yang bersangkutan. Pada buah apel, misalnya, etil-2-metilbutirat, walaupun konsentrasinya sangat rendah namun senyawa ini bertanggungjawab atas aroma khas buah apel. Pada buah durian (*Durio zibethinus* Murr) senyawa flavor utama adalah propanathiol dan ethyl-a-methylbutirat. Senyawa demikian disebut “senyawa karakter utama” (*character impact compound*). Contoh senyawa karakter utama dari berbagai buah dan sayuran dapat dilihat pada Tabel 2-14.

Komponen flavor tersebut dapat dikelompokkan berdasarkan asalnya, yaitu (i) komponen yang memang secara alami terdapat pada buah dan sayuran, dan (ii) dan komponen yang baru terbentuk setelah jaringan buah/sayuran terusakkan selama penanganan dan pengolahan pasca panen.

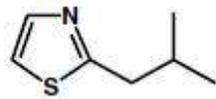
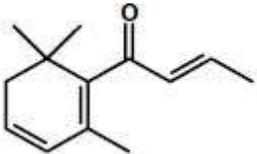
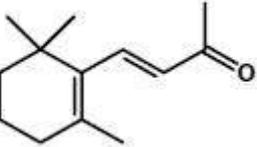
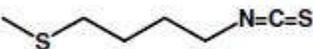
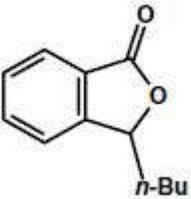
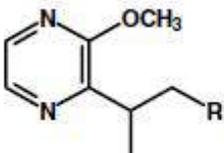
Komponen flavor pada sayuran biasanya terbentuk dengan adanya kerusakan sel. Contoh paling terkenal untuk menunjukkan terbentuknya senyawa flavor setelah adanya pengrusakan struktur sel adalah komponen flavor dari berbagai jenis bawang (*Allium* sp). Prekursor komponen flavor dari bawang adalah S-alk(en)il-L-sistein sulfoksida yang sama sekali tidak berbau. Dengan adanya kerusakan sel (misalnya karena terpotong) maka prekursor ini dapat berjumpa dengan enzim **allinase** yang semula terpisah. Kontak dengan enzim menyebabkan senyawa prekursor berreaksi membentuk berbagai senyawa, antara lain asam piruvat, thiopropanal sulfoksida (*lachrymatory factor* = senyawa yang menyebabkan keluar air mata), thiosulfinat, dan berbagai senyawa mudah menguap lainnya (Gambar 2-13). Enzim allinase (L-sistein sulfoksida liase) adalah enzim yang mengkatalisis reaksi hidrolisa senyawa sulfoksida menjadi diallil thiosulfinat, asam piruvat, dan ammonia. Senyawa thiosulfinat tersebut tidak stabil dan akan terdegradasi lebih lanjut menjadi disulfida yang merupakan senyawa flavor utama pada bawang.

Tabel 2-14. Senyawa karakter flavor utama pada buah dan sayur

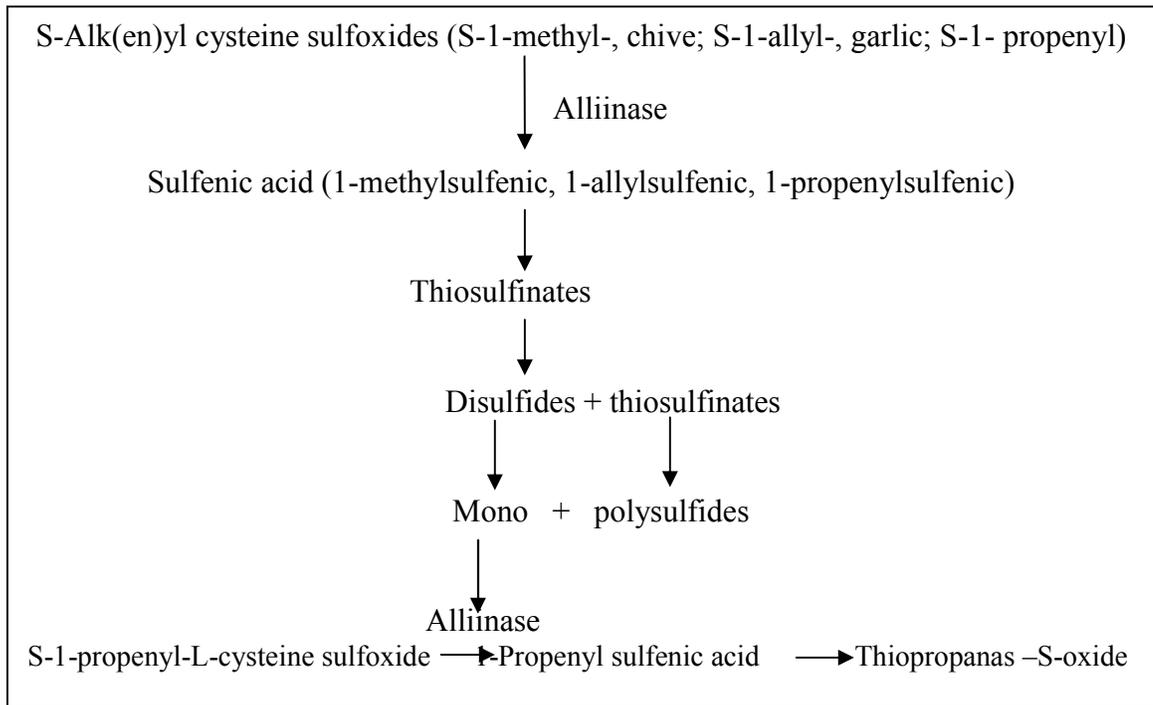
Buah/sayur	Character impact compound (Senyawa karakter utama)
Apel	 Ethyl-2-methyl butyrate
	 B-damascenon
Strawberry, anggur	 Mesifuran

Strawberry, nanas		Furaneol
Strawberry		Ethyl-3-methyl-3-phenylglycidate
Ketimun		2-trans-6 cis-nonadienal
Pear		Ethyl 2,4-dekadienoat ester
Jeruk mandarin		Alpha-sinensal
Grapefruit		1-p-menthane 8 -thiol
		(+) nootkatone

Tabel 2-14. Senyawa karakter flavor utama pada buah dan sayur (lanjutan)

Bawang		S-alk(en)il-L-sistein sulfoksida 2- <i>iso</i> -Butylthiazole
Tomat		Z-(3)-Hexenal
		( <i>E,E</i> )-2,4-Decadienal
		$\beta$ damascenone
		$\beta$ ionone
Brokoli		4-Methylthiobutyl isothiocyanate
Seledri		3-Butylphthalide
Kembang kol		3-Methylthiopropyl isothiocyanate
Wortel		2- <i>sec</i> -Butyl-3-methoxypyrazine

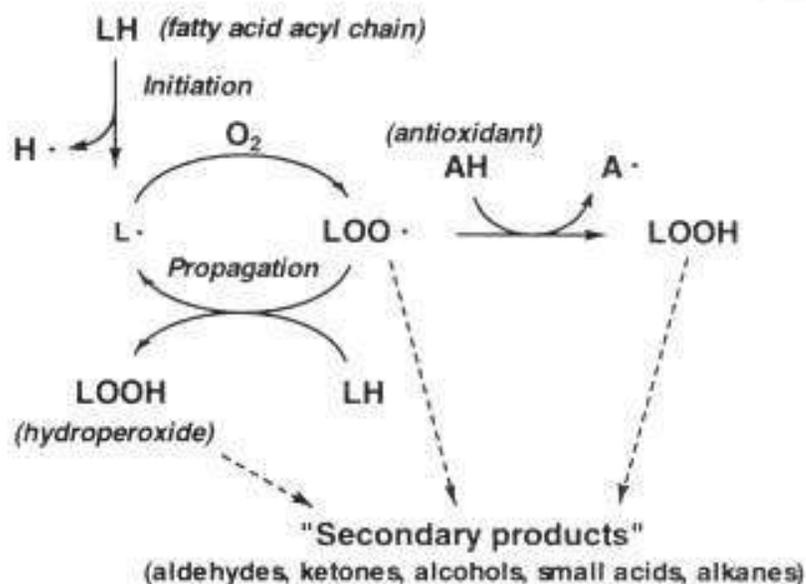
\*) Diambil dari berbagai sumber



**Gambar 2.13. Pembentukan senyawa flavor pada bawang**

Senyawa flavor lain juga banyak yang mengandung sulfur, misalnya; disulfida dan trisulfida adalah komponen utama pada flavor kubis, brokoli, dan cauliflower masak (Buttery, 1981) serta durian (Baldry, dkk. 1972). Kelompok senyawa flavor yang lain termasuk kelompok glukosida dari isothiosianat atau glukosinolat.

Kelompok komponen flavor yang sangat penting adalah senyawa turunan dari asam lemak. Walaupun buah dan sayuran umumnya mempunyai kandungan lemak yang rendah, namun demikian peranan lemak dalam pembentukan senyawa flavor sangat penting. Hal ini terutama melalui reaksi oksidasi lemak yang dikatalisa oleh lipoksigenase. Lipoksigenase ini akan mengoksidasi lemak, menghasilkan peroksida, yang lebih lanjut peroksida ini akan mengalami dekomposisi membentuk senyawa aldehida dan keto yang berantai pendek. Mekanisme produksi senyawa flavor lewat oksidasi asam lemak ini disajikan secara skematis pada Gambar 2-14.



**Gambar 2-14. Produksi senyawa flavor melalui oksidasi asam lemak**

Produk-produk akhir dari degradasi oksidasi asam lemak ini, terutama aldehida dan keton (jenuh maupun tidak jenuh) yang mempunyai panjang rantai 6 sampai 10 atom C (ditulis secara singkat 6 sampai 10-C) merupakan senyawa volatil yang umum ditemukan dari buah dan sayuran. Senyawa yang mempunyai panjang 6-C (heksanol, heksenol, heksenol), misalnya, adalah senyawa aroma yang sering disebut "aroma hijau" karena terdapat pada hampir semua buah dan sayuran hijau yang dipotong. Pada buah ketimun dan melon, alkohol dan aldehida dengan rantai 9-C merupakan komponen aroma yang utama. Senyawa-senyawa tersebut umumnya diproduksi dari degradasi enzimatis dari asam linoleat atau pun asam linolenat.

## G. VITAMIN

Peranan buah dan sayuran sebagai sumber vitamin cukup besar, khususnya vitamin A (wortel, ubi jalar/rambat, berbagai sayuran daun) dan vitamin C (jambu biji, jeruk, cabe, dan tomat). Kandungan vitamin ini sangat bervariasi, tidak hanya karena perbedaan spesies, tetapi juga dipengaruhi oleh berbagai faktor lainnya, baik sebelum maupun setelah panen. Tingkat fisiologi, misalnya, juga sangat berpengaruh pada kandungan vitamin ini. Sayuran daun hijau yang lebih muda biasanya mengandung vitamin C dan karoten (prekursor vitamin A) yang lebih rendah dibandingkan dengan sayuran daun yang lebih "masak", yang biasanya berwarna hijau tua, walaupun ia berasal dari satu tanaman. Kondisi lingkungan, misalnya jumlah atau intensitas cahaya matahari yang diterima selama pertumbuhan, juga berpengaruh pada kandungan vitamin. Tingginya intensitas cahaya, umumnya akan meningkatkan kandungan vitamin C. Karena itulah maka buah-buahan dan sayuran dari daerah tropika umumnya mempunyai kandungan vitamin C lebih tinggi. Kadar vitamin C dan vitamin A pada beberapa jenis buah dan sayur dapat dilihat pada Tabel 2-15.

**Tabel 2-15. Kadar vitamin A dan C pada beberapa buah dan sayur**

Buah/sayur	Vitamin A (IU/ 100 g)	Vitamin C (mg/100 g)
Alpukat	110	3
Blewah	3,382	41
Grapefruit	1.150	61
Jambu bol	87	15
Jeruk	296	71 µg / 100 g
Mangga	3,894	28
Markisa	1,272	25
Nanas	69	13
Nangka	92	2
Pepaya	284	62
Pisang	665	7
Peach	535	7
Semangka	569	6,35
Asparagus	583	13
Brokoli	516	110
Buncis	333	3,7
<i>Brussel sprout</i> (sawi)	754	134
<i>Chicory</i> (sawi putih)	2.167	7
Daun bawang	1667	18,5
Kubis	126	58
Lettuce	330	56
Paprika hijau	632	89
Snap beans	668	14

\*Diambil dari berbagai sumber

## H. MINERAL

Pada analisa pangan, kadar mineral ditentukan berdasarkan nilai kadar abu. Pada umumnya mineral diklasifikasikan sebagai makro dan mikronutrien, berdasarkan jumlah yang diperlukan pada diet orang normal (tidak mengalami penyakit tertentu). Makronutrient meliputi potassium atau kalium (K), kalsium (Ca), magnesium (Mg), nitrogen (N), dan phosphorus (P), yang konsentrasinya pada jaringan tanaman sekitar 1000 sampai 15.000 µg per gram berat kering. Mikronutrien mineral penting dalam diet manusia meliputi mangan (Mn), tembaga (Cu), zat besi (Fe), zinc (Zn), cobalt (Co), sodium (Na), chlorine (Cl), iodine (I), fluorine (F), sulfur (S), dan selenium (Se). Jumlah mikronutrien dalam jaringan tanaman sekitar 100 sampai 10.000 lebih rendah dibanding makronutrien.

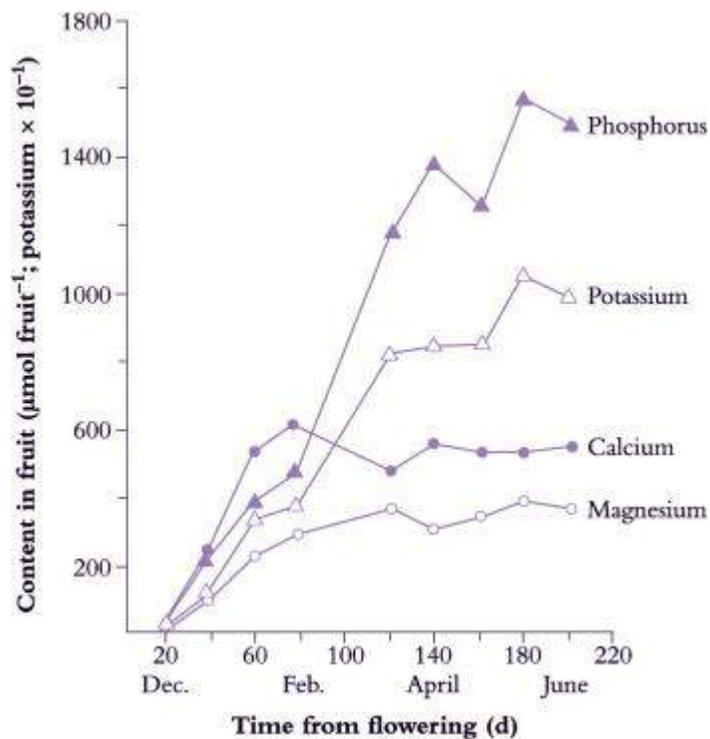
Pada umumnya, sayuran merupakan sumber mineral yang lebih “kaya” dibanding buah. Sayuran merupakan sumber utama potassium, fosfor, magnesium, kalsium, tembaga, zat besi dan zinc; sedangkan buah berperan sebagai sumber potassium, fosfor, magnesium, dan tembaga. Jumlah dan macam mineral pada beberapa jenis buah dapat dilihat pada Tabel 2-16.

**Tabel 2-16. Kadar mineral pada beberapa jenis buah**

Buah	K	Ca	Mg	P	Mn	Cu	Fe	Zn	Na	Se
Apel	107	6	5	11	0,035	0,027	0,12	0,04	1	0
Aprikot	259	13	10	23	0,077	0,078	0,39	0,2	1	0,1
Alpukat	507	13	29	54	0,149	0,17	0,61	0,68	8	0,4
Cherri	222	13	11	21	0,07	0,06	0,36	0,07	0	0
Jeruk	179	40	10	17	0,023	0,037	0,09	0,06	0	-
Mangga	156	10	9	11	0,027	0,11	0,13	0,04	2	0,6
Melon	267	9	12	15	0,041	0,041	0,21	0,18	16	0,4
Nanas	109	13	12	8	0,927	0,11	0,29	0,12	1	0,1
Pepaya	257	24	10	5	0,011	0,016	0,1	0,07	3	0,6
Pear	119	9	7	11	0,049	0,082	0,17	0,1	1	0,1
Pisang	358	5	27	22	0,27	0,078	0,26	0,15	1	1
Semangka	112	7	10	11	0,038	0,042	0,24	0,1	1	0,4
Strawberi	153	16	13	24	0,386	0,048	0,41	0,14	1	0,4

\*diambil dari berbagai sumber

Selama pertumbuhan, kadar mineral pada buah mengalami perubahan, biasanya mengalami peningkatan. Seperti pada buah kiwi, kadar mineralnya meningkat mulai saat pembungaan sampai menjadi buah, seperti pada Gambar 2-15.

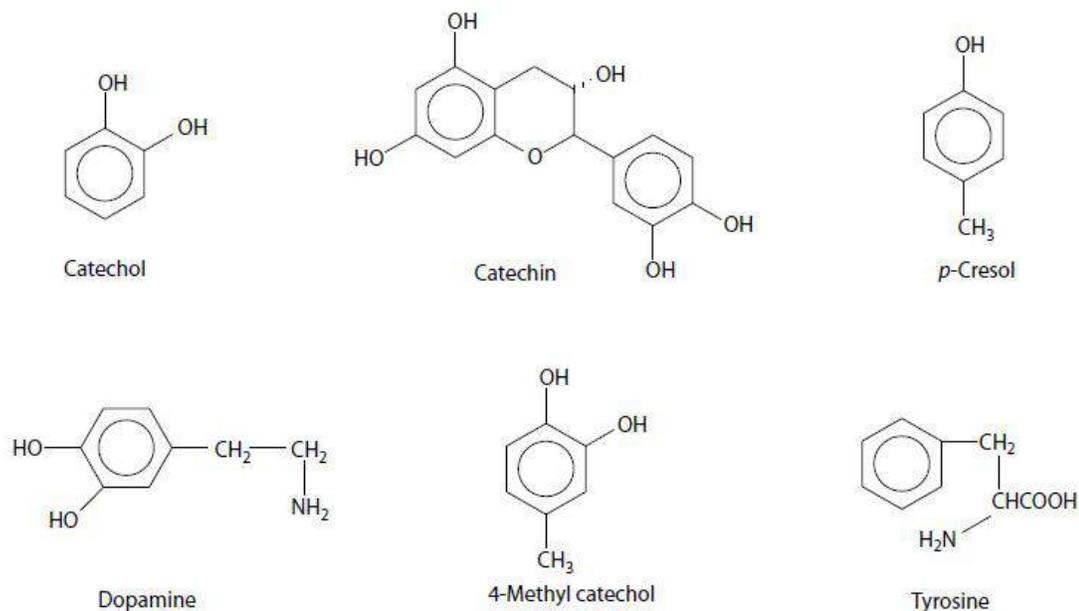


Gambar 2-15. Peningkatan kadar mineral selama pertumbuhan buah kiwi

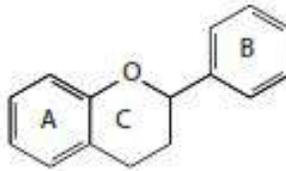
## I. SENYAWA PHENOL

Senyawa phenol ini merupakan senyawa yang cukup kompleks, mencakup berbagai macam senyawa yang mempunyai cincin aromatis dan paling tidak satu gugus -OH. Termasuk dalam kelompok senyawa phenol ini adalah senyawa yang gugus -OH nya telah tersubstitusi, misalnya substitusi gugus -OH oleh -OCH<sub>3</sub> pada metileugenol. Dalam kelompok ini pula adalah senyawa flavonoid, lignin, hormon asam absisat, asam amino tirosin, dan dihidroksi phenilalanin (DOPA), serta berbagai produk-produk metabolisme lainnya. Pada buah dan sayuran senyawa-senyawa phenol merupakan senyawa yang sangat penting diperhatikan dalam penanganan dan pengolahan pasca panen, antara lain karena perannya dalam pembentukan warna dan flavor. Istilah tanin sering digunakan untuk secara umum menyebut senyawa phenol yang berasal dari tanaman.

Senyawa phenol ini mencakup banyak sekali senyawa kimia, sehingga tatanama dan klasifikasinya sering membingungkan. Klasifikasi yang umum digunakan adalah berdasarkan jumlah cincin aromatisnya. Berdasarkan hal ini, senyawa phenol dibagi menjadi 3 kelompok, yaitu phenol monosiklis, phenol disiklis, dan phenol polisiklis atau poliphenol, seperti ditunjukkan oleh Gambar 2-16. Termasuk dalam senyawa phenol ini adalah flavonoid (Gambar 2-17), senyawa pigmen yang bersifat larut dalam air, yang bertanggungjawab atas berbagai warna cerah pada bunga, buah maupun sayuran. Antosianin, misalnya, adalah pigmen merah/biru yang banyak terdapat pada tanaman, juga termasuk dalam senyawa phenol (akan dibahas tersendiri dalam pembahasan tentang **pigmen**). Istilah antoxantin dimaksudkan untuk beberapa kelompok senyawa, termasuk flavonol, flavon, flavanol, flavanon, dan isoflavanon.



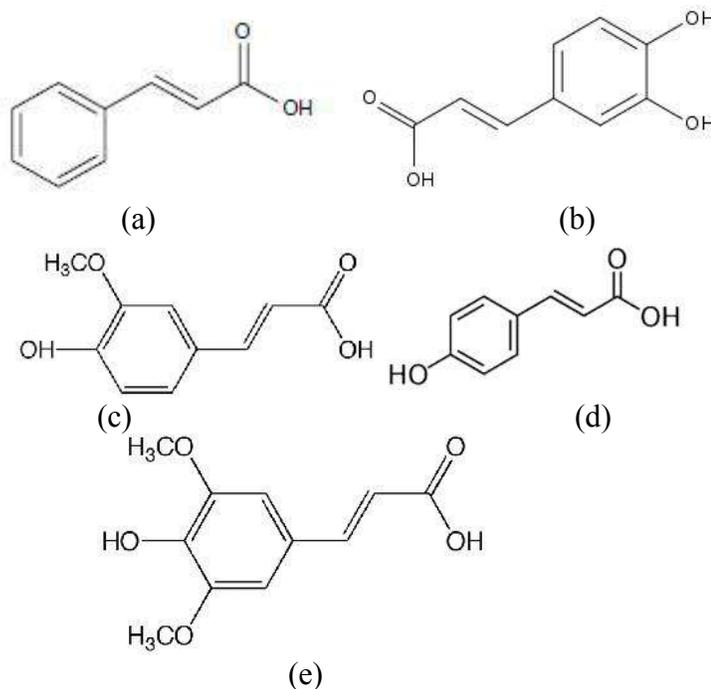
**Gambar 2-16. Macam-macam senyawa phenol sebagai substrat Polifenol Oksidase**



**Gambar 2-17. Struktur flavonoid**

Pada tanaman, sering dijumpai asam sinamat dan berbagai turunannya (Gambar 2-18), misalnya asam p-koumarat, asam ferulat, asam sinapat, dan asam kafeat. Berbagai ester antara asam sinamat dan asam kafeat adalah bentuk paling umum yang secara alami terdapat pada sel tanaman. Asam klorogenat (asam 3,4-kafeoilkuinat) adalah contoh ester tersebut yang banyak terdapat pada buah-buahan apel, cherry, dan pear. Senyawa ester itulah yang digunakan sebagai substrat utama pada reaksi pencoklatan enzimatis yang dikatalisis oleh polifenol oksidase (PPO, lihat seksi **C. Protein dan Enzim**).

Senyawa flavon banyak diidentifikasi pada buah dan sayuran. Kelompok senyawa ini biasanya dikelompokkan sebagai flavan-3-ol atau katekin. Isomer yang paling umum dijumpai adalah (+) katekin dan (-) epikatekin, yang merupakan substrat utama bagi enzim PPO pada proses pencoklatan teh dan coklat.



**Gambar 2-18. Asam sinamat dan berbagai turunannya (a) asam sinamat (b) asam kafeat (c) asam ferulat (d) asam p-koumarat (e) asam sinapat**

## J. PIGMEN

Ada berbagai macam pigmen dari tanaman. Berdasarkan struktur kimianya pigmen tersebut dapat dikelompokkan dalam 4 macam, yaitu klorofil, karotenoid, flavonoid, dan betalain (lihat Tabel 2-17). Pigmen-pigmen yang lain yang juga sering ditemukan dalam jaringan tanaman (terutama pada buah dan sayuran) adalah tanin, leukoantosianin, quinon, phenalon, dan xanthone, dan lain sebagainya. Namun dalam seksi ini hanya akan dibahas empat (4) jenis pigmen utama saja, yaitu klorofil, karotenoid, flavonoid, dan betalain.

Secara alami, pigmen mempunyai berbagai macam peran. Klorofil dan karotenoid, misalnya, mempunyai peran utama untuk menyadap energi matahari dalam proses fotosintesa. Karotenoid juga mempunyai peran untuk melindungi klorofil, khususnya untuk mencegah terjadinya fotooksidasi. Berbagai pigmen juga berperan khusus dalam proses pembuahan (polinasi). Khususnya ini berlaku pada pigmen bunga yang berperan untuk menarik serangga, burung yang akan melangsungkan proses pembuahan. Bagi buah-buahan dan sayuran peranan warna juga sangat penting dalam penentuan mutu (Lihat Bab. MUTU)

**Tabel 2-17. Pigmen utama pada tanaman dan sifat-sifatnya**

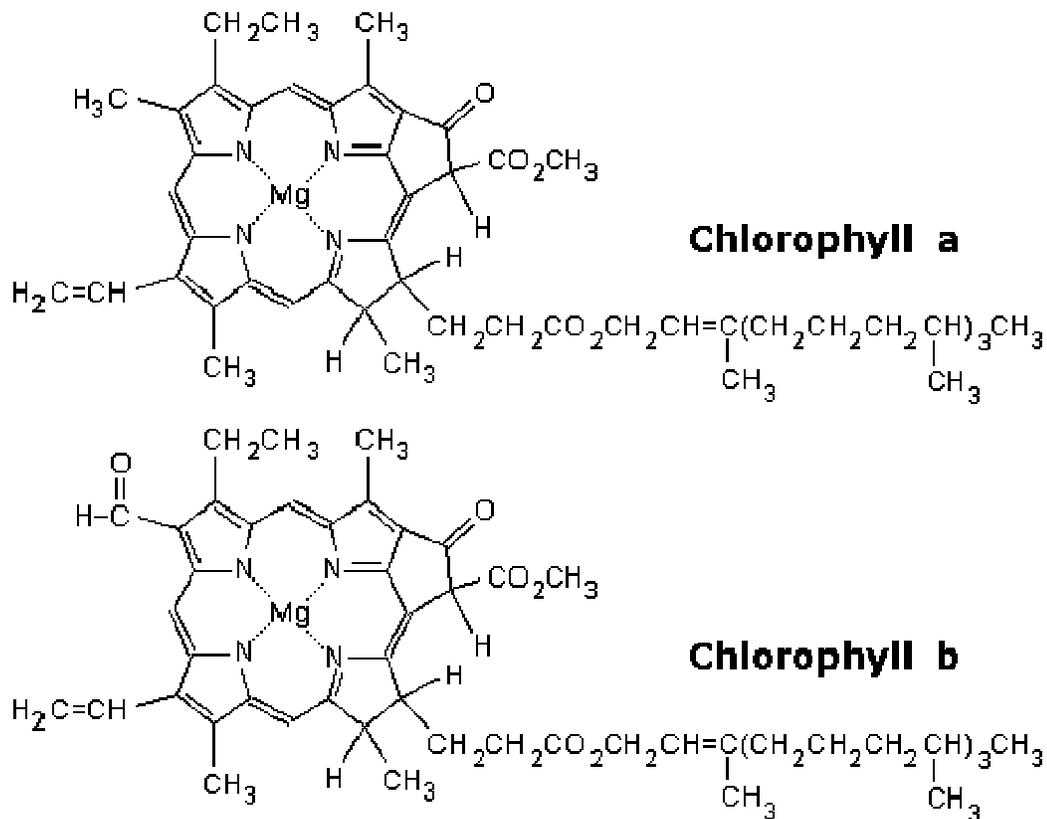
<b>Pigmen</b>	<b>Warna</b>	<b>Lokalisasi dalam sel</b>	<b>Sifat kelarutan</b>
Klorofil	hijau, biru-hijau, kuning-hijau	Kloroplast	tidak larut dalam air, larut dalam aseton, ether, dan berbagai alkohol
Karotenoid	kuning, oranye, merah	kloroplast, kromoplast	tidak larut dalam air, larut dalam aseton, ether, dan berbagai alkohol
Flavonoid	kuning, oranye, merah, biru	vakuloa, sitosol	larut dalam air
Betalain	kuning, oranye, merah, ungu	vokuloa, sitosol	larut dalam air

### 1. Klorofil

Klorofil adalah pigmen yang mempunyai peranan penting dalam proses fotosintesa. Klorofil menyebabkan warna hijau pada berbagai buah dan sayuran. Klorofil secara alami terdapat dalam dua isomer, yaitu klorofil a dan klorofil b, yang biasanya mempunyai ratio 2,5 :1 sampai 3,5:1 (Kay, 1991). Secara total, jumlah pigmen klorofil ini kurang dari 1% berat segar pada daun hijau.

Klorofil a dan klorofil b mempunyai struktur kimia yang mirip (Gambar 2-19), hanya pada klorofil b terdapat gugus aldehyd (-CHO) pada atom karbon nomor 3, sedangkan pada klorofil a gugus tersebut adalah gugus metil (Me). Masing-masing klorofil tersebut mempunyai kerangka yang mengandung tetrapyrrole (porphyrin) -yaitu 4 cincin pyrrole- yang tersubstitusi dengan atom magnesium (Mg). Struktur

yang demikian ini mirip dengan struktur pigmen heme pada sel binatang, hanya bedanya kerangka porphyrin pada sel binatang tersubstitusi oleh besi (Fe). Hilangnya Mg dari kerangka porphyrin, misalnya pada proses pemanasan dalam kondisi asam -kondisi yang mirip dengan proses pemasakan-akan menyebabkan warna berubah menjadi kecoklatan. Pigmen coklat ini sering disebut sebagai pheopytin.



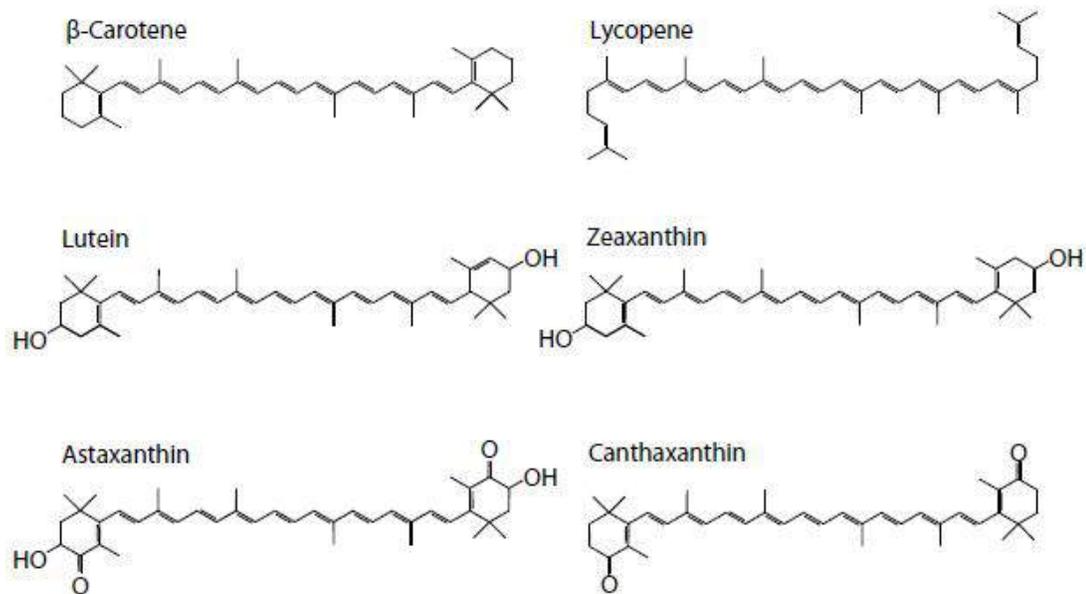
**Gambar 2-19. Struktur kimia klorofil a dan b**

## 2. Karotenoid

Karotenoid merupakan kelompok pigmen yang sangat beranekaragam. Karotenoid adalah kelompok pigmen yang larut dalam lemak dan bertanggungjawab atas warna kuning, oranye, dan merah pada berbagai buah dan sayuran. Secara kimia karotenoid adalah terpenoid yang terdiri dari 8 satuan isoprenoid. Struktur kimia dari berbagai karotenoid tersebut dapat dilihat pada Gambar 2-20.

Secara garis besar, karotenoid dibedakan dalam dua kelompok yaitu karoten dan xantofil. Karoten mempunyai struktur hidrokarbon, dan karenanya ia larut dalam pelarut lemak. Xantofil adalah turunan karoten yang teroksidasi (teroksigenasi) sehingga lebih larut dalam pelarut yang lebih polar. Dalam jaringan tanaman, xantofil umumnya berada dalam bentuk teresterifikasi dengan asam lemak berantai panjang (asam oleat dan palmitat). Contoh karoten adalah  $\alpha$ -karoten dan  $\beta$ -karoten yang banyak terdapat di wortel; likopen di tomat, sedangkan contoh dari

kelompok xantofil adalah capsanthin dan capsorubin yang ditemukan di cabe merah. Sejumlah pigmen karoten dan likopen (berturut-turut sekitar 0.005% dan 0.008% dari berat segar) selalu berasosiasi dengan klorofil. Karena itu, setelah klorofil mengalami degradasi selama proses pematangan, maka pigmen karoten dan likopen ini yang kemudian dominan.



**Gambar 2-20. Struktur kimia berbagai karotenoid**

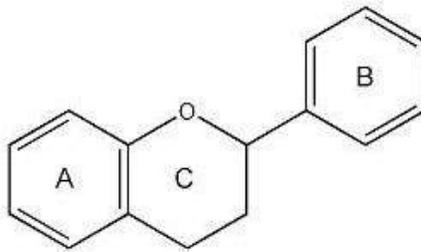
Dalam hubungannya dengan mutu gizi, kandungan karotenoid ini mempunyai peranan yang penting. Satu molekul  $\beta$ -karoten, dalam proses metabolisme dalam tubuh akan mengalami peruraian menjadi dua (2) molekul vitamin A. Karotenoid yang lain ( $\alpha$ -karoten,  $\gamma$ -karoten, dan kriptosantin) juga merupakan prekursor vitamin A, namun karena perbedaan struktur kimianya maka 1 molekul dari masing-masing karotenoid tersebut hanya akan menghasilkan 1 molekul vitamin A. Ditambah lagi, karotenoid merupakan pigmen yang tahan terhadap panas, perubahan pH, dan tidak larut dalam air, sehingga ia umumnya tahan terhadap proses-proses pengolahan pangan. Namun, karotenoid mempunyai sensitifitas yang cukup tinggi terhadap proses oksidasi. Karena itu, baik untuk menjaga mutu warna maupun mutu gizi, maka perlu diusahakan supaya proses oksidasi ini dapat dicegah atau dikurangi.

### 3. Flavonoid.

Flavonoid merupakan pigment yang bertanggungjawab atas warna kuning, merah, oranye, dan biru yang banyak ditemukan pada bunga-bunga, buah, daun, atau pun batang tanaman. Sebagai kekecualian adalah warna merah pada "red beets" yang disebabkan oleh pigmen betanin (dari kelompok betalain), dan warna merah

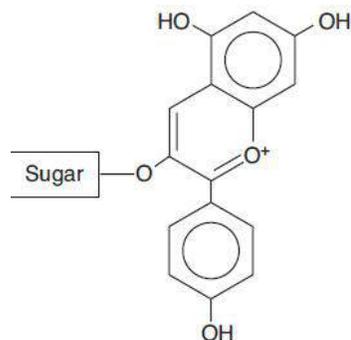
pada tomat yang disebabkan oleh pigmen likopen (dari kelompok pigmen karotenoid).

Flavonoid merupakan senyawa polifenol yang larut dalam air. Di dalam sel antosianin ditemukan berada pada larutan di dalam vakuola maupun cairan sitosal. Struktur dasar flavonoid disajikan pada Gambar 2-21. Flavonoid terdiri dari dua cincin benzene (A dan B) yang digabungkan dengan rantai yang terdiri dari 3 atom karbon yang membentuk cincin g-pyron melalui atom oksigen. Secara alami dikenal berbagai jenis/kelas flavonoid, yang umumnya dibedakan atas tingkat oksidasi dari atom oksigen pada cincin pyron, sedangkan individu anggota dari kelas-kelas tersebut berbeda atas jumlah dan orientasi gugus-gugus hidroksi, metoksi, dan gugus-gugus lain yang merupakan substitusi pada dua cincin benzene (A dan B).

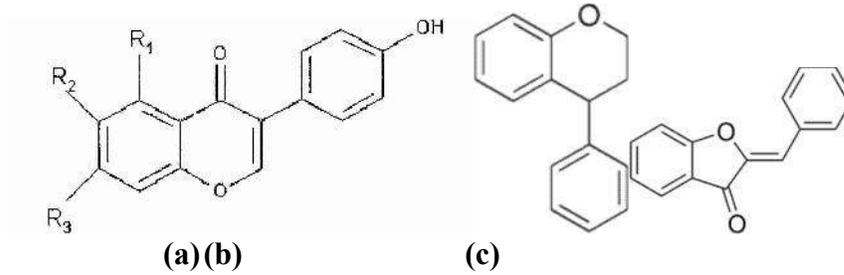


**Gambar 2-21. Struktur dasar flavonoid**

Kebanyakan pigmen flavonoid yang diisolasi dari tanaman terdapat dalam bentuk glikosida, dimana satu atau lebih gugus hidroksinya berikatan dengan gugus gula. Antosianin, misalnya, merupakan glikosida dari antosianidin yang struktur kimianya dapat diamati pada Gambar 2-22. Pigmen ini banyak terdapat pada buah-buah yang matang, seperti arbei, cheri, dan apel merah, anggur merah, serta di kubis merah dan bawang merah. Pigmen sejenis yang mempunyai struktur kimia mirip dengan flavonoid antara lain adalah isoflavon, neoflavon dan aurone seperti terlihat pada Gambar 2-23. Beberapa contoh senyawa flavonoid pada buah dan sayur dapat dilihat pada Tabel 2-18.



**Gambar 2-22. Struktur kimia antosianin**



**Gambar 2-23. Pigmen yang mempunyai struktur kimia mirip flavonoid**  
**(a) Isoflavon (b) neoflavon (c) aurone**

**Tabel 2-18. Senyawa flavonoid pada buah dan sayur**

Subklas	Polifenol	Buah/sayur	Jumlah (mg/100 g)	
Flavonol	Quercetin	Onion	21,4	
		Asparagus	12,4	
		Berri	10,7	
		Lettuce	7,1	
		Bayam	7,6	
	Kaempferol	Berri	0,4	
		Berri	5,7	
	Myricetin	Anggur	0,4	
		Kubis merah	0,2	
		Onion	5,0	
Isorhamnetin	Pear	0,3		
		Seledri	2,3	
	Apigenin	Bawang merah	0,4	
		Lettuce	0,16	
		Luteloin	Artichokes	2,3
Flavon	Luteloin	Anggur merah	1,3	
		Jeruk	1,1	
		Jeruk lemon	21,4	
	Eriodictyol	Jeruk lemon	27,9	
		Jeruk	27,3	
		Naringin	Grapefruit	21,3
	Flavonon	Naringin	Jeruk	15,3
			Arthicoke	12,5
			Tomat mentah	0,7
		Dimer	Berri	9,5
Plum			30,1	
Apel			11,3	
Peach, apricot			6,2	
Proanthocyanidin	Trimer	Kiwi	1,1	
		Berri	7	
		Plum	20,9	

		Apel	7,1
		Peach, apricot	2,3
		Kiwi	0,9
	4-6mers	Berri	23,5
		Plum	57,8
		Apel	24,5
		Peach, apricot	9,5
		Kiwi	3,2
	7-10mer	Berri	21,9
		Plum	33,8
		Apel	20,8
		Peach, apricot	5,6
		Kiwi	2,6
	Polimer	Berri	151,7
		Plum	57,3
		Apel	29,7
		Peach, apricot	10,1
Anthocyanidin	Cyanidin	Berri	189,9
		Plum	12,0
		Kubis merah	72,9
	Delphinidin	Berri	97,9
		Eggplant	13,8
		Anggur merah	3,7
	Malvidin	Blueberri	61,4
		Aggur merah	34,7
	Pelargonidin	Strawberri	31,3
		Lobak	25,7
	Petunidin	Berri	33,9
		Anggur merah	2,1
	Peonidin	Berri	21,5
		Cherri	4,5
		Anggur merah	2,9

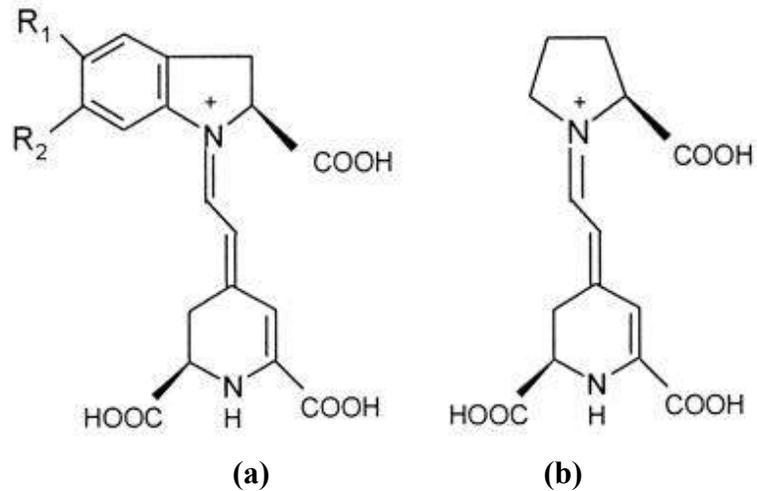
Sumber: Andres-Lecueva (2010)

#### 4. Betalain

Pigmen betalain banyak terdapat pada bunga dan buah yang berwarna kuning, oranye, merah, dan ungu. Barangkali contoh warna betalain yang paling mudah adalah warna merang-ungu pada bit, *Beta vulgaris*, L. Bahkan sesungguhnya pigmen betalain pertama yang diisolasi dalam bentuk kristal adalah berasal dari *Beta vulgaris*, L, dan karena itulah diberi nama betalain.

