

FISIOLOGI DAN TEKNOLOGI PASCA PANEN

Penulis :

Ali Zainal Abidin Alaydrus, Zurrahmi Wirda, Leni Marlina,
Melycorianda Hubi Ndapamuri, Windy Rizkaprilisa,
Didi Carsidi, Rizka Mulyani, Nur Aini Mahmudah, Anita,
Prakoso Adi, I Wayan Suanda, Suci Apsari Pebrianti



ISBN 978-623-198-333-6



9 786231 983336

FISIOLOGI DAN TEKNOLOGI PASCA PANEN

**Ali Zainal Abidin Alaydrus
Zurrahmi Wirda
Leni Marlina
Melycorianda Hubi Ndapamuri
Windy Rizkaprilisa
Didi Carsidi
Rizka Mulyani
Nur Aini Mahmudah
Anita
Prakoso Adi
I Wayan Suanda
Suci Apsari Pebrianti**



PT GLOBAL EKSEKUTIF TEKNOLOGI

FISIOLOGI DAN TEKNOLOGI PASCA PANEN

Penulis :

Ali Zainal Abidin Alaydrus
Zurrahmi Wirda
Leni Marlina
Melycorianda Hubi Ndapamuri
Windy Rizkaprilisa
Didi Carsidi
Rizka Mulyani
Nur Aini Mahmudah
Anita
Prakoso Adi
I Wayan Suanda
Suci Apsari Pebrianti

ISBN : 978-623-198-333-6

Editor : Rissa Megavitry, S.Pd., M.Si.

Penyunting: Yuliatr Novita, M.Hum.

Desain Sampul dan Tata Letak : Tri Putri Wahyuni, S.Pd.

Penerbit : PT GLOBAL EKSEKUTIF TEKNOLOGI

Anggota IKAPI No. 033/SBA/2022

Redaksi :

Jl. Pasir Sebelah No. 30 RT 002 RW 001
Kelurahan Pasie Nan Tigo Kecamatan Koto Tengah
Padang Sumatera Barat
Website : www.globaleksekutifteknologi.co.id
Email : globaleksekutifteknologi@gmail.com

Cetakan pertama, Mei 2023

Hak cipta dilindungi undang-undang
Dilarang memperbanyak karya tulis ini dalam bentuk
dan dengan cara apapun tanpa izin tertulis dari penerbit.

KATA PENGANTAR

Dengan mengucapkan puji syukur kehadirat Allah SWT, atas limpahan rahmat dan hidayahNya, maka Penulisan Buku dengan judul Fisiologi dan Teknologi Pasca Panen dapat diselesaikan dengan kerjasama tim penulis. Buku ini berisi tentang pengantar teknologi pasca panen hortikultura, proses fisiologi dan biokimia, perubahan-perubahan pada proses pematangan, pengaruh suhu, kerusakan fisiologis, atmosfer penyimpanan, kerusakan patologis pascapanen, perlakuan terhadap komoditi, pengemasan, penyimpanan pascapanen, hama dan penyakit pascapanen, kerusakan mikrobiologis.

Buku ini masih banyak kekurangan dalam penyusunannya. Oleh karena itu, kami sangat mengharapkan kritik dan saran demi perbaikan dan kesempurnaan buku ini selanjutnya. Kami mengucapkan terima kasih kepada berbagai pihak yang telah membantu dalam proses penyelesaian Buku ini. Semoga Buku ini dapat menjadi sumber referensi dan literatur bagi dosen dan mahasiswa di berbagai perguruan tinggi.

Padang, Mei 2023
Penulis

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	ii
DAFTAR GAMBAR	v
DAFTAR TABEL	vi
BAB 1 PENGANTAR TEKNOLOGI PASCA PANEN HORTIKULTURA..	1
1.1 Pendahuluan	1
1.2 Pengertian Teknologi Pasca Panen Hortikultura	2
1.3 Ruang Lingkup Teknologi Pasca Panen Hortikultura	3
1.3.1 Panen	4
1.3.2 Pasca Panen	5
1.4 Teknologi Pengolahan Produk Hortikultura	8
1.4.1. Fermentasi	8
1.4.2 Pendinginan	9
1.4.3 Pembekuan	10
1.4.4 Pengalengan	12
1.4.5 Penggulaan	13
1.4.6 Ekstraksi : Sari, Konsentrat, Parfume	14
1.4.7. Pengeringan	15
DAFTAR PUSTAKA	18
BAB 2 PROSES FISILOGI DAN BLOKIMIA	21
2.1 Pendahuluan	21
2.2 Respirasi	22
2.2.1 Faktor-faktor yang Mempengaruhi Respirasi	22
2.2.2 Tahapan Proses Respirasi	29
2.3 Transpirasi	31
DAFTAR PUSTAKA	35
BAB 3 PERUBAHAN – PERUBAHAN PADA PROSES PEMATANGAN .	37
3.1 Pendahuluan	37
3.2 Perubahan Warna	38
3.3 Perubahan Tekstur / Kekerasan	42
3.4 Perubahan Kandungan Karbohidrat	43
3.5 Perubahan Kandungan Asam Organik	44
3.6 Perubahan Bobot	45
DAFTAR PUSTAKA	46
BAB 4 PENGARUH SUHU	49
4.1 Pendahuluan	49
4.2 Mekanisme Penyimpanan Produk pada Suhu Rendah	50
4.2.1 Pendinginan	50
4.2.2 Pembekuan	51
4.3 Kerusakan Selama Penyimpanan pada Suhu Rendah	51

4.4 Pencegahan Kerusakan Akibat Suhu Rendah pada Beberapa Produk Pertanian	54
DAFTAR PUSTAKA	58
BAB 5 KERUSAKAN FISILOGIS	59
5.1 Faktor- Faktor Penyebab Kerusakan Fisiologis	60
5.1.1 Suhu	60
5.1.2. Kerusakan Akibat Gas Atmosfer	66
5.1.3 Kerusakan Akibat Defisiensi Mineral.....	68
5.2 Perlakuan Pencegahan Kerusakan Fisiologis.....	69
5.2.1 Sortasi	70
5.2.2 Pencucian	70
5.2.3 Pelilinan	70
5.2.4 Pengemasan	71
5.2.5 Penyimpanan.....	71
DAFTAR PUSTAKA	73
BAB 6 ATMOSFER PENYIMPANAN	75
6.1 Pendahuluan	75
6.2 Aktifitas Metabolisme	76
6.2.1 Laju Respirasi	77
6.2.2 Penurunan Laju Respirasi.....	77
6.3 Mekanisme Pertukaran Gas	77
6.4 Pengaruh oksigen dan karbon dioksida pada kualitas buah	78
6.5 (<i>Modified Atmosphere Storage</i> /MAS) Metode Modifikasi Atmosfer	79
DAFTAR PUSTAKA	86
BAB 7 KERUSAKAN PATOLOGIS PASCAPANEN	87
7.1 Pendahuluan	87
7.2 Mekanisme Perlindungan dan Pertahanan Host terhadap Patogen.....	89
7.2.1 Proses infeksi host oleh patogen	89
7.2.2 Strategi pertahanan inang terhadap patogen	91
7.3 Penyakit pascapanen pada sayur dan buah	93
7.4 Metode Kontrol Kerusakan Patologis Pascapanen	98
7.4.1 Metode kontrol fisik	98
7.4.2 Metode kontrol kimia	102
7.4.3 Metode kontrol biologi.....	102
DAFTAR PUSTAKA	106
BAB 8 PERLAKUAN TERHADAP KOMODITI	113
8.1 Perlakuan Fisik	114
8.2 Perlakuan Kimia	126
8.3 Perlakuan Gas	129
DAFTAR PUSTAKA	133

BAB 9 PENGEMASAN.....	135
9.1 Sejarah Kemasan.....	135
9.2 Fungsi dan Peranan Pengemasan.....	136
9.2.1 Fungsi pengemasan secara umum.....	136
9.2.2 Fungsi Pengemasan secara khusus.....	137
9.3 Sifat Kemasan Pangan Produk Pertanian.....	138
9.3.1 Kemasan tradisional.....	138
9.3.2 Kemasan Modern.....	139
9. 4 Pengemasan Produk Sergar Pertanian	139
9.4.1 Pengemasan Buah Pisang	139
9.4.2 Pengemasan Buah Alpukat.....	140
9.4.3 Pengemasan Buah Jeruk	141
9.4.4 Pengemasan Cabe.....	142
9.5 Pengemasan Produk Olahan.....	143
9. 5.1 Pengemasan Produk Roti	143
9.5.2. Pengemasan Kecap	143
DAFTAR PUSTAKA.....	145
BAB 10 PENYIMPANAN PASCAPANEN.....	147
10.1 Penyimpanan dan faktor yang mempengaruhi	147
10.1.1 Faktor-faktor sebelum panen (prapanen)	148
10.1.2 Cara pemanenan dan penanganan	150
10.1.3 Pendinginan.....	151
10.1.4 Kebersihan (higienitas).....	152
10.1.5 Varietas komoditas	153
10.2 Macam-macam metode penyimpanan produk hasil pertanian..	154
10.2.1 Penyimpanan alami	154
10.2.2 Penyimpanan modifikasi dan terkendali	156
DAFTAR PUSTAKA.....	162
BAB 11 HAMA DAN PENYAKIT PASCAPANEN.....	165
11.1 Pendahuluan	165
11.2 Hama Pascapanen Buah-Buahan	167
11.3 Hama Pascapanen Sayur Mayur	168
11.3.1 Kubis.....	168
11.3.2 Kacang Panjang.....	169
11.3.3 Terung.....	169
11.4 Penyakit Pascapanen Buah-Buahan	170
11.5 Hama Gudang.....	174
11.6 Penanganan Pascapanen	177
DAFTAR PUSTAKA.....	180
BAB 12 KERUSAKAN MIKROBIOLOGIS	183
12.1 Peran Mikroba dalam Kehilangan Pascapanen	183
12.2 Sumber Kontaminasi	185
12.2.1 Pemanenan	185

12.2.2 Penanganan Pascapanen	187
12.2.3 Pengemasan, Penyimpanan dan Transportasi.....	189
12.3 Karakteristik Kerusakan Mikrobiologis.....	193
12.3.1 Sayuran dan Buah.....	193
12.3.2 Sereal dan Kacang-kacangan.....	196
DAFTAR PUSTAKA.....	197
BIODATA PENULIS	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1. Mekanisme Perpindahan Panas Selama Proses Pendinginan.....	10
Gambar 2.1. Katabolisme senyawa organik lainnya	25
Gambar 2.2. Respirasi dengan substrat protein	25
Gambar 2.3. Perubahan konsentrasi CO ₂ pada konsentrasi O ₂ ruang simpan (a) 3% (b) 12% (c) 21%.....	27
Gambar 2.4. Pola respirasi klimaterik dan non klimaterik saat pematangan buah.	29
Gambar 2.5. Tahapan respirasi pada tumbuhan.....	30
Gambar 2.2. Perubahan morfologi buah tomat akibat transpirasi	32
Gambar 5.1. Pengaruh Suhu terhadap Kerusakan Fisiologis	61
Gambar 5.2. Perubahan Fisik Pisang Akibat Suhu Tinggi.....	66
Gambar 6.1. Stomata tertutup dan terbuka	78
Gambar 6.2. Penyimpanan CAS	81
Gambar 6.3. Penyimpanan MAS	81
Gambar 7.1. Mekanisme infeksi jamur pada buah-buahan.....	89
Gambar 7.2. Patogen pascapanen utama jeruk dan apel, <i>Penicillium digitatum</i> dan <i>P. expansum</i> , masing-masing	89
Gambar 7.3. Gray mold/ <i>Botrytis</i>	95
Gambar 7.4. Black mold rot pada bawang putih.....	96
Gambar 7.5. Watery soft rot.....	96
Gambar 7.6. Antraknosa pada pisang	97
Gambar 7.7. Blue and green mold pada jeruk.....	98
Gambar 9.1. Pengemasan Buah Pisang	140
Gambar 9.2. Pengemasan Buah Alpukat.....	141
Gambar 9.3. Pengemasan Buah Jeruk.....	142
Gambar 9.4. Pengemasan Cabai	143
Gambar 10.1 Tiga tipe mikroorganisme penyebab penyakit tanaman. (A) Fungi yang tumbuh disalah satu bagian jaringan tanaman yang terinfeksi dalam media nutrient. (B) Miselium dan spora dari fungi pathogen (<i>Botrytis</i> sp.). (C) Bakteri pada stomata daun tanaman. (D) Fitoplasma dalam sel floem tanaman.....	150
Gambar 10.2 Contoh kerusakan (abrasion, bruising, shatter cracking, cutting, puncture, dan splitting) akibat kesalahan pemanenan dan penanganan pada buah naga.....	151
Gambar 10.3 Lalat <i>C. capitata</i> prekursor mikroorganisme pembusuk.....	153
Gambar 10.4. Diagram generator terbuka yang digunakan untuk memodifikasi kadar O ₂ dalam penyimpanan	159
Gambar 10.5 Penyimpanan produk pangan dengan menerapkan teknik penyimpanan hermetic	160
Gambar 11.1. Kacang Panjang terserang Hama	169

Gambar 11.2. Buah Pare terserang Hama dan kerusakan di dalam buah	171
Gambar 11.3. Buah Mangga terserang Larva Lalat Buah.....	172
Gambar 11.4. Gejala Buah Cabai terserang Lalat Buah.....	173
Gambar 11.5. Stroberi dirusak hama Slug (Keong telanjang) dan penyakit kelabu (Botrytis cinerea) dan stroberi dirusak Jamur pada penyimpanan	174
Gambar 11.6. Hama Kutu Beras (Sitophilus oryzae)	175
Gambar 11.7. Serangga Hama Gudang	176
Gambar 11.7. Produk Olahan Pascapanen: Wine Ketela Ungu; Cuka Apel dan Stroberi.....	179
Gambar 12.1 Buah pala yang dikeringkan dengan metode tradisional (a) (Sembiring, Supriadi and Ediningsih, 2020); kurma yang dibiarkan di atas tanah setelah pemanenan (b); kurma yang tidak disortasi dan dikemas secara tidak tepat (c)	189
Gambar 12.2. Pola penyusunan tomat secara (a) face centred cubic (FCC); (b) tradisional; (c) jumble.....	190
Gambar 12.3 Kontaminasi Botrytis cinerea pada komoditas buah dan sayuran dengan kondisi penyimpanan yang buruk	191
Gambar 12.4 Kerusakan mikrobiologis busuk lunak akibat Erwinia carotovora (atas) (Aremu and Babalola, 2015) dan busuk lunak akibat Pseudomonas.....	195
Gambar 12.5 Kerusakan mikrobiologis pada paprika: gray mold akibat Botrytis cinerea (a) (Krasnow and Ziv, 2022) dan akibat Fusarium (b)	195
Gambar 12.5 Kontaminasi kacang-kacangan oleh A. flavus (a), A. niger (b), Penicillium sp (c), Fusarium sp (d)	196

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Klasifikasi buah dan sayuran berdasarkan laju respirasinya	30
Tabel 4.1. Kelompok Umur Simpan Buah dan Sayur Segar	55
Tabel 5.1. Gejala Chilling Injury pada Benerapa Komoditas	62
Tabel 5.2. Toleransi Beberapa Buah Dan Sayur Terhadap Oksigen dan Karbondioksida	67
Tabel 5.3. Kerusakan Akibat Defisiensi Kalsium Pada Buah dan Sayur	68
Tabel 6.1. Kondisi untuk Penyimpanan Sistem Atmosfer Terkendali.....	82
Tabel 6.2. Kondisi atmosfer yang dimodifikasi yang direkomendasikan untuk beberapa buah dan sayuran	83
Tabel 7.1. Penyakit pascapanen pada sayur dan buah.....	94
Tabel 7.2. Perlakuan panas untuk pengendalian penyakit pada komoditas hortikulutra	99
Tabel 7.3. Penggunaan biocontrol pada beberapa komoditas hortikultura	103
Tabel 8.1. Suhu penyimpanan berbagai buah	116
Tabel 12.1 Kerusakan mikrobiologis pada sayuran dan buah.	193

BAB 1

PENGANTAR TEKNOLOGI PASCA PANEN HORTIKULTURA

Oleh Ali Zainal Abidin Alaydrus

1.1 Pendahuluan

Teknologi pasca panen (post-harvest technology) merupakan salah satu bagian terpenting pada siklus pertanian yang memfokuskan pada pengolahan, penyimpanan, dan distribusi produk hortikultura setelah panen. Dalam bidang ini, para ahli dan peneliti berupaya untuk mengembangkan teknik dan metode yang efisien dan ramah lingkungan untuk memastikan bahwa produk hortikultura tetap memiliki kualitas yang tinggi dan layak untuk dijual hingga ke tangan konsumen.

Teknologi pasca panen memiliki peran penentu dalam menjaga kualitas dan nilai jual produk hortikultura. Dengan menggunakan teknologi pasca panen yang baik dan tepat, petani atau pelaku bisnis dapat memastikan bahwa produk mereka memiliki daya simpan yang lebih baik dan berkualitas tinggi sepanjang perjalanan dari kebun ke gudang hingga ke pasar (Utama *et al.*, 2005). Hal itu dapat membantu dalam meminimalkan kerugian akibat kerusakan produk selama proses pengiriman dan penyimpanan.

Oleh karena itu, teknologi pasca panen hortikultura merupakan bagian yang tidak terpisahkan dari proses pertanian untuk memastikan bahwa produk hortikultura yang dihasilkan dapat bertahan dan dijual dengan harga yang layak. Dalam hal ini, penerapan teknologi pasca panen yang tepat akan membantu petani meningkatkan pendapatan mereka dan

memastikan bahwa produk hortikultura yang dihasilkan dapat dinikmati oleh masyarakat dengan baik. Produk Hortikultura meliputi tanaman sayuran, buah-buahan, bunga-bunga, dan tanaman hias yang merupakan salah satu sub sektor dalam sektor pertanian yang berpotensi untuk dikembangkan karena memiliki nilai ekonomis yang cukup tinggi namun perlu penanganan dan teknologi pasca panen karena sifat dan karakteristik produk hasil yang rentan dan mudah rusak (Winarni, 2012)

1.2 Pengertian Teknologi Pasca Panen Hortikultura

Penggunaan istilah pascapanen beraneka macam. Ada yang penanganan pascapane, teknologi penanganan pasca panen dan yang umumnya biasa disebut teknologi pasca panen. Pengertiannya pun juga demikian, ada yang mengartikannya secara luar mulai dari panen hingga dengan pengolahan dan pemasaran, namun ada pula secara sempit yang membatasinya hanya pada panen hingga ke penyimpanan. Berikut adalah beberapa pengertian teknologi pasca panen menurut para pakar:

Menurut FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations), teknologi pasca panen adalah sekumpulan praktik dan proses yang digunakan untuk memproses, mempertahankan, dan memperkayakan produk pertanian setelah panen.

Menurut International Society for Horticultural Science (ISHS), teknologi pasca panen meliputi berbagai proses yang dilakukan setelah produk pertanian dipanen seperti pengolahan, pengemasan, penyimpanan, dan distribusi produk.

Menurut World Bank, teknologi pasca panen melibatkan sejumlah besar aktivitas yang berfokus pada pengolahan, penyimpanan, dan distribusi produk pertanian untuk

memastikan bahwa produk tersedia segar dan layak untuk dijual sampai sampai ke tangan konsumen.

Menurut Lokakarya Penanganan Pasca Panen di IPB tahun 1983. Pengertiannya dibedakan menjadi dua, pertama adalah penanganan pascapanen (teknologi pascapanen), teknologi pasca panen adalah kegiatan perlakuan, penanganan (handling), dan pengolahan langsung terhadap produksi pertanian tanpa mengubah struktur asli produk tersebut sedangkan teknologi industri adalah penanganan lebih lanjut setelah pascapanen, yaitu mencakup pengolahan yang mengubah sifat asal atau sifat-sifat kimia dari komoditi tersebut (Sudjatha and Wisaniyasa, 2017).

Dari beberapa definisi di atas, dapat dikatakan bahwa teknologi pasca panen merupakan sekumpulan proses dan aktivitas yang berfokus pada pengolahan, penyimpanan, dan distribusi produk pertanian untuk memastikan bahwa produk tersedia segar dan layak untuk dijual sampai sampai ke tangan konsumen. Teknologi ini sangat penting untuk memastikan bahwa produk pertanian memiliki nilai jual yang tinggi dan dapat dinikmati oleh masyarakat dengan baik

1.3 Ruang Lingkup Teknologi Pasca Panen Hortikultura

Ruang lingkup teknologi pasca panen hortikultura meliputi berbagai proses dan aktivitas yang berfokus pada panen, pasca panen pengolahan, penyimpanan, hingga distribusi produk hortikultura. Menurut Vita dkk, (2007) teknologi pasca panen hortikultura mencakup berbagai macam teknologi dan proses yang digunakan untuk menjaga kualitas, keamanan, dan nilai tambah produk hortikultura setelah panen. Berikut adalah beberapa ruang lingkup teknologi pasca panen hortikultura:

1. Pemanenan: Pemanenan adalah proses penting dalam teknologi pasca panen hortikultura yang meliputi pemilihan waktu panen, penggunaan alat yang sesuai, dan teknik

pemotongan yang tepat agar produk hortikultura tetap segar dan tidak rusak.

2. Penanganan pasca panen: Proses penanganan pasca panen termasuk pemilahan, pemilihan, pembersihan, pengangkutan, dan penyimpanan produk hortikultura untuk menjaga kualitas dan meminimalkan kerusakan selama transportasi dan penyimpanan.
3. Pengolahan: Pengolahan produk hortikultura meliputi proses pemotongan, pemotongan, pengupasan, pengemasan, dan proses lainnya untuk mengubah produk hortikultura menjadi produk olahan seperti jus, saus, kering, dan produk lainnya.

1.3.1 Panen

Keberhasilan penanganan pasca panen sangat ditentukan dari tindakan awalnya yaitu proses panen. Proses pemanenan yang dilakukan dengan baik dapat memastikan produk hortikultura tetap segar dan tidak rusak setelah dipanen (Mutiarawati, 2007). Ada beberapa faktor yang perlu dipertimbangkan dalam proses pemanenan, seperti waktu panen yang tepat, penggunaan alat yang sesuai, dan teknik pemotongan yang benar.

Waktu panen yang tepat adalah faktor penting dalam proses pemanenan. Panen terlalu dini dapat menyebabkan produk hortikultura tidak mencapai kualitas optimalnya, sedangkan panen terlambat dapat menyebabkan produk menjadi *overripe* dan cepat rusak. Selain itu, faktor cuaca seperti hujan atau suhu yang ekstrem juga dapat mempengaruhi waktu panen yang tepat. Penggunaan alat yang sesuai juga sangat penting dalam proses pemanenan. Alat yang digunakan harus sesuai dengan jenis produk hortikultura yang dipanen. Alat yang tidak sesuai dapat menyebabkan kerusakan pada produk atau menyebabkan pengambilan produk yang tidak optimal. Teknik

pemotongan yang benar juga harus diperhatikan dalam proses pemanenan. Teknik pemotongan yang salah dapat menyebabkan kerusakan pada produk atau menyebabkan pengambilan produk yang tidak optimal. Pemotongan yang benar dapat memastikan produk hortikultura tetap segar dan tidak rusak setelah dipanen.

Secara keseluruhan, proses pemanenan pada teknologi pasca panen hortikultura merupakan proses yang sangat penting dalam menjaga kualitas dan nilai tambah produk hortikultura setelah panen. Pemanenan yang dilakukan dengan baik dapat membantu memastikan bahwa produk hortikultura tetap segar dan tidak rusak setelah dipanen, yang pada gilirannya dapat meningkatkan nilai tambah dan daya saing produk di pasar global.

1.3.2 Pasca Panen

Penanganan pasca panen merupakan salah satu tahapan penting dalam teknologi pasca panen hortikultura. Tujuan dari penanganan pasca panen adalah untuk mempertahankan kualitas produk hortikultura dan mengurangi kerugian hasil panen akibat kerusakan atau kehilangan. Kegiatan Penanganan panen dilakukan berdasarkan prinsip *Good Handling Practices* (GHP) yang menitik beratkan penanganan produk pada saat panen agar kehilangan dan kerusakan hasil dapat ditekan seminimal mungkin sehingga dapat menghasilkan produk yang bermutu atau memenuhi standar mutu yang berlaku seperti standar nasional Indonesia (SNI) dan memiliki nilai jual yang tinggi. Proses penanganan pasca panen mencakup berbagai aktivitas, mulai dari pemisahan produk, pendinginan, pengemasan, pengiriman, dan penyimpanan (Aimanah dan Vandalisna, 2019).

Nilai ekonomi dari berbagai jenis hortikultura tergantung pada kualitas mutu dari komoditas tersebut. Oleh karena itu proses pemisahan perlu dilakukan antara komoditas yang

mutunya rendah berdasarkan kondisi fisik (busuk, lecet, memar) dengan yang bermutu tinggi. Pemisahan/penyortiran produk dilakukan untuk memisahkan produk hortikultura yang baik dari produk yang cacat atau rusak. Produk yang cacat atau rusak harus segera dipisahkan dan diolah atau dijual dengan harga yang lebih rendah (Samad, 2006).

Secara keseluruhan, penanganan pasca panen pada teknologi pasca panen hortikultura merupakan tahapan utama dalam menjaga kualitas dan nilai tambah produk hortikultura setelah panen. Penanganan pasca panen yang baik dapat membantu memastikan bahwa produk hortikultura tetap segar dan tidak rusak setelah dipanen, yang pada gilirannya dapat meningkatkan nilai tambah dan daya saing produk di pasar global.

1.3.3 Pengolahan

Pengolahan pasca panen merupakan salah satu tahapan yang juga perlu diperhatikan dalam teknologi pasca panen hortikultura. Menurut Saidi, (2019) pengolahan merupakan salah satu alternatif untuk mengantisipasi hasil produksi yang melimpah, selain itu pengolahan juga dapat memberikan peluang bagi petani untuk menjual buah tidak hanya dalam bentuk segar. Pengolahan pasca panen bertujuan untuk mengubah produk hortikultura menjadi produk olahan yang lebih bernilai tambah. Menurut Aini, (2018) penjualan produk pertanian dalam bentuk segar tidak dapat meningkatkan nilai tambah produk dan juga mempunyai waktu simpan yang terbatas sehingga perlu pengolahan yang sesuai dengan produk hortikultura tersebut. Proses pengolahan pasca panen mencakup berbagai aktivitas, seperti pemotongan, pengupasan, pengiris, penghancuran, pengeringan, penggilingan, dan pemurnian.

Pemotongan dilakukan untuk memisahkan bagian-bagian tertentu dari produk hortikultura, seperti daging buah atau sayuran, dari bagian lainnya, seperti kulit atau biji. Pemotongan yang baik dapat meningkatkan nilai tambah produk dan mengurangi kerusakan fisik pada produk. Pengupasan dilakukan untuk menghilangkan kulit atau lapisan lain dari produk hortikultura. Pengupasan yang baik dapat meningkatkan nilai tambah produk dan mengurangi kerusakan fisik pada produk. Pengirisan dilakukan untuk menghasilkan irisan tipis atau potongan dari produk hortikultura. Pengiris yang baik dapat meningkatkan nilai tambah produk dan memastikan konsistensi produk.

Penghancuran dilakukan untuk mengubah produk hortikultura menjadi bentuk yang lebih halus atau kasar, seperti puree atau sari buah. Penghancuran yang baik dapat meningkatkan nilai tambah produk dan memudahkan pengemasan dan pengiriman. Pengeringan dilakukan untuk menghilangkan kadar air pada produk hortikultura. Pengeringan yang baik dapat memperpanjang umur simpan produk dan mengurangi risiko kerusakan pada produk. Penggilingan dilakukan untuk mengubah produk hortikultura menjadi tepung atau bubuk. Penggilingan yang baik dapat meningkatkan nilai tambah produk dan memudahkan pengemasan dan pengiriman. Pemurnian dilakukan untuk menghilangkan kotoran atau bahan asing dari produk hortikultura. Pemurnian yang baik dapat meningkatkan kualitas produk dan meningkatkan nilai tambah produk.

Secara keseluruhan, pengolahan pasca panen pada teknologi pasca panen hortikultura merupakan tahapan penting dalam meningkatkan nilai tambah produk hortikultura. Pengolahan pasca panen yang baik dapat membantu meningkatkan daya saing produk di pasar global dan meningkatkan pendapatan petani.

1.4 Teknologi Pengolahan Produk Hortikultura

1.4.1. Fermentasi

Fermentasi adalah salah satu bentuk pengolahan produk hortikultura yang melibatkan penggunaan mikroorganisme untuk mengubah bahan mentah menjadi produk yang lebih bergizi dan tahan lama. Fermentasi biasanya dilakukan pada produk-produk yang mudah rusak seperti buah-buahan, sayuran, dan produk olahan susu. Pada dasarnya, proses fermentasi melibatkan aksi mikroorganisme seperti bakteri, jamur atau ragi pada bahan mentah untuk mengubah senyawa kimia tertentu menjadi senyawa yang lebih bergizi, beraroma dan berdaya tahan yang lebih baik. Senyawa kimia tersebut dapat berupa gula, asam, protein, atau lemak.

Contoh fermentasi pada produk hortikultura adalah fermentasi sayuran seperti acar atau kimchi, fermentasi buah-buahan seperti anggur menjadi wine, apel menjadi cider, atau susu menjadi yoghurt dan keju. Fermentasi memiliki beberapa manfaat, antara lain meningkatkan kandungan nutrisi dan menghilangkan racun pada bahan mentah, meningkatkan rasa, aroma, dan daya tahan produk, serta meningkatkan nilai tambah produk dan meningkatkan penghasilan petani. Menurut Masdarini, (2011) dalam hasil kajiannya menyebutkan beberapa makanan fermentasi memiliki keunggulan terutama dari segi keamanan dan manfaatnya (khasiatnya) bagi kesehatan.

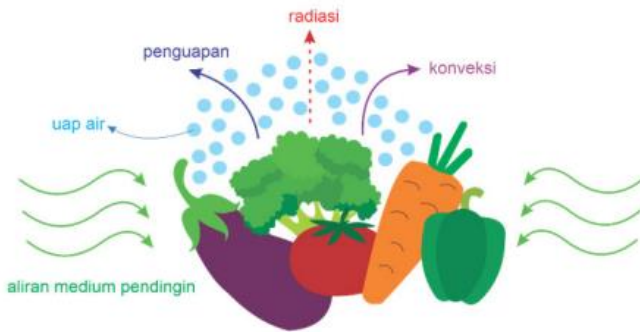
Namun, fermentasi juga memerlukan pengawasan yang ketat karena proses ini dapat berpotensi menghasilkan produk yang tidak sehat jika tidak dilakukan dengan benar. Oleh karena itu, sangat penting bagi produsen untuk memastikan bahwa proses fermentasi dilakukan dengan benar dan aman untuk dikonsumsi.

1.4.2 Pendinginan

Pendinginan adalah salah satu bentuk pengolahan produk hortikultura yang bertujuan untuk menjaga kualitas produk agar tetap segar dan tahan lama. Pada pengolahan pasca panen, pendinginan dilakukan untuk menurunkan suhu produk sesegera mungkin setelah panen, sehingga metabolisme dan respirasi pada produk dapat diperlambat sehingga produk dapat bertahan lebih lama.

Pendinginan dapat dilakukan dengan menggunakan beberapa metode, seperti menggunakan pendingin udara atau refrigerasi, pendinginan air, dan penggunaan bahan pendingin seperti es atau *dry ice*. Metode yang digunakan tergantung pada jenis produk, jumlah produk, dan sumber daya yang tersedia. Produk hortikultura yang seringkali di pendingin adalah sayuran dan buah-buahan. Pendinginan dilakukan dengan cara memasukkan produk ke dalam lemari pendingin, ruangan pendingin atau kontainer pendingin. Menurut Asiah et al., (2020) untuk penyimpanan bahan pangan diatur pada suhu yang tidak jauh dari titik beku dari -2 sampai 10 °C.

Pendinginan terjadi dikarenakan terjadi pelepasan panas pada bahan ke lingkungan ruang pendingin dan lepasnya panas dari lingkungan ruang pendingin ke luar sistem pendingin sehingga mencapai suhu tertentu yang ditentukan. Selanjutnya dipertahankan suhu tersebut dalam kondisi stabil. Pada proses pendinginan, terjadi tiga mekanisme perpindahan panas secara bersamaan yaitu konveksi, radiasi dan penguapan. Selama proses tersebut media pendingin harus mampu menyerap panas dari dalam bahan (produk pangan) yang akan didinginkan, panas konduksi di luar dinding ruang pengemas/penyimpan dan panas infiltrasi dari ruangan yang terbuka (Asiah *et al.*, 2020).



Gambar 1.1. Mekanisme Perpindahan Panas Selama Proses Pendinginan
Sumber : Asiah *et al.*, (2020)

Pendinginan memiliki beberapa manfaat, antara lain dapat memperlambat proses penuaan dan penurunan kualitas produk, mengurangi pertumbuhan mikroorganisme dan enzim yang merusak, mengurangi kehilangan berat dan kelembaban pada produk, serta meningkatkan daya tarik produk pada konsumen. Namun, penggunaan pendinginan juga memerlukan biaya yang cukup tinggi, seperti biaya energi untuk menjaga suhu pendingin, biaya perawatan dan peralatan pendingin, serta biaya pengiriman produk yang di pendingin. Oleh karena itu, produsen perlu mempertimbangkan dengan matang untuk menentukan metode pengolahan pasca panen yang paling efektif dan efisien bagi produk mereka.

1.4.3 Pembekuan

Pembekuan adalah salah satu bentuk pengolahan produk hortikultura yang bertujuan untuk menghentikan pertumbuhan mikroorganisme dan enzim pada produk, sehingga dapat memperpanjang umur simpan dan mempertahankan kualitas produk. Pembekuan dilakukan dengan menurunkan suhu produk hingga suhu di bawah titik beku air, sehingga air dalam produk membeku dan terjadi kristalisasi.

Pembekuan dapat dilakukan dengan menggunakan beberapa metode, seperti pembekuan cepat dengan nitrogen cair atau karbon dioksida, atau pembekuan lambat dengan menggunakan lemari es atau freezer. Pembekuan cepat lebih efektif dalam menghasilkan produk yang berkualitas tinggi dan bebas kerusakan, namun memerlukan peralatan dan teknologi yang lebih canggih dan mahal dibandingkan dengan pembekuan lambat. Menurut Muchtadi dan Sugiyono (2013), untuk mendapatkan produk yang bermutu baik pembekuan perlu dilakukan dengan cepat, hal itu dikarenakan pada proses pembekuan akan terjadi perubahan dimana adanya kecenderungan garam-garam yang terpisah keluar dari produk sehingga produk akan berubah dari keadaan aslinya. Proses tersebut disebut dengan denaturasi. Pembekuan yang lambat akan memberikan kerugian akibat proses denaturasi yang berlangsung lama pada daerah aktivitas denaturasi yang terjadi pada suhu -1 sampai 2 Celcius.

