

FISIOLOGI PASCAPANEN BUAH DAN SAYUR

**Murdijati Gardjito
Yuliana Reni Swasti**

GADJAH MADA UNIVERSITY PRESS

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR.....	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR TABEL.....	xi
DAFTAR GAMBAR	xiii
BAB I PENDAHULUAN	1
BAB II RESPIRASI	7
A. Pendahuluan	7
B. Substrat untuk Respirasi	9
C. Laju Respirasi.....	9
D. Faktor Internal yang Memengaruhi Laju Res- pirasi	10
E. Faktor Eksternal yang Memengaruhi Laju Res- pirasi	10
F. Konversi mg CO ₂ Menjadi Panas	14
G. Metode Pengukuran Laju Respirasi	14
H. Penentuan Laju Respirasi Menggunakan Persamaan Matematis.....	16
I. Penggunaan Nilai Q ₁₀	17
J. Rasio Respirasi (RQ).....	17
K. Respirasi Sayuran	18
L. Respirasi Buah.....	20
M. Pencegahan Kerusakan Buah Klimakterik dan Nonklimakterik	25
Daftar Pustaka	27

BAB III	TRANSPIRASI.....	30
	A. Pendahuluan	30
	B. Faktor yang Memengaruhi Transpirasi	32
	C. Pencegahan Transpirasi	35
	D. Transpirasi Bahan Hasil Pertanian	35
	Daftar Pustaka	44
BAB IV	ETILEN	47
	A. Pendahuluan	47
	B. Biosintesis dan Metabolisme Etilen	48
	C. Regulator Metabolisme Etilen	51
	D. Sinyal Etilen	69
	E. Hubungan Etilen dan Pemasakan Buah	71
	Daftar Pustaka	78
BAB V	PERTUKARAN GAS.....	83
	A. Pendahuluan	83
	B. Faktor-Faktor yang Memengaruhi Pertukaran Gas	84
	C. Mekanisme Pertukaran Gas.....	89
	D. Pengukuran Pertukaran Gas	91
	E. Pengaturan Pertukaran Gas.....	96
	Daftar Pustaka	98
BAB VI	PROSES PERUBAHAN WARNA DAN CITA RASA SELAMA PEMASAKAN.....	101
	A. Perubahan Warna Selama Pemasakan	101
	B. Perubahan Cita Rasa Selama Pemasakan	114
	Daftar Pustaka	122
BAB VII	PROSES PERUBAHAN KEKUKUHAN SELAMA PEMASAKAN	125
	A. Pendahuluan	125
	B. Komponen Dinding Sel	125
	C. Pektin.....	126

D.	Proses Pemasakan.....	127
E.	Pelunakan	128
	Daftar Pustaka	141
BAB VIII	FENOLIK	144
A.	Pendahuluan	144
B.	Biosintesis Fenolik	145
C.	Metabolisme Fenolik	154
D.	Penghambat Metabolisme Fenolik	165
	Daftar Pustaka	167
BAB IX	BIOSINTESIS, METABOLISME, DAN PERAN POLIAMIN DALAM FISIOLOGI PASCAPANEN.	171
A.	Pendahuluan	171
B.	Biosintesis Poliamin	173
C.	Metabolisme Poliamin.....	176
D.	Kegunaan Poliamin	179
	Daftar Pustaka	185
BAB X	KERUSAKAN PATOLOGIS SELAMA PASCA-PANEN: PEMICU DAN PENGHAMBATAN.....	187
A.	Pendahuluan	187
B.	Kerusakan Bahan Hasil Pertanian	187
C.	Pencegahan Kerusakan Bahan Hasil Pertanian ..	196
	Daftar Pustaka	204
BAB XI	KERUSAKAN BAGIAN DALAM BUAH (<i>INTERNAL BREAKDOWN</i>)	208
A.	Pendahuluan	208
B.	Faktor yang Memengaruhi Terjadinya Kerusakan Bagian Dalam Buah.....	209
C.	Perubahan Akibat Kerusakan Bagian Dalam Buah	209
D.	Deteksi Kerusakan Bagian Dalam Buah	219
E.	Pencegahan Kerusakan Bagian Dalam Buah (IB)	219
	Daftar Pustaka	221