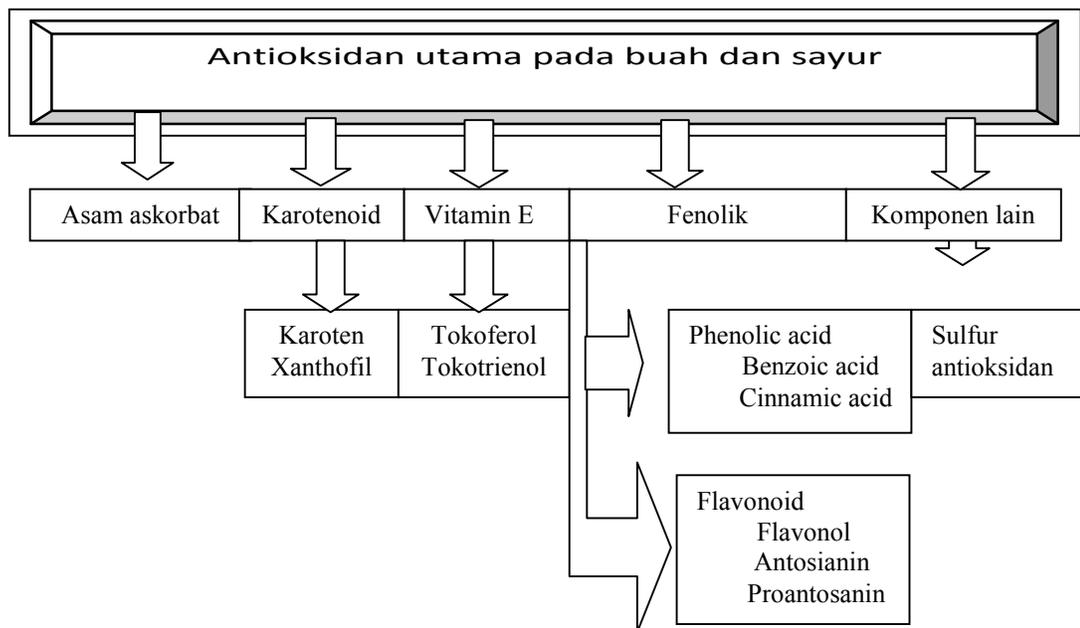
Secara kimia, pigmen betalain mempunyai ciri khas sebagai senyawa pigmen yang mengandung nitrogen dan larut dalam air. Sebagaimana pigmen flavonoid, betalain ditemukan di sitosol atau pun vakuola sel. Secara kimia betalain

dikelompokkan dalam dua kelas, yaitu (1) pigmen merah-ungu betacyanin dan (2) pigmen kuning betaxantin (Lihat Gambar 2-24).



**Gambar 2-24 Struktur kimia 2 kelompok betalain (1) betacyanin (2) betaxantin**

Hampir seluruh komponen pada buah dan sayur dapat berperan sebagai antioksidan. Gambaran beberapa jenis antioksidan pada buah dan sayur dapat dilihat pada Gambar 2-25.



**Gambar 2-25. Komponen pada buah dan sayur yang berperan sebagai antioksidan**

# Bab 3

## DASAR- DASAR FISILOGI PASCA PANEN BUAH & SAYURAN

Hal mendasar yang perlu betul-betul dimengerti dalam penanganan pasca panen buah dan sayuran adalah bahwa setelah pemanenan, buah dan sayuran masih tetap melakukan reaksi-reaksi metabolisme. Karena hal itulah maka buah dan sayuran dipandang sebagai bahan biologi yang "hidup". Seseorang biasanya akan dengan mudah mengerti konsep bahwa buah dan sayuran itu "hidup" jika buah dan sayuran masih menyatu dengan pohon induknya yang hidup. Tetapi, sesungguhnya, walaupun telah dipetik dari pohon induknya, buah dan sayuran masih tetap dianggap sebagai bahan biologi yang hidup, sebab dia masih melakukan reaksi-reaksi metabolisme untuk mempertahankan kondisi fisiologisnya. Karena itulah kita dapat mengamati bahwa setelah dipetik buah masih mengalami proses pematangan, perubahan warna kulit dari hijau menjadi kuning, perubahan citarasa dari masam menjadi manis. Perubahan-perubahan tersebut sama saja terjadi jika buah tersebut tidak dipetik dan tetap menyatu dengan pohon induknya.

Salah satu reaksi metabolisme yang penting dalam penanganan pasca panen adalah reaksi respirasi atau pernafasan. Pada reaksi ini, buah dan sayuran mengoksidasi bahan kimia simpanan atau cadangannya menjadi energi. Reaksi ini memerlukan oksigen ( $O_2$ ) dan menghasilkan karbondioksida ( $CO_2$ ) dan panas (energi). Hal ini mudah diamati dengan cara yang sederhana. Jika seseorang memasukkan tangannya ke dalam suatu tumpukan buah dan sayuran, maka dia akan merasakan adanya suhu yang lebih tinggi. Hal ini tidak lain adalah sebagian energi yang dikeluarkan sebagai panas oleh buah dan sayuran tersebut selama respirasi. Selain respirasi, buah dan sayuran tersebut juga melakukan transpirasi, yaitu kehilangan kandungan air. Proses transpirasi ini juga sangat penting dalam menentukan mutu buah dan sayuran setelah pemanenan.

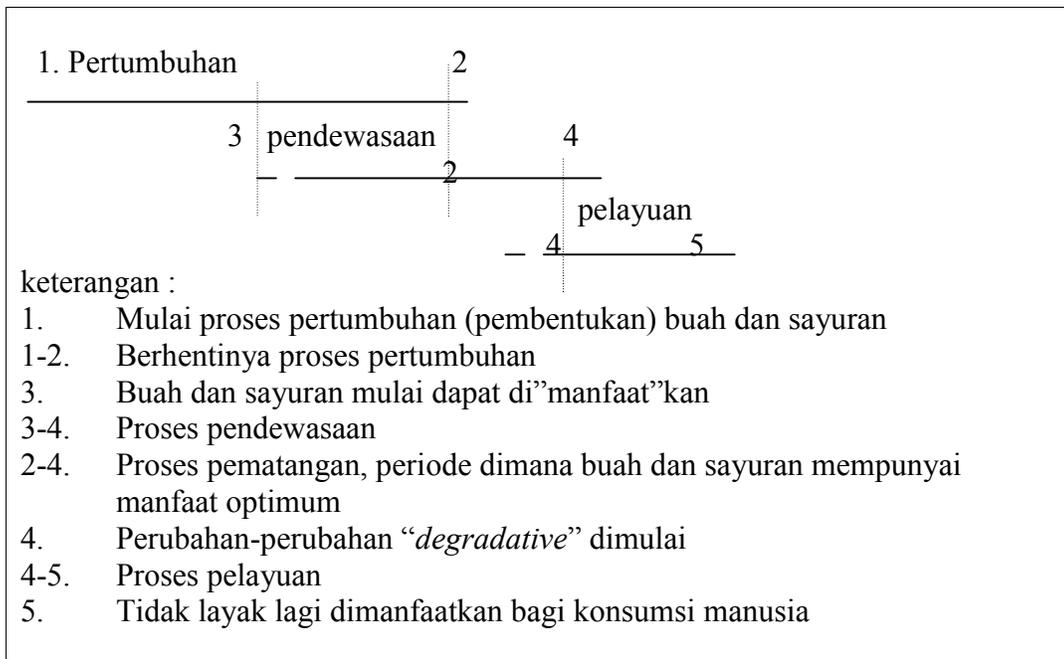
Selama buah masih menyatu dengan pohon induknya, maka kehilangan bahan-bahan kimia dan air tersebut akan diganti secara terus menerus dengan proses penyerapan unsur hara dan air dari dalam tanah melalui akar. Karena transpirasi dan respirasi masih berkelanjutan, maka pada buah dan sayuran yang telah dipetik, proses tersebut sangat tergantung pada cadangan bahan pangan dan air yang ada. Lebih lanjut, hal inilah yang menyebabkan terjadinya proses kerusakan dan pembusukan. Semakin cepat laju respirasi dan transpirasi, maka semakin cepat pula terkurasnya cadangan bahan pangan bagi sel buah dan sayuran tersebut. Karena itu dalam literatur bahasa Inggris buah dan sayuran dikatakan bersifat "*perishable*".

Uraian di atas mengantarkan kita kepada satu kesimpulan bahwa reaksi-reaksi fisiologi pada jaringan tanaman (buah dan sayuran) haruslah

dikendalikan untuk menjaga keawetannya. Dalam Bab ini akan disajikan beberapa pengertian yang biasa ditemui dalam diskusi fisiologi tanaman. Pada Bab ini pula akan didiskusikan lebih lanjut tentang perubahan-perubahan yang terjadi pada buah dan sayuran setelah pemanenan dan selama proses pematangan.

## I. FISILOGI PERKEMBANGAN BUAH DAN SAYURAN

Secara sederhana, perkembangan buah dan sayuran dapat dibagi dalam 3 tahapan fisiologi, yaitu (i) pertumbuhan, (ii) pendewasaan (*maturation*), dan (iii) pelayuan (*senescence*). Walaupun demikian, batas antara tahap-tahap fisiologi tersebut susah sekali diamati secara jelas. Secara skematis, beberapa tahapan perkembangan buah dan sayuran dapat diamati pada Gambar 3-1. berikut:



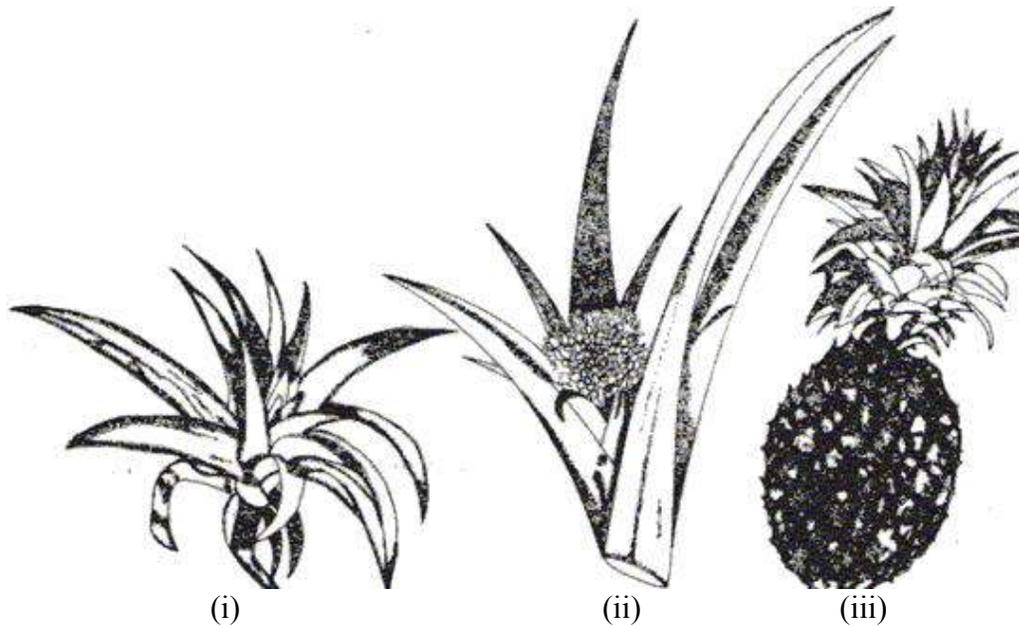
**Gambar 3-1. Tahapan perkembangan buah dan sayuran**

Secara garis besar, tahap pertumbuhan ditandai dengan aktifnya pertumbuhan dan pembelahan sel, yang secara fisik/makro dapat diamati dengan makin membesarnya ukuran komoditi. Proses pendewasaan umumnya mulai beberapa saat sebelum proses pertumbuhan berhenti. Ini ditandai dengan berbagai kegiatan biokimia yang beraneka ragam, tergantung pada jenis komoditi. Proses pertumbuhan dan pendewasaan ini secara bersama-sama sering pula disebut proses perkembangan.

Pelayuan didefinisikan sebagai periode dimana proses anabolisma (sintesa) biokimia mulai surut dan proses katabolisma (peruraian; *degradative*) mulai mendominasi, sampai akhirnya menuju pada proses penuaan (*aging*) dan kematian

sel-sel dan jaringan. Istilah pematangan (*ripening*)- yang biasanya ditujukan untuk buah-buahan; umumnya dimulai akhir proses pendewasaan dan awal pelayuan. Pada saat ini, terutama buah-buahan berada pada puncak mutunya. Perbedaan antara proses pertumbuhan dan pelayuan biasanya mudah diamati. Sering, secara mudah proses pendewasaan didefinisikan sebagai periode antara proses pertumbuhan dan pelayuan.

Perlu diingat bahwa untuk komoditi yang berbeda, pembagian atas tahapan fisiologi tersebut mungkin akan berbeda. Sebagai contoh, Gambar 3-2 menyajikan tahapan-tahapan perkembangan yang terjadi pada buah nanas, bersama dengan berbagai perubahan parameter biokimia dan fisiologi. Pada Tabel 3-2 tersaji perubahan-perubahan pada bagian buah durian selama proses perkembangan. Perubahan berat (sebagai ukuran pertumbuhan), khlorofil, dan pH pada daging buah merupakan hal umum yang dapat dijumpai pada berbagai buah-buahan. Tetapi, perubahan lainnya, seperti perubahan kandungan karotenoid (perubahan warna) dan ester (perubahan komponen flavor) adalah khas pada buah nanas.



**Gambar 3-2. Tahapan perkembangan buah nanas (i) vegetatif selama 13 bulan; (ii) pembungaan selama 3-5 bulan; (iii) pendewasaan dan pematangan selama 3-5 bulan**

Perkembangan dan pendewasaan buah hanya dapat berlangsung jika buah tetap menyatu dengan pohon induknya. Namun, proses pematangan dan pelayuan dapat berlangsung pada buah di pohon atau pun setelah dipetik. Buah-buahan umumnya dipanen pada saat dia telah "tua" (dewasa) atau pun matang. Walaupun demikian, buah-buahan yang dikonsumsi sebagai sayuran umumnya akan dipanen selagi dia masih muda, misalnya ketimun, *zucchini*, dan pepaya muda.

**Tabel 3-1. Perubahan bagian-bagian buah durian (endosperm, kotiledon dan embrio) pada berbagai tingkatan umur buah**

Umur	Endosperm			Kotiledon		Embrio			
	Tebal (mm)	Warna	Tekstur	Panjang (mm)	Lebar (mm)	Warna	Panjang (mm)	Lebar (mm)	Warna
2	1,51	Putih	Cair	-	-	-	-	-	-
4	3,18	Putih	Cair	-	-	-	-	-	-
6	3,91	Putih	Cair	-	-	-	-	-	-
8	4,24	Krem	Kenyal	8,5	5,22	Putih	5,27	3,37	Putih
10	2,42	Krem	Kenyal	15,74	5,45	Putih	7,24	4,55	Putih
12	0,2	Krem coklat	Selaput	32,4	22,10	Putih	12,26	5,35	Kuning muda
14	Tipis hampir hilang	Coklat	Selaput	35,86	28,45	Kuning muda	14,91	8,60	Kuning muda
16	Tipis hampir hilang	coklat	Selaput	46,75	35,50	Kuning muda	14,25	8,25	Kuning muda

Keterangan: umur setelah bunga mekar

Sumber: Ardiana (2011)

## II. PEMATANGAN BUAH

Pematangan buah adalah proses yang sangat penting, terutama untuk buah-buahan. Proses pematangan (*ripening*) ini umumnya dimulai pada akhir proses pendewasaan sampai pada awal proses pelayuan. Pada proses pematangan ini banyak terjadi perubahan-perubahan fisiologi yang khas, yang pada akhirnya penting untuk menentukan mutu buah-buahan.

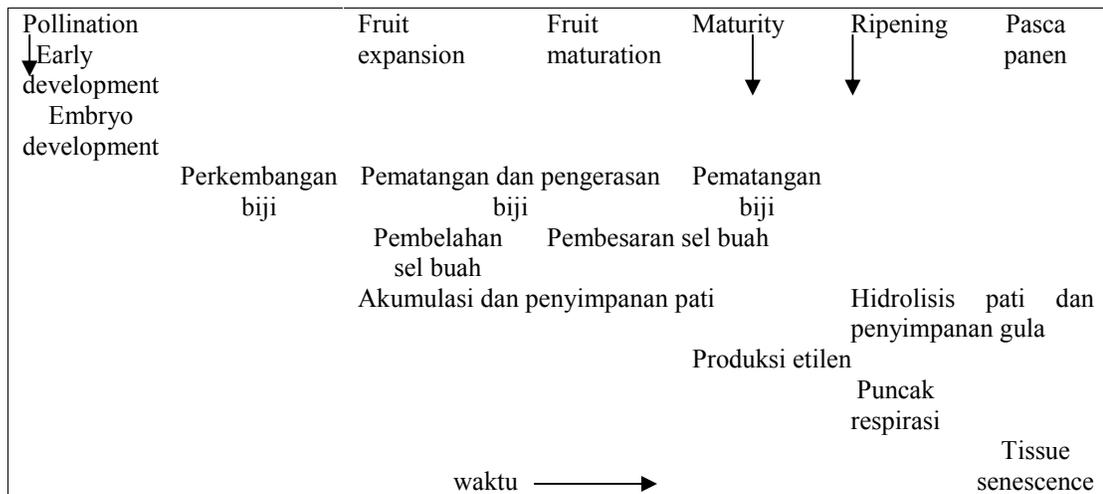
Umumnya, proses pematangan didefinisikan sebagai proses perubahan pada buah yang telah mencapai tahap dewasa fisiologi tetapi masih belum dapat dimakan (*inedible*) menjadi buah yang dapat dimakan (*edible*) dan mulai menampilkan sifat-sifat organoleptis yang menarik indera. Sifat-sifat organoleptis tersebut terutama melibatkan perubahan-perubahan warna (pigmentasi), tekstur, dan komposisi kimia (gula dan komponen-komponen volatil lainnya) yang mempengaruhi cita rasa dan aroma.

Perubahan mudah diamati selama proses pematangan adalah berubahnya warna kulit yang tadinya hijau menjadi kuning, buah yang tadinya bercita rasa asam menjadi manis, tekstur yang tadinya keras menjadi empuk (lunak), serta timbulnya aroma khas karena terbentuknya senyawa-senyawa volatil atau senyawa-senyawa yang mudah menguap (Tabel 3-2). Skema perubahan yang terjadi pada buah selama perkembangannya juga dapat dilihat pada Gambar 3-3.

**Tabel 3-2. Perubahan-perubahan yang terjadi bersamaan dengan proses pematangan buah-buahan**

No	Perubahan	Keterangan
1	Tekstur	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Perubahan komposisi pada komponen-komponen pektin (proses pengempukan)</li> <li>• Perubahan komposisi karbohidrat/hidrolisa (naiknya kadar gula sederhana).</li> </ul>
2	Warna	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Degradasi khlorophyl</li> <li>• Sintesis karotenoid</li> <li>• Sintesis antosianin</li> </ul>
3	Aroma	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Perubahan kandungan asam organik,</li> <li>• Produksi komponen- komponen volatile</li> </ul>
4	Protein	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sintesa enzim</li> </ul>
5	Lipid	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Produksi lilin pada permukaan kulit</li> </ul>
6	Pendewasaan biji	
7	Absisi	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Terjadinya proses rontok/jatuh dari pohon induknya</li> </ul>
8	Respirasi	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Perubahan laju respirasi</li> </ul>
9	Permiabilitas membrane	

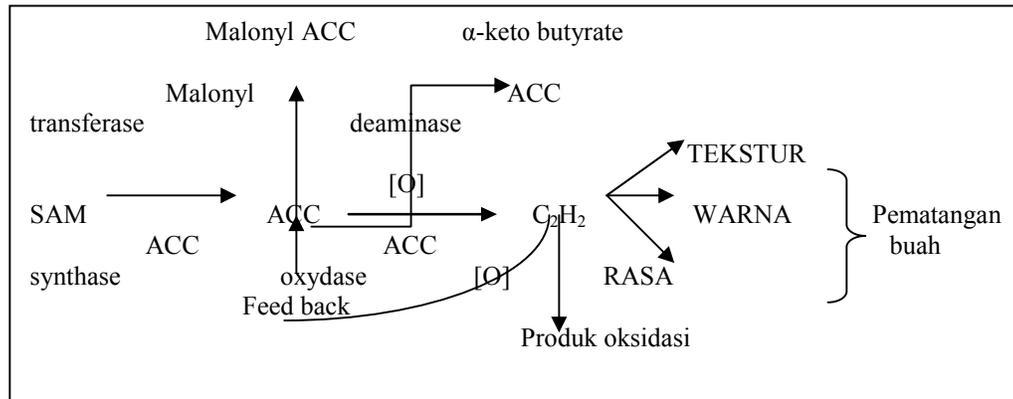
Sumber : Pratt dalam Wills *et al.* (1989)



Gambar 3-3. Perkembangan yang terjadi pada buah mulai dari embrio

Proses pematangan buah dibantu dengan kerja enzim sehingga akan menghasilkan perubahan tekstur, warna dan rasa buah seperti terlihat pada Gambar 3-4. Tahap pertama adalah konversi S-adenosylmethionine (SAM) menjadi 1-

aminocyclopropane carboxylic acid (ACC) oleh enzim ACC synthase. Pada puncak pematangan buah, ekspresi gen ACC synthase diaktifkan sehingga produksi ACC meningkat. Aktivitas ACC synthase menentukan kecepatan biosintesa etilen. ACC kemudian dioksidasi menjadi etilen oleh ACC oxydase. Pada peristiwa ini, deaminasi ACC menjadi  $\alpha$ -ketobutyrate oleh enzim ACC deaminase akan menghambat pembentukan etilen dan pematangan buah.



**Gambar 3-4. Mekanisme kerja enzim yang mengakibatkan perubahan pada pematangan buah (Prasanna *et al.*, 2007)**

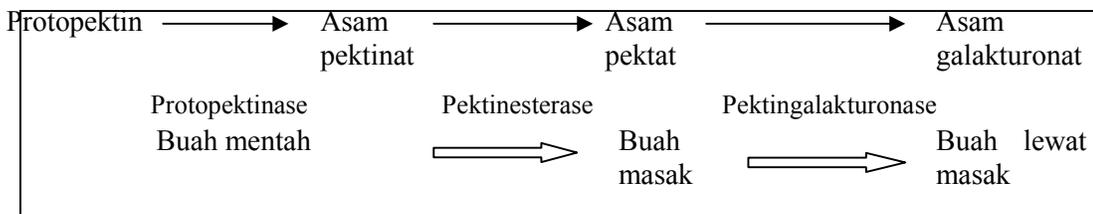
### A. Perubahan Tekstur

Perubahan tekstur, yaitu proses pengempukan yang terjadi selama proses pematangan, merupakan perubahan penting yang secara konsisten sering berhubungan dengan mutu buah-buahan. Dalam hubungannya dengan mutu, proses pengempukan ini bisa menguntungkan (misalnya pada buah mangga, nanas, dan pisang), tetapi bisa pula merugikan (misalnya pada ketimun dan tomat). Pengetahuan tentang mekanisme proses pengempukan dan perubahan tekstur secara umum akan bermanfaat sehingga memungkinkan seseorang untuk mencegah, atau bahkan mempercepat proses pengempukan tersebut jika diperlukan.

Tekstur buah dan sayuran sangat ditentukan oleh komposisi dinding sel, komposisi sel secara keseluruhan (terutama kadar air), ketuhan dan struktur membran sel. Umumnya, komposisi dinding sel adalah terdiri dari selulosa, hemiselulosa, senyawa pektat, dan protein. Biasanya, dinding sel buah-buahan tidak mengandung lignin. Sebagai gambaran, dinding sel buah tomat mengandung 17% selulosa, 22% pektin, 17% protein, 21% arabinogalaktan, dan 13-23% xilosa dan glukosa (Williams, dan Bevenue, 1954). Hidrolisa komponen-komponen dinding sel ini akan mengakibatkan rusaknya integritas sel, bocornya cairan sel, hilangnya turgor, dan secara keseluruhan akan terjadi proses pengempukan.

Dalam proses pengempukan ini, peranan hidrolisa pektin sangat menonjol. Hidrolisa pektin ini melibatkan dua macam enzim, yaitu pektinesterase dan poligalakturonase. Pektinesterase (sering juga disebut pektin metilesterase) mengkatalisa hidrolisa metil ester menghasilkan asam pektat (polimer dari asam

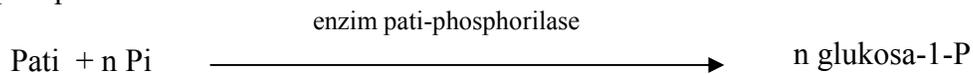
galakturonat). Asam pektat ini lebih lanjut akan dihidrolisa oleh enzim poligalakturonase. Pada buah-buahan dikenal dua macam poligalakturonase (PG), yaitu endo-PG dan ekso-PG. Endo-PG akan menghidrolisa ikatan  $\beta(1-4)$  didalam struktur asam pektat menghasilkan potongan asam pektat yang lebih pendek, sedangkan ekso-PG akan menghidrolisa dari luar menghasilkan satuan asam galakturonat (Lihat Bagian II-C). Dalam hubungannya dengan proses pengempukan, endo-PG mempunyai peranan lebih penting, karena langsung memperpendek rantai asam pektat dengan sangat nyata. Kedua aksi enzim PG ini akan mengakibatkan naiknya jumlah pektin terlarut, dan sekaligus juga meningkatkan keempukan. Perubahan senyawa pektin menjadi turunannya selama proses pematangan buah dapat dilihat pada Gambar 3-5.



**Gambar 3-5. Reaksi perubahan senyawa pectin pada buah selama proses pemasakan**

Perubahan karbohidrat yang lain juga penting dalam proses pengempukan selama pematangan. Perubahan yang penting adalah penguraian pati, yang umumnya hampir sempurna dikonversikan menjadi gula dalam proses pematangan. Konversi pati menjadi glukosa paling tidak dikatalisa oleh 3 macam enzim, yaitu enzim  $\alpha$ -amilase,  $\beta$ -amilase, dan pati-phosphorilase. Enzim amilase menghidrolisa pati menjadi maltosa, yang akan dihidrolisa lebih lanjut oleh enzim maltase menjadi glukosa.

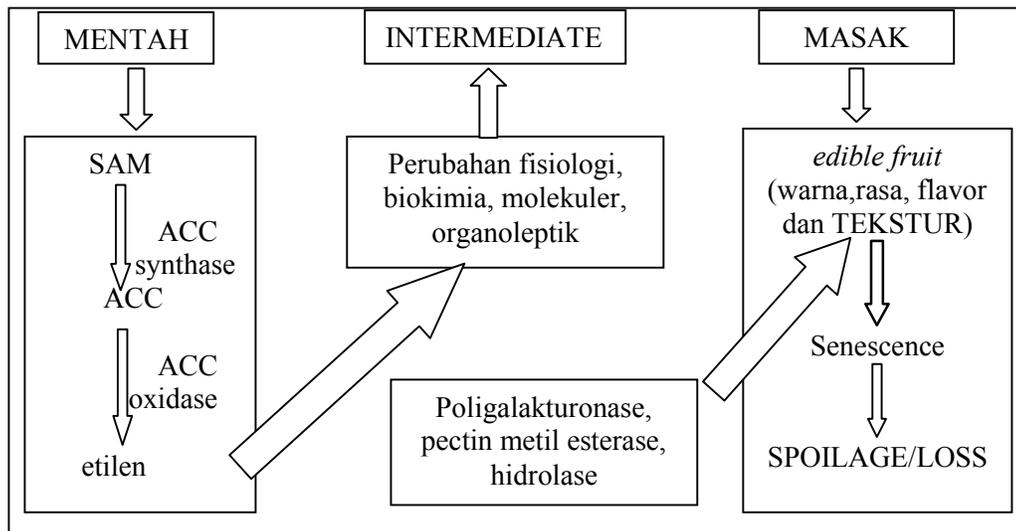
Enzim  $\alpha$ -amilase menghidrolisa ikatan  $\alpha(1-4)$  pada amilosa dan amilopektin secara acak, sehingga menghasilkan gugus polisakarida yang mempunyai sekitar 10 gugus glukosa. Hasil hidrolisa pati oleh  $\alpha$ -amilase ini biasanya disebut maltodekstrin, yang akan dihidrolisa secara perlahan-lahan oleh enzim maltase. Enzim  $\beta$ -amilase menghidrolisis amilosa dan maltodekstrin pada ikatan  $\alpha(1-4)$  nomor 2 dari ujung non-pereduksi, sehingga menghasilkan molekul maltosa. Enzim pati-phosphorilase juga menghidrolisa  $\alpha(1-4)$  tetapi menghasilkan glukosa-1-phosphat. Berbeda dengan enzim amilase yang memerlukan air untuk menghidrolisa ikatan  $\alpha(1-4)$ , enzim pati-phosphorilase memerlukan gugus phosphat:



Baik pati-phosphorilase maupun enzim  $\alpha$ -amilase tidak mampu mengurai ikatan  $\alpha(1-6)$  pada titik percabangan molekul amilopektin, karena itu peruraian secara

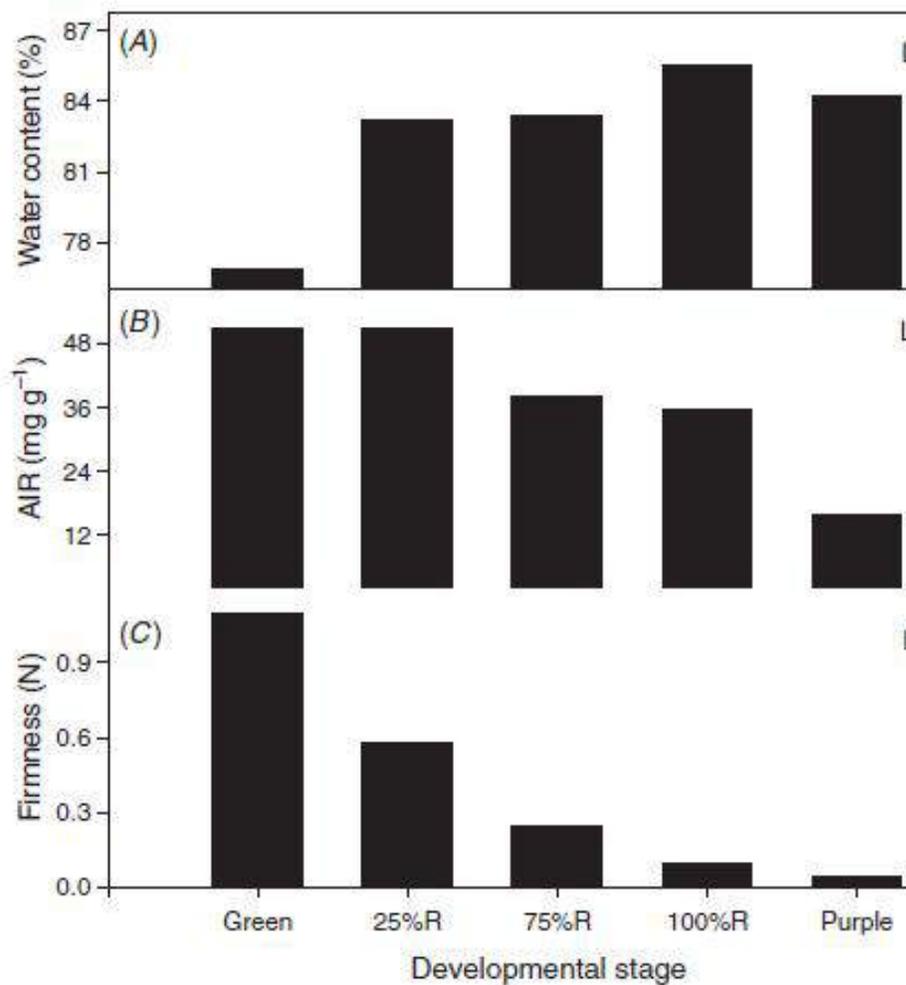
komplit oleh sistem enzim amilase dan pati-phosphorilase tidak dimungkinkan. Berbagai enzim yang mampu mengurai ikatan  $\alpha$ -(1-6) pada titik percabangan molekul amilopektin telah banyak ditemukan pada tanaman, namun perannya dalam mengurai pati -khususnya dalam proses perubahan tekstur- belum banyak diketahui dengan pasti. Selain berpengaruh pada tekstur, konversi pati menjadi gula sederhana ini mempunyai pengaruh penting pada cita rasa dan aroma (lihat sub **perubahan flavor**).

Secara keseluruhan, peruraian senyawa karbohidrat tersebut, termasuk pula hidrolisa senyawa pektin dan hemiselulosa, menyebabkan dinding sel dan daya kohesi antar sel menjadi lemah. Pada tahap awal, hal ini akan menyebabkan buah menjadi empuk dan enak dimakan, tetapi jika proses ini berlangsung berkelanjutan akan menyebabkan kegemburan yang tidak diinginkan. Secara skematis, proses enzimatik yang mengakibatkan perubahan tekstur ini dapat disajikan seperti pada Gambar 3-6.



**Gambar 3-6. Peran enzim dalam pematangan buah yang mengakibatkan perubahan tekstur (Prasanna *et al.*, 2007)**

Sebagai contoh perubahan tekstur pada buah selama pematangan dapat dilihat pada Gambar 3-7 yaitu pada buah boysenberry. Selama tahap pematangan, kekerasan menurun, sementara kadar air meningkat dan terjadi penurunan residu yang tidak larut etanol karena adanya penurunan oligosakarida (Vicente *et al.*, 2007)



**Gambar 3-7. Parameter yang mempengaruhi perubahan tekstur buah boysenberry selama pematangan (A). kadar air (B). dinding sel (C). kekerasan; % R menyatakan persentase warna merah permukaan buah (Vicente *et al.*, 2007)**

## **B. Perubahan Warna**

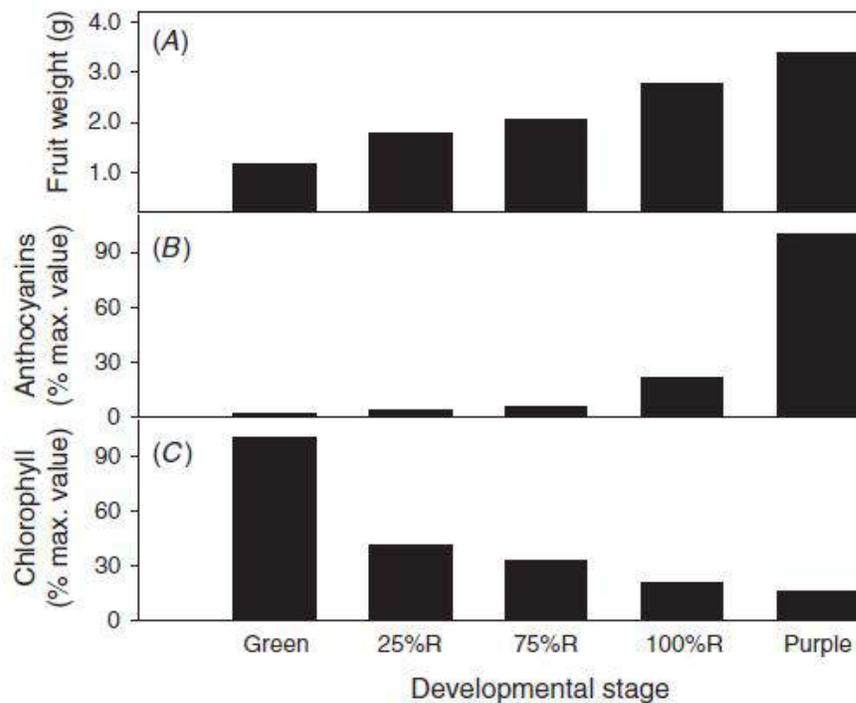
Perubahan warna merupakan perubahan yang sangat mudah diamati terjadi pada proses pematangan. Perubahan warna ini sangat penting karena warna biasanya dipakai sebagai kriteria bagi konsumen untuk menentukan keputusannya membeli suatu produk. Daftar contoh perubahan warna yang terjadi selama pematangan berbagai buah dapat dilihat pada Tabel 3-3. Perubahan warna ini umumnya terjadi sesaat setelah terjadi kenaikan respirasi klimakterik, dan umumnya terjadi pula perubahan tekstur. Khususnya pada sayur-sayuran, misalnya kubis, selada, perubahan warna ini berhubungan dengan proses pelayuan.

**Tabel 3-3. Perubahan warna yang terjadi pada beberapa buah selama proses pematangan**

Jenis Buah	Perubahan warna	
	Muda/Mentah	Tua/Matang
Apel	Hijau	hijau,kuning, merah)
Pisang	Hijau	hijau/kuning, kemerahan*)
Arbei	Hijau	Merah
Nanas	Hijau	merah, kuning*)
Mangga	Hijau	Hijau, kuning, merah*)

\*)tergantung pada jenis atau kultivarnya

Sebagaimana terlihat pada Tabel 3-3, perubahan warna paling umum yang terjadi selama pematangan berbagai buah adalah perubahan warna hijau menjadi kuning, merah atau pun jingga. Kekecualian terjadi pada beberapa buah, misalnya apel hijau dan apokad. Perubahan warna ini terjadi karena sedikitnya, dua hal, yaitu (1) degradasi klorofil dan (2) sintesa antosianin. Proses secara keseluruhan tentunya berbeda untuk masing-masing spesies. Contoh perubahan konsentrasi pigmen pada buah boysenberry diilustrasikan pada Gambar 3-8 (Woodward, 1972).



**Gambar 3-8. Perubahan kadar air dan warna buah boysberry selama pematangan, (A) peningkatan berat, (B). peningkatan anthocyanin, (C) penurunan klorofil (Vicente *et al.*, 2007)**

Mekanisme secara detail atas degradasi klorofil masih belum jelas benar. Secara garis besar, klorofil berubah menjadi senyawa yang tidak berwarna, sedemikian rupa sehingga pigmen warna yang lain (karotenoid dan anthocyanin) menjadi semakin dominan. Karotenoid ini sangat stabil dan tetap berada pada jaringan tanaman walaupun telah mengalami pelayuan. Pada beberapa buah, karotenoid ini sebetulnya telah disintesa selama tahap-tahap perkembangan jaringan tanaman tetapi penampakkannya tertutup oleh klorofil. Hal ini misalnya terjadi pada buah pisang. Pada buah tomat, yang terjadi adalah sintesa karotenoid pada saat terjadi peruraian klorofil.

Perubahan warna yang terjadi selama pasca panen tidak semuanya menguntungkan. Degradasi klorofil dan sintesa karotenoid pada buah jeruk merupakan perubahan yang dikehendaki untuk memberikan warna kekuning-kuningan. Demikian juga degradasi klorofil pada buah pisang, yang menyebabkan warna hijau pada pisang mentah menjadi kuning keemasan setelah masak. Namun demikian, degradasi klorofil pada sayuran brokoli (*Brassica oleracea*, L.) dan berbagai sayuran hijau lainnya, atau sintesa klorofil pada kentang selama penyimpanan tentunya merupakan hal yang tidak diinginkan.

Faktor yang mempengaruhi perubahan warna terutama adalah intensitas cahaya dan suhu. Cahaya merupakan unsur esensial untuk sintesa klorofil. Karena itu untuk mencegah kehilangan klorofil yang terlalu cepat pada sayuran daun, maka

diperlukan ventilasi yang baik dalam ruang penyimpanan. Suhu, dalam peranannya mempengaruhi reaksi sintesa pigmen juga berperan dalam perubahan warna. Pada grapefruit ungu (*Citrus paradisi*, Macf) -misalnya- suhu tinggi (30-35°C) akan menyebabkan terjadinya akumulasi pigmen likopen, sedangkan pada suhu rendah (5-15°C) yang terjadi adalah akumulasi pigmen karoten. Hal yang berbeda terjadi pada buah tomat, dimana pada suhu 30°C terjadi penghambatan sintesa likopen namun tidak pada pigmen karoten.

Berbagai hormon tanaman juga mempunyai pengaruh pada perubahan warna. Etilen telah digunakan secara komersial untuk proses "*degreening*" buah jeruk dan pisang. Pada proses ini, etilen akan merangsang degradasi klorofil. Selain itu, etilen juga digunakan untuk merangsang sintesa karotenoid (pada buah tomat) dan antosianin (pada buah anggur; Kay, 1991). Dari diskusi perubahan warna ini terlihat bahwa berbagai faktor umumnya mempunyai pengaruh yang sangat tergantung pada spesies. Hal ini perlu ditekankan, sehingga penarikan kesimpulan secara umum yang tidak benar bisa dihindarkan.

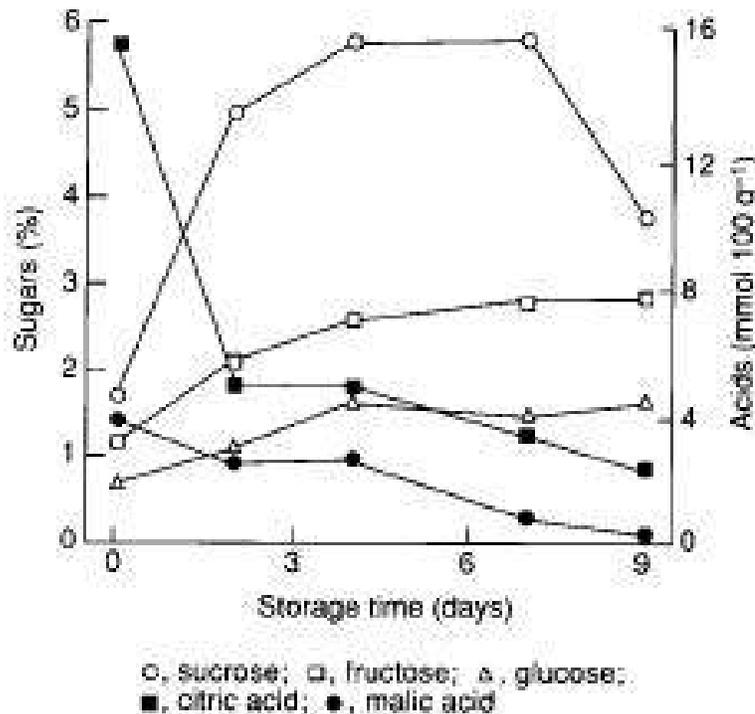
### **C. Perubahan flavor**

Peningkatan flavor dan aroma selama pematangan buah selain adanya produksi senyawa volatil yang kompleks seperti ocimene dan myrcene juga menurunnya senyawa penyebab rasa pahit seperti flavanoids, tannins, dan beberapa komponen lain (Tucker and Grierson, 1987). Peningkatan rasa manis selama proses pematangan buah merupakan hasil dari meningkatnya gluconeogenesis, hidrolisis polisakarida, terutama pati dan menurunnya sejumlah asam.

Faktor penting yang mempengaruhi perubahan flavor buah-buahan adalah adanya perubahan kandungan gula sederhana, asam organik dan produksi komponen-komponen volatil. Pada berbagai buah klimakterik (walaupun tidak semuanya), selama pematangan akan terjadi kenaikan kadar gula sederhana sebagai akibat dari hidrolisa pati. Selain berpengaruh pada tekstur (lihat seksi perubahan tekstur), konversi pati menjadi gula sederhana ini mempunyai pengaruh penting pada cita rasa dan aroma. Pada buah pisang, misalnya, konsentrasi gula sederhana ini meningkat lipat 12 sampai 15 kali selama proses pematangan (Beaudary, dkk. 1989).

Pada beberapa buah-buahan yang tidak kaya akan simpanan pati, khususnya buah non klimakterik misalnya buah anggur, maka konversi pati menjadi gula ini tidak terjadi. Namun demikian, biasanya pada proses pematangan juga akan terjadi pula akumulasi gula pada buah yang menyebabkan rasa manis. Hal ini disebabkan terjadi transpor sukrosa dari bagian tanaman lainnya (khususnya dari daun) ke buah. Setelah sampai ke buah, maka sukrosa tersebut akan dihidrolisa oleh invertase menjadi glukosa dan fruktosa. Karena itu pada buah-buahan demikian pemanenan hendaknya dilakukan setelah akumulasi gula pada buah sudah cukup tinggi. Pemanenan yang dilakukan pada umur yang terlalu muda akan mengakibatkan tingkat kemanisan tidak maksimal.

Perubahan keasaman pada buah juga berperan penting pada proses pembentukan flavor. Biasanya kandungan asam organik akan menurun selama masa penyimpanan. Hal ini disebabkan oleh proses konversi asam organik menjadi gula atau karena asam organik dapat dimanfaatkan sebagai substrat bagi reaksi respirasi untuk menghasilkan energi. Karena itu, penurunan asam organik bisa diharapkan akan semakin drastis bersamaan dengan laju respirasi yang tinggi. Contoh penurunan senyawa asam dan peningkatan kadar gula selama penyimpanan buah mangga dapat dilihat pada Gambar 3-9.