Contoh produk hortikultura yang sering dibekukan adalah sayuran, buah-buahan, dan rempah-rempah. Beberapa produk yang sering dibekukan adalah:

1. Buah-buahan: seperti strawberry, blueberry, raspberry, blackberry, dan kirsberry. Buah-buahan ini sering dijadikan bahan baku makanan olahan, seperti es krim, yogurt, dan jus.
2. Sayuran: seperti kacang polong, jagung manis, wortel, bayam, dan brokoli. Sayuran yang dibekukan sering diolah menjadi makanan olahan, seperti sup, salad, dan tumis.
3. Rempah-rempah: seperti bawang putih, jahe, dan cabai. Rempah-rempah yang dibekukan sering diolah menjadi bahan baku makanan olahan, seperti saus, kari, dan mi instan.

Pembekuan memiliki beberapa keuntungan, antara lain mempertahankan kualitas produk, memperpanjang umur simpan produk, dan memungkinkan konsumen untuk menikmati produk yang tidak tersedia di musim tertentu. Namun, proses pembekuan memerlukan peralatan dan teknologi yang mahal, serta biaya operasional yang tinggi, seperti biaya energi untuk menjaga suhu pembekuan, biaya perawatan dan peralatan pendingin, serta biaya pengiriman produk yang dibekukan. Oleh karena itu, produsen perlu mempertimbangkan dengan matang untuk menentukan metode pengolahan pasca panen yang paling efektif dan efisien bagi produk mereka.

1.4.4 Pengalengan

Pengalengan merupakan bentuk pengolahan produk hortikultura, lainnya yang dilakukan dengan mengalihkan produk segar ke dalam kaleng atau wadah khusus, kemudian diproses dengan cara dipanaskan untuk membunuh bakteri dan mikroorganisme yang dapat menyebabkan kerusakan pada produk. Setelah diproses, kaleng atau wadah tersebut diisi dengan cairan pengawet seperti sirup, garam, atau air, sehingga produk dapat bertahan dalam waktu yang lebih lama. Metode ditemukan oleh Nicholas Appert yang disebut sebagai '*Father of Canning*' dimana dia merancang sebuah metode untuk mengawetkan bahan makanan dengan memasukkan makanan ke dalam botol kaca, menyegel dengan gabus dan lilin, dan menempatkan dalam air mendidih (Nugraheni, 2018).

Pengalengan merupakan salah satu cara pengawetan yang paling banyak digunakan, karena bebas dari kebusukan, biaya yang diperlukan relatif rendah, dapat mempertahankan nilai gizi makanan, dan *palatability*. Contoh produk hortikultura yang sering diawetkan dalam bentuk kaleng adalah sayuran, buah-buahan, dan produk-produk olahan. Beberapa contoh produk

hortikultura yang diawetkan dalam bentuk kaleng adalah sebagai berikut:

1. Buah-buahan: seperti apel, jeruk, persik, dan ananas. Buah-buahan ini sering diawetkan dalam bentuk kaleng untuk dijadikan sebagai bahan kue, dessert, atau sebagai camilan.
2. Sayuran: seperti jagung, wortel, kacang polong, dan kentang. Sayuran yang diawetkan dalam bentuk kaleng sering digunakan sebagai bahan tambahan untuk masakan, seperti sup, saus, atau tumis.
3. Produk-produk olahan: seperti saus tomat, saus sambal, dan sayuran kalengan seperti acar dan ketimun. Produk-produk ini sering diawetkan dalam bentuk kaleng untuk mempertahankan rasa dan kualitas produk selama jangka waktu yang lebih lama.

Pengalengan memiliki beberapa keuntungan, antara lain dapat memperpanjang umur simpan produk, menjaga kualitas produk, dan memudahkan pengiriman dan penyimpanan produk. Namun, proses pengalengan memerlukan peralatan khusus dan teknologi yang mahal, serta biaya operasional yang tinggi, seperti biaya energi untuk memproses kaleng dan biaya peralatan pengemasan. Oleh karena itu, produsen perlu mempertimbangkan dengan matang untuk menentukan metode pengolahan pasca panen yang paling efektif dan efisien bagi produk mereka.

1.4.5 Penggulaan

Penggulaan adalah salah satu bentuk pengolahan produk hortikultura yang dilakukan dengan menambahkan gula ke dalam produk untuk memperpanjang umur simpan dan meningkatkan rasa manis. Penggulaan biasanya dilakukan pada buah-buahan, seperti strawberry, bluberi, atau ceri. Proses penggulaan pada buah-buahan meliputi pencucian, pengupasan, dan pemotongan buah menjadi ukuran yang sesuai. Kemudian,

gula ditambahkan pada buah-buahan tersebut dalam jumlah yang sesuai. Setelah itu, buah-buahan diaduk hingga gula merata dan dibiarkan selama beberapa waktu untuk meresap.

Contoh produk hortikultura yang diolah dengan penggulaan adalah selai buah-buahan. Selai buah-buahan adalah produk makanan yang dibuat dari buah-buahan yang diolah dengan cara dikukus, kemudian dicampur dengan gula dan dimasak hingga teksturnya kental dan mulus. Selai buah-buahan biasanya dijadikan sebagai selai untuk roti atau bahan tambahan pada makanan penutup. Penggulaan pada buah-buahan dapat meningkatkan rasa manis dan membuat buah-buahan lebih enak, sehingga bisa menambah daya tarik dan nilai jual produk tersebut. Namun, penggulaan juga dapat meningkatkan kadar gula dan kalori pada produk tersebut, sehingga tidak disarankan untuk dikonsumsi secara berlebihan oleh orang yang memiliki masalah kesehatan tertentu, seperti diabetes. Oleh karena itu, penggunaan gula dalam pengolahan pasca panen hortikultura perlu diperhatikan dengan cermat dan disesuaikan dengan kebutuhan pasar dan kesehatan konsumen.

1.4.6 Ekstraksi : Sari, Konsentrat, Parfume

Ekstraksi merupakan salah satu bentuk pengolahan produk hortikultura melalui suatu proses pemisahan dari bahan padat maupun cair dengan bantuan pelarut. Tujuan dari ekstraksi bahan pangan adalah mengambil senyawa-senyawa tertentu dari bahan mentah untuk digunakan dalam berbagai industri seperti kosmetik, farmasi, dan pangan. Proses Ekstraksi dilakukan dengan cara mengekstrak senyawa-senyawa yang diinginkan dari bahan mentah menggunakan pelarut tertentu. Pelarut yang digunakan harus dapat mengekstrak substansi yang diinginkan tanpa melarutkan material lainnya (Miryanti dkk, 2011). Menurut Prasetyo dkk (2012), faktor-faktor yang mempengaruhi proses ekstraksi menurut antara lain

temperature, ukuran partikel padatan, kecepatan alir, pelarut, rasio zat padat terhadap pelarut dan waktu ekstraksi.

Berikut ini adalah contoh dari produk hortikultura yang dihasilkan dari teknologi pengolahan ekstraksi:

1. Minyak atsiri dari tanaman seperti kayu manis, jahe, atau cengkeh, yang biasanya digunakan dalam kosmetik, parfum, atau obat-obatan.
2. Ekstrak vanili dari kacang vanili, yang digunakan sebagai pewangi dan perasa pada makanan dan minuman.
3. Ekstrak teh hijau atau teh hitam dari daun teh, yang digunakan sebagai bahan dasar dalam pembuatan minuman teh.
4. Ekstrak zaitun dari buah zaitun, yang digunakan dalam produk kosmetik dan minyak goreng.
5. Ekstrak bunga chamomile, yang digunakan dalam produk perawatan kulit dan rambut.

Pengolahan produk hortikultura melalui ekstraksi menjadi alternatif pengembangan bisnis bagi petani dan industri, karena mempunyai nilai jual yang lebih tinggi daripada produk segar. Namun, pengolahan ini membutuhkan teknologi dan peralatan yang memadai serta memperhatikan aspek keamanan pangan dan kesehatan konsumen.

1.4.7. Pengeringan

Pengeringan adalah salah satu bentuk pengolahan produk hortikultura yang bertujuan untuk mengurangi kadar air dalam produk, sehingga dapat memperpanjang umur simpan dan mencegah timbulnya pertumbuhan mikroorganisme penyebab kerusakan produk. Proses pengeringan dapat dilakukan dengan berbagai cara, seperti pengeringan alami dengan sinar matahari, pengeringan dengan oven, atau pengeringan dengan mesin pengering khusus.

Berikut ini adalah beberapa contoh produk hortikultura yang dihasilkan dari proses pengeringan:

1. Rempah-rempah seperti cabai, bawang putih, atau jahe, yang dihasilkan dari pengeringan alami atau pengeringan dengan mesin pengering.
2. Buah-buahan seperti apel, mangga, atau pisang, yang dihasilkan dari pengeringan alami atau pengeringan dengan mesin pengering.
3. Sayuran seperti bawang bombay, tomat, atau jamur, yang dihasilkan dari pengeringan alami atau pengeringan dengan oven atau mesin pengering.
4. Teh daun, yang dihasilkan dari pengeringan daun teh menggunakan mesin pengering khusus.
5. Kacang-kacangan seperti kacang tanah, kacang almond, atau kacang merah, yang dihasilkan dari pengeringan dengan mesin pengering khusus.

Selama pengeringan, bahan pangan kehilangan kadar air sehingga mengakibatkan kenaikan kadar zat gizi di dalam massa yang tertinggal. Sebagian besar bahan pangan kering bila direkonstitusi atau rehidrasi tetap berbeda dengan bahan pangan segar. Jumlah lemak, protein dan karbohidrat yang ada per satuan berat di dalam bahan pangan kering lebih besar daripada dalam bahan pangan segar (Saidi, 2019).

Pengolahan produk hortikultura melalui pengeringan memiliki keuntungan dalam hal memperpanjang umur simpan produk, sehingga dapat meningkatkan nilai jual produk. Namun, perlu memperhatikan aspek keamanan pangan dan kualitas produk yang dihasilkan, seperti kerusakan rasa, warna, dan nutrisi yang terjadi pada produk yang tidak diolah dengan cara yang benar. Oleh karena itu, perlu dilakukan pengeringan dengan teknik yang tepat serta memperhatikan faktor-faktor lingkungan dan sanitasi.

Selain itu, pengeringan juga dapat dilakukan dengan menggunakan teknologi pengeringan vakum, yaitu dengan menghilangkan udara dan mempercepat proses pengeringan dengan mengurangi tekanan atmosfer. Contoh produk hortikultura yang dihasilkan melalui teknologi pengeringan vakum adalah bawang putih hitam yang memiliki kandungan nutrisi lebih tinggi dan aroma lebih kuat dibandingkan dengan bawang putih biasa. Teknologi pengeringan vakum juga digunakan untuk menghasilkan produk hortikultura lainnya seperti kopi bubuk, sayuran kering, dan buah-buahan kering.

DAFTAR PUSTAKA

- Aimanah, U. dan Vandalisna (2019) *Teknologi Penanganan dan Pengolahan Hasil Pertanian*. Jakarta: Pusat Pendidikan Pertanian Kementan.
- Aini, S.N. (2018) 'Upaya Peningkatan Nilai Tambah Produk Hortikultura Di Desa Balunijuk, Kecamatan Merawang Kabupaten Bangka', *Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat Universitas Bangka Belitung*, 3(1), pp. 32–38. Available at: <https://doi.org/10.33019/jpu.v3i1.143>.
- Asiah, N. *et al.* (2020) *Prinsip Dasar Penyimpanan Pangan Pada Suhu Rendah, Nasmedia*. Makassar: Nasmedia.
- Masdarini, L. (2011) 'Manfaat Dan Keamanan Makanan Fermentasi Untuk Kesehatan (Tinjauan Dari Aspek Ilmu Pangan)', *Jurnal Pendidikan Teknologi dan Kejuruan*, 8(1), pp. 53–58. Available at: <https://doi.org/10.23887/jptk.v8i1.2893>.
- Miryanti, Y.A. *et al.* (2011) 'EKSTRAKSI ANTIOKSIDAN DARI KULIT BUAH MANGGIS (*Garcinia mangostana* L.)', *Research Report - Engineering Science*, 2. Available at: <https://doi.org/Bandung:> Universitas Katolik Parahyangan.
- Muchtadi and Sugiyono (2013) *Prinsip Proses dan Teknologi Pangan*. Bandung: Alfabeta.
- Mutiarawati, T. (2007) 'Penanganan Pasca panen Hasil Pertanian', *Workshop Pemandu Lapangan I Sekolah Lapangan Pengolahan dan Pemasaran Hasil Pertanian*, pp. 1–17.
- Nugraheni, M. (2018) *Kemasan Pangan, Plantaxia*. Yogyakarta: Plantaxia.

- Prasetyo, S., Sunjaya, H. and Yanuar, Y. (2012) 'Pengaruh Rasio Massa Daun Suji: Pelarut, Temperatur, Dan Jenis Pelarut Pada Ekstraksi Klorofil Daun Suji Secara Batch Dengan Pengontakan Dispersi', *Jurnal Teknik Kimia*, 2(9), pp. 1–56.
- Saidi, I.A. (2019) *Pengeringan Sayuran Dan Buah -buahan, Pengeringan Sayuran Dan Buah -buahan*. Sidoarjo: Umsida Press. Available at: <https://doi.org/10.21070/2019/978-602-5914-67-6>.
- Samad, M.Y. (2006) 'Pengaruh Penanganan Pasca Panen Terhadap Mutu Komoditas Hortikultura', *Jurnal Sains dan Teknologi Indonesia*, 8(1), pp. 31–36.
- Sudjatha, W. and Wisaniyasa, N.W. (2017) *Fisiologi Dan Teknologi Pascapanen (Buah Dan Sayuran)*, Udayana University Press.
- Utama, I.I.M.S. *et al.* (2005) 'Pascapanen produk segar hortikultura', *Ftp-Unud*, 1(1), pp. 1–11.
- Vita, E. dkk (2007) *Cara Penanganan Pascapanen Hortikultura yang Baik*, Departemen Pertanian. Jakarta: Dirjen Pengolahan dan Pemasaran hasil Pertanian.
- Winarni, I. (2012) *Ruang Lingkup dan Perkembangan Hortikultura, UT*. Jakarta: Universitas Terbuka.

BAB 2

PROSES FISILOGI DAN BIOKIMIA

Oleh Zurrahmi Wirda

2.1 Pendahuluan

Ketika panen, buah, sayuran, tanaman hias dan biji-bijian masih melangsungkan proses fisiologisnya walaupun komoditas tersebut telah dipisahkan dari tanaman utamanya ataupun telah dipanen. Proses fisiologis yang berlangsung meliputi proses respirasi dan transpirasi. Demikian juga dengan proses biokimianya, proses biokimia yang berlangsung setelah panen berupa proses perombakan atau katabolisme. Proses biokimia yang terjadi menyebabkan terjadinya perubahan terhadap komposisi dan kualitas komoditas hortikultura dan biji-bijian setelah panen (Widjanarko, 2012).

Perubahan lain yang terjadi setelah panen yaitu perubahan terhadap kandungan air di dalam jaringan tanaman. Kehilangan air pada jaringan tanaman tidak hanya akibat proses respirasi tetapi dapat juga terjadi akibat transpirasi. Transpirasi merupakan proses hilangnya air dari jaringan tanaman yang masih hidup dalam bentuk gas (Sudjatha dan Wisaniyasa, 2017). Kehilangan air dapat mempengaruhi kehilangan secara kualitatif dan kuantitatif. Kehilangan secara kualitatif meliputi berkurangnya tampilan produk panen akibat pelayuan dan pengkerutan, berkurangnya sukulensi akibat menurunnya turgiditas, berkurangnya kerenyahan dan hilangnya juicenes. Kehilangan secara kuantitatif lebih berdampak terhadap penyusutan bobot (Halolo dan Kilmanun, 2016). Menurut Semariani *et al.* (2016) rata-rata susut bobot kentang selama

penyimpanan berkisar antara 0,4469 hingga 1,0703%, dengan kadar air setelah penyimpanan berkisar 81,2770 – 85,344%.

2.2 Respirasi

Respirasi merupakan suatu kegiatan katabolik dengan menguraikan cadangan makanan yang tersimpan dalam jaringan tanaman untuk menghasilkan energi. Energi tersebut digunakan untuk seluruh aktivitas yang berlangsung di dalam sel. Pada proses respirasi, cadangan makanan berupa molekul kompleks seperti karbohidrat, lipid dan protein akan diuraikan menjadi karbondioksida dan air. Setelah kegiatan penguraian tersebut energi yang dihasilkan dari proses tersebut dapat digunakan untuk melaksanakan kerja sel. Kegiatan anabolitik sebaliknya. Jalur ini menggunakan energi untuk membentuk molekul kompleks dari molekul-molekul yang lebih sederhana (Novitasari, 2017). Contohnya kegiatan sintesis lipid dari asam lemak.

Respirasi diawali dengan pemilihan substrat di dalam sel melalui metabolisme enzim. Substrat langsung untuk respirasi diartikan sebagai bahan yang akan diangkut ke dalam matriks mitokondria sebagai organel sel yang menyelenggarakan kegiatan respirasi untuk menghasilkan ekuivalen pereduksi yaitu NADH dan FADH₂. Senyawa ini dapat digunakan untuk menggerakkan rantai transport electron dan fosforilasi oksidatif dalam mitokondria (Le & Millar, 2023).

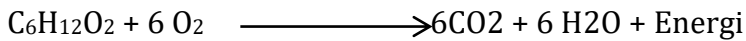
2.2.1 Faktor-faktor yang Mempengaruhi Respirasi

1. Substrat Respirasi

Respirasi sangat dipengaruhi oleh substrat yang digunakan. Ini terlihat dari nilai respirasi quotient (RQ) yang dihasilkan. RQ yaitu perbandingan antara nilai karbondioksida yang dihasilkan dengan nilai gas oksigen yang digunakan. Ada beberapa jenis substrat respirasi yaitu antara

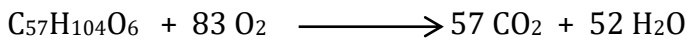
lain karbohidrat, gula (glukosa, fruktosa, dan sukrosa), pati, lipid, asam organik dan protein (pada spesies tertentu).

Nilai RQ ini sangat dipengaruhi oleh jenis substrat yang digunakan. Jika substrat yang digunakan karbohidrat maka nilai RQ nya sama dengan 1, hal ini menunjukkan bahwa nilai CO₂ yang dihasilkan sama dengan nilai O₂ yang digunakan. Namun jika substrat nya protein dan lemak maka nilai RQ nya kurang dari 1 karena O₂ yang digunakan untuk merombak substrat menjadi CO₂ dan H₂O lebih banyak.



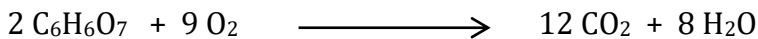
$$\text{RQ} = 6 \text{CO}_2 / 6 \text{O}_2 = 1.0$$

Apabila gliserol trioleat sebagai substrat maka reaksi respirasinya menjadi::



$$\text{RQ} = 57 \text{CO}_2 / 83 \text{O}_2 = 0,7$$

Kalau asam organik berupa asam sitrat sebagai substrat respirasi, maka nilai RQ nya lebih dari 1.



$$\text{RQ} = 12 \text{CO}_2 / 9 \text{O}_2 = 1,3$$

Selain substrat respirasi, beberapa hal yang dapat menyebabkan nilai RQ sukar untuk diprediksi antara lain:

- Dua jenis substrat respirasi yang digunakan secara bersamaan
- Kelarutan dan difusi CO₂ atau O₂ yang berbeda

Pada tanaman sekulen yang tergolong tanaman CAM, semua CO₂ yang dihasilkan respirasi pada malam hari dapat diikat menjadi asam organik, sehingga nilai RQ nya menjadi

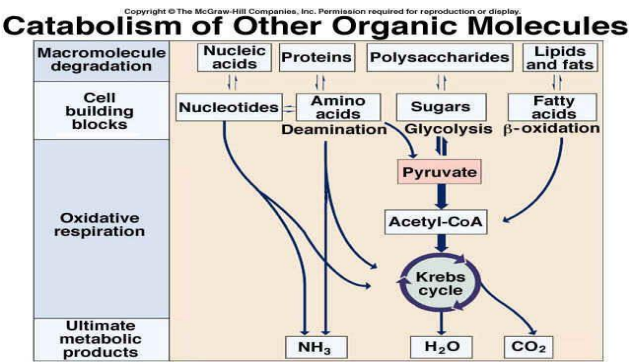
nol. Perbedaan kandungan gula akibat tidak berimbangnya laju fotosintesis mengakibatkan perbedaan terhadap laju respirasi. Misalnya pada saat menjelang matahari tenggelam laju respirasi pada daun akan lebih cepat dibandingkan dengan saat menjelang matahari terbit. Hal ini disebabkan saat menjelang matahari tenggelam kandungan gula yang dihasilkan melalui proses fotosintesis lebih banyak. Selain perbedaan waktu, posisi daun juga mempengaruhi laju respirasi. Daun yang berada di bagian bawah atau yang terlindung dari cahaya matahari biasanya respirasinya lebih lambat dibandingkan dengan daun yang berada di sebelah atas dan mendapatkan cahaya matahari lebih banyak (Wiraatmaja, 2016).

Protein dan lipid berperan sebagai substrat dalam proses respirasi. Namun penggunaan karbohidrat dan asam-asam organik sebagai substrat lebih banyak dibandingkan protein dan lipid (Paramita, 2010). Apabila substrat gula habis maka substrat protein dapat digunakan dengan menghidrolisisnya terlebih dahulu menjadi asam amino (asam glutamat dan asam aspartat). Setelah itu baru dirombak oleh reaksi glikolisis dan siklus asam sitrat (siklus krebs). Asam glutamate dan aspartate pada siklus asam sitrat masing-masing akan diuba menjadi asam α -ketoglutarat dan asam oksaloasetat (Wiraatmaja, 2016).

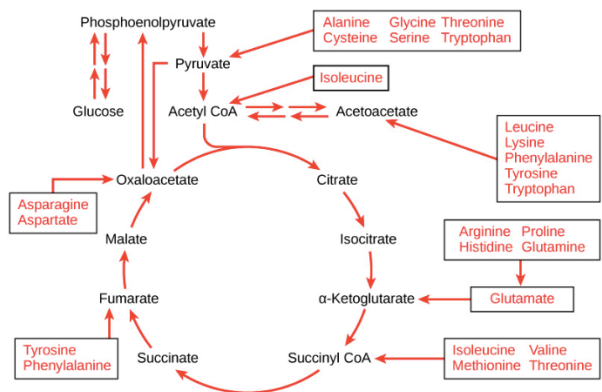
Asam amino memasuki jalur pernapasan dengan dua cara yaitu deaminasi dan transaminasi. Pada saat deaminasi, asam amino kehilangan gugus aminonya ($-NH_2$) dan berubah menjadi asam keto. Asam keto selanjutnya dapat berubah menjadi asam piruvat atau asetil koenzim A. Asam piruvat dioksidasi menjadi asetil koenzim A. Yang terakhir ini memasuki siklus Krebs. Pada saat transaminasi, gugus amino dari asam amino ditransfer ke asam keto yang sesuai, membentuk asam amino baru dan asam keto baru. Asam keto

yang terbentuk adalah peserta normal glikolisis atau siklus Krebs.

CO₂ direduksi dan diasimilasi menjadi senyawa karbon yang bermolekul besar melalui fotosintesis. Kemudian senyawa tersebut 30-60% diantaranya dioksidasi respirasi dan dilepaskan kembali ke lingkungan sebagai CO₂ selama periode hidup tumbuhan (Raich *et al.*, 2014; Amthor *et al.*, 2019)



Gambar 2.1. Katabolisme senyawa organic lainnya



Gambar 2.2. Respirasi dengan substrat protein

Sumber: <https://sites.google.com/a/whbschools.org/grodski-ap.biology/home/resources-by-topic/connections-between-cellular-respiration-and-other-pathways>

2. Umur jaringan dan tipe jaringan

Jaringan muda dan dewasa respirasinya lebih kuat daripada jaringan tua. Ini disebabkan jaringan-jaringan tersebut lebih aktif sehingga lebih banyak menggunakan energi. Contohnya, pada daun kecepatan respirasi meningkat selama pertumbuhan kemudian turun atau tetap ketika memasuki periode pemasakan (*maturity*).

3. Suhu

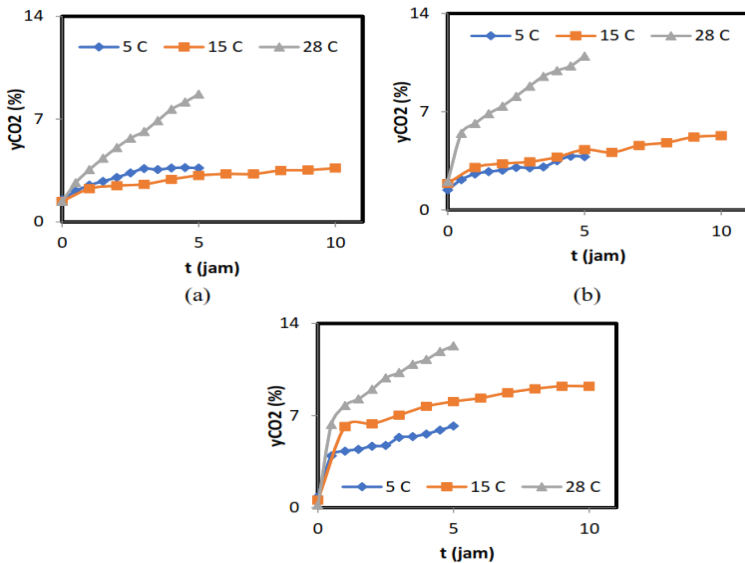
Suhu dapat meningkatkan kecepatan respirasi. Setiap kenaikan suhu 10°C maka kecepatan respirasi meningkat menjadi 2-2,5 kali lebih cepat. Secara kuantitatif dapat dinyatakan sebagai:

$$Q_{10} = \frac{\text{Kecepatan pada } (t+10)^{\circ}\text{C}}{\text{Kecepatan pada } t^{\circ}\text{C}}$$

Apabila suhunya tinggi (lebih dari 35°C) maka kecepatan respirasinya menurun. Ini dapat disebabkan antara lain karena rusaknya enzim yang bekerja pada reaksi tersebut, terbatasnya O₂ karena berkurangnya kelarutan dan proses difusi yang lambat. Lestari (2021) mengungkapkan telah terjadi kenaikan konsentrasi CO₂ seiring dengan kenaikan suhu (Gambar 1). Gambar 1 menunjukkan terjadi kenaikan pada setiap perlakuan variasi suhu dan variasi konsentrasi oksigen. Kenaikan CO₂ terbesar terdapat pada suhu 28°C, sedangkan kenaikan CO₂ pada suhu 15°C dan suhu 5°C tidak terlalu tinggi. Perubahan konsentrasi CO₂ yang besar terjadi karena tingginya suhu ruang penyimpanan.

Jika membandingkan antar variasi konsentrasi oksigen, kenaikan CO₂ paling tinggi terdapat pada perlakuan konsentrasi O₂ 21%. Hal ini terjadi karena pada perlakuan konsentrasi O₂ 21% terjadi laju konsumsi O₂ yang tinggi sehingga menghasilkan CO₂ yang tinggi juga. Proses reaksi

respirasi yang mengkonsumsi produk (O_2) yang tinggi, menyebabkan konsentrasi CO_2 yang dihasilkan juga tinggi (Lestari, 2021).



Gambar 2.3. Perubahan konsentrasi CO_2 pada konsentrasi O_2 ruang simpan (a) 3% (b) 12% (c) 21%.
Sumber: Lestari (2021)

4. Oksigen (O_2)

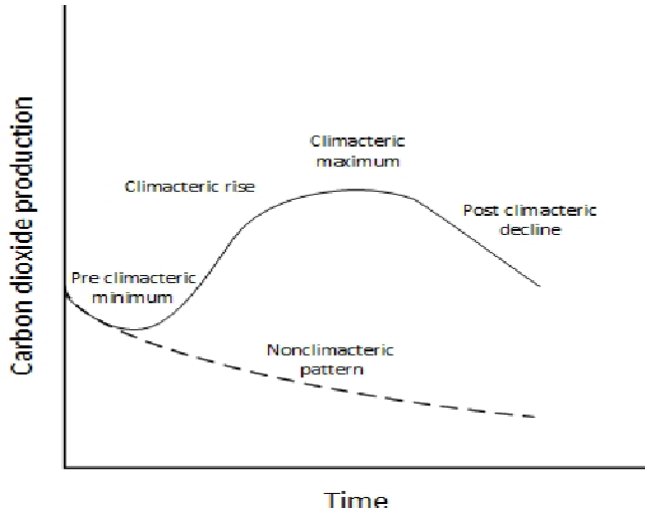
Stok oksigen sangat mempengaruhi laju respirasi namun tergantung dari jenis tumbuhan. Perendaman dalam jangka waktu panjang akan menyebabkan keracunan pada hampir semua tumbuhan, terutama kalau tidak ada oksigen di sekitar daerah perakaran sehingga keadaan ini menjadi anaerob.

Di antara tanaman budidaya, tanaman padi termasuk tanaman yang tahan yang toleran anoksia (tanpa oksigen akibat penggenangan) dalam waktu yang lama. Pada tumbuhan bakau seperti *Rhizophora mangle* dan *Avicenna*

nitida akarnya yang tumbuh tegak di atas tanah mensupport akar yang terendam dengan cara mengangkut oksigen ke akar yang terendam. Jadi akary ang terendam bukanlah anoksik namun hipoksik (berada pada tingkat kekurangan oksigen). Beberapa spesies tanaman membentuk sistem akar serabut yang banyak ketika batangnya terendam dimana akar tersebut membantu penyerapan air dan garam mineral. Adaptasi morfologis lainnya dari akar terhadap hipoksia adalah pembentukan jaringan aerenkim yaitu jaringan yang banyak mengandung ruang udara dan terbentuk jika ada kerusakan dan perombakan pada sel korteks dewasa. Aerenkim memungkinkan terjadinya difusi oksigen yang lebih cepat dari pucuk ke akar sehingga membantu respirasi pada akar. Kekurangan oksigen mengakibatkan etilen yang dihasilkan tanaman pada saat stres tidak dapat cepat berdifusi keluar. Selain itu juga mengakibatkan pengangkutan sitokinin dari akar muda ke batang terhambat, terhambatnya penyerapan nitrogen yang berpengaruh terhadap fotosintesis dan translokasi karbohidrat.

5. Karbondioksida (CO₂)

Jika kandungan CO₂ nya tinggi (lebih besar dari 0,03%) maka kecepatan respirasinya akan turun. Hal ini dikarenakan terhambatnya difusi O₂ yang disebabkan penutupan stomata.



Gambar 2.4. Pola respirasi klimaterik dan non klimaterik saat pematangan buah.

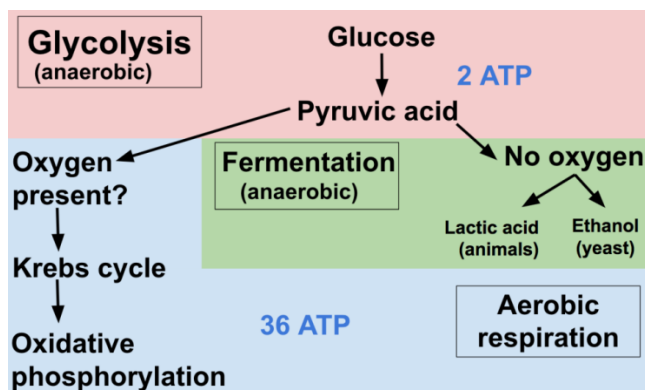
Sumber: Salvett (2004)

6. Luka dan rangsangan mekanik

Pelukaan dan rangsangan mekanik seperti melengkungkan batang dapat meningkatkan respirasi karena telah terjadi peningkatan aktifitas enzim yang mengakibatkan peningkatan proses glikolisis dan katabolisme oksidatif.

2.2.2 Tahapan Proses Respirasi

Respirasi dapat dibedakan atas 3 fase yaitu (a) pemecahan polisakarida menjadi gula sederhana, (b) oksidasi gula menjadi asam piruvat, (c) transformasi piruvat dan asam-asam-organik secara aerobik menjadi karbondioksida, air dan energi. Protein dan lipid berperan sebagai substrat dalam proses respirasi. Namun penggunaan karbohidrat dan asam-asam organik sebagai substrat lebih banyak dibandingkan protein dan lipid (Paramita, 2010).



Gambar 2.5. Tahapan respirasi pada tumbuhan

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. Komoditas dengan laju respirasi tinggi akan memiliki umur simpan lebih pendek dibanding yang memiliki laju respirasi rendah (Saltveit, 1997; Utomo, 2001; Imamah *et al.*, 2016). Semakin tinggi laju respirasi maka semakin cepat pula perombakan substrat menjadi energi yang mengarah pada kemunduran dari produk tersebut (Imamah *et al.*, 2016).

Tabel 2.1. Klasifikasi buah dan sayuran berdasarkan laju respirasinya

Laju Sangat Tinggi	Laju Tinggi	Laju Moderat	Laju Rendah	Laju Sangat Rendah
Asparagus Brokoli Jamur Pea Bayam Jagung manis	Alpukat Artichoke Blueberry Brussel Sprout Bunga kol Bunga potong	Apricot Pisang Kol Cabai Wortel Cherry Fig Selada	Apel Jeruk Bawang putih Anggur Buah kiwi Bawang merah	Kacang-kacangan Kurma

Laju Sangat Tinggi	Laju Tinggi	Laju Moderat	Laju Rendah	Laju Sangat Rendah
	Buncis hijau Raspberry Bawang pre Strawberry	Nectarine Peach Pear Plum Kentang muda tomat	Kentang dewasa Ubi jalar	

Sumber: Utama (2001)

Masa simpan produk segar dapat diperpanjang dengan menempatkannya dalam lingkungan yang dapat memperlambat laju respirasi dan transpirasi melalui penurunan suhu produk, mengurangi ketersediaan O₂ atau meningkatkan konsentrasi CO₂, dan menjaga kelembaban nisbi yang mencukupi dari udara sekitar produk tersebut (Utama, 2001).