BAB XII PERAN SENYAWA I-METILSIKLOPROPENA (I-MCP) DALAM PENYIMPANAN HASIL PERTANIAN	224
A. Pendahuluan	224
B. Syarat Kondisi Penggunaan	225
C. Mekanisme 1-MCP.....	227
D. Praperlakuan 1-MCP sebelum Penyimpanan	227
E. Efektifitas 1-MCP.....	240
F. Efek Samping Pemberian 1-MCP.....	244
G. Penerimaan Konsumen terhadap Produk dengan Perlakuan 1-MCP	245
Daftar Pustaka	246
 BAB XIII <i>CHILLING INJURY</i>	249
A. Pendahuluan	249
B. Penyimpanan pada Suhu Rendah	250
C. Perubahan Selama Penyimpanan pada Suhu Rendah.....	253
D. Pencegahan <i>Chilling Injury</i>	258
Daftar Pustaka	260
 BAB XIV KERUSAKAN PADA SUHU BEKU (<i>FREEZING INJURY</i>).....	263
A. Pendahuluan	263
B. Proses Pembekuan.....	264
C. Perubahan Komposisi Kimia.....	267
D. Pencegahan Kerusakan Akibat Pembekuan.....	267
Daftar Pustaka	271
 TENTANG PENULIS.....	273

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Nilai Q_{10} sepuluh jenis sayuran	17
Tabel 2.2. Laju respirasi sayuran pada suhu 5°C	18
Tabel 2.3. Laju respirasi sayuran pada berbagai suhu.....	20
Tabel 2.4. Laju respirasi buah pada suhu 5°C.....	21
Tabel 2.6. Buah nonklimakterik	24
Tabel 2.7. Manfaat dan mudarat pelapisan dengan berbagai macam pelapis pada beberapa macam buah.....	26
Tabel 3.1. Laju transpirasi buah persik dan nektarin pada dua kondisi penyimpanan.....	38
Tabel 3.2. Penurunan berat <i>chestnut</i> pada berbagai kondisi penyimpanan.....	42
Tabel 5.1. Perubahan difusivitas seiring dengan pertambahan umur buah.....	86
Tabel 5.2. Difusivitas O_2 dan CO_2 bahan hasil pertanian secara radial dan vertikal.....	92
Tabel 6.1. Nilai warna all-trans- β -karoten, all-trans-violaxanthin, dan 9-cis-violaxanthin pada buah mangga manila dan ataulfo	104
Tabel 6.2. Konsentrasi komponen fenolik selama pemasakan pada buah stroberi	111
Tabel 6.3. Komponen pembentuk aroma nangka.....	117
Tabel 7.1. Ikatan glikosil pada <i>water soluble pectins</i> (WSP) buah pisang matang	130
Tabel 7.2. Ikatan glikosil pada <i>acid soluble pectins</i> (ASP) buah pisang matang.....	130
Tabel 8.1. Penghambatan transsinamaldehid terhadap aktivitas fenilalanin amonia liase (PAL).....	166

Tabel 9.1. Pengaruh penyimpanan pada suhu 0°C terhadap kandungan poliamin dan kualitas buah leci	183
Tabel 9.2. Pengaruh penambahan poliamin eksogen (putresin, poliamin, spermin) selama penyimpanan terhadap kualitas buah leci	184
Tabel 10.1. Pengaruh pencelupan air dingin terhadap pembentukan warna tomat masak	197
Tabel 10.2. Pengaruh perlakuan panas terhadap kualitas tomat yang disimpan.....	198
Tabel 10.3. Pengaruh perlakuan air panas terhadap kualitas tomat yang disimpan	199
Tabel 11.1. Gen yang memengaruhi terjadinya jaringan busa	212
Tabel 12.1. Peran 1-MCP terhadap penghambatan pemasakan alpukat yang dipicu dengan etilen.....	228
Tabel 12.2. Produksi etilen dan tingkat kekuahan apel dengan praperlakuan 1-MCP	229
Tabel 12.3. Pengaruh CO ₂ terhadap apel dengan praperlakuan 1-MCP	241
Tabel 12.4. Peningkatan masa simpan brokoli dan <i>pak coy</i> dengan perlakuan 1-MCP	243
Tabel 13.1. Kecepatan respirasi dan pembentukan etilen buah pare yang disimpan pada beberapa suhu	250
Tabel 13.2. Waktu terjadinya <i>chiling injury</i> pada beberapa jenis terung.....	258