**Gambar 3-9. Perubahan kadar gula dan asam pada mangga var Keitt yang disimpan pada 22°C (Medlicott dan Thompson, 1985)**

Senyawa-senyawa volatil, sebagai komponen aroma umumnya mengalami peningkatan yang cukup menyolok selama proses pematangan. Senyawa volatil ini beraneka ragam (lihat Bab II, seksi *Komponen Flavor*). Pada pisang matang, misalnya, telah diidentifikasi lebih dari 200 macam senyawa volatil. Beberapa contoh senyawa volatil yang terdeteksi selama pematangan buah pisang dapat dilihat pada Tabel 3-4.

**Tabel 3-4. Senyawa volatil yang terdeteksi selama pematangan buah pisang**

No	Nama senyawa	Konsentrasi (ppm)
1	butanol	1,06
2	2-pentanone	2,71
3	2-pentanol	14,26
4	3-hydroxy-2-butanone	20,33
5	<i>n</i> -propyl acetate	0,07
6	methyl butyrate	0,46
7	3-methyl-1-butanol	7,9
8	Isobutyl acetate	2,45
9	Hexanal	21,47
10	Ethyl butyrate	0,15
11	Butyl acetate	1,32
12	2-pentanol acetate	4,79
13	E-2-hexenal	32,2
14	Hexanol	1,17
15	Isoamyl acetate	4,85
16	Isobutyl butyrate	1,26
17	Butyl butyrate	0,83
18	Isoamyl isobutyrate	0,31
19	Hexyl acetate	0,57
20	Limonene	0,94
21	1-methylbutyl isobutyrate	0,43
22	Isoamyl butyrate	7,13
23	Isoamyl 3-methylbutyrate	1,48
24	Eugenol	2,65

Sumber: Thomas (2003)

Contoh lain perubahan senyawa volatil selama pematangan buah dapat dilihat pada buah sirsak (Tabel 3-5). Komponen-komponen kimia yang ada selama empat tahap pematangan (mentah, mature, *ripe*, *overripe*) adalah esters, aldehyd, alkohol, terpena dan laktone (Marquez, 2011). Buah mentah (fase I/green) dicirikan dengan keberadaan komponen C6 seperti heksanal, (*Z*)-3-hexenal, (*E*)-2-hexenal, hexanol, (*Z*)-3-hexenol, dan (*E*)-2-hexenol, yang berhubungan dengan aroma buah mentah. Pada tahap ini juga ditemukan komponen-komponen terpena seperti  $\beta$ -ocimene,  $\alpha$ -terpinolene, dan  $\beta$ -caryophyllene yang dihasilkan dari Acetil-CoA dan piruvate melalui sintesa *de novo*. Komponen-komponen tersebut menurun jumlahnya selama proses pematangan, kecuali *trans*- $\beta$ -Ocimeno, yang berperan terhadap aroma floral pada buah masak. Methyl (*E*)-2-hexenoate and (*Z*)-3-hexenol merupakan komponen utama pada buah mature, sedangkan pada buah ripe (masak) adalah methyl (*E*)-2-hexenoate, methyl 2-butenate, ethylhexanoate, dan  $\beta$ -ocimene. Pada buah *overripe*, komponen yang dominan adalah methyl hexanoate, methyl (*E*)-2-hexenoate, ethyl butanoate, methyl butanoate, dan ethyl acetate.

**Tabel 3-5. Perubahan komponen volatile pada buah sirsak selama tahap pematangan**

Senyawa	Jumlah relative pada tiap tahap			
	I	II	III	IV
Etil asetat	++	+	+	+++
Metil butanoat	-	+	+	+++
Etil butanoat	-	-	+	+++
Heksanal	+	+	-	-
Metil-2-butanoat	-	+	+++	+
Isoamil asetat	-	-	+	+
(Z)-3-heksenal	++	+	-	-
Etil-2-butenolat	-	+	+	+
Metil heksanoat	+	++++	++++	++++
Etil heksanoat	-	+	++	++
Trans- $\beta$ -ocimene	+	+	++	-
Metil (Z)-3-heksenoat	++	+	-	-
$\alpha$ -terpinolena	+	+	-	-
Heksil asetat	-	-	+	-
(E)-2-heksanal	+	-	-	-
Trans-2-heksanil asetat	+	-	-	-
Metil (E)-2-heksanoat	+	+++	++++	++++
Heksanol	+	-	+	-
(Z)-3-heksanol	+++	++	+	-
Metil oktanoat	-	+	+	+
(E)-2-heksanol	+	-	-	-
Metil-2-oktanoat	-	+	+	+
Linalol	+	-	+	+
$\beta$ -caryophyllene	+	-	-	-
$\alpha$ -butyrolactone	-	-	-	+
Asam butanoat	-	-	+	+
Asam heksanoat	-	-	-	+

Sumber: Marquez *et al.* (2011)

#### D. Perubahan Komponen Nitrogen

Protein dan asam-asam amino bebas adalah komponen minor dalam buah dan sayuran. Karena itu umumnya protein dan asam amino kurang atau tidak berperan dalam menentukan mutu suatu produk tanaman, akan tetapi selama proses pematangan kandungan protein meningkat dan diduga etilen lebih merangsang sintesis protein pada saat itu. Selama proses pematangan juga terjadi peningkatan enzim-enzim respirasi. Pada tahap senescence, adanya pemecahan enzim dan menurunnya aktivitas metabolisme mengakibatkan meningkatnya asam amino bebas.

## **E. Perubahan pada lipida**

Buah dan sayur memiliki kadar lemak rendah, namun peranannya terhadap tekstur, pembentukan flavor dan pigmen sayuran/buah cukup besar. Sebagai contoh, pada buah tomat muda, lipid netral yang berbentuk trigliserida, digliserida, sterol, ester sterol, asam lemak bebas dan hidrokarbon terdapat dalam jumlah relatif besar. Lipid netral ini menurun kadarnya selama pematangan atau pada saat pembentukan pigmen, tetapi meningkat lagi pada tingkat kematangan penuh. Persentase asam linoleat dan asam oleat menurun selama pembentukan pigmen pada buah tomat.

Perubahan khusus komponen lipida juga terjadi pada buah yang mempunyai jumlah lipida cukup besar, yaitu alpukat dan zaitun. Alpukat dan zaitun merupakan buah yang menyimpan trigliserida dalam jumlah besar. Pada alpukat, trigliserida merupakan bentuk terbesar lipida netral dengan jumlah mencapai 95 % dari total lipida. Jenis asam lemak yang mendominasi adalah palmitat (16:0), palmitoleat (16:1), oleat (18:1) dan linoleat (18:2). Kadar lipida tersebut meningkat selama pematangan.

Pada buah mangga juga terjadi peningkatan total lipida dan asam lemak selama pematangan. Asam-asam lemak utama yang terdapat dalam buah mangga adalah palmitat, stearat, oleat, dan linoleat. Selama pematangan buah mangga, asam-asam lemak tidak jenuh meningkat lebih banyak dibandingkan dengan asam-asam lemak jenuh.

Perubahan komponen lipida pada buah juga didapati pada perubahan komponen lilin (*wax*) terutama pada kulit buah. Pertumbuhan buah mengakibatkan terjadinya pengendapan kutikula dan lilin pada sel kulit luar. Selanjutnya, selama pertumbuhan dan penyimpanan terjadi perubahan susunan lilin yang akan mengakibatkan perubahan struktur buah. Selama buah masih berada di pohon, fraksi lilin yang keras bertambah lebih cepat daripada minyaknya. Selama penyimpanan pada suhu rendah jumlah minyak bertambah, sedang fraksi lilin yang keras tidak berubah. Perbandingan maksimum antara minyak dan lilin terjadi pada puncak laju respirasi. Fase berikutnya yaitu selama penyimpanan ditandai dengan adanya degradasi lilin dan pengurangan jumlah minyak.

## **F. Pendewasaan biji**

Biji merupakan bagian tanaman yang berkembang dari ovulum (bakal biji). Biji berisi embrio dan cadangan makanan, baik berupa bagian endosperm maupun perisperm yang akan mengalami dorman pada saat dewasa. Pendewasaan biji merupakan proses perubahan sifat morfologi, fisik, fisiologi dan biokimia yang terjadi sejak fertilisasi atau pembuahan sampai secara fisiologi biji tersebut tidak tergantung kepada tanaman induk. Untuk mengidentifikasi pendewasaan biji kita dapat menggunakan dua kriteria. Kriteria pertama adalah waktu mulai dari penanaman atau biji mulai tumbuh sampai saat siap panen. Kriteria kedua adalah parameter kadar air biji dan sifat morfologi untuk mengidentifikasi biji yang telah dewasa.

Kematangan biji secara fisiologi ditandai dengan akumulasi berat biji (berat biji mencapai maksimal), dalam hal ini tidak ada lagi peningkatan berat kering biji secara nyata. Ukuran biji dan kadar air juga merupakan parameter yang digunakan untuk menentukan pendewasaan biji.

Sebagai contoh untuk menggambarkan proses perkembangan biji dapat dilihat pada biji buah durian pada Gambar 3-10. Pada buah durian, biji sudah terbentuk pada buah yang berumur dua minggu setelah bunga mekar (K2), namun daging buahnya belum terbentuk. Perkembangan daging buah dan biji akan semakin jelas pada buah yang berumur empat minggu (K4) sampai 16 minggu setelah bunga mekar (K16). Daging buah pada K4 sampai K10 berwarna putih, yang artinya buah masih mentah, sedangkan pada K12 sampai K16, daging buah berwarna krem sampai kuning oranye, yang menunjukkan buah sudah mengkal dan menuju matang. Pada K2 sampai K6, kotiledon dan embrio belum terlihat, tetapi di dalam kulit biji terdapat cairan yang diduga adalah endosperm. Pada K8 sudah terbentuk endosperm yang bertekstur kenyal dan berwarna krem. Pada fase ini juga sudah terlihat perkembangan embrio dan kotiledon, dan seiring dengan ini, ketebalan endosperm makin menipis, akhirnya menyerupai selaput pada K12 dan hampir hilang pada K16.



**Gambar 3-10. Perkembangan morfologi pada biji durian**  
K2: umur 2 minggu, K4: umur 4 minggu, K6: umur 6 minggu, K8: umur 8 minggu, K10: umur 10 minggu, K12: umur 12 minggu, K14: umur 14 minggu, dan K16: umur 16 minggu(Sumber: Ardiana *et al.*, 2011)

### **G. Absisi (rontok/jatuh dari pohon induknya)**

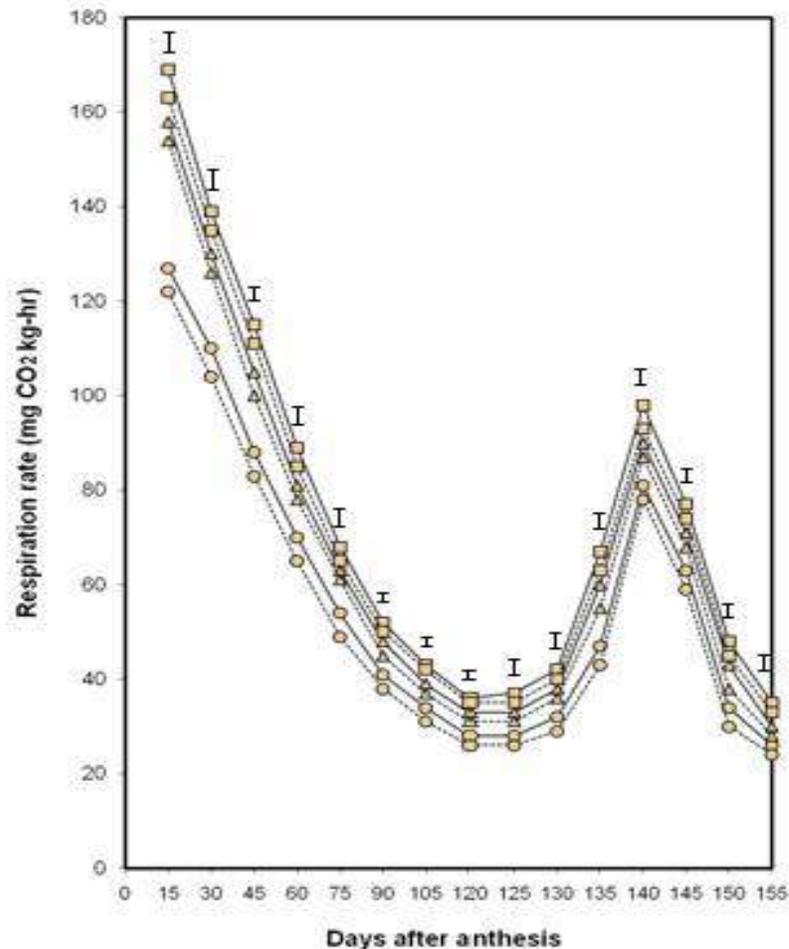
Absisi atau kerontokan buah merupakan proses lepasnya buah dari pohon, seperti pada bagian lain yaitu daun atau bunga. Terjadinya absisi biasanya dirangsang oleh adanya etilen (lihat Bab V). Absisi terjadi pada zona absisi yaitu pada tangkai buah. Pada umumnya absisi didahului dengan adanya perbedaan lapisan absisi pada zona absisi. Ada dua kondisi terjadinya absisi yaitu kondisi normal dan tidak. Pada kondisi normal, tidak ada kerusakan pada bagian tangkai buah yang mengalami absisi dan absisi disebabkan karena peristiwa fisiologis yaitu buah sudah sampai tahap *maturity* (pematangan). Absisi pada kondisi tidak normal ditandai dengan adanya kerusakan pada bagian pangkal yang disebabkan organisme pengganggu (Bonghi *et al.*, 2000).

### **H. Perubahan dalam laju pernafasan/respirasi**

Respirasi merupakan proses pembongkaran bahan organik tersimpan menjadi bahan sederhana, dengan produk akhir berupa energi (dalam bentuk panas). Energi yang dihasilkan sangat penting dalam pengelolaan atau penanganan pasca panen untuk memperkirakan perlakuan pendinginan dan kebutuhan ventilasi dalam pengepakan.

Pada proses respirasi, bahan tanaman terutama karbohidrat dirombak menjadi bentuk nonkarbohidrat (gula), selanjutnya dioksidasi untuk menghasilkan energi. Hasil samping dari respirasi adalah CO<sub>2</sub>, uap air dan panas. Semakin tinggi laju respirasi maka semakin cepat pula perombakan-perombakan tersebut yang mengarah pada kemunduran dari produk. Air yang dihasilkan ditranspirasikan dan jika tidak dikendalikan produk akan cepat menjadi layu. Laju respirasi sering digunakan sebagai index untuk menentukan umur simpan pascapanen buah dan sayur. Berbagai jenis buah dan sayur mempunyai laju respirasi berbeda, tergantung pada struktur morfologi dan tingkat perkembangan jaringan bagian tanaman tersebut (Lihat Bab IV). Pada umumnya sel-sel muda yang tumbuh aktif cenderung mempunyai laju respirasi lebih tinggi dibandingkan dengan yang lebih tua atau sel-sel yang lebih dewasa.

Sebagai contoh untuk menggambarkan laju respirasi dapat dilihat pada Gambar 3-11 yang menggambarkan perubahan laju respirasi papaya selama tahap perkembangan. Menurut El Shattir dan Abu-Goukh (2010), kecepatan respirasi papaya menurun mulai hari ke 15 setelah berbunga sampai hari ke 120. Sesuai dengan pola respirasi buah klimakterik, kemudian laju respirasinya meningkat sampai hari ke 120 setelah pembungaan.



**Gambar 3-11. Perubahan kecepatan respirasi beberapa varietas pepaya selama perkembangan (El Shattir dan Abu-Goukh, 2010)**

### I. Perubahan dalam permeabilitas membran

Proses pematangan buah disebabkan adanya aktivitas enzim *piruvat dekanoksilase* yang mengakibatkan perubahan kimia yaitu peningkatan jumlah asetaldehid dan etanol sehingga produksi CO<sub>2</sub> meningkat. Selain itu adanya etilen yang merupakan senyawa larut dalam lipida mengakibatkan ethylene dapat larut dan menembus ke dalam membran mitochondria yang tersusun dari lipida. Apabila mitochondria pada fase pra klimakterik diekstraksi kemudian ditambah ethylene, ternyata terjadi pengembangan volume yang akan meningkatkan permeabilitas sel sehingga bahan-bahan dari luar mitochondria akan dapat masuk. Dengan perubahan-perubahan permeabilitas sel akan memungkinkan interaksi yang lebih besar antara substrat buah dengan enzim-enzim pematangan.

Secara umum, buah dan sayur mengalami perubahan seperti yang tersebut di atas selama proses pematangan, namun demikian kita dapat mengetahui perbedaan

ciri-ciri kematangan untuk masing-masing buah dan sayur seperti terlihat pada Tabel 3-6.

**Tabel 3-6 Indikator kematangan beberapa jenis buah dan sayur**

<b>Buah/sayur</b>	<b>Indikator kematangan</b>
Anggur	Kadar gula maksimal, tidak ada rasa asam, perubahan warna, peningkatan flavor, terbentuknya glukosa dan fruktosa
Blueberry	Bebas dari cacat, keras, warna biru merata. Adanya warna hijau atau merah mengindikasikan ketidakmatangan, tekstur lunak menunjukkan <i>overripe</i> (lewat matang)
Cherry	Perubahan warna dari merah cerah sampai hitam, padatan terlarut 18-22%,
Jambu biji	Bentuk buah "bulat", kadar gula total maksimum
Jeruk	Warna buah, rasa, padatan terlarut, rasio padatan terlarut:asam
Nanas	Warna "kuning", berat tetap
Strawberry	Warna merah penuh atau sedikitnya $\frac{3}{4}$ berwarna merah jambu atau merah
Brokoli	Firm head, closed florets, warna, bentuk, tidak ada warna kuning
Jagung manis	Kadar gula
Kentang	90 sampai 120 hari setelah ditanam
Tomat	Warna sesuai standar
Wortel	Ukuran dan warna sudah mencukupi, kadar glukosa dan fruktosa tidak mencukupi
Bawang	Ukuran sudah mencukupi
Kembang kol	Ukuran, warna
Kubis	Tingkat kekerasan pada bagian pangkal, warna sesuai keperluan, ukuran

Pustaka: Salunkhe dan Sadam (1995) dan Nonnecke (1989)

### **III. PELAYUAN (*SENESCENCE*)**

Pelayuan (*senescence*) merupakan tahap yang selalu terjadi pada siklus kehidupan tanaman, termasuk buah dan sayur. Akibat proses pelayuan banyak terjadi perubahan di dalam sel, antara lain kloroplast pecah menjadi bagian yang

lebih kecil, rusaknya retikulum endoplasma dan sitoplasma penuh dengan hasil pecahan tersebut. Pada tahap awal proses pelayuan, mitokondria sel tetap utuh, akan tetapi pada tahap lanjut hal tersebut mengakibatkan rusaknya mitokondria. Kerusakan mitokondria ini mengakibatkan penurunan laju pernafasan dan fotosintesis. Selain itu, permeabilitas membrane sel juga mengalami penurunan karena melemahnya jaringan sel.

Penyebab proses pelayuan salah satunya diakibatkan pengaruh enzim/protein dimana bila terdapat sesuatu yang menghambat protein maka akan mempercepat proses pelayuan. Pada umumnya pembentukan bunga padatanaman dapat mempercepat terjadinya proses pelayuan, misalnya pada pohon tomat, setelah berbunga pertumbuhannya menjadi lebih lambat dan akhirnya mati. Pada kubis setelah terbentuk bunga akan mati, tetapi jika bunga dipotong, pertumbuhan masih berlangsung sampai keluar bunga lagi. Peristiwa ini disebabkan adanya mobilisasi makanan untuk pertumbuhan biji. Pada kondisi ini, sebagian besar asam amino digunakan dalam pembentukan biji.

Pelayuan dapat terjadi setiap saat pada siklus kehidupan tanaman, seperti pada tanaman yang masih muda, bila terjadi kerusakan (luka), maka tanaman tersebut dapat menjadi layu tanpa dapat mengalami pematangan. Gejala-gejala pelayuan pada tanaman ditandai dengan mulai menguningnya daun, perontokan daun, buah, dan bagian bunga, pematangan buah, serta pengurangan daya tahan terhadap penyakit.

Proses pelayuan pada tanaman juga berhubungan dengan beberapa hormone yaitu *auxin*, *giberelin*, *asam absisat*, *sitokinin*, dan *etilen*. Peran masing-masing hormone dijelaskan di bawah.

- a. Hormon *auxin*. *Auxin* berperan dalam sintesis *etilen*, yaitu semakin tinggi jumlah *auxin* maka sintesis *etilen* pun makin tinggi. *Auxin* tidak mengakibatkan terjadinya pelayuan, tetapi menghambat proses tersebut, sehingga hilangnya *auxin* dapat mengakibatkan pelayuan. Hal ini terbukti dalam peristiwa rontoknya buah dari pohon merupakan salah satu gejala proses kelayuan, akan tetapi dengan menyemprotkan *auxin* sintesis, perontokan buah dapat dihambat.
- b. Hormon *giberellin*. Hormon *giberellin* dapat menghambat pematangan, yang berarti menghambat peristiwa pelayuan, tetapi tidak semua tanaman memberikan respon baik terhadap hormon ini. Sebagai contoh tanaman yang dapat dipengaruhi *giberellin* adalah pisang dan tomat, sedangkan apel tidak.
- c. Asam absisik (*abscissic acid*). Bersama dengan *etilen*, asam absisik dapat merangsang adanya zona absisi. Apabila disemprotkan pada tanaman, hormon asam absisik dapat merangsang terjadinya proses absisi dan banyak tanaman yang peka terhadap hormon ini.
- d. Sitokinin. Hormon sitokinin dapat menghambat proses pelayuan dan semakin tinggi konsentrasi hormon sitokinin, maka semakin banyak kandungan klorofil yang tertinggal. Sebagai contoh pada daun kubis, semakin tinggi konsentrasi sitokinin yang disintesis, daun kubis akan tetap segar dan proses menguningnya daun dapat dihambat.

- e. Etilen. Penjelasan tentang mekanisme etilen terhadap proses pelayuan dapat dilihat pada Bab V.

## Bab 4.

# RESPIRASI BUAH & SAYURAN

### I. BIODIVERSITAS RESPIRASI

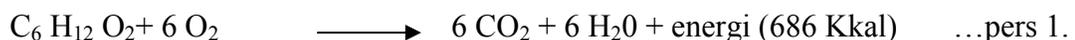
Proses respirasi pada buah sangat bermanfaat untuk melangsungkan proses kehidupannya. Proses respirasi tidak hanya terjadi pada waktu buah masih berada di pohon, akan tetapi setelah dipanen buah dan sayuran juga masih melangsungkan proses respirasi. Proses respirasi adalah proses peruraian oksidatif molekul kompleks (seperti pati) yang merupakan bahan cadangan/simpanan menjadi bahan kimia yang lebih sederhana (seperti CO<sub>2</sub> dan H<sub>2</sub>O), dan bersamaan itu pula diproduksi energi atau pun bahan kimia lain yang dapat digunakan oleh sel untuk kegiatan sintesa. Seperti kita ketahui, semua makhluk hidup memerlukan energi untuk dapat tetap mempertahankan hidupnya, yaitu untuk mempertahankan organisasi selular, menyelenggarakan transpor metabolit ke jaringan dan sel, serta untuk menjaga permeabilitas membrane sel, dan lain-lain.



Proses respirasi ini dapat terjadi baik dengan adanya O<sub>2</sub> atau pun tidak. Respirasi dengan bantuan O<sub>2</sub> disebut respirasi aerobik, sedang respirasi tanpa O<sub>2</sub> disebut respirasi anaerobik (kadang-kadang disebut juga proses fermentasi).

#### A. RESPIRASI AEROBIK

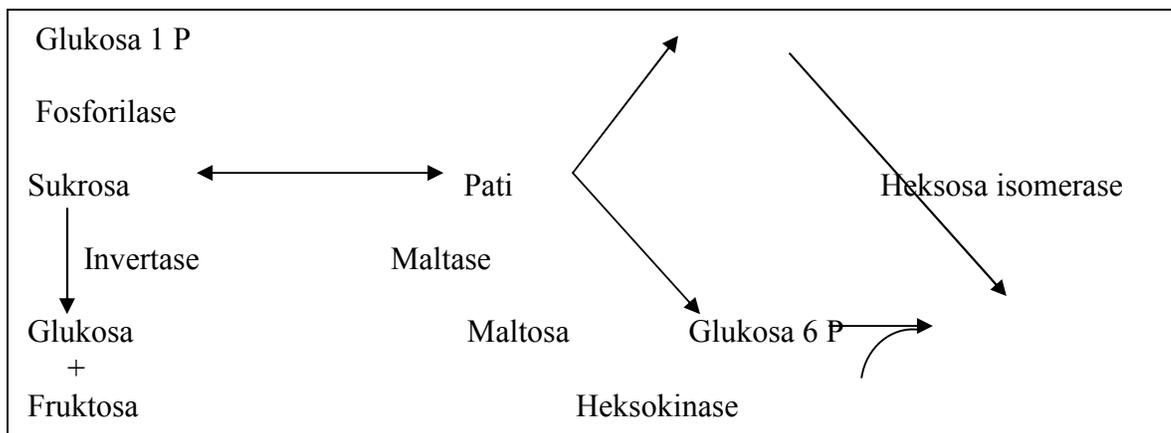
Hampir semua energi yang diperlukan oleh buah dan sayuran dipenuhi oleh respirasi aerobik, yaitu oksidasi proses atas bahan-bahan kimia yang tersimpan dalam sel. Proses respirasi ini melibatkan banyak reaksi enzimatik, yang secara keseluruhan merupakan proses oksidasi bahan-bahan organik untuk menghasilkan energi. Bahan organik tersimpan dalam sel dan jaringan yang dapat dioksidasi dalam proses respirasi ini antara lain asam-asam organik, karbohidrat, lemak, atau protein. Tetapi umumnya, bahan utama untuk proses respirasi ini adalah gula (glukosa). Energi yang dihasilkan dalam proses respirasi ini akan disimpan dalam bentuk energi kimia, yaitu sebagai molekul berenergi tinggi, adenosine triphosphate (ATP). Keseluruhan reaksi biokimia untuk oksidasi gula secara sempurna adalah sebagai berikut :



Seperti terlihat di atas, proses respirasi ini sesungguhnya dapat dilihat sebagai kebalikan atas proses fotosintesa, dimana fotosintesa adalah suatu proses konversi energi (sinar matahari) kedalam bahan-bahan kimia tersimpan, terutama karbohidrat.

Keseluruhan proses respirasi ini melibatkan sejumlah reaksi yang sangat kompleks. Reaksi respirasi secara umum dapat dibagi dalam tiga (3) kelompok utama, yaitu (1) glikolisis, (2) siklus Krebs, dan (3) seri reaksi pindah/transfer elektron.

Seperti telah dikemukakan di atas, glukosa adalah bahan awal bagi reaksi respirasi. Namun demikian, bahan cadangan energi yang tersimpan oleh tanaman bukanlah glukosa, melainkan dalam bentuk karbohidrat kompleks, misalnya pati. Oleh karena itu, karbohidrat kompleks haruslah diuraikan lebih dulu menjadi glukosa dengan pertolongan enzim amilase dan maltase. Komoditi tertentu mempunyai kandungan sukrosa yang tinggi, yang dapat dihidrolisa menjadi glukosa dan fruktosa dengan bantuan enzim invertase. Interkonversi antara sukrosa dan pati juga dimungkinkan terjadi pada berbagai komoditi. Skema umum proses peruraian awal dari karbohidrat cadangan disajikan pada Gambar 4-1.

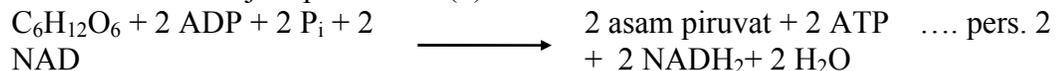


**Gambar 4-1. Perubahan karbohidrat tersimpan selama respirasi**

### 1. Glikolisis atau Seri Reaksi EMP

Seri reaksi pertama adalah seri reaksi glikolisis, yang sering disebut pula seri reaksi *Embden-Meyerhof-Parnas* (EMP). Glikolisis yaitu seri reaksi respirasi yang mengurai 1 mol glukosa (senyawa 6 karbon) menjadi 2 mol asam piruvat (senyawa 3 karbon, CH-CO-COOH). Seri reaksi glikolisis ini terjadi di sitoplasma sel.

Secara stoikiometri keseluruhan seri reaksi EMP tersebut dapat disederhanakan menjadi persamaan (2):

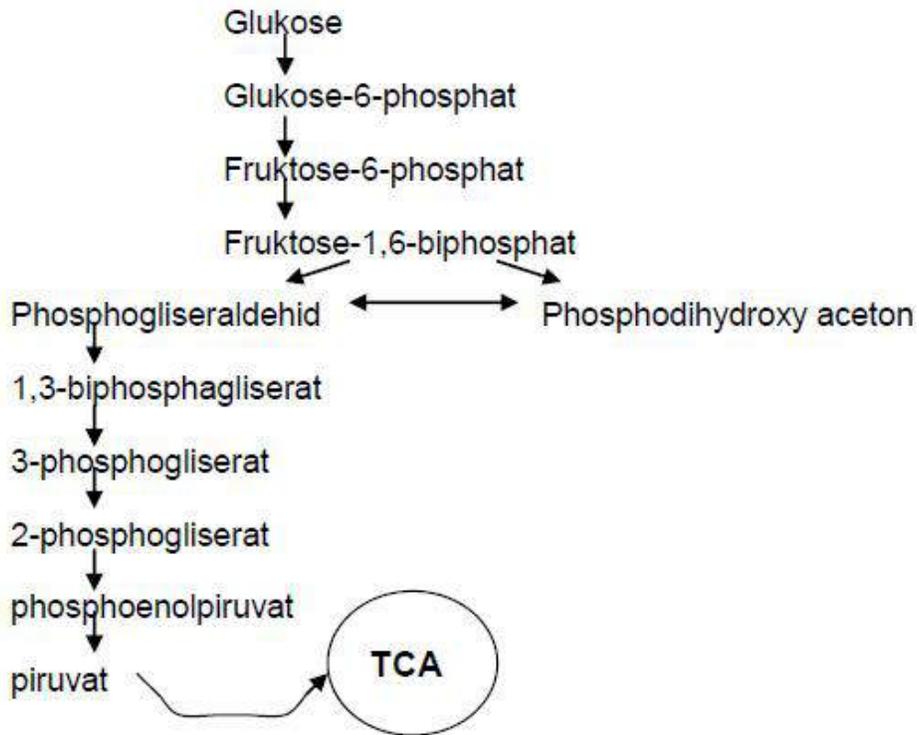


Energi yang dihasilkan dari seri reaksi tersebut disimpan dalam bentuk ATP dan NADH<sub>2</sub> (sering pula ditulis NADH + H<sup>+</sup>, dimana setiap mol NADH<sub>2</sub> adalah setara dengan 3 mol ATP). Dengan demikian total energi yang dihasilkan adalah

ekivalen dengan 8 mol ATP. ATP akhirnya akan dapat dimanfaatkan oleh sel dengan menghidrolisa ikatan phosphate sebagai berikut :



Secara lebih lengkap seri reaksi pada rantai EMP dapat dilihat pada Gambar 4-2.

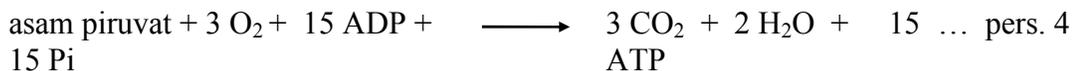


**Gambar 4-2. Reaksi Embden-Meyerhof-Parnas (EMP)**

## 2. Siklus KREBS

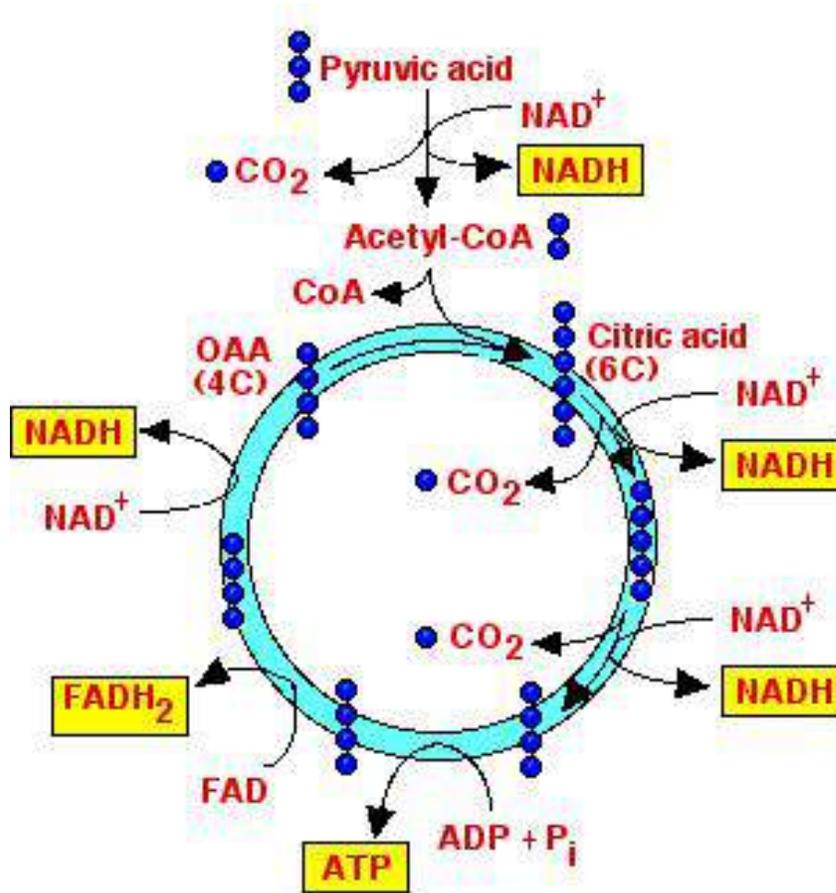
Seri reaksi kedua adalah siklus asam tricarboksilat (*TCA cycle; tricarboxylic acid cycle*) atau siklus Kreb, yaitu seri reaksi yang mengubah 2 mol asam piruvat menjadi 6 mol CO<sub>2</sub>, 6 mol H<sub>2</sub>O dan sejumlah energi. Seri reaksi ini berlangsung di mitokondria.

Secara lebih detail, siklus Krebs disajikan pada Gambar 4-3. Secara stoikiometri, keseluruhan seri reaksi pada siklus Krebs dapat disederhanakan menjadi:



Dari persamaan reaksi di atas dapat dilihat bahwa untuk setiap mol pyruvat akan menghasilkan 15 mol ATP. Total energi yang diproduksi selama oksidasi sempurna atas 1 mol (180 g) glukosa kira-kira mencapai 686 Kkal. Dalam sel yang

sedang aktif, tumbuh dan berkembang, sejumlah besar energi tersebut akan tersimpan dalam bentuk ATP. Proses respirasi yang dimulai dari rantai EMP dan akhirnya siklus Krebs, keseluruhan ATP yang diproduksi adalah 32 mol ATP dan 2 NADH.



Gambar 4-3. Siklus Krebs

Namun demikian, sebagian besar dari energi tersebut, yaitu sekitar 58% (Kader, 1989) sampai 62% (Kay, 1991), akan terbebaskan/hilang dalam bentuk panas. Dalam literatur, panas yang terbebaskan ini sering disebut sebagai "*vital heat*" atau "*heat of respiration*". Jumlah "*vital heat*" ini tentunya sangat bervariasi, tergantung pada jenis dan varietas buah dan sayuran. Pengetahuan tentang jumlah panas yang dilepaskan oleh buah/sayuran ini sangat diperlukan untuk menentukan desain proses pendinginan, rancangan pengemasan, serta metoda dan cara penyimpanan.

Seperti telah dikemukakan diatas, reaksi respirasi aerobik memerlukan adanya oksigen. Seri reaksi ini sangat efisien dalam menghasilkan energi. Pada

kondisi normal, udara atmosfer umumnya kaya akan oksigen, karena itu dalam keadaan ini respirasi aerobik akan dapat berlangsung dengan baik. Namun demikian, dalam kondisi penyimpanan tertentu, oksigen dalam ruang penyimpanan mungkin akan sangat terbatas dan tidak cukup untuk melakukan respirasi aerobik secara sempurna. Dalam keadaan ini, sel akan memulai respirasi anaerobik, yaitu seri reaksi yang mengkonversi glukosa menjadi asam piruvat melalui seri EMP, namun asam piruvat kemudian akan diubah menjadi CO<sub>2</sub> dan ethanol.

### 3. Sistem Pindah Elektron

Seri reaksi yang ketiga, terjadi di membran mitokondria sel, yaitu seri reaksi yang disebut sistem pindah elektron. Pada dasarnya seri reaksi ini adalah seri reaksi oksidasi/reduksi, yaitu transfer/pindah elektron dari NADH yang diperoleh dari hasil oksidasi asam organik (dari siklus Kreb) ke aseptor akhir (oksigen) untuk membentuk air (H<sub>2</sub>O). Hal penting yang terjadi pada seri reaksi ini adalah dihasilkannya ATP, senyawa dengan kandungan energi tinggi.

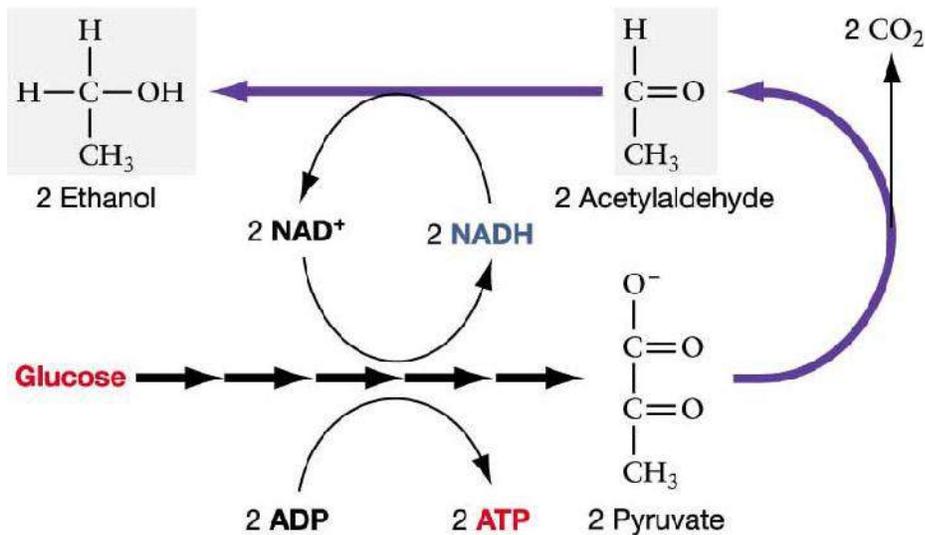
## B. RESPIRASI AN-AEROBIK

Pada kondisi tidak cukup oksigen, asam piruvat tidak dapat dioksidasi melalui siklus Krebs. Pada kondisi demikian, asam piruvat akan terakumulasi, dan akhirnya akan di dekarboksilasi menjadi CO<sub>2</sub> dan asetaldehida, yang akhirnya akan direduksi lebih lanjut menjadi ethanol. Secara lebih lengkap, respirasi anaerobik ini disajikan pada Gambar 4-4.

Reaksi keseluruhan yang terjadi pada respirasi anaerobik ini secara sederhana adalah sebagai berikut :



Respirasi an-aerobik ini menghasilkan jumlah energi yang lebih sedikit jika dibandingkan dengan respirasi aerobik. Untuk setiap mol glukosa akan menghasilkan sekitar 54 Kkal, yang berarti hanya sekitar 8% dari jumlah energi yang dapat dihasilkan oleh respirasi aerobik. Walaupun demikian respirasi anaerobik ini sangat penting karena tetap memungkinkan konversi bahan kimia menjadi energi walaupun oksigen sangat terbatas. Konsentrasi oksigen minimal yang diperlukan oleh sel atau jaringan untuk melakukan respirasi aerobik sangat tergantung pada jenis komoditi, spesies, kultivar, tingkat kematangan, dan suhu penyimpanan. Konsentrasi oksigen minimal ini biasa disebut "*extention point*".



**Gambar 4-4. Jalur respirasi anaerobic**

## II. METODA PENGUKURAN LAJU RESPIRASI

Laju respirasi menentukan potensi pasar dan masa simpan yang berkaitan erat dengan; kehilangan air, kehilangan kenampakan yang baik, kehilangan nilai nutrisi dan berkurangnya nilai cita rasa. Masa simpan produk dapat diperpanjang dengan menempatkannya dalam lingkungan yang dapat memperlambat laju respirasi dan transpirasi melalui penurunan suhu produk, mengurangi ketersediaan  $\text{O}_2$  atau meningkatkan konsentrasi  $\text{CO}_2$ , dan menjaga kelembapan nisbi yang mencukupi dari udara sekitar produk (Utama, 2001).

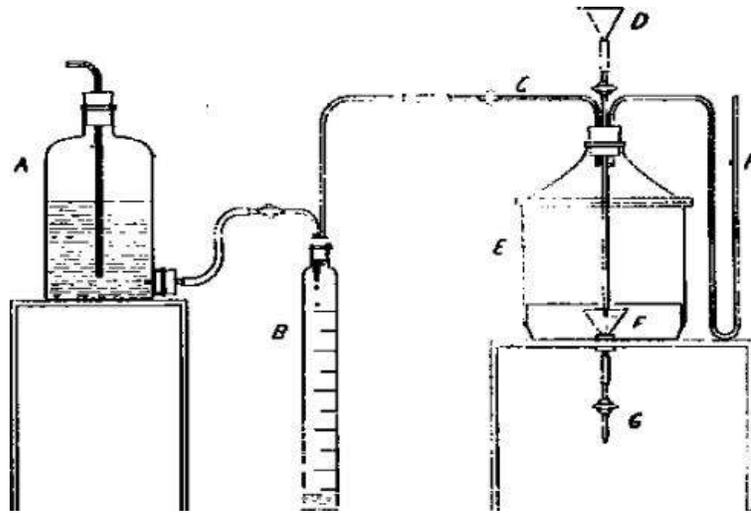
Laju respirasi dipengaruhi oleh suhu, kelembaban, adanya luka, umur dan jenis jaringan, konsentrasi karbon dioksida dan oksigen, banyaknya bahan makanan yang tersedia, dan faktor-faktor lain. Laju respirasi pada tiap jenis komoditi berbeda-beda tergantung varietasnya. Perubahan laju respirasi dapat dipengaruhi oleh berkurangnya komposisi  $\text{O}_2$  tergantung pada kondisi fisiologis buah. Pengukuran laju respirasi dengan jalan pertukaran gas dalam hal ini  $\text{O}_2$  yang terlepas merupakan cara yang paling tepat. Hampir semua energi yang dibutuhkan oleh buah dan sayuran diperoleh dari respirasi aerob yang meliputi perombakan oksida senyawa organik dalam jaringan.

Metoda pengukuran laju respirasi biasanya dikembangkan berdasarkan atas berkurangnya berat kering, jumlah konsumsi  $\text{O}_2$ , jumlah produksi  $\text{CO}_2$ , jumlah produksi panas (energi), atau jumlah kehilangan energi total. Namun demikian, pengukuran laju respirasi berdasarkan atas jumlah konsumsi  $\text{O}_2$  atau jumlah produksi  $\text{CO}_2$  merupakan metoda yang paling sering digunakan. Ada dua cara yang

sering digunakan untuk menentukan laju produksi CO<sub>2</sub> atau pun laju konsumsi O<sub>2</sub> sebagai indeks laju respirasi ini. Cara pertama adalah dalam sistem tertutup, dan kedua dalam sistem mengalir.