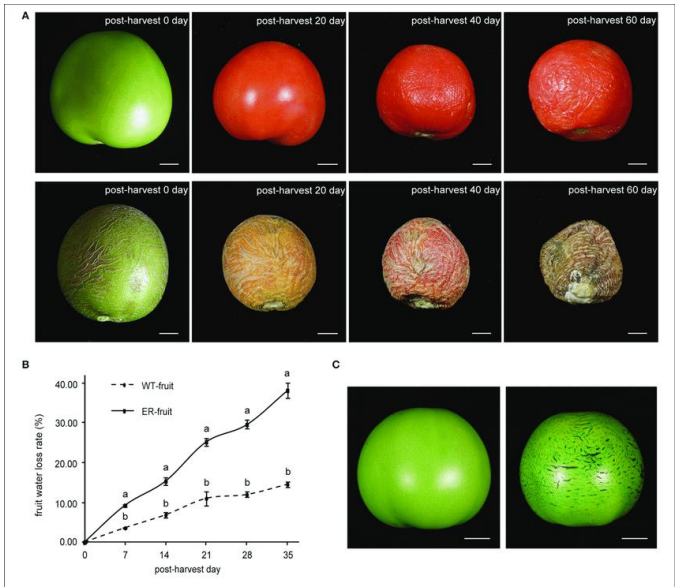
2.3 Transpirasi

Transpirasi merupakan proses hilangnya air dari jaringan tanaman ke udara. Fungsi dari transpirasi yaitu melepaskan air keluar dari jaringan tanaman untuk mengatur suhu di dalam sel dan jaringan tanaman tetap normal melalui proses pendinginan evaporative (Utama, 2001). Air merupakan komponen yang paling banyak terdapat dalam buah dan sayuran. Kandungan air pada buah dan sayuran berkisar dari sekitar 10% pada biji kering hingga sekitar 95% pada sayuran dan buah segar (Diaz-Perez, 2019).

Lufu *et al.* (2020) menyatakan bahwa tingkat kehilangan air juga berbeda di antara spesies dan bahkan di antara kultivar dari spesies yang sama. Hal ini dipengaruhi oleh faktor buah (rasio luas permukaan buah terhadap volume, struktur

permukaan buah, termasuk jumlah dan ukuran stomata dan lentisel, serta ketebalan dan komposisi kutikula).

Buah dan sayuran rentan kehilangan air, yang merupakan penyebab utama kerusakan pascapanen. Kehilangan air memiliki dampak yang bervariasi pada produk segar sayuran dan buah-buahan sehubungan dengan jenisnya. Umumnya, sebagian besar buah dan sayuran menjadi tidak dapat dipasarkan dengan kehilangan air 5% sampai 10% dari berat awalnya karena hal ini menyebabkan penurunan kualitas dengan diawali proses pelayuan dan diikuti dengan pengerutan sayuran dan buah-buahan tersebut. Kehilangan air yang berlebihan, selain menyebabkan hilangnya bobot bahan yang dapat dijual, juga menyebabkan pencoklatan, hilangnya tekstur dan rasa buah terjadinya penuaan, kerentanan terhadap cedera dingin dan disintegrasi membran sel (Lufu *et al.*, 2020)



Gambar 2.2. Perubahan morfologi buah tomat akibat transpirasi
Sumber: Cui et al. (2017)

Faktor yang Mempengaruhi Laju Transpirasi

Ada beberapa faktor yang mempengaruhi laju transpirasi, yaitu:

a. Stomata

Stomata adalah pori-pori di daun yang memungkinkan terjadinya pertukaran gas dimana uap air akan keluar dan karbondioksida akan masuk melalui stomata tersebut. Sel khusus yang disebut sel penjaga akan mengatur pembukaan atau penutupan setiap stomata. Ketika stomata terbuka, laju transpirasi akan meningkat dan sebaliknya laju transpirasi akan menurun ketika stomata tertutup.

b. Lapisan Boundary

Lapisan boundary merupakan lapisan tipis udara yang menyelubungi permukaan daun. Lapisan udara ini tidak dapat berpindah. Ketika transpirasi terjadi, uap air yang meninggalkan stomata harus berdifusi melalui lapisan *boundary* ini untuk mencapai atmosfer dimana uap air akan dipindahkan oleh angin. Semakin besar lapisan boundary maka semakin lambat laju transpirasi.

Tumbuhan dapat mengatur ukuran lapisan boundary yang menyelubungi daun. Daun yang memiliki rambut atau bulu-bulu halus akan memiliki lapisan boundary yang lebih besar dimana bulu-bulu berperan sebagai pemecah angin mini yang dapat memperlambat laju transpirasi. Beberapa tumbuhan memiliki stomata yang letaknya tenggelam di permukaan daun, secara otomatis meningkatkan lapisan boundary dan memperlambat transpirasi. Lapisan boundary meningkat seiring bertambahnya ukuran daun sehingga dapat mengurangi tingkat transpirasi juga.

c. Kutikula

Kutikula adalah lapisan lilin yang ada pada semua jaringan tumbuhan di atas tanah yang berperan sebagai penghalang pergerakan air keluar dari daun. Karena kutikula

terbuat dari lilin, maka ia bersifat sangat hidrofobik (menolak air). Oleh karena itu lapisan tersebut sulit dilalui oleh air. Semakin tebal lapisan kutikula pada permukaan daun maka semakin lambat laju transpirasi. Ketebalan kutikula antar tumbuhan bervariasi. Tumbuhan yang hidup pada daerah yang beriklim panas dan kering memiliki kutikula yang lebih tebal dibandingkan tumbuhan yang hidup di daerah yang beriklim dingin dan lembab. Demikian juga, daun yang tumbuh di bawah sinar matahari langsung akan memiliki kutikula yang lebih tebal daripada daun yang tumbuh di bawah naungan.

Pada sebahagian besar tanaman darat, proses kehilangan air terutama terjadi melalui stomata, jika jaringan mulai mengering, stomata akan menutup. Dan transpirasi sebahagian besar terjadi langsung dari apoplas sel epidermis. Kutikula hidrofobik yang melapisi organ hidrofobik akan menjadi penghalang utama terhadap transpirasi ini (Fich *et al.*, 2020).

DAFTAR PUSTAKA

- Amthor, J.S., Bar-Even, A., Hanson, A.D., Millar, A.H., Stitt, M., Sweetlove, L.J. & Tyerman, S.D. 2019. Engineering Strategies to Boost Crop Productivity by Cutting Respiratory Carbon Loss. *Plant Cell*. 31(2), 297–314
- Diaz-Perez, J.C. 2019. Transpiration. In Postharvest Physiology and Biochemistry of Fruits and Vegetables. Yahia, E.M (ed.). United kingdom: Elsevier Woodhead Publishing. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813278-4.00008-7>
- Fich, E.A., Fisher, J. , Zamir, D. & Rose, J.K.C. 2020. Transpiration from Tomato Fruit Occurs Primarily via Trichome-associated Transcuticular Polar Pores. *Plant Physiology*. 184(4), 1840-1852
- Haloho, J. D. dan Kilmanun, J.C. 2016. Penanganan Pasca Panen Penyimpanan untuk Komoditas Hortikultura. Balai Pengkajian Teknologi Pertanian Kalimantan Barat. Prosiding Seminar Nasional Inovasi Teknologi Pertanian. Banjarbaru, 20 Juli 2016
- Imamah, N, Hasbullah R. dan Nugroho, L.P.E. 2012. Model Arhenius untuk Pendugaan Laju Respirasi Brokoli Terolah Minimal. *Jurnal Keteknikan Pertanian*. 4(1), 25-30
- Le, X.H. & Millar, A.H. 2023. The diversity of Substrates for Plant Respiration and How to Optimize Their Use. *Plant Physiology*. doi: 10.1093/plphys/kiac599.
- Lestari, H.A. 2021. Pengaruh Suhu dan Konsentrasasi Oksigen Udara Ruang Tertutup terhadap Laju Respirasi Jamur Merang selama Penyimpanan. *J-ABET (Journal Agriculture and Biosystem Engineering in Tropic)*. 3(1), 18-28
- Lufu, R. Ambaw, A. & Opara, U.L. 2020. Water Loss of Fresh Fruit: Influencing Pre-Harvest, Harvest and Postharvest Factors. *Scientia Horticulturae*. 272, 109519. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2020.109519>

- Novitasari, R. 2017. Proses Respirasi Seluler pada Tumbuhan. Prosiding Seminar Nasional Pendidikan Biologi dan Biologi. Jurusan Pendidikan Biologi Fakultas MIPA Universitas Negeri Yogyakarta.
- Paramita, O. 2010. Pengaruh Memar terhadap Perubahan Pola Respirasi, Produksi Etilendan Jaringan Buah Mangga (*Mangifera indica* L.) Var Gedong Gincu pada Berbagai Suhu Penyimpanan. Jurnal Kompetensi Teknik. 2(1), 29-37
- Raich, J., Lambers, H. & Oliver, D. 2014. Respiration in terrestrial ecosystems. In Holland, H.D. & Turekian, K.K. (eds.). *Treatise on Geochemistry*. Ed 2, Vol 10. Elsevier, Oxford. pp 613-648
- Salveit, M.E. 2004. Respiratory Metabolism The Commercial Store of Fruit, Vegetables and Florist and Nursery Stock. USDA Agriculture Handbook 66.
<http://www.ba.ars.usda.gov/hh66/respiratoryMetab.pdf>
- Sudjatha, W. dan Wisaniyasa, 2017. Buku Ajar Fisiologi dan Teknologi Pasca Panen (Buah dan Sayuran). Denpasar: Udayana University Press.
- Utama, I.M.S. 2001. Penanganan Pasca Panen Buah dan Sayuran Segar. Makalah pada Forum Konsultasi Teknologi. Dinas Pertanian Tanaman Pangan Provinsi Bali. 21 november 2001.
- Widjanarko, S.B. 2012. *Fisiologi dan Teknologi Pasca Panen: Fisiologi Handling Buah, Sayur, Bunga dan Herbal*. Malang, Universitas Brawijaya Press
- Wiraatmaja, I.W. 2016. Bahan Ajar Respirasi dan Fotorespirasi. Program Studi Agroekoteknologi Fakultas Udayana. Denpasar.

BAB 3

PERUBAHAN – PERUBAHAN PADA PROSES PEMATANGAN

Oleh Leni Marlina

3.1 Pendahuluan

Pematangan adalah kehidupan yang umum terjadi pada komoditas hasil pertanian. Menurut Muchtadi et al., (2010), pembelahan sel, pembesaran sel, pendewasaan sel (maturation), pematangan (ripening), kelayuan (senescence), dan pembusukan (deteorisasi) adalah proses pertumbuhan atau kehidupan yang umum terjadi pada buah. Pembelahan atau peningkatan jumlah sel segera terjadi setelah proses pembuahan disertai dengan pembesaran atau pengembangan sel hingga tercapai ukuran dan berat maksimumnya (Li, 2012; Muchtadi et al., 2010). Setelah buah mencapai ukuran dan berat maksimum, tahap selanjutnya adalah proses pematangan (ripening). Ketika buah mencapai kematangan penuh, ukuran dan beratnya mencapai maksimum dan laju pertumbuhannya menurun (Li, 2012).

Pematangan dapat dipahami sebagai tahapan terganggunya organisasi antar sel akibat dimulainya proses kelayuan. Terjadinya proses hidrolisa substrat oleh gabungan enzim-enzim di dalam buah diawali dengan terganggunya organisasi antar sel tersebut. Terjadinya perombakan klorofil, pati, pektin dan tanin selama proses hidrolisa akan menghasilkan senyawa –senyawa seperti pigmen, flavor, etilen, energi dan polipeptida (Muchtadi et al., 2010). Pematangan juga

bisa diartikan sebagai perubahan fisiologis dan biokimia pada buah untuk menghasilkan warna yang diinginkan, aroma, tingkat kemanisan dan tekstur yang berkualitas untuk dikonsumsi (Li, 2012). Warna dari hijau menjadi kuning atau merah, rasa dari asam menjadi manis, tekstur dari keras menjadi lunak, terbentuknya vitamin-vitamin, munculnya aroma khas karena adanya senyawa-senyawa volatil adalah perubahan-perubahan yang terjadi selama proses pematangan (Muchtadi et al., 2010).

3.2 Perubahan Warna

Warna merupakan parameter pertama yang akan mempengaruhi penerimaan terhadap suatu produk (Rodríguez-Mena et al., 2023). Pada buah-buahan, warna juga menjadi parameter utama digunakan oleh produsen atau konsumen buah untuk melihat tingkat kematangan buah selain aroma. Adanya warna pada buah disebabkan karena adalah pigmen baik dalam komposisi tunggal ataupun gabungan dari beberapa pigmen.

Buah-buahan mengandung pigmen penting seperti klorofil, karotenoid, dan antosianin dalam jumlah melimpah. Perubahan pigmen - pigmen tersebut selama proses pematangan merupakan informasi penting bagi produsen dan konsumen buah. Dengan mengetahui komposisi dari pigmen-pigmen tersebut dapat diketahui apakah buah-buahan benar-benar matang atau tidak. Diantara pigmen yang berperan dalam menentukan karakteristik kualitas buah matang dan produk buah adalah pigmen karotenoid dan antosianin. Hingga saat ini telah berkembang penelitian terkait berbagai manfaat kesehatan dari pigmen. Penelitian lebih lanjut terkait pigmen ini akan bermanfaat dalam peningkatan industri pertanian, makanan, farmasi, dan kimia (Choo, 2018). Gambar 1 menampilkan beberapa kandungan pigmen dari buah - buahan baik yang tergolong klimakterik maupun non klimakterik.

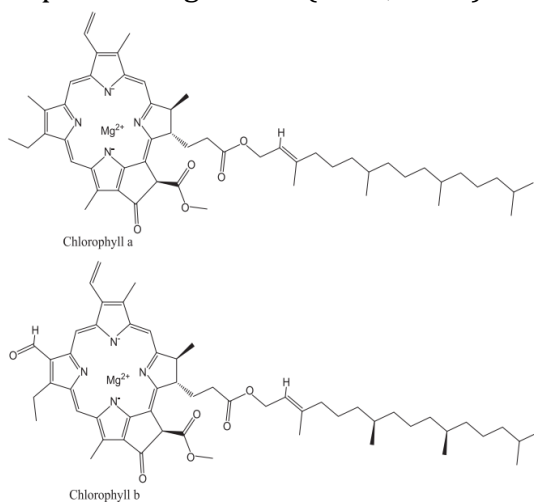
Tabel 3.1. Kandungan pigmen utama buah klimakterik dan non klimakterik

Buah	Kelompok pigmen	Contoh buah	Tipe pigmen
Klimakterik	Klorofil	Alpukat, jambu biji, buah kiwi, apel	Hijau
	Karatenoid	Tomat, aprikot, pisang, sukun, mangga, pepaya, persik, markisa, durian, nangka	Oranye, kuning, pink, merah
Non Klimakterik	Antosianin	Ara, plem	Ungu, merah
	Klorofil	Zaitun, melon	Hijau
	Karatenoid	Jeruk, anggur, lemon, nenas, jeruk nipis, belimbing	Oranye, kuning, pink, merah
	Antosianin	Blueberry, anggur, stroberi, ceri, cranberry, raspberry, delima	Ungu, biru, merah

Sumber : Choo (2018)

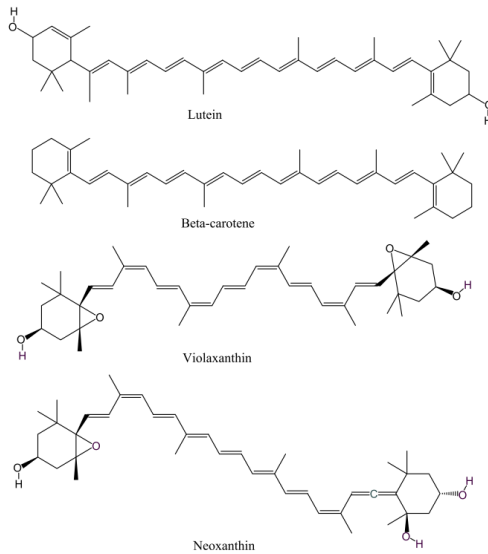
Klorofil merupakan pigmen yang paling umum dan tersedia dalam jumlah melimpah dibandingkan pigmen lainnya di alam. Warna hijau pada semua tanaman tingkat tinggi termasuk buah disebabkan oleh klorofil. Klorofil berperan dalam proses fotosintesis yaitu suatu proses yang sangat penting dalam kehidupan untuk merubah energi cahaya menjadi energi kimia pada tumbuhan tingkat tinggi. Pada tumbuhan tingkat tinggi terdapat dua jenis klorofil yaitu klorofil a dan b. Adanya gugus metil pada karbon C-7 untuk klorofil a dan gugus aldehid pada klorofil b merupakan perbedaan antara kedua jenis klorofil tersebut seperti yang terlihat pada Gambar 3.1. Komposisi

klorofil a (biru-hijau) dan b (kuning-hijau) dalam tumbuhan hijau dengan perbandingan 3 :1 (Choo, 2018).



Gambar 3.1. Struktur kimia klorofil a dan b
(Sumber : Choo, 2018)

Menghilangnya warna hijau (*degreening*) pada sebagian besar buah-buahan akibat proses degradasi klorofil adalah pertanda kematangan. Sehingga selama proses pematangan terjadi penurunan jumlah klorofil pada buah (Muchtadi et al., 2010). Proses degradasi klorofil akan semakin dipercepat dengan adanya produksi etilen selama proses pematangan (Hiwasa-Tanase dan Ezura, 2014 ; Choo, 2018). Akibat dari proses degradasi klorofil adalah berubahnya warna pada buah yang akan memberikan informasi pigmen apa yang sudah dibentuk sebelumnya. Menghilangnya warna hijau pada jeruk merupakan contoh dari degradasi klorofil pada buah. Pigmen karotenoid dan antosianin adalah diantara jenis pigmen yang muncul setelah proses degreening (Tucker, 1993; Choo, 2018).



Gambar 3.2. Sruktur kimia antosianin
(Sumber : Choo, 2018)

Karotenoid adalah pigmen yang larut dalam lemak yang banyak ditemukan di alam. Karotenoid dikelompokkan menjadi 2 yaitu karoten dan xantofil (Eskin dan Hoehn, 2013 ; Choo, 2018). Karotenoid berada di kloroplas tanaman dan tertutup oleh oleh klorofil yang berjumlah dominan. Hal ini menunjukkan bahwa karotenoid terdapat dalam berbagai buah yang mengandung pigmen klorofil ((Choo, 2018). Jenis karatenoid yang paling umum adalah likopen, karoten, dan xantofil. Kandungan likopen pada tomat, semangka, dan pepaya yang menghasilkan warna merah; karoten pada jagung dan peach menghasilkan warna oranye ; dan xantofil pada jagung, peach, dan *squash* menghasilkan warna kuning-oranye.

Antosianin adalah pigmen yang larut air, termasuk kelompok besar flavonoid dengan sub kelas dari keluarga polifenol. Antosianin memberikan warna pada buah mulai dari merah jambu, merah, ungu hingga biru (Sudhakar et al., 2016 ; Choo, 2018). Cyanidin, delphinidin, petunidin, peonidin,

pelargonidin, dan malvidin adalah enam antosianin berbeda terdapat di alam yang sering seperti yang terlihat pada Gambar 2 (Choo, 2018). Komposisi antosianin dalam buah dan sayuran adalah cyanidin (50%), pelargonidin (12%), peonidin (12%), delphinidin (12%), petunidin (7%), dan malvidin (7%) (Kong et al. ., 2003 ; Choo, 2018). Antosianin adalah pigmen yang menghasilkan warna putih dan kuning. Pigmen ini bisa ditemukan pada buah dan sayuran yang mengandung warna biru, ungu, dan merah seperti pada buah anggur dan cherry.

Antosianin dihasilkan saat proses penuaan (maturation) dan pematangan (ripening) sehingga sering dijadikan sebagai penanda kematangan buah seperti pada strawberry, canberry tertentu, apel, anggur hitam, dan blueberry. Akan tetapi antosianin tidak selalu mengikuti pola umum akumulasi menuju kematangan. Munculnya berbagai warna perantara, dari hijau menjadi putih atau merah muda, selanjutnya dari merah atau biru dan akhirnya ungu menjadi hitam pada buah yang mengakumulasi antosianin (Choo, 2018).

Selama proses pematangan tidak semua buah mengalami degradasi klorofil menjadi antosianin atau karotenoid. Ada beberapa pengecualian buah-buahan yang mempertahankan klorofil pada tahap matang. Menurut Rodrigo et al. (2012) dan Choo (2018) tidak terjadinya perubahan warna pada buah-buahan seperti apel, pir, ara, prem, jeruk, alpukat, melon, kiwi, dan anggur tertentu adalah disebabkan rendahnya akumulasi pigmen selain klorofil pada tahap matang.

3.3 Perubahan Tekstur / Kekerasan

Tekstur adalah salah satu karakteristik penting dari komoditas hasil pertanian karena dapat digunakan untuk menentukan kualitas dari komoditas tersebut (El-Zoghbi, 1994). Pematangan akan menyebabkan terjadinya perubahan turgor sel

akibat berubahnya komposisi dinding. Berubahnya komposisi dinding sel akan mempengaruhi kekerasan atau tekstur buah. Selama proses pematangan terjadi penurunan kekerasan (empuk) yang disebabkan menurunnya jumlah protopektin tidak larut air dan meningkatnya pektin yang larut air (Muchtadi et al., 2010). Kekerasan buah memegang peranan penting dalam menjaga umur simpan blackberry (*Rubus spp.*) (Zhang et al., 2019).

Selama proses pematangan buah terjadi penurunan kekerasan. Pada dua jenis varietas belimbing, terjadi penurunan kekerasan yang signifikan selama proses pematangan. Dimana kekerasan belimbing varietas hijau menurun dari 14 kgf menjadi 4.7 kgf (Williams and Benkeblia, 2018). Selanjutnya pada buah blackberry selama proses pematangan terjadi penurunan kekerasan. Menurunnya kekerasan selama proses pematangan buah blackberry berkorelasi erat dengan perubahan biokimia pada dinding sel yang melibatkan proses hidrolitik yang mengakibatkan kerusakan polimer dinding sel (Zhang et al., 2019).

3.4 Perubahan Kandungan Karbohidrat

Karbohidrat merupakan senyawa penting yang tersimpan dalam buah sebagai cadangan energi yang untuk selanjutnya akan digunakan untuk keberlanjutan kehidupan dari tanaman. Akibatnya kandungan karbohidrat yang berupa pati dalam buah dan gula jumlahnya tidak tetap dalam buah. Untuk buah dengan kandungan pati tinggi, selama proses pematangan akan terjadi penurunan jumlah pati. Sebaliknya untuk buah dengan kandungan pati rendah, selama proses pematangan hampir tidak terjadi perubahan kandungan pati (Muchtadi et al., 2010).

3.5 Perubahan Kandungan Asam Organik

Asam organik adalah jenis senyawa organik yang mengandung setidaknya satu gugus karboksil ($-\text{COOH}$). Asam ini umumnya ditemukan pada tumbuhan, hewan, dan mikroorganisme dan merupakan molekul penting dalam banyak proses biologis. Asam organik memiliki rasa asam dan sering digunakan sebagai bahan tambahan makanan, pengawet dan penambah rasa. Senyawa juga digunakan di berbagai industri seperti obat-obatan, kosmetik dan pertanian. Menurut Muchtadi et al. (2010), asam format, asetat, fumarat, malat, sitrat, suksinat, tartarat, oksaloasetat, kuinat Contoh asam organik adalah asam sitrat, asam asetat, asam laktat dan asam format. Asam organik banyak terkandung dalam buah-buahan yang masih muda.

Asam tertitrasi total bisa digunakan untuk menggambarkan kandungan asam organik dari komoditas hasil pertanian. Asam tertitrasi total merupakan salah satu parameter mutu yang diukur selama proses pematangan buah. Selama proses pematangan terjadi penurunan kandungan asam organik, baik pada buah klimakterik maupun non klimakterik. Penurunan asam organik selama proses pematangan dapat dilihat dari menurunnya kandungan asam tertitrasi total selama proses pematangan. Menurut Muchtadi et al., (2010), salah satu asam organik yang mengalami perubahan selama proses pematangan adalah asam organik non volatil.

Pada buah naga (*Hylocereus polyrizhus*) yang dipanen pada indeks panen berbeda mengalami penurunan kandungan asam organik selama proses pematangan (Marlina et al., 2020). Asam sitrat dan asam laktat adalah asam organik yang terdapat pada buah naga (Stintzing et al., 2003). Menurunnya kandungan asam tertitrasi total yang diikuti oleh proses pembusukan disebabkan proses metabolisme asam organik (Ali et al., 2013). Berubah atau terkonversinya pati menjadi gula juga

menyebabkan turunnya asam tertitrasi total pada buah (Lum and Norazira, 2011).

3.6 Perubahan Bobot

Bobot pada komoditas hasil pertanian menunjukkan berat dari komoditas tersebut. Selama proses pematangan dan penyimpanan terjadi perubahan bobot pada komoditas hasil pertanian. Penurunan bobot merupakan perubahan yang terjadi pada komoditas hasil pertanian terutama buah dan sayuran selama proses pematangan dan penyimpanan. Penurunan bobot akan menyebabkan terjadinya susut bobot pada buah dan sayuran. Kehilangan air pada buah dan sayuran merupakan penyebab utama susut bobot pada buah dan sayuran. Menurut Freitas and Mitcham (2013), diantara kendala dalam teknologi pascapanen buah naga adalah susut bobot, kerusakan mekanik, *chilling injury*, dan busuk buah. Susut bobot pada buah dan sayuran selama proses pematangan dan penyimpanan adalah. Respirasi dan transpirasi merupakan penyebab dari susut bobot pada buah selama proses pematangan.

DAFTAR PUSTAKA

- Ali, A., Zahid, N., Manickam, S., Siddiqui, Y., Alderson, P.G., Maqbool, M., 2013. Effectiveness of submicron chitosan dispersions in controlling anthracnose and maintaining quality of dragon fruit. *Postharvest Biol. Technol.* 86, 147–153. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2013.06.027>
- Choo, W.S., 2018. Fruit pigment changes during ripening. *Encycl. Food Chem.* 117–123. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100596-5.21656-9>
- El-Zoghbi, M., 1994. Biochemical changes in some tropical fruits during ripening. *Food Chem.* 49, 33–37. [https://doi.org/10.1016/0308-8146\(94\)90229-1](https://doi.org/10.1016/0308-8146(94)90229-1)
- Freitas, S.T. de, Mitcham, E.J., 2013. Quality of pitaya fruit (*Hylocereus undatus*) as influenced by storage temperature and packaging. *Sci. Agric.* 70, 257–262. <https://doi.org/10.1590/s0103-90162013000400006>
- Li, K., 2012. Part 1 Biology , Biochemistry , Nutrition , Physiology and Classification of Fruits. *Handb. fruits fruit Process.* 1–12.
- Lum, M.S., Norazira, M.A., 2011. Effects of Hot Water , Submergence Time and Storage Duration on Quality of Dragon Fruit (*Hylocereus polyrhizus*). *J. Agric. Sci.* 3, 146–152.
- Marlina, L., Hariyanto, B., Jumjunidang, N., Muas, I., 2020. Pengaruh Indeks Panen Terhadap Umur Simpan dan Mutu Buah Naga (*Hylocereus polyrhizus*) Selama Penyimpanan [Effect of Harvest Index on Shelf-Life and Quality of Dragon Fruit (*Hylocereus polyrhizus*) During Storage]. *J. Hortik.* 30, 87. <https://doi.org/10.21082/jhort.v30n1.2020.p87-96>
- Muchtadi, T.R., Sugiono, Ayustaningwarno, F., 2010. Ilmu pengetahuan bahan pangan. Alfabeta, Bandung.

- Rodríguez-Mena, A., Ochoa-Martínez, L.A., González-Herrera, S.M., Rutiaga-Quiñones, O.M., González-Laredo, R.F., Olmedilla-Alonso, B., 2023. Natural pigments of plant origin: Classification, extraction and application in foods. *Food Chem.* 398.
<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.133908>
- Stintzing, F.C., Schieber, A., Carle, R., 2003. Evaluation of colour properties and chemical quality parameters of cactus juices. *Eur Food Res Technol* 216, 303–311.
<https://doi.org/10.1007/s00217-002-0657-0>
- Williams, R.S., Benkeblia, N., 2018. Biochemical and physiological changes of star apple fruit (*Chrysophyllum cainito*) during different “on plant” maturation and ripening stages. *Sci. Hortic. (Amsterdam)*. 236, 36–42.
<https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.03.007>
- Zhang, C., Xiong, Z., Yang, H., Wu, W., 2019. Changes in pericarp morphology, physiology and cell wall composition account for flesh firmness during the ripening of blackberry (*Rubus* spp.) fruit. *Sci. Hortic. (Amsterdam)*. 250, 59–68.
<https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.02.015>

BAB 4

PENGARUH SUHU

Oleh Melycorianda Hubi Ndapamuri

4.1 Pendahuluan

Produk pertanian salah satunya hortikultura adalah tipe produk yang sangat mudah mengalami kerusakan pascapanen. Salah satu cara untuk mempertahankan kesegaran dari produk hortikultura adalah memperhatikan faktor-faktor yang dapat menyebabkan kerusakan produk. Salah satu faktor utama yang berpengaruh dalam kerusakan produk adalah suhu. Tiga macam respon produk pascapanen terhadap suhu, yaitu (1) pengaruh kisaran suhu normal intermediet; (2) pengaruh suhu terendah; (3) pengaruh suhu tinggi (Wills ddk., 1998).

Cara penyimpanan dengan suhu yang rendah dapat memperpanjang masa simpan, akan tetapi cara ini kurang efektif dalam mempertahankan mutu apabila dilakukan tanpa memperhatikan sifat-sifat fisiologis dari produk yang berbeda. Penggunaan suhu yang tidak sesuai dapat menyebabkan menurunnya kandungan nutrisi produk, perubahan warna yang abnormal dan meningkatnya proses pembusukan buah sebagai akibat meningkatnya kegiatan mikroba pada produk dan kegiatan respirasi. Menurut Mukkun (2012), secara umum kerusakan yang timbul karena suhu rendah ada dua, yaitu kerusakan produk pada suhu beku atau biasa disebut dengan *freezing injury* dan kerusakan produk pada suhu dingin atau biasa disebut *chilling injury*.

4.2 Mekanisme Penyimpanan Produk pada Suhu Rendah

Produk yang disimpan pada suhu rendah memiliki syarat yang harus disesuaikan berdasarkan jenis komoditas dan kelembaban. Akan tetapi, secara umum terdapat dua mekanisme cara penyimpanan produk pada suhu rendah yaitu pendinginan dan pembekuan.

4.2.1 Pendinginan

Tiga tahap yang terjadi selama perpindahan panas dalam proses pendinginan yaitu (1) konveksi; (2) radiasi dan (3) penguapan. Mekanisme pendinginan terjadi apabila adanya panas yang berpindah dan terserap dari produk ke lingkungan ruangan pendingin sehingga suhu produk sesuai dengan suhu lingkungannya dan distabilkan.

Tiga hal penting yang menjadi faktor penentu dalam proses pendinginan menurut Nurul ddk (2020) yaitu perbedaan suhu, luas kontak, serta nilai konduktivitas termal. Pertama, perbedaan suhu antara bahan dan ruangan pendingin. Laju penurunan suhu pada tahap awal pendinginan biasanya berlangsung cepat dan semakin lama akan melambat. Selama proses pendinginan yang berlangsung, perbedaan suhu antara bahan dan ruangan pendingin pun berangsur berkurang. Kisaran suhu yang dapat digunakan pada tahap ini berkisar antara 20°C hingga 0°C, akan tetapi tetap disesuaikan dengan sifat masing-masing produk. Kedua, luasan kontak antara permukaan produk dan ruangan pendingin berbanding lurus sehingga semakin luas kontak antara produk dan ruangan pendingin, laju penurunan suhu pada produk pun meningkat. Ketiga, nilai konduktivitas termal produk dan bahan kemasan. Proses pendinginan dapat terjadi lebih cepat apabila produk dan bahan kemasan memiliki nilai konduktivitas termal yang tinggi.

4.2.2 Pembekuan

Pembekuan merupakan salah satu cara untuk mempertahankan kualitas produk berdasarkan kandungan zat kimia dan mutu fisik apabila dilakukan dengan cara yang tepat. Metode ini biasa digunakan untuk pengawetan makanan dengan prinsip menurunkan suhu produk dibawah suhu bekunya. Pada mekanisme ini terjadi perpindahan panas yang dapat mengubah suhu dan perpindahan panas yang dapat mengubah wujud zat. Umumnya pembekuan produk terjadi pada suhu dibawah -2°C . Saat proses pembekuan, sebagian air berubah wujud dari cair ke padat sehingga terbentuk kristal es. Kristalisasi mempengaruhi pergerakan aliran air terbatas yang menyebabkan air tidak bebas bergerak. Keadaan ini mengakibatkan terhambatnya perkembangan mikroba dan enzimatis sehingga mempengaruhi mutu, keawetan produk pangan, dan umur simpan produk.

Setiap produk dengan sifat yang berbeda seperti (1) ukuran dan bentuk; (2) nilai konduktivitas panas produk; (3) luas permukaan produk; (4) nilai koefisien pindah panas; (5) perbedaan suhu antara produk dan ruangan pembeku; serta (6) jenis kemasan. Sehingga beberapa faktor yang harus diperhatikan apabila menggunakan proses pembekuan yaitu perkiraan laju pembekuan dan lama waktu pembekuan.

4.3 Kerusakan Selama Penyimpanan pada Suhu Rendah

Kerusakan produk pada suhu rendah (*Chilling injury*) dapat terjadi apabila suhu pendinginan dan lama waktu penyimpanan tidak disesuaikan dengan sifat produk. Semakin rendah suhu penyimpanan sehingga melewati batas minimum toleransi produk, semakin besar pula *chilling injury*. Pada beberapa produk mungkin akan menunjukkan penurunan

tanda-tanda kerusakan ketika didinginkan, akan tetapi setelah produk dikeluarkan pada suhu ruang akan cepat mengamali perubahan mutu secara fisik. Hal yang sama juga akan terjadi apabila produk disimpan dalam waktu yang lama. Sebagai contoh, buah pisang cukup disimpan hanya beberapa jam saja dalam pendingin. Sedangkan buah apel dan anggur dapat bertahan dalam waktu beberapa minggu bahkan bulan. Contoh lainnya, ada jenis produk yang bahkan akan mengalami penurunan mutu apabila disimpan pada suhu dingin dengan waktu yang lama. Buah semangka akan berkurang kadar kemanisannya jika disimpan dalam ruangan pendingin.