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1	Kematangan hortikultura dalam kaitannya dengan tahap perkembangan tanaman	4
Gambar 2.1.	Reaksi biokimiawi respirasi	7
Gambar 2.2.	Jalur reaksi glikolisis, siklus asam trikarboksilat (TCA), dan transpor elektron	8
Gambar 2.4.	Grafik hubungan konsentrasi O_2 dengan laju respirasi	11
Gambar 2.5.	Produksi CO_2 pada respirasi aerob dan anerob	12
Gambar 2.6.	Perbedaan respons buah klimakterik dan non-klimakterik terhadap etilen eksogen	13
Gambar 2.7.	Laju respirasi buah pawpaw setelah pemanenan ..	13
Gambar 2.8.	Skema alat penentuan laju respirasi	15
Gambar 2.9.	Laju respirasi sayuran selama penyimpanan pada suhu 24°C	19
Gambar 2.10.	Laju respirasi sayuran selama penyimpanan pada suhu 10°C	19
Gambar 2.11.	Laju respirasi dan produksi etilen buah klimakterik dan nonklimakterik.....	21
Gambar 2.12.	Laju respirasi buah klimakterik.....	23
Gambar 2.13.	Karakteristik respirasi alpukat pada periode preklimakterik dan klimakterik	23
Gambar 2.14.	Laju respirasi buah nonklimakterik.....	24
Gambar 2.15.	Laju respirasi buah dalam atmosfer, udara, dan nitrogen termodifikasi	25
Gambar 3.1.	Pengaruh pergerakan udara terhadap laju transpirasi	34

Gambar 3.2.	Jumlah kehilangan air pada mentimun selama penyimpanan	36
Gambar 3.3.	Transpirasi pada buah anggur putih Marsh	39
Gambar 3.4	Skema penentuan laju transpirasi jamur	41
Gambar 3.5.	Chestnut yang mengalami penyusutan ukuran.....	43
Gambar 4.1.	Reaksi pembentukan etilen dan poliamin	48
Gambar 4.2.	<i>Feedback</i> etilen terhadap ACC sintase (ACS) dan ACC oksidase (ACO).....	49
Gambar 4.3.	Jalur biosintesis etilen	50
Gambar 4.5.	Produksi etilen akibat luka	53
Gambar 4.6.	Pengaruh kekuahan kulit terhadap produksi etilen luka.....	54
Gambar 4.7.	Hubungan asam malat terhadap produksi etilen luka.....	54
Gambar 4.8.	Pengaruh luka dan etoksi vinil glisin (AVG) terhadap produksi etilen pada kentang.....	55
Gambar 4.9.	Produksi etilen labu kuning setelah jaringan dilukai.....	56
Gambar 4.10.	Regulasi biosintesis etilen pada jaringan labu kuning yang dilukai.....	56
Gambar 4.11.	Aktivitas enzim fenilalanin amonia liase (PAL) pada jaringan labu kuning yang dilukai	57
Gambar 4.12.	Aktivitas enzim β -siano alanin sintase (β -CAS) pada jaringan labu kuning yang dilukai	57
Gambar 4.13.	Hubungan kehilangan air dengan produksi etilen pada buah alpukat.....	58
Gambar 4.14.	Pengaruh kehilangan air terhadap produksi etilen pada daun gandum.....	59
Gambar 4.15.	Perubahan konsentrasi etilen buah kiwi setelah mengalami penyimpanan selama 12 hari (A) dan 17 hari (B)	60
Gambar 4.16.	Perubahan aktivitas ACC sintase (ACS) dan ACC oksidase (ACO) buah kiwi pada suhu 30°C.....	61
Gambar 4.17.	Reaksi penghambat nitrit oksida (NO) dalam pembentukan etilen	62
Gambar 4.18.	Produksi etilen pada buah markisa ungu selama pemberian etilen eksogen	64