Pengukuran laju respirasi dalam sistem tertutup sering dilakukan karena kemudahannya. Cara ini dilakukan dengan meletakkan produk (buah dan sayuran) yang diketahui beratnya dalam ruangan yang tertentu dengan rapat (dalam botol tertutup, misalnya). Jumlah konsentrasi O<sub>2</sub> atau CO<sub>2</sub> kemudian diukur setelah selang waktu tertentu (biasanya sekitar 1 jam). Dengan mengetahui berat produk dan volume ruangan udara (volume wadah dikurangi volume produk), maka laju respirasi dapat ditentukan sebagai (ml CO<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup> jam<sup>-1</sup>) atau (ml O<sub>2</sub>kg<sup>-1</sup> jam<sup>-1</sup>). Cara ini mudah dilakukan tetapi mempunyai beberapa kekurangan. Kekurangan utamanya adalah karena pengukuran dilakukan setelah selang waktu tertentu, dimana selama selang waktu tersebut telah terjadi penyusutan konsentrasi O<sub>2</sub> dan pengakumulasian CO<sub>2</sub>(atau mungkin pula gas-gas yang lain, etilen, misalnya) dalam ruang penyimpanan yang mungkin saja telah secara nyata mempengaruhi laju respirasi. Karena itu hasil pengukuran dengan metoda ini bisa tidak mewakili laju respirasi yang sesungguhnya terjadi diruang penyimpanan yang luas atau pun diruang terbuka. Untuk mengatasi masalah tersebut, maka selang waktu pengujian diusahakan sependek mungkin. Dengan makin telitnya alat pengukur (terutama dengan berkembangnya teknik gas khromatografi) maka untuk mengetahui adanya sedikit perubahan pada konsentrasi O<sub>2</sub> atau CO<sub>2</sub> dapat dilakukan dengan baik. KMnO<sub>4</sub> sering digunakan sebagai absorben bagi etilen dalam metoda ini, sehingga pengaruh etilen terhadap laju respirasi bisa dikurangi.

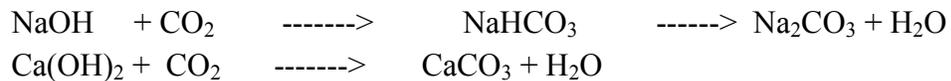
Pengukuran laju respirasi dengan sistem kontinu dilakukan dengan menempatkan produk dalam wadah tertutup, dengan ventilasi yang mengalirkan udara bebas CO<sub>2</sub> (telah melalui KOH) dalam kecepatan yang diketahui dengan pasti. Setelah udara melewati ruangan penyimpanan atau pengujian maka udara dialirkan melalui absorben (KOH) guna memperangkap CO<sub>2</sub>. Setelah selang waktu tertentu, jumlah konsentrasi CO<sub>2</sub> pada KOH diukur dengan cara titrasi atau pun gravimetri. Dengan demikian maka jumlah produksi CO<sub>2</sub> atau pun jumlah O<sub>2</sub> yang dikonsumsi dapat diketahui. Secara skematis cara ini disajikan pada Gambar 4-5. Laju respirasi biasanya dinyatakan dalam volume atau berat CO<sub>2</sub> yang diproduksi atau jumlah O<sub>2</sub> yang dikonsumsi per kilogram berat produk segar per jam.



**Gambar 4-5. Cara pengukuran laju reaksi**

Laju respirasi merupakan petunjuk bagi penyimpanan buah dan sayuran sesudah dipanen. Laju respirasi yang tinggi biasanya disertai oleh umur simpan yang pendek serta merupakan petunjuk laju kemunduran mutu dan nilainya sebagai bahan makanan. Suhu penyimpanan merupakan faktor yang sangat penting yang mempengaruhi respirasi. Peningkatan suhu antara 0°C – 35°C akan meningkatkan laju respirasi buah-buahan dan sayuran, yang memberi petunjuk bahwa baik proses biologi maupun proses kimiawi dipengaruhi oleh suhu.

Konsentrasi O<sub>2</sub> atau CO<sub>2</sub> dalam udara contoh dapat diukur dengan berbagai metoda. Metoda yang sering digunakan antara lain adalah gas kromatografi dan infrared gas analyzer. Metoda titrasi dan kolorimetri yang sederhana juga bisa digunakan karena praktis dan murah. Dalam metoda ini, udara dialirkan melalui larutan sodium hidroksida atau kalsium hidroksida yang akan menyerap gas CO<sub>2</sub>, dengan reaksi sebagai berikut:



Perubahan keasaman (kebasaan, turunnya pH) dapat diukur dengan teknik titrasi dan digunakan untuk menentukan jumlah CO<sub>2</sub> yang terserap. Teknik ini dapat dikerjakan dengan ketelitian cukup tinggi, terutama pada konsentrasi CO<sub>2</sub> sekitar 1,0%.

## PENGARUH SUBSTRAT

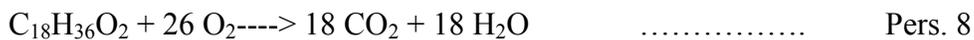
Dapat dilihat pula bahwa pada seri reaksi tersebut (pers.4) diperlukan oksigen dan diproduksi CO<sub>2</sub>. Dengan demikian, laju reaksi respirasi dapat diukur dengan mengukur jumlah CO<sub>2</sub> yang diproduksi atau jumlah O<sub>2</sub> yang dikonsumsi. Berdasarkan stoikiometri (pers.4) kita bisa duga bahwa jumlah mol O<sub>2</sub> yang dikonsumsi akan sama dengan jumlah mol CO<sub>2</sub> yang diproduksi selama respirasi. Namun dalam kenyataannya tidaklah demikian. Hal ini disebabkan pada sebagian besar buah dan sayur, biasanya terdapat senyawa-senyawa organik lain yang dapat dioksidasi dalam proses respirasi pada siklus Krebs. Asam malat, misalnya, dapat dioksidasi secara sempurna menurut persamaan (6) berikut:



Pada proses respirasi tersebut (pers.4) akan dihasilkan sejumlah CO<sub>2</sub> yang lebih besar daripada jumlah O<sub>2</sub> yang dikonsumsi. Perbandingan antara jumlah CO<sub>2</sub> yang diproduksi dan O<sub>2</sub> yang dikonsumsi selama proses respirasi ini biasanya dinyatakan dengan nilai RQ (*Respiration Quotient*), yang didefinisikan seperti pada persamaan (7).

$$\text{RQ} = \frac{\text{Jumlah CO}_2 \text{ yang diproduksi (mL)}}{\text{Jumlah O}_2 \text{ yang dikonsumsi (mL)}} \dots \text{ Pers. 7}$$

Sebagai contoh, untuk oksidasi glukosa secara sempurna, nilai RQ=1,0 sedangkan untuk asam malat nilai RQ=1,3. Senyawa lain yang mungkin dapat digunakan sebagai substrat untuk proses respirasi adalah asam lemak berantai panjang, misalnya asam stearat (C<sub>18</sub>H<sub>36</sub>O<sub>2</sub>).



Asam lemak demikian mempunyai jumlah oksigen per atom karbon yang lebih sedikit dibandingkan dengan gula sederhana (glukosa) sehingga untuk proses oksidasi sempurna (menghasilkan CO<sub>2</sub>) diperlukan jumlah oksigen yang lebih banyak. Hal ini terukur dengan nilai RQ <1.0. Untuk reaksi pada persamaan (8), RQ = 0.7.

Diskusi di atas menunjukkan bahwa nilai RQ ini penting untuk menduga jenis substrat utama yang berperan dalam proses respirasi. Nilai RQ yang rendah

menandakan bahwa lemak menjadi substrat utama, sedangkan nilai RQ yang tinggi menunjukkan bahwa metabolisme asam organik adalah proses yang dominan. Pada buah apokad yang mengandung kadar lemak tinggi (sekitar 25% berdasarkan berat segar) tentunya akan mempunyai RQ yang lebih rendah. Respirasi anaerobik tentunya ditandai dengan RQ yang sangat tinggi.

Nilai RQ ini juga berubah selama pertumbuhan dan penyimpanan. Hal ini disebabkan karena bagi sel tanaman, karbohidrat adalah substrat pilihan bagi proses respirasi. Karena itu, karbohidrat akan dioksidasi lebih dahulu daripada lemak ataupun substrat lainnya. Dalam keadaan terkurasnya cadangan karbohidrat selama penyimpanan, maka sel mulai mengoksidasi substrat lainnya. Maka akibatnya nilai RQ akan berubah selama penyimpanan.

Berdasarkan umur tanaman, laju respirasi per unit berat tertinggi terjadi pada buah mentah (hijau) dan sayuran yang belum dewasa. Laju ini kemudian menurun seiring dengan bertambahnya umur. Beberapa jenis buah dan sayur dapat dikelompokkan berdasarkan laju respirasinya seperti dapat dilihat pada Tabel 4-1.

**Tabel 4-1. Buah dan sayur berdasarkan laju respirasinya**

<b>Kelompok</b>	<b>Laju respirasi pada 5°C (mg/CO<sub>2</sub>/kg/jam)</b>	<b>Buah/sayur</b>
Sangat rendah	< 5	Sebagian besar sayuran
Rendah	5 – 10	Apel, jeruk, anggur, kentang, bawang
Sedang	10 – 20	Pisang, kubis, wortel, selada, cabe, tomat
Tinggi	20 – 40	Strawberry, bunga kol, alpukat
Sangat tinggi	40 – 60	Bawang
Sangat sangat tinggi	> 60	Asparagus, brokoli, bayam, jagung manis

Luas permukaan produk juga mempengaruhi kecepatan respirasi buah dan sayur. Buah yang sudah dipotong mempunyai kecepatan respirasi yang lebih tinggi dibandingkan buah utuh karena luas permukaannya lebih besar. Contoh perbedaan kecepatan respirasi beberapa jenis buah dalam keadaan utuh dan dipotong dapat dilihat pada Tabel 4-2.

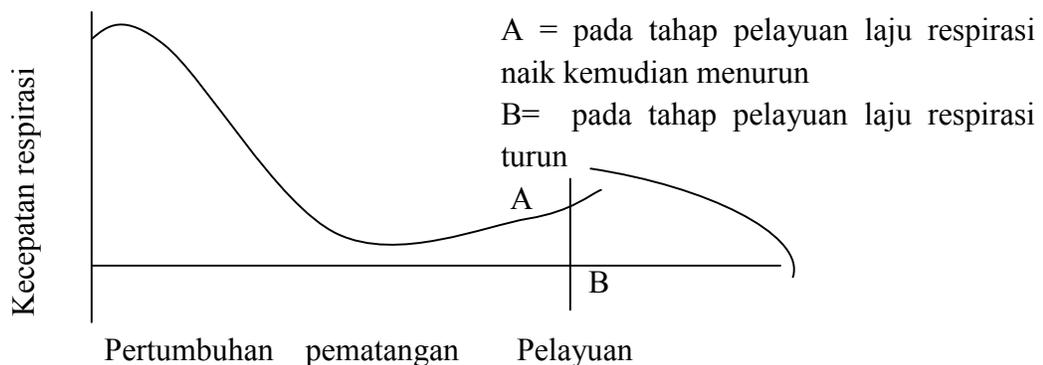
**Tabel 4-2. Kecepatan respirasi buah utuh dan potong**

Buah	Bentuk	Kecepatan respirasi pada suhu..... (mg CO <sub>2</sub> /kg/jam)		
		0°C	5°C	10°C
Kiwi	Utuh	3,2	4,6	8,6
	Potong	7,2	11,6	23,3
Peach	Utuh	4,0	8,1	15,0
	Potong	6,0	10,0	18,6
Melon	Utuh	1,4	4,6	5,2
	Potong	2,3	3,0	8,3

Sumber: Watada *et al.* (1996)

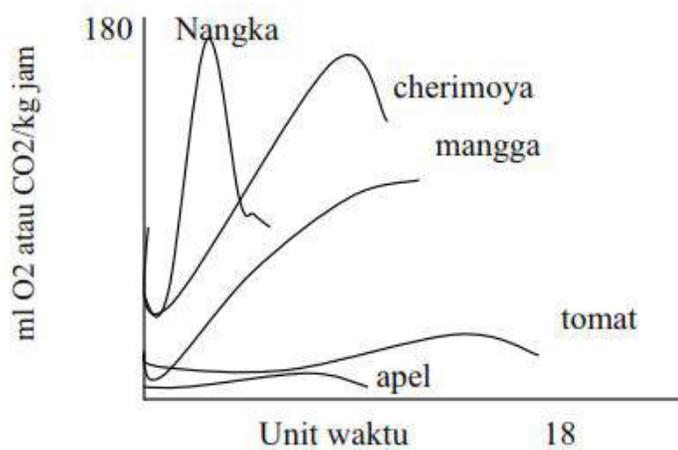
### III. FISILOGI RESPIRASI

Laju reaksi respirasi merupakan kriteria yang sangat baik untuk digunakan menduga tingkat kegiatan metabolik suatu produk, dan karenanya ia dapat digunakan untuk menduga daya simpan produk yang bersangkutan. Seperti telah dikemukakan di muka, laju reaksi respirasi dapat diukur dengan mengukur jumlah CO<sub>2</sub> yang diproduksi atau jumlah O<sub>2</sub> yang dikonsumsi. Jika kita mengukur laju reaksi respirasi sepanjang proses pertumbuhan, pematangan dan pelayuan, maka akan diperoleh suatu pola respirasi yang unik, seperti diperlihatkan pada Gambar 4-6.



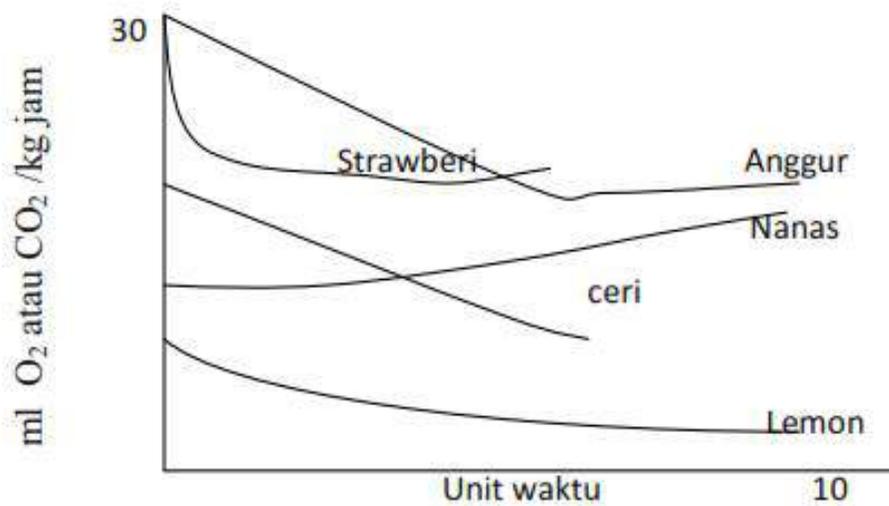
**Gambar 4-6. Hubungan antara pertumbuhan buah/sayur dengan laju respirasi**

Laju respirasi per satuan berat pada buah dan sayuran yang masih muda biasanya sangat tinggi, dan kemudian terus menerus menurun dengan semakin bertambahnya umur. Sekelompok buah-buahan, seperti tomat, mangga, pisang, dan apel, mempunyai pola respirasi yang unik. Pada buah-buahan ini laju respirasi akan meningkat bersamaan dengan proses pematangan. Pola respirasi demikian dikenal sebagai respirasi klimakterik, dan buah-buahan yang mempunyai pola respirasi klimakterik juga dikelompokkan sebagai buah klimakterik. Intensitas dan lamanya peningkatan laju respirasi selama klimakterik ini tergantung pada jenis komoditi, seperti diperlihatkan pada Gambar 4-7.



**Gambar 4-7. Pola respirasi beberapa jenis buah klimakterik**

Kelompok buah-buahan yang lain, yang tidak menunjukkan adanya respirasi klimakterik dikelompokkan ke dalam kelompok non-klimakterik. Termasuk dalam kelompok non-klimakterik ini adalah buah nanas, strawberry, dll. Contoh grafik laju respirasi beberapa jenis buah non klimakterik dapat dilihat pada Gambar 4-8. Tabel 4-3 menyajikan daftar buah-buahan berdasarkan atas respirasi klimakterik dan non-klimakterik. Sayur-sayuran, umumnya dapat dikelompokkan dalam kelompok non-klimakterik.



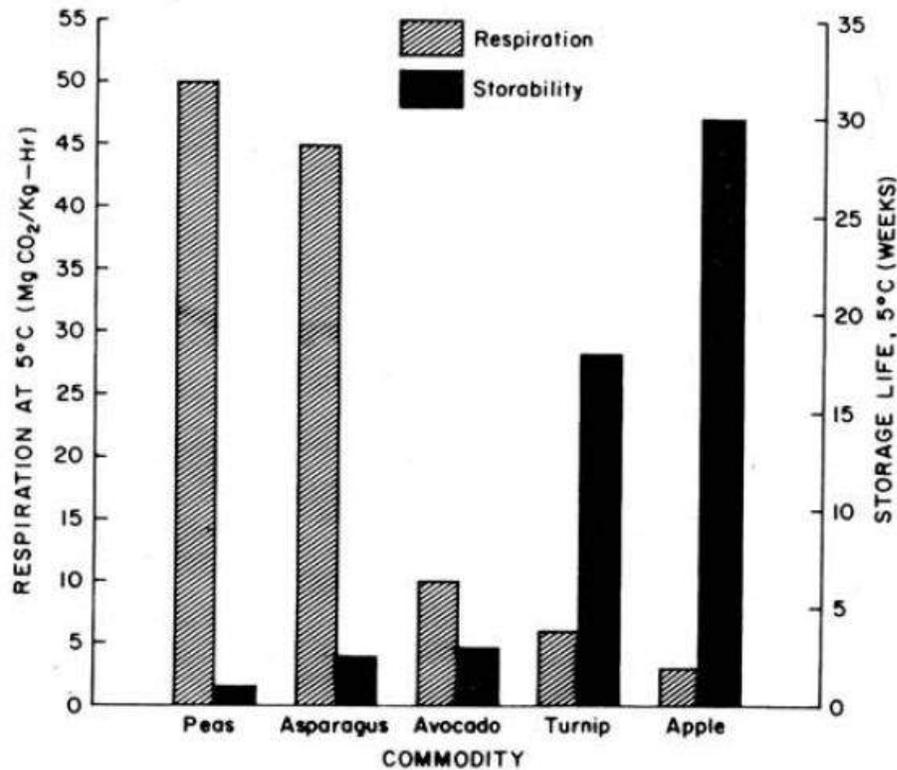
Gambar 4-8. Pola respirasi beberapa jenis buah non klimakterik

Tabel 4-3. Klasifikasi beberapa buah-buahan berdasarkan pada pola respirasinya selama proses pematangan.

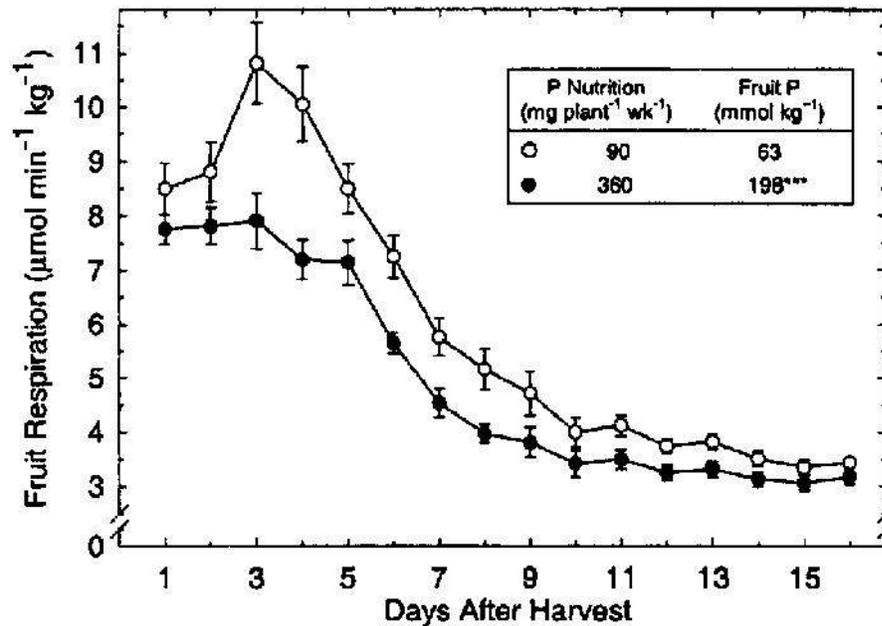
Klimakterik	Non-Klimakterik
Apel ( <i>Malus domestica</i> )	Cherry manis ( <i>Prunus avium</i> )
Apricot ( <i>Prunus armeniaca</i> )	Cherry masam ( <i>Prunus serasus</i> )
Avocad ( <i>Persea americana</i> )	Anggur ( <i>Vitis vinifera</i> )
Buah persik ( <i>Passiflora edulis</i> )	Ketimun ( <i>Cucumis sativus</i> )
Blueberry ( <i>Vaccinium corymbosum</i> )	Nanas ( <i>Ananas comosus</i> )
Buah kiwi ( <i>Actinida deliciosa</i> )	Lemon ( <i>Citrus limon</i> )
Mangga ( <i>Mangifera indica</i> )	Strawberry ( <i>Fragaria</i> sp.)
Muskmelon ( <i>Cucumis melo</i> )	
Semangka ( <i>Citrullus lanatus</i> )	
Pepaya ( <i>Carica papaya</i> )	
Pisang ( <i>Musa</i> sp.)	
Peach ( <i>Prunus persica</i> )	
Pear ( <i>Pyrus communis</i> )	
Plum ( <i>Prunus</i> sp.)	
Tomat ( <i>Lycopersicum esculentum</i> )	

#### IV. RESPIRASI DAN DAYA SIMPAN

Umumnya terdapat hubungan yang cukup erat antara laju respirasi dan daya awet/simpan suatu komoditi. Semakin rendah laju reaksi respirasi, semakin lama masa simpan komoditi yang bersangkutan. Secara umum, hubungan antara laju respirasi awal dan daya simpan suatu komoditi dapat dilihat pada Gambar 4-9. Produk yang sudah dipanen, semakin lama laju respirasinya juga semakin menurun, seperti contoh pada ketimun yang dapat dilihat pada Gambar 4-10.



Gambar 4-9. Hubungan antara kecepatan respirasi dan umur simpan pada beberapa buah dan sayur (Haard, 1983)



**Gambar 4-10. Perubahan kecepatan respirasi ketimun selama penyimpanan (Knowless *et al.*, 2001)**

Telah dikemukakan di muka bahwa respirasi adalah proses peruraian untuk memproduksi energi yang diperlukan untuk proses kehidupan. Dengan demikian laju respirasi dapat dilihat sebagai laju konsumsi cadangan energi (bahan kimia) dalam jaringan tanaman. Dalam kaitannya dengan masa simpan, ada beberapa aspek yang perlu diperhatikan dari proses respirasi buah dan sayuran (lihat persamaan 1), yaitu :

1. Turunnya kandungan substrat. Kehilangan atau menurunnya konsentrasi substrat (gula dan asam-asam organik) selama proses respirasi akan mempengaruhi mutu, terutama mutu cita rasa. Pada buah-buahan, misalnya, proses respirasi yang terlalu cepat akan menyebabkan menurunnya tingkat kemanisan, karena menurunnya kadar gula. Turunnya kandungan asam-asam organik juga akan menyebabkan menurunnya mutu aroma. Pada produk-produk tertentu, proses respirasi yang berlanjut juga bisa menurunkan berat kering secara nyata. Jika substrat yang digunakan dalam proses respirasi ini adalah gula heksosa, maka bisa dihitung bahwa sekitar 180 g gula akan hilang untuk setiap 264 g CO<sub>2</sub> yang dikeluarkan selama proses respirasi.
2. Keperluan oksigen. Untuk menjamin proses respirasi supaya berlangsung dengan baik maka oksigen harus dijaga pada tingkat tertentu sehingga proses respirasi aerobik tetap berlangsung. Dalam kaitannya dengan masa simpan, maka proses respirasi aerobik ini adalah proses respirasi yang diinginkan. Hal ini disebabkan oleh dua hal, (i) pertama, reaksi respirasi an-aerobik tidak

efisien dalam menghasilkan energi, dan (ii) kedua, respirasi an-aerobik menghasilkan etanol yang dalam jumlah tertentu akan bersifat racun bagi jaringan tanaman. Dalam kenyataannya, dua macam reaksi respirasi tersebut dapat terjadi secara bersama-sama, dimana konsentrasi oksigen atmosfer akan mengatur proporsi antara keduanya. Hal yang perlu diperhatikan adalah bahwa reaksi respirasi an-aerobik yang berkepanjangan akan menurunkan daya simpan.

3. Produksi karbondioksida. Faktor penting yang mempengaruhi laju respirasi dan daya awet adalah produksi  $\text{CO}_2$ . Akumulasi  $\text{CO}_2$  yang terjadi selama proses respirasi dapat menguntungkan tetapi dapat pula merugikan tergantung pada konsentrasi  $\text{CO}_2$  pada ruangan penyimpanan. Pengaturan konsentrasi  $\text{CO}_2$  dan  $\text{O}_2$  pada ruang penyimpanan ini bahkan dijadikan dasar untuk teknik pengawetan yang sering disebut dengan teknik penyimpanan atmosfer terkendali (Controlled Atmosphere Storage), yang akan dibahas lebih lengkap pada Bab 8. Namun perlu pula diingat bahwa kepekaan atas rendahnya konsentrasi  $\text{O}_2$  dan tingginya konsentrasi  $\text{CO}_2$  juga dipengaruhi oleh jenis buah dan sayuran, serta faktor-faktor lainnya (Lebih lanjut lihat Bab 8).

Selain itu, beberapa faktor lainnya yang juga penting adalah suhu, kadar air, dan lain-lain. Luka pada jaringan buah dan sayuran, akan meningkatkan laju respirasi. Yang dimaksud dengan luka disini adalah dapat dibedakan dalam dua kelas. Pertama, adalah luka mekanik, yaitu kerusakan membran sel, misalnya karena terbentur, tertusuk, dll. Kedua, adalah luka yang diakibatkan karena adanya infeksi organisme lain, misalnya infeksi jamur atau virus. Dalam teks asing, naiknya laju respirasi karena adanya luka mekanik sering disebut "wound respiration", sedangkan yang diakibatkan karena adanya infeksi sering disebut "infection-induced respiration". Proses naiknya laju respirasi karena adanya luka ini berhubungan erat dengan proses penyembuhan. Dengan adanya luka, maka proses sintesa untuk penyembuhan, misalnya sintesa lignin, menjadi sangat diperlukan. Untuk memenuhi keperluan energi yang diperlukan untuk sintesa tersebut, maka laju reaksi respirasi menjadi dipercepat. Pengaruh atas beberapa faktor terhadap laju respirasi dan sekaligus daya awet/simpan buah dan sayuran akan dibahas pada Bab-Bab berikutnya.

**Tabel 4-4. Faktor-faktor yang berpengaruh pada laju respirasi pada jaringan tanaman yang utuh (intact)**

Faktor	Keterangan
Species tanaman	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Perkembangan organ: semakin tinggi tingkat perkembangan organ, semakin banyak jumlah CO<sub>2</sub> yang dihasilkan</li> <li>• Susunan kimiawi: semakin tinggi kadar karbohidrat, laju respirasi akan semakin cepat.</li> <li>• Tebal lapisan kulit: semakin tebal, laju respirasi semakin rendah,</li> </ul>
Suhu	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Laju respirasi meningkat 2 sampai 2,5 kali tiap kenaikan 10°C (penjelasan lebih lanjut lihat Bab 8.1)</li> </ul>
Kadar air	<ul style="list-style-type: none"> <li>• (penjelasan lebih lanjut lihat Bab 6)</li> </ul>
Adanya luka	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kerusakan atau luka dapat memacu terjadinya respirasi (penjelasan lihat Bab 6)</li> </ul>
Ketersediaan bahan (heksosa, dll).	
Umur dan ukuran	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Umur: pada jaringan muda proses metabolisme lebih dibandingkan jaringan tua</li> <li>• Ukuran produk: lebih kecil ukuran, laju respirasi lebih cepat daripada buah yang besar (penjelasan lebih lanjut lihat Bab 8.2)</li> </ul>
Komposisi gas didalam (disekitar) dan diluar jaringan	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pemberian etilen pada tingkat pra-klimaterik, akan meningkatkan respirasi buah klimaterik</li> <li>• Semakin tinggi kadar oksigen, laju respirasi semakin cepat</li> <li>• Konsentrasi CO<sub>2</sub> yang sesuai dapat menurunkan laju respirasi (penjelasan lebih lanjut lihat Bab 8.3)</li> </ul>
Zat pengatur tumbuh	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Senyawa pengatur tumbuh dapat mempercepat atau menghambat respirasi yang pengaruhnya sangat bervariasi tergantung jenis jaringan dan waktu penggunaan serta kemudahan terserap oleh jaringan. Sebagai contoh: naftalen asam asetat (NAA) merangsang respirasi buah-buahan yang dipanen pada tahap pra-klimaterik; sedangkan isopropil-n-fenilkarbamat (IPC) pada konsentrasi 100 ppm dapat menghambat respirasi beberapa buah.</li> </ul>

# Bab 5.

# ETILEN

Etilen ( $\text{CH}_2=\text{CH}_2$ ,  $\text{C}_2\text{H}_4$ ) mempunyai peranan penting pada setiap tahap pertumbuhan dan perkembangan jaringan tanaman. Peranan penting etilen pada proses pematangan buah-buahan mulai disadari sejak awal 1900. Pada saat itu, terdapat praktek umum bahwa untuk memperoleh warna jeruk lemon yang kuning menarik, biasanya jeruk lemon disimpan pada ruangan yang hangat. Untuk menghangatkan ruangan, energi panas diperoleh dengan cara pembakaran menggunakan bahan bakar minyak tanah. Selain suhu hangat, yang memang diperlukan untuk proses perubahan warna tersebut (yaitu proses perubahan warna hijau menjadi kuning, karena itu disebut sebagai proses disebut "*degreening*"), ternyata penyebab utamanya adalah etilen yang diproduksi selama proses pembakaran tersebut. Sejak itu, etilen dikenal sebagai bahan kimia yang tidak hanya dapat mempercepat proses pematangan, tetapi juga proses perkecambahan serta pelayuan.

Pada saat itu pula, telah diketahui bahwa pada proses pematangan suatu buah selalu diproduksi suatu senyawa volatil (gas) yang mempercepat proses pematangan buah-buahan lainnya yang ada disekitarnya. Pada tahun 1934, ditemukan bahwa senyawa aktif pada gas ini adalah etilen. Jadi setiap buah-buahan dan jaringan tanaman lainnya ternyata memproduksi sejumlah kecil etilen. Karena itu maka etilen sering disebut sebagai hormon pematangan buah. Saat sekarang, etilen dipakai secara komersial untuk mempercepat proses pematangan.

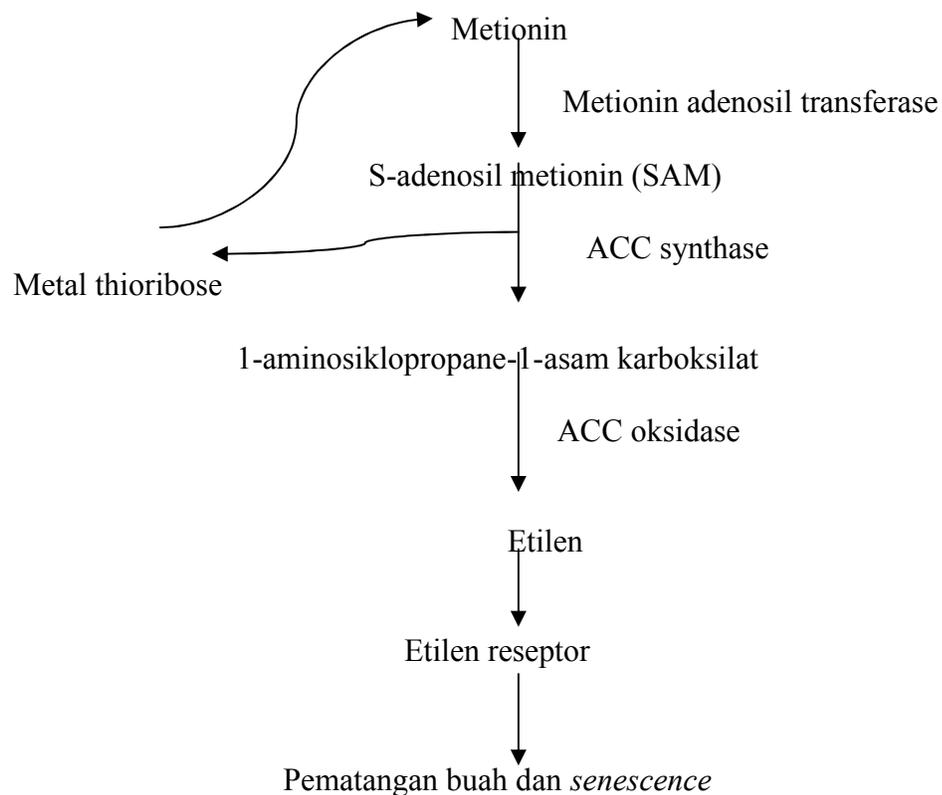
Sebagai hormon, etilen ini sangat unik sebab mempunyai rumus molekul yang sangat sederhana ( $\text{CH}_2=\text{CH}_2$ ) dan bersifat gas. Etilen ini dapat dibedakan dalam dua hal, pertama etilen yang secara *endogenous* diproduksi oleh jaringan tanaman itu sendiri (etilen internal) dan etilen yang secara sengaja ditambahkan pada atmosfer dari sumber luar. Karena bersifat gas, maka penambahan etilen hanya dimungkinkan dalam kemasan tertutup. Secara komersial, sekarang telah tersedia senyawa yang disebut "*etilen-releasing compounds*", yaitu asam 2-chloroethylphosphonat. Senyawa ini secara spontan akan terurai menjadi chlorida, etilen dan orthophosphat sesaat setelah dilarutkan dalam air.

## I. BIOSINTESA ETILEN

Pada jaringan tanaman, etilen disintesa dari asam amino methionin melalui seri reaksi (Gambar 5-1) yang melibatkan *S-adenosyl-methionin* (SAM) dan

*1-aminocyclopropane-1-asam karboksilat* (ACC). Methionin, pertama-tama diubah menjadi SAM yang kemudian dikonversikan menjadi ACC dan *methylthioadenosine* (MTA). MTA ini akan secara cepat dihidrolisis menjadi *methylthioribosa* (MTR) yang lebih lanjut akan dikonversi kembali menjadi methionin melalui seri reaksi yang melibatkan oksidasi dan transaminasi. Akhirnya, ACC ini dioksidasi menjadi etilen, CO dan HCN. HCN secara cepat akan digunakan untuk sintesa asparagine.

Tahapan konversi SAM ke ACC yang dikatalisa oleh enzim ACC synthase merupakan tahapan penentu (tahapan pembatas laju reaksi = *rate limiting step*) pada biosintesa etilen ini. Walaupun demikian, penambahan ACC pada buah-buahan yang sudah tua atau masak tidak memberikan peningkatan jumlah etilen yang diproduksi secara nyata. Hal ini menunjukkan bahwa ada satu tahap lagi yang juga penting dalam biosintesa etilen ini, yaitu tahapan konversi dari ACC menjadi etilen yang dikatalisa oleh enzim pembentuk etilen (EFE = *etilen forming enzyme*). Sampai sekarang EFE belum dapat diidentifikasi, namun diketahui bahwa EFE ini sangat tidak stabil dan diperkirakan berada pada membrane sel.



**Gambar 5-1. Biosintesa etilen pada tanaman**

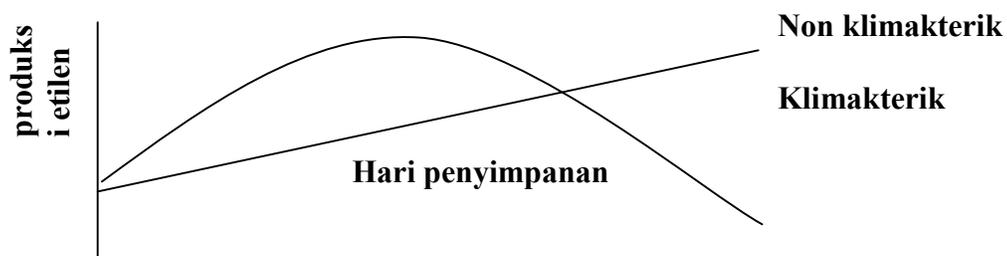
## II. PRODUKSI ETILEN

Semua buah dan sayuran telah diketahui memproduksi sejumlah kecil etilen selama perkembangannya. Walaupun demikian, bersamaan dengan proses pematangan, buah-buahan klimakterik memproduksi etilen lebih banyak daripada buah-buahan non-klimakterik. Perbedaan ini akan lebih nyata terlihat pada Tabel 5-1 berikut. Terlihat pada tabel tersebut bahwa konsentrasi etilen internal pada buah-buahan klimakterik sangat bervariasi selama proses perkembangannya. Sebaliknya, untuk buah-buahan non-klimakterik variasi konsentrasi internal ini sangat kecil.

**Tabel 5-1. Konsentrasi ambang etilen bagi berbagai buah-buahan**

Buah-buahan	Konsentrasi Ambang (ppm)
Apokad (var. <i>Choquette</i> )	0,1
Pisang	0,1-0,5
Cantalopue	0.1 -1
Melon " <i>honey dew</i> "	0,3 - 1
Lemon	0,1
Mangga	0,04 -0,4
Jeruk	0,1
Tomat	0.5

Variasi konsentrasi etilen seperti tertera pada Tabel 5-1 menunjukkan kisaran konsentrasi etilen pada berbagai tahapan perkembangannya. Pada berbagai buah, produksi etilen ini berlangsung paralel dengan proses respirasi, tetapi beberapa yang lain, produksi etilen ini akan meningkat dengan drastis pada awal klimakterik dan akhirnya menurun pada saat laju respirasi mencapai puncaknya. (Gambar 5-2). Berdasarkan produksi etilen, buah dan sayur dapat dikelompokkan menjadi 5 kelompok seperti terlihat pada Tabel 5-2.



**Gambar 5-2. Pola produksi etilen dari buah klimakterik dan buah non klimakterik**

**Tabel 5-2. Kecepatan produksi etilen pada buah dan sayur**

Tingkat kecepatan	Produksi etilen ( $\mu\text{l/kg/jam}$ pada $20^{\circ}\text{C}$ )	Buah/sayur
Sangat rendah	0.01 – 0.1	Ceri, jeruk, anggur, strawberi, duku, sayuran berdaun, sayuran berbentuk akar, kentang
Rendah	0.1– 1.0	Blueberry, ketimun, nanas, raspberry
Sedang	1.0 – 10	Pisang, melon, mangga, tomat
Tinggi	10 – 100	Apel, apricot, avokad, belewah, kiwi, papaya, peach, pir, plum
Sangat tinggi	>100	Apel “mammee”, markisa, “cherimoya

Sumber: Rees dan Hammond (2002)

### III. PENGARUH ETILEN

Dari segi fisiologi pasca panen, pengaruh etilen terhadap proses pematangan merupakan hal yang perlu diperhatikan secara lebih detail. Telah lama diketahui bahwa etilen mempunyai pengaruh yang sangat penting terhadap berbagai reaksi fisiologi (Tabel 5-3). Walaupun demikian, mekanisme respon tersebut masih merupakan topik penelitian yang sangat aktif di bidang fisiologi tanaman sampai sekarang.

**Tabel 5-3. Pengaruh etilen pada berbagai proses fisiologi produk hortikultura**

No	Pengaruh
1.	Stimulasi pematangan buah
2.	Degradasi khlorophil ( <i>degreening</i> )
3.	Stimulasi pelayuan bunga
4.	Merangsang jatuhnya buah dan daun (absisi)
5.	Merangsang terbentuknya bunga jantan (pada tanaman ketimun)
6.	Merangsang terbentuknya bunga (pada tanaman nanas)

Sebagai hormon, etilen diperkirakan akan diikat oleh suatu reseptor pada sisi khusus untuk membentuk kompleks yang kemudian akan memulai seri reaksi pada proses pematangan. Karena itu, daya kerja atau pengaruh etilen ini dapat dipengaruhi dengan mengubah jumlah reseptor atau dengan mempengaruhi proses

pengikatan etilen dengan reseptornya. Studi lebih detail tentang hal ini menunjukkan bahwa ikatan antara etilen dan reseptor adalah suatu proses yang bolak-balik (*reversible*) yang terjadi pada sisi khusus yang mengandung unsur logam. Diperkirakan unsur logam tersebut adalah tembaga (Cu). Dari studi kinetika diketahui bahwa affinitas reseptor terhadap etilen meningkat dengan adanya oksigen dan menurun dengan adanya CO<sub>2</sub>. (Mekanisme pengendalian etilen dengan mengubah konsentrasi O<sub>2</sub> dan CO<sub>2</sub> ini akan dibahas lebih lanjut dalam Bab tentang *Control Atmosphere Storage*).

Pengaruh etilen terhadap proses pematangan ini lebih lanjut membedakan antara kelompok klimakterik dan non-klimakterik. Buah-buahan klimakterik sangat sensitif terhadap etilen yang ditambahkan pada lingkungannya (etilen eksternal). Tabel 5-1 menyajikan data tentang konsentrasi ambang etilen bagi beberapa buah-buahan. Untuk kebanyakan buah-buahan, konsentrasi ambang ini adalah sekitar 0.1 sampai 1 ppm. Pada konsentrasi etilen tersebut, exposure selama 1 hari, umumnya sudah cukup untuk merangsang proses pematangan, seperti terlihat pada gambar A. Sebaliknya, untuk mempercepat proses pematangan pada buah-buahan non-klimakterik diperlukan sejumlah etilen eksternal yang lebih besar.

#### A. Pengaruh Suhu terhadap etilen

Produksi etilen dipengaruhi oleh suhu, dimana suhu rendah maupun tinggi dapat menekan produksi etilen. Aktivitas etilen dalam pematangan buah akan semakin rendah dengan menurunnya suhu. Penggunaan suhu rendah sering dilakukan dalam praktek penyimpanan buah-buahan, karena akan dapat memperpanjang daya simpan buah-buahan. Suhu optimal untuk produksi dan aktifitas etilen pada buah tomat dan apel adalah 32<sup>0</sup> C, sedang untuk buah-buahan yang lain suhunya lebih rendah. Tabel 5-4 menyajikan produksi etilen beberapa jenis buah pada variasi suhu penyimpanan.

**Tabel 5-4. Produksi etilen beberapa jenis buah pada suhu penyimpanan berbeda**

Suhu (°C)	Produksi etilen (µl/kg/h)		
	“Nectarine”	Peach	Plum
0	0.01–5	0.01–5	0.01–5
5	0.02–10	0.02–10	0.02–15
10	0.05–50	0.05–40	0.04–60
20	0.1–160	0.1–140	0.1–200

## B. Manfaat etilen pada penanganan pasca panen buah dan sayur

Berhubungan dengan sifatnya, etilen dapat memainkan beberapa peran penting pada penanganan buah dan sayur, terutama untuk komoditas yang sangat mudah mengalami kerusakan. Secara aplikatif, peran etilen pada proses penanganan buah dan sayur dapat dilihat pada penjelasan berikut.