Tolaransi produk terhadap *chilling injury* bervariasi sesuai dengan jenis spesies, kultivar, anatomi, kondisi morfologi dan fisiologi produk. Apabila suhu dalam penyimpanan dibawah suhu minimum yang dapat ditoleransi produk, produk akan mengalami *chilling stress*. Sebagai contoh, buah pisang mengalami kerusakan apabila suhu berada pada kisaran 12-13°C; mangga dengan suhu 10-13°C; nenas 7-10°C, mentimun, terong dan pepaya sekitar 7°C, sedangkan apel dan jeruk adalah 5°C. Buah yang cepat mengalami proses pematangan sangat peka terhadap suhu dingin. Alpukat dan tomat (jenis buah dengan laju klimaterik yang cepat) cenderung peka terhadap suhu dingin apabila dalam proses pematangannya, akan tetapi kepekaannya akan hilang ketika sudah mengalami pematangan.

Kerusakan *chilling injury* ditunjukkan dengan penurunan mutu produk yang umumnya dilihat dari sifat fisik produk. *Chilling injury* mengakibatkan perubahan sifat fisik dari membran sel sehingga menyebabkan kerusakan secara tidak langsung. Perubahan kadar air dalam membran menyebabkan dinding sel menjadi kehilangan kekuatan dan aktifitas enzim dan kandungan kimia di dalam produk berubah. Sebagai contoh mentimun yang mengalami *chilling injury*, akan menjadi lebih lembek, layu dan perlahan-lahan akan mengalami pembusukan.

Kerusakan lainnya yang terjadi pada produk adalah kerusakan pada suhu beku (*freezing injury*). Kebanyakan produk hortikultura mengalami pembekuan pada suhu satu sampai beberapa derajat dibawah titik beku air. Penurunan titik beku disebabkan karena adanya bahan-bahan yang terlarut dalam sel. Pada umumnya *freezing injury* merupakan kerusakan paling fatal yang dialami oleh produk karena mutu produk akan menurun drastis sehingga produk tidak dapat lagi dikonsumsi. Produk biji dan kacang-kacangan dapat bertahan pada kondisi suhu sedikit dibawah titik beku dengan sedikit kerusakan. Sebagai contoh, biji gandum (kadar air 10,6%) dapat bertahan pada suhu -196°C tanpa kehilangan daya tahannya. Akan tetapi apabila kadar air biji gandum meningkat, produk akan rusak pada suhu mulai 30-50°C.

Kemampuan jaringan produk dapat bertahan pada kondisi *freezing injury* bergantung pada kadar air produk. Jaringan dengan kadar air rendah cenderung mempunyai jumlah air yang sedikit dan air ini merupakan jenis air yang terikat dengan jaringan. Air terikat tidak dapat diubah menjadi kristal es selama pembekuan. Biasanya sel-sel akan ikut membeku tanpa kehilangan kemampuan untuk berkecambah apabila proses pembekuan berlangsung secara perlahan. Kristal es mungkin dapat terbentuk di luar atau di dalam sel tergantung pada laju pendinginan. Biasanya es dalam luar sel terbentuk terlebih dahulu dan berlangsung dalam ruang antar sel. Ketika kristal es membesar, sel-sel berkontraksi dan menyebabkan sel-sel rusak. Kontraksi ini disebabkan karena terjadinya redistribusi air dalam jaringan. Saat kristal es mulai terbentuk, bahan yang terlarut dalam air terpisah dan meningkatkan kandungan kimia dalam larutan tidak ikut membeku. Keadaan ini hal yang menyebabkan ketidakseimbangan osmotik di dalam dan di luar sel. Dengan demikian, bekunya air di luar sel mengakibatkan peningkatan konsentrasi bahan terlarut. Jika laju

pendinginan relatif lambat, aliran air melalui membran plasma tidak terganggu sehingga tidak terjadi pembekuan yang berlebihan di luar sel. Sebaliknya, apabila pendinginan terjadi terlalu cepat, laju aliran air dalam membran plasma terganggu dan menyebabkan pembekuan serta kerusakan sel.

Freezing injury menunjukkan penurunan mutu fisik berupa permukaan produk lembek dengan beberapa bagian produk terdapat lengkungan yang berair, ciri-ciri ini merupakan tanda bahwa terjadinya kerusakan membran plasma pada sel produk. Kerusakan ini bukan diakibatkan karena penghambatan metabolisme seperti *chilling injury*, akan tetapi terjadi karena laju pendinginan yang cepat sehingga terbentuk kristal es di luar sel produk.

4.4 Pencegahan Kerusakan Akibat Suhu Rendah pada Beberapa Produk Pertanian

Kerusakan pada produk akibat suhu rendah biasanya disebabkan karena pengaturan penyimpanan dan suhu yang tidak tepat. Sebagai contoh, dalam 1 box penyimpanan terdapat 2 jenis buah yang memiliki tingkat respirasi yang tinggi dan rendah. Produk yang seharusnya disimpan pada suhu antara 10-15°C akan tetapi suhu pada penyimpanan dibawah 10°C. Berikut pengaturan suhu dan lama penyimpanan serta kelembaban pada beberapa produk.

Tabel 4.1. Kelompok Umur Simpan Buah dan Sayur Segar

Komoditas	Waktu pada suhu optimal (minggu)		
	-1 sampai 4 ^o C	5 sampai 9 ^o C	10 ^o C
Buah-buahan			
Sangat mudah rusak (0-4 minggu) Aprikot Pisang, matang Pisang, hijau Buah-buahan berry Cherry Fig Loquat Mangga Strawberry Semangka	2 1-2 1-4 2-3 1-2 1-5 hari	 2-3 2-3	1-2 1-2
Mudah rusak (4-8 minggu) Alpukat Anggur Mandarin Nectarin Buah markisa Peach Nenas, matang Nenas, hijau Plum	 4-6 5-8 2-6 2-7	3-5 4-6 3-5 4-5	 4-5
Semi mudah rusak (6-12 minggu) Kelapa Orange	8-12	6-12	

Komoditas	Waktu pada suhu optimal (minggu)		
	-1 sampai 4°C	5 sampai 9°C	10°C
Tidak mudah rusak (> 12 minggu) Apel Anggur Lemon Pear	6-30 8-30	12-16 12-30	
Sayur-sayuran			
Sangat mudah rusak (0-4 minggu) Asparagus Kara Brokoli Brussel sprout Bunga kol Mentimun Selada Kapri Rhubarb Bayam Jagung manis Tomat, berwarna Jamur merang	2-4 1-3 1-2 2-4 2-4 1-3 1-3 2-3 1-2 1-2 2-4	2-4 1-3	
Mudah rusak (4-8 minggu) Kubis Tomat, hijau	4-8		3-6
Semi mudah rusak (6-12 minggu) Seledri	6-10 8-12		

Komoditas	Waktu pada suhu optimal (minggu)		
	-1 sampai 4°C	5 sampai 9°C	10°C
Leek Marrow			6-10
Tidak mudah rusak (12 minggu)			
Beet	12-20		
Wortel	12-20		
Bawang merah	12-28		
Parsnip	12-20		12-24
Waluh		16-24	
Kentang			16-24
Ubi jalar	16-24		
Swede turnip			

Sumber: Sudjatha & Wisaniyasa (2017)

DAFTAR PUSTAKA

- Hayati, R., Syamsuddin, & Halimursyadah. 2015. Teknologi Pasca Panen. Buku Ajar. Universitas Syiah Kuala.
- Mukkun, Lince. 2012. Hama dan Penyakit Pascapanen. Kupang : Undana Press.
- Sudjatha, W., N. W. Wisaniyasa. 2017. Fisiologi dan Teknologi Pascapanen (Buah dan Sayuran). Buku Ajar. Denpasar : Udayana University Press.
- Wang, C. Y. 1994. Chilling Injury of Tropical Horticultural Commodities. *HortScience*, 29 (9), 986-987.
- Wills, R., McGlasson, B., Graham, D., & Joyce, D. 1998. *An Introduction to Physiology and Handling of Fruit*. Vegetables and Ornamentals. UNSW Press.

BAB 5

KERUSAKAN FISILOGIS

Oleh Windy Rizkaprilisa

Kerusakan fisiologis merupakan terjadinya perubahan-perubahan fisik yang terlihat seperti perubahan warna, bentuk, ukuran, tekstur, aroma, rasa atau peningkatan zat-zat tertentu dalam bahan pangan. Kerusakan fisiologi adalah kerusakan jaringan yang tidak disebabkan oleh serangan patogen, serangga atau kerusakan mekanis. Kerusakan fisiologis dapat disebabkan oleh factor lingkungan seperti suhu, gas atmosfer, defisiensi nutrisi selama pertumbuhan dan perkembangan tanaman, serta penyimpanan bahan pangan. Kerusakan fisiologis biasanya terjadi pada bahan pangan alam seperti buah dan sayur, karena kedua bahan ini memiliki jaringan sel yang dapat berubah akibat reaksi yang dipengaruhi oleh faktor lingkungan di sekitarnya.

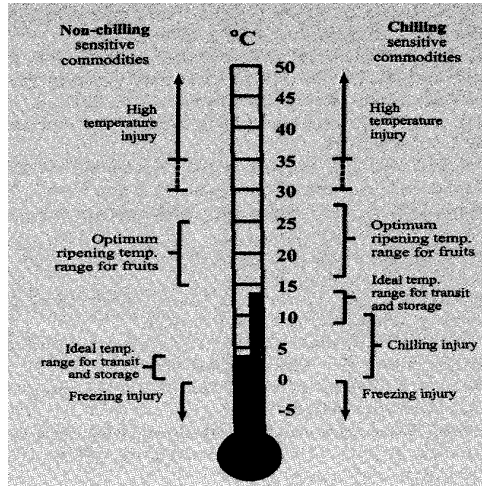
Dalam bab ini, akan membahas kerusakan fisiologis akibat factor-faktor lingkungan yang terjadi pada bahan pangan seperti buah dan sayur. Pembahasan dalam bab ini bertujuan untuk mengetahui hal-hal yang dapat menyebabkan kerusakan pada bahan pangan, mengenal kerusakan-kerusakan yang terjadi, perlakuan-perlakuan yang dapat mengurangi kerusakan fisiologis pada bahan pangan selama proses pasca panen dan bahan pangan yang mudah mengalami kerusakan fisiologis. Dengan mempelajari bab ini, pembaca dapat mengetahui bagaimana perlakuan pasca panen untuk meminimalisir kerusakan fisiologis hasil panen sehingga meminimalisir kerugian akibat bahan pangan yang kualitasnya jelek dan membusuk.

5.1 Faktor- Faktor Penyebab Kerusakan Fisiologis

Faktor lingkungan yang mempengaruhi kerusakan fisiologis antara lain suhu, perubahan konsentrasi gas atmosfer, dan defisiensi mineral. Kerusakan akibat suhu terdiri dari suhu dingin (*chilling injury*), suhu beku (*freezing injury*) dan suhu tinggi (*high temperature injury*). Kerusakan akibat perubahan konsentrasi gas atmosfer terdiri dari penurunan konsentrasi oksigen dan peningkatan konsentrasi karbodioksida. Kerusakan akibat defisiensi mineral seperti kekurangan komponen mineral atau toksisitas akibat komponen mineral tertentu.

5.1.1 Suhu

Suhu mempengaruhi fisiologis dari bahan pangan seperti sayur dan buah. Pengaruh suhu dapat mengakibatkan ketidakstabilan metabolisme fisiologis pada jaringan yang menyebabkan kerusakan fisiologis. Berdasarkan sensitivitasnya terhadap suhu, komoditi bahan pangan dibagi menjadi dua yaitu sensitive dan tidak sensitif (Gambar 7.1). Komoditas yang tidak sensitive terhadap suhu memiliki suhu aman untuk disimpan pada suhu 0-5°C dan suhu optimum untuk pematangan pada suhu 15-25 °C, serta dapat mengalami kerusakan fisiologis pada suhu beku (*freezing injury*) <0°C dan suhu tinggi (*high temperature injury*) >30°C. Sedangkan komoditas yang sensitive terhadap suhu memiliki suhu aman untuk disimpan 10-15 °C dan suhu optimum untuk pematangan 15-28 °C, serta dapat mengalami kerusakan fisiologis pada suhu beku (*freezing injury*) <0°C, suhu dingin (*chilling injury*) 0-10 °C dan suhu tinggi (*high temperature injury*) >30°C,



Gambar 5.1. Pengaruh Suhu terhadap Kerusakan Fisiologis

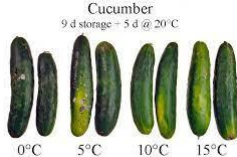
Kerusakan fisiologi yang dipengaruhi beberapa kondisi suhu antara lain :

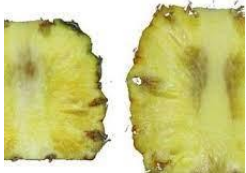
a. Suhu Dingin / Chilling Injury

Chilling Injury merupakan kerusakan yang diakibatkan oleh suhu rendah di atas suhu beku. *Chilling Injury* banyak terjadi pada komoditas buah atau sayur tropis atau sub tropis seperti buah apukat, pisang, jeruk, manga, papaya, timun, kentang, dan tomat. Gejala *chilling injury* muncul setelah disimpan pada suhu dibawah suhu optimumnya dan dikeluarkan dari ruang penyimpanan. Gejala yang terjadi yaitu munculnya lubang dan bintik-bintik hitam di permukaan bahan, perubahan warna (eksternal/internal), pematangan yang tidak merata, mudah membusuk, dan *off-flavor*.

Setiap komoditi memiliki suhu aman yang berbeda-beda. Apabila dilakukan penyimpanan di bawah suhu aman tersebut akan menimbulkan gejala *chilling injury* (Tabel 5.1). Hal ini karena pada suhu dibawah suhu optimumnya akan memicu perubahan yang terjadi pada membrane sel yang mengakibatkan munculnya bintik-bintik dan perubahan warna.

Table 5.1. Gejala *Chilling Injury* pada Benerapa Komoditas (Wills et al., 1998)

Bahan Pangan	Suhu Aman Terendah (°C)	Gejala	Gambar
Apukat	5-12	Bintik-bintik, pencoklatan pada kulit dan jaringan vaskuler	
Pisang	12	Bercak-bercak coklat	
Timun	7	Warna gelap dan banyak bagian berair	
Jeruk	7	Bintik-bintik	
Mangga	5-12	Pencokalatan pada aera tertentu	

Bahan Pangan	Suhu Aman Terendah (°C)	Gejala	Gambar
Tomat	7-12	Bintik-bintik, busuk Alternaria	
Nanas	6-10	Jaringan coklat atau hitam	

Mekanisme terjadinya *chilling injury* yaitu suhu dingin (*chilling*) mempengaruhi perubahan membrane sel pada membrane lipid. Membran lipid dalam keadaan cair pada suhu tinggi berubah menjadi gel dan *immobil* di bawah suhu kritis. Pengaruh ini berlangsung pada suhu sekitar 10 - 15 °C untuk sebagian besar komoditi daerah tropis. Untuk komoditi daerah dingin pengaruh ini berlangsung pada suhu yang lebih rendah (0 - 5°C). Pengaruh suhu rendah pada fluiditas membran berlangsung cepat, namun gejala kerusakan suhu dingin (*chilling injury*) muncul setelah ditempatkan pada suhu yang lebih tinggi. Pengaruh suhu terhadap membran bersifat *reversible* yaitu membran akan berubah dari keadaan cair pada suhu lebih tinggi menjadi gel pada suhu yang lebih rendah dan kembali ke keadaan cair dengan menurunkan dan menaikkan suhunya. Sebaliknya, pengembangan kerusakan suhu dingin (*chilling injury*) umumnya bersifat irreversibel dan merupakan fungsi dari lama waktu pada suhu dingin.

b. Suhu Beku / *Freezing Injury*

Freezing injury merupakan kondisi suhu dibawah titik beku ($< 0^{\circ}\text{C}$). *Freezing injury* terjadi pembekuan cairan di luar sel, apabila es di luar sel tetap ada maka gradient tekanan uap air menyebabkan air bergerak keluar dari sel, masuk ke apoplas, dan membeku, sehingga meningkatkan massa es di dalam jaringan tanaman. Hal ini dapat menyebabkan kerusakan mekanis pada jaringan tanaman dan dehidrasi sel secara cepat. Akibatnya keadaan biokimia sitoplasma terganggu, protein dan enzim mengalami denaturasi, berbagai macam komponen mengendap, sistem penyangga tidak mampu mengendalikan pH, dan terjadi perpapatatan molekul-molekul makro. Peristiwa ini dapat mengakibatkan kematian sel pada tanaman.

Gejala *freezing injury* yaitu perubahan tekstur dan warna, kering, dan terjadi perubahan komposisi kimia. Perlakuan-perlakuan yang dapat dilakukan untuk mencegah *freezing injury* sebagai berikut :

1. Pembekuan dengan tekanan tinggi

Pembekuan dengan tekanan tinggi dapat membentuk es secara cepat, homogen, dan meghasilkan kristal berukuran kecil sehingga meminimalkan kerusakan makanan.

2. Pembekuan dengan *dehydrofreezing*

Pembekuan dengan *dehydrofreezing* dilakukan dengan mengeluarkan Sebagian air dari makanan sebelum perlakuan dalam suhu beku sehingga mengurangi beban pembekuan.

3. Pembekuan terkontrol

Pembekuan terkontrol dapat dapat menurunkan kecepatan respirasi, menurunkan kehilangan berat dan mempertahankan warna.

4. *Pulse Electric Field* (PEF)

PEF merupakan metode pengawetan pangan berbasis nontermal dengan memberikan kejutan listrik berupa pulsa tegangan tinggi ke bahan makanan melalui elektroda yang ditempatkan kedalam chamber

selama beberapa detik. Membrane yang telah mengalami kerusakan dapat dijadikan tempat pembentukan inti es sehingga dapat mempercepat pembentukan inti es.

5. *Blanching*

Blanching dilakukan sebelum proses pembekuan. Panas pada saat blanching dapat mengakibatkan kerusakan sel dan kehilangan system protektif terhadap pembekuan.

6. Protein Antibeku

Protein antibeku sintesis dapat menurunkan suhu beku dan menghambat rekristalisasi selama penyimpanan dalam suhu beku dan thawing. Penghambatan tersebut dilakukan dengan pengikatan zat antibeku terhadap es dan pencegahan pembentukan kristal di permukaan sehingga kecepatan pertumbuhan kristal menurun.

c. **Suhu Tinggi / *High Temperature Injury***

High Temperature Injury merupakan kondisi suhu > 30 °C. Suhu tinggi ini dapat terjadi karena paparan sinar matahari, angin panas, atau perlakuan panas yang bertujuan mencegah pathogen. Perlakuan panas yang biasanya dilakukan seperti perendaman dalam air panas, evaporasi, dan *dry heat*. Paparan suhu tinggi yang berkepanjangan pada komoditi buah klimaterik dapat menyebabkan proses pematangan berkelanjutan, tetapi menghambat perubahan warna. Contohnya buah pisang yang dikukus mengalami pematangan lanjutan yang mengakibatkan teksturnya menjadi lebih lembut (Gambar 5.2.). Metabolisme terganggu pada suhu lebih dari 35 °C yang mengakibatkan membrane sel rusak dan hilangnya pigmen.



Gambar 5.2. Perubahan Fisik Pisang Akibat Suhu Tinggi

5.1.2. Kerusakan Akibat Gas Atmosfer

Buah dan sayur meskipun telah dipanen, mereka memiliki jaringan yang masih aktif bermetabolisme sehingga setelah lepas dari tanaman induknya masih dapat mengalami proses pematangan. Salah satu proses yang memungkinkan masih terjadi yaitu respirasi. Proses respirasi ini menggunakan gas atmosfer yang mempengaruhi proses pematangan antara lain oksigen dan karbondioksida. Buah dan sayur memanfaatkan oksigen yang ada di dalam bahan dan di lingkungannya, dan melepas hasil reaksi berupa karbondioksida dan air serta sejumlah energi (Gambar 5.3). Kerusakan akibat respirasi diakibatkan oleh komposisi oksigen yang terlalu banyak. Kehadiran oksigen mendorong terjadinya reaksi seperti oksidasi lipid, pencoklatan, dan oksidasi pigmen.



Dalam hal ini perlu dilakukan modifikasi gas atmosfer dengan cara udara atau atmosfer terkendali yaitu melakukan penurunan oksigen dan penambahan karbondioksida ke dalam kemasan baik secara langsung maupun tidak langsung. Komposisi gas diatur dengan perbandingan yang pas sehingga didapatkan masa simpan yang maksimal. Konsentrasi gas tersebut juga harus mempertimbangkan suhu dan lama penyimpanan yang diinginkan. Semakin tinggi suhu penyimpanan akan mendorong laju respirasi yang semakin tinggi (Lozano, 2006). Toleransi komposisi gas atmosfer bervariasi tergantung pada komoditasnya dapat dilihat pada

Tebel 5.2. Dalam penyimpanan ini, oksigen dalam jumlah kecil tetap dipertahankan agar tidak terjadi respirasi anaerob yang dapat menimbulkan citarasa yang menyimpang. Sedangkan, penambahan karbon dioksida akan berpengaruh yang sangat besar terhadap respirasi. Kandungan karbon dioksida yang terlalu tinggi mempunyai pengaruh seperti yang disebabkan oleh anaerobiosis (kekurangan oksigen). Toleransi komposisi gas atmosfer beberapa komoditi dapat dilihat pada Tabel 5.2.

Tabel 5.2. Toleransi Beberapa Buah Dan Sayur Terhadap Oksigen dan Karbondioksida

Komoditi	Minimum Oksigen	Maksimum Karbon dioksida
Apel	1-2	0-3
Kol	2-3	3-6
Tomat	3-5	2-3
Alpukat	3	5
Pisang	2-5	2-5
Kiwi	2	5
Nanas	5	10
Jeruk	5-10	0-5
Mangga	3-7	5-8
Pepaya	2-5	5-8
Brokoli	1-2	5-10
Buncis	2-3	4-7

Hal yang harus diperhatikan yaitu konsentrasi optimum dari oksigen dan karbondioksida dari setiap jenis bahan pangan. Kondisi yang melampaui batas toleransi akan mendorong terjadinya respirasi anaerobik menggantikan reaksi normal respirasi aerobik. Asam piruvat akan memasuki proses fermentasi secara anaerobik untuk mendapatkan energi. Proses ini akan menghasilkan senyawa-senyawa alkohol, aldehid dan laktat yang menyebabkan cita-rasa yang tidak baik atau *off-flavour*. Selain itu, anaerobik ini beresiko tumbuhnya mikroorganisme anaerobik yang memicu kerusakan juga (Jayas and Jeyamkondan, 2002; Lozano, 2006).

5.1.3 Kerusakan Akibat Defisiensi Mineral

Buah dan sayuran mengalami gejala pencoklatan dapat disebabkan oleh kekurangan beberapa macam mineral. Kerusakan ini dapat dicegah dengan memberikan mineral-mineral tertentu yang diperlukan, baik selama pertumbuhan maupun setelah panen. Hal ini karena, tanaman membutuhkan keseimbangan mineral sehingga pertumbuhannya dapat berlangsung. Apabila kekurangan salah satu mineral essensial maka pertumbuhan akan terganggu.

Beberapa mineral essensial yang apabila mengalami defisiensi akan mengalami kerusakan fisiologis, antara lain :

1. Defisiensi Kalsium

Kalsium berfungsi mencegah terjadinya kerusakan sel akibat senyawa toksis. Kekurangan kalsium dapat menyebabkan kelunakan pada daging buah. Kerusakan akibat defisiensi kalsium pada buah dan sayur dapat dilihat pada Tabel 5.3.

Tabel 5.3. Kerusakan Akibat Defisiensi Kalsium Pada Buah dan Sayur

Komoditi	Kerusakan
Apel	Lubang, noda, pecah, retak, kerusakan pada suhu rendah, dan berair pada bagian dalam.
Apukat	Noda pada bagian ujung
Kol	Pencoklatan pada pucuk bagian dalam
Wortel	Noda berlobang, pecah
Seledri	Hitam bagian dalam
Ceri	Retak
Selada	Pencoklatan pucuk

Komoditi	Kerusakan
Mangga	Pelunakan bagian ujung
Pear	Noda
Lombok	Busuk pada ujung
Stowberry	Pencoklatan pada bagian ujung
Tomat	Busuk bagian ujung, biji hitam, retak

2. Defisiensi Boron

Kekurangan boron menyebabkan munculnya lubang pada daging buah. Kerusakan ini dapat dicegah dengan penyemprotan boron.

3. Defisiensi Kalium

Metabolisme abnormal dapat terjadi apabila kandungan kalium terlalu tinggi atau terlalu rendah. Kalium tinggi berkaitan dengan terjadinya lubang sehingga K maupun Ca rendah berkorelasi dengan perkembangan lubang. Kalium rendah mempunyai hubungan dengan perubahan pematangan tomat dan dapat menghambat timbulnya warna merah penuh pada buah tomat karena terjadinya penghambatan biosintesis likopen.

5.2 Perlakuan Pencegahan Kerusakan Fisiologis

Kerusakan pasca panen dapat dicegah dengan memberikan perlakuan-perlakuan. Sebelum dilakukan perlakuan diperlukan mengetahui spesifikasi dari bahan baik buah atau sayur. Perlakuan pascapanen bertujuan memberikan perlindungan produk dari kerusakan dan memperpanjang masa simpan. Perlakuan pasca panen yang dapat dilakukan antara lain:

5.2.1 Sortasi

Sorting dilakukan untuk mengeliminasi produk yang sudah memiliki cacat yang diakibatkan gagalnya proses pertumbuhan atau saat dilakukan pemanenan. Perlakuan sorting ini dapat menghindari tercampurnya produk yang baik dengan yang cacat dan menghindari kerusakan-kerusakan lanjutan yang menyebabkan penyebaran infeksi ke produk-produk lainnya. Hal ini karena kerusakan fisik dapat memicu terjadinya kerusakan baik fisiologi maupun patologis (serangan mikroorganisme pembusuk).

5.2.2 Pencucian

Dalam proses pemanenan pada buah dan sayur, memungkinkan benda-benda asing ikut terbawa seperti debu, serangga, batu/kerikil, ranting, sisa-sisa pestisida dan lain-lain. Tujuan dari pencucian ini adalah menghilangkan benda-benda asing tersebut. Pembersihan dapat dilakukan dengan melakukan penyikatan, penyemprotan udara, penyemprotan air atau mencelupkan ke dalam air. Dalam pencucian biasanya deterjen untuk kotoran-kotoran yang susah dihilangkan. Setelah dilakukan pencucian, biasanya dilakukan pemberian disinfektan untuk mengendalikan bakteri dan beberapa jamur pembusuk.

5.2.3 Pelilinan

Buah dan sayur secara alami memiliki lapisan lilin di permukaannya. Pelilinan bertujuan untuk mengganti lilin alami pada buah yang hilang saat proses pencucian. Tujuan dari pelilinan yaitu memberikan perlindungan dari serangan mikroorganisme pembusuk, memberikan penampilan yang lebih mengkilat dan menarik bagi konsumen, mengurangi laju kehilangan air 30-50%, dan memperpanjang umur simpan. Pemberian lapisan lilin dapat dilakukan dengan penyemprotan, pencelupan, pengolesan, atau pembuihan. Contoh buah dan sayur yang dapat dilakukan perlakuan pelilinan mentimun, terung, tomat, pear dan apel.

5.2.4 Pengemasan

Pengemasan bertujuan memudahkan untuk dibawa dan memberikan informasi produk. Selain itu, pengemasan juga dapat melindungi dari kerusakan akibat yaitu kerusakan mekanis seperti gesekan, tekanan atau getaran saat penyimpanan dan pengaruh lingkungan seperti temperatur, kelembaban, udara, dan kotoran. Dalam pengemasan diperlukan penanganan yang baik untuk mencegah produk terluka, terjatuh, atau kerusakan lain. Pengemasan juga harus dilakukan di tempat yang bersih, orang atau mesin yang melakukan pengemasan terjamin kebersihannya dan wadah atau bahan pengemas lain yang digunakan untuk pengemas juga terjamin kebersihannya.

Beberapa hal yang perlu diperhatikan dalam memilih bahan pengemas yaitu mempunyai kekuatan mekanis yang cukup untuk melindungi produk di dalamnya selama penanganan, pengangkutan, dan penumpukan, serta tidak mengandung bahan kimia yang dapat mengkontaminasi dan beracun. *Modified Atmosphere Packaging* (MAP) merupakan pengemasan yang sudah dimodifikasi komposisi gas di dalamnya sehingga berbeda dari komposisi udara normal. Aplikasi teknologi MAP pada buah dan sayur berfungsi mengurangi laju respirasi, memperlambat pertumbuhan mikroba, dan menghambat kerusakan enzimatik. Beragam jenis plastik yang umum dipakai dalam MAP, seperti poliolefin, low density polyethylene (LDPE), linear low density polyethylene (LLDPE), high density polyethylene (HDPE), polypropilene (PP), Poliester, polyvinylchloride (PVC), polyvinylidene chloride (PVDC), polyethylene terephthalate (PET), ethylene vinyl alcohol (EVOH), Polyamida (nilon), polyvinyl alcohol (PVOH), ethylene vinyl acetate (EVA) dan polystirene (Soltani et al., 2015)

5.2.5 Penyimpanan

Penyimpanan bertujuan untuk mengendalikan laju transpirasi dan laju respirasi, mencegah serangan penyakit dan perubahan-perubahan yang tidak dikehendaki, dan

memperpanjang umur simpan dengan mempertahankan kualitas dari produk. Beberapa cara yang dapat dilakukan untuk menjaga kualitas produk selama penyimpanan yaitu mengatur komposisi atmosfer/*Controlled Atmosphere Storage*), melakukan perlakuan kimia (*Chemical Treatment*), perlakuan penyinaran (*Irradiation*), dan penyimpanan dingin (*refrigeration*).

DAFTAR PUSTAKA

- Brody, A. L., Bugusu, B., Han, J.H., Sand, C.K. & Mchugh, T.H.2008. Innovative Food Packaging Solutions, *Journal Of Food Science*, 73(8):107-116
- Jayas, D.S. & Jeyamkondan, S. 2002. Modified Atmosphere Storage Of Grains Meats Fruits And Vegetables, *Biosystems Engineering* 82 (3): 235-251
- Mazza, G. & Jayas, D.S. 2001. Controlled And Modified Atmosphere Storage, In Eskin, NAM And Robinson, D.S. (Eds.), *Food Shelf Life Stability*, CRC Press LLC.
- Mildaerizanti dan Pangestuti, R. 2019. Pengaruh Cekaman Suhu Rendah Terhadap Tanaman. *Jurnal Pertanian*, 185-193
- Pardede, E. 2020. Pengemasan Buah Dan Sayur Dengan Atmosfir Termodifikasi. *Jurnal Visi Eksakta (JVIEKS)*, Vol.1 (1), 11-20
- Lozano, J.E. 2006., Fruit Manufacturing: Scientific Basis, Engineering Properties, And Deteriorative Reaction Of Technological Importance, Springer Science + Business Media LLC.
- Soltani, M., Alimardani, R., Mobli, H. & Mohtasebi, S.S. 2015., Modified Atmosphere Packaging Technology For Shelf-Life Extension Of Fruit And Vegetables, *Journal Of Applied Packaging Research* 7(3): 33-59
- Sudjatha, W. & Wisaniyasa, Ni Wayan. 2017. Fisiologi dan Teknologi Pascapanen (Buah dan Sayuran). Udayana University Press

BAB 6

ATMOSFER PENYIMPANAN

Oleh Didi Carsidi

6.1 Pendahuluan

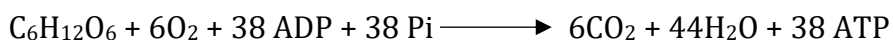
Saat panen selesai, berarti bagian tanaman baik daun, bunga maupun buah masih mengalami respirasi dan transpirasi. Respirasi terjadi selama substrat untuk glikolisis, reaksi pada cincin asam trikarboksilat, dan transpor elektron masih ada. Respirasi menciptakan energi yang mendukung proses metabolisme sekunder seperti produksi etilen dan metabolisme fenol. Dalam hal ini, proses pernafasan sering digunakan sebagai indikator kerusakan hasil pertanian.

Penanganan pascapanen hasil dari produk pertanian yang tepat sangat diperlukan agar kualitas produk dapat dipertahankan. Teknologi untuk penyimpanan sekarang berkembang cukup cepat. karena penyimpanan yang efektif membuat barang di gudang menjadi lebih bernilai. Sejak penggunaan refrigerasi mekanis, metode penyimpanan udara terkontrol bisa dibilang merupakan teknik terbaik untuk menyimpan buah dan sayuran. Umur simpan dapat ditingkatkan dengan menyesuaikan konsentrasi oksigen dan karbon dioksida. Sangat baik bila digunakan bersama dengan pendinginan, yang mencegah respirasi dan menunda pelunakan, menguning, memburuk, dan proses penurunan lainnya dengan menjaga lingkungan dengan lebih banyak CO₂ dan lebih sedikit O₂ (Susilo et al., 2016).

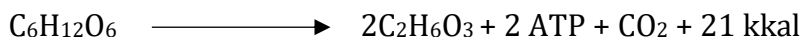
6.2 Aktifitas Metabolisme

Respirasi metabolik secara signifikan dipengaruhi oleh penyimpanan di udara terkontrol. Udara yang terkontrol berdampak pada tiga tingkat respirasi yang berbeda: aerob, anaerob, dan kombinasi keduanya. Dengan adanya oksigen, respirasi aerob menghasilkan karbon dioksida dan air, sedangkan respirasi anaerob, yang terjadi tanpa oksigen, menghasilkan karbon dioksida dan etanol. Kedua jenis respirasi terjadi ketika kadar oksigen rendah, tergantung pada konsentrasi oksigen relatif. Selanjutnya, respirasi anaerobik terjadi ketika oksigen langka (Sudjatha et al., 2017).