Gambar 4.19.	Pengaruh CO_2 terhadap aktivitas ACC sintase (ACS) tanaman tinggi	65
Gambar 4.20.	Pengaruh CO_2 terhadap produksi etilen	66
Gambar 4.21.	Produksi etilen akibat ozon (O_3)	67
Gambar 4.22.	Interaksi antara jalur transduksi sinyal etilen dan sistem pertahanan penyakit	68
Gambar 4.23.	Pengaruh Cu^{2+} dan Ca^{2+} terhadap produksi etilen (A) dan ACC (B)	69
Gambar 4.24.	Model jalur transduksi sinyal etilen	70
Gambar 4.25.	Produksi etilen selama pemasakan buah markisa .	71
Gambar 4.26.	Pengaruh tingkat $\text{LeEF-Ts}_{\text{mt}}$ selama proses pemasakan tomat.....	72
Gambar 4.27	Aktivitas poligalakturonase/PG (A) dan selulase (B) terhadap absisi tanaman kapas.....	73
Gambar 4.28.	Pengaruh etilen terhadap pelunakan dan pembentukan aroma buah persik.....	74
Gambar 4.29.	Pengaruh etilen terhadap aktivitas pektin metil esterase/PME (A), poligalakturonase/PG (B), selulase (C) dan pektat liase/PL (D) selama pelunakan buah pisang	75
Gambar 4.30.	Perubahan aktivitas produksi ACC oksidase/ACO (A) dan etilen (B) selama pemasakan buah pepaya	76
Gambar 4.31.	Perubahan pembentukan warna kuning (A) dan pelunakan (B) selama pemasakan buah pepaya....	77
Gambar 5.1.	Resistensi difusi gas O_2 , CO_2 , dan etilen alpukat varietas Gwen.....	85
Gambar 5.2.	Pertukaran udara alpukat.....	85
Gambar 5.3.	Difusi gas alpukat varietas Haas (A) dan varietas Gwen (B)	87
Gambar 5.4.	Geometrik buah pir	87
Gambar 5.5.	Volume ruang interseluler dan sel parenkim apel (A) dan pir (B)	88
Gambar 5.6.	Ruang interseluler apel (A) dan pir (B)	89
Gambar 5.7.	Stomata tertutup	90
Gambar 5.8.	Stomata terbuka.....	90

Gambar 5.9.	Skema sampling bahan hasil pertanian	92
Gambar 5.10.	Alat penentuan pertukaran gas	93
Gambar 5.11.	Skema gas <i>in scattering media absorption spectroscopy</i> (GASMAS) (Schouten et al., 2006)	95
Gambar 5.12.	Grafik O ₂ internal dalam bahan hasil pertanian ...	96
Gambar 5.13.	Permukaan kulit pir tanpa pelapisan lilin (A) dan dengan pelapisan lilin (B); perbesaran 100µm	97
Gambar 6.1	Perubahan intensitas warna merah buah apel pada berbagai kadar N ₂ dalam daun	102
Gambar 6.2.	Pengaruh pH terhadap aktivitas enzim degradasi β-karoten pada buah belimbing.....	105
Gambar 6.3.	Degradasi β-karoten nektarin pada suhu 40°C, pH 7, konsentrasi β-karoten 5,64 µmol/ L	105
Gambar 6.4.	Kromatogram jenis dan derivat klorofil perikarp leci	106
Gambar 6.5.	Aktivitas klorofilase pada proses pemasakan perikarp buah leci.....	107
Gambar 6.6.	Perubahan komponen klorofil a dan b (A), klorofilid (B), feoforbid (C), dan feofotin (D) pada perikarp buah leci setelah pembungaan.	108
Gambar 6.7.	Pengaruh kekuatan ion (A) dan konsentrasi H ₂ O ₂ (B) terhadap aktivitas kation peroksidase (POX) pada buah stroberi.....	109
Gambar 6.8.	Pengaruh suhu (a) dan pH (b) terhadap aktivitas kation peroksidase (POX) pada buah stroberi.....	109
Gambar 6.9.	Pengaruh fenolik terhadap aktivitas kation peroksidase (POX) pada buah stroberi	110
Gambar 6.10.	Perubahan intensitas klorofil (a) dan aktivitas kation peroksidase (POX) (b) selama pemasakan buah stroberi.....	111
Gambar 6.11.	Kandungan sianidin 3-O-glukosida (S3G) pada kulit alpukat belum masak (hijau), masak sebagian (olive), dan masak (ungu-hitam) secara berurutan dari kiri ke kanan	112
Gambar 6.12.	Perubahan kandungan sianidin-3-glukosida dan klorofil pada buah alpukat pascapanen	113