- **Mempercepat proses pematangan**

Etilen dapat digunakan untuk mempercepat dan menyeragamkan proses pematangan pada buah-buah klimakterik. Manfaat etilen untuk mempercepat proses pematangan ini sudah banyak diaplikasikan di masyarakat. Etilen sintesis yang dikenal sebagai “karbit” biasa digunakan untuk mempercepat pematangan buah mangga, pisang, dan sebagainya. Contoh aplikasi penambahan etilen untuk mempercepat pematangan buah dapat dilihat pada Tabel 5-5. Hal yang sebaliknya, apabila buah tersebut akan dibawa atau ditransportasikan ke tempat yang jauh, maka buah dipanen dalam keadaan unripe dan disimpan pada kondisi yang memungkinkan produksi etilen dihambat, misalnya penggunaan suhu rendah, dan sebagainya. Pada saat tiba di tempat tujuan dilakukan penambahan etilen untuk mempercepat kematangan.

**Tabel 5-5. Kondisi pematangan beberapa buah menggunakan etilen**

Buah	Suhu (°C)	Konsentrasi etilen (ppm)	Waktu (jam)
Alpukat	18-21	10	24-72
Pisang	15-21	10	24
Kiwi	18-21	10	24
Persimmon	18-21	10	24
Tomat	13-22	10	kontinyu

Sumber : Wills *et al.* (1998)

- **Mempertahankan *degreening***

Pada beberapa jenis buah tertentu, konsumen mengharapkan warna buah yang tidak lagi hijau, tetapi klorofil alami dalam buah tetap ada. Sebagai contoh, pada buah jeruk yang tumbuh di daerah panas serta beberapa varietas tertentu buah nanas. Keinginan konsumen tersebut dapat dipenuhi dengan perlakuan menggunakan etilen.

- **Mempercepat terjadinya absisi buah**

Etilen dapat digunakan untuk mempercepat proses absisi/perontokan buah sehingga membantu pemanenan. Cara mempercepat absisi dilakukan dengan menyemprotkan etilen pada tanaman sehingga buah yang ada bisa jatuh dengan sendirinya tanpa harus dipetik. Cara ini dapat dilakukan apabila tingkat “ketuaan”

atau kematangan buah pada satu pohon sama, karena apabila tidak maka buah yang masih muda juga akan rontok

- **Mempercepat pertumbuhan**

Pertumbuhan kentang dapat diinduksi oleh etilen. Penggunaan etilen sebagai penginduksi kentang mengakibatkan efek samping yang tidak diinginkan yaitu rontoknya daun, terjadi warna kuning, dan timbulnya bintik-bintik hitam, sehingga perlu ketelitian pada penggunaan dosis tinggi.

#### **IV. SIFAT-SIFAT FISIKO KIMIA GAS ETILEN**

Penggunaan etilen yang meluas memerlukan pengetahuan tentang sifat-sifat fisiko-kimia gas etilen, sehingga penanganannya dapat lebih aman dan efisien. Tabel 5-6 berikut menyajikan beberapa sifat fisiko-kimia etilen.

Berdasarkan karakter fisiologisnya mencakup pola respirasi (produksi  $\text{CO}_2$ ) dan produksi etilen, buah dapat dibedakan menjadi buah klimakterik dan buah non klimakterik. Produksi  $\text{CO}_2$  dan produksi etilen dari buah klimakterik mengalami lonjakan produksi pada saat buah matang, sementara untuk buah non klimakterik tidak terjadi lonjakan produksi baik  $\text{CO}_2$  maupun etilen. Apabila digambarkan dalam bentuk grafik, maka ciri buah klimakterik mengikuti garis dengan fungsi kuadrat, sedangkan untuk buah non klimakterik memiliki fungsi linier (Gambar 5-2). Perbedaan antar buah klimakterik dan buah non klimakterik adalah menyangkut perolehan buah matang yaitu kematangan buah klimakterik dapat diperoleh melalui pemeraman, sedangkan buah non klimakterik matang hanya dapat diperoleh dipohon atau tidak dapat diperam.

**Tabel 5-6 Sifat-sifat fisiko-kimia gas etilen\*)**

<b>Sifat-Sifat</b>	<b>Keterangan</b>
Penampakan	tidak berwarna, merupakan gas hidrokarbon dengan aroma manis, dengan mudah dideteksi pada konsentrasi rendah (ppm)
Berat Molekul	28.05
Titik Didih (Td)	-103.7 °C
pada 760 mm Hg	-118 °C
pada 300 mm Hg	-153 °C
pada 10 mm Hg	-153 °C
$\Delta Td/\Delta p$ pada 750 - 770 mm Hg	0.022 °C per mm Hg
Titik beku pada tekanan jenuh ( <i>triple point</i> )	- 169.2 °C
Tegangan permukaan pada -103.7 °C	16.4 dyne/cm
Batas " <i>flammable</i> " di udara**)	
batas bawah	3.1% (by vol)
batas atas	32% (by vol)

\*) Reid, 1985

\*\*\*)Semua komposisi diantara batas bawah dan batas atas bersifat mudah terbakar dan bisa meledak.

## Bab 6.

# SISTEM PEMANENAN DAN PENYIMPANAN BUAH SAYURAN

Buah dan sayuran pada dasarnya adalah produk biologi yang masih hidup sehingga proses-proses fisiologi tetap perlu dipelihara dan dikendalikan dengan baik selama penyimpanan. Berbagai proses fisiologi yang penting diperhatikan selama proses penyimpanan antara lain adalah (1) perkecambahan (*sprouting*; kentang, bawang, berbagai umbi-umbian; jahe, dll), (2) pemanjangan (*elongation*; contohnya asparagus dan wortel), (3) terbentuknya akar (*rooting*; umumnya terjadi pada ruangan penyimpanan yang kelembabannya terlalu tinggi), (4) terbentuknya warna hijau (*greening*; misalnya kentang yang disimpan dengan adanya cahaya yang terlalu tinggi intensitasnya) dan (5) pengerasan (*toughening*; misalnya jagung manis yang terlalu lama disimpan pada suhu yang relatif tinggi). Perubahan-perubahan fisiologi tersebut perlu dikendalikan sehingga mutu kesegaran buah dan sayuran dapat dipertahankan dengan maksimal.

Buah dan sayur agar memiliki kualitas baik memerlukan perlindungan sejak budidaya atau produksi di lapangan sampai siap dikonsumsi atau diolah. Kerusakan buah dapat terjadi selama proses budidaya, saat panen, transportasi atau penyimpanan. Beberapa jenis kerusakan yang sering terjadi selama pasca panen buah dan sayur dapat dilihat pada Tabel 6-1. Untuk menghindari penyebab atau menunda kerusakan perlu memperhatikan beberapa tindakan, terutama saat panen dan penyimpanan, sedangkan kerusakan saat proses budidaya tidak akan kita bahas di buku ini.

### I. PEMANENAN DAN PENANGANAN PASCA PANEN

Langkah pertama untuk mendapatkan mutu buah dan sayur yang maksimal adalah memperhatikan cara pemanenan dan waktu panen. Pemanenan produk harus dilakukan secara hati-hati sehingga tidak menimbulkan kerusakan fisik. Saat panen sebaiknya dilakukan saat cahaya matahari tidak terik dengan tujuan menghindaripenguapan air dari bahan.

Sayuran daun, sebaiknya dipanen pagi hari sebelum matahari terbit, sedangkan sayuran lain dan buah bisa dipanen pada pagi atau sore hari karena saat itu kesegarannya sedang pada puncaknya. Setelah panen, buah dan sayur secepatnya disimpan ditempat terlindung. Jika akan dilakukan penyimpanan, diperlukan sortasi

hasil dan penanganan yang lebih baik. Proses penanganan ini penting terutama jika volume hasil lebih besar dan kualitas beragam.

Sayuran daun lebih mudah mengalami kerusakan dibandingkan bentuk sayuran lainnya. Terkadang sayuran ini harus disimpan dengan cara ditumpuk, tetapi akan menimbulkan masalah jika keadaan lingkungan lembab. Pada kondisi lingkungan lembab, hal ini mengakibatkan sayuran akan berlendir dan membusuk dengan cepat. Untuk mencegah hal tersebut, harus diupayakan cara penyimpanan yang baik, misalnya diangin-anginkan terlebih dahulu.

**Tabel 6-1. Penyebab utama kerusakan pasca panen dan menurunnya mutu buah dan sayur**

<b>Buah/sayur</b>	<b>Penyebab utama kerusakan pasca panen dan menurunnya mutu</b>
Sayuran akar (wortel, beet), sayuran umbi (bawang, kentang)	Kerusakan mekanis Curing tidak cukup Terjadinya perkecambahan pada akar Kehilangan air Pembusukan <i>Chilling injury</i>
Sayuran daun (selada, bayam, sawi, daun bawang)	Kehilangan air (layu) Hilangnya warna hijau (daun menguning) Kerusakan mekanis Peningkatan laju respirasi Pembusukan
Sayuran bunga (brokoli, kembang kol)	Kerusakan mekanis Warna menjadi kuning serta perubahan warna yang lain Absisi pada tandan bunga Pembusukan
Sayuran buah (mentimun, labu kuning, terung)	Waktu panen terlalu matang Kehilangan air menjadi berkerut Terjadinya memar dan kerusakan mekanis <i>Chilling injury</i> Pembusukan
Buah (melon, jeruk, pisang, mangga, apel, anggur)	Terjadinya memar Saat pemanenan kelewat masak dan terlalu lunak Hilangnya air <i>Chilling injury</i> Pembusukan

Cara pemanenan kebanyakan buah dan sayur dilakukan secara manual kemudian dimasukkan ke dalam keranjang penampung sementara, untuk selanjutnya ditempatkan atau dikumpulkan di suatu tempat. Pada buah, pemanenan dilakukan

terhadap produk yang sudah mencapai kriteria yang ditetapkan sesuai dengan tujuan dan jarak pemasaran. Namun demikian, pemanenan pada kondisi matang optimal (*mature*) merupakan kondisi terbaik bagi buah-buahan agar diperoleh kualitas buah masak yang maksimal.

Penempatan komoditi panen pada wadah merupakan tindakan menghindari buah dari kerusakan fisik, mekanik ataupun kotoran. Pemilihan jenis bahan wadah sebaiknya didasarkan pada sifat permukaan komoditi bersangkutan. Permukaan wadah seharusnya bersih dan rata untuk menghindari luka lecet atau gesekan. Pengumpulan komoditi panen sering menyebabkan kerusakan yang cukup besar, apalagi jika panen dilakukan sekaligus dalam jumlah besar. Penempatan pada wadah selama pengumpulan hasil panen merupakan teknik untuk mengurangi kerusakan sehingga diperlukan penyediaan wadah yang cukup banyak. Persentase kerusakan pada buah atau sayur yang dikumpulkan dengan cara menumpuk di pinggir lebih besar dibandingkan apabila produk ditempatkan dalam wadah yang kemudian langsung didistribusikan.

Pada saat pemanenan di lapang perlu pengendalian suhu yang berupa penaanngan produk dari sinar matahari langsung atau perlakuan pra-pendinginan. Buah atau sayur yang terkena sinar matahari langsung dapat menjadi panas hingga beberapa derajat di atas suhu yang aman bagi komoditi bersangkutan. Hal ini mengakibatkan penurunan kualitas, bahkan bisa mengakibatkan kehilangan hasil yang semakin tinggi.

Hasil panen mau tidak mau harus mengalami proses pengangkutan atau transportasi. Transportasi diperlukan terutama apabila tempat produksi jauh dengan tempat penanganan pertama. Apabila proses transportasi tidak dilakukan dengan baik, akan dapat meminimalkan terjadinya kerusakan, terutama fisik.

Setelah dipanen, buah dan sayur mengalami beberapa tahap perlakuan lanjut meliputi pemilihan (*sorting*), pemisahan berdasarkan ukuran (*sizing*), pemilihan berdasarkan mutu (*grading*), dan pengemasan (*packing*). Pada beberapa jenis buah dan sayur tertentu memerlukan tambahan penanganan seperti *degreening*, pencucian, penggunaan bahan kimia, dan pelapisan (*coating*)

Pemilihan (*sorting*) memudahkan dalam mengontrol proses selanjutnya. Pemilihan yang efisien sangat tergantung pada penanganan yang serius dan pengawasan. Proses pemilihan ini memerlukan ruangan yang luasnya cukup agar produk tidak ditumpuk satu sama lain. Pemilihan dilakukan untuk memisahkan produk yang berbeda tingkat kematangan, bentuk, ukuran, warna maupun adanya cacat.

Proses *sizing* dan *grading* biasanya dilakukan terhadap buah untuk memilah-milah buah berdasarkan ukuran, berat atau dimensi terhadap buah yang telah dipilih. *Sizing* dan *grading* buah dapat dilakukan secara manual maupun mekanik. Apabila

dilakukan secara mekanik, persyaratan peralatan adalah memiliki kapasitas yang tinggi, memiliki ketepatan (akurasi), dan tidak menyebabkan luka pada buah. Pada tahapan ini, komoditi dipilih berdasarkan tingkatan kualitas pasar (grade), baik menurut standar tertentu atau yang ditetapkan sendiri oleh produsen.

Pengemasan dilakukan dengan membungkus buah dengan kemasan primer kemudian dimasukkan ke dalam kemasan sekunder berupa wadah (kontainer) yang lebih besar. Kemasan primer bisa berupa plastic, bahan *pulp* maupun kertas. Dalam satu wadah jumlahnya dapat hanya satu atau terdiri dari beberapa, yang peletaknya diatur rapi sehingga tidak bisa terjadi benturan satu sama lain. Kemasan sekunder yang dapat digunakan dapat berupa kertas karton (dalam berbagai tipe dan jenis), peti kayu, ataupun plastik.

Ada beberapa jenis buah yang diinginkan oleh konsumen untuk mendapatkan warna buah tertentu selain hijau tetapi klorofil alami tetap ada. Proses untuk mendapatkan kriteria seperti itu disebut *degreening*. Buah-buahan yang dikehendaki mempunyai sifat demikian biasanya adalah pisang, mangga, dan jeruk. Proses *degreening* dilakukan dalam ruangan khusus yang suhu dan kelembabannya dikendalikan. Suhu yang digunakan untuk *degreening* biasanya 80°C dengan kelembaban udara 85 – 92 persen. Ke dalam ruangan tersebut dialirkan gas etilen (C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>) pada konsentrasi rendah. Waktu pengaturan bergantung pada tingkat kematangan dan kadar klorofil bahan.

Beberapa jenis buah tertentu seperti apel, tomat dan leci diberi perlakuan pelapisan (*coating*) untuk menekan laju respirasi atau transpirasi buah selama penyimpanan atau pemasaran serta melindungi buah dari pengaruh luar. Satu cara pelapisan buah adalah pelilinan (*waxing*) untuk menambah lapisan lilin alami yang biasanya hilang saat pencucian. Penambahan lapisan lilin pada buah juga memberi keuntungan lain yaitu menambah kilap buah, dapat menutup luka pada permukaan buah serta memperpanjang umur simpan buah apabila tidak ada fasilitas pendinginan. Walaupun pemberian lapisan lilin memberikan keuntungan pada buah, akan tetapi tidak semua buah memberikan respon positif terhadap proses pelilinan.

Ketebalan lapisan lilin merupakan hal yang harus diperhatikan dalam hubungannya dengan umur simpan buah. Apabila lapisan lilin yang diberikan terlalu tipis akan membuat pelilinan tidak efektif, dalam arti kurang memberikan pengaruh terhadap umur simpan buah, sedangkan jika pelapisan terlalu tebal akan menyebabkan kebusukan buah. Beberapa jenis lilin yang digunakan untuk keperluan ini adalah *sugarcane wax*, *carnauba wax*, resin, terpen resin termoplastik, shellac, *bees wax* dan sebagainya.

Aplikasi teknik pelilinan untuk tiap buah dapat berbeda tergantung jenis buahnya. Aplikasi lilin sebagai pelapis buah dapat dilakukan menggunakan teknik

pencelupan dalam larutan lilin (*dipping*), pembusaan (*foaming*), penyemprotan (*spraying*), dan pengolesan atau penyikatan (*brushing*).

## II. PENYIMPANAN

Tujuan utama penyimpanan produk hortikultura ialah untuk memperpanjang daya simpan. Mekanisme perpanjangan daya awet ini, paling tidak dapat dilepaskan dari 3 hal yang saling berkaitan, yaitu (1) memperlambat kegiatan biologis dan biokimia produk, (2) memperlambat pertumbuhan mikroorganisme pembusuk, dan (3) mencegah terjadinya proses penguapan berlebihan yang dapat mengakibatkan buah dan sayuran kehilangan kesegarannya.

Kadar air buah dan sayur cukup tinggi, yaitu sekitar 60-98%. Pada keadaan atmosfer yang kering, air pada bahan akan mudah diuapkan secara kontinyu. Pada sayuran, dua jam setelah dipetik kadar airnya sudah berkurang sekitar 10%. Apabila kadar airnya terus berkurang, kemungkinan sayuran akan layu dan berkerut. Kehilangan kadar air sebesar 10 % tidak banyak berpengaruh apabila sayuran tersebut digunakan untuk keperluan konsumsi local, namun, jika untuk keperluan ekspor, hal tersebut menjadi ancaman serius.

Cara menyimpan sayuran yang paling sederhana adalah dengan menempatkan bahan ditempat yang bersih, kering, dan kelembaban lingkungan yang sama dengan kelembaban bahan untuk menghindari kehilangankandungan air bahan secara berlebihan. Untuk menghindari proses pembusukanpada sayuran dan buah, bahan disimpan dalam keadaan permukaan kulitnya kering. Sedangkan upaya untuk menyimpan buah-buahan secara umum yaitu dengan cara mengatur tingkat kemasakan buah, mengeringkan permukaan kulit buah dan menyusun buah dalam tumpukan yang aman.

Kondisi penyimpanan buah dan sayur tidak sama dengan cara penyimpanan produk yang lain. Beberapa hal dapat dialami buah dan sayur selama penyimpanan, yaitu 1) apabila penyimpanan dilakukan di ruang atau tempat dingin dengan suhu sesuai produk maka kondisi buah dan sayur tetap baik; 2). produk akan mengalami kerusakan, yaitu menjadi beku atau mengalami *chilling injury* apabila disimpan pada ruang yang terlalu dingin; 3). Apabila penyimpanan dilakukan dalam ruang yang hangat atau panas, buah dan sayur akan menjadi layu atau keriput; 4) Buah dan sayur mengalami kerusakan yaitu kerusakan fisiologis dan pembusukan.

### A. Suhu Ruang Penyimpanan

Suhu ruang penyimpanan hendaknya dijaga konstan, sehingga tidak berfluktuasi secara menyolok. Karena itu diperlukan pengatur suhu, yang mampu menjaga suhu konstan di sekitar suhu yang dikehendaki, umumnya  $\pm 1^{\circ}\text{C}$ . Kisaran

suhu yang terlalu besar umumnya tidak diinginkan karena dapat menyebabkan adanya kondensasi air yang akan dapat menyebabkan pertumbuhan mikroorganisme pembusuk. Terlebih lagi, jika suhu penyimpanan yang dikehendaki sangat rendah, mendekati titik beku, maka pengendalian suhu ini menjadi sangat kritis, karena akan dapat mengakibatkan terjadinya siklus pembekuan dan pencairan air yang akan sangat menurunkan mutu, terutama mutu tekstur. Karenanya, penyimpanan buah dan sayuran segar pada suhu mendekati titik beku hendaknya mempunyai kisaran suhu yang kecil (misalnya  $\pm 0.2^{\circ}\text{C}$ ). Hal ini bisa dicapai dengan pemasangan thermostat yang bermutu baik.

Untuk dapat menjaga suhu ruang penyimpanan dengan baik beberapa faktor perencanaan bangunan perlu diperhatikan. Ukuran sistem refrigerasi perlu dirancang untuk mampu mengatasi jumlah panas (*heat load*), termasuk panas yang dihasilkan oleh proses respirasi. Ukuran dan kapasitas refrigerasi yang terlalu kecil tentunya akan menyebabkan suhu ruangan menjadi meningkat, terutama pada saat ruangan harus menampung buah dan sayuran dalam kapasitas penuh. Seperti diketahui (lihat Bab Respirasi), sebagian besar dari energi yang dihasilkan oleh reaksi respirasi, yaitu sekitar 62% (sekitar 423 Kkal/mol glukosa), akan terbebaskan dalam bentuk panas. Sebagai gambaran tentang jumlah panas yang dilepaskan karena proses respirasi oleh 1 ton buah dan sayuran dapat diamati Tabel 6-2.

Ukuran dan kapasitas yang terlalu besar, akan mampu menjaga suhu tetap rendah walaupun kapasitas ruangan penuh, namun tentunya hal ini tidak ekonomis. Karena itu pengetahuan tentang jenis komoditi dan perkiraan jumlah panas yang akan dihasilkan perlu diperhatikan dalam perencanaan ruangan pendingin.

**Tabel 6-2. Jumlah panas yang dilepaskan oleh berbagai buah dan sayuran (pada 40°C)**

<b>Laju Respirasi</b>	<b>Komoditi</b>
<b>cepat</b> (> 10 000 BTU/ton/24 jam)	Asparagus
	Green bean
	Brokoli
	Jagung manis
	Okra
	Buncis
<b>sedang</b> (5 000 - 10 000 BTU/ton/24 jam)	Koro (Lima bean)
	Brussels sprouts
	Kol (daun)
	Raspberries
	Bayam
	Arbei
<b>agak lambat</b> (2 000 - 5 000 BTU/ton/24 jam)	Apel (kuning)
	Beets ( <i>topped</i> )
	Wortel
	Bunga Kol (Cauliflower)
	Seledri
	Pisang
	Cherries
	Kol (kepala)
	Ubi jalar
	Turnip (sejenis lobak)
Apel (jenis Winesap dan Jonathan)	
<b>lambat</b> (< 2 000 BTU/ton/24 jam)	Kobis
	Cranberries
	Grapefruits
	Anggur
	Jeruk limun (Lemon)
	Bawang
	Jeruk (orange)
	Buah persik (Peach)
	Plum
	Kentang
Tomat	

Handerburg and Luts (1971) di dalam Karel *et al.* (1975)

Fluktuasi suhu ruangan penyimpanan dapat dikurangi dengan insulasi dinding dan sirkulasi udara dalam ruangan yang baik. Sistem sirkulasi hendaknya mampu memberikan aliran udara sekitar 0.25 - 0.35 meter per detik di antara tumpukan. Sebagai pedoman umum, sirkulasi ini dapat dicapai dengan memberikan pergantian udara sekitar (7.5 x volume ruangan penyimpanan kosong ) per jam. Karena itu, tumpukan harus diatur sedemikian rupa sehingga memungkinkan aliran udara yang baik.

Penempatan pengatur suhu (thermostat) perlu pula diperhatikan. Thermostat hendaknya tidak ditempatkan di daerah yang terlalu berdekatan dengan sumber panas atau pun sumber udara pendingin, misalnya dekat pintu (yang sering dibuka-tutup), dekat dinding, atau pun dekat sumber udara pendingin. Umumnya, thermostat ditempatkan tengah ruangan, sekitar 1.5 m diatas lantai. Disamping itu, pengecekan suhu dengan thermometer yang dikalibrasi perlu pula dilakukan secara berkala untuk memastikan bahwa thermostat bekerja dengan baik. Hal ini perlu dilakukan mengingat bahwa kesalahan suhu beberapa derajat saja, khususnya bagi komoditi-komoditi tertentu yang peka terhadap suhu (umumnya suhu rendah) akan dapat mempengaruhi mutu produk secara nyata. Pengaruh suhu terhadap reaksi fisiologi pasca panen dan daya awet pada umumnya akan dibahas lebih lanjut pada Bab VII.

Buah dan sayur yang dipasarkan secara local bisa jadi tidak memerlukan system penyimpanan berpendingin, namun untuk memasarkan di tempat yang jauh, fasilitas pendingin sangat diperlukan untuk menjamin agar suhu dalam ruang penyimpanan tetap stabil. Pada suhu biasa, proses pemasakan dan penuaan berjalan cepat dan kerusakan segera berlangsung, sedang pada suhu dingin proses tersebut dihambat sehingga umur buah lebih panjang. Apabila digunakan metode penyimpanan dingin, 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*).

Penyimpanan dingin yang diiringi dengan pengaturan komposisi udara simpan akan menghasilkan umur simpan yang lebih lama. Proses respirasi juga dapat lebih dihambat dengan penyimpanan dingin disertai pengaturan kadar oksigen dan/atau karbondioksida dalam ruang penyimpanan. Kondisi penyimpanan untuk masing-masing jenis buah atau sayur ini berbeda dan akan dibahas lebih dalam pada Bab VII.

## **B. Kelembaban Udara**

Pengaturan kelembaban udara penyimpanan mempunyai peranan penting pada umur simpan. Kelembaban udara yang terlalu tinggi (RH mendekati 100%) akan memungkinkan pertumbuhan mikroorganisme. Sebaliknya, kelembaban udara yang terlalu rendah (RH < 90%) akan merangsang terlalu banyak penguapan, menyebabkan kulit buah dan sayuran menjadi mengkerut, merusak penampakan dan mengurangi kesegaran. Kehilangan uap air sekitar 3 - 6% pada sayuran akan menurunkan mutu kesegaran secara nyata (Fennema, di dalam Karel *et al.* 1975). Disamping mempengaruhi mutu komoditi, kelembaban udara yang terlalu rendah ini juga sangat merugikan secara ekonomi semata-mata karena berkurangnya berat produk. Sebagai pedoman umum, kelembaban udara hendaknya dijaga berada pada kisaran RH 90 - 95%. Namun demikian, harus selalu diingat bahwa kondisi optimum bagi setiap jenis komoditi mungkin saja berbeda. Tabel 6-3 menggambarkan kondisi penyimpanan yang direkomendasikan pada beberapa jenis buah dan sayur (Sumber: FAO Storage of Horticultural Crops).

**Tabel 6-3. Rekomendasi suhu dan kelembaban udara pada penyimpanan beberapa buah dan sayur**

<b>Komoditas</b>	<b>Suhu (°C/°F)</b>	<b>RH (%)</b>	<b>Umur simpan</b>
Apel	-1-4/30-40	90-95	1 – 12 bulan
Asparagus	0-2/32-35	95-100	2 – 3 minggu
Alpukat	4-13/40-55	85-95	2 – 8 minggu
Anggur	-0,5-0/31-32	85	2-8 minggu
Bayam	0/32	95-100	10-14 hari
Onion	0/32	65-70	1-8 bulan
Pisang, hijau	13-14/56-58	90-95	14 minggu
Brokoli	0/32	95-100	10-14 hari
Wortel, mature	0/32	98-100	7-9 bulan
Jagung manis	0/32	95-98	5-8 hari
Kiwi	0/32	90-95	3-5 bulan
Leci	1,5/35	90-95	3-5 minggu
Mangga	13/55	85-90	2-3 minggu
Papaya	7-13/45-55	85-90	1-3 minggu
Peach	0,5-0/31-32	90-95	2-4 minggu
Kentang	10-16/50-60	90-95	10-14 hari
Tomat	13-15/55-60	90-95	4-7 hari

Kelembaban udara ruang penyimpanan ini bisa diatur secara mekanis dengan cara penyemprotan air atau pun uap air. Hal inilah yang dipraktekkan di

berbagai pasar swalayan. Pengaruh kelembaban udara terhadap proses transpirasi dan daya awet pada umumnya akan dibahas lebih lanjut pada Bab VIII.

### C. Komposisi Atmosfer

Pengaturan komposisi pada ruang penyimpanan dilakukan dengan penambahan gas-gas tertentu, dengan memberikan kesempatan kepada komoditi untuk "mengkonsumsi" gas-gas tertentu (seperti diketahui, dalam proses respirasi, komoditi akan mengonsumsi  $O_2$  dan melepaskan  $CO_2$ ), atau secara fisik dan kimia mengikat gas-gas tertentu. Gas-gas seperti  $CO$ ,  $CO_2$ ,  $C_2H_4$ , dan  $N_2$  dapat ditambahkan pada ruangan penyimpanan langsung dari tangki gas. Atau, khususnya untuk  $CO_2$ , dapat ditambahkan berupa es kering (*dry ice*), atau sengaja diproduksi dengan generator tertentu.

Penambahan "*scrubbing device*" juga sering dilakukan untuk mengurangi konsentrasi gas-gas yang tidak diinginkan. Misalnya, air atau "*lime*" sering digunakan sebagai "*scrubbing device*" untuk mengurangi konsentrasi  $CO_2$ . Sedangkan gas  $C_2H_4$  dapat dihilangkan/dikurangi dengan  $KMnO_4$  atau pun sinar UV,  $O_2$  dapat dihilangkan dengan pembakaran atau dengan "*molecular sieve*". Lebih lanjut, pembahasan tentang komposisi atmosfer ruang penyimpanan terhadap reaksi fisiologi pasca panen dan daya simpan akan disajikan pada Bab IX.

### D. Precooling

Buah atau sayur yang baru dipanen seringkali masih menyimpan panas atau mempunyai suhu cukup tinggi, sehingga apabila dibiarkan akan merusak buah pada proses penyimpanan. Satu proses yang digunakan untuk menghilangkan panas lapang pada produk hortikultura akibat pemanenan, terutama produk yang dipanen pada siang hari adalah *pre-cooling*. *Pre-cooling* yang juga dikenal sebagai pra-pendinginan, bertujuan memperlambat respirasi, menurunkan kepekaan terhadap serangan mikroba, mengurangi jumlah air yang hilang melalui transpirasi, dan memudahkan pemindahan ke dalam ruang penyimpanan dingin. Pra-pendinginan yang menggunakan prinsip memindahkan dengan cepat panas dari komoditi ke media pendingin, seperti udara, air atau es. Waktu yang diperlukan sangat bervariasi tergantung jumlah dan ukuran komoditi, bisa 30 menit atau kurang, tetapi mungkin pula lebih dari 24 jam.

Ada beberapa teknik *precooling* yang biasa digunakan yaitu *precooling* dengan pergerakan udara, *hydrocooling*, *precooling* dengan es dan pendinginan vakum. *Hydrocooling* merupakan metode *precooling* yang umum digunakan karena sederhana, ekonomis, paling murah dan cepat. Aplikasi *hydrocooling* biasa dilakukan pada komoditi seledri, asparagus, kacang polong, jagung manis, lobak, wortel, blewah dan peach.

Metode *precooling* dengan pergerakan udara juga banyak digunakan karena sederhana, ekonomis, bersih, dan tidak korosif. Akan tetapi metode ini mempunyai kerugian terutama timbulnya kelebihan dehidrasi dan memungkinkan untuk membuat produk beku jika suhu udara di bawah 0°C. Jeruk, anggur, blewah, kacang hijau, plum, nectarine, ceri manis, dan aprikot merupakan produk yang biasa diprecooling dengan metode ini.

*Precooling* dengan hancuran es merupakan metode yang sederhana akan tetapi efektif jika dilakukan dengan benar. Kubis, blewah, peach, umbi (lobak, wortel) sering didinginkan dengan kontak langsung pada hancuran es.

Teknik *precooling* yang lain yaitu menggunakan pendinginan vakum. Pendinginan vakum sangat efektif untuk produksayuran daun serta produk yang memiliki kemampuan cepat dalam melepaskan air bagian dalam. Metode ini melibatkan pemaparan pada tekanan 4-4,6 mm Hg sampai evaporasi dingin mencapai suhu yang diinginkan. Produk seperti selada memerlukan waktu pendinginan kurang dari 1 jam. Pendinginan berbanding lurus dengan air yang dievaporasi (evaporasi 1 lb air menghilangkan kira-kira 1060 Btu). Setiap pengurangan 1% kadar air akan menurunkan suhu sekitar 5°C.

Pendinginan vakum menguntungkan apabila produknya cocok karena lebih cepat dan ekonomis jika dibandingkan pemberian es secara langsung. Keekonomisannya disebabkan pengurangan biaya pekerja dan pengemasan serta penurunan produk rusak. Kerugian utama pendinginan vakum adalah investasi yang diperlukan besar. Peralatan yang digunakan berukuran besar, ruangan yang kuat, peralatan untuk mengurangi tekanan (vakum mekanik atau ejektor uap), dan peralatan untuk mengkondensasi uap yang keluar dari produk (dibutuhkan hanya ketika menggunakan pompa vakum). Beberapa komoditas yang cocok menggunakan pendinginan vakum antara lain seledri, bunga kol, kacang hijau, dan jagung manis.

Rangkuman beberapa metode *precooling* yang tepat untuk berbagai jenis buah dan sayur dapat dilihat pada Tabel 6-4.

**Tabel 6-4. Aplikasi metode *precooling* untuk buah dan sayur**

Metode	Produk	Sifat
Pendingin evaporative	Produk-produk yang tidak sensitiv suhu dingin	Biaya peralatan murah, peralatan mudah dipindah, perlu perbedaan suhu antara wb dan db
<i>Positive ventilation with ice bank cooler</i>	Produk-produk yang tidak sensitiv suhu dingin	Biaya operasional murah, efektivitas cukup, dapat mempertahankan kelembaban

---

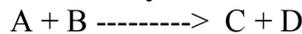
<i>Ice cooling</i>	Sayuran daun, beberapa jenis umbi, misal wortel, sayuran batang	yang tinggi Cepat, terbatas untuk produk yang bisa kontak dengan air dan es
<i>Room cooling</i>	Semua jenis produk	Relatif lambat, kadang tidak terjadi pendinginan
<i>Forced air cooling</i>	Buah yang lunak, sayuran tipe buah	Efisien, seragam
<i>Hydro-cooling</i>	Melon, sayuran daun dan batang	Cepat, produk harus tahan saat kontak dengan air
<i>Vacuum cooling</i>	Sayuran daun, sayuran bunga, beberapa jenis buah	Cepat

---

# Bab 7

# SUHU PENYIMPANAN

Proses metabolisme pada buah-buahan dan sayuran melibatkan banyak reaksi kimia yang dikatalisa oleh berbagai enzim (Bab 4). Sebagaimana reaksi kimia biasa, laju reaksi respirasi sangat dipengaruhi oleh suhu lingkungannya. Pengaruh suhu terhadap laju reaksi ini biasanya dapat dijelaskan dengan persamaan Arrhenius. Jika suatu reaksi secara sederhana dinyatakan sebagai :



dan laju reaksi dapat dirumuskan oleh persamaan 7.1 berikut:

$$V = k[A]^m[B]^n \text{ .....Pers. 7.1}$$

maka persamaan Arrhenius (pers. 7.2) adalah :

$$k = Ae^{-E_a/RT} \text{ .....Pers. 7.2}$$

dimana, V= laju reaksi, k = konstanta laju reaksi, A = suatu konstanta (sering disebut sebagai faktor frekuensi bagi reaksi yang bersangkutan), R = konstanta gas,  $E_a$  = energi aktivasi (Kal/mol), dan T = suhu mutlak (K). Dalam bentuk logaritma, maka persamaan 7.2 dapat diubah menjadi

$$\ln k = \ln A + (E_a/R)(1/T) \text{ .....Pers. 7.3}$$

Dari persamaan 7.3. kita bisa melihat bahwa nilai k akan meningkat dengan meningkatnya suhu, dan pemetaan nilai-nilai  $\ln k$  terhadap  $(1/T)$  akan merupakan garis lurus dengan kemiringan sama dengan  $(E_a/R)$ . Namun demikian, karena berbagai reaksi tersebut dikatalisa oleh enzim (protein) yang labil terhadap perubahan suhu, maka kenaikan nilai k ini tidak berlangsung secara terus-menerus mengikuti kenaikan suhu. Pada suhu tertentu enzim akan mulai terdenaturasi, dan akibatnya ia tidak bisa lagi secara efisien mengkatalisa reaksi, sehingga konstanta laju reaksinya akan menurun. Karena itu, maka biasanya reaksi biokimia dalam sel hanya dapat berlangsung dengan optimum pada kisaran suhu fisiologi saja, umumnya sekitar 5°C sampai 40°C.

Van't Hoff, ahli kimia bangsa Belanda, menunjukkan bahwa pada kisaran suhu fisiologi tersebut, laju reaksi kimia akan meningkat kira-kira dua kali jika suhu lingkungannya ditingkatkan sebesar 10°C. Hal ini biasanya dinyatakan dengan nilai  $Q_{10}$  (*temperature quotient*). Nilai  $Q_{10}$  didefinisikan sebagai berikut :

$$Q_{10} = \frac{V_2}{V_1} = \frac{k_2}{k_1} \text{ .....Pers (7.4)}$$

Dimana  $V_1, V_2, k_1$  dan  $k_2$  berturut-turut adalah laju reaksi dan konstanta laju reaksi pada suhu  $T_1$  dan  $T_2$ ;  $T_2 = T_1 + 10^\circ\text{C}$ .

Persamaan (7.4) ini berlaku pula untuk reaksi kimia pada umumnya. Namun, untuk reaksi biologi, nilai  $Q_{10}$  ini tidak merupakan konstanta, melainkan merupakan

fungsi dari suhu. Nilai  $Q_{10}$  biasanya tinggi pada sekitar suhu 1-10°C (bisa mencapai sekitar 7) dan rendah pada suhu lebih tinggi dari 10°C. Namun demikian, nilai  $Q_{10}$  umumnya berkisar antara 2 dan 3. Dari sini dapatlah ditarik kesimpulan bahwa suhu merupakan faktor penting yang perlu dikendalikan untuk memperoleh tingkat mutu dan keawetan yang optimal.

## I. PENGARUH SUHU PADA FISILOGI PASCA PANEN

Pengaruh suhu terhadap reaksi fisiologi, pada dasarnya dapat dianalisa dengan menggunakan model Arrhenius atau pun Van't Hoff seperti yang telah dikemukakan didepan. Namun perlu diingat bahwa rantai metabolisme yang terjadi pada sel atau pun jaringan buah dan sayuran merupakan seri dari berbagai macam reaksi yang dikatalisa oleh enzim-enzim yang berbeda. Berbagai enzim tersebut mempunyai suhu denaturasi yang berbeda-beda pula. Beberapa enzim masih aktif sampai suhu 35°C, tetapi umumnya enzim akan inaktif pada suhu 40°C. Enzim PEP karboksilase bahkan masih aktif pada suhu tinggi sekitar 65°C. Pengaruh suhu tinggi terhadap suatu seri reaksi akan ditentukan oleh enzim yang paling peka terhadap perubahan suhu.

Karena itu, pengaturan dan pengendalian suhu selama penyimpanan buah dan sayuran merupakan kegiatan yang penting. Jika buah dan sayuran disimpan pada suhu terlalu tinggi (35-40°C, misalnya), maka ia akan mengalami metabolisme secara tidak normal. Hal ini disebabkan kebanyakan enzim akan tidak aktif lagi, sehingga keseimbangan metabolisme akan terganggu. Disatu pihak suatu metabolit akan terkumpul (bersifat racun), dan dilain pihak suatu metabolit yang diperlukan akan terkuras habis.

Hal yang sama juga terjadi pada suhu penyimpanan yang terlalu rendah. Aktivitas berbagai enzim pada buah-buahan dan sayuran umumnya akan menurun jika suhu lingkungan diturunkan. Ketahanan enzim terhadap suhu rendah, sehingga enzim menjadi tidak aktif (inaktif) lagi, bervariasi tergantung pada jenis enzim dan komoditinya. Suhu paling rendah yang masih memungkinkan bagi buah dan sayuran untuk melaksanakan metabolisme secara normal biasanya berada di sekitar titik beku jaringan, yaitu sekitar 0 sampai -2°C. Namun perlu diingat bahwa pengaruh suhu rendah terhadap reaksi fisiologis akan ditentukan oleh aktifitas enzim yang paling tidak tahan terhadap suhu rendah. Karena itu, pada suhu rendah tertentu sebagian enzim sudah tidak aktif lagi, sedangkan sebagian yang lain masih tetap aktif. Kondisi ini, sebagaimana pada kondisi suhu tinggi, juga akan menyebabkan ketidak-seimbangan reaksi metabolisme. Peningkatan suhu penyimpanan juga akan menurunkan laju respirasi sebagaimana ditampilkan pada Tabel 7-1.

**Tabel 7-1. Pengaruh suhu terhadap kecepatan respirasi**

Komoditas	BTU per ton per 24 jam		
	0°C	4,5°C	15,5°C
Apel	300-1.500	600-2.700	2.300-7.900
Kacang hijau	8.200-8.400	13.200-16.000	39.300-44.500

Strawberi	2.700-3.800	3.600-6.800	15.600-20.300
-----------	-------------	-------------	---------------

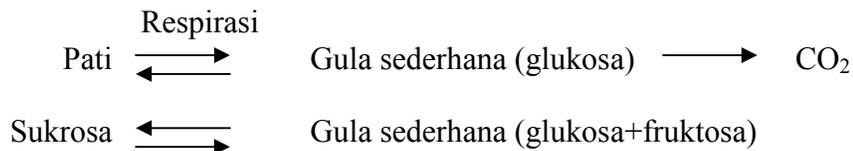
Pengaruh suhu terhadap reaksi fisiologis ini paling sering dikaitkan dengan proses pematangan. Proses pematangan yang normal biasanya berlangsung pada kisaran suhu tertentu (umumnya antara 10°C-30°C). Pada kebanyakan buah-buahan, proses pematangan optimum umumnya terjadi pada suhu sekitar 20°C. Pada suhu yang lebih rendah, buah memerlukan waktu yang lebih lama untuk memulai proses pematangan. Hal ini disebabkan penurunan suhu akan mampu menekan reaksi-reaksi yang bertanggung-jawab atas proses pematangan. Disamping itu, penurunan suhu juga akan menyebabkan penurunan produksi etilen (penting untuk merangsang proses pematangan) dan memperlambat respon jaringan buah terhadap etilen. Karena itu, penurunan suhu dapat digunakan untuk menunda proses pematangan, terutama untuk buah-buahan klimakterik. Bagi buah-buahan non-klimakterik, penurunan suhu akan memperlambat proses pelayuan.

Namun, perlu diingat bahwa suhu yang terlalu rendah dapat pula mengakibatkan kegagalan dalam proses pematangan bagi kebanyakan buah-buahan. Sebagai kekecualian, buah pear dari kultivar Josephine mampu bertahan tetap melakukan proses pematangan secara normal (walaupun sangat lambat) pada suhu dibawah 10°C.

Untuk memberikan peluang bagi buah guna melangsungkan proses pematangan secara normal, maka biasanya buah dipindahkan dari ruangan penyimpanan ke ruangan bersuhu lebih tinggi (12°C-20°C). Walaupun demikian perlu diperhatikan bahwa penyimpanan pada suhu rendah yang terlalu lama akan menyebabkan buah-buahan gagal melangsungkan proses pematangan secara normal, walaupun dipindahkan ke suhu ruangan yang lebih tinggi. Hal ini kemungkinan besar berhubungan dengan inaktivasi atau kerusakan enzim-enzim yang diperlukan untuk proses pematangan karena penyimpanan suhu rendah yang terlalu lama.