Pati, gula, dan asam organik diubah menjadi CO_2 , H_2O , dan energi selama proses oksidasi yang dikenal sebagai respirasi. Adenosin difosfat (ADP) dan fosfat anorganik (Pi) bergabung untuk membuat adenosin trifosfat (ATP), yang digunakan sebagai energi selama proses respirasi. Selama respirasi aerob, yang membutuhkan oksigen untuk menghasilkan energi. Namun, respirasi juga dapat berlangsung secara anaerob (tanpa oksigen) (Gardjito et al., 2017). Contoh proses kimia respirasi aerob adalah:



Pemecahan gula heksosa menghasilkan produksi alkohol, CO_2 , 2 mol ATP, dan 21 kkal panas selama respirasi anaerob. Akibatnya, dibandingkan dengan respirasi aerob, lebih sedikit energi yang dihasilkan. Reaksi anaerob meliputi proses kimia berikut:



6.2.1 Laju Respirasi

Jenis pengolahan pascapanen yang tepat dapat dipilih dengan menggunakan laju respirasi, yang menunjukkan aktivitas metabolisme dalam jaringan produk pertanian. Misalnya, prapendinginan, penyimpanan awal, ataupun pendinginan selama penyimpanan sebelum pemasaran. Laju respirasi untuk setiap jenis hasil pertanian berbeda-beda tergantung pada jenis bahan, saat pemanenan, dan suhu. Produk dengan tingkat respirasi tinggi biasanya memiliki umur simpan yang terbatas. Laju respirasi sangat tinggi pada saat organ sedang mengalami pertumbuhan. Akan tetapi, laju respirasi dapat berhenti saat organ berada dalam masa dorman (Gardjito et al., 2017).

6.2.2 Penurunan Laju Respirasi

Pencegahan kerusakan buah selama penyimpanan dapat dilakukan dengan beberapa cara, diantaranya : (1) Penurunan laju respirasi, laju respirasi bisa diturunkan secara nyata dengan penyimpanan pada suhu rendah, penurunan konsentrasi O_2 , penurunan tekanan (vakum ringan), penurunan konsentrasi etilen, peningkatan CO_2 , Meminimalkan kerusakan waktu penanganan pascapanen. (2) Pencegahan kerusakan buah dengan pelapisan, pencegahan kerusakan buah pula dapat dilakukan dengan pelapisan bahan pelapis. Pelapis tersebut menggunakan komponen primer berupa lilin, minyak polisakarida, kitosan, maupun protein. (Gardjito et al., 2017)

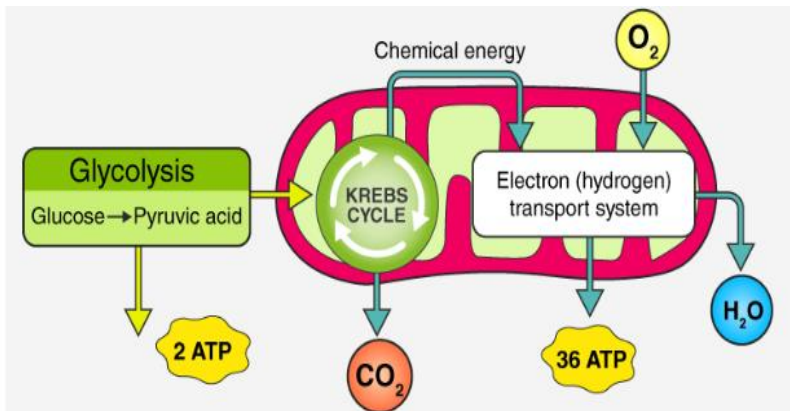
6.3 Mekanisme Pertukaran Gas

Pertukaran gas selama respirasi antara tumbuhan dan lingkungan terjadi secara difusi. Setiap sel tumbuhan menerima O_2 yang diperlukan untuk respirasi melalui difusi melalui ruang antar sel, dan CO_2 yang dihasilkan selama respirasi juga berdifusi keluar dari sel dan masuk ke celah ini. Ketika O_2 berdifusi dari

lingkungan ke dalam produk pertanian melalui stomata di permukaan kulit, diikuti dengan difusi O_2 ke dalam sistem antar sel di ruang pori. Setelah itu, O_2 masuk ke dalam sel kemudian masuk ke dalam sitoplasma. Sitoplasma adalah bagian dari sel yang menggunakan dan memproses O_2 dan menghasilkan CO_2 dan H_2O selama respirasi (Gardjito et al., 2017).



Gambar 6.3. Stomata tertutup dan terbuka (Gardjito et al., 2017)



Gambar 6.4. Respirasi Aerob
(<https://blog.usaha321.net/respirasi-aerob/index.html>)

6.4 Pengaruh oksigen dan karbon dioksida pada kualitas buah

Misalnya, menyimpan produk segar di lingkungan dengan tingkat CO_2 tinggi dan O_2 rendah dapat menyebabkan masalah

pernapasan, asam terpendam, pembentukan asetaldehida, peningkatan kadar gula, penurunan jumlah zat terlarut dalam alkali, peningkatan kandungan total pektin, dan penghambatan proses degradasi klorofil. Karena ketersediaan O_2 yang rendah dan tingkat CO_2 yang tinggi, pernapasan menjadi sulit, yang mencegah pematangan, yang dapat meningkatkan umur simpan buah dan sayuran. Proses penumpukan asam diperlambat oleh penurunan respirasi, peningkatan kadar CO_2 , atau lebih banyak enzim.

Komposisi yang tidak tepat atau kemasan yang tidak memadai, efek penyimpanan yang merugikan dapat mengakibatkan kerusakan jaringan, daging buah rusak, rasa berubah, ketidakmampuan untuk matang, dan penumpukan asam organik. Tingkat CO_2 yang tinggi dapat melemahkan reaksi pematangan sintetik, menghambat beberapa enzim, mengurangi produksi senyawa dan rasa yang diperlukan, mengakumulasi asam organik, memperlambat degradasi pektin, mencegah sintesis klorofil dan menghilangkan warna hijau, mengubah proporsi gula yang berbeda. Menghasilkan bau dan rasa yang tidak diinginkan, meningkatkan pH, menurunkan kadar asam askorbat, mengubah warna daging, dan menghambat pertumbuhan jamur. Setiap bahan baku memiliki kondisi penyimpanan yang berbeda (CO_2 dan O_2) (Libyawati et al., 2017).

6.5 (Modified Atmosphere Storage/MAS) Metode Modifikasi Atmosfer

Teknologi untuk penyimpanan sekarang berkembang cukup cepat. Hal ini karena penyimpanan yang efektif akan menaikkan nilai barang yang disimpan. Penyimpanan yang menggunakan teknik *Modified Atmosfir Storage* (MAS) dan *Control Atmosfir Storage* (CAS) merupakan salah satu

pendekatan yang dapat digunakan untuk mengatasi masalah tersebut. Kemasan atmosfer yang dimodifikasi dikenal sebagai MAP dan penyimpanan atmosfer terkendali (*Control Atmosfir Storage/CAS*) adalah teknik baru yang banyak diterapkan untuk pengawetan produk pertanian, terutama untuk buah-buahan dan sayuran. Teknik-teknik ini digunakan untuk melengkapi manajemen suhu rendah untuk menunda pematangan, mengurangi gangguan fisiologis, dan menekan pembusukan pada banyak buah dan sayuran segar. (Soltani et al., 2015).

Jika buah dan sayuran disimpan di lingkungan dengan CO₂ tinggi dan O₂ rendah relatif terhadap udara normal, proses respirasi dan jaringan luka dapat terhambat. Metode yang disebut penyimpanan atmosfer terkendali (*Control Atmosfir Storage/CAS*) menggunakan kondisi yang dipertahankan secara terus menerus untuk menyimpan produk segar di atmosfer (udara) dengan kadar CO₂ tinggi dan O₂ yang rendah. Istilah "penyimpanan atmosfer termodifikasi" (*Modified Atmosfir Storage/MAS*) mengacu pada metode penyimpanan produk segar di atmosfer (udara) yang memiliki kandungan CO₂ tinggi dan kandungan O₂ rendah. Atmosfir ini dapat dikontrol sejak awal penyimpanan, tidak sama sekali, atau dengan menggunakan kemasan atau membran yang diatur secara khusus yang dapat mengontrol komposisi udara. Dengan menurunkan tekanan udara dan mempertahankan suhu rendah, penyimpanan hipobarik adalah teknik penyimpanan CAS yang terkontrol (Libyawati et al., 2017).

Perangkat yang disebut penyimpanan atmosfer termodifikasi (*Modified Atmosfir Storage/MAS*) dapat menunda penurunan kualitas dan meningkatkan umur simpan produk segar. Dengan menggunakan kemasan yang menetapkan kondisi konsentrasi tertentu melalui interaksi penyerapan dan respirasi buah yang disimpan, penyimpanan MAS adalah penyimpanan umum di mana konsentrasi O₂ menurun dan konsentrasi CO₂

meningkat (relatif terhadap udara normal). Penyimpanan dimaksudkan untuk menjaga mutu produk pertanian agar tidak cepat rusak. dan tetap lebih baik lebih lama (Gardjito et al., 2017).



Gambar 6.5. Penyimpanan CAS
(<https://www.anakagronomy.com/2017/06/sejarah-controlled-atmosphere-storage.html>)



Gambar 6.6. Penyimpanan MAS

Menggabungkan pendekatan penyimpanan dingin dengan ini dapat dicapai dengan mengelola kadar karbon dioksida dan oksigen di ruang pendingin. Konsentrasi gas karbon dioksida

dinaikkan sementara konsentrasi oksigen diturunkan untuk mengoperasikan sistem penyimpanan CAS dan MAS. CAS dan MAS berbeda yaitu CAS dilengkapi di tempat penyimpanan sedangkan MAS cukup di wadah tertutup (seperti kantong plastik).

Tabel 6.1. Kondisi untuk Penyimpanan Sistem Atmosfer Terkendali

Jenis Sayuran	Keterangan
Buncis	O ₂ rendah (2–3%) dan CO ₂ tinggi bersama-sama dapat mencegah menguning pada suhu 7 °C. Rasa dan aroma yang tidak enak mungkin disebabkan oleh terlalu banyak konsentrasi CO ₂ .
Brokoli	Pertumbuhan jamur dapat diperlambat dengan penyimpanan pada tingkat CO ₂ yang tinggi (5-20%) sambil mempertahankan warna hijau dan tekstur.
Kubis	Konsentrasi O ₂ (1-2,5%) dan CO ₂ (5,5%) dapat menunda penuaan, mencegah kehilangan rasa dan bau, mencegah menguning, dan mengurangi visibilitas bintik-bintik terkait virus.
Tomat	Pada suhu 13°C, konsentrasi O ₂ 3 persen tanpa CO ₂ dapat mempertahankan warna, rasa, dan bau selama enam minggu.
Wortel	Penyimpanan wortel selama 6 bulan pada suhu 2°C dan 1% hingga 2% O ₂ dimungkinkan.
Kacang Panjang	Kesegaran hingga 15 hari dapat dipertahankan pada suhu 15°C dengan konsentrasi O ₂ (9-12%) dan CO ₂ (2-8%)

Sumber: (Samad, M. Y., 2006)

Tabel 6.2. Kondisi atmosfer yang dimodifikasi yang direkomendasikan untuk beberapa buah dan sayuran.

	Produk	Temperatur (°C)	Rekomendasi Modifikasi atmosfer		Potensi
			O ₂ (%)	CO ₂ (%)	
Buah	Apel	0-5	1-3	1-5	Sangat Baik
	Apricot	0-5	2-3	2-3	Sedang
	Alpukat	5-13	2-5	3-10	Baik
	Pisang	12-15	2-5	2-5	Sangat Bik
	Ceri	0-5	3-10	10-15	Baik
	fig	0-5	5-10	15-20	Baik
	Anggur	0-5	2-5	1-3	Sedang
	Jeruk bali	10-15	3-10	5-10	Sedang
	kiwi	0-5	1-2	3-5	Sangat Bik
	lemon dan				
	Jeruk Nipis	10-15	5-10	0-10	Baik
	Mangga	10-15	3-5	5-10	Sedang
	Zaitun	5-10	2-3	0-1	Sedang
	Jeruk buah	5-10	5-10	0-5	Sedang
	persik dan nektarin	0-5	1-2	3-5	Baik
	Pir	0-5	1-3	0-3	Sangat Baik
	Kesemek	0-5	3-5	5-8	Baik
	plum	0-5	1-2	0-5	Baik
	Raspberry dan buah tebu				
	lainnya	0-5	5-10	15-20	Sangat Baik
	Kismis				
	Merah	0-2	5-10	15-20	Sangat Baik

	Produk	Temperatur (°C)	Rekomendasi Modifikasi atmosfer		Potensi
			O ₂ (%)	CO ₂ (%)	
	Stroberi	0-5	5-10	15-20	Sangat Baik
Sayuran	Asparagus	0-5	Air	5-10	Sangat Baik
	Kacang	5-10	2-3	4-7	Sedang
	Brokoli	0-5	1-2	5-10	Sangat Baik
	brussels				
	sprout	0-1	2-4	4-6	Sangat Baik
	Kubis	0-5	2-3	3-6	Sangat Baik
	Blewah	3-7	3-5	10-15	Baik
	Seledri	3-5	1-4	0-5	Baik
	Sawi putih	5	2-3	5-10	Sangat Baik
	Jagung manis	0-5	2-4	5-10	Baik
	Mentimun	8-12	3-5	0	Sedang
	Daun				
	Bawang	0-5	1-2	3-5	Baik
	Selada	0-5	1-3	0	Baik
	Bawang merah	0-5	1-2	2-5	Baik
	Lada	8-12	3-5	0	Sedang
	Bayam	0-5	Air	0-20	Baik
	Tomat	12-20	3-5	0-3	Baik

Sumber: (Soltani et al., 2015)

DAFTAR PUSTAKA

- Gardjito, M dan Swasti, R. Y. (2017). Fisiologi Pascapanen Buah dan Sayur. Gajah Mada University Press. Yogyakarta.
- Libyawati, W., Suwandi, A., & Agustian, H. (2017). *Rancang Bangun Teknologi Modified Atmosphere*. 9(2), 103–116.
- Samad, M. Y. (2006). *Terhadap Mutu Komoditas Hortikultura*. Jurnal Sains dan Teknologi Indonesia Vol. 8 No. 1 April 2006 Hlm. 31-36.
- Soltani, M. Alimardani, R., Mobli, H. And Mohtasebi, S.S. (2015). *Modified Atmosphere Packaging ; A Progressive Technology for Shelf-Life Extension of Fruits and Vegetables*. 33–59.
- Sudjatha. W dan Wisaniyasa. W. N. (2017). Fisiologi dan Teknologi Pascapanen (Buah dan Sayur). Udayana University Press. Denpasar.
- Susilo, B., Agustiningrum, D. A., & Indriani, D. W. (2016). *Pengaruh Penyimpanan Atmosfer Termodifikasi (Modified Atmosphere Storage / MAS) terhadap Karakteristik Jamur Tiram Putih (Pleurotus ostreatus)*. 36(4), 4–12.

BAB 7

KERUSAKAN PATOLOGIS PASCAPANEN

Oleh Rizka Mulyani

7.1 Pendahuluan

Kerusakan patologis pascapanen merupakan kerusakan yang disebabkan oleh penyakit dan mikroba patogen yang berasal dari bakteri dan jamur pada komoditas hortikultura (buah-buahan dan sayur segar). Kerusakan ini kerap muncul pada daerah tropik dengan suhu (20-40°C) dan kelembaban yang tinggi sehingga mendorong pertumbuhan mikrobial dengan cepat. Suhu yang tinggi merupakan kondisi yang tepat untuk multiplikasi mikroorganisme, sedangkan kelembaban yang tinggi dapat menyebabkan mikroorganisme lebih aktif dan menyebabkan kemunduran mutu dari produk pasca panen.

Selain disebabkan oleh faktor iklim, kondisi sosial-ekonomi juga turut menjadi faktor dalam kerusakan patologis pada komoditas hortikultura. Beberapa negara berkembang atau negara dunia ketiga (*third-world country*) kerap kali memiliki pengetahuan yang kurang terhadap proses pascapanen, sehingga sangat rentan menyebabkan terjadinya transportasi yang buruk, tidak adanya fasilitas penyimpanan pascapanen yang baik, penanganan pascapanen, transportasi, dan pengemasan. Penyakit pascapanen buah dan sayuran merupakan penyebab utama hilangnya buah dan sayuran (*food loss*). Setiap tahun, penyakit ini menyebabkan kerugian ekonomi

tidak hanya selama penanganan tetapi juga selama penyimpanan dan transportasi (Mansyur, 2020).

Penyakit patologis pascapanen dapat diklasifikasikan menjadi infeksi *latent* dan *quiescent* berdasarkan bagaimana infeksi dimulai. Infeksi *latent* dan *quiescent* artinya adalah infeksi saat patogen menginisiasi infeksi pada suatu saat (biasanya sebelum panen), tetapi kemudian memasuki periode tidak aktif atau dormansi sampai status fisiologis jaringan inang mengalami perubahan sehingga infeksi dapat berlanjut. Perubahan fisiologis dramatis yang terjadi selama pemasakan buah sering kali menjadi pemicu reaktifasi infeksi yang diam. Contoh penyakit pascapanen yang timbul dari infeksi *latent* adalah antraknosa, penyakit pascapanen berbagai buah tropis yang disebabkan oleh *Colletotrichum spp.*

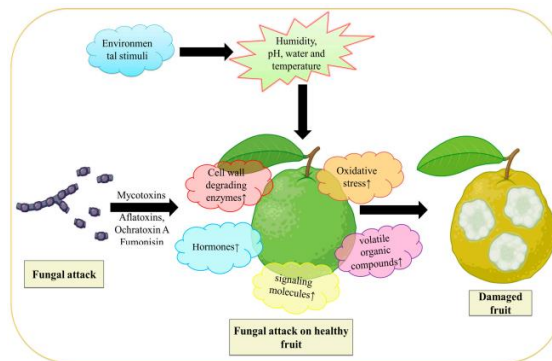
Kerusakan patologis pascapanen ini dimulai selama pertumbuhan tanaman dan perkembangan tanaman atau selama komersialisasi produk. Patogen yang muncul umumnya merupakan organisme saprofit atau patogen lemah (oportunistik), tetapi terkadang merupakan organisme nektrotrofik yang hanya dapat menyebabkan penyakit ketika pertahanan mekanis dan kimiawi dari bagian tumbuhan yang masih hidup berkurang.

Kerusakan pascapanen patologis pascapanen disebabkan oleh infeksi oleh luka dari kerusakan mekanis atau luka akibat serangan pada bagian permukaan. Luka tidak harus besar untuk mampu menyebabkan infeksi, namun kerap kali disebabkan oleh luka dengan ukuran mikroskopik. Penyakit pascapanen yang disebabkan oleh infeksi luka termasuk blue mould dan green mould yang disebabkan oleh *Penicillium spp.* Bakteri seperti *Erwinia carotovora* penyebab terjadinya busuk lunak pada komoditas umbi.

7.2 Mekanisme Perlindungan dan Pertahanan Host terhadap Patogen

7.2.1 Proses infeksi host oleh patogen

Infeksi buah dan sayuran oleh patogen pascapanen dapat terjadi sebelum, selama, atau setelah panen. Kebanyakan patogen pascapanen tidak dapat langsung penetrasi ke kutikel inang. Patogen dapat menginfeksi permukaan yang terluka atau bukaan alami seperti stomata dan lentisel. Luka dapat bervariasi ukurannya mulai dari yang tampak jelas hingga yang hanya mampu dilihat di mikroskop. Luka mekanis seperti potongan, abrasi, dan dampak tekanan terjadi sebelum proses panen sehingga sulit dideteksi pada saat grading, sehingga menyediakan tempat infeksi yang ideal bagi mikroorganisme patogen pascapanen.



Gambar 7.1. Mekanisme infeksi jamur pada buah-buahan
(Sumber : Bano et al., 2023)

Berdasarkan **Gambar 7.1**, pada buah, membran kutikula berfungsi sebagai lapisan pertahanan utama terhadap jamur. Invasi ke dalam jaringan buah dan terjadinya mekanisme pertahanan ini adalah langkah pertama dalam proses infeksi yang berhasil. Kematangan buah, kandungan tanin pada

permukaan buah, stadium perkembangan, dan aktivitas air pada buah semuanya berdampak pada invasi jamur ke dalam jaringan buah. Patogen yang berbeda masuk melalui banyak titik masuk di sepanjang rantai pasokan dan selama berbagai fase produksi buah. Di lahan pertanian, laten tertentu penyakit memulai siklus infeksinya selama pertumbuhan buah dan bunga. Saat buah mekar, *Botrytis cinerea* menginfeksi dan kemudian menjadi dorman hingga buah matang. Cara yang paling mungkin bagi penyakit untuk memasuki buah adalah dengan kerusakan dari serangga vektor, dan peningkatan difusi infeksi jamur pada tandan disebabkan oleh perubahan populasi dan perilaku serangga vektor. Demikian pula, *microcracks* di kutikula membran buah memiliki peran penting dalam meningkatkan kejadian penyakit dan kerusakan mekanis pada buah. Infeksi jamur juga dapat terjadi pada buah-buahan selama rantai pasokan, termasuk langkah-langkah berikut : pengambilan, penyortiran, pengepakan dan pengangkutan, distribusi, penyimpanan dingin, penjualan eceran, dan konsumsi. Penanganan yang salah dan kerusakan fisik dan mekanis adalah penyebab utama hilangnya buah dalam rantai pasokan, dan cedera ini berperan sebagai rute masuk untuk jamur patogen (Bano et al., 2023).

Salah satu contoh penyakit pascapanen yang paling serius dari berbagai buah di tropis dan sub tropis adalah Antraknosa. Penyakit ini menyerang mangga, pisang, pepaya, alpukat. Penyakit ini timbul melalui infeksi *quiescent* sebelum panen. Antraknosa merupakan penyakit serius yang menyerang sayur-sayuran (contoh : kacang) dan buah-buahan temperate (contoh : strawberry). Berbagai spesies *Colletotrichum* dapat menyebabkan terjadinya antraknosa. Beberapa spesies seperti *C. musae* memiliki sifat *host-spesifik*, sedangkan yang lain mampu menyerang berbagai jenis buah-buahan dan sayur-sayuran (*C. gloeosporioides*). Proses infeksi dimulai ketika konidia pada

kapang bergerminasi di permukaan jaringan host untuk memproduksi *germ tube* dan sebuah appressorium. Walaupun belum diketahui secara pasti apakah appressorium germinasi atau tidak bergerminasi pada kapang yang mewakili fase *quiescent*. Kesimpulan hingga saat ini bahwa kapang berperilaku berbeda pada masing-masing host.

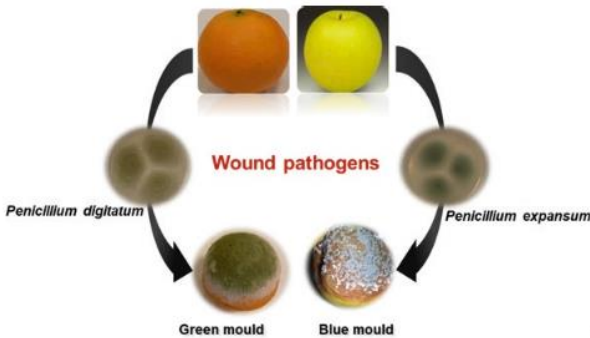
7.2.2 Strategi pertahanan inang terhadap patogen

Tumbuhan merespon serangan patogen melalui mekanisme pertahanan yang berbeda, seperti mekanisme perlindungan penghalang struktural, bawaan (*innate*) atau mekanisme pertahanan yang dibetuk sebelumnya. Penghalang struktural merupakan mekanisme perlindungan paling awal pada tumbuhan yang terdiri atas kutikula lilin dan dinding sel atau senyawa antimikrobia yang berfungsi untuk mencegah kolonisasi pada jaringan. Ketika penghalang struktural ini sudah dihancurkan, maka tumbuhan akan merespon infeksi melalui mekanisme dua cabang perlawanan bawaan. Cabang pertama perlawanan bawaan akan mengenali dan merespon kepada *pathogen-associated-molecular-patterns* (PAMPs). Tipe respon imun ini kerap kali disebut sebagai *PAMP-triggered immunity*. Patogen telah berevolusi penggunaan efektor yang mengganggu imunitas yang dipacu oleh PAMP dan mengakibatkan kerentanan yang dipacu oleh efektor. Kemudian, pada cabang kedua pada sistem imun bawaan, patogen efektor akan dikenali oleh protein resisten sehingga menghasilkan imunitas yang dipacu oleh efektor. Cabang kedua imunitas ini mampu menekan patogen lain, sehingga menyebabkan evolusi kompleks antara interaksi host dengan mikrobia (Spadaro et al., 2021).

7.2.2.1 Strategi pertahanan pada apel dan jeruk

Apel dan jeruk menggunakan respon pertahanan berupa proses respon luka dan melalui penguatan dinding sel. *P. digitatum* dan *P. expansum* merupakan jamur yang mampu

menyebabkan infeksi pada buah ketika terdapat luka pada buah (**Gambar 7.2**). Penelitian mengenai proses perlukaan pada jeruk dan appel menunjukkan bahwa proses respon penyembuhan luka dipengaruhi oleh suhu dan kelembaban. Suhu harus cukup tinggi untuk mempercepat perkembangan reaksi metabolik yang terlibat pada proses penyembuhan dan kelembaban harus cukup untuk mencegah kekeringan yang menyebabkan kerusakan pada jaringan tumbuhan. Secara umum, suhu di atas 10 °C dan nilai kelembaban lebih dari 85% penting untuk memulai proses respon penyembuhan luka (Vilanova, Viñas, et al., 2014 ; Vilanova, Wisniewski, et al., 2014).



Gambar 7.2. Patogen pascapanen utama jeruk dan apel, *Penicillium digitatum* dan *P. expansum*, masing-masing
(Sumber : Vilanova, Viñas, et al., 2014)

Respon pertahanan melalui proses penyembuhan luka dengan penguatan dinding sel memiliki hubungan dengan akumulasi fenolik dan komponen mirip lignin pada penebalan dinding sel disekitar luka yang muncul. Penguatan dinding sel tersebut mampu efektif melindungi buah dari infeksi patogen. Berdasarkan penelitian yang dilakukan (Spadaro et al., 2021), diketahui bahwa jeruk dan apel mampu mempertahankan diri melalui mekanisme penguatan dinding sel ditunjukkan dengan peningkatan kandungan lignin tujuh hari setelah inokulasi,

secara berturut-turut (Vilanova, Teixidó, et al., 2012; Vilanova, Viñas, et al., 2012). Ditambahkan oleh (Sun et al., 2017) diketahui bahwa kandungan fenolik pada appel (procyanidins, sihydrochalocone, flavonols, dan hydroxycinna) memiliki korelasi dengan kemampuan appel dalam merespon luka.

7.2.2.2 Strategi pertahanan pada sayuran

Strategi pertahanan pada sayuran dapat dibagi menjadi dua, yaitu melalui pertahanan pasif dan aktif. Pertahanan fisik termasuk di dalamnya yaitu wax, kutikel, dinding sel, stomata, dan lentisel. Untuk mendapatkan akses ke nutrisi yang tersedia di dalam sel inang, patogen pertama-tama harus menembus penghalang alami yang dihadirkan oleh tanaman sehat. Penghalang ini mungkin fisik (kutikula, dinding sel, lubang stomata atau lentisel) atau kimia (termasuk senyawa penghambat atau tidak adanya senyawa perangsang yang diperlukan untuk pengembangan patogen). Saprofit tidak memiliki kemampuan untuk menembus penghalang alami ini. Pertahanan aktif dapat dibagi menjadi dua, yaitu pertahanan cepat dan lambat. Pertahanan cepat berupa fungsi membran, penguatan dinding sel, kematian sel *hypersensitive*, dan akumulasi fitoalexin. Sedangkan, pertahanan lambat terdiri dari protein yang berkaitan dengan protein, pertahanan sistemik, dan penahanan patogen (Guest and Brown, no date; Spadaro, Droby and Gullino, 2021).

7.3 Penyakit pascapanen pada sayur dan buah

Penyakit pascapanen dapat menyerang komoditas sayur dan buah. Beberapa penyakit pada sayur dan buah beserta dengan organisme penyebab dan ciri-ciri yang muncul pada penyakit akan dibahas pada Tabel 7.1.

Tabel 7.1. Penyakit pascapanen pada sayur dan buah

Penyakit pascapanen pada sayur				
No	Komoditas	Penyakit	Organisme penyebab	Sumber
1	Bawang (<i>Allium cepa</i>)	<i>Black mold rot</i>	<i>Aspergillus niger, Fusarium oxysporum</i>	(Gálvez & Palmero, 2022)
2	Tomat (<i>Solanum lycopersicum</i>)	<i>Grey mold</i>	<i>Botrytis cinerea, Botryotinia fuckeliana</i>	(Sarven et al., 2020)
		<i>Watery soft rot</i>	<i>Sclerotinia spp</i>	(Akbar Khan et al., 2014)
3	Kentang (<i>Solanum tuberosum</i>)	<i>Dry rot</i>	<i>Fusarium spp., Gibberella spp</i>	(Tiwari et al., 2020)
		<i>Black scurf</i>	<i>Rhizoctonia solani, Thanatephorus cucumeris</i>	(Kumar et al., 2017)
Penyakit pascapanen pada buah				
1.	Jeruk (<i>Citrus spp.</i>)	<i>Blue mold</i>	<i>Penicillium italicum</i>	(Iqbal et al., 2012)
		<i>Green mold</i>	<i>Penicillium digitatum</i>	(Iqbal et al., 2012)
2.	Mangga (<i>Mangifera indica</i>)	<i>Anthracnose</i>	<i>Colletotrichum gloeosporioides, Glimerella cingulata</i>	(Plant Disease Mango Anthracnose (<i>Colletotrichum Gloeosporioides</i>), 2008)
3	Pisang (<i>Musa paradisica</i>)	<i>Anthracnose</i>	<i>Colletrichum musa</i>	(Damasceno et al., 2019)
		<i>Crown rot</i>	<i>Fusarium, verticillium, Colletotrichum musae</i>	(Lassois & de Bellaire, 2014)

1. *Grey mold disease/Botrytis*

Penyakit ini disebabkan oleh jamur pathogen yaitu *Botrytis cinereal*. Penyakit ini berkembang selama proses pengolahan, baik sayur maupun buah. Kondisi hujan dengan angin atau kabut yang kencang menyebabkan inisiasi penyakit ini. Ciri-ciri penyakit ini dapat dilihat dari lesi berair dengan bagian tengah yang berwarna coklat muda hingga gelap. Bagian yang terdampak akan berubah menjadi masa lembut berair. Area yang terinfeksi akan memiliki miselium abu-abu dan spora akan nampak pada jaringan yang terinfeksi (Sarven et al., 2020). Contoh komoditas yang terdampak oleh penyakit ini dapat dilihat pada **Gambar 7.3**.

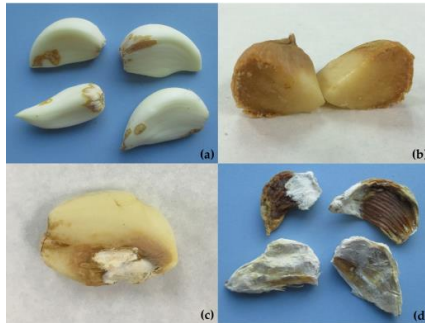


Gambar 7.3. *Gray mold/ Botrytis*
(Sumber: Wolrd Tomato Society)

2. *Black mold rot*

Penyakit ini disebabkan oleh jamur *Aspergillus niger*. Spora bermassa hitam diproduksi pada bagian luar dan diantara umbi. Sisik luar atau leher akan menunjukkan guratan hitam karena pertumbuhan jamur gelap. Area memar juga bisa dihitamkan. Awalnya jaringan yang terinfeksi terlihat air basah kuyup; mereka kemudian menjadi kering dan layu, dengan massa spora hitam terlihat di antara bagian luar. Penampakan bawang

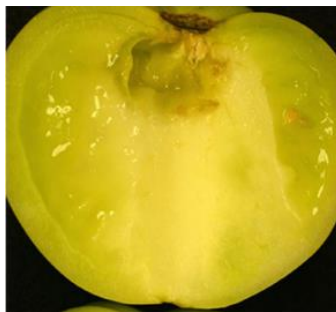
putih yang terinfeksi black mold rot dapat dilihat pada **Gambar 7.4.**



Gambar 7.4. Black mold rot pada bawang putih
(Sumber: Gálvez and Palmero, 2022)

3. *Watery soft rot*

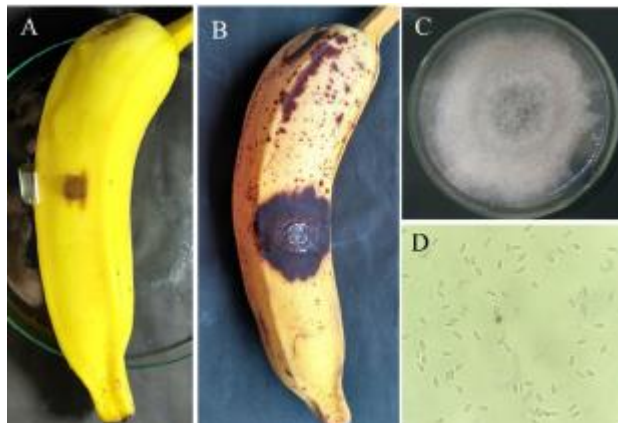
Watery soft rot merupakan penyakit yang paling banyak menyebabkan food loss disbanding dengan penyakit lain yang disebabkan bakteri. Soft rot mampu mendegradasi molekul pektat yang mengikat tanaman sehingga menyebabkan struktur tanaman menjadi tidak utuh (**Gambar 7.5**) (Khan et al., 2014).



Gambar 7.5. *Watery soft rot*
(Sumber: (Bartz et al., 2014)

4. Anthraknosa

Penyakit ini disebabkan oleh jamur patogen *Colletotrichum musarum*. Gejala penyakit muncul pada buah pisang yang masak adalah buah menunjukkan bintil-bintil atau bercak-bercak busuk berwarna hitam. Bintik-bintik tersebut dapat menjadi bintik-bintik yang tidak beraturan atau melingkar pada kulit. Bintik-bintik ini menjadi cekung dan menyatu membentuk bintik-bintik besar. Buah yang terinfeksi parah menjadi gelap karena noda. Massa konidia muncul pada daerah yang terinfeksi berwarna coklat muda tertekan lesi menyatu dan menutupi seluruh buah (**Gambar 7.6**).



Gambar 7.6. Antraknosa pada pisang
(Sumber: Damasceno et al., 2019)

5. Green dan blue mold

Jamur hijau dan biru pada jeruk merupakan penyakit yang disebabkan oleh *Penicillium digitatum* dan *Penicillium italicum*. Kedua jenis jamur merupakan pathogen yang kerap kali muncul pada jeruk dan menyebabkan kerugian pada fase sebelum dan pascapanen. Kedua patogen ini bersifat neutrotrof, masuk ke dalam buah melalui luka yang disebabkan kesalahan

transportasi selama proses pemanenan. Sebagai dampak dari infeksi bakteri ini, buah akan menjadi kehijauan, mengkerut dan berubah menjadi lubang pada permukaan buah (**Gambar 7.7**) (Iqbal et al., 2012).