Gambar 6.13.	Biosintesis 2,5-dimetil-4-hidroksi-2H-furan-3-one (DHMF) pada buah stroberi	118
Gambar 6.14.	Perubahan gula reduksi (A), keasaman (B), dan asam askorbat (C) jambu biji.	121
Gambar 7.1.	Struktur dan komponen dinding sel buah.....	126
Gambar 7.2.	Kandungan <i>water soluble pectins</i> (WSP) dan <i>acid soluble pectins</i> (ASP) pada jaringan daging buah pisang pada beberapa tahap dalam proses pemasakan	131
Gambar 7.3.	Kekuahan buah pisang pada beberapa tahap proses pemasakan.....	132
Gambar 7.4.	Proses modifikasi komponen dinding sel.....	133
Gambar 7.5.	Aktivitas beberapa hidrolase karbohidrat selama pemasakan buah pisang	134
Gambar 7.6.	Konformasi homopoligalakturonat menjadi “kotak telur” yang terbentuk pada buah stroberi yang masak.....	135
Gambar 7.7.	Aktivitas pektin metil esterase (PME) pada stroberi pada berbagai tingkat perkembangan	135
Gambar 7.8.	Perubahan aktivitas poligalakturonase (PG) jambu biji berdaging putih dan merah muda	136
Gambar 7.9.	Perubahan aktivitas pektinesterase (PE) jambu biji berdaging putih dan merah muda.....	138
Gambar 7.10.	Perubahan aktivitas selulase jambu biji berdaging putih dan merah muda	138
Gambar 7.11.	Aktivitas enzim endo-1,4- β -glukonase	139
Gambar 7.12.	Aktivitas spesifik β -heksosaminidase, α -mannosidase, dan α -galaktosidase pada beberapa tahapan dalam proses perkembangan (1-4) dan pemasakan buah (5-6)	140
Gambar 8.1.	Struktur dasar fenol	144
Gambar 8.2.	Klasifikasi komponen fenolik	145
Gambar 8.3.	Jalur sintesis sikimat	146
Gambar 8.4.	Sintesis asam salisilat, flavonoid, dan lignin oleh fenilalanin.....	147
Gambar 8.5.	Jalur biosintesis flavonoid.....	148
Gambar 8.6.	Reaksi pembentukan malonil Ko-A	149

Gambar 8.7.	Biosintesis naringin melalui jalur malonat dan sikimat	150
Gambar 8.9.	Reaksi sintesis plumbagin melalui jalur malonat..	150
Gambar 8.10.	Biosintesis isopentenil difosfat (IPP/IDP) melalui jalur asam mevalonat.....	151
Gambar 8.11.	Skema mekanisme sintesis isopentenil difosfat (IPP/IDP) melalui jalur asam mevalonat (MVA) atau jalur 2-Cmethyl-D-erythritol-4-phosphate (MEP).....	152
Gambar 8.12.	jalur sintesis terpen dan isopentenis difosfat (IPP)	153
Gambar 8.13.	Pembentukan vanilin melalui asam isoferulat.....	154
Gambar 8.14.	Pembentukan valinin melalui asam ferulat	155
Gambar 8.15.	Sintesis senyawa gingerol dan kurkuminoid	156
Gambar 8.16.	Sintesis sianidin (warna merah) pada apel	157
Gambar 8.17.	Pembentukan warna cokelat pada selada yang dipicu oleh pelukaan	159
Gambar 8.18.	Pengaruh perlakuan panas mendadak pada kubis yang mengalami pemotongan	159
Gambar 8.19.	Peningkatan aktivitas fenilalanin amonia liase (PAL) pada jeruk yang mengalami pelunakan	160
Gambar 8.20.	Pengaruh pemaparan 20% CO ₂ terhadap aktivitas fenilalanin amonia liase (PAL) selada utuh (A) dan selada yang mengalami pemotongan (B) pada suhu 2,5°C	161
Gambar 8.21.	Pengaruh pemaparan CO ₂ terhadap sintesis fenolik selada utuh (A) dan selada yang mengalami pemotongan (B).....	161
Gambar 8.22.	Aktivitas fenilalanin amonia liase (PAL), polifenol oksidase (PPO), dan nilai <i>blackheart</i>	162
Gambar 8.23.	Manggis segar (A) dan manggis yang sudah mengalami penyimpanan (B)	163
Gambar 8.24.	Asam <i>p</i> -kumarat dan asam sinapik pada perikap manggis yang mengalami kerusakan fisik.....	164
Gambar 8.25.	Sintesis lignin dari komponen fenolik.....	164
Gambar 8.26.	Pengaruh sodium nitroprussida (SNP) terhadap aktivitas fenilalanin amonia liase (PAL) pada buah kelengkeng.....	165