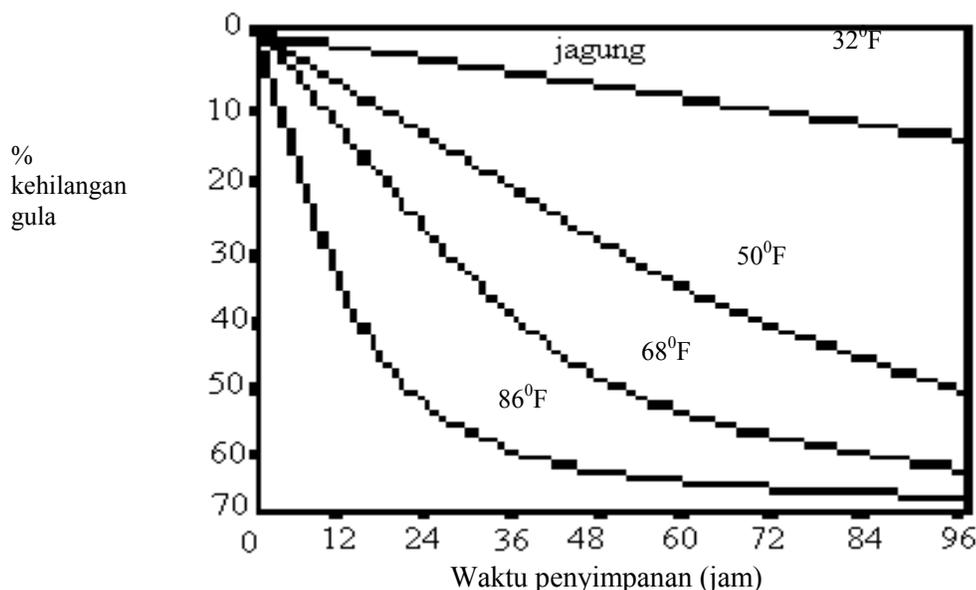
## II. PENGARUH SUHU TERHADAP KESEIMBANGAN PATI DAN GULA

Untuk berbagai buah-buahan, seperti jagung manis (*Zea mays* var. *rugosa*, Bonaf.), kentang, pisang (*Musa* spp), ubi jalar (*sweet potato*) dan buncis (*pea*), suhu rendah akan menyebabkan perubahan ratio pati dan gula yang erat hubungannya dengan mutu. Karena proses sintesa dan peruraian pati berlangsung secara bersamaan maka gula dan pati pada suhu tertentu selalu berada pada keseimbangan. Namun demikian gula akan digunakan sebagai substrat untuk proses respirasi, menjadi CO<sub>2</sub>. Karena itu, proses keseimbangan itu dapat digambarkan dalam persamaan berikut :



Pada suhu ruang, tingginya ratio pati/gula menunjukkan adanya akumulasi pati. Pada suhu rendah tertentu (dibawah suhu kritisnya), maka akan terjadi akumulasi gula dalam sel. Hal ini sebetulnya merupakan metabolisme normal dari jaringan tanaman, sebagai mekanisme pertahanan akan suhu rendah. Mekanisme demikian ini penting terutama untuk tanaman yang tumbuh pada suhu rendah pada musim dingin (*winter hardening*). Mekanisme *winter hardening* ini berhubungan dengan sifat koligatif larutan, yaitu dengan adanya akumulasi gula pada jaringan maka titik beku jaringan tersebut akan menurun.

Suhu dimana terjadi akumulasi gula ini sangat tergantung pada jenis komoditi dan spesiesnya. Contohnya, pada kentang jenis Irish (*Irish potato*); akumulasi gula ini akan mulai terjadi pada suhu 2-5°C. Pada suhu diatas 5°C akumulasi gula tidak akan terjadi. Sedangkan untuk ubi jalar (*sweet potato* atau *yam*), akumulasi gula sudah terjadi pada suhu 13-16°C. Sebagai contoh pengaruh suhu penyimpanan terhadap kadar gula jagung manis dapat dilihat pada Gambar 7-1. Berdasarkan gambar tersebut dapat disimpulkan bahwa untuk mendapatkan tingkat kemanisan yang diinginkan dapat dilakukan proses pendinginan secara cepat.



**Gambar 7-1. Kadar gula jagung manis pada berbagai suhu penyimpanan (Sumber: Appleman dan Arthur).**

Dalam hubungannya dengan laju respirasi, maka laju respirasi pada suhu 20°C untuk kentang Irish akan lebih tinggi daripada pada suhu 10°C. Hal ini

disebabkan gula merupakan substrat bagi respirasi, dan sesuai dengan hukum aksi massa biasa, maka dengan makin tersedianya substrat, reaksi akan berjalan dengan laju yang lebih tinggi.

Akumulasi gula ini juga menyebabkan masalah dalam teknologi pengolahan. Khususnya untuk kentang, akumulasi gula akan menyebabkan rasa manis berlebihan yang tidak disukai dan menyebabkan tekstur yang kurang renyah (terutama untuk keperluan kentang goreng/*french fries*). Selain itu, adanya gula heksosa, terutama gula pereduksi akan dapat menyebabkan reaksi pencoklatan (baik karena proses karamelisasi maupun karena reaksi Maillard) yang sangat tidak diinginkan. Untuk menghindari hal ini, biasanya kentang dipindah ke suhu ruangan yang lebih tinggi (15-20°C) beberapa saat sebelum diproses. Proses ini sering disebut sebagai proses pengkondisian (*conditioning*) dan harus dilakukan dengan kontrol yang ketat, karena perlakuan suhu lebih tinggi akan merangsang proses perkecambahan yang tidak diinginkan.

Bagi beberapa sayuran dan buah yang memang dikehendaki supaya manis, seperti kacang kapri dan jagung manis, pemanenan biasanya dilakukan pada saat sebelum masak, yaitu pada saat kandungan gulanya sangat tinggi. Waktu pemanenan pun perlu diperhatikan. Umumnya, jagung manis dipanen pada pagi hari (saat suhu udara masih rendah). Hal ini dilakukan untuk menghindari terjadinya proses respirasi, yang akan mengkonsumsi gula-gula sederhana yang merupakan komponen mutu utama pada jagung manis. Setelah panen kandungan gula bebas (monosakarida) akan berkurang dengan cepat karena adanya proses sintesa pati yang dominan. Karena itu, penyimpanan pada suhu rendah tentunya sangat direkomendasikan pada kondisi semacam ini, sehingga konversi dari gula menjadi pati dapat diperlambat.

### III. SUHU DAN DAYA AWET

Pada dasarnya -menurut teori Arrhenius dan Van't Hoff, daya awet produk pada berbagai suhu dapat diduga dengan menganalisis nilai k atau nilai  $Q_{10}$  dari reaksi yang dominan menyebabkan kerusakan atau penurunan mutu. Dengan menggunakan parameter  $Q_{10}$ , maka daya awet produk pada suhu tertentu ( $T_2$ ) dapat diketahui (diduga) jika daya awet produk tersebut pada suhu tertentu lainnya ( $T_1$ ) sudah diketahui. Jika daya awet pada  $T_1$  adalah  $t_1$ , maka daya awet pada  $T_2$  (yaitu  $t_2$ ) dapat dihitung sebagai berikut :

$$t_2 = t_1 Q_{10}^{\frac{(T_1 - T_2)}{10}} \dots\dots\dots \text{Pers. 7.5}$$

Jadi dengan menggunakan persamaan 7.5 maka jika diketahui umur simpan produk pada suhu tertentu dan nilai  $Q_{10}$  maka dapat dilakukan pendugaan umur simpan pada suhu penyimpanan lainnya. Asumsi yang harus diuji ketika menggunakan persamaan 7.5 adalah bahwa nilai  $Q_{10}$  yang dipakai adalah konstan pada -paling tidak- kisaran suhu  $T_1$  sampai  $T_2$ .

Persamaan Arrhenius;  $\ln k = \ln A + (E_a/R)(1/T)$  (pers. 7.3), maka nilai konstanta laju reaksi (k) pada sembarang suhu dapat dicari jika nilai  $E_a$  telah

diketahui. Penurunan atau kerusakan mutu buah-buahan dan sayuran umumnya dapat dimodel dengan menggunakan reaksi ordo pertama, atau kadang-kadang ordo nol. Jika ternyata perubahan atau penurunan mutu tersebut cukup kompleks, maka sering pula dimodifikasi sehingga model yang diajukan adalah model ordo pertama semu (*pseudo first order*). Karena itulah maka untuk pembahasan ini akan dibahas mengenai penurunan mutu yang mengikuti ordo pertama.

Pada penurunan mutu yang mengikuti model ordo I, maka mutu produk setiap saat dapat dinyatakan sebagai persamaan berikut :

$$-\frac{dM}{dt} = kt \quad \dots\dots\dots\text{pers. 7.6}$$

Atau,  

$$\ln M = \ln M_0 - kt \quad \dots\dots\dots\text{pers. 7.7}$$

Tidak ada satu suhu ideal yang dapat digunakan untuk menyimpan seluruh buah dan sayuran pada satu tempat penyimpanan. Selain dipengaruhi oleh faktor jenis komoditi, misalnya kepekaan terhadap suhu rendah (*chilling injury*), dan tinggi-rendahnya suhu penyimpanan, serta pengaruh suhu terhadap berbagai reaksi fisiologis seperti yang telah didiskusikan diatas, daya awet juga ditentukan oleh faktor-faktor lain. Berbagai faktor tersebut antara lain adalah kebersihan produk, waktu simpan (kontaminasi kapang dan jamur), kelembaban ruang penyimpanan, komposisi gas, intensitas cahaya, dan lain-lain.

Suhu penyimpanan yang terlalu menyimpang dari suhu optimum akan menyebabkan terganggunya keseimbangan metabolisme, seperti yang telah didiskusikan diatas. Disamping itu, suhu yang terlalu menyimpang dari suhu optimum secara fisik juga akan merusak permeabilitas membran sel. Suhu yang terlalu tinggi, misalnya, akan mempercepat rusaknya membran sel, menyebabkan rusaknya organisasi dan stuktur antar dan inter sel, menyebabkan kebocoran-kebocoran metabolit, dan akhirnya cepat terjadi pembusukan. Kerusakan demikian biasanya ditandai dengan hilangnya pigmen dan terbentuknya bercak-bercak berair pada kulit buah. Pada buah pisang dan tomat, kerusakan demikian biasa disebut sebagai "*boiled*".

Kerusakan membran sel secara fisik juga bisa terjadi pada suhu penyimpanan yang terlalu rendah. Perlu diingat bahwa komposisi seluler dan membran, terutama dari berbagai komoditi daerah tropika, kurang tahan terhadap suhu rendah. Membran, yang sebagian besar berupa dua lapisan lemak, akan menjadi beku (didasar titik beku air jaringan), pecah-pecah dan bocor. Jadi, walaupun beberapa enzim masih tahan pada suhu rendah, maka jika membran sel tidak mampu lagi berfungsi untuk menjaga kompartmentasi dan integrasi sel-sel, maka ketidak-normalan metabolisme akan mudah diamati.

Suhu yang terlalu rendah (dibawah titik beku air jaringan) akan menyebabkan berbagai kerusakan. Sekali jaringan sudah membeku, maka pertukaran senyawa-senyawa penting untuk metabolisme akan terganggu. Suhu yang terlalu rendah juga akan menyebabkan air membeku diluar sel, sehingga air dalam sel akan terserap keluar dan sel akan mengalami kekeringan dan mati.

Pengembangan yang terjadi karena proses pembekuan (dari air menjadi es) juga menyebabkan kerusakan pada membran sel. Karena itu penting diperhatikan bahwa penyimpanan pada suhu rendah hendaknya tidak sampai menyebabkan pembekuan.

Jadi, secara umum, dapat disimpulkan bahwa pada kisaran suhu fisiologi, penurunan suhu akan menurunkan laju perubahan, apakah itu laju respirasi, laju perubahan tekstur, atau pun laju kerusakan vitamin C (Tabel 7-2), yang akan berakibat pada peningkatan daya awet. Tetapi, pengaruh penurunan suhu tentunya tidak seragam bagi semua reaksi fisiologi. Pada Gambar 7-1 dapat dilihat bahwa penambahan daya awet suatu komoditi itu hanya sedikit saja jika suhu diturunkan dari 30°C menjadi 20°C. Tetapi, penurunan suhu dari 10°C menjadi 7°C dapat menyebabkan penambahan daya awet yang cukup besar.

**Tabel 7-2 Kadar vitamin C beberapa jenis komoditas pada berbagai suhu penyimpanan**

Komoditas	Suhu penyimpanan (°C)	Kadar vitamin C (mg/100 gram)		
		0 jam (awal)	24 jam	48 jam
Buncis	4	25.6	20.0	16.9
	12	25.6	18.9	15.4
	20	25.6	16.4	12.3
Kacang-kacangan	4	36	33.5	32.4
	12	36	29.5	25.6
	20	36	27.7	23.0
Bayam	4	39.8	31.8	27.1
	12	39.8	29.1	22.7
	20	39.8	26.3	18.3

Namun perlu diperhatikan bahwa hal tersebut tidak berlaku umum. Bagi produk yang sensitif terhadap suhu rendah, penurunan suhu dibawah 10-15°C akan menyebabkan percepatan proses kerusakan (*chilling injury*), sebagaimana diperlihatkan pada Gambar 7-2. Pada kondisi demikian, pada buah yang sensitif terhadap suhu rendah ini akan terjadi beberapa perubahan yang tidak dikehendaki, antara lain terjadi dominasi respirasi an-anerobik, sehingga bahkan akan menurunkan daya simpan.

Pengaturan suhu yang baik dan tepat merupakan syarat utama untuk memperoleh daya awet yang optimum. Sebagai pedoman umum, untuk buah dan sayuran yang "*chilling insensitive*", daya awet maksimum dapat diperoleh bila disimpan pada suhu mendekati titik beku jaringannya. Sedangkan, bagi buah dan sayuran yang "*chilling sensitive*", suhu penyimpanan perlu dikontrol dengan baik, jangan sampai lebih rendah dari suhu kritisnya. Daya awet yang beragam tergantung pada jenis buah dan sayuran ini pada suhu penyimpanan optimal dapat diamati pada Tabel 7-3, yang pada umumnya berhubungan dengan laju reaksi

respirasinya. Adapun gejala *chilling injury* pada berbagai jenis buah-buahan dapat diamati pada Tabel 7-4.



**Gambar 7-2. Chilling injury pada belimbing Atkin yang disimpan pada suhu 5°C dengan tambahan waktu 1 hari pada 20°C (Nunes, 2008)**

Penyebab terjadinya *chilling injury* tidak hanya disebabkan oleh suhu penyimpanan. Ada beberapa penyebab lain yang dapat mengakibatkan buah mengalami *chilling injury* yaitu waktu pada suhu subkritis, tahap metabolisme jaringan, komposisi atmosfer dan kecepatan kehilangan air.

- Waktu pada suhu subkritis. Waktu minimum yang mendorong terjadinya *chilling injury* tergantung suhu subkritis, dan maksimum *chilling injury* terjadi pada suhu refrigerasi yang paling rendah.. Waktu paparan minimum untuk dapat terjadinya *chilling injury* pada pisang sekitar 12 jam, pada tomat selama 12 hari, sedangkan pada jeruk selama 2-3 bulan. Sebagai contoh adalah penelitian oleh Van Der Plank dan Davies (93) yang menyimpan *grapefruit* pada berbagai suhu mulai -0,5<sup>o</sup> hingga 10<sup>o</sup>C. *Grapefruit* yang disimpan pada suhu 10<sup>o</sup>C tidak mengalami kerusakan selama penyimpanan. Sampel yang disimpan pada 7,5<sup>o</sup>C, setelah 25 hari menunjukkan *pitting* pada permukaannya, sedangkan buah yang disimpan pada -0,5<sup>o</sup>C belum menunjukkan kerusakan. Setelah 33 hari buah yang disimpan pada suhu 5<sup>o</sup>C menunjukkan kerusakan yang berat, sedangkan buah yang disimpan pada suhu -0,5<sup>o</sup>C setelah 52 hari menunjukkan kerusakan yang paling berat.

**Tabel 7-3. Perkiraan umur simpan Buah dan sayur yang Disimpan pada Kelembaban Relatif dan Suhu Dingin Optimum**

Komoditas	Umur simpan (minggu) pada suhu optimal		
	-1 – 4°C	5 – 9°C	10°C
Apel	8 – 30		
Aprikot	2		
Alpukat		3 – 5	
Anggur	4 – 6		
Cherry	1 – 4		
Jeruk		6 – 12	
Lemon			12 – 20
Mangga		2 – 3	
Markisa		3 – 5	
Nenas, matang		4 – 5	
Peach	2 – 6		
Pear	8 – 30		
Pisang, matang			1 – 2
Plum	2 – 7		
Strawberry	1 – 5 hari		
Semangka		2 – 3	
Asparagus	2 – 4		
Brokoli	1 – 2		
Bunga kol	2 – 4		
Ketimun		2 – 4	
Selada	1 – 3		
Kapri	1 – 3		
Bayam	1 – 2		
Jagung manis	1 – 2		
Tomat		1 – 3	
Kubis	4 – 8		
Seledri	6 – 10		
Wortel	12 – 20		
Waluh			12 – 24
Kentang		16 – 24	
Ubi jalar		16 – 24	

Sumber: Tranggono dan Suhardi (1989)

**Tabel 7-4. Gejala normal yang sering timbul karena CI untuk beberapa buah-buahan dan sayuran**

Komoditi	Suhu Kritis (°C)	Gejala normal yang diamati karena CI
Apel	2-3	Pencoklatan dipermukaan kulit (penyok-penyok dan basah), pencoklatan didalam (daging buah), kehilangan kerenyahan ( <i>soggy</i> ).
Asparagus	0-2	Warna berubah menjadi pucat, hijau kecoklatan, tekstur menjadi ulet, dan ujungnya menjadi mudah patah
Apokad	4,5-13	Kulit permukaan menjadi berbintik-bintik hitam, kadang-kadang bahkan rusak (basah), terjadinya pencoklatan pada daging buah dan serat-serat.
Pisang, mentah/ matang	11,5-13	Jika matang akan berwarna pucat, terjadinya pencoklatan pada kulit (bergaris-garis)
Lima Bean	1-4,5	Bercak-bercak, kelihatan seperti berkarat (warna coklat)
Kranberi	2	Tekstur menjadi kenyal (seperti karet), daging berwarna merah
Ketimun	7	Kulit rusak (basah. lembek dan mudah penyok-penyok), berwarna gelap
Waluh	7	Kerusakan pada permukaan kulit (melepuh), terjadinya penghitaman pada biji, <i>alternaria rot</i>
Lemon	10	Kebusukkan pada flavedo, membrane staining, <i>red blotches</i>
Mangga	5-12	Kulit menjadi pucat, pencoklatan
Melon	7-10	Terjadi kebusukan pada permukaan kulit (melepuh)
Pepaya	7	Terjadi kebusukan pada permukaan kulit (melepuh)
Nanas	6-12	Daging buah menjadi berwarna coklat atau kehitaman
Tomat	10-12	Kebusukan dipermukaan kulit (melepuh & basah), <i>alternaria rot</i>

\*) Dikumpulkan dari Wang, 1989 and Wills et al., 1989

\*\*\*) Kisaran suhu kritis menunjukkan adanya perbedaan antara kultivar.

- Tahap metabolisme jaringan. Beberapa jenis buah dan sayuran yang rentan terhadap *chilling injury* sering dipengaruhi oleh kematangannya, komposisi dan lingkungan tempat tumbuh. Sebagai contoh beberapa jenis apel sangat rentan terhadap respirasi klimakterik, jumlah mineral dan asam di dalamnya dan varietas yang tergantung kondisi iklim tempat tumbuh.

- Komposisi atmosfer. Perubahan kandungan karbon dioksida dan oksigen saat penyimpanan dapat mempengaruhi timbulnya *chilling injury*, akan tetapi tidak ada hubungan yang konsisten sehingga tidak bisa digeneralisasikan.
- Kecepatan kehilangan air. Kecepatan menghilangnya air dari buah dan sayuran dapat meningkatkan kemudahan mengalami *chilling injury*, akan tetapi hal ini juga dipengaruhi jenis produk.

Pengaruh suhu terhadap daya awet yang juga sangat penting adalah dalam hubungannya dengan aktifitas etilen. Suhu tidak hanya berpengaruh pada kemampuan komoditi untuk memproduksi etilen tetapi juga berpengaruh pada sensitivitas komoditi terhadap etilen. Hal ini akan lebih detail didiskusikan pada Bab Etilen. Perubahan suhu juga berpengaruh pada proses transpirasi. Pada kisaran suhu fisiologi, kenaikan suhu umumnya akan meningkatkan laju transpirasi. Paling tidak hal ini disebabkan oleh dua hal, yaitu (1) semakin membukanya stomata, dan (2) meningkatnya gradient tekanan uap air dari dalam ke luar. Hal ini tentunya juga sangat berpengaruh pada daya awet (lihat Bab VIII, Kelembaban Ruang Penyimpanan).

#### **IV. SUHU DAN MIKROORGANISME PEMBUSUK**

Pada dasarnya, penanganan pasca panen buah dan sayuran sebenarnya melibatkan dua sistem hidup, yaitu sistem komoditi itu sendiri dan sistem mikroorganisme yang mengkontaminasinya. Kedua sistem hidup ini sama-sama dipengaruhi oleh perubahan suhu. Pengaruh suhu pada sistem komoditi telah dibahas pada bagian di atas.

Berbagai jenis mikroorganisme telah diketahui sering menyebabkan kerusakan pada hasil-hasil pertanian dan hortikultura. Suhu penanganan dan penyimpanan mempunyai peranan yang penting dalam mengendalikan pertumbuhan dan penyebaran mikroorganisme tersebut. Umumnya, semakin rendah suhu akan menyebabkan semakin rendah pula laju pertumbuhan mikroorganisme, atau bahkan dapat menghentikan proses pertumbuhannya. Berbagai mikroorganisme yang menyebabkan kerusakan, misalnya *Rhizopus*, akan menjadi statis pada suhu sekitar 5°C. Organisme yang lain, umumnya masih tetap tumbuh pada suhu penyimpanan sekitar 0°C, tetapi dengan laju yang sangat lambat.

Hubungannya dengan mikroorganisme, pengontrolan suhu pada proses penyimpanan adalah penting selain berpengaruh pada pertumbuhan mikroorganisme, suhu juga mempengaruhi aktivitas metabolisme, reaksi kimia lainnya, dan kehilangan air. Pertumbuhan mikroorganisme patogen sangat cepat pada temperatur 10<sup>0</sup>-37<sup>0</sup>C (50<sup>0</sup>-98<sup>0</sup>F) tetapi akan lambat pada suhu 3,3<sup>0</sup>-10<sup>0</sup>C (38<sup>0</sup>-50<sup>0</sup>F). Di bawah 3,3<sup>0</sup>C (38<sup>0</sup>F) mikroorganisme patogen tidak akan bertahan lama. Pertumbuhan mikroorganisme mesofilik dan termofilik sangat dihambat pertumbuhannya pada suhu dingin. Mikroorganisme psycrotrophic, tentu saja, tumbuh dengan baik pada suhu 0<sup>0</sup>-15<sup>0</sup>C (32<sup>0</sup>-59<sup>0</sup>F), tapi dari kebanyakan contoh, pertumbuhan mereka jauh lebih lambat pada suhu ini dibandingkan pada suhu 15<sup>0</sup>-45<sup>0</sup>C (59<sup>0</sup>-113<sup>0</sup>F). Oleh karena itu suhu dingin, pada hakikatnya memperlambat kebusukan karena

mikroorganisme. Contoh mikroorganisme yang bersifat psychrotrophic dapat dilihat pada Tabel 7-5. Perhatian khusus perlu diberikan kepada *psychotrophic* yang bersifat patogen yaitu *Listeria monocytogenes* karena dapat tumbuh pada suhu rendah.

**Tabel 7-5 Mikroorganisme yang bersifat psychrotrophic**

<b>Kelompok</b>	<b>Contoh</b>
Bakteri	<i>Acinetobacter, Aeromonas, Alcaligenes, Arthrobacter, Bacillus, Chromobacterium, Citrobacter, Clostridium, Corynebacterium, Enterobacter, Erwinia, Escherichia, Flavobacterium, Klebsiella, Lactobacillus, Leuconostoc, Listeria, Microbacterium, Micrococcus, Moraxella, Proteus, Pseudomonas, Serratia, Streptococcus, Streptomyces, Vibrio, Yersinia</i>
Jamur	<i>Aspergillus, Penicillum</i>
Yeast	<i>Candida, Cryptococcus, Torulopsis</i>

## BAB 8.

# KELEMBABAN RUANG PENYIMPANAN

Telah dijelaskan pada bagian sebelumnya bahwa transpirasi merupakan peristiwa keluarnya air dalam bentuk uap melalui permukaan tumbuhan, terutama pada bagian stomata. Transpirasi yang berlangsung selama pasca panen sangat berpengaruh pada mutu akhir buah dan sayuran. Proses pengeringan yang terjadi karena adanya proses transpirasi ini akan sangat mempengaruhi mutu visual (penampakan), tekstur, flavor, dan juga berat akhir dari buah-buahan dan sayuran. Transpirasi akan menyebabkan proses pengkerutan pada permukaan kulit, menghilangkan/ menurunkan tingkat kerenyahan dan kesegaran.

Pengaturan kelembaban merupakan faktor penting pada penyimpanan komoditas hortikultura untuk mencegah transpirasi yang berlebihan. Pada kelembaban relative yang rendah memungkinkan hilangnya kelembaban yang berlebihan dari produk yang berakibat pada menurunnya kualitas, biasanya produk menjadi layu dan berkerut. Pada umumnya, buah dan sayur disimpan pada kelembaban antara 85 sampai 95 %. Kelembaban relative yang terlalu tinggi juga mengakibatkan permasalahan, misalnya pada kelembaban hampir 100 %, memacu pertumbuhan kapang pada buah jeruk. Kelembaban relative yang lebih tinggi, yaitu antara 98 sampai 100 persen baik digunakan untuk menyimpan sayuran daun dan akar yang mempunyai koefisien transpirasi besar. Akan tetapi beberapa jenis sayur misalnya bawang merah dan *cucurbitaceae* perlu kelembaban relative yang lebih rendah yaitu antara 65 sampai 70 persen untuk mencegah kerusakan yang berlebihan.

Secara keseluruhan, daya jual buah dan sayuran akan mulai terpengaruh jika transpirasi telah mengakibatkan penurunan berat sekitar 1 -2%. Kehilangan berat sekitarnya 5-10%, tergantung dari jenisnya, dari berat awal (segar) akan menyebabkan buah dan sayuran tidak patut lagi dijual (lihat Tabel 8-1).

Nilai-nilai pada Tabel 8-1 tersebut diukur dan ditentukan secara subjektif, karenanya nilai-nilai tersebut bisa berbeda pada masyarakat yang berbeda. Namun tujuan utama dari Tabel tersebut adalah untuk menunjukkan betapa pentingnya proses transpirasi ini pada mutu produk pertanian. Beberapa peneliti bahkan mengategorikan transpirasi sebagai penyebab utama kerusakan pasca panen, terutama untuk sayuran-sayuran daun, misalnya bayam, selada, kubis, dan bawang daun (*green onion*) (Kader, 1983).

**Table. 8-1. Maksimum kehilangan kadar air (% dari berat segar awal) dimana buah dan sayuran menjadi tidak patut lagi dijual**

<b>Komoditi</b>	<b>Maksimum kehilangan kadar air (%)</b>
Asparagus	8
Seledri	10
Ketimun	5
Berbagai kacang-kacangan	5-6*)
Kubis	7-10*)
Wortel	4-8 *)
Selada	3-5*)
Kentang	7
Buncis	5
Bayam	3
Brokoli	4
<i>Strawberry</i>	6
Jagung manis	7
Tomat	7
Turnip (sejenis Lobak)	7
<i>Watercress</i> (sejenis kangkung)	5

Sumber : Ben-Yehoshua (1987)

## I. PROSES TRANSPIRASI DAN KELEMBABAN UDARA

Proses transpirasi terjadi karena adanya proses pindah massa (*mass transfer*) dimana uap air berpindah dari dalam produk pertanian (buah dan sayuran) ke permukaan dan akhirnya ke udara atmosfer. Sebagai proses pindah massa, maka proses transpirasi ini dapat diterangkan dengan hukum Fick yang menjelaskan tentang proses difusi. Secara sederhana hukum Fick dapat disajikan dalam persamaan sebagai berikut :

$$J = \left( \frac{(P_i - P_a)}{RT_r} \right) A, \text{ dimana}$$

$P_i$  = tekanan uap air didalam produk buah dan sayuran, umumnya dianggap sama dengan tekanan uap air jenuh pada suhu yang sama,

$P_a$  = tekanan uap air di atmosfer,

$A$  = luas permukaan, [=]  $\text{cm}^2$ ,

$R$  = konstanta gas,

$T$  = suhu mutlak,

$r$  = tahanan terhadap proses difusi, [=]  $\text{detik.cm}^{-1}$ ,

$J$  = flux, jumlah uap air yang berpindah persatuan waktu per satuan luas permukaan, [=]  $\text{g detik}^{-1}\text{cm}^{-2}$ .

Terlihat bahwa dalam hubungannya dengan proses transpirasi ini, hukum Fick pada dasarnya menyatakan bahwa laju perpindahan (difusi) uap air dari dalam

buah dan sayuran ke udara luar adalah berbanding lurus dengan gradien konsentrasi uap air ( $P_i - P_a$ ), luas permukaan ( $A$ ), dan berbanding terbalik dengan tahanan ( $r$ ). Jadi proses transpirasi ini didorong oleh adanya perbedaan tekanan uap air. Dengan demikian maka pengaturan tekanan uap air (atau kandungan uap air) udara, atau kelembaban udara, di ruang penyimpanan perlu dilakukan dengan sebaik-baiknya. Berdasarkan hal tersebut, maka untuk menghindari transpirasi yang berlebihan, produk-produk hortikultura harus disimpan pada kelembaban tertentu seperti terlihat pada Tabel 8-2.

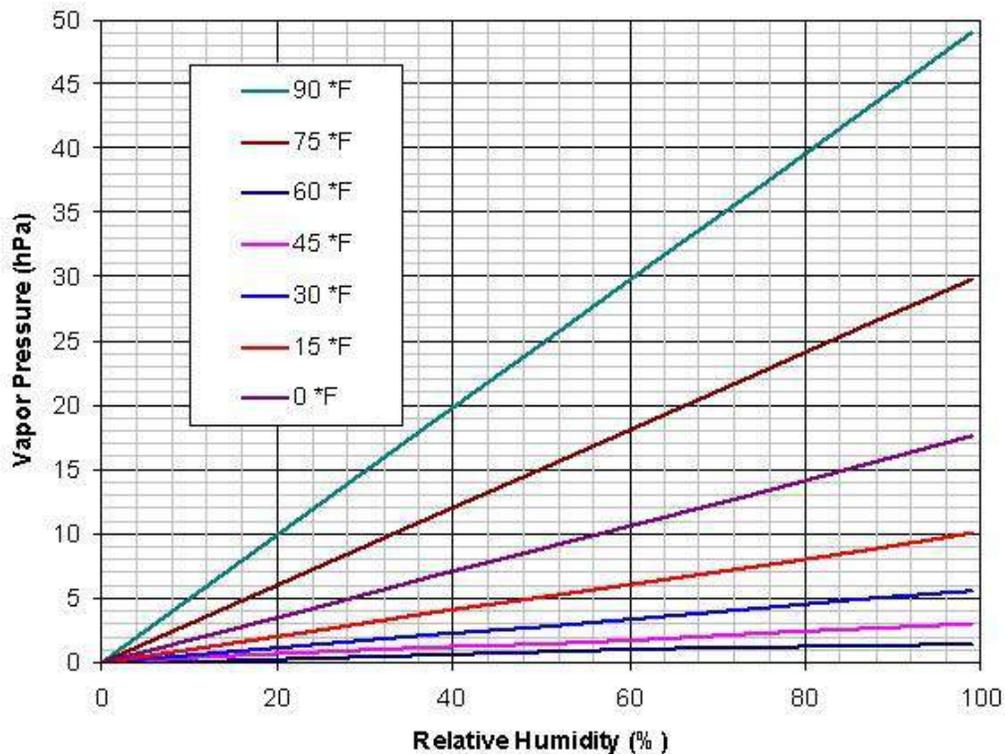
**Tabel 8-2. Kelembaban relatif yang direkomendasikan untuk buah dan sayur pada penyimpanan suhu rendah optimum**

Kelembaban Relatif	Produk
Kurang dari 85%	kelapa, buah kering, bawang putih,
85-90%	pisang (matang), jeruk, melon, peach, nenas, plum, nectarine, tomat, ubi, kentang.
90-95%	Apel (kematangan 90%), pisang (mentah), berrie, pear, kacang hijau, jagung manis, mentimun, sayur berdaun, kentang, umbi.

## II. FAKTOR-FAKTOR YANG MEMPENGARUHI TRANSPIRASI

### A. Kelembaban Udara

Kelembaban udara dapat dinyatakan dengan kelembaban relatif maupun kelembaban mutlak. Kelembaban mutlak (*absolute humidity*), sering pula disebut kelembaban jenis (*specific humidity*) adalah jumlah uap air yang dikandung oleh sejumlah besar udara kering. Chart psikometrik biasanya menyajikan nilai kelembaban udara mutlak dalam satuan gram atau pun kilogram uap air per kilogram udara kering. Kelembaban mutlak ini berbanding lurus dengan tekanan uap, seperti digambarkan pada Gambar 8-1.



**Gambar 8-1. Hubungan antara kelembaban relative/ relative humidity dengan tekanan uap air pada berbagai suhu (www.backpackinglight.com)**

*Relative humidity* (RH) atau kelembaban relatif adalah rasio antara tekanan uap air di udara dengan tekanan uap air jenuh pada suhu yang sama, dan dinyatakan sebagai persen, seperti dinyatakan oleh persamaan berikut:

$$RH = \frac{P}{P_o} \times 100\%, \text{ dimana,}$$

P = tekanan uap air di udara pada suhu T,

P<sub>o</sub> = tekanan uap air jenuh pada suhu yang sama, T.

Berdasar Gambar 8-1 terlihat bahwa nilai RH akan sangat tergantung pada suhu. Karena itu, perlu pula diingat bahwa nilai RH hanya bisa dibandingkan satu sama lain jika keduanya diukur pada suhu (dan juga tekanan atmosfer) yang sama. Contoh nilai tekanan uap air di udara pada berbagai suhu dapat dilihat pada Tabel 8-3.

Kondisi di dalam sel buah-buahan dan sayuran segar umumnya dianggap sebagai kondisi yang jenuh, sedangkan kondisi atmosfer umumnya tidak jenuh (RH < 100%). Karena itu terjadi gradien tekanan uap air antara kondisi di dalam sel dan di luar sel, yang akan menyebabkan difusi uap air dari dalam ke luar melalui rongga-rongga antar sel dan stomata.

**Tabel 8-3. Hubungan antara tekanan uap air dan kelembaban udara pada berbagai suhu**

Suhu, °C	Tekanan uap air (mm Hg) pada beberapa RH yang berbeda					
	0%	20%	40%	60%	80%	100%
0	0	0.92	1.83	2.75	3.66	4.58
10	0	1.84	3.68	5.53	7.37	9.21
20	0	3.51	7.02	10.52	14.03	17.54
30	0	6.36	12.73	19.09	25.46	31.82
40	0	11.06	22.13	33.19	44.25	55.32

Kontrol kelembaban relatif pada fasilitas penyimpanan merupakan hal yang penting jika lama penyimpanan maksimum diinginkan. Kelembaban relatif yang lebih besar dari optimum menyebabkan (1) meningkatnya pertumbuhan mikroorganisme sehingga mempercepat kebusukan atau (2) menyebabkan *splitting* yang abnormal pada beberapa buah (misalnya apel dan plum). Kelembaban relatif yang lebih rendah dari optimum menyebabkan layu pada buah dan sayuran, kerusakan penampakan pada jaringan hewan, kehilangan nilai ekonomis karena reduksi berat produk. Kehilangan air 3-6% akan menyebabkan kehilangan pasar pada sayur-sayuran. Diantara hal ekstrim yang disebutkan di atas, kelembaban relatif dapat mempengaruhi ketidakberaturan fisiologis yang berat, khususnya kerusakan daging pada apel dan *pitting* pada kulit jeruk

Kelembaban relatif pada fasilitas penyimpanan terutama ditentukan oleh perbedaan suhu antara udara dan koil refrigerasi. Perbedaan suhu yang kecil (sekitar 0,5<sup>o</sup>-1<sup>o</sup>C (10-20<sup>o</sup>F)) selama penyimpanan dingin diperlukan untuk memelihara kelembaban relatif yang cocok, hal ini memungkinkan hanya jika area permukaan koil refrigerasi cukup lebar, dan lintasan udara yang melalui koil cukup baik untuk menyediakan transfer panas.

## **B. Suhu**

Proses transpirasi meningkat dengan adanya peningkatan suhu lingkungan. Seperti contoh pada Gambar 8-2, proses transpirasi pada siang hari lebih tinggi daripada malam hari. Pengendalian suhu selama penyimpanan perlu dilakukan untuk mempertahankan kualitas produk. Selama penyimpanan, suhu harus dipertahankan agar tidak terjadi fluktuasi yang terlalu lebar. Pada proses penyimpanan dingin, biasanya suhu dipertahankan antara 1<sup>o</sup>C sampai 2<sup>o</sup>C. Pada penyimpanan yang mendekati titik beku, terkadang perlu interval suhu yang lebih sempit.

Naik turunnya suhu pada interval yang cukup tinggi dapat terjadi apabila pada penyimpanan terjadi kondensasi yang ditandai adanya air pada permukaan

bahan. Hal tersebut juga menandakan bahwa terjadi kehilangan air yang cepat pada bahan. Berbagai jenis buah dan sayur perlu suhu penyimpanan yang berbeda. Suhu yang lebih rendah dari optimum biasanya dapat mengakibatkan terjadinya pengembunan pada permukaan komoditi. Apabila hal ini terjadi, maka dapat menyebabkan pengkeriputan dan berkurangnya kualitas akibat cepatnya proses penuaan.

Adanya perbedaan suhu yang terlalu besar dalam ruangan dapat diatasi dengan menyertakan dinding penyekat atau dengan mempertahankan sirkulasi udara yang cukup di dalam ruang simpan. Kecepatan gerakan atau sirkulasi udara yang dapat memberikan kondisi yang tetap (stabil) berkisar antara 0,25 sampai dengan 0,33 m/detik.

### **C. Pengemasan**

Terjadinya transpirasi dapat dihambat dengan menghalangi gerakan udara pada permukaan bahan. Satu metode sederhana yang biasa digunakan adalah menggunakan bahan pengemas, baik berupa karton, karung, atau jenis pengemas lain. Pengemasan yang tepat dapat menghalangi aliran udara di sekitar bahan sehingga kehilangan air juga dihambat.

Kecepatan transpirasi pada produk yang dikemas dipengaruhi permeabilitas kemasan. Bahan pengemas bersifat permeable terhadap uap air sampai batas tertentu. Polietilen merupakan pengemas yang dapat menghambat uap air lebih baik dibanding kertas karena mempunyai kecepatan transfer air lebih rendah.

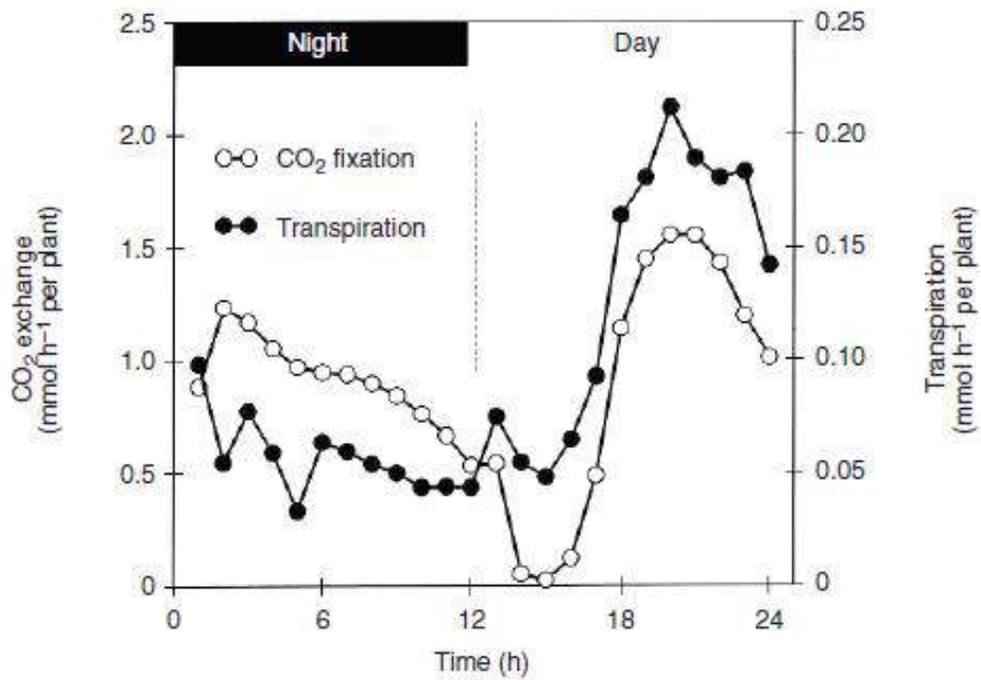
Pada pengemasan juga harus dipertimbangkan kemampuan bahan pengemas dalam mengabsorpsi air. Bahan pengemas dari derivat kertas dapat mengabsorpsi air lebih besar. Pada penggunaan pengemas semacam ini perlu adanya perlakuan membuat pengemas menjadi anti air menggunakan lilin. Akan tetapi jenis pengemas seperti ini mempunyai harga yang lebih mahal.

### **D. Udara**

Selama penyimpanan diperlukan sirkulasi udara untuk menjaga suhu agar konstan, memelihara keseragaman komposisi serta mendinginkan produk secara cepat. Sirkulasi udara ini diperlukan saat penyimpanan, namun perlu diperhatikan kecepatannya karena dapat mengakibatkan kehilangan air pada bahan. Semakin cepat pergerakan udara melalui permukaan buah dan sayur, semakin besar kehilangan air dari produk.

Aliran udara harus didesain sedemikian rupa untuk menghindari kehilangan air dari produk. Kecepatan sirkulasi udara yang sedang dapat menyebabkan beberapa produk mengalami dehidrasi, tetapi hal ini dapat dikurangi dengan memelihara kelembaban relatif yang tepat.

Beberapa jenis buah menghasilkan komponen volatil yang mempunyai aroma tidak enak sehingga perlu adanya pemurnian udara. Pada beberapa contoh, penghilangan komponen volatil dapat memperlambat pematangan, dan timbulnya *scald*. Contoh metode pemurnian adalah penambahan aliran udara melalui arang aktif atau ventilasi sederhana.



Gambar 8-2. Kecepatan transpirasi dan perubahan CO<sub>2</sub> pada buah nanas selama siang dan malam hari (Côte *et al.*, 1993 dalam Maleziaux *et al.*,)

## BAB 9.

# KOMPOSISI ATMOSFIR

Komposisi gas/udara dalam ruang penyimpanan mempunyai pengaruh terhadap daya awet berbagai buah dan sayur. Komposisi udara atmosfer secara normal adalah 78,08% nitrogen ( $N_2$ ), 20,95% oksigen ( $O_2$ ), 0,03% karbondioksida ( $CO_2$ ), dan berbagai gas minor lainnya, diantaranya adalah etilen ( $CH_2=CH_2$ ). Dalam hubungannya dengan keawetan buah dan sayuran dalam ruang penyimpanan/pengemasan, paling tidak ada tiga macam gas, yaitu gas  $O_2$ ,  $CO_2$ , dan  $CH_2=CH_2$ , yang perlu dikontrol dengan baik. Gas lain yang perlu pula diperhatikan adalah karbonmonoksida (CO). Gas CO tidak merupakan komponen gas normal yang diproduksi oleh buah atau sayuran, tetapi dalam ruang penyimpanan gas CO mungkin saja terakumulasi sebagai akibat dari pembakaran yang tidak sempurna dari suatu mesin (motor bakar, misalnya) yang ada pada lingkungan penyimpanan. Dalam jumlah tertentu, CO dapat bersifat toksik, baik terhadap buah dan sayuran atau pun terhadap pekerja di dalam ruang penyimpanan. Namun, dalam kondisi terkontrol, penambahan CO dalam ruang penyimpanan dapat pula mempunyai efek yang menguntungkan, khususnya untuk mencegah perubahan warna dan pencegahan pertumbuhan *Botrytis* pada selada.