Gambar 7.7. Blue and green mold pada jeruk
(Sumber: Palou, 2014)

7.4 Metode Kontrol Kerusakan Patologis Pascapanen

7.4.1 Metode kontrol fisik

Penyakit pascapanen buah-buahan mungkin dikendalikan oleh berbagai perawatan fisik, seperti sebagai, penyimpanan suhu rendah, suhu tinggi perawatan, medan magnet dan radiasi. Itu berbagai radiasi termasuk suara, ultrasound, radio, microwave, inframerah, cahaya tampak, ultraviolet, sinar-X, sinar gamma dan katoda spektrum sinar. Beberapa sangat mampu mengeliminasi, namun metode lainnya kurang efektif. Terdapat beberapa metode fisik yang dibahas pada chapter ini, diantaranya : perlakuan panas, UV-C, dan penyimpanan dingin.

1. Panas

Banyak literatur yang membahas mengenai penggunaan panas dalam menangani penyakit pascapanen di daerah sub-tropis dan tropis. Perlakuan panas dapat diberikan pada tanaman yang telah dipanen melalui *hot water dip* (WD),

vapor heat treatment (VHT), *hot dry air* (HDA) atau *perendaman dengan air panas dalam waktu singkat* (VSWR) dan brushing (Usall et al., 2016).

Penggunaan panas memiliki efek langsung pada komoditas pascapanen melalui pembunuhan spora atau penghambatan perpanjangan *germ tube*, sehingga mampu mengurangi inokulum (3-4 log cfu) dan meminimalisir kebusukan. Perlakuan panas dapat juga berdampak secara tidak langsung dengan cara mengubah fisiologi jaringan buah dan menginduksi komponen pertahanan lainnya. Beberapa penelitian baru-baru ini menunjukkan bahwa perlakuan panas mampu mengubah kestabilan membran, mengaktivasi channel kalsium, dan menyebabkan perubahan di level transkriptom, proteome, lipodome, dan metabolome untuk mencapai thermotolerance oleh tanaman (Lurie and Pedreschi, 2014). Tabel 2 menunjukkan beberapa penelitian sebelumnya yang dilakukan menggunakan perlakuan panas pada beberapa komoditas.

Tabel 7.2. Perlakuan panas untuk pengendalian penyakit pada komoditas hortikulutra

Komoditas	Target patogen	Penyakit	Perlakuan panas
Pepaya	<i>C. gloeosporioides</i>	Anthrachnose	HWD : 48 °C, 20 menit ; 54°C 3-4 menit
Appel	<i>Botryosphaeria dothidea</i>	White rot	HWRB : °C 30 s
Pisang	<i>Chalara paradoxa</i> ; <i>natural infections</i>	Crown rot	HWD : 45°C 20 menit ; 50°C 10-20 menit

Komoditas	Target patogen	Penyakit	Perlakuan panas
Mangga	<i>Colletotrichum gloeosporioides</i> , <i>Lasiodiplodia theobromae</i> , <i>Alternaria alternata</i>	Anthracnose, stem-end rot, black spot disease	HWD : 52°C, 2 min HWRB : 59°C 15 s

Keterangan : HWRB : *Hot water rinse brushing* ; HWD : *hot water dip*.
(Sumber : Usall et al., 2016)

2. Irradiasi UV-C

Diantara perlakuan fisik, ultraviolet-C menunjukkan perspektif aplikasi yang menarik karena aktivitas langsung terhadap patogen dan resistensi induksi pada inang. Resistensi yang diinduksi terhadap penyakit dengan penerapan dosis rendah atau sub-mematikan sinar UV-C adalah hasil dari fenomena yang disebut hormesis. Hormesis adalah stimulasi efek menguntungkan oleh dosis rendah dari agen yang berpotensi berbahaya.

Dalam beberapa dekade terakhir iradiasi UV-C telah diuji sebagai pengobatan pascapanen untuk menunda pertumbuhan jamur dan pada buah dan sayur. Sinar UV-C efektif dalam mengurangi jumlah buah kiwi yang terinfeksi dan mengurangi diameter lesi *B. cinerea* pada buah kiwi dan anggur yang diinokulasikan dengan patogen setelah penyinaran UV-C dengan dosis 2.2-4.4 kJ m⁻². Dosis rendah UV-C juga efektif dalam mengurangi penyakit pascapanen pada ubi jalar (Stevens et al., 1990), wortel (Mercier & Arul, 1993), anggur (Droby et al., 1993), selada romain (Ouhibi et al., 2015).

Penggunaan UV-C efektif terhadap penyakit disebabkan oleh bakteri, seperti busuk lunak yang disebabkan oleh *Pectobacterium carotovorum* subsp. *Carotovorum*, tanpa mempengaruhi kacang kecambah (Rocha et al., 2015) dan

dalam mengurangi *Pseudomonas tolaasii* yang mempengaruhi jamur *Agaricus bisporus* (Guan et al., 2012).

3. Penyimpanan dingin

Penyimpanan dingin merupakan metode fisik utama untuk memperlambat atau mengurangi penyakit abiotik dan abiotik pada buah dan sayuran segar. Kemunduran mutu buah dan sayuran tergantung suhu, laju respirasi, dan stress yang disebabkan oleh proses pemanenan dan penanganan pascapanen. Menurunkan suhu produk secepat mungkin setelah panen akan menjaga kualitas tetap baik hingga sampai ke konsumen. Penanganan pada suhu rendah bukan merupakan perlakuan antifungal, namun perlakuan dingin mampu mempengaruhi inang dan patogen secara simultan.

Suhu rendah mampu mempengaruhi secara langsung dan tidak langsung. Pengaruh langsung melalui mencegah atau menghambat pertumbuhan dan aktivitas enzimatis dari patogen. Pengaruh tidak langsung adalah melalui mengurangi metabolisme inang sehingga berkontribusi dalam menjaga resistensi buah terhadap jamur. Suhu minimum untuk pertumbuhan spesies jamur adalah 0°C. Beberapa spesies lain mampu untuk tumbuh pada suhu -4°C (*Cladosporium herbarum*), -3°C (*Alternaria alternata*), dan -3°C (*Penicillium expansum*). Untuk mikroorganisme yang mampu tumbuh di bawah suhu 0°C, penyimpanan dingin hanya akan mencegah nampaknya bakteri, atau dengan kata lain hanya akan memperpanjang umur simpan (Usall et al., 2016).

Mempertimbangkan bahwa semakin dekat suhu minimum untuk pertumbuhan patogen dan semakin lama waktu inkubasi, maka perlakuan yang sering diberikan adalah menurunkan suhu penyimpanan serendah mungkin. Namun, kerentanan beberapa buah atau sayuran terhadap kerusakan akibat pendinginan membatasi kemungkinan ini, karena sensitivitas terkait dengan spesies, kultivar, musim, lokasi tanaman, durasi paparan, dan tingkat kematangan (Bakai-golan, 2001).

7.4.2 Metode kontrol kimia

Berbagai pendekatan mengenai kontrol pascapanen telah banyak dilakukan, namun kontrol kimia pada komoditas pascapanen merupakan metode yang paling banyak digunakan. Generasi pertama fungisida digunakan untuk mencegah infeksi penyakit pada buah-buahan tropis yang disebabkan oleh patogen penyebab luka seperti *Penicillium*, *Rhizopus*, *Aspergillus*, dan *Ceratocytis*. Zat kimia utama yang digunakan untuk mengontrol penyakit adalah benzimidazoles (thiabendazole, benomyl dan carbendazim) dan penghambat sterol (imazalil, prochloraz dan propiconazole). Zat kimia ini menyediakan fungsi kontrol yang baik untuk penyakit antraknose dan busuk ujung batang pada jeruk, pisang, mangga, pepaya, nanas, dan alpukat (Droby et al., 2011).

7.4.3 Metode kontrol biologi

Mekanisme kerja kontrol biologis sering diasumsikan memiliki hubungan kompleks antara host, patogen, antagonis, dan lingkungan yang terdiri dari beberapa proses seperti : kompetisi nutrisi dan ruang, parasitisme dan produksi enzim lytic, resistensi yang diinduksi dan produksi zat, dan seringkali lebih dari satu mekanisme terlibat (Nunes, 2012). Beberapa mekanisme kontrol biologi yang mungkin terjadi diantaranya :

1. Persaingan nutrisi dan ruang

Persaingan untuk nutrisi dan/atau ruang dipertimbangkan memainkan faktor penting dimana antagonis menekan bakteri patogen pada proses pascapanen. Hal ini telah dibuktikan pada beberapa penelitian dijelaskan pada **Tabel 7.3** :

Tabel 7.3. Penggunaan biocontrol pada beberapa komoditas hortikultura

No.	Komoditas	Biocontrol	Sumber
1.	Tomat	<i>Aureobasidium pullulans</i>	(Setiawan et al., 2022)
3.	Kiwi	<i>Debaryomyces hansenii</i>	(Chacón-Navarrete et al., 2022)
4.	Apel	<i>Metschnikowia pulcherrima</i>	(Saravanakumar et al., 2008; Steglińska et al., 2022)
5.	Apel	<i>P. agglomerans</i>	(Nunes et al., 2008)
6.	Jeruk dan apel	<i>Pantoea agglomerans</i> CPA-2	(Nunes et al., 2008)

Seperti yang dinyatakan sebelumnya, penyakit pascapanen utama adalah disebabkan oleh patogen yang muncul akibat luka. Untuk dapat bersaing dengan bakteri patogen tersebut, maka biokontrol harus ditumbuhkan dengan cepat dan harus mampu beradaptasi dengan baik pada lingkungan. Biokontrol yang digunakan akan menguras nutrisi yang ada pada luka komoditas hortikultura sehingga mencegah patogen untuk mampu memanfaatkan nutrisi tersebut untuk germinasi dan inisiasi proses infeksi (Nunes et al., 2001).

Nunes et al., 2008 melaporkan bahwa jeruk yang diberi perlakuan menggunakan bakteri *P. agglomerans* mampu bertahan selama 24 jam pada suhu 20°C sebelum disimpan pada penyimpanan dingin memiliki tingkat pembusukan lebih baik jika dibandingkan dengan kontrol. Penyimpanan pada suhu ini memungkinkan bakteri untuk tumbuh dengan optimal dan mengkolonisasi permukaan buah. Selain itu, dijelaskan secara spesifik oleh (Saravanakumar et al., 2008)

bahwa kompetisi nutrisi spesifik seperti iron menjadi mode aktivasi pada bakteri *M. pulcherrima* untuk mencegah pertumbuhan *Botrytis cinerea*, *Alternaria alternata* and *P. expansum*. Diketahui bahwa iron menjadi salah satu nutrisi penting untuk pertumbuhan fungi dan proses patogenesis.

2. Parasitisme dan produksi enzim litik

Perlekatan mikroorganisme pada hifa patogen menjadi faktor penting dari cara kerja kontrol biologi. Contohnya adalah perlekatan *Pichia membranefaciens* dan *Candida albicans* pada hifa *Monilinia fructicola* dilaporkan memiliki kemampuan yang kuat untuk mencegah meningkatnya pertumbuhan *Monilinia fructicola* sehingga dapat mencegah munculnya brown rot pada peach, plum, apricot, dan cherry. Brown rot merupakan suatu penyakit yang dihindari karena bersifat destruktif terutama pada buah-buahan (Desai, 2018; Zhang et al., 2017).

3. Substansi antimikrobia

Produksi antibiotik bertanggungjawab sebagai salah satu aktivitas biokontrol pada beberapa bakteri antagonis dan jamur antagonis. Contohnya pada bakteri antagonis *Pseudomonas syringae* pada jeruk yang menghasilkan syringomycin E. Syringomycin E merupakan *antifungal cyclic lipodepsinonapeptide* (Stock et al., 2000) yang efektif dalam mencegah munculnya jamur *Penicillium* pada jeruk (Nguyen et al., 2017). Jurnal lain menjelaskan bahwa produksi substansi antibiotik yang diproduksi oleh mikroorganisme ini bukan menjadi satu-satunya faktor yang berperan dalam mengontrol patogen, beberapa faktor penting diantaranya adalah pertumbuhan yang cepat dan kolonisasi luka serta kemampuan untuk berkompetisi dari mikroorganisme yang terlibat.

Untuk mampu berperan sebagai agen kontrol agen biologi yang ideal, maka terdapat beberapa persyaratan yang harus dipenuhi, diantaranya yaitu harus memiliki genetik yang stabil, efektif dalam konsentrasi rendah melawan berbagai jenis patogen, mampu bertahan pada kondisi lingkungan yang ekstrim, simpel dan tidak membutuhkan nutrisi yang mahal, tidak mahal untuk diproduksi dan diformulasikan dengan masa simpan yang panjang, resisten terhadap pestisida yang umum digunakan, dan bersifat non-patogen bagi manusia dan komoditas host (Nunes, 2012).

DAFTAR PUSTAKA

- Akbar Khan, A., Khan, G., & Sartaj Alam, S. (2014). Effect of Phytobiocides in Controlling Soft Rot of Tomato. *Journal of Natural Sciences Research* 4(11).
- Bakai-golan, R. (2001). *Postharvest Diseases of Fruits and Vegetables Development and Control* (1st ed., Vol. 1). Elsevier.
- Bano, A., Gupta, A., Prusty, M. R., & Kumar, M. (2023). Elicitation of Fruit Fungi Infection and Its Protective Response to Improve the Postharvest Quality of Fruits. *Stresses*, 3(1), 231–255. <https://doi.org/10.3390/stresses3010018>
- Bartz, J. A., Sargent, S. A., & Mahovic, M. (2014). *Guide to Identifying and Controlling Postharvest Tomato Diseases in Florida* 1. <http://edis.ifas.ufl.edu>.
- Chacón-Navarrete, H., Ruiz-Pérez, F., Ruiz-Castilla, F. J., & Ramos, J. (2022). Exploring Biocontrol of Unwanted Fungi by Autochthonous *Debaryomyces hansenii* Strains Isolated from Dry Meat Products. *Journal of Fungi*, 8(8). <https://doi.org/10.3390/jof8080873>
- Damasceno, C. L., Duarte, E. A. A., dos Santos, L. B. P. R., de Oliveira, T. A. S., de Jesus, F. N., de Oliveira, L. M., Góes-Neto, A., & Soares, A. C. F. (2019). Postharvest biocontrol of anthracnose in bananas by endophytic and soil rhizosphere bacteria associated with sisal (*Agave sisalana*) in Brazil. *Biological Control*, 137. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2019.104016>
- Desai, J. V. (2018). *Candida albicans* hyphae: From growth initiation to invasion. In *Journal of Fungi* (Vol. 4, Issue 1). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/jof4010010>

- Droby, S., Chalutz, E., Horev, B., Cohen, L., Gaba, V., & Wisniewski, M. (1993). Factors affecting UV-induced resistance in grapefruit against the green mould decay caused by *Penicillium digitatum*. In *Plant Pathology* (Vol. 42).
- Droby, S., Wisniewski, M., & Benkeblia, N. (2011). Postharvest pathology of tropical and subtropical fruit and strategies for decay control. In *Postharvest Biology and Technology of Tropical and Subtropical Fruits* (Vol. 1, pp. 194–223). Elsevier Ltd.
<https://doi.org/10.1533/9780857093622.194>
- Gálvez, L., & Palmero, D. (2022). Fusarium Dry Rot of Garlic Bulbs Caused by *Fusarium proliferatum*: A Review. In *Horticulturae* (Vol. 8, Issue 7). MDPI.
<https://doi.org/10.3390/horticulturae8070628>
- Guan, W., Fan, X., & Yan, R. (2012). Effects of UV-C treatment on inactivation of *Escherichia coli* O157: H7, microbial loads, and quality of button mushrooms. *Postharvest Biology and Technology*, 64(1), 119–125.
<https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2011.05.017>
- Guest, D., & Brown, J. (1997). *Plant Defences Against Pathogens*.
- Iqbal, Z., Singh, Z., Khangura, R., & Ahmad, S. (2012). Management of citrus blue and green moulds through application of organic elicitors. *Australasian Plant Pathology*, 41(1), 69–77. <https://doi.org/10.1007/s13313-011-0091-5>
- Kumar, V., Bagri, R., Kumari, M., & Bagri, C. R. (2017). Management of black scurf disease of potato using chemicals Penflufen and Boric acid Root rot pathogen View project ACIRP on Vegetable View project Management of black scurf disease of potato using chemicals Penflufen and

Boric acid. *International Journal of Chemical Studies*, 5(4), 83–85.

- Lassois, L., & de Bellaire, L. de L. (2014). Crown Rot Disease of Bananas. In *Postharvest Decay: Control Strategies* (pp. 103–130). Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-411552-1.00003-X>
- Lurie, S., & Pedreschi, R. (2014). Fundamental aspects of postharvest heat treatments. In *Horticulture Research* (Vol. 1). Nature Publishing Group. <https://doi.org/10.1038/hortres.2014.30>
- Mansyur, A. R. (2020). Dampak COVID-19 Terhadap Dinamika Pembelajaran Di Indonesia. *Education and Learning Journal*, Vol. 1, No, 113–123.
- Mercier, J., & Arul, J. (1993). Effect of UV-C on Phytoalexin Accumulation and Resistance to *Botrytis cinerea* in Stored Carrots. In *J. Phytopathology* (Vol. 139).
- Nguyen, H. T., Nguyen, N. H., Nguyen, H. T., Nguyen, T. H. H., Harsharnjit, S. G., Nguyen, M. H., & Dong, V. Q. (2017). Enhancing the production of syringomycin E in *Pseudomonas syringae* pv *syringae* by random mutagenesis and molecular characterization of the SyrB1 gene. *African Journal of Biotechnology*, 16(15), 791–800. <https://doi.org/10.5897/ajb2016.15744>
- Nunes, C. A. (2012). Biological control of postharvest diseases of fruit. *European Journal of Plant Pathology*, 133(1), 181–196. <https://doi.org/10.1007/s10658-011-9919-7>
- Nunes, C., Bajji, M., Stepien, V., Manso, T., Torres, R., Usall, J., & Jijakli, M. H. (2008). Development and application of a SCAR marker to monitor and quantify populations of the postharvest biocontrol agent *Pantoea agglomerans* CPA-2.

- Postharvest Biology and Technology*, 47(3), 422–428.
<https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2007.07.016>
- Nunes, C., Usall, J., Teixidó, N., Miró, M., & Viñas, I. (2001). Nutritional enhancement of biocontrol activity of *Candida sake* (CPA-1) against *Penicillium expansum* on apples and pears. In *European Journal of Plant Pathology* (Vol. 107).
- Ouhibi, C., Attia, H., Nicot, P., Urban, L., Lachaâl, M., & Aarrouf, J. (2015). Effect of UV-C Radiation on Resistance of Romaine Lettuce (*Lactuca sativa* L.) Against *Botrytis cinerea* and *Sclerotinia minor*. *Journal of Phytopathology*, 163(7–8), 578–582. <https://doi.org/10.1111/jph.12357>
- Palou, L. (2014). *Penicillium digitatum*, *Penicillium italicum* (Green Mold, Blue Mold). In *Postharvest Decay: Control Strategies* (pp. 45–102). Elsevier Inc.
<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-411552-1.00002-8>
- Plant Disease Mango anthracnose (Colletotrichum gloeosporioides)*. (2008).
<http://www.ctahr.hawaii.edu/freepubs>
- Rocha, A. B. O., Honório, S. L., Messias, C. L., Otón, M., & Gómez, P. A. (2015). Effect of UV-C radiation and fluorescent light to control postharvest soft rot in potato seed tubers. *Scientia Horticulturae*, 181, 174–181.
<https://doi.org/10.1016/j.scienta.2014.10.045>
- Saravanakumar, D., Ciavarella, A., Spadaro, D., Garibaldi, A., & Gullino, M. L. (2008). *Metschnikowia pulcherrima* strain MACH1 outcompetes *Botrytis cinerea*, *Alternaria alternata* and *Penicillium expansum* in apples through iron depletion. *Postharvest Biology and Technology*, 49(1), 121–128. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2007.11.006>

- Sarven, M. S., Hao, Q., Deng, J., Yang, F., Wang, G., Xiao, Y., & Xiao, X. (2020). Biological control of tomato gray mold caused by *Botrytis cinerea* with the entomopathogenic fungus *Metarhizium anisopliae*. *Pathogens*, 9(3).
<https://doi.org/10.3390/pathogens9030213>
- Setiawan, W., Wiyono, S., Napitupulu, T. P., Kanti, A., Idris, Masrukhin, Tondok, E. T., Sumerta, I., & Sudiana, I. M. (2022). Biocontrol Activity, Mode of Action, and Colonization of *Aureobasidium pullulans* Dmg 30 DEP on Controlling Early Blight Disease on Tomato Plant. *HAYATI Journal of Biosciences*, 29(3), 320–329.
<https://doi.org/10.4308/hjb.29.3.320-329>
- Spadaro, D., Droby, S., & Gullino, M. L. (2021). *Plant Pathology in the 21st Century Postharvest Pathology Next Generation Solutions to Reducing Losses and Enhancing Safety*. www.isppweb.
- Steglińska, A., Kołtuniak, A., Berłowska, J., Czyżowska, A., Szulc, J., Cieciora-Włoch, W., Okrasa, M., Kręgiel, D., & Gutarowska, B. (2022). *Metschnikowia pulcherrima* as a Biocontrol Agent against Potato (*Solanum tuberosum*) Pathogens. *Agronomy*, 12(10).
<https://doi.org/10.3390/agronomy12102546>
- Stevens, C., Khan, V. A., Tang, A. Y., & Lu, J. Y. (1990). The Effect of Ultraviolet Radiation on Mold Rots and Nutrients of Stored Sweet Potato. *Journal of Food Protection*, 53(3), 223–226.
- Stock, S. D., Hama, H., Radding, J. A., Young, D. A., & Takemoto, J. Y. (2000). Syringomycin E Inhibition of *Saccharomyces cerevisiae*: Requirement for Biosynthesis of Sphingolipids with Very-Long-Chain Fatty Acids and Mannose-and Phosphoinositol-Containing Head Groups †. In *ANTIMICROBIAL AGENTS AND CHEMOTHERAPY* (Vol. 44, Issue 5).

- Sun, J., Janisiewicz, W. J., Nichols, B., Jurick, W. M., & Chen, P. (2017). Composition of phenolic compounds in wild apple with multiple resistance mechanisms against postharvest blue mold decay. *Postharvest Biology and Technology*, 127, 68–75.
<https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2017.01.006>
- Tiwari, R. K., Kumar, R., Sharma, S., Sagar, V., Aggarwal, R., Naga, K. C., Lal, M. K., Chourasia, K. N., Kumar, D., & Kumar, M. (2020). Potato dry rot disease: current status, pathogenomics and management. In *3 Biotech* (Vol. 10, Issue 11). Springer Science and Business Media Deutschland GmbH. <https://doi.org/10.1007/s13205-020-02496-8>
- Usall, J., Ippolito, A., Sisquella, M., & Neri, F. (2016). Physical treatments to control postharvest diseases of fresh fruits and vegetables. *Postharvest Biology and Technology*, 122, 30–40.
<https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2016.05.002>
- Vilanova, L., Teixidó, N., Torres, R., Usall, J., & Viñas, I. (2012). The infection capacity of *P. expansum* and *P. digitatum* on apples and histochemical analysis of host response. *International Journal of Food Microbiology*, 157(3), 360–367. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2012.06.005>
- Vilanova, L., Viñas, I., Torres, R., Usall, J., Buron-Moles, G., & Teixidó, N. (2014). Increasing maturity reduces wound response and lignification processes against *Penicillium expansum* (pathogen) and *Penicillium digitatum* (non-host pathogen) infection in apples. *Postharvest Biology and Technology*, 88, 54–60.
<https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2013.09.009>

- Vilanova, L., Viñas, I., Torres, R., Usall, J., Jauset, A. M., & Teixidó, N. (2012). Infection capacities in the orange-pathogen relationship: Compatible (*Penicillium digitatum*) and incompatible (*Penicillium expansum*) interactions. *Food Microbiology*, 29(1), 56–66.
<https://doi.org/10.1016/j.fm.2011.08.016>
- Vilanova, L., Wisniewski, M., Norelli, J., Viñas, I., Torres, R., Usall, J., Phillips, J., Droby, S., & Teixidó, N. (2014). Transcriptomic Profiling of Apple in Response to Inoculation with a Pathogen (*Penicillium expansum*) and a Non-pathogen (*Penicillium digitatum*). *Plant Molecular Biology Reporter*, 32(2), 566–583.
<https://doi.org/10.1007/s11105-013-0676-y>
- Zhang, J., Xie, J., Zhou, Y., Deng, L., Yao, S., & Zeng, K. (2017). Inhibitory effect of *Pichia membranaefaciens* and *Kloeckera apiculata* against *Monilinia fructicola* and their biocontrol ability of brown rot in postharvest plum. *Biological Control*, 114, 51–58.
<https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2017.07.013>

BAB 8

PERLAKUAN TERHADAP KOMODITI

Oleh Nur Aini Mahmudah

Buah-buahan, sayuran, dan hasil hortikultura merupakan jaringan hidup yang masih secara aktif melakukan metabolisme serta perubahan yang kontinyu melalui pematangan, dan mengalami pembusukan. Penurunan kualitas dapat terjadi secara cepat. Hal-hal tersebut harus dikendalikan untuk mempertahankan kualitas produk dan nilai gizinya. Faktor kualitas secara umum meliputi warna, flavor, tekstur, dan rasa. Perlakuan yang diberikan pada komoditi hasil panen dikategorikan dalam dua tahap, yakni pasca produksi (*postproduction*) dan pengolahan (*processing*). Keduanya dimaksudkan untuk memberikan dampak maksimal dalam mempertahankan kualitas untuk memenuhi preferensi konsumen.

Penurunan kualitas pada buah dan sayur selama masa penanganan selepas panen merupakan bagian dari fenomena '*food losses*', yang mengindikasikan adanya sebagian produk terbuang atau hilang dari aspek kuantitas, ataupun secara kualitas yang menurun sehingga tidak layak lagi untuk didistribusikan pada konsumen. *Food loss* timbul dari proses produksi dan pengolahan sebelum bahan pangan sampai pada level distributor maupun retail. Selanjutnya, bila tidak diatur dan dikelola dengan baik, setelah sampai pada distributor, produk dapat beresiko menjadi '*food waste*'. *Food waste* yakni produk yang hilang dan terbuang akibat tidak layak konsumsi pada level retail, jasa penyedia makanan, serta ketika sudah di tangan konsumen. Sifat buah dan sayur yang secara alamiah cepat rusak dan busuk (*perishable*) menjadi salah satu faktor besarnya *food waste* pada kategori hasil pertanian.

Lembaga *Food and Agriculture Organization* (FAO) menyatakan, pada tahun 2019, angka *food losses* secara umum di dunia mencapai 14% yang setara dengan nominal 400 milyar USD level produksi dan panen. Dari angka tersebut, 17% menjadi *food waste* pada level retail dan konsumen. Kedua peristiwa tersebut memberikan dampak negatif terhadap ketahanan pangan dan memicu kejadian kelaparan. Menjaga kualitas produk hasil hortikultura sangat penting untuk dapat mendukung ketahanan pangan dan pertanian berkelanjutan. Penanganan yang dapat diterapkan terhadap komoditas hasil pertanian diantaranya yakni perlakuan secara fisik, kimia, dan pemberian gas.

8.1 Perlakuan Fisik

Pemberian perlakuan fisik yang telah banyak diketahui dan menjadi salah satu cara pengendalian kualitas produk pascapanen karena resiko rendah. Makna resiko rendah yaitu mengenai sisa residu yang tertinggal pada produk dan meminimalisir pencemaran lingkungan. Perlakuan fisik dapat dikategorikan sebagai berikut:

1. Penyimpanan dingin (*cold storage*)

Penyimpanan dingin memiliki tujuan untuk menunda ataupun mengurangi penyakit yang timbul pada produk buah dan sayur segar, baik dari sebab biotik maupun abiotik. Penurunan mutu buah dan sayur dipengaruhi oleh suhu, laju respirasi, dan stress akibat penanganan pascapanen yang kurang tepat. Pengaturan suhu dingin terhadap produk secepat mungkin selepas panen dapat mempertahankan berbagai aspek mutu yang menjadi kunci penarik konsumen. Penyimpanan pada suhu dingin bukanlah dimaksudkan sebagai langkah untuk memusnahkan mikroba, namun efek dari pendinginan ini menyebabkan terjadinya perlambatan metabolisme pada buah dan sayur sebagai *host* sehingga pematangan juga ikut lambat. Selain *host*, pendinginan juga memiliki dampak penghambatan aktivitas

pertumbuhan dan enzimatik pada mikroba. Pendinginan juga memiliki pengaruh terhadap pencegahan hilangnya kadar air (kelembaban) pada jaringan buah dan sayur. Hilangnya kelembaban memicu pengerutan. Kelembaban yang dapat dipertahankan memungkinkan buah dan sayur untuk dapat memiliki resistensi lebih tinggi terhadap mikroba penyebab penyakit (patogen).

Pengaruh suhu rendah/dingin memberikan dampak signifikan pada berbagai jenis mikroba jamur (fungi) yang pada angka 0°C. Spesies mikroba jamur lain dapat bertahan pada suhu lebih rendah seperti *Cladosporium herbarum* (-4°C), *Alternaria alternata* dan *Penicillium expansum* (-3°C), *Botrytis cinerea* (-2°C). Beberapa jenis jamur yang umum dijumpai dapat berhenti untuk tumbuh pada suhu di atas 0°C, seperti *Aspergillus niger* (11°C), *Colletotrichum gloeosporioides* dan *Colletotrichum musae* (9°C). Suhu 0-1°C cukup untuk membuat mikroba jenis tersebut terhambat pertumbuhannya karena masa inkubasi menjadi lebih lama sehingga dapat mencegah timbulnya penyakit pada buah dan sayur.

Di sisi lain, perlakuan suhu rendah dapat menimbulkan '*chilling injury*', yakni kerusakan akibat paparan suhu rendah di atas titik beku produk. *Chilling injury* ini sebagai akibat dari gangguan metabolisme sel tanaman yang terjadi pada kisaran suhu dibawah 10-15°C. Titik kritis setiap jenis produk buah dan sayur berbeda-beda. Ciri-ciri *chilling injury* diantaranya meliputi:

- a. *Skin pitting*, yang diistilahkan sebagai cedera kulit. Secara kenampakan, buah atau sayur akan terlihat memiliki warna yang berbeda (diskolorasi) pada bagian kulit tersebut menjadi berwarna kecoklatan atau kehitaman.
- b. *Water soaking*, adalah munculnya area yang tampak berair dan menjadi lembek karena membran sel

- telah kehilangan permeabilitasnya dan mengeluarkan elektrolit ke lingkungan sekitarnya.
- c. *De-greening*, yaitu warna hijau menjadi lebih pucat dan cenderung kekuningan.
 - d. *Off-flavor*, yang mencerminkan perubahan aroma yang tidak diinginkan akibat rendahnya kadar oksigen pada jaringan yang terkena.
 - e. *Rotting*, merupakan kesan seperti pembusukan. *Chilling injury* menyebabkan keluarnya substansi metabolit (asam amino, gula, garam mineral) dan ion dari sel, seiring dengan degradasi membran sel. Peristiwa tersebut memberikan kesempatan bagi mikroba, khususnya jamur/fungi dapat tumbuh dengan mengambil zat metabolit dari sel tersebut.

Tabel 7.1. Suhu penyimpanan berbagai buah

Jenis buah	Toleransi suhu rendah (°C)	Gejala <i>chilling injury</i>
Alpukat	5-12	<i>Skin pitting</i> , pencoklatan
Pisang	12	Noda-noda pencoklatan pada kulit
Timun	7	Water soaking, warna menggelap
Terong	7	Diskolorasi
Lemon	10	<i>Pitting</i> , munculnya bercak pada kulit
Jeruk nipis	7	<i>Pitting</i>
Mangga	12-13	Pencoklatan
Melon	7-10	<i>Pitting, rotting</i>
Pepaya	7-15	<i>Pitting, water soaking</i>
Nanas	6-15	Pencoklatan pada daging buah
Tomat	10-12	<i>Pitting</i>

Perlakuan suhu rendah dapat memperlambat pertumbuhan mikroba, namun harus tetap memperhatikan batas ketahanan bermacam-macam produk buah dan sayur terhadap suhu toleransi penyimpanan dingin. Daya tahan setiap komoditas dipengaruhi oleh jenis spesies, kultivar, musim, lokasi tanam, lama pemaparan suhu rendah, serta tingkat kematangan.

2. Pemberian panas (*heat treatment*)

a. Hot water treatment (HWT)

HWT merupakan perlakuan untuk mengendalikan pembusukan dengan penggunaan air bersuhu diatas 40°C. Teknik ini aman untuk konsumen dan lingkungan. Sistem ini dianggap efisien dalam mentransfer panas dalam waktu singkat dengan biaya lebih murah. HWT tepat diaplikasikan untuk mengontrol hama lalat dan ngengat yang mungkin hinggap pada permukaan kulit dan meninggalkan telurnya. Di negara Amerika, HWT ini diterapkan sebagai bentuk upaya karantina komoditas untuk menghindari kontaminasi lalat jenis *Ceratitis capitata* dan *Anastrepha ludens*. Produk yang dikarantina dipanaskan pada suhu 43-49°C selama 1 hingga 2 jam untuk buah mangga, dan suhu 50°C selama 10 menit untuk buah ceri. Dengan demikian, HWT ini juga digunakan sebagai tahap desinfektasi.

HWT biasanya diaplikasikan dengan cara perendaman terhadap komoditas, atau dengan cara pembilasan yang disertai dengan penyikatan (Hot Water Rinse Brushing/ HWRB). Metode ini selanjutnya dikembangkan secara mekanik dengan menyemprotkan air dari atas, yang disambung dengan alat pembersih/penyikat pada *roll* jalur sortasi. HWRB lebih efektif daripada perendaman saja atau penyikatan dalam keadaan kering. HWRB

telah dipergunakan untuk lada, melon, mangga, dan anggur di negara Israel yang kapasitas produksinya mencapai 3-4 ton per jam yang kemudian teknik tersebut diadopsi di Mesir, Indonesia, dan Maroko.

b. Hot air treatment

Pemberian paparan panas dengan level suhu diatas 30°C terhadap buah-buahan pada kelembaban relatif yang tinggi (RH>90%) selama beberapa jam atau hari disebut sebagai *curing* atau *hot air treatment*. Penggunaan istilah *curing* ini mengacu pada sejumlah bekas luka pada kulit buah jeruk menjadi pulih setelah perlakuan ini. Setelah itu, banyak kajian yang mengikuti metode ini dan memberikan hasil bahwa *curing* dapat menjadi alternatif langkah untuk mencegah tumbuhnya kapang pada jeruk nipis dan kultivar jeruk yang lain. *Curing* pada suhu 33°C selama 65 jam berhasil mengendalikan pertumbuhan kapang jenis *P. digitatum* dan *P. italicum* pada jeruk dan lemon. Namun, *curing* ini akan berkurang efektivitasnya bila produk disimpan pada waktu yang lama dengan suhu rendah setelah diberi perlakuan. Selanjutnya, muncul metode *curing* dua siklus pada suhu 38°C selama 18 jam.