Gambar 9.1.	Struktur kimia putresin, spermidin, dan spermin ..	171
Gambar 9.2.	Peningkatan poliamin akibat kerusakan pada beberapa jenis buah.....	173
Gambar 9.3.	Biosintesis poliamin.....	174
Gambar 9.4.	Enzim dan inhibitor dalam biosintesis poliamin ..	174
Gambar 9.5.	Biosintesis ornitin.....	175
Gambar 9.6.	Biosintesis poliamin pada tumbuh-tumbuhan	176
Gambar 9.7.	Pengaruh pemberian putresin eksogen pada penyimpanan buah delima (disimpan sekian hari pada suhu 2°C dilanjutkan 3 hari pada suhu 20°C) terhadap konsentrasi putresin endogen buah delima	177
Gambar 9.8.	Peningkatan putresin dan spermidin buah delima dengan perlakuan panas sebelum disimpan sekian hari pada suhu 2°C dilanjutkan 3 hari pada suhu 20°C	178
Gambar 9.9.	Perkembangan asam lemak (tidak jenuh dan jenuh) pada membran sel buah delima yang disimpan sekian hari pada suhu 2°C dan dilanjutkan penyimpanan suhu 20°C selama 3 hari	178
Gambar 9.10.	Aktivitas poliamin (putresin dan spermidin) selama pertumbuhan buah terung yang ditandai dengan jumlah hari setelah daun bunga jatuh	179
Gambar 9.11.	Perubahan kandungan poliamin selama pertumbuhan buah paprika (a) dan buah tomat (b);	180
Gambar 9.12.	Pengaruh perlakuan poliamin (1 mM PUT) terhadap kekuahan beberapa jenis buah setelah penyimpanan 1 minggu dengan suhu bervariasi	181
Gambar 9.13.	Hubungan antara produksi etilen maksimum pada puncak klimakterik dan persentase penghambatan etilen oleh putresin eksogen pada beberapa jenis buah dari genus <i>Prunus</i> (<i>plums</i> BS= “Black Star”, SR= ”Santa Rosa”, GJ= ”Golden Japan”, BD= ”Black Diamond”, ”Mauricio” aprikot dan <i>peach</i> ”Baby-Gold 6”	182
Gambar 10.1.	Jamur <i>Monilinia fructicola</i> menyerang buah yang masih melekat di pohon (<i>mummies</i>)	188

Gambar 10.2. Buah plum yang terinfeksi <i>Monilinia fructicola</i> ..	189
Gambar 10.3. Buah <i>stone fruit</i> mengalami <i>sour rot</i>	190
Gambar 10.4. Buah apel yang terinfeksi <i>Botryosphaeria obtuse</i>	191
Gambar 10.5. Buah ara/tin yang terserang <i>Phytophthora palmivora</i>	191
Gambar 10.6. Jamur <i>Botrytis cinerea</i> masuk melalui trikoma rusak (A) dan subkutikular (B)	192
Gambar 10.7. Mentimun yang mengalami infeksi <i>B. cinerea</i>	193
Gambar 10.8. Beberapa faktor yang memengaruhi <i>Bottom-End Rot</i> (BER).....	194
Gambar 10.9. Mekanisme kematian sel tomat yang mengalami serangan <i>Bottom-End Rot</i> (BER)	195
Gambar 10.10. <i>Bottom-End Rot</i> (BER) internal (A) dan eksternal (B) pada tomat.....	195
Gambar 10.11. Penurunan jumlah mikroorganisme setelah pencucian dengan air klorin dingin dan panas	196
Gambar 10.12. Sintesis <i>Heat Shock Protein</i> (HSP)	198
Gambar 10.13. Aktivitas fenilalanin amonia liase (PAL) potongan <i>celery</i> dengan dan tanpa perlakuan pemanasan.....	200
Gambar 10.14. Tingkat pencokelatan yang ditunjukkan dengan absorbansi pada 320 nm setelah pencelupan dalam air panas.....	200
Gambar 10.15. Struktur mikroskopis permukaan tomat tanpa penirinan (A) dan dengan penirinan (B). Panah menunjukkan letak trikoma	202
Gambar 10.16. Tomat luka dan terinfeksi <i>B. cinerea</i> tanpa perlakuan sinar UV (A) dan dengan perlakuan sinar UV (B)	203
Gambar 11.1. <i>Plum</i> sehat, <i>plum</i> muda mengalami Internal Breakdown (IB), dan <i>plum</i> masak mengalami Internal Breakdown (IB) berurutan dari kiri ke kanan	208
Gambar 11.2. Kerusakan pangkal buah mangga pada tahap akhir.....	210
Gambar 11.3. <i>Jelly seed</i> buah mangga pada tahap akhir	211
Gambar 11.4. Gejala <i>soft nose</i> pada tahap awal	211