Dalam literatur, teknik penyimpanan dengan perubahan komposisi gas ini sering disebut dengan teknik **atmosfir terkontrol** (*controlled atmosphere*), **modifikasi atmosfer** (*modified atmosphere*), atau kadang-kadang "*gas storage*". Istilah-istilah tersebut menerangkan bahwa kedalam sistem penyimpanan, penambahan atau pun pengurangan gas-gas ( $CO_2$ , CO,  $O_2$ ,  $N_2$ ,  $CH_2=CH_2$ ) telah dilakukan sehingga komposisi gas dalam ruangan penyimpanan berbeda dengan komposisi gas pada udara terbuka. Penyimpanan dengan atmosfer terkontrol biasanya dilakukan dengan mengurangi konsentrasi gas  $O_2$  dan meningkatkan konsentrasi  $CO_2$ , dan komposisi tersebut terkontrol dengan baik selama proses penyimpanan.

Istilah penyimpanan dengan modifikasi atmosfer biasanya dipakai bila konsentrasi  $O_2$  dan  $CO_2$  dimodifikasi tetapi tidak dikontrol dengan ketat selama penyimpanan. Hal ini misalnya terjadi pada penyimpanan buah-buahan dalam kantong plastik, sedemikian sehingga komposisi atmosfer berubah selama penyimpanan. Istilah "*gas storage*" biasanya ditemukan pada literatur kuno, dan sebaiknya tidak dipakai lagi karena kurang tepat.

### I. PENGARUH KOMPOSISI ATMOSFIR PADA METABOLISME SEL

Komposisi oksigen (O<sub>2</sub>) dan karbondioksida (CO<sub>2</sub>) sangat berpengaruh pada daya awet buah dan sayuran, karena kedua gas tersebut terlibat langsung dengan proses respirasi. Reaksi umum proses respirasi adalah:



Dari persamaan reaksi tersebut, berdasarkan hukum aksi massa, terlihat bahwa kecepatan respirasi dapat diperlambat (untuk memperpanjang daya awet) dengan mengurangi konsentrasi O<sub>2</sub> dan meningkatkan konsentrasi CO<sub>2</sub> dalam sistem reaksi (yaitu dalam ruang penyimpanan).

Prinsip dasar ini telah diaplikasikan pada jaman kuno, walaupun tidak secara sadar. Penyimpanan dengan teknik atmosfer termodifikasi paling awal mungkin tercatat di negeri China. Menurut Wills dkk (1989), buah leci (litchis) dari Cina Selatan didistribusikan sampai ke Cina Utara. Untuk maksud tersebut, buah leci dimasukkan dalam gentong tanah liat bersama-sama dengan daun dan rumput yang masih segar, kemudian ditutup dengan rapat. Dengan cara ini, perjalanan selama 2 minggu dapat dilalui dengan selamat karena selama perjalanan, proses respirasi buah, daun dan rumput akan mengakibatkan terkurasnya O<sub>2</sub> dan meningkatkan konsentrasi CO<sub>2</sub> dalam gentong. Contoh penyimpanan dengan prinsip atmosfer termodifikasi kuno lainnya adalah penyimpanan bawah tanah, atau pengangkutan buah-buahan dengan wadah/kontainer tertutup.

Namun demikian, baru pada tahun 1927, mekanisme penyimpanan dengan modifikasi atmosfer ini terjawab secara ilmiah, yaitu ketika Kidd dan West (dari *Low Temperature Research Station* di Cambridge, Inggris) mempublikasikan penemuannya yang berjudul *Gas Storage of Fruit*. Dalam publikasinya tersebut Kidd dan West berhasil menunjukkan bahwa konsentrasi CO<sub>2</sub> tinggi dan konsentrasi O<sub>2</sub> rendah berakibat menurunkan laju respirasi biji-bijian dan sekaligus juga menunda proses germinasi.

Selain mempengaruhi laju respirasi, peningkatan konsentrasi CO<sub>2</sub> dan penurunan konsentrasi O<sub>2</sub> juga akan mempengaruhi reaksi metabolisme lainnya. Umumnya, untuk mencapai tujuan memperlambat proses respirasi, konsentrasi O<sub>2</sub> harus ditekan hingga kurang dari 10%. Untuk buah apel, misalnya, yang disimpan pada suhu 5°C, konsentrasi O<sub>2</sub> harus ditekan sampai sekitar 2,5% untuk memperoleh laju respirasi separo dari laju normalnya. Pengendalian konsentrasi O<sub>2</sub> ini hendaknya dilakukan dengan baik jangan sampai terlalu rendah (sekitar 1 - 2%) sehingga akan merangsang proses respirasi anaerobik, yang antara lain ditandai dengan timbulnya "off-flavor" dan sekaligus naiknya konsentrasi CO<sub>2</sub> (Boersig dkk, 1988).

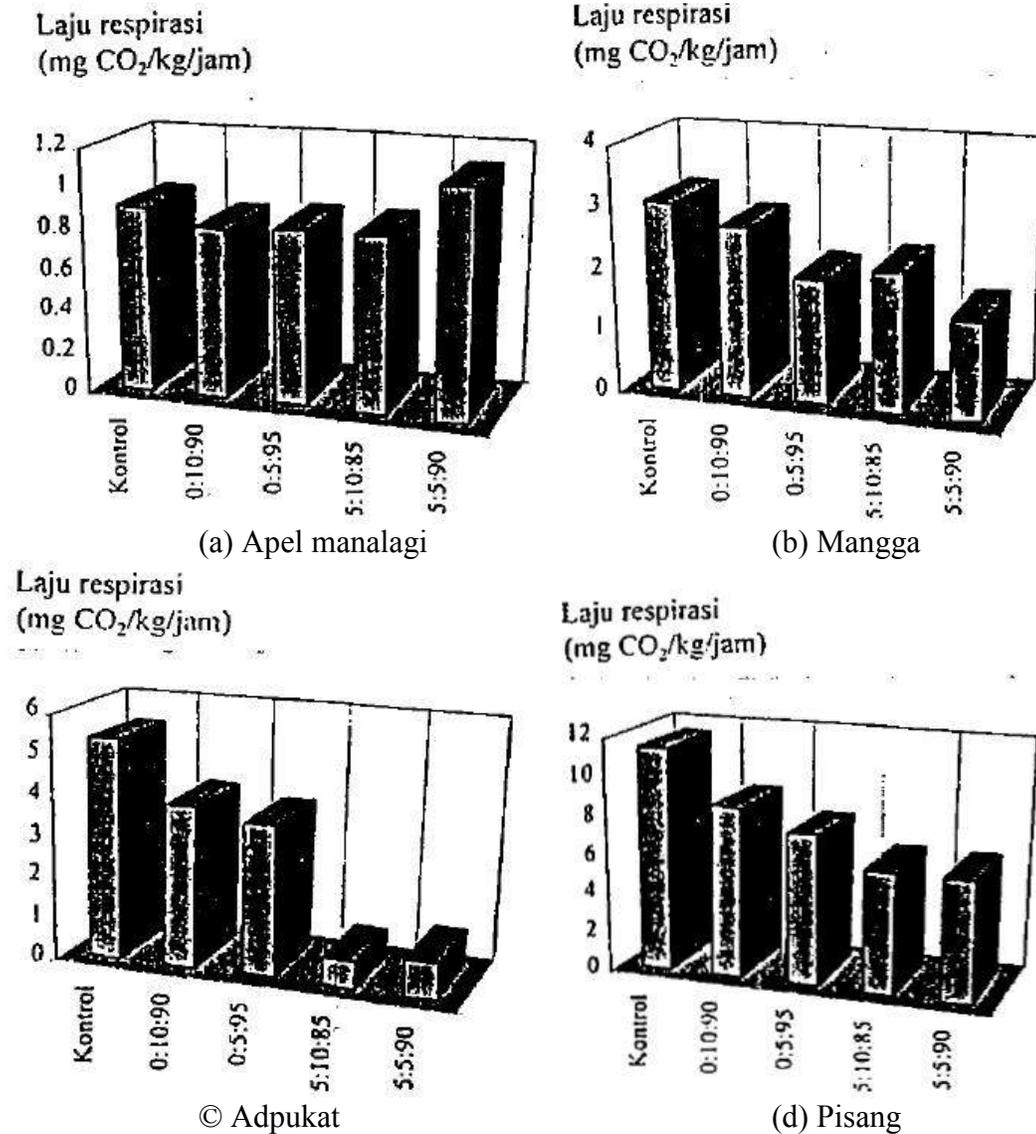
Tabel 9-1. berikut ini menyajikan konsentrasi O<sub>2</sub> kritis pada berbagai buah dan sayuran, jika konsentrasi gas-gas lainnya dalam ruang penyimpanan berada pada konsentrasi normal (sebagaimana konsentrasi di udara luar), serta suhu dan kelembaban udara dijaga selalu pada kondisi optimum. Konsentrasi O<sub>2</sub> kritis, yaitu konsentrasi O<sub>2</sub> minimal yang dapat dicapai tanpa mengakibatkan terjadinya respirasi anaerobik. Gambaran skematis pengaruh konsentrasi O<sub>2</sub> pada laju respirasi buah dan sayuran dapat diamati pada Gambar 9-1.

**Tabel 9-1. Konsentrasi O<sub>2</sub> kritis pada berbagai buah dan sayur**

Buah/sayur	Konsentrasi O <sub>2</sub> minimal (%)
Jeruk	5
Cherri, alpukat	3
Apel, pear, nanas, papaya, strawberry, apricot, peach, plum	2

\*Diolah dari berbagai sumber

Pada suhu yang lebih rendah, laju respirasi juga akan lebih rendah sehingga kebutuhan O<sub>2</sub> juga lebih rendah. Hal ini mengakibatkan konsentrasi O<sub>2</sub> kritis menjadi lebih rendah. Disamping itu, toleransi terhadap rendahnya konsentrasi O<sub>2</sub> juga sangat dipengaruhi oleh suhu, konsentrasi CO<sub>2</sub>, lamanya penyimpanan, dan tentunya juga oleh jenis buah dan sayuran. Buah dan sayuran umumnya lebih tahan terhadap rendahnya konsentrasi O<sub>2</sub> jika konsentrasi CO<sub>2</sub> pada ruang penyimpanan juga rendah.



**Gambar 9-1. Laju respirasi buah dan sayur pada variasi konsentrasi O<sub>2</sub> dan CO<sub>2</sub>(komposisi CO<sub>2</sub>:O<sub>2</sub>:N<sub>2</sub>) (Jumeri *et al.*, 1997)**

Kenaikan konsentrasi CO<sub>2</sub> juga mempunyai pengaruh menekan laju respirasi aerobik. Namun demikian, pada konsentrasi yang terlalu tinggi, CO<sub>2</sub> akan menyebabkan naiknya respirasi anaerobik sehingga mendominasi respirasi aerobik, yang ditandai dengan naiknya produksi etanol dan asetaldehida. Tabel 9-2. menyajikan konsentrasi CO<sub>2</sub> kritis pada berbagai buah dan sayuran. Sebagaimana pada Tabel 1, nilai-nilai pada Tabel 2. juga diperoleh jika konsentrasi gas-gas lainnya dalam ruang penyimpanan berada pada konsentrasi normal (sebagaimana

konsentrasi di udara luar), serta suhu dan kelembaban udara dijaga selalu pada kondisi optimum.

**Tabel 9-2. Konsentrasi kritis CO<sub>2</sub> pada berbagai buah dan sayuran**

Buah/sayur	Konsentrasi CO <sub>2</sub> maksimum (%)
Pear	1
Apel (Delicious), apricot	2
Apel ((McIntosh, Jonathan), peach, alpukat, pisang, mangga, pepaya	5
Cherrie, zaitun	10
Alpukat (Lula)	14
Strawberi	20

\*Diolah dari berbagai sumber

Menurut Kader (1982) kenaikan konsentrasi CO<sub>2</sub> (sebagaimana penurunan konsentrasi O<sub>2</sub>) akan menghambat proses dekarboksilasi yang sangat penting pada respirasi aerobik. Karena itu maka siklus Krebs menjadi diperlambat, dan keperluan ATP dicoba dipenuhi dari glikolisis. Akibatnya akan terjadi akumulasi asam piruvat yang selanjutnya akan direduksi menjadi ethanol. Pada buah apel, konsentrasi CO<sub>2</sub> lebih besar dari 6% akan menyebabkan menaikkan laju reaksi oksidasi malat, tetapi menekan laju oksidasi asam sitrat,  $\alpha$ -ketoglutarat, suksinat, fumarat, dan piruvat (Shipway dan Bramlage, 1973). Kerbel dkk. (1988) juga menyatakan bahwa turunnya laju respirasi aerobik karena naiknya konsentrasi CO<sub>2</sub> juga antara lain disebabkan karena terhambatnya enzim phosphofruktokinase.

Naiknya daya awet yang diperoleh dari penyimpanan dengan atmosfer terkontrol ini tidak semata-mata karena penurunan laju respirasi saja. Buah pisang, misalnya, mampu mempunyai daya awet 12 kali lebih panjang jika buah pisang tersebut disimpan pada kondisi ruangan dengan komposisi gas CO<sub>2</sub> (5%), O<sub>2</sub> (3%) dan N<sub>2</sub> (92%) dibandingkan jika ia disimpan pada udara biasa. Namun berdasarkan pengukuran laju respirasi (yang diukur dari jumlah O<sub>2</sub> yang dikonsumsi) hanya turun menjadi seperempat dari laju respirasi buah pisang yang disimpan pada udara biasa. Jadi, kenaikan daya awet tidak bisa hanya disebabkan penurunan laju respirasi saja. Faktor-faktor lain juga berperan, seperti misalnya laju produksi etilen dan kepekaan buah/sayuran terhadap etilen. Dalam contoh buah pisang di atas, kedua faktor tersebut sama-sama menurun; laju produksi etilen juga menurun dan kepekaan terhadap etilen juga turun (Wills dkk, 1989). Kader (1986) menyatakan bahwa konsentrasi O<sub>2</sub> sekitar 8% akan menyebabkan turunnya produksi etilen dan sekaligus turunnya kepekaan buah dan sayuran terhadap etilen. Turunnya produksi etilen pada kondisi kurang O<sub>2</sub> ini dapat dijelaskan dengan kemungkinan penghambatan konversi ACC (1-aminocyclopropana-1-asam karbosilat) menjadi etilen yang memang memerlukan O<sub>2</sub> (lihat Gambar 5-1, pada Bab Etilen).

Berbagai aktivitas enzim juga dipengaruhi oleh komposisi atmosfer, terutama konsentrasi O<sub>2</sub> dan CO<sub>2</sub>. Menurunkan konsentrasi O<sub>2</sub> misalnya, tentunya akan sangat berpengaruh bagi enzim oksidase yang mempunyai nilai konstant

Michaelis-menten ( $K_m$ ) terhadap  $O_2$  cukup besar. Nilai  $K_m$  yang semakin kecil menunjukkan semakin besar affinity enzim tersebut terhadap oksigen. Secara kinetik, nilai  $K_m$  dapat diartikan sebagai nilai konsentrasi substrat (dalam hal ini  $O_2$ ) yang diperlukan untuk mencapai separo dari kecepatan reaksi maksimum. Misalnya, enzim phenolase (poliphenol oksidase) mempunyai  $K_m$  (terhadap  $O_2$ ) =  $1 \times 10^{-4}$  sampai  $5 \times 10^{-4}$  M. Enzim oksidase yang lain yang mempunyai nilai  $K_m$  mirip dengan nilai  $K_m$  poliphenoloksidase adalah asam askorbat oksidase dan asam glikolat oksidase (Solomos, 1982). Dari nilai  $K_m$ , dapat diduga bahwa enzim-enzim tersebut akan terpengaruhi secara nyata dengan adanya penurunan konsentrasi oksigen. (Lebih lanjut, hal itu menjelaskan kenapa penurunan konsentrasi oksigen dapat menghambat proses pencoklatan yang dikatalisa oleh enzim phenolase). Enzim sitokrom oksidase mempunyai nilai  $K_m = 3 \times 10^{-6}$  M sampai  $7 \times 10^{-8}$  M, yaitu mempunyai afinitas terhadap  $O_2$  sekitar 5 sampai 6 kali lebih kuat dari oksidase yang lain. Karena itu, menurunnya laju reaksi respirasi aerobik pada buah dan sayuran dalam kontrol atmosfer tidak disebabkan karena turunnya aktivitas sitokrom oksidase (Burton, 1978).

Komposisi  $CO_2$  dan  $O_2$  juga memberikan pengaruh terhadap adanya cacat pada buah dan sayur. Beberapa jenis buah dan sayur menunjukkan adanya *injury* pada penyimpanan dengan komposisi  $CO_2$  tinggi dan  $O_2$  rendah seperti terlihat pada Tabel 9-3. Awal terjadinya *injury* dapat digambarkan dengan adanya zona yang keras tetapi teksturnya “rubbery” saat ditekan menggunakan jari. Pada akhirnya, jaringan tersebut kehilangan air. Contoh *injury* karena konsentrasi  $CO_2$  tinggi dan  $O_2$  rendah pada buah apel dapat dilihat pada Gambar 9-2.

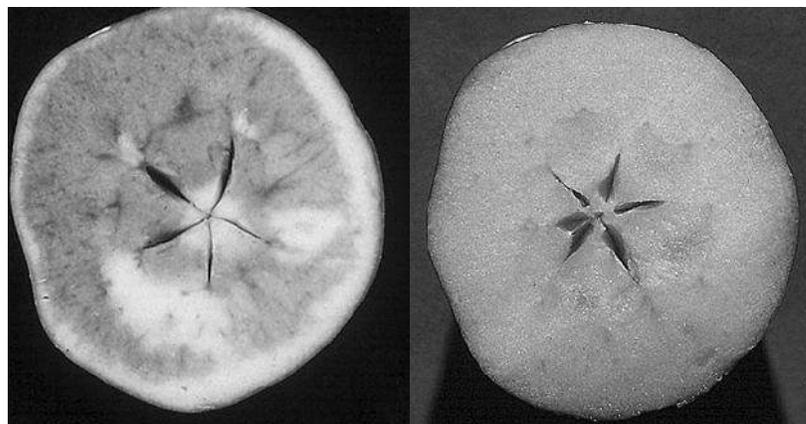
**Tabel 9-3. Konsentrasi  $O_2$  dan  $CO_2$  yang mengakibatkan terjadinya *injury* pada beberapa jenis buah dan sayur**

Buah/sayur	$CO_2$ <i>injury</i> level	$CO_2$ <i>injury syndrome</i>	$O_2$ <i>injury</i> level	$O_2$ <i>injury syndrome</i>
Anggur	>5	Pencoklatan	<1	<i>Off flavor</i>
Aprikot	>5	<i>Off flavor</i> , pencoklatan pada daging buah	< 1	<i>off flavor</i>
Asparagus	>10 pada 3-6°C >15 pada 0-3°C	Meningkatkan elongasi dan sensitivitas terhadap pendinginan	<10	Perubahan warna
Avocado	>15	Pencoklatan kulit, <i>off-flavour</i>	<1	Internal flesh breakdown, <i>off-flavour</i>
Blackberry	>25	<i>Off-flavour</i>	< 2	<i>Off-flavour</i>
Blueberry	>25	Pencoklatan pada kulit, <i>off-flavour</i>	< 2	<i>Off flavor</i>
Broccoli	>15	<i>off-odour</i>	< 0,5	Off-odour, can be lost, upon aeration if slight

<i>Brussels sprout</i>	>10	<i>Off-odour</i> , perubahan warna bagian dalam	<1	<i>Off-odour</i> , perubahan warna bagian dalam
Cherry	>30	Perubahan warna kulit menjadi coklat, <i>off-flavor</i>	<1	Off-flavour
Durian	>20	Tidak diketahui	<2	Gagal matang, diskolorisasi warna pulp menjadi abu-abu
Grapefruit	>10	Luka pada kulit, <i>off-flavour</i>	<3	<i>Off-flavor</i> karena meningkatnya kadar etanol dan asetaldehid
Ketimun	>5 pada 8°C, >10 pada 5°C	Meningkatkan pelunakan, meningkatkan <i>chilling injury</i> , diskolorisasi permukaan	<1	<i>Off-odour</i> , meningkatkan <i>chilling injury</i>
Kiwi	>7	Daging pecah	<1	<i>Off flavor</i>
Kubis	>10	Perubahan warna pada bagian dalam	<2	<i>Off flavor</i> , sensitivitas terhadap pendinginan meningkat
Kembang kol	>5	<i>Off flavor</i>	< 2	Timbul <i>off flavor</i> dan <i>off odours</i> sudah dimasak
Mangga	>10	Pelunakan, <i>off flavor</i>	<2	Diskolorasi kulit, warna daging keabu-abuan, <i>off-flavour</i>
Melon	>20	<i>Off-flavour</i> dan odour, gangguan pematangan	<1	<i>Off-flavour</i> dan odour, gangguan pematangan
Jeruk	>5	<i>Off-flavour</i>	<5	<i>Off-flavour</i>
Nanas	>10	<i>Off-flavour</i>	<2	<i>Off-flavour</i>
Pepaya	>8	Bisa mengakibatkan <i>chilling injury</i> pada <12 °C, <i>Off-flavour</i>	<12	Gagal matang, <i>off-flavour</i>
Peach	>5	Pencoklatan daging yang semakin meningkat dengan meningkatnya CO2	<1	Off-flavour pada produk kalengan
Pisang	>7	Pelunakan buah yang masih hijau, tekstur dan flavor tidak diinginkan	<1	Diskolorasi kulit, gagal matang, <i>off-flavour</i>
Plum	>1	Pencoklatan daging buah	<1	Gagal matang
Rambutan	>20	Tidak diketahui	<1	Meningkatnya

				kerontokan
Strawberry	>25	<i>Off-flavor</i> , pencoklatan	<2	<i>Off-flavor</i>
Seledri	>10	<i>Off-flavor</i> dan odor, perubahan warna pada bagian internal	<2	<i>Off-flavor</i> dan odor
Tomat	>2 untuk buah mature	<i>Discoloration</i> , pelunakan, terkadang buah menjadi tidak matang	<2	<i>Off-flavor</i> , pelunakan, buah menjadi tidak matang

Sumber: Thompson (2010)



**Gambar 9-2. Injury karena konsentrasi CO<sub>2</sub> tinggi (a) dan O<sub>2</sub> rendah (b) pada apel (Sharples dalam Thompson, 2010)**

## II. CARA-CARA MODIFIKASI DAN PENGENDALIAN KOMPOSISI ATMOSFER

### A. Modifikasi Aktif

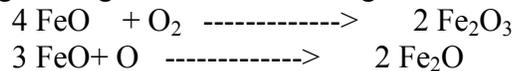
Komposisi atmosfer, terutama komposisi O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, dan etilen dapat dimodifikasi dengan dua cara, yaitu secara aktif atau secara pasif. Yang dimaksud dengan modifikasi secara aktif yaitu pengaturan dengan cara mengkosongkan udara dalam ruangan (dengan cara disedot), kemudian diganti dengan udara baru yang diketahui dengan pasti komposisinya. Keuntungan cara ini adalah bahwa kondisi atmosfer dapat mencapai kondisi yang diinginkan sesaat setelah penyimpanan/pengemasan.

Disamping cara itu, pemberian bahan penyerap (absorben atau pun adsorben) juga sering digunakan untuk memodifikasi dan mengendalikan komposisi atmosfer. Kriteria yang perlu diperhatikan dalam pemilihan dan penggunaan bahan penyerap antara lain adalah (1) bahan tersebut harus aman, tidak berbahaya bagi manusia, baik karena adanya kontak langsung atau pun tidak langsung, (2)

effective (berukuran kecil tetapi mempunyai daya serap yang tinggi, mempunyai kecepatan penyerapan yang baik, dll), dan (3) awet, tidak rusak selama digunakan. Bahan-bahan penyerap yang umumnya digunakan untuk memodifikasi komposisi udara diruang penyimpanan/pengemasan dicontohkan pada diskusi dibawah ini.

### A.1. Penyerap Oksigen.

Absorben oksigen yang beredar secara komersial adalah bahan berupa bubuk yang menggunakan bubuk besi (sering FeO) sebagai bahan aktifnya. Bubuk ini akan mengkonsumsi oksigen dengan mekanisme sebagai berikut:



Dengan mengetahui komposisi bubuk besi yang digunakan, maka dapat dihitung berapa jumlah bubuk besi yang diperlukan untuk mengurangi konsentrasi oksigen sampai pada tingkat yang diinginkan. Perlu pula diperhitungkan suhu penyimpanannya, karena semakin rendah suhu akan semakin rendah pula laju absorpsi oksigen oleh bubuk besi.

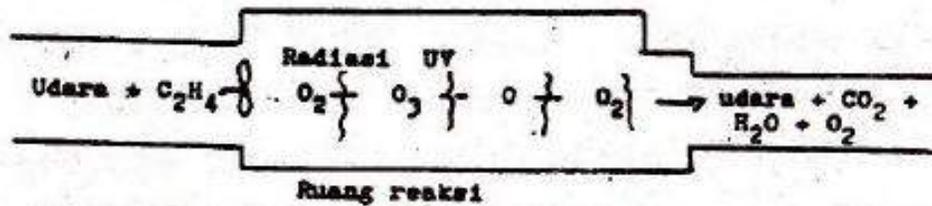
### A.2. Penyerap Karbondioksida.

Untuk keperluan menyerap CO<sub>2</sub> dari lingkungan penyimpanan biasanya digunakan (1) larutan kapur, larutan segar Ca(OH), karbon/arang aktif, dan (3) magnesium oksida.

### A.3. Kontrol Etilen.

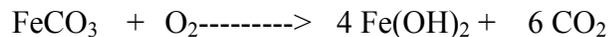
Bahan penyerap etilen yang paling sering digunakan adalah kalium permanganat (KMnO<sub>4</sub>). Biasanya, KMnO<sub>4</sub> (cairan berwarna ungu) dapat digunakan dalam bentuk cair. Namun untuk mempermudah penanganan dan meingkatkan laju penyerapan (dengan mempertinggi luas permukaan KMnO<sub>4</sub>) maka KMnO<sub>4</sub> ini digunakan dalam bentuk bubuk atau partikel. Hal ini dapat dilakukan dengan cara mencampurkan KMnO<sub>4</sub> dengan bahan anorganik yang bersifat inert dan porus, seperti celite, vermikulat, silika gel, atau pelet alumina. KMnO<sub>4</sub> akan mengoksidasi etilen menjadi CO<sub>2</sub> dan H<sub>2</sub>O. Senyawa lainnya seperti senyawa hidrokarbon (squalane, apiezon) dann silikon (phenilmetilsilikon) juga dapat digunakan sebagai penyerap etilen.

Pada dasarnya, etilen dapat dihilangkan dengan cara oksidasi. Ozone (O<sub>3</sub>) merupakan oksidator yang sering pula digunakan untuk mengoksidasi etilen. Ozone dapat diproduksi dari oksigen diudara dengan menggunakan listrik atau pun dengan radiasi ultraviolet. Namun demikian, ozon harus diperlakukan secara hati-hati karena ia bersifat gas dan korosif, sehingga berbahaya bagi pipa-pipa, kertas/bahan pengemas, buah dan sayuran, atau bahkan pada manusia. Penggunaan radiasi ultraviolet untuk memproduksi ozon telah digunakan dengan cukup baik karena mudah dan aman. Secara skematis hal ini ditunjukkan oleh Gambar 9-3. berikut ini.



**Gambar 9-3. Sistem pemusnahan etilen dengan atom oksigen (O) yang diproduksi dengan radiasi ultraviolet (Wills dkk. 1989)**

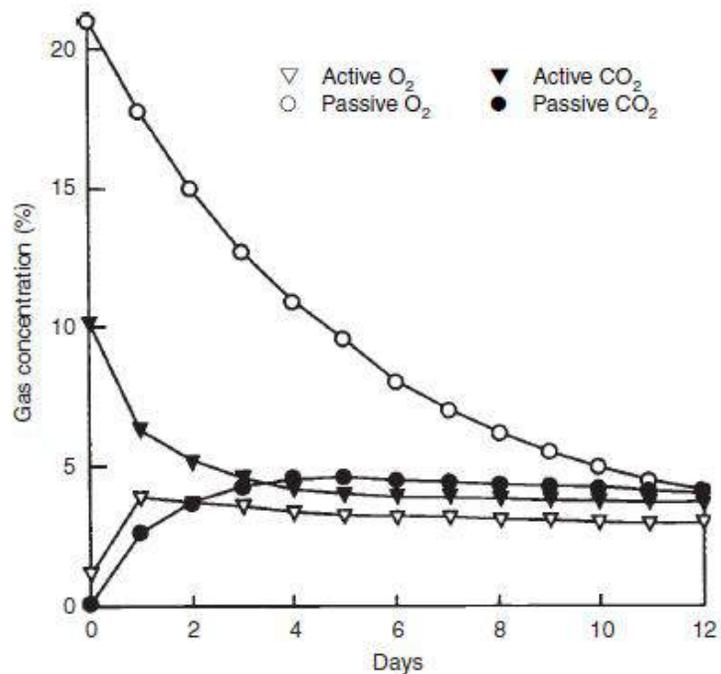
Metoda lain yang juga dengan cepat memodifikasi komposisi atmosfer adalah penggunaan kantong (sachet) berisi besi karbonat ( $\text{FeCO}_3$ ), khususnya untuk memodifikasi komposisi  $\text{O}_2$  dan  $\text{CO}_2$ . Besi karbonat merupakan padatan yang diperkirakan mengkonsumsi  $\text{O}_2$  dengan mekanisme sebagai berikut (Kader dkk, 1989):



Dengan demikian, penggunaan besi karbonat akan mengurangi konsentrasi  $\text{O}_2$  dan sekaligus meningkatkan konsentrasi  $\text{CO}_2$  dalam ruang penyimpanan. Namun, sesuai dengan koefisien reaksinya, meningkatnya  $\text{CO}_2$  akan sekitar 6 kali lebih cepat daripada turunnya konsentrasi  $\text{O}_2$ . Karena itu, untuk mengurangi konsentrasi  $\text{O}_2$  sampai pada tingkat yang diinginkan perlu dibantu dengan penggunaan absorben oksigen lainnya.

### **B. Modifikasi Pasif**

Modifikasi atmosfer dapat dilakukan dengan cara pasif, yaitu dengan cara membiarkan buah atau sayuran melakukan respirasi di dalam kemasan tertutup. Sebagaimana diketahui, sel melakukan respirasi, memerlukan  $\text{O}_2$  untuk menguraikan berbagai jenis substrate menjadi  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ , dan energi. Akibatnya, selama proses respirasi dalam ruang tertutup akan terjadi penurunan konsentrasi  $\text{O}_2$  dan akumulasi  $\text{CO}_2$  di dalam sel. Namun demikian, proses ini berlangsung dalam periode waktu yang relatif lama dan sangat tergantung pada karakteristik pertukaran gas antara komoditi dan lingkungannya, jenis buah dan sayuran, dan jenis bahan pengemas yang digunakan. Modifikasi atmosfer secara aktif dan pasif ini mengakibatkan perubahan kecepatan gas yang berbeda seperti terlihat pada Gambar 9.4.

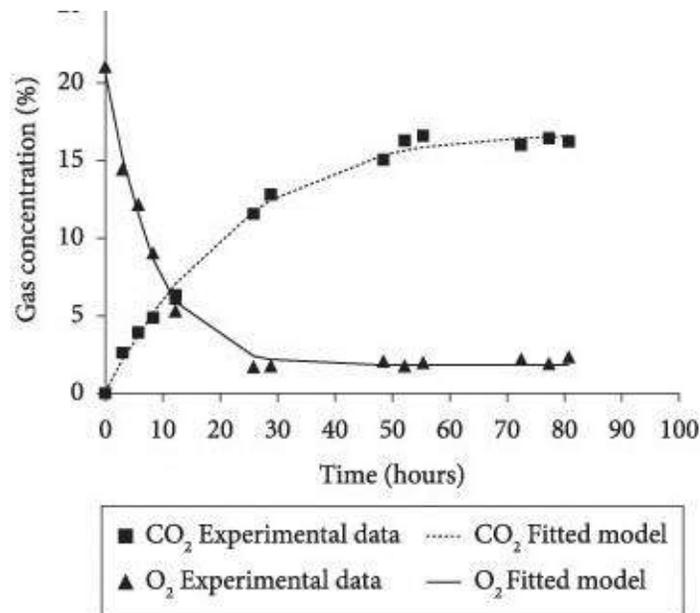


**Gambar 9-4. Perbandingan antara Modified Atmosfer Secara Aktif dan Pasif Terhadap Perubahan Kecepatan O<sub>2</sub> dan CO<sub>2</sub> pada Buah Cabe (Zagory, 1990 dalam Thompson, 2010)**

### B.1. Respirasi dan karakteristik difusi

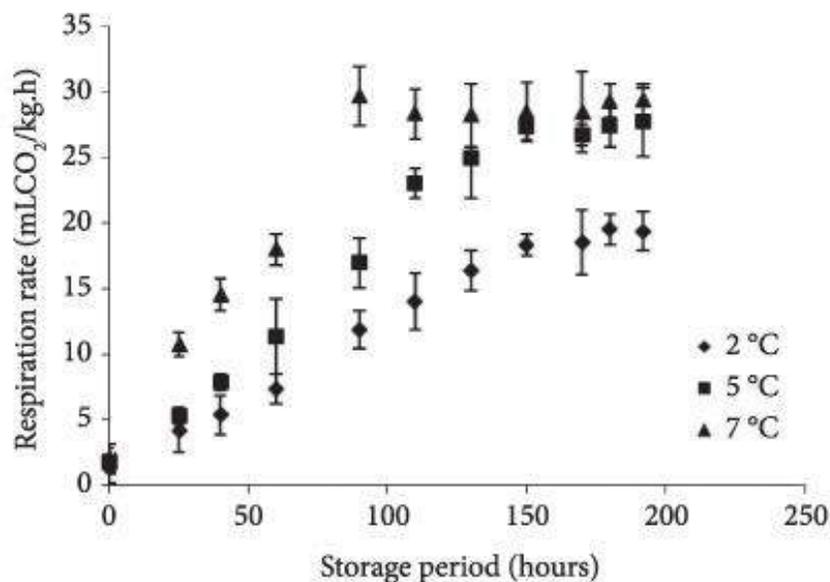
Proses respirasi akan mengakitkannya naiknya konsentrasi CO<sub>2</sub> dalam cairan selular (cell sap). Hal ini akan mendorong proses difusi CO<sub>2</sub> dari bagian internal sel keluar menuju permukaan dinding sel. Kemudian CO<sub>2</sub> akan terus berpindah melalui ruangan-ruangan intraseluler sebagai gas bebas sampai di daerah bawah kulit (jaringan epidermis dan berbagai jaringan pelindung lainnya). Gas CO<sub>2</sub> ini selanjutnya akan melakukan proses difusi melalui jaringan dermal keluar ke lingkungan atmosfer atau lingkungan di dalam kemasan. Hal yang sama juga terjadi pada etilen yang juga diproduksi.

Sebaliknya, O<sub>2</sub> di dalam sel akan dikonsumsi selama proses respirasi, akibatnya konsentrasi O<sub>2</sub> di udara luar akan jauh lebih tinggi daripada konsentrasi O<sub>2</sub> didalam sel. Adanya gradien konsentrasi yang demikian akan mendorong proses transpor O<sub>2</sub> dari luar ke dalam sel, persis kebalikan dari transpor CO<sub>2</sub>. Karena itu, pemahaman tentang pertukaran gas (transfer massa) dari sel ke lingkungan luar dan sebaliknya perlu dikuasai. Profil gradien konsentrasi O<sub>2</sub> dan CO<sub>2</sub> ini diilustrasikan pada Gambar 9-5.



**Gambar 9-5. Profil gradient konsentrasi O<sub>2</sub> dan CO<sub>2</sub> (Sumber Barbosa *et al.*, 2011)**

Dari diskusi diatas terlihat bahwa laju respirasi dalam sel suatu komoditi pada dasarnya tergantung pada berbagai hal, antara lain (1) konsentrasi O<sub>2</sub> di udara atmosfer, (2) ad anya bahan pengemas yang akan membatasi transfer O<sub>2</sub>dari udara ke permukaan/kulit buah arau sayuran, (3) sifat permukaan/kulit, (4) sifat dan struktur ruang intraseluler, dan (5) sifat dinding sel. Bagi komoditi yang dikemas, hal tersebut juga tergantung pada sifat-sifat fisik bahan pengemas, khususnya permeabilitas bahan pengemas. Secara skematis proses transfer berbagai gas pada buah apel dalam sistem penyimpanan berbagai suhu digambarkan seperti pada Gambar 9-6.



**Gambar 9-6. Proses transfer berbagai gas dalam sistem penyimpanan**

Dari segi teknologi, ahli fisiologi pasca panen dapat melakukan kontrol terhadap konsentrasi O<sub>2</sub> di udara atmosfer, sifat-sifat transport bahan pengemas, dan sifat permukaan/kulit. Hal-hal inilah yang perlu dimodifikasi dan dikendalikan dalam penyimpanan atmosfer terkontrol atau pun termodifikasi. Sedangkan faktor-faktor sifat dan struktur ruang intraseluler, dan sifat dinding sel merupakan faktor fisiologis, yang tergantung pada tingkat kematangan (umur) dan jenis.

Dari Gambar 9-5 terlihat secara makro ada 3 macam hambatan dalam pertukaran gas ini. Pada tingkat produk, hambatan ini dimanifestasikan oleh sifat dan struktur kulit, seperti ketebalan, komposisi lapisan pelindung (zat lilin, kutikula, dll), jumlah dan distribusi stomata, ada atau tidaknya luka dan kerusakan kulit lainnya. Hal ini penting karena pada dasarnya gas-gas akan berdifusi melalui jalur yang mempunyai paling sedikit tahanan.

Proses pertukaran gas ini dapat dijelaskan dengan Hukum Fick I, yang menyatakan bahwa pertukaran atau pun perpindahan gas melalui suatu bahan (jaringan tanaman) tergantung pada gradien konsentrasi, luas permukaan bahan, dan resistensi (sifat bahan). Secara sederhana hukum Fick ini dapat ditulis sebagai berikut :

dimana  $J$  = flux gas (umol/detik),  $A$  = luas permukaan (cm<sup>2</sup>),  $D$  = koefisien difusi (cm<sup>2</sup>/detik) dan  $\Delta C$  adalah gradien konsentrasi gas yang bersangkutan (umol/cm<sup>4</sup>).

Level oksigen yang lebih rendah, peningkatan level karbon dioksida di atmosfer, atau penurunan yang drastis dari oksigen dan karbon dioksida (penyiraman nitrogen), ketika digunakan sebagai suplemen untuk suhu rendah, dapat secara signifikan membantu mempertahankan kualitas beberapa produk.

### III. PENERAPAN ATMOSFER TERKENDALI PADA PENYIMPANAN BUAH DAN SAYUR

Peran atmosfer termodifikasi terhadap penyimpanan buah dan sayur bervariasi tergantung beberapa faktor, yaitu :

- a. Jenis dan kultivar tanaman
- b. Konsentrasi gas pada penyimpanan
- c. Suhu tanaman
- d. Tingkat kematangan tanaman saat dipanen
- e. Derajat kematangan buah klimakterik
- f. Kondisi perkembangan sebelum dipanen
- g. Keberadaan etilen dalam penyimpanan
- h. Pre-storage treatments.

Bagian penting dalam sistem atmosfer termodifikasi adalah keberadaan tempat penyimpanan. Tempat penyimpanan buah dan sayur yang menggunakan sistem atmosfer terkendali harus memenuhi persyaratan sebagai berikut:

- 1) Komposisi udara. Konsentrasi oksigen dan karbon dioksida pada ruangan harus dipertahankan pada jumlah tertentu. Ruangan untuk penyimpanan menggunakan atmosfer terkendali (*controlled atmospher storage/CAS*) harus dikonstruksi khusus sehingga terjamin dari kebocoran udara.
- 2) Temperatur. Pengaturan temperatur ruangan harus dilakukan pada kisaran  $\pm 0,50\text{C}$  ( $\pm 10\text{F}$ ) dari nilai yang direkomendasikan. Hal ini dilakukan untuk menghindari sehingga tidak ada produk yang suhunya turun sampai di bawah titik beku.
- 3) Kelembaban relatif. Setiap produk perlu kelembaban relatif yang tidak sama untuk berbagai komoditas. Sebagai contoh kelembaban relatif untuk apel harus 90 %, sedangkan untuk pear 90-95%.
- 4) Sirkulasi udara. Ruang penyimpanan harus mempunyai sirkulasi udara sebesar 1-1,5 cu/ft/min/btu serta dilakukan pendistribusian secara merata untuk meningkatkan kecepatan pada buah yang baru masuk ruang CAS, menyeragamkan suhu serta komposisi atmosfer.
- 5) Penghilangan komponen volatil. Penghilangan komponen volatil kadang direkomendasikan jika buah dalam keadaan praklimakterik.

Sistem penyimpanan atmosfer terkendali dapat dilakukan menggunakan beberapa cara, yaitu:

- a) Mengontrol Konsentrasi Oksigen pada CAS.

Pengurangan oksigen pada ruang CAS dapat dilakukan secara alami atau buatan. Kemampuan jaringan tumbuhan dalam menyerap oksigen digunakan untuk mengontrol konsentrasi oksigen. Cara alami mempunyai keuntungan karena sederhana dan operasinya ekonomis. Akan tetapi cara ini mempunyai beberapa kelemahan yaitu butuh waktu lama untuk mencapai kadar oksigen awal yang dikehendaki, apalagi jika buah didinginkan secara cepat. Selain itu

ruangan untuk CAS harus didesain secara tepat karena apabila tidak, akan banyak oksigen yang masuk ke dalam dan ruangan harus diisi penuh dan seharusnya tidak dibuka hingga isi keseluruhannya dipindahkan.

Metode buatan disebut juga sebagai *externally generated atmosphere* bertujuan mengurangi jumlah oksigen dengan cara penyemprotan dengan nitrogen murni, baik menggunakan cairan atau dengan sistem kompresi. Metode buatan juga dapat dilakukan melalui penyemprotan dengan udara yang kebanyakan oksigennya telah dihilangkan oleh pembakaran dengan ditambah metan atau propan. Keuntungan metode ini adalah (1) level oksigen yang diinginkan dapat dicapai dengan cepat (jika cairan nitrogen digunakan, kecepatan pendinginan juga ditingkatkan); (2) ruangan tidak harus diisi penuh dan dapat dikeluarkan atau diisi sebagian hingga masa penyimpanan (hal ini mungkin karena proses untuk mengembalikan level oksigen yang diinginkan cepat); dan (3) level oksigen yang tepat dapat dipelihara walau di ruangan yang agak bocor (atmosfer buatan secara kontinyu ditambahkan). Karakteristik fasilitas ini mengubah unit penyimpanan konvensional sehingga dapat digunakan untuk penyimpanan CA.

Kerugian utama metode buatan adalah biaya yang besar, khususnya jika ruang penyimpanan mengalami kebocoran yang sedang. Metode buatan untuk mengontrol level oksigen dapat digunakan secara berkelanjutan, akan tetapi kelemahannya sangat mahal dan tidak berkesudahan. Metode buatan juga dapat digunakan sebagai tambahan pada metode natural. Sebagai contoh adalah untuk mempercepat pencapaian kondisi awal atau kondisi yang diinginkan jika kebocoran ruangan bertambah atau ruangan dibuka untuk mengeluarkan atau menambah produk.