Pada buah apel, perlakuan *hot air treatment* bersuhu 38°C dengan lama waktu 4 hari menunjukan hasil positif untuk mengurangi pelunakan dan pembusukan buah akibat *Penicillium spp.* semasa penyimpanan. Perlakuan *hot air treatment* juga telah dikaji untuk mengendalikan penyakit yang terjadi terhadap buah persik. Pencoklatan pada buah persik akibat *M. laxa* dan *M. fructiola* dapat dihambat dengan pemaparan suhu 50°C selama 2 jam dengan RH 95-99%. Pada buah tomat, pemberian suhu 38-40°C dalam waktu 72 jam dapat menghambat pembusukan oleh *B. cinerea* dan *A. alternata*.

Sebagaimana *hot water treatment*, teknik *hot air treatment* juga telah diteliti sebagai cara menguntungkan untuk mencegah penyakit pascapanen pada buah-buahan.

c. Gelombang panas

Penggunaan gelombang panas melalui frekuensi radio dan *microwave* dilakukan untuk mendapatkan sistem yang cepat dan efisien. Pemanasan frekuensi radio bekerja dengan cara penyaluran energi dari gelombang elektromagnetik pada pemancar yang kemudian pergerakan gelombang tersebut menyebabkan timbulnya energi panas yang ditransfer kepada objek materi sasaran. Cara yang relatif baru ini disebut juga sebagai *dielectric heating* dengan tujuan untuk mengendalikan penyakit pada komoditas buah dan sayur. Pemanasan pada frekuensi radio selama 18 menit efektif untuk mengendalikan pencoklatan dan pembusukan akibat *Monilinia spp.* pada buah persik. Perlakuan ini dapat ditingkatkan efektivitasnya dengan mengombinasikan frekuensi radio pada buah yang direndam pada air bersuhu 20°C. Lama waktu yang diperlukan menjadi lebih singkat 9 menit lebih cepat. Waktu paparan radio frekuensi dapat diperpendek menjadi 4,5 menit dengan ditingkatkannya suhu air pada angka 40°C.

Untuk perlakuan gelombang panas dengan *microwave*, studi menunjukkan efektivitas pada daya 0.4 kW selama 2 menit untuk mengendalikan *B. cinerea* dan *P. expansum* yang ada di buah persik. Besaran daya 0,45 kW dengan lama waktu 2 menit juga efektif menghambat *R. stolonifer* pada buah persik dan *P. expansum* pada buah pir. Teknik *microwave* selanjutnya dikembangkan dengan kombinasi air. Pemberian paparan daya 20 kW selama 60 detik dengan kondisi buah yang direndam

dalam air dapat mencegah pencoklatan dan rotting tanpa mempengaruhi kenampakan internal dan eksternal buah persik. Perlakuan tersebut efektif untuk mengendalikan infeksi oleh *M. fructiola*, serta tidak berdampak terhadap parameter kualitas (total padatan terlarut, keasaman, kekakuan/*firmness*, dan juga dapat menunda pelunakan jaringan pada buah persik.

Dibandingkan perlakuan pemanasan konvensional (*hot water treatment* dan *hot air treatment*), *dielectric heating* ini lebih efisien dalam peningkatan laju energi panas dan mampu mempersingkat waktu pemanasan. Pemanasan konvensional memungkinkan energi panas untuk kontak langsung dengan bahan pangan, namun pada *dielectric heating*, energi panas diperoleh dari hasil interaksi gelombang elektromagnetik dengan material. Produk agrikultur memiliki kemampuan untuk menyerap energi elektromagnetik dan mengkonversinya menjadi energi panas.

3. Pemberian tekanan (*hypobaric and hyperbaric pressure*)

Secara definitif, *hypobaric* memiliki arti titik keadaan yang besarnya nilai tekanan kurang dari tekanan di udara normal. Hasil pertanian yang disimpan pada kondisi *hypobaric* masih mengalami respirasi sehingga penting untuk dilakukan pengaturan udara supaya diperoleh kadar oksigen yang diinginkan. *Hypobaric* diperoleh melalui penghampaan udara (vakum), lalu diisi dengan udara dari luar. Terdapat dua saluran dalam sistem ini yaitu jalur inlet (masuk) dan jalur evakuasi udara.

Dalam sistem *hypobaric*, penurunan tekanan memicu hilangnya kelembaban pada produk secara cepat. Untuk menanggulangnya, tempat penyimpanan harus didesain dari lempeng logam baja dengan interior

sesuai. Selain itu, udara yang dimasukkan dalam tempat penyimpanan merupakan udara dengan saturasi jenuh (RH 100%) atau sejenah mungkin. Bila tidak, maka produk akan mengalami dehidrasi. Penyimpanan metode *hypobaric* memiliki keunggulan yakni sebagai sarana untuk menghilangkan gas etilen yang dapat merugikan produk. Perlakuan *hypobaric* memberikan efek tidak langsung melalui penurunan konsentrasi etilen dan oksigen dari jaringan sehingga dapat menunda pematangan dan mengurangi kerentanan terhadap patogen.

Perlakuan *hypobaric* menggunakan tekanan dari 0-100 kPa selama waktu yang singkat. Tekanan dengan besaran 25,3; 50,6; dan 76 kPa selama 2-24 jam dapat mengurangi kejadian penyakit yang diakibatkan oleh *R. stolonifer* dan *B. cinerea* pada buah ceri, strawberi, dan anggur. Hasil kajian lain adalah bahwa penggunaan tekanan 50 kPa selama 4 jam dapat mengurangi kemunculan *rotting* pada buah strawberi yang disimpan pada suhu 5°C dan 20°C. Hanya saja, pertumbuhan jamur kontaminan akan muncul kembali setelah produk disimpan dalam suhu dan tekanan atmosfer.

Berbeda dengan istilah *hypobaric*, perlakuan *hyperbaric* merupakan pemberian tekanan yang lebih tinggi dari tekanan di atmosfer untuk menghindari timbulnya penyakit pascapanen pada buah dan sayur. Perlakuan ini telah diterapkan pada buah anggur dan ceri dengan besaran tekanan 1140 mmHg (152 kPa) selama 4 dan 24 jam yang menunjukkan hasil berupa penurunan *rotting* selama penyimpanan. Perlakuan *hyperbaric* ini mempengaruhi pertumbuhan bakteri pada buah dan sayur. Tekanan 850 kPa dapat secara optimal menekan pertumbuhan *Pseudomonas cichorii* sebesar 71%, *Peptobacterium carotovorum* 56%, serta *Pseudomonas marginalis* 43%. Mekanisme tekanan tinggi ini menyebabkan mikroba mengubah metabolisme

mereka dengan cara yang serupa apabila mikroba ditempatkan pada suhu rendah/dingin.

4. *Coating* (pelapisan)

Coating merupakan proses pemberian cairan lapisan atau bubuk pada permukaan bahan pangan untuk tujuan menghambat migrasi gas, aroma, dan lipida. Lapisan tipis yang timbul selanjutnya disebut sebagai '*film*', *Coating* juga berperan sebagai selaput pelindung dari kontaminasi benda asing yang dapat menempel produk. *Coating* diaplikasikan untuk memperpanjang umur simpan. Saat ini, *coating* banyak dilakukan dengan mengombinasikan bahan-bahan yang aman dan dapat dikonsumsi sehingga dikatakan sebagai '*edible fim*'. Penggunaan *edible fim* pada bahan pangan segar dapat menjadi media untuk menjaga kelembaban sehingga mencegah hilangnya kadar air selama penyimpanan.

Edible fim memiliki sifat sebagai penahan kelembaban ataupun oksigen yang baik, dapat menghambat pertukaran kadar air antara produk pangan dengan lingkungan atmosfer, mencegah pertumbuhan mikroba kontaminan mempertahankan tekstur, dan melindungi dari reaksi kimiawi maupun ezimatik yang tidak diinginkan. *Edible fim* memiliki kelebihan yakni lebih ramah lingkungan, dapat langsung ikut dimakan Bersama produk, serta tidak menimbulkan limbah sampah kemasan. Namun, *edible fim* belum dapat sepenuhnya menggantikan jenis kemasan konvensional.

Pembuatan *edible coating* menggunakan bahan-bahan yang memiliki sifat hidrofobik (lipida, *wax*), hidrokoloid (polisakarida dan protein), ataupun integrasi keduanya. Chitosan dan karagenan yang merupakan polisakaridan berfungsi untuk memproteksi hilangnya aroma dan terjadinya oksidasi. Alginat dan karboksi metil selulase dapat diaplikasikan untuk

mempertahankan kelembaban dan mengurangi terserapnya lemak dalam produk bila dilakukan penggorengan secara *deep-fat frying*. Material *edible fim* dengan karakter permeabilitas uap air yang tinggi dapat menjadi alternatif untuk meminimalisir migrasi garam ke dalam makanan pada saat proses penggaraman beku (*brine-freezing*). Sebaliknya, material dengan kecenderungan permeabilitas selektif sangat sesuai untuk diterapkan pada pencegahan hilangnya flavor dan aroma selama proses pengeringan beku (*freeze-drying*).

Faktor lain yang patut dipertimbangkan untuk memilih jenis material *edible coating* adalah kemampuan untuk menghambat aktivitas antimikroba serta menjaga kadar senyawa antioksidan untuk mengendalikan migrasi molekul dari kemasan ke produk. Sebagian *edible fim* diberi tambahan senyawa yang berperan sebagai antioksidan untuk membantu mencegah oksidasi asam lemak dari produk. *Edible fim* yang dibuat dari karagenan dengan bahan tambahan ekstrak daun jambang sebanyak 5% sebagai antioksidan telah dikaji dan memberikan hasil peningkatan pada karakter fisik yakni kekuatan tarik dan elastisitasnya, dengan tidak mengurangi fungsi pokok sebagai pelindung bagi produk.

5. Pemberian Sinar Ultraviolet (UV)

Sinar ultraviolet (UV) diaplikasikan pada panjang gelombang 190-280 nm. Sinar UV dengan panjang gelombang 315-400 nm adalah UV-A, 280-315 nm adalah jenis UV-B, dan 100-280 nm yakni UV-C. Sinar UV dapat secara langsung berinteraksi dengan mikroba patogen dan meningkatkan ketahanan sel inang terhadap aktivitas mikroba (resistensi induksi). Sinar UV-C telah dikaji dan terbukti memiliki efektivitas dalam menginaktivasi berbagai jenis mikroba patogen dari bakteri, jamur, khamir, kapang, serta virus. Teknologi penyinaran UV melibatkan gelombang cahaya

tak tampak pada spektrum tertentu (*non-visible*) dan tidak menembus pada sel produk pangan sehingga tidak ada residu yang ditinggalkan, tidak menggunakan bahan kimia, tidak mengubah rasa, warna, serta kandungan gizi pada produk pangan.

Respon resistansi induksi terhadap penyakit setelah paparan sinar UV-C pada dosis rendah atau sub-lethal disebut dengan 'hormesis', yang merupakan efek menguntungkan bagi sel inang (*host*) terhadap kontaminan asing yang merugikan. Pada dosis tinggi, sinar UV-C memberi dampak mematikan bagi mikroba pada permukaan buah-buahan sehingga serupa dengan efek sterilisasi. Pancaran sinar UV-C telah terbukti dapat menjadi salah satu alternatif perlakuan untuk mengendalikan pertumbuhan jamur dan kematangan berbagai buah dan sayur. sebagai contoh, pembusukan paprika dapat dikurangi dengan menginaktivasi *B. cinerea* conidia pada level sinar UV-C 2,2-4,4 kJ. Penyinaran UV-C juga efektif untuk mengurangi jumlah buah kiwi dan anggur yang terinfeksi dengan mekanisme inaktivasi *B. cinerea* pada bagian buah yang mengalami lesi/luka. Penyinaran sinar UV-C dosis rendah juga memberi hasil efektif dalam menekan penyakit pascapanen pada ubi jalar manis, persik dan apel, wortel, strawberi, serta tomat. Secara spesifik, sinar UV-C mampu mengurangi efek *rotting* akibat infeksi bakteri *Pectobacterium carotovorum subsp. carotovorum* tanpa mencegah pertumbuhan tunas pada komoditas kentang.

Resistansi induksi berkorelasi dengan penundaan pematangan berlanjut (*senescence*). Pada buah tomat, sinar UV-C memicu akumulasi senyawa fenolik dan pembentukan senyawa lignin dan suberin sebagai penahan sel. Hal ini yang selanjutnya berkaitan dengan kemampuan untuk melindungi diri dari *B. cinerea*. Saat penyimpanan, resistansi induksi oleh sinar UV-C diasosiasikan dengan akumulasi senyawa fitoaleksin (6-

methoxymellein) pada wortel, skopoletin dan skoparon pada citrus, resveratrol pada anggur, dan ekspresi gen yang mencerminkan protein menyerupai isoflavon reduktase pada buah anggur. Di sisi lain, hormesis sebagai efek samping peparan perlakuan sinar UV-C dapat meningkatkan karakter nilai gizi yang diamati pada buah dan sayuran segar. Sebagai contoh yaitu: level antosianin dan antioksidan yang lebih tinggi pada strawberi, level resveratrol yang lebih tinggi pada buah anggur, vitamin D2 yang lebih banyak pada jamur-jamur *edible*, serta tomat dengan kandungan likopen lebih tinggi.

6. Iradiasi

Iradiasi merupakan proses penyinaran terhadap bahan atau produk pangan untuk meningkatkan keamanan pangan dan memperpanjang umur simpan dengan mereduksi atau mengeliminasi mikroorganisme dan insekta. Mekanisme iradiasi dilakukan dengan memancarkan energi radian (dari sumber sinar) kepada bahan pangan. Energi tersebut selanjutnya mengganggu metabolisme mikroba target. Membran sitoplasma sel mikroba mengalami kerusakan akibat terkena radiasi sehingga kromosom dan struktur DNA mengalami disrupsi/gangguan yang pada akhirnya menyebabkan kematian sel. Sumber radiasi yang diaplikasikan diantaranya adalah sinar gamma, sinar X, dan pancaran elektron.

Selama penyimpanan, buah dan sayur mengalami penurunan kualitas akibat kondisi penyimpanan yang kurang tepat, serangan pathogen, luka akibat kerusakan mekanis, ataupun stress dari lingkungan yang menimbulkan fenomena food losses setiap tahunnya. Untuk memitigasi fenomena tersebut, dilakukan fumigasi dan pemberian perlakuan secara kimiawi untuk mengawetkan bahan pangan. Namun, adanya resiko kesehatan yang dan masalah lingkungan

menyebabkan keduanya menjadi kurang dapat diterima oleh konsumen.

Efek iradiasi dipengaruhi oleh dosis radian yang memiliki satuan kiloGray (kGy). Dosis yang rendah (<1 kGy) hanya akan mengganggu aktivitas sel untuk mencegah pertumbuhan tunas pada umbi-umbian, bawang-bawangan, dan menunda kematangan. Dosis medium (1-10 kGy) dapat mengurangi aktivitas mikroba dan dosis tinggi (>10 kGy) dapat mematikan berbagai jenis jamur dan bakteri serta hama kontaminan. Iradiasi komersil telah diaplikasikan untuk mengendalikan kualitas kentang, bawang merah, dan buah strawberi. Pemberian radiasi sinar gamma dari rentang 0.3-0.7 kGy mberhasil untuk menunda kematangan buah manga dan meningkatkan masa simpannya untuk 3-4 hari.

Iradiasi tidak mengubah mutu gizi pada produk pangan dan hanya sedikit sekali menghasilkan perubahan kimiawi pada pangan. Iradiasi disebut juga sebagai pasteurisasi dingin karena tidak melibatkan suhu tinggi. Berfungsi sebagai media untuk mematikan mikroba penyebab penyakit yang memicu pembusukan. Teknik iradiasi pangan telah disetujui dan banyak diterapkan pada berbagai negara seperti Amerika, Jepang, dan beberapa negara di Eropa. Iradiasi pangan telah dipertimbangkan sebagai Langkah untuk meningkatkan ekspor pangan dan menegaskan higienitas produk yang diakui secara meluas.

8.2 Perlakuan Kimia

Perlakuan secara kimiawi bertujuan untuk mengatasi masalah hama dan penyakit yang kemungkinan muncul selama pendistribusian dan penyimpanan komoditas pertanian. Masalah hama tersebut dapat berupa kumbang dan serangga lain yang mengontaminasi biji-bijian, jamur patogen yang

hinggap pada buah anggur, serta infeksi-infeksi akibat mikroba lainnya. Perlakuan kimiawi diantaranya dengan pemberian:

1. Antimikroba dan anti-pencoklatan (*anti-browning*)

Agen antimikroba dan anti-pencoklatan menjadi pilihan untuk mempertahankan kualitas dan keamanan produk buah dan sayuran segar. Berdasarkan sumbernya, antrimikroba dapat berasal dari zat kimia dan alami/ *bio-based*. Zat kimia yang umum digunakan yakni larutan klorin, asam peroksi-asetik (*Peroxyacetic acid/PAA*), asam organik, hidrogen peroksida, dan air elektrolisis. Larutan klorin seperti contohnya yakni NaClO telah banyak diterapkan sebagai desinfektan untuk bahan pangan segar dengan kemampuan mengoksidasi. Efektifitas larutan klorin sebagai antimikroba dipengaruhi oleh level klorin yang dikombinasikan. Bila berlebihan, maka menyebabkan cacat rasa dan aroma pada produk terkait.

Larutan PAA sangat kuat dalam mengoksidasi, namun tidak merugikan produk. PAA efektif dalam mengendalikan pertumbuhan bakteri *E. coli* 0157:H7 dan *L. monocytogenes* pada apel, strawberi, kol, dan melon. Reduksi sebanyak 5 log *Enterobacter sakazakii* pada kol dihasilkan setelah perlakuan dengan PAA.

Hidrogen peroksida (H_2O_2) bertindak sebagai zat yang dapat mematikan bakteri, spora, memiliki kapasitas penghambatan, sekaligus sebagai oksidan yang mampu menghasilkan senyawa sitotoksik (contoh: hidroksi radikal). Perlakuan dengan hidrogen peroksida memerlukan waktu yang panjang dengan resiko muncul kerusakan pada beberapa produk. Hidrogen peroksida dinyatakan aman, namun tidak dapat dikategorikan sebagai antimikroba. Kajian mengenai hidrogen peroksida selanjutnya memberikan hasil bahwa sanitiser dengan basis campuran H_2O_2 menunjukkan dampak signifikan dalam peningkatan pernafasan dan stress pada sel komoditas kol yang dibandingkan dengan perlakuan air keran.

Asam-asam organik, asam askorbat, dan larutan yang berbasis kalsium diterapkan secara meluas untuk menurunkan laju pencoklatan, penurunan sifat fisik tekstur, mengendalikan aktivitas mikroba pada produk segar. Melon potong yang dicelup 0.52 mM asam sitrat selama 30 detik sebelum pengemasan modifikasi memiliki ketahanan yang lebih tinggi terhadap serangan mikroba dan diskolorasi. efek penghambatan (*inhibitory*) dari asam-asam organik (asam asetat, asam laktat, asam malat) yang dikombinasikan dengan pengemasan atmosfer modifikasi telah dilaporkan berhasil untuk mencegah serangan patogen *E. coli* 0157:H7, *S. typhimurium* dan *L. monocytogenes* pada kubis. Mekanisme larutan tersebut yang belum dapat menjangkau area lebih dalam pada buah dan sayur membatasi penggunaannya sebagai antimikroba dan anti-pencoklatan.

2. Nitrit oksida (NO)

Nitrit oksida (NO) sangat reaktif terhadap gas radikal bebas dan berperan sebagai molekul pemberi signal pada berbagai jenis tanaman terkait proses fisiologis seperti pematangan dan penuaan (*senescence*). Senyawa NO yang secara alami terdapat dalam tanaman (endogen) akan berkurang seiring dengan pematangan dan penuaan buah dan sayuran segar. Maka kemudian, perlu adanya modifikasi level NO dari luar (eksogen) untuk menghasilkan efek antagonis. Pemberian NO secara optimal memungkinkan untuk penundaan fase klimakterik berbagai komoditas buah tropis, memperpanjang usia simpan pascapanen dengan cara menghalangi pematangan serta penuaan, juga dapat menekan produksi etilen. Gas NO diaplikasikan secara semprot, sublimasi, ataupun pencelupan. Penggunaan NO telah dikaji pada buah apel, pisang, kiwi, manga, persik, pir, plum, strawberi, tomat, dan papaya.

3. Sulfur dioksida (SO₂)

Sulfur dioksida (SO₂) sering dipergunakan pada buah anggur untuk mencegah kebusukan selama masa simpan dengan cara penyemprotan (fumigasi) terhadap buah di kebun yang diikuti penyemprotan rutin di ruang simpan, atau dengan cara dikeluarkan dari pengemas yang telah diinkorporasi dengan sodium metabisulfit. Fumigasi sulfur dioksida yang diikuti penyimpanan terkontrol dengan komposisi 3% oksigen dan 12% karbondioksida memberikan hasil penurunan laju pembusukan, meningkatkan nilai jual, serta mempertahankan nilai gizi buah bluberi segar. Di sisi lain, penggunaan sulfur dioksida beresiko melukai buah anggur dan batangnya, juga menjadikan kaku tekstur buah delima, serta potensi residu.

8.3 Perlakuan Gas

a. Ozon

Ozon merupakan gas alami yang memiliki sifat sebagai oksidator kuat dengan bau yang tajam. Ozon adalah bentuk tidak stabil dari oksigen yang terdiri dari tiga atom oksigen (O₃). Penamaan ozon diambil dari bahasa Yunani yaitu “ozein” yang berarti berbau. Dengan kemampuan sebagai oksidator yang tinggi, ozon dapat mendegradasi dinding sel bakteri. Setelah kerusakan dinding sel terjadi, ozon melakukan penetrasi dan mengoksidasi komponen-komponen esensial dalam sel (enzim, protein, DNA, dan RNA).

Ozon memiliki kekuatan mengoksidasi klorin 1.5 kali lebih kuat dari klorin dan 3000 kali lebih asam hipoklorit. Waktu kontak yang diperlukan ozon untuk melakukan performa antimikroba, empat hingga lima kali lebih singkat daripada klorin. Ozon lebih cepat menyerang dinding sel bakteri dan lebih efektif dibandingkan klorin untuk menyerang spora dengan dinding sel tebal yang menjadi patogen bagi tanaman serta parasite bagi hewan. Sebagai

contoh, buah pepaya yang diberi paparan ozon sebanyak 2,5 ppm memiliki total padatan terlarut, asam askorbat, beta karoten, likopen, dan aktivitas antioksidan lebih tinggi. Perlakuan tersebut juga memberi efek pengurangan bobot buah yang baru terjadi pada hari ke-10 bila dikomparasikan dengan tanpa perlakuan. Mutu sensori buah papaya yang diberi perlakuan ozon dinilai lebih manis dan dapat diterima oleh panelis.

Perlakuan ozon dapat diikuti pada penyimpanan suhu dingin, pada tahap pembersihan, ataupun pada proses sterilisasi. Pemberian air ozon (*ozonated water*) yang dikombinasi dengan iradiasi secara signifikan mengurangi laju respirasi asparagus putih, namun meningkatkan kekerasan jaringan. Ozon telah diterapkan secara terhadap komoditas komersil apel, ceri, wortel, bawang putih, kiwi, bawang merah, persik, plum, kentang, dan buah anggur.

b. Etilen

Etilen yang ada dalam jaringan tanaman (endogen) dan aplikasi dari luar (eksogen) memberikan dampak positif dan negatif. Pemberian etilen secara eksogen dapat memicu pematangan, meningkatkan warna dan kualitas buah pada beberapa tanaman, seperti pisang dan alpukat, buah kiwi, kesemek, tomat, mangga, dan buah jeruk. Di lain sisi, efek merugikan dari penggunaan etilen pada komoditas hortikultura adalah umur simpan yang lebih pendek, memicu penuaan (*senescence*), pelunakan buah, perubahan warna (pencoklatan) dan bercak kemerahan pada selada, menguningnya sayuran berdaun ataupun timun, dan peningkatan kerentanan pembusukan. Etilen memiliki peran penting dalam mempertahankan kualitas produk hortikultura kategori klimakterik dan non-klimakterik.

Beberapa strategi komersial untuk memelihara mutu buah dan sayur segar adalah dapat dilakukan dengan penyimpanan pada suhu rendah, pemblokiran biosintesis

etilen, meminimalisir paparan produk terhadap etilen selama pemasakan, panen, penyimpanan serta pengangkutan dengan mengendalikan suhu dan komposisi gas atmosfer. Salah satu zat inhibitor biosintesis etilen diantaranya *aminoethoxyvinylglycine*, yang diujicobakan pada apel dan buah berbiji, serta dalam kombinasi dengan penyimpanan atmosfer terkontrol (*controlled atmosphere*).

Etilen alami untuk mempercepat pematangan dapat diperoleh dengan cara memeram buah menggunakan daun gamal, daun pisang, dan daun sengon. Etilen alami dapat ditemukan pada organ tumbuhan termasuk daun, batang, buah, dan akar. Etilen secara eksogen adalah dengan menggunakan karbid. Namun, penggunaan karbid memiliki efek hasil yang didapat kurang memuaskan seperti aroma yang kurang disukai, terdapat bintik pada permukaan kulit buah, dan dapat membahayakan kesehatan yang disebabkan oleh racun arsenik dan phosphorus yang ada didalamnya. Sebaliknya, perlu ada inhibitor etilen untuk menunda pematangan buah. Pada saat ini, telah ada pengembangan teknologi untuk produk yang dapat menangkap senyawa etilen dengan bahan zeolite yang dinamakan '*ethylene scrubber*'. Produk tersebut dikombinasikan dengan palladium dan efektif untuk memperpanjang umur simpan produk buah segar klimakterik seperti pisang dan alpukat.

c. 1-Methylcyclopropene (1-MCP)

Metilsiklopropena berperan sebagai inhibitor/penghambat etilen merupakan terobosan besar untuk produk hortikultura. 1-MCP digunakan secara luas di berbagai negara pada komoditas apel, alpukat, pisang, brokoli, mentimun, kurma, buah kiwi, mangga, melon, nektarin, pepaya, persik, pir, merica, kesemek, nanas, pisang raja, prem, labu dan tomat. 1-MCP bersifat sangat aktif, namun tidak stabil dalam fase cair sehingga perlu diinkororasi dengan alfa-siklodekstrin untuk menjaga

kestabilannya. Senyawa ini mempengaruhi proses pematangan dan penuaan, termasuk perubahan pigmen, pelunakan dinding sel, rasa dan aroma, serta mutu gizi. Respon terhadap perlakuan 1-MCP berbeda pada tiap jenis produk non-klimakterik dan klimakterik. Perlakuan 1-MCP dalam bentuk larutan ataupun bentuk gas memberikan hasil penurunan laju pematangan.

DAFTAR PUSTAKA

- Arif, A.B., Diyono, W., Syaefullah, E., Suyanti, Setyadjit. 2014. Optimalisasi cara pemeraman buah cempedak (*Artocarpus champeden*). Informatika Pertanian, 23(1): 35-46.
- Arti, I.M., Manurung, A.N.H. 2020. Pengaruh etilen apel dan daun mangga pada pematangan buah pisang kepok (*Musa paradisiaca formatypica*). Jurnal Pertanian Presisi, 2(2): 77-88.
- Ashraf, S., Sood, M., Bandral, J.D., Trilokia, M., Manzoor, M. 2019. Food irradiation: A review. International Journal of Chemical Studies, 7(2): 131-136.
- Chakraverty, A., Mujumdar, A.S., Raghavan, G.S.V., Ramaswamy, H.S. 2003. Handbook of postharvest technology. New York: Marcel Dekker Inc.
- Deng, L.Z., Mujumdar, A.S., Zhang, Q, Yang, X.H., Wang, J, Zheng, Z.A., Gao, Z.J., Xiao, H.W. 019. Chemical and physical pretreatments of fruits and vegetables: Effects on drying characteristics and quality attributes - A comprehensive review. Crit Rev Food Sci Nutr, 59(9):1408-1432. DOI: <https://doi.org/10.1080/10408398.2017.1409192>
- FAO. 2009. Food loss and waste. <https://www.fao.org/nutrition/capacity-development/food-loss-and-waste/en/> Diakses pada 19 Maret 2022.
- Leneveu-Jenvrin, C., Charles, F., Barba, F.J., Remize, F. 2020. Role of biological control agents and physical treatments in maintaining the quality of fresh and minimally-processed fruit and vegetables. Crit Rev Food Sci Nutr, 60(17):2837-2855. DOI: <https://doi.org/10.1080/10408398.2019.1664979>
- Liplap, P., Toussaint, V., Toivonen, P., Vigneault, C., Boutin, J., Raghavan, G.S.V. 2014. Effect of hyperbaric pressure treatment on the growth and physiology of bacteria that cause decay in fruit and vegetables. Food Bioprocess Technol, 7: 2267-2280. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11947-013-1197-2>

- Mahajan, P.V., Caleb, O.J., Singh, Z., Watkins, C.B., Geyer, M. 2014. Postharvest treatments of fresh produce. *Philosophical Transaction A Math Phys Eng Sci Journal*, 372: 1-19. DOI: <http://dx.doi.org/10.1098/rsta.2013.0309>
- Murtadha, A., Julianti, E., Suhaidi, I. 2012. Pengaruh jenis pemacu pematangan terhadap mutu buah pisang barangan (*Musa paradisiaca* L.). *Jurnal Rekayasa Pangan dan Pertanian*, 1 (1): 47-56.
- Nasution, R.S. 2022. Characterization of carrageenan edible film with natural antioxidants from *Syzigium cumini* leaf extract. *Journal of Islamic Science and Technology*, 8(2): 262-272. DOI: <https://doi.org/10.22373/ekw.v8i2.10966>
- Paliyath, G., Murr, D.P., Handa, A.K., Kurie, S. 2008. *Postharvest biology and technology of fruits, vegetables, and flowers*. USA: Wiley-Blackwell Publishing.
- Peraturan BPOM No. 18 Tahun 2019 tentang Cara Iradiasi Pangan yang Baik.
- Singh, V., Hedayatullah, M., Zaman, P., Meher, J. 2014. Postharvest technology of fruits and vegetables: An Overview. *Journal of Postharvest Technology*, 02(02): 124-135.
- Thompson, A.K., Liplap, P. 2016. *Hypobaric and hyperbaric storage* In: *Fruit and vegetable storage*, pp: 93-114. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-319-23591-2_4
- Trinetta, V. 2016. *Edible Packaging In: Reference Module in Food Science*. USA: Elsevier Publishing. ISBN 9780081005965. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100596-5.03210-8>
- Usall, J., Ippolito, A., Sisquella, M., Neri, F. 2016. Physical treatments to control postharvest diseases of fresh fruits and vegetables. *Postharvest Biology and Technology* 122: 30-40. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2016.05.002>

BAB 9

PENGEMASAN

Oleh Anita

9.1 Sejarah Kemasan

Kemasan merupakan suatu tempat yang digunakan untuk mengemas produk tertentu dengan dilengkapi dengan informasi produk yang meliputi isi, kegunaan, komposisi, tanggal *expired* produk serta informasi lainnya yang perlu disampaikan oleh konsumen. Pada umumnya, pengemasan sering disebut sebagai pembungkus yang menggunakan kertas, daun atau aluminium foil. Pengemasan sudah dikenal sejak 4000 SM dimana pada waktu itu sudah ada pengemasan pada produk kosmetika dan farmasi. Tidak heran jika sampai saat ini produk kosmetika dan farmasi lebih maju dibandingkan dengan produk pangan. Secara tradisional, Pengemasan pangan sudah dimulai secara sederhana oleh nenek moyang kita yaitu dengan menggunakan bambu, daun pisang, daun nangka, daun jati atau kulit pohon. Pada Era Neolitik sekitar 8000 SM pada zaman batu, Era Primitive sadar melakukan pengemasan pada produk hasil pertanian mereka agar dapat disimpan dan tidak diserang oleh hewan liar (Nyoman, 2017).

Terdapat 2 faktor yang mempengaruhi kerusakan bahan pangan dalam kemasan diantaranya :

1. Kerusakan biologis produk : Kerusakan yang disebabkan oleh sifat produk itu sendiri sehingga tidak dapat dicegah dengan metode pengemasan seperti faktor fisik, kimia dan biokimia produk pertanian terutama produk segar asal pertanian.
2. Kerusakan oleh lingkungan : Kerusakan oleh lingkungan dapat dicegah oleh pemilihan metode yang tepat karena

kerusakan dapat dikontrol oleh kemasan (kerusakan mekanis, absorpsi dan kadar air)

9.2 Fungsi dan Peranan Pengemasan

Kemasan berfungsi melindungi produk dari pengaruh luar dan dalam. Kemasan dapat berfungsi melindungi produk dari sinar matahari, kelembapan ruangan sehingga produk dapat sampai di tangan konsumen tetap dalam keadaan baik (Mutiarra, 2018). Secara tidak langsung kemasan dapat berfungsi sebagai media pemasaran jika desain kemasan dibuat menarik. Fungsi kemasan antara lain adalah :

9.2.1 Fungsi pengemasan secara umum

- a. Kemasan sebagai tempat atau wadah. Kemasan berperan memudahkan penyimpanan produk agar saat dilakukan pengangkutan atau distribusi ke kota lain/ negara lain, produk tetap terjaga kualitasnya. Produk –produk yang wajib menggunakan kemasan seperti produk berbagai jenis tepung, minyak goreng, beras, kacang-kacangan serta bahan kimia berbahaya yang tidak dapat dipegang secara langsung oleh tangan manusia.
- b. Kemasan sebagai pelindung produk. Fungsi kemasan sebagai pelindung tidak hanya melindungi produknya saja, tetapi kemasan dapat melindungi lingkungan. Sebagai contoh bahan kimia Benzena jika dalam perjalanan menggunakan pengemasan yang kurang tepat dan terjadi kebocoran maka Benzena dapat merusak lingkungan serta berbahaya bagi kesehatan manusia karena bersifat karsinogenik.
 - Melindungi produk dari udara/air. Produk kering dari biji-bijian harus mempunyai kadar air dibawah 10%. Hal ini tentunya produk harus menggunakan pengemasan kedap air guna menjaga kadar air produk. Contohnya, Biji Jagung yang dikemas engan kemasan berbahan dasar kertas, maka kadar air biji jagung akan meningkat sebab pengaruh lingkungan dan udara/air

dapat menembus bahan kertas. Hal ini dapat menyebabkan biji jagung terkena air dan terjadi reaksi imbibisi yang selanjutnya biji jagung dapat tumbuh dalam kemasan.