Gambar 11.5. Persik yang sehat (kiri) dan persik yang mengalami <i>woolliness</i> (kanan)	213
Gambar 11.6. Kerusakan <i>core flush</i> (A), <i>brown heart</i> (B), <i>flesh browning</i> (C), kerusakan yang dipercepat oleh kerusakan inti buah (D), dan kerusakan akibat usia tua (E)	214
Gambar 11.7. <i>Watercore</i> pada apel	215
Gambar 11.8. Pencokelatan daging buah persik	216
Gambar 11.9. Pir sehat (a) dan pir yang mengalami kerusakan morfologis dan fisiologis (b)	216
Gambar 11.10. Perubahan konsentrasi gula netral buah persik selama penyimpanan 4 minggu pada suhu 5°C yang dilanjutkan penyimpanan pada suhu 20°C selama 5 hari	217
Gambar 11.11. Perubahan konsentrasi kalsium selama penyimpanan 4 minggu pada suhu 5°C yang dilanjutkan penyimpanan pada suhu 20°C selama 5 hari	218
Gambar 11.12. Perubahan konsentrasi magnesium selama penyimpanan 4 minggu pada suhu 5°C yang dilanjutkan penyimpanan pada suhu 20°C selama 5 hari.....	218
Gambar 11.13. <i>Bitter pit</i> pada apel	219
Gambar 12.1. Struktur kimia 1-MCP	225
Gambar 12.2. Ruang perlakuan 1-Metilsiklopropana (1-MCP) ..	226
Gambar 12.3. Penundaan produksi etilen dengan pemberian 1-Metilsiklopropana (1MCP) 300 ml/l selama 18 jam pada suhu 20°C	230
Gambar 12.4. Pengaruh perlakuan 1-Metilsiklopropana(1-MCP) pada aktivitas ACC sintase (ACS)	230
Gambar 12.5. Penurunan aktivitas asam aminosiklopropana-1-karboksilat oksidase (ACO) dengan adanya praperlakuan 1-Metilsiklopropana (1-MCP)	231
Gambar 12.6. Penundaan pelunakan pada buah alpukat oleh 1-Metilsiklopropana (1-MCP)	232
Gambar 12.7. Penghambatan aktivitas poligalakturonat (PG) (A) dan selulase (B) pada buah alpukat oleh 1-Metilsiklopropana (1-MCP).....	232