#### b) Metode untuk Membuat dan Mengontrol Konsentrasi Karbon Dioksida Selama Penyimpanan CA.

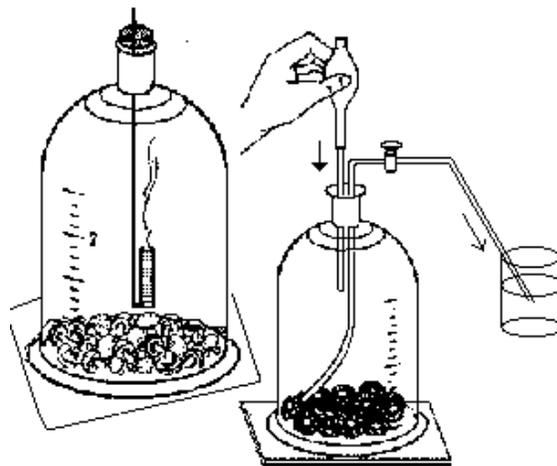
Jaringan tanaman mengeluarkan sejumlah karbon dioksida, dimana adanya sejumlah karbon dioksida ini dapat menguntungkan sampai kadar tertentu. Pada kadar tertentu, kelebihan level karbon dioksida harus dihindari karena dapat mengakibatkan terjadinya kerusakan produk. Jumlah karbon dioksida ini dapat dikontrol dengan ventilasi sederhana atau dengan metode yang memindahkan karbon dioksida secara selektif.

Adanya ventilasi sederhana dapat memindahkan kelebihan karbon dioksida, akan tetapi secara simultan dapat menambah jumlah oksigen. Pada prakteknya, ventilasi ini dibatasi sehingga jumlah karbon dioksida di atmosfer penyimpanan lebih banyak dari udara normal dan jumlah oksigen lebih rendah dari udara normal. Kombinasi konsentrasi karbon dioksida dan oksigen selalu 21% dengan metode ini. Karena nilai ini masih jauh dari ideal, hasilnya kurang memuaskan dari pada saat level optimum oksigen dan karbon dioksida digunakan.

Metode pemindahan karbon dioksida secara selektif dari udara atau biasa disebut sebagai *carbon dioxide scrubbers* dapat dikelompokkan menjadi metode kimia atau fisika. Metode kimia merupakan interaksi antara udara dan beberapa

zat kimia sebagai *dry lime* (kalsium hidroksida), larutan natrium hidroksida atau etanolamin, atau suspensi jeruk nipis dalam air. *Dry lime* sangat terkenal karena efektif, mudah dilakukan, dan relatif non korosif .

Metode fisik untuk mengontrol konsentrasi karbon dioksida di udara meliputi absorpsi dalam air, dan absorpsi pada molekul. Metode absorpsi dalam air berifat efektif, simpel, ekonomis, nonkorosif, dan biasa digunakan. Gambar 9-7 memperlihatkan skema peralatan absorpsi air untuk memindahkan karbon dioksida. Operasi ini didasarkan pada dua prinsip, yang pertama adalah kelarutan karbon dioksida di air pada suhu konstan berbanding lurus dengan tekanan parsial karbon dioksida di udara. Prinsip kedua adalah kelarutan karbon dioksida di air pada tekanan konstan berbanding terbalik dengan suhu.



**Gambar 9-7. Skema peralatan absorpsi air untuk memindahkan karbon dioksida**

Pada bagian absorpsi, air yang telah mencapai keseimbangan dengan udara normal (0,03% karbon dioksida) bercampur dengan udara dari unit penyimpanan. Udara ini mengandung lebih banyak karbon dioksida dari pada udara normal (sekitar 5%) memberikan sebagian karbon dioksidanya ke air dan kemudian kembali lagi ke unit penyimpanan.

Pada bagian desorpsi, air yang kaya karbon dioksida kembali kontak dengan udara normal, akibatnya karbon dioksida yang diikat dari bagian absorpsi kembali dilepaskan dari air ke atmosfer. Air ini kemudian dikembalikan ke bagian absorpsi dan proses diulang. *Trap* yang ditempatkan di antara bagian absorpsi dan desorpsi mencegah pertukaran udara antara dua bagian ini. Konsentrasi karbon dioksida di unit penyimpanan terutama dikontrol oleh suhu air di unit absorpsi dan durasi operasi. Metode ini dapat menjaga konsentrasi karbon dioksida sampai 2 persen.

Kerugian utama sistem absorpsi untuk memindahkan karbon dioksida adalah (1) dibutuhkan ruangan dengan kebocoran sangat rendah; (2) konsentrasi oksigen pada tahap awal dijaga rendah dalam jangka waktu yang lebih lama dari

pada sistem absorpsi alkali. Hal ini terjadi karena sistem absorpsi air menambah sejumlah kecil oksigen selama proses pemindahan karbon dioksida.

Dengan tidak memperhitungkan bagaimana oksigen dan karbon dioksida dikontrol, penting untuk mencapai kondisi penyimpanan yang diinginkan (suhu, kelembaban relatif, level oksigen dan karbon dioksida) secepat mungkin. Periode penyesuaian harus tidak melebihi 10 hari untuk apel dan 5 hari untuk pear, dan idealnya dapat lebih singkat.

#### IV. MODIFIED ATMOSPHERES SELAMA PENYIMPANAN MAKANAN PADA SUHU RENDAH

Beberapa tanaman dan hewan ditransportasikan pada suhu rendah dengan atmosfer yang dimodifikasi kadar oksigen, karbon dioksida, dan nitrogennya. Tambahan aplikasi komersial mungkin untuk dikembangkan dengan tujuan untuk lebih mengetahui kondisi optimum, lebih menguntungkan, dan tersedianya teknik penanganan yang lebih baik. Efek modifikasi atmosfer pada kualitas apel dan pear dijelaskan Tabel 9-4 sedangkan pada buah dan sayur yang lain dapat dilihat pada Tabel 9-5.

**Tabel 9-4. Kondisi yang Direkomendasikan Untuk Penyimpanan CA pada Apel dan Pear di USA<sup>a</sup>**

Varietas	Karbon dioksida (%)	Oksigen (%)	Suhu °C (°F)
Apel			
Cortland	2 untuk 1 bulan, kemudian 5	3	3,3 (38)
Golden delicious	2	3	0 sampai -1 (30-32) <sup>o</sup> F
Delicious	2 <sup>b</sup>	3	0 sampai -1 (30-32)
Jonathan	5 <sup>c</sup>	3	0 (32)
McIntosh	2 untuk 1 bulan, kemudian 5	3	3,3, (38)
Northern spy	2-3	3	0 (32)
Rome beauty	2-3	3	0 sampai -1 (30-32)
Staymen	2-3	3	0 sampai -1 (30-32)
Turley	2-3	3	0 (32)
Tellow	7	3	3,3,-4,4 (38-40)
newtown			
Pear			
Anjou	0,5-1	2-3	0 sampai -1 (30-32)
Bartlett	1-2 <sup>d</sup>	2-3	0 sampai -1 (30-32)
Baosc	0,5-1 <sup>d</sup>	2-3	0 sampai -1 (30-32)

<sup>a</sup>Dari Smock (80).

<sup>b</sup>Washington State merekomendasikan kurang dari 1%

<sup>c</sup>Jika menyimpan dengan Delicious

<sup>d</sup>Didasarkan pada tes terbatas di Oregon State University dan Cornell University.

**Tabel 9-5. Rekomendasi CAS pada kondisi optimum untuk penyimpanan buah dan sayur**

Buah/sayur		Suhu penyimpanan	CO <sub>2</sub> (%)	O <sub>2</sub> (%)	Waktu penyimpanan
Apel (var Gala)	(var	-0,5-2	1-5	0,8-2,5	Sampai 5 bulan
Apel (var Golden Delicious)	(var	-0,5-2	0-8	1-4	Sampai 10 bulan
Pisang		11,5-16	2-8	2-5	<8 minggu
Brokoli		0-15	5-15	1-2	<4 minggu
Kembang kol		0-5	0-10	2-10	47 hari
Ketimun		12,5-14	5-10	3-5	
Anggur		0-5	1-10	2-5	< 7 bulan
Kiwi		0-5	5-10	1-2	< 6 bulan
Leci		5-12	3-5	5	
Mangga		10-15	1-10	2-7	< 6 minggu
Pepaya		10-15	5-10	1-5	< 29 hari
Peach		0-5	3-5	1-2	< 4 minggu
Nanas		8-13	5-10	2-5	
Tomat		12-13	2,5-9	2,5-5,5	3 bulan

a) Buah. Kerusakan pada beberapa buah segar dapat secara signifikan dikurangi dengan pemaparan (1-2 hari) ke atmosfer yang mengandung sedikitnya 20% karbon dioksida. Teknik ini telah menghasilkan hasil eksperimen yang menyenangkan (kebusukan rendah, lebih keras dan segar) pada ceri manis, plum, peach, pear barlett, raspberri, dewberri, blackberri, *grapefruit*, dan jeruk (9, 34). Konsentrasi karbon dioksida terlalu tinggi dapat menghasilkan *off flavor* jika atau waktu pemaparan terlalu lama. Untuk buah lainnya perlakuan karbon dioksida tidak menunjukkan keuntungan atau malah menyebabkan kerusakan (sebagai contoh, tomat hijau gagal masak setelah dipindahkan dari *modified atmosphere*).

Selama periode 6-9 minggu pada 0°C, peach dan nectarine tetap baik pada atmosfer yang mengandung 1% oksigen dan 5% karbon dioksida dari pada di udara biasa.

Ceri manis yang dikemas pada kantong polietilen (*box liner*) dengan kandungan karbon dioksida yang dinaikkan dan kandungan oksigen diturunkan dapat berkembang dan bertahan selama penyimpanan refrigerasi.

Beberapa buah, seperti tomat, strawberi, anggur, dan melon, menunjukkan penurunan kerusakan ketika ditransportasikan pada atmosfer mendekati nitrogen murni dengan suhu yang dikontrol secara akurat ( $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ ) dari pada ketika ditransportasikan pada udara yang sama tapi dengan suhu yang kurang dikontrol.

b) Sayur. Berkurangnya kualitas beberapa sayuran dapat diperlambat dengan pemaparan dalam waktu singkat (1-7 hari) pada atmosfer yang mengandung 5-50% karbon dioksida. Pada basis eksperimen perlakuan ini menunjukkan keuntungan pada wortel, bunga kol, jagung manis, dan asparagus (9, 10, 46). Bagaimanapun, banyak dari sayuran yang tidak menguntungkan atau mengalami kerusakan jika dikenai perlakuan tersebut.

Selada dan asparagus menunjukkan penurunan kerusakan ketika ditransportasikan pada atmosfer mendekati nitrogen murni dengan suhu yang dikontrol secara akurat ( $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ ) dari pada ketika ditransportasikan pada udara yang sama tapi dengan suhu yang kurang dikontrol.

**I. PENGERTIAN MUTU**

Mutu adalah hal-hal tertentu yang membedakan produk satu dengan lainnya, terutama yang berhubungan dengan daya terima dan kepuasan konsumen (Kramer dan Twigg, 1970). Dalam pengertian ini, mutu akan sangat dipengaruhi oleh individu konsumen. Dalam rangkaian jalur perdagangan buah-buahan dan sayuran, pihak konsumen ini bisa berupa industri, pedagang perantara, pasar swalayan, atau pun konsumen rumah tangga. Karena itu, mutu buah dan sayuran juga akan sangat dipengaruhi oleh kegunaan-akhirnya. Dalam hal ini, pengertian mutu buah dan sayuran bisa mencakup pengertian-pengertian seperti mutu pasar (*market quality*), *dessert quality*, *nutritional quality*, *table quality*, *edible quality*, *shipping quality*, dan lain-lain.

Secara garis besar, mutu produk hortikultura, -khususnya buah dan sayuran, dapat dibedakan atas dua macam kriteria mutu. Pertama, **mutu eksternal**, yaitu kriteria mutu yang dapat diindera, dilihat dan diraba, tanpa harus dirasa (di"cicip") oleh konsumen. Mutu eksternal ini termasuk warna, bentuk, bau, aroma, dan keutuhan. Hal-hal tersebut sangat berperan buat konsumen untuk menentukan keputusannya, membeli atau tidak. Kriteria mutu kedua, tentunya, adalah **mutu internal**. Mutu internal bagi buah dan sayuran, ini umumnya adalah cita rasa, tekstur dan "*mouthfeel*", serta jumlah/kuantitas, komposisi dan kelengkapan zat-zat gizi yang ada didalamnya. Mutu internal tersebut hanya dapat dideteksi setelah konsumen mencicipi produk tersebut. Kesan mutu yang diperoleh oleh konsumen setelah proses pencicipan ini sering disebut "*edible quality*". Komposisi, jumlah/kuantitas, dan kelengkapan zat-zat gizi (*nutritional quality*) bahkan hanya akan diketahui dengan alat-alat mutakhir dan tentunya tidak dapat diindera oleh konsumen. Karena itu, dalam berbagai pasar swalayan, informasi tentang mutu gizi ini sering dicantumkan dalam kemasan atau pun dipasang dekat ruang jaja, sebagai informasi bagi konsumen untuk menentukan pilihannya.

Pada umumnya, buah-buahan dan sayuran segar yang dikehendaki konsumen adalah buah dan sayuran dengan penampakan yang bagus, menarik, mempunyai mutu aroma yang baik, mempunyai permukaan yang baik dan mulus -tanpa cacat, tanpa `bercak-bercak-, tanpa adanya "penyimpangan" dari kondisi normal. Karena itu tidak terlalu mengherankan jika hasil survey yang dilakukan di AS (Zind, 1989) menunjukkan bahwa 94% dari responden menyatakan bahwa penampakan buah dan sayuran sebagai kriteria utama dalam menentukan mutu. Dari hasil survei tersebut

terlihat bahwa kriteria mutu eksternal merupakan faktor yang penting bagi konsumen untuk menentukan pilihannya dan mengambil keputusan untuk membeli. Namun, keputusan konsumen untuk kembali membeli produk/komoditi yang sama biasanya diambil berdasarkan pada *edible quality* secara keseluruhan, dimana kriteria mutu internal banyak memegang peranan.

Agak berbeda dari segi konsumen, selain mutu penampakan, para pedagang dan produsen juga menginginkan buah-buahan dan sayuran yang tahan lama (awet), tahan akan serangan hama dan penyakit, serta mudah dipanen dan mudah dalam transportasi. Dalam perdagangan buah dan sayuran, batasan tentang mutu ini juga sering digunakan dalam berbagai pengertian, tergantung pada kegunaan khusus dari buah dan sayuran yang bersangkutan. Contohnya, bagi pihak industri pengolah buah-buahan dan sayuran, salah satu kriteria mutu buah-buahan dan sayuran yang juga dikehendaki adalah keseragaman (ukuran, warna, umur, dll), kemudahan dalam penanganan dan pengolahan. Jadi pengertian mutu bisa berubah dan berbeda tergantung dari tujuan pemakaian dan konsumsinya. Kriteria mutu buah yang akan diproses lebih lanjut, misalnya, tentunya berbeda dengan buah yang akan dikonsumsi langsung.

## **II. KRITERIA MUTU DAN METODA EVALUASINYA**

Berbagai komponen dan kriteria mutu untuk buah dan sayuran tersebut dapat dilihat lebih detail pada Tabel 10-1. Tingkat kepentingan masing-masing kriteria mutu yang disajikan tersebut sangat tergantung pada macam buah-buahan dan sayuran serta kegunaan khususnya. Namun jelas bahwa berbagai komponen dan kriteria mutu tersebut sering digunakan untuk keperluan standarisasi dan grading, pemuliaan (dalam kegiatan pra-panen), serta digunakan untuk keperluan evaluasi atas berbagai perlakuan dalam penanganan, dan pengolahan. Karena itu, dalam seksi ini akan dibahas metoda yang sering dipakai untuk mengevaluasi masing-masing kriteria mutu tersebut.

### **A. MUTU PENAMPAKAN (VISUAL)**

#### **1. Ukuran**

Ukuran produk (buah dan sayuran) merupakan kriteria penting, baik sebagai daya tarik konsumen, maupun untuk keperluan penanganan dan pengolahan lanjutan. Karena itu seleksi dan pengkelasan mutu berdasarkan ukuran merupakan hal yang sangat umum dilakukan pada buah dan sayuran. Konsumen umumnya mempunyai persepsi yang baik tentang ukuran "normal" suatu produk pertanian. Ukuran yang terlalu besar, atau terlalu kecil, sering tidak disukai konsumen.

Ukuran biasanya dinyatakan dengan salah satu atau kombinasi dari tiga parameter umum, yaitu (1) dimensi, (2) berat, dan (3) volume. Misalnya, the Economic Commission for Europe menggunakan diameter dan panjang batang untuk memberikan kelas mutu asparagus (*Asparagus officinalis, L.*). Dimensi buah atau sayuran adalah ukuran panjang, lebar, diameter, atau keliling dari buah dan sayuran tersebut. Dimensi mudah sekali diukur dengan penggaris, atau alat-alat yang lain. Pada umumnya diperoleh korelasi yang baik antara dimensi dengan berat. Semakin

besar dimensinya, biasanya semakin berat pula bobotnya. Ukuran, dapat pula dinyatakan sebagai jumlah per satuan volume atau pun jumlah per satuan berat. Volume buah dan sayuran bisa diukur dengan metoda gelas ukur atau pun dihitung dengan dimensi yang telah diketahui.

**Tabel 10-1. Kriteria mutu pada buah-buahan dan sayuran \*)**

<b>Kategori Mutu Utama</b>	<b>Kriteria</b>
Mutu Visual/ Penampakan	<i>Ukuran</i> : dimensi, berat, dan volume <i>Bentuk</i> : ratio antar dimensi, keseragaman, kondisi permukaan (halus/kasar) <i>Warna</i> : keseragaman, intensitas, gloss <i>Kondisi</i> : ada/tidaknya kerusakan, baik eksternal maupun internal - morfologi - fisik dan mekanik - fisiologi - pathologi - entomologi
Tekstur dan <i>Mouthfeel</i>	Kekerasan ( <i>hardness dan firmness</i> ), keempukan ( <i>softness</i> ), kerenyahan ( <i>crispness</i> ), kesegaran ( <i>juiceness</i> ), kealotan ( <i>toughness dan fibrousness</i> )
Flavor (Rasa dan bau, Citarasa)	Kemanisan, kemasaman, rasa pahit ( <i>bitterness</i> ), rasa sepat ( <i>astringency</i> ), aroma (mutu senyawa-senyawa volatil), dan adanya <i>off-flavors</i> dan <i>off-odors</i> .
Nilai Gizi	Karbohidrat (termasuk serat kasar) Protein Lemak Vitamin dan mineral
Faktor keamanan pangan ( <i>food safety</i> )	Senyawa-senyawa anti-gizi Senyawa-senyawa berbahaya yang ada secara alami, kontaminan (baik senyawa kimia maupun mikrobial), dan mikotoksin

\*) Diadopsi dari Kader (1985).

## 2. Bentuk

Bentuk dapat dinyatakan sebagai ratio antar dimensi, misalnya ratio panjang/lebar, panjang/diameter, dan lain-lain indeks yang sesuai. Untuk standarisasi maka diperlukan adanya indeks yang tepat bagi masing-masing komoditi. Bentuk dapat pula dievaluasi dengan menggunakan model-model

(gambar, diagram, atau pun peraga lainnya). Pengamatan terhadap bentuk ini terutama penting untuk membedakan komoditi yang sama dari kultivar yang berbeda. Buah apel malang, misalnya, tentunya mempunyai bentuk yang berbeda dengan apel dari kultivar yang lain (misalnya apple *red delicious*, dsb).

Bentuk dapat pula berperan sebagai indeks umur, misalnya pada buah pisang. Penampang melintang buah pisang mempunyai bentuk yang khas. Buah pisang umumnya dipanen setelah mencapai ukuran yang maksimal, yaitu ketika bentuknya sudah “penuh”.

### **3. Warna**

Warna merupakan hal yang sangat penting bagi penampakan karena merupakan indikator kematangan yang sangat dikenal oleh konsumen. Konsumen umumnya mempunyai pengetahuan yang cukup mendalam tentang korelasi antara warna dan tingkat kematangan buah dan sayuran. Contohnya, asosiasi antara warna merah dan buah tomat, atau warna kuning dan buah pisang, sudah merupakan suatu yang dianggap normal oleh konsumen. Karena itu, warna merupakan kriteria mutu pokok karena ia merupakan kriteria mutu pertama yang dikaji konsumen.

Kenyataannya, hubungan antara persepsi konsumen atas warna dan mutu tidak selamanya benar. Misalnya, konsumen sering mempunyai persepsi bahwa jeruk (*orange*) yang bermutu baik adalah jeruk yang berwarna kekuningan/oranye. Namun demikian, warna berbagai jeruk kultivar tertentu masih tetap hijau tua walaupun ia sudah mencapai tingkat kematangan yang optimum. Hal yang demikian ini sering mendorong industri untuk memanipulasi warna, misalnya dengan menggunakan pewarna (*dye*) atau pun dengan perlakuan etilen untuk merangsang degradasi klorofil. Hal ini juga berlaku bagi buah kedondong. Karena itulah sering ditemukan buah kedondong (terutama manisan kedondong) yang ditambah dengan pewarna kuning.

Keseragaman dan intensitas warna merupakan faktor penting bagi konsumen. Untuk mengevaluasi hal ini, diagram warna dan model dapat digunakan. Dengan cara visual ini dapat pula sekaligus ditentukan mutu gloss, yaitu suatu ukuran mengkilat atau kusamnya permukaan kulit komoditi.

Warna dapat pula diukur secara objektif dengan menggunakan berbagai alat yang bekerja berdasarkan atas jumlah cahaya yang dipantulkan dari permukaan produk. Alat-alat semacam ini adalah *Gardner* dan *Hunter Color Difference Meter* (*tristimulus colorimeters*) dan *Agtron E5W spectrophotometer*. Warna bisa pula diukur dengan *Light transmission meter*, yaitu dengan mengukur jumlah cahaya yang diteruskan melalui komoditi. Alat ini penting untuk menentukan warna internal, terutama yang berhubungan dengan adanya kerusakan-kerusakan fisiologis. Misalnya, terjadinya pencoklatan/penghitaman pada daging apel atau pun kentang.

### **5. Kondisi (ada/tidak adanya cacat atau kerusakan)**

Kondisi komoditi merupakan kumpulan kriteria mutu yang umumnya bersifat fisik dan inderawi, seperti kebersihan, keseragaman (baik ukuran, warna, maupun bentuk), ada atau tidaknya cacat (*defect*), dan lain sebagainya. Evaluasi tentang

adanya cacat dan penyimpangan-penyimpangan dari normal lainnya dapat dilakukan secara visual, yang biasanya dinyatakan dengan sistem nilai dengan menggunakan skala, misalnya skala 1 sampai 5 (1 = tidak ada cacat, 2 = ada sedikit cacat, 3 = sedang, 4 = cacat parah, dan 5 = rusak sama sekali). Skala ini bisa dikembangkan menjadi 1 sampai 7, atau pun 1 sampai 10, tergantung atas kebutuhan dan kategori yang tersedia. Untuk mengurangi variabilitas diantara pemeriksa, maka perlu dilakukan pelatihan dan pemberian diskripsi yang jelas dalam penilaian. Dalam hal ini penggunaan diagram warna dan model atas cacat yang umum dialami oleh komoditi yang bersangkutan akan sangat membantu.

## **B. MUTU TEKSTUR (*MOUTHFEEL*)**

Setiap produk hortikultura, baik buah maupun sayuran, mempunyai karakteristik tekstur khas yang telah dikenal oleh konsumen sebagai indeks mutu. Misalnya, kerenyahan pada buah dondong dan ketimun dan tingkat kemasiran pada buah salak merupakan mutu tekstur yang diharapkan konsumen.

Selain penting untuk menentukan *edible/eating quality*, mutu tekstur juga penting untuk *shipping quality*. Buah yang lunak (empuk) tentunya tidak mudah untuk dikirim melalui jarak yang jauh karena adanya kekuatiran akan terjadinya kerusakan fisik dan mekanik. Dalam hubungannya dengan hal inilah maka beberapa buah-buahan dan sayuran sengaja dipanen pada saat sebelum matang, dengan harapan teksturnya masih cukup keras dan cukup tahan untuk transportasi jarak jauh.

### **1. Kekerasan (*hardness dan firmness*), keempukan dan kerenyahan.**

Kekerasan dapat diukur dengan menggunakan alat penetrometer, seperti *Magness-Taylor Pressure Tester* dan *Effegi penetrometer*. Pada dasarnya alat ini mengukur gaya yang diperlukan untuk melakukan penetrasi pada daging buah/sayuran yang diukur. Alat yang lebih canggih, misalnya *Instron Universal Testing Machine*, *Texture Testing system*, dan *Deformation Tester* dapat digunakan dilaboratorium untuk memberikan informasi yang lebih lengkap tentang profile tekstur. Disamping itu, penentuan kekerasan, keempukan dan kerenyahan ini juga bisa dilakukan dengan teknik organoleptik dengan menggunakan panelis.

### **2. Kealotan (*Toughness dan fibrousness*)**

Kealotan juga dapat diukur dengan cara fisik, misalnya dengan *Instron Universal Testing Machine* dengan dasar penentuan *shear stress*, atau dengan cara kimia, yaitu dengan mengukur kandungan serat kasar dan lignin.

### **3. Kesegaran**

Kesegaran, selain dapat ditentukan dengan cara organoleptik, juga dapat dinyatakan dengan kadar air sebagai indikator. Selain itu, pengukuran *extractable juice*, juga sering digunakan sebagai indeks kesegaran.

## **C. MUTU FLAVOR**

### **1. Kemanisan**

Kadar gula merupakan pilihan yang nyata untuk mengukur tingkat kemanisan. Selain itu, total padatan terlarut, yang biasanya diukur dengan

menggunakan refractometer atau pun higrometer, dapat pula digunakan sebagai indeks kemanisan. Hal ini disebabkan karena umumnya gula merupakan komponen utama dalam total padatan terlarut.

## 2. Kemasaman

Kemasaman sari buah atau sayuran sering dinyatakan dalam bentuk pH, yang mudah ukur dengan menggunakan pH-meter atau pun kertas pH. Total keasaman tertitrasi, baik yang dinyatakan sebagai total asam sitrat, asam malat, atau pun asam tartarat, tergantung pada asam organik yang diduga dominan pada komoditi yang bersangkutan, juga sering digunakan. Total keasaman tertitrasi ini ditentukan dengan cara titrasi sejumlah volume tertentu sari buah dengan menggunakan 0.1N NaOH sampai mencapai pH 8,1.

## 3. Tingkat rasa sepat dan rasa pahit.

Rasa sepat biasanya disebabkan karena adanya senyawa tanin, Karena itu tingkat kesepatan dapat diukur secara kimia sebagai kadar tannin, kelarutan dan derajat polimerisasinya. Sedangkan rasa pahit umumnya disebabkan karena senyawa alkaloid atau glukosida. Dan karena itu, kadar alkaloid atau kadar glukosida akan merupakan indeks kepahitan yang baik.

## 4. Aroma

Mutu aroma biasanya ditentukan dengan cara organoleptik. Kombinasi hasil organoleptik dengan analisa (kromatografi) atas senyawa-senyawa volatil merupakan pilihan yang baik jika dimungkinkan. Hal ini disebabkan karena umumnya profile dari kromatogram senyawa volatil (biasanya diperoleh dari gas kromatografi) merupakan sidik jari (sifat khas) yang baik untuk identitas produk tertentu.

Flavor buah tergantung kondisi penyimpanan, termasuk komposisi gas-gas yang ada. Tabel 10-2 menyajikan skor flavor 2 varietas buah aprikot yang dikalengkan dan disimpan selama 6 minggu pada kondisi CO<sub>2</sub> dan O<sub>2</sub> yang berbeda.

Tabel 10-2. Pengaruh Penyimpanan terhadap Flavor Aprikot Kaleng

Waktu penyimpanan (minggu)	Konsentrasi CO <sub>2</sub> (%)	Konsentrasi O <sub>2</sub> (%)	Skor flavor	
			Kultivar Bulida	Kultivar Peeks
0	-	-	7,5	4,6
4	1,5	1,5	6,3	6,3
5	1,5	1,5	5,0	5,0
6	1,5	1,5	1,3	1,3
4	5	5	6,3	5,0
5	5	5	5,5	5,4
6	5	5	2,9	5,4
4	0	21	6,7	4,8
5	0	21	4,2	5,4
6	0	21	2,1	4,6

Sumber: Thompson (2010)

### C. NILAI GIZI

Mutu gizi, berupa kadar karbohidrat, serat kasar, lemak, protein, vitamin, dan mineral bisa diukur dengan berbagai metoda yang tidak akan dibahas dalam buku ini. Untuk yang berminat disarankan untuk berkonsultasi dengan buku-buku analisa pangan yang banyak tersedia.

### E. FAKTOR KEAMANAN

Secara alami, dalam berbagai buah-buahan dan sayuran sering ditemukan berbagai senyawa-senyawa anti-gizi dan beberapa bahkan berbahaya bagi kesehatan. Senyawa-senyawa seperti ini misalnya berbagai glukosida pada singkong, nitrat dan nitrit pada beberapa sayuran daun, oksalat pada bayam, glikoalkaloid (misalnya solanin) pada kentang, dan lain-lain. Berbagai metoda telah banyak dikembangkan untuk mendeteksi dan mengukur senyawa-senyawa tersebut. Demikian pula dengan berbagai kontaminan (baik senyawa kimia maupun mikrobial), dan mikotoksin

Klasifikasi komponen-komponen mutu tersebut digunakan sebagai dasar pengelompokan buah berdasarkan standar. Standar mutu ini merupakan sarana yang bermanfaat pada pemasaran buah segar. Di Indonesia, standar mutu mengacu pada Standar Nasional Indonesia (SNI), akan tetapi untuk buah-buahan yang diekspor mengacu pada standar Negara tujuan ekspor. SNI atau standar mutu merupakan cara untuk mengembangkan sistem jaminan mutu.

Pada intinya SNI berisikan syarat mutu yang harus diperhatikan baik oleh produsen maupun konsumen. SNI hasil hortikultura segar meliputi definisi, istilah, klasifikasi/penggolongan, syarat mutu, cara pengambilan contoh, cara uji, syarat penandaan, carapengemasan dan rekomendasi. Tabel 10-3 memberikan contoh beberapa SNI buah-buahan yang dikeluarkan oleh Badan Standarisasi Nasional (BSN).

Tabel 10-3. Standar Nasional Indonesia (SNI) beberapa jenis buah

Buah	No standar	Kelas	Berat (g/buah)
Belimbing manis	SNI 01-4491-1998	Super	>330
		A	251-330
		B	201-250
Duku	SNI-01-6151-1999	Super	27,5-30,0
		A	25,9-27,4
		B	22,5-25,8
Durian	SNI 01-4482-1998		Rasio berat:biji
		I	>2
		II	>1
Jambu biji	SNI 7418-2009	III	<1
		Super	27,5-30,0
		A	25,9-27,4
		B	22,5-25,8

Mangga	SNI 01-3164-1992	Super	>450
		A	351-450
		B	251-350
Rambutan	SNI 01-3120-1992	Super	>43
		A	38-43
		B	33-37
Salak	SNI 01-3167-1992	Super	>120
		A	101-120
		B	81-100

(Yulianingsih et al.,

## DAFTAR PUSTAKA

- Andres-Lacueva, C., Medina-Rejon, A., Llorach, R., Urpi-Sarda, M., Khan, N., Chiva-Blanch, G., Zamora-Ros, R., Maria. 2010. Phenolic Compounds: Chemistry and Occurrence in Fruits and Vegetables. *In Fruit and vegetable phytochemicals : chemistry, nutritional value and stability*. de la Rosa, L (ed). Blackwell Publishing. Iowa
- Ardiana, DW., Ihsan, F., dan Sukarmin. 2011. Teknik pengamatan pertumbuhan buah untuk mengetahui fase pembentukan endosperma durian (*durio zibethinus*). *Buletin Teknik Pertanian*. 16(2):55-57.
- Badan Pusat Statistik. 2012. Produksi Buah-Buahan dan Sayuran di Indonesia. [www.bps.go.id](http://www.bps.go.id).
- Baldry, J., Dougan, J. and Howard, G.E. 1972. Volatile flavoring constituents of Durian. *Phytochemistry*. 11:2081-2084.
- Barbosa, LDN., B A M Carciofi. C E Dannenhauer, A R Monteiro. 2011. Influence of temperature on the respiration rate of minimally processed organic carrots (*Daucus Carota* L. cv. Brasília). *Food Science and Technology (Campinas)* 31 (1)
- Beaudary, R.M., Severson, R.F., Black, C.C. dan Kay, S.J. 1989. Banana ripening: Implication of changes in glycolytic intermediate concentrations, glycolytic and gluconeogenic carbon flux, and fructose 2,6-biphosphate concentration. *Plant Physiol*. 91:1436-1444
- Ben-Yehoshua, S. 1987. Transpiration, Water Stress, and Gas Exchange. *In Postharvest Physiology of Vegetables*. (Weichmann, J. Ed). Marcel Dekker, Inc. New York.
- Boersig, M.R., Kader, A.A., Romani, R.J. 1988. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.*. 113: 96
- Boxall, R.A., Brice, J.R., Taylor, S.J and Bancroft, R.D. 2002. Technology and Management of Storage. *In Crop Post-Harvest: Science and Technology, Volume 1*. Golob, P., Farrell, G., Orchard, J.E (ed). Blackwell Science Ltd.
- Boyacioglu, D., Nilufer, D and Capanoglu, E. Flavor Compounds in Foods. *In Advances in Food Biochemistry*.
- Broto, W. *Teknologi Penanganan Pascapanen Buah untuk Pasar*. Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian
- Burton, W.G 1974. *Ann. Appl. Biol.*. 78: 149
- Cheetam, P.S.J. Natural Sources of Flavors. 2010. *In Food Flavour Technology*. Taylor, A.J. and Linfoth, R.S.T. Wiley Blackwell.
- Direktorat Gizi. 1986. *Buku Penuntun Ilmu Gizi Umum*. Direktorat Jendral Pembinaan Kesehatan Masyarakat. Departemen Kesehatan RI. Jakarta.

- Eliasson AC, Gudmundsson M. 1996. Starch: Physicochemical and functional aspects. In: Eliasson A. editor. *Carbohydrates in food*. New York: Marcel Dekker, Inc. P363-449.
- El Shattir, A. and Abu-Goukh, A. A. 2010. Physico-chemical changes during growth and development of papaya fruit. I: Physical changes. *Agric. Biol. J. N.Am.* 1(5): 866-870
- FAO Storage of Horticultural Crops.  
<http://www.fao.org/Wairdocs/X5403E/x5403e09.htm>.
- Fisher, C., and Scott, T.R. 1997. *Food Flavours: Chemistry and Technology*. RSC Paperbacks.
- Flowrkowski, W.J., Shewfelt, R., Brueckner, B., Prussia, S.E. 2009. *Postharvest handling: A System Approach*. Elsevier.
- Geigenberger, P and A. R. Fernie. 2006. Starch Synthesis in the Potato Tuber. In *Food Biochemistry and Food Processing*. Y. H. Hui (ed). Blackwell Publishing
- Haard, N. F. 1983. "Edible Plant Tissues: in *Principles of Food Science*. Part 1- Food Chemistry." (Editor Fennema, O.). 2<sup>nd</sup> ed., Marcel Dekker. New York.
- Haard, N.F. Characteristics of Edible Plant Tissues, in Fennema 1985, *Food Chemistry*, 2nd Ed. Marcel Dekker, Inc. NY.
- HHS, 1988. *The Surgeon General's Report on Nutrition and health*. US. Dept. of Health and Human Services. US. Govt. Print, Office. Washington, DC.
- IFT, 1989. Dietary fiber -A Scientific Status Summary by the Institute of Food Technologists' Expert Panel on Food Safety and Nutrition. *Food Technol.* 43(10): 133
- Jordan, M.J., Tandon, K., Shaw, P.E., and Kevin L. Goodner. 2001. Aromatic Profile of Aqueous Banana Essence and Banana Fruit by Gas Chromatography-Mass Spectrometry (GC-MS) and Gas Chromatography-Olfactometry (GC-O). 49:4813-4817.
- Jumeri, Suhardi, Tranggono. 1997. Pola Produksi Etilen, Respirasi dan Sifat Sensoris Beberapa Buah pada Kondisi Udara Terkendali. *Agritech*. 17(3): 4-10.
- Kader, A.A., Zagory, D. and Kerbel, E.L. 1989. Modified Atmosphere Packaging of Fruits and Vegetables. *Crit. rev. in Food Sci.* Vol. 28. 1-31
- Kader, A.A. 1985. Quality Factor: Definition and Evaluation for Fresh Horticultural Crops. in A.A. Kader, R.F. Kasmire, F.G. Mitchell, M.S. Reid, N.F. Sommer, and J.F. Thompson. Editors. *Postharvest Technology of Horticultural Crops*. Cooperative Extension, University of California, Div. of Agric. and Natural Resources.

- Kader, 1983. Post Harvest Quality Maintenance of fruits and vegetables in developing countries, di dalam *Post Harvest Physiology and Crop Preservation* (M. Lieberman, Ed.). Plenum Press, New York
- Kay, S.J. 1991. *Postharvest Physiology of Perishable Plant Products*. AVI, Van Nostrand Reinhold Co., New York.
- Kerbel, E.L., Kader, A.A. Romani, R.J. 1988. *Plant Physiol.* 86: 1205.
- Knowles, M. Rae Trimble, N. Richard Knowles. 2001 Phosphorus status affects postharvest respiration, membrane permeability and lipid chemistry of European seedless cucumber fruit (*Cucumis sativus* L.) *Postharvest Biology and Technology* 21:179–188.
- Kramer, A and Twigg, B.A. 1970. *Quality Control for the Food Industry*. 3rd ed. AVI, Van Nostrand Reinhold Co., New York.
- Malézieux, E., Francois Côté and Duane P. Bartholomew. 2003. Crop Environment, Plant Growth and Physiology. In *The Pineapple: Botany, Production and Uses*. D.P. Bartholomew, D.P., Paull, R.E., and K.G. Rohrbach CABI Publishing. London.
- Márquez, C.J., Jimenez, A.M., Osorio, C., Cartagena, J.R. 2010. Volatile compounds during the ripening of Colombian soursop (*Annona muricata* L. Cv. Elita). *Vitae, revista de la facultad de química farmacéutica*. 245-250.
- Medlicott, A.P. and Thompson, A.K. 1985. Analysis of sugars and organic acids in ripening mango fruits *Mangifera indica* var. Keitt by high performance liquid chromatography. *Journal of the Science of Food Agriculture*. 36: 561–566.
- NAS. 1978. *Postharvest Food Losses in Developing Countries*. National Academy of Science. Washington, DC.
- Nunes, Maria Cecilia do Nascimento. 2008. *Color atlas of postharvest quality of fruits and vegetables*. Blackwell Publishing. State Avenue.
- Nursten, H.E. 1970. *Volatile compounds: The Aroma of Fruits*. In *The Biochemistry of Fruits and Their Products*, Vol 1, A.C. Hulme (ed.). Academic Press, New York, pp 239-268
- Prasanna, V. , Prabha, T. N. and Tharanathan, R. N. 2007. Fruit Ripening Phenomena-An Overview. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 47(1): 1 — 19.
- Pratt. H.K. 1975. The role of ethylene in fruit ripening. Anatole, France Centre National de la Recherche Scientifique. dalam Wills, R.B.H., Mc. Glasson, W.B., Graham, D., Lee, T.H., and Hall, E.G
- Rees, D., and Hammond, L. 2002. Biology in Plant Commodities. In *Crop Post-Harvest: Science and Technology Principles and Practice*. Golob, P. et al. (ed). Blackwell Science. Iowa

- Reid, M.S. 1985. Etilen on Postharvest Technology. *di dalam* A.A. Kader, R.F. Kasmire, F.G. Mitchell, M.S. Reid, N.F. Sommer, and J.F. Thompson. Eds. *Postharvest Technology of Horticultural Crops*. Cooperative Extension, University of California, Div. of Agric. and Natural Resources.
- Reineccus, 2006. *Flavor Chemistry and Technology*. Taylor. France.
- Salunkhe, D.K., Kadam, S.S. 1998. *Handbook of Vegetable Science and Technology: Production, Composition, Storage and Processing*. Marcell Dekker Inc. New York.
- Satuhu, S. 1994. *Penanganan dan Pengolahan Buah*. Penerbit Swadaya, Jakarta.
- Shipway, C. and Bramlage, W.J. 1973. *Plant Physiol.* 51,1095
- Solomos, T. 1982. In "*Control Atmospheres For Storage And Transport Of Perishable Agricultural Commodities*. Richardson, D.G., Meheriuk, M. Eds. Timber Press: Beaverton, Or., P. 161.
- Thomas, H.J.B. 2003. Maturity and Quality Grades for Fruits and Vegetables. *In Handbook of Postharvest Technology Cereals, Fruits, Vegetables, Tea, and Spices*. Chakraverty, A (ed). Marcell Dekker. New York.
- Thompson, A.K. 2010. *Controlled Atmosphere Storage of Fruits and Vegetables*. 2<sup>nd</sup> ed. CAB. Preston. UK.
- Thompson, A.K. 2003. *Fruit and Vegetables: Harvesting, Handling and Storage*. Blackwell Publishing Ltd
- Vicente, A.R., Manganaris, G.A., Sozzi, G.O., Crisosto, C.H. 2009. *Nutritional Quality of Fruits and Vegetables. Postharvest Handling: A System Approach*. Florkowsky, W.J. (ed). Elsevier. F
- Vicente, A.R., Powell, A., Greve, L.C., and Labavitch, J.M. 2007. Cell wall disassembly events in boysenberry (*Rubus idaeus* L. *Rubus ursinus* Cham. & Schldl.) fruit development. *Functional Plant Biology*. 34: 614–623
- Watada, A.E., Ko, N.P., Minott, D.A. 1996. Factors affecting quality of fresh cut horticultural products. *Postharvest Biology Technology*. 9:115-125
- Watt, B.K. and Nerrill, A.L. 1963. *Composition of Foods -raw, processed, and prepared*. USDA, ARS, Agric. Handb. 8, 190p.
- Williams, K.T. dan A. Bevenue, 1954. Some carbohydrate components of tomato. *J. Agric. Food. Chem.* 2:472-474.
- Wills, McGlasson, Graham and Joyce. 1998. *Postharvest. An introduction to the physiology and handling of fruit, vegetables and ornamentals*. 4<sup>th</sup> Edition . UNSW Press, Sydney.
- Woodward, J.R. 1972. Physical and chemical changes in developing strawberry fruits. *J. Sci. Food Agric.* 23:465-473

Yulianingsih, Amiarsi, D., Thahir, R., dan Broto W. Mutu Buah dan Faktor-faktor yang Mempengaruhinya. Di dalam Teknologi Penanganan Pasca Panen Buah Untuk Pasar. Broto W (ed). Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian. Jakarta.

Zind, T. 1989. Fresh trends O90 -A profile of fresh produce consumers. Packer Focus 96(54):37.

**BIODATA**

**Purwiyatno Hariyadi, lahir di .....**

**Nur Aini**, lahir di Pati (Jawa Tengah) pada 1 Februari 1973. Menyelesaikan pendidikan dasar sampai SMA di Pati pada tahun 1990. Pendidikan S1 ditempuh di Jurusan Pengolahan Hasil Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Gadjah Mada (UGM) pada 1990-1995. Mulai tahun 1997 sebagai dosen di Program Studi Ilmu dan Teknologi Pangan, Universitas Jenderal Soedirman (UNSOED) sampai dengan saat ini.

Pendidikan S2 ditempuh di Program Studi Ilmu dan Teknologi Pangan UGM pada tahun 1999-2001, sedangkan S3 ditempuh di Program Studi Ilmu Pangan Institut Pertanian Bogor (IPB).