Gambar 12.8. Penghambatan pelunakan daging buah alpukat oleh 1-Metilsiklopropana (1-MCP).....	233
Gambar 12.9. Penundaan perubahan warna kulit oleh 1-Metilsiklopropana (1-MCP).....	233
Gambar 12.10. Aktivitas fenolik apel dengan praperlakuan 1-Metilsiklopropana (1-MCP).....	234
Gambar 12.11. Penurunan aktivitas lipoksigenase dengan adanya perlakuan 1-Metilsiklopropana	235
Gambar 12.12. Penurunan konsentrasi asam askorbat akibat praperlakuan 1-Metilsiklopropana (1-MCP)	235
Gambar 12.13. Produksi ester dan alkohol setelah praperlakuan 1-Metilsiklopropana (1-MCP).....	236
Gambar 12.14. Produksi etilen aprikot akibat pelukaan	237
Gambar 12.15. Produksi CO ₂ aprikot akibat pelukaan	237
Gambar 12.16. Perubahan struktur mikro jaringan aprikot dengan perlakuan 1-Metilsiklopropana (1-MCP) (A) dan tanpa perlakuan 1-Metilsiklopropana (1-MCP) (B)	238
Gambar 12.17. Penghambatan 1-Metilsiklopropana (1-MCP) terhadap kerusakan tomat.....	239
Gambar 12.18. Penurunan tingkat kehilangan berat dengan pra-perlakuan 1-Metilsiklopropana (1-MCP)	239
Gambar 12.19. Penghambatan aktivitas poligalakturonat (PG) oleh 1-Metilsiklopropana (1-MCP) dan pelapisan lilin pada buah alpukat	240
Gambar 12.20. Daging alpukat berwarna abu-abu (A); tekstur senar daging buah (B); kerusakan vaskuler daging buah (C); dan perubahan warna daging buah bagian luar (D) akibat penyimpanan suhu ruang dalam jangka waktu panjang.....	241
Gambar 12.21. Kenampakan alpukat dengan perlakuan 1-Metilsiklopropana (1-MCP) selama penyimpanan 4 minggu (A) dan 7 minggu (B) pada suhu 5,5°C ...	242
Gambar 12.22. Perubahan tingkat kekuahan (A) dan tingkat kerusakan (B) pada buah apel	243
Gambar 12.23. Tingkat kerusakan apel akibat patogen dengan adanya praperlakuan 1-Metilsiklopropana.....	244

Gambar 12.24. Kerusakan akibat CO ₂ pada buah apel yang diperlakukan dengan 1-Metilsiklopropana (1-MCP)	245
Gambar 13.1. Mekanisme <i>chilling injury</i>	251
Gambar 13.2. Kebocoran elektrolit pada suhu 10°C dan 0°C	252
Gambar 13.3. Hubungan <i>chilling injury</i> terhadap kandungan putresin lemon	252
Gambar 13.4. Peningkatan terjadinya <i>chilling injury</i> pada buah belimbing	253
Gambar 13.5. Perubahan warna pisang karena pengaruh <i>chiling injury</i>	254
Gambar 13.6. Dinding sel buah persik yang sehat (A) dan yang mengalami <i>mealiness</i> (B).....	254
Gambar 13.7. Buah persik yang mengalami <i>mealiness</i>	256
Gambar 13.8. Dinding sel buah persik yang mengalami <i>leatherness</i>	256
Gambar 13.9. Peningkatan sintesis lignin (A) dan peningkatan kekuahan (B) pada <i>loquat</i>	256
Gambar 13.10. Peningkatan aktivitas <i>pektin esterase</i> (A), peningkatan aktivitas β-galaktosidase (B), dan penurunan kekuahan (C) pada buah belimbing pada suhu 10°C	257
Gambar 13.11. Loquat sehat (A) dan yang mengalami <i>woodiness</i> (B)	257
Gambar 14.1. Apel muda yang mengalami <i>freezing injury</i> dan buah jeruk yang menjadi kering setelah mengalami pembekuan	263
Gambar 14.2. Skema pembekuan 0°C terkontrol	265
Gambar 14.3. Penurunan kecepatan respirasi (A) dan kehilangan berat (B) pada biji kapri pada suhu 0°C, 8°C, 25°C.....	265
Gambar 14.4. Tomat beku (A) dan tomat yang telah mengalami <i>thawing</i> (B).....	266
Gambar 14.5. Perbedaan kondisi dan kemampuan penyerapan air bayam segar (A), bayam dengan perlakuan <i>pulsed electric field</i> (PEF) (B), dan bayam tanpa perlakuan <i>pulsed electric field</i> (PEF) (C).....	268

- Gambar 14.6. Mikrostruktural jaringan kentang tanpa perlakuan *pulsed electric field* (PEF) (a) dan dengan perlakuan *pulsed electric field* (PEF) (b) 269
- Gambar 14.7. Irisan kentang tanpa perlakuan *pulsed electric field* (PEF) (A) dan dengan perlakuan *pulsed electric field* (PEF) (B) sebelum pembekuan 269