- Menjaga zat volatile produk. Pada produk –produk yang mempunyai kandungan volatile seperti kopi, teh, rempah-rempah serta parfum. Maka kemasan yang tepat yaitu menggunakan kemasan kedap gas. Hal ini untuk menjaga kualitas dari produk agar zat volatile selama proses pengiriman sampai di terima konsumen. zat volatile dari produk tersebut masih tetap terjaga.
- Menjaga produk dari cahaya. Produk-produk yang sensitif terhadap cahaya biasanya dari produk florikultur.
- Melindungi produk dari hama serangga dan tikus. Serangga atau tikus dapat menyerang produk hasil pertanian baik dalam bentuk segar atau bahan olahan. Kemasan yang dipilih adalah kemasan yang tahan terhadap gigitan baik dari permukaan kemasan atau pangkal kemasan.

9.2.2 Fungsi Pengemasan secara khusus

- a. Meningkatkan daya tarik konsumen terhadap produk tersebut. Hal ini membutuhkan *skill* tentang pemilihan warna, tema, ilustrasi serta logo yang direncanakan dengan matang.
- b. Menyampaikan informasi tentang keunggulan suatu produk yang dikemas melalui keterangan bahan dasar / komposisi. Contoh produk makanan diet yang dijelaskan di bahan dasar menggunakan biji-bijian berserat dan tanpa gula / less sugar.
- c. Memperkecil resiko kerusakan selama proses pendistribusian dari produsen sampai ke konsumen

- d. Meningkatkan kepuasan konsumen melalui kemasan yang modern mudah untuk dibawa, di buka dan disimpan.

9.3 Sifat Kemasan Pangan Produk Pertanian

Sifat-sifat kemasan pada produk pertanian antara lain :

- a. Tahan terhadap air dan udara sehingga dapat mempertahankan kualitas dari segi bau dan aroma
- b. Kemasan bersifat non-toksik, mudah di buka dan ditutup
- c. Kemasan harus kuat tetapi tidak dikemas secara berlebihan dan tidak bocor serta tahan terhadap suhu panas
- d. Kemasan yang ramah lingkungan. Kemasan umumnya berbahan *degradable* atau dapat di daur ulang oleh lingkungan. Sehingga kemasan tidak mencemari lingkungan.

9.3.1 Kemasan tradisional

Kemasan tradisional masih banyak di gunakan pada produk atau bidang pertanian. Ciri khas kemasan tradisional adalah harganya relatif murah dan mudah diperoleh. Produk pascapanen buah seperti ubi kayu, buah-buahan serta sayur-sayuran cenderung menggunakan bahan pengemas menggunakan keranjang bambu dengan sekat daun. Hal ini karena sifat dari produk pertanian yang cepat mengalami kerusakan sehingga dari lokasi pascapanen sampai ke tempat produksi harus cepat dan tetap terjaga kualitasnya.

Kemasan tradisional juga dijumpai pada produk olahan pertanian seperti lempur, lepet, dodol, kupat dan lainnya menggunakan bahan pengemas dari daun. Bahan pengemas daun, berfungsi untuk melindungi produk serta pembungkus daun menambah aroma khas makanan tradisional.

9.3.2 Kemasan Modern

Teknologi membuat kemajuan dalam *packaging*, yang awalnya kemasan berfungsi sebagai pelindung menambah fungsi kemasan menambah nilai jual produk dengan desain yang berbentuk yang bermacam-macam. Kemasan modern pada produk pertanian mulai dikenalkan pada produk permen dan susu. Produk susu dikemas dengan kemasan kardus dan dilapisi dengan kemasan aluminium guna menjaga kualitas dari susu tersebut agar tidak terkena udara dan air selama proses distribusi.

9. 4 Pengemasan Produk Sergar Pertanian

Produk pertanian cenderung mengalami proses fisiologi setelah pascapanen. Umumnya produk segar seperti buah-buah dan sayur-sayuran. Produk tersebut lebih cepat mengalami kerusakan karena produk tersebut mengalami proses pernafasan. Kerusakan dapat terjadi karena kerusakan mekanik oleh peralatan saat panen, kerusakan biologis karena serangan mikroba (bakteri dan virus) dan kerusakan kimia oleh pestisida. Umumnya buah dikemas dengan pengemasan jenis *polyethylene* dengan ketebalan $\pm 10\text{-}20$ *micron* dengan jenis dan ketebalan tersebut kemasan yang bersifat *permeable* terhadap uap air dan sehingga dapat mengatur jumlah udara di dalam kemasan. Kadar O_2 dalam kemasan buah terlalu tinggi, maka akan terjadi perubahan warna pada buah tersebut sedangkan jika kadar CO_2 dalam kemasan terlalu tinggi, maka akan terjadi perubahan rasa (BPTP, 2009).

9.4.1 Pengemasan Buah Pisang

Buah pisang merupakan produk pertanian yang rentan mengalami kerusakan tergantung pada umur pemanenan. Buah pisang siap dipanen pada umur 3 bulan setelah tanam tergantung jenis varietasnya. Pemanenan buah pisang dilihat berdasarkan umur ketuaan buah, karena faktor tersebut menentukan kualitas buah pisang. Apabila pemanenan buah

pisang dilakukan secara awal maka rasa dan aromanya kurang baik dan sebaliknya jika pemanenan dilakukan terlalu tua rasa dan aroma terlalu kuat dan memiliki umur simpan yang pendek (Indrato, 2017). Buah pisang yang di pasarkan ke pasar tradisional umumnya dikemas dengan keranjang bambu dan diberi bantalan sekam atau daun pisang kering agar tidak terjadi kerusakan mekanis seperti gesekan. Sedangkan untuk pasar ekspor, pengemasan pisang harus memperhatikan kerusakan selama pendistribusian dengan memilih bahan kemas kardus atau karton *teleskopik* dan di masukkan ke dalam peti dan di tata dengan meletakkan mahkota pisang menempel pada bagian bawah karton. Setelah itu, peti-peti dimasukkan ke dalam container / *cold storage* khusus agar selama perjalanan menggunakan kapal. Pengemasan standart buah pisang dapat dilihat pada Gambar 9.1.



Gambar 9.1. Pengemasan Buah Pisang
Sumber : Majalah Trubus

9.4.2 Pengemasan Buah Alpukat

Buah alpukat merupakan buah *klimaterik* dimana buah mengalami perubahan biologis secara cepat dan terjadi proses pematangan dengan cepat. Buah alpukat dikemas dengan peti kayu atau peti plastik untuk menghindari kerusakan selama pendistribusian. Kerusakan selama distribusi dapat dikontrol dengan menggunakan kemasan dengan jenis ketebalan tertentu agar dapat mempekecil daya redam selama pendistribusian (Ferdad, 2022). Pengemasan alpukat yang akan dipasarkan di pasar tradisional dikemas menggunakan kotak kayu sedangkan

pengemasan alpukat untuk pasar ekspor buah alpukat dikemas dengan *fiberboard* yang ada ventilasinya. Untuk pasar export sebelum buah alpukat dimasukkan ke dalam pengemas, buah alpukat di sortir terlebih dahulu. Pengemasan Buah alpukat dapat dilihat pada Gambar 9.2.



Gambar 9.2. Pengemasan Buah Alpukat
Sumber : Majalah Trubus

9.4.3 Pengemasan Buah Jeruk

Buah jeruk merupakan buah yang mengandung Vitamin C dan kadar air sejumlah 88%. Buah jeruk umumnya mempunyai umur simpan / masa segar 9 hari di suhu kamar tanpa perlakuan dan akan mengalami susut sebesar 10%. Buah jeruk yang mengalami penyusutan maka akan mengalami penurunan kualitas dan kandungan gizinya yang ditandai dengan kulit buah menjadi kisut. Umur simpan buah jeruk ditentukan oleh tingkat kematangan buah jeruk. Pemanenan buah jeruk jika dilakukan pada tingkat kematangan yang tinggi maka kadar air, aroma dan warna akan semakin meningkat sedangkan kandungann vitamin C nya akan menurun dan hal tersebut dapat mempengaruhi selama penyimpanan. Buah jeruk yang dipasarkan di pasar tradisional biasanya menggunakan keranjang bambu dengan bagian pinggir keranjang dilapisi daun pisang untuk mencegah terjadinya respirasi. Kapasitas jeruk pada keranjang tidak disarankan untuk didisi sampai full hal ini agar tidak terjadi tekanan antar jeruk satu dengan jeruk lainnya. Sedangkan

untuk pengemasan jeruk yang dipasarkan di pasar ekspor, jeruk dikemas dengan peti kayu jenis albasia dengan ukuran 60x28.5x28.5 dan terdapat ventilasi. Buah jeruk ditata berlapis serta diberi sekat kertas untuk menghindari kerusakan mekanis. Pengemasan buah jeruk dapat dilihat pada Gambar 9.3.



Gambar 9.3. Pengemasan Buah Jeruk
Sumber : Majalah Trubus

9.4.4 Pengemasan Cabe

Cabe merupakan produk pertanian hortikultura yang mempunyai sifat. Jika pascapanen cabai tidak ditangani dengan baik maka cabai akan lebih cepat mengalami pembusukan dengan ditandai perubahan warna dan layu. Cabai setelah dilakukan pemanenan akan terus mengalami proses respirasi yang dapat ditentukan oleh pengaruh lingkungan. Proses respirasi dapat dikendalikan dengan metode perlakuan suhu rendah dan pemilihan pengemasan yang tepat (Yolanda, 2020). Kemasan dengan tingkat permeabilitas yang kecil mampu menghalangi keluar masuknya udara atau uap air. Cabai yang sudah melalui pascapanen sebelum dikemas dilakukan grading dan sortasi. Pengemasan pada pasar tradisional, cabe dapat dikemas dengan karung goni atau kardus dengan ukuran 25 kg. Sedangkan cabai yang dipasarkan di pasar ekspor, cabai dikemas dengan karton berventilasi dengan ukuran maksimal 5 kg. Untuk pengemasan cabai dengan jumlah 250gram dapat dikemas dengan plastik PVC dengan sifat mudah direntang, kuat dan jernih selanjutnya ditutup dengan *sealer*. Pengemasan Cabai dapat dilihat pada Gambar 9.4.



Gambar 9.4. Pengemasan Cabai
Sumber : Azka Jagad Tani

9.5 Pengemasan Produk Olahan

Pengemasan menjadi hal yang penting bagi olahan pangan produk pertanian. Produk pertanian yang sudah diolah atau pangan olahan semestinya dikemas dengan bahan kemas yang baik, tepat sehingga mampu menjaga mutu dan menjamin keamanan pangan serta memperpanjang umur simpan (Marlinda, 2021). Contoh pengemasan produk olahan :

9. 5.1 Pengemasan Produk Roti

Potensi kue di Indonesia cukup besar bagi para pelaku usaha karena mayoritas masyarakat Indonesia tidak hanya digunakan sebagai penunda lapar atau makanan sehari-hari tetapi roti dapat dijadikan sebagai oleh-oleh (Satriadi, 2021). Roti merupakan produk olahan pangan yang mengandung humektan sehingga membutuhkan jenis pengemas yang kedap udara dan air. Bahan kemas roti biasanya berbahan selulosa yang dilapisi OPP dan di seal / menggunakan perekat. Hal ini untuk menjaga kualitas roti terutama agar tidak apek.

9.5.2. Pengemasan Kecap

Kecap merupakan salah satu produk pertanian yang berbahan dasar dari kedelai. Kecap merupakan pangan olahan fermentasi dengan dicampur garam, gula serta tambahan bumbu

lainnya. Kecap merupakan bahan bumbu masak yang dapat memperbaiki cita rasa masakan (Novita. 2017). Kecap pada umumnya dikemas menggunakan kemasan plastik dan kemasan botol kaca. Pada umumnya kemasan untuk kecap menggunakan kemasan dengan warna gelap dengan sifat tidak tembus terhadap cahaya agar kemasan dapat melindungi kestabilan produk. Kemasan kecap dalam bentuk plastik umumnya menggunakan bahan *roll film* yang disealer, sedangkan bahan kemas kecap yang menggunakan botol kaca menggunakan penutup plastik atau seng.

DAFTAR PUSTAKA

- Apriyanti Marlinda, dkk. 2021. Pelatihan Pengemasan Produk Olahan Pangan Pada SMKN 1 Negeri Besar Way Kanan. Jurnal Pengabdian Nasional. Vol.2 : 94-100.
- Balai Pengkajian Teknologi Pertanian Yogyakarta. 2009. Pengemasan Produk Pertanian. Balai Besa Pengkajian dan Pengembangan Teknologi Pertanian: Departemen Pertanian.
- Indrato dan Murinto. 2017. Deteksi Kematangan Buah Pisang Berdasarkan Fitur Warna Citra Kulit Pisang Menggunakan Metode Transformasi Ruang Warna HIS. IUITA. Volume V, No.1.
- Kurniawati, Novita, dkk. 2017. Analisis Perilaku Konsumen dalam Melakukan Pembelian Kecap Manis di Pasar Tradisional Kabupaten Kebumen. AGRISTA : Vol. 5 No.2
- Nugraheni Mutiara. 2018. Kemasan Pangan. Plantaxia : Yogyakarta
- Putri Yolanda Reptami, dkk. 2020. Analisis Pengaruh Suhu dan Kemasan pada perlakuan Penyimpanan terhadap Kualitas Mutu Fisik Cabai Merah Keriting (*Capsicum Annumm L.*). Jurnal Teknologi Pertanian. Vol. 21. No.1
- Satriadi, dkk. 2021. Perancangan Desain Kemasan dan Brand Putu Piring Bu Kay. Logista : Jurnal Ilmiah Pengabdian kepada Masyarakat. Vol.5. No. 1.
- Sucipta Nyoman, dkk. 2017. Pengemasan Pangan: Kajian Pengemasan yang Aman, Nyaman, Efektif dan Efisien. Udayana University Press: Bali.
- Taufiq Miza Ferdad, dkk. 2022. Rancangan kemasan Buah Alpukat (*Persea Americana Mill*) Menggunakan Serbuk Gergaji Kayu. Jurnal Agriculture Biosystem Engineering. Vo. 1, No.2.

BAB 10

PENYIMPANAN PASCAPANEN

Oleh Prakoso Adi

10.1 Penyimpanan dan faktor yang mempengaruhi

Produk hasil pertanian merupakan sumber pangan yang menjadi bahan konsumsi utama bagi masyarakat sejak zaman pre-histori hingga saat ini. Produk-produk pertanian tersebut memiliki banyak manfaat karena mengandung berbagai macam senyawa esensial yang diperlukan oleh tubuh, seperti karbohidrat, protein, lemak, vitamin, mineral, dan senyawa-senyawa bioaktif. Akan tetapi, bahan hasil pertanian memiliki karakteristik perishable (Samad, 2006) atau mudah rusak apabila tidak ditangani dengan cara yang tepat. Kerusakan tersebut dapat diakibatkan oleh beberapa faktor seperti fisik, kimiawi, mikrobiologis, dan fisiologis.

Usaha untuk mengembangkan metode distribusi, transportasi, dan penyimpanan bahan hasil pertanian yang sangat mudah rusak ini menjadi sangat penting dan banyak dilakukan saat ini. Hal ini dikarenakan jarak dan durasi pengiriman produk hasil pertanian yang sangat rentan rusak ke konsumen akan sangat mempengaruhi margin profit dan harga produk segar hasil pertanian (Burg, 2004).

Penyimpanan merupakan suatu metode dalam mengendalikan laju respirasi, transpirasi, infeksi penyakit, dan mempertahankan kondisi komoditi hasil pertanian pada kondisi yang paling bermanfaat untuk konsumen. Pengendalian laju respirasi dan transpirasi saat penyimpanan menjadi salah satu hal sangat penting dilakukan untuk penyimpanan produk

pascapanen. Hal tersebut dikarenakan laju respirasi berhubungan dengan proses pematangan beberapa produk hasil pertanian. Produk hasil pertanian seperti buah dan sayur saat berespirasi, sel-sel produk tersebut bernapas mengambil oksigen. Proses ini terus berlangsung meskipun produk tersebut sudah matang. Oleh karena itu pengendalian konsentrasi oksigen disekitar komoditas perlu diatur serendah mungkin, kemudian laju respirasi akan melambat dan pada akhirnya proses pematangan buah dan sayur dapat diperlambat (Mushollaeni, 2012). Selain laju respirasi dan transpirasi, kerusakan bahan hasil pertanian dapat diakibatkan oleh faktor lain yang berasal dari dalam bahan seperti enzim, kadar air, protein lemak, serta faktor dari luar bahan seperti mikroba, suhu, dan serangan perusak.

Kerusakan oleh faktor-faktor penyebab kerusakan bahan hasil pertanian sangat mungkin terjadi selama proses penyimpanan. Oleh karena itu, pengendalian terhadap faktor-faktor penyebab kerusakan tersebut sangat perlu dilakukan untuk mempertahankan kualitas produk sebelum sampai ke tangan konsumen. Tingkat keberhasilan proses penyimpanan dalam mempertahankan mutu produk hasil pertanian juga dipengaruhi oleh beberapa faktor mulai dari faktor jenis produk yang disimpan hingga faktor dari luar produk.

10.1.1 Faktor-faktor sebelum panen (prapanen)

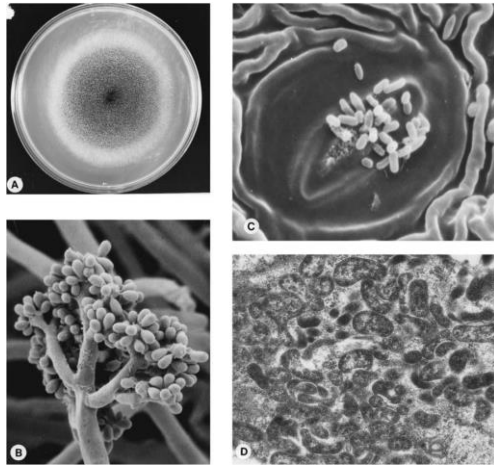
Mutu produk hasil pertanian dapat dipengaruhi oleh kondisi-kondisi yang terjadi saat masa tanam (*on farm*). Salah satu kondisi tersebut adalah keadaan iklim. Keadaan iklim yang berubah (*climate change*) secara ekstrem pada saat ini tidak dapat dihindari akibat pemanasan global. Perubahan kondisi iklim yang terjadi ini menimbulkan beberapa efek di sector pertanian terutama di Indonesia seperti perubahan pola curah hujan, meningkatnya frekuensi kejadian iklim ekstrem, dan

peningkatan suhu udara dan permukaan air laut (Surmaini dkk, 2008). Adapun efek domino yang ditimbulkan dari perubahan-perubahan tersebut diantaranya adalah perubahan produksi pertanian yang signifikan akibat perubahan pola curah hujan dan kenaikan suhu udara; semakin luasnya tanaman pangan yang mengalami puso akibat perubahan iklim ekstrem seperti banjir dan kekeringan; serta penciptaan lahan pertanian pesisir akibat peningkatan permukaan air laut dan kerusakan tanaman darat akibat tingginya salinitas.

Selain faktor alam, faktor kondisi (cara) bercocok taman juga akan mempengaruhi mutu hasil pertanian yang akan disimpan. Beberapa kondisi tersebut yaitu jenis tanah, penyediaan hara dan air, pemakaian mulsa, pemangkasan, penjarangan buah dan bunga, serta penggunaan bahan kimiawi. Beberapa faktor ini akan mempengaruhi kondisi produk yang akan disimpan, sehingga akan mempengaruhi masa/umur simpan produk.

Faktor infeksi yang disebabkan oleh wabah seperti mikroorganisme baik virus, fungi maupun bakteri juga akan mempengaruhi mutu atau kualitas produk yang disimpan. Beberapa jenis kerusakan produk hasil pertanian akibat bakteri yaitu bengkak pangkal batang, kanker dan layu tomat, bercak daun, busuk lunak, busuk stek, busuk umbi lapis, kudis kentang, dan bintil pada kacang-kacangan (Agrios, 2005). Virus juga dapat mengakibatkan pertumbuhan tanaman menjadi tidak normal. Salah satu penyakit tanaman yang disebabkan virus adalah bercak-bercak kuning yang terjadi pada daun tembakau maupun tanaman suku terung-terungan (*Solanaceae*). Bercak-bercak ini berbentuk seperti *mosaic* yang disebabkan oleh virus yang bernama virus *mosaic* tembakau atau *tobacco mosaic virus* (TMV). Virus ini tidak hanya menyebabkan bercak kuning pada tanaman yang terinfeksi, tetapi juga dapat menyerang bagian bunga, buah, dan bahkan dapat menyebabkan pengerdilan

tanaman. Beberapa gejala tanaman pertanian terinfeksi oleh virus yaitu perubahan warna pada daun, tumbuhan menjadi kerdil, dan terkadang tanaman menjadi keriput maupun keriting.

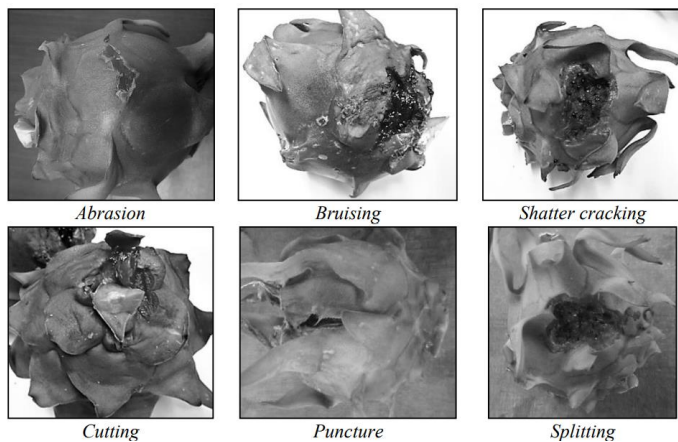


Gambar 10.1 Tiga tipe mikroorganisme penyebab penyakit tanaman. (A) Fungi yang tumbuh disalah satu bagian jaringan tanaman yang terinfeksi dalam media nutrient. (B) Miselium dan spora dari fungi pathogen (*Botrytis* sp.). (C) Bakteri pada stomata daun tanaman. (D) Fitoplasma dalam sel floem tanaman (Sumber: Agrios, 2005)

10.1.2 Cara pemanenan dan penanganan

Metode pemanenan dan penanganan komoditi hasil pertanian (pascapanen) juga menjadi hal yang perlu dilakukan secara hati-hati. Hal ini dikarenakan kesalahan dari cara panen dan penanganan akan menurunkan mutu komoditi yang akan disimpan. Kesalahan umum yang sering terjadi selama masa panen komoditi adalah jatuhnya komoditi atau benturan saat pemetikan sehingga membentur atau terbentur pada benda keras seperti tanah, lantai, wadah penampungan komoditi, maupun bebatuan. Benturan ini dapat mengakibatkan luka pada

kulit komoditi dan mengakibatkan peningkatan laju respirasi pada komoditi yang disimpan. Peningkatan laju respirasi ini pada akhirnya dapat mempercepat laju pembusukan komoditi. Selain itu, luka pada kulit komoditi, juga dapat membuka jalan masuknya mikroorganisme pembusuk dan pathogen. Hal ini tentunya akan menurunkan kualitas dan umur simpan dari komoditi. Oleh karena itu, pada beberapa kasus, kulit dari komoditi dilapisi dengan film (*edible* dan *non-edible*) untuk menghambat laju respirasinya.



Gambar 10.2 Contoh kerusakan (abrasion, bruising, shatter cracking, cutting, puncture, dan splitting) akibat kesalahan pemanenan dan penanganan pada buah naga
(Sumber: (Amalia dkk, 2018))

10.1.3 Pendinginan

Perlakuan pra-pendinginan pada komoditas hasil pertanian juga dapat mempengaruhi kualitas dari produk yang disimpan. Perlakuan ini akan mempengaruhi susut bobot yang terjadi dan umur simpan produk yang diberi perlakuan. Penelitian yang dilakukan oleh Blongkod dkk (2016) mengenai perlakuan pra-pendinginan pada brokoli diketahui bahwa perlakuan ini dapat mempengaruhi perubahan berat, warna,

kadar vitamin C, dan umur simpan produk. Penelitian ini menggunakan dua perlakuan yaitu pra-pendinginan (tanpa perlakuan, dengan menggunakan air 23°C, dan menggunakan air es 0°C) dan penyimpanan dengan berbagai suhu (suhu ruangan, suhu 0°C, 5°C, dan 10°C). Hasil penelitian menunjukkan bahwa kombinasi perlakuan pra-pendinginan dan penyimpanan pada suhu dingin menghasilkan brokoli dengan kualitas terbaik. Brokoli yang disimpan dengan perlakuan pra-pendinginan menggunakan air es (0°C) dan penyimpanan 0°C, tidak mengalami perubahan berat, dengan warna hijau dan mengandung vitamin C sebesar 4,506 mg. Selain itu brokoli yang diberikan perlakuan ini juga memiliki umur simpan yang lebih baik daripada brokoli dengan perlakuan lainnya yaitu hingga 42 hari. Hasil ini dipengaruhi oleh melambatnya laju respirasi dan reaksi kimiawi yang terjadi di dalam brokoli akibat perlakuan suhu dingin. Pendinginan dapat memperlambat reaksi-reaksi metabolisme produk, pada umumnya setiap penurunan suhu 8°C kecepatan reaksi akan menurun kira-kira setengahnya (Safaryani dkk, 2007). Oleh karena itu, perlakuan pendinginan ini dapat mempertahankan dan memperpanjang masa hidup jaringan-jaringan dari bahan hasil pertanian.

10.1.4 Kebersihan (higienitas)

Kebersihan atau higienitas proses penyimpanan mulai dari bangunan (tempat), peralatan, dan personil yang melakukan penanganan komoditi juga sangat penting untuk diperhatikan. Hal ini dikarenakan berkaitan dengan peningkatan peluang kontaminasi mikroba-mikroba pembusuk (*spoilage microorganism*) yang dapat menyebabkan percepatan pembusukan komoditi yang disimpan. Tumbuhnya mikroba-mikroba pembusuk ini dipengaruhi oleh beberapa hal seperti komposisi dan sifat penyusun produk hasil pertanian, kondisi lingkungan seperti pH, suhu, air, ketersediaan oksigen (aerob atau anaerob). Kondisi anaerob pada penyimpanan komoditi

dapat menurunkan peluang tumbuhnya mikroba pembusuk (Zettler & Navarro, 2001). Selain itu keberadaan organisme prekursor pembawa mikroorganisme pembusuk juga dapat meningkatkan peluang tumbuhnya mikroorganisme ini pada komoditi hasil pertanian yang disimpan (Behar dkk, 2008). Organisme yang dimaksud contohnya adalah lalat seperti lalat spesies *Ceratitis capitata* (**Gambar 10.3**) yang dapat menjadi prekursor dari bakteri *Enterbacteraceae*.



Gambar 10.3 Lalat *C. capitata* prekursor mikroorganisme pembusuk

(Sumber: Coronado-Gonzalez dkk, 2008)

10.1.5 Varietas komoditas

Varietas dari buah dan sayuran dapat mempengaruhi umur simpan dari produk yang disimpan. Varietas dari tanaman ini sangat dipengaruhi oleh faktor genetis yang akan menyebabkan perbedaan daya simpan pada setiap komoditas (Suhartanto, 2013). Hal ini dikarenakan perbedaan varietas akan menyebabkan perbedaan viabilitas dari produk yang disimpan meskipun disimpan pada kondisi yang sama (Bewley & Black, 1985). Adapun contoh dari faktor genetis mempengaruhi umur simpan adalah banyak sedikitnya kandungan zat lignin pada benih kedelai, semakin tinggi kandungan lignin pada benih kedelai maka semakin lama umur simpannya (Krzyzanowski dkk, 2008). Lignin dapat meningkatkan umur simpan benih kedelai karena peningkatan kandungan lignin pada kedelai dapat meningkatkan resistensi kedelai terhadap mikroorganisme. Selain itu, kedelai dengan warna yang berbeda

juga memiliki umur simpan yang berbeda. Penelitian yang dilakukan oleh Marwanto (2004) menunjukkan bahwa kedelai berwarna hitam memiliki umur simpan yang lebih lama daripada kedelai berwarna kuning. Hal ini dikarenakan kedelai berwarna hitam memiliki kandungan lignin yang lebih tinggi daripada kedelai berwarna kuning. Lebih tingginya kandungan lignin menyebabkan kedelai berwarna hitam memiliki resistensi terhadap mikroorganisme yang lebih baik dan permeabilitas yang lebih rendah daripada kedelai berwarna kuning. Oleh karena itu, kedelai hitam memiliki daya simpan yang lebih baik daripada kedelai kuning.

10.2 Macam-macam metode penyimpanan produk hasil pertanian

Teknologi penyimpanan bahan hasil pertanian telah dilakukan oleh manusia sejak zaman pra-sejarah dan terus berkembang hingga saat ini. Awalnya manusia melakukan penyimpanan dengan menggunakan metode sederhana seperti penyimpanan yang dilakukan di goa-goa. Hal ini tentunya mengakibatkan kondisi lingkungan penyimpanan sangat mempengaruhi ketahanan kualitas produk yang disimpan. Berbeda halnya dengan era saat ini, perkembangan teknologi dan riset manusia telah menghasilkan metode-metode penyimpanan yang lebih modern. Metode penyimpanan berdasarkan perbedaan kondisi udara sekitar komoditas dapat digolongkan menjadi metode penyimpanan alami dan penyimpanan modifikasi serta terkendali.

10.2.1 Penyimpanan alami

Penyimpanan alami merupakan salah satu metode penyimpanan komoditas yang paling sederhana. Pada metode penyimpanan ini, kondisi udara ruang penyimpanan atau udara sekitar komoditi yang disimpan tidak diatur atau dikendalikan.

Semua parameter penyimpanan alami seperti suhu, kelembapan, aliran udara, dan susunan gas sama sekali tidak dikendalikan, sehingga kondisi udara penyimpanan bergantung pada udara sekeliling komoditi sekaligus kondisi bangunan serta wadah penyimpanan. Kondisi komoditas yang disimpan menggunakan metode penyimpanan alami dipengaruhi oleh perubahan kondisi udara luar akibat udara yang keluar masuk tempat penyimpanan. Semakin leluasa udara keluar dan masuk, maka semakin berpengaruh pada kondisi komoditas yang disimpan. Selain itu, konduktivitas bahan penyekat ruangan penyimpanan juga dapat mempengaruhi kondisi komoditas yang disimpan. Hal ini dikarenakan semakin konduktivitas bahan penyekat ini akan berdampak pada besar kecilnya pengaruh suhu udara luar terhadap komoditas yang disimpan. Apabila konduktivitas bahannya cukup tinggi, maka akan meningkatkan potensi pengaruh suhu udara luar. Hal ini dikarenakan tingginya konduktivitas bahan penyekat akan meningkatkan aliran udara dari luar ke dalam ruang penyimpanan (Budhyowati & Pandeiroth, 2022). Komoditas yang biasa menggunakan metode penyimpanan alami adalah komoditas biji-bijian dan sejenisnya. Berdasarkan letak ruang penyimpanannya, metode penyimpanan alami dapat dilakukan di dalam ruang bawah tanah dan di gudang yang terletak dipermukaan tanah.

Ruang penyimpanan bawah tanah pada umumnya memiliki konstruksi atap yang menurun dan ditutupi oleh tanah serta tumpukan jerami. Ruang penyimpanan tipe ini lebih baik dibuat di alam terbuka dengan dilengkapi ventilasi yang baik agar dapat menjaga tingkat kesejukan dan kelembapan ruangan. Beberapa komoditas dapat disimpan di ruang bawah tanah dengan RH yang tinggi. Komoditas tersebut diantaranya adalah wortel, kentang, bit, serta sayur-sayuran berumbi lainnya.

Berbeda halnya dengan penyimpanan alami pada ruangan bawah tanah, lokasi pembuatan ruangan penyimpanan di atas permukaan tanah dilakukan pada permukaan tanah. Terkadang rumah tempat tinggal juga dapat digunakan untuk fasilitas penyimpanan komoditas hasil pertanian. Daerah tempat pembangunan ruang penyimpanan dipermukaan tanah akan mempengaruhi sifat dan jenis bangunan yang dibuat. Ruangan penyimpanan yang dibangun di daerah dingin memerlukan isolasi yang tebal (misal dinding yang tebal), sedangkan ruang penyimpanan yang dibangun di daerah panas memerlukan ventilasi yang cukup banyak.

10.2.2 Penyimpanan modifikasi dan terkendali

Selain metode penyimpanan alami, juga terdapat metode penyimpanan modifikasi dan terkendali. Kedua metode ini tidak termasuk dalam metode penyimpanan alami karena kondisi udara di sekeliling komoditas pada kedua metode tersebut telah disesuaikan (dimodifikasi maupun dikontrol) menurut kebutuhan. Adapun faktor kondisi udara yang diatur yaitu faktor suhu, kelembapan, dan susunan gas di sekitar komoditas. Pengaturan atau modifikasi yang sering dilakukan adalah penyimpanan dengan suhu rendah (*cold storage*), penyimpanan dengan kelembapan rendah maupun tinggi, serta penyimpanan dengan penggunaan gas tertentu seperti CO₂ (penyimpanan dengan mengatur atmosfir sekitar komoditas). Perbedaan utama dari penyimpanan termodifikasi dan terkendali adalah terletak pada tingkat pengaturan dan ketetapan atau toleransi dari faktor penyimpanan yang dilakukan. Dikatakan sebagai penyimpanan terkendali apabila pengaturan kondisi suhu, kelembapan atau susunan gas sekitar komoditas diatur sangat ketat dengan toleransi yang sangat kecil. Sebaliknya, pengaturan faktor suhu, kelembapan atau susunan gas penyimpanan pada metode penyimpanan termodifikasi tidak dikendalikan secara ketat dan memiliki toleransi yang cukup tinggi.

1. Penyimpanan dingin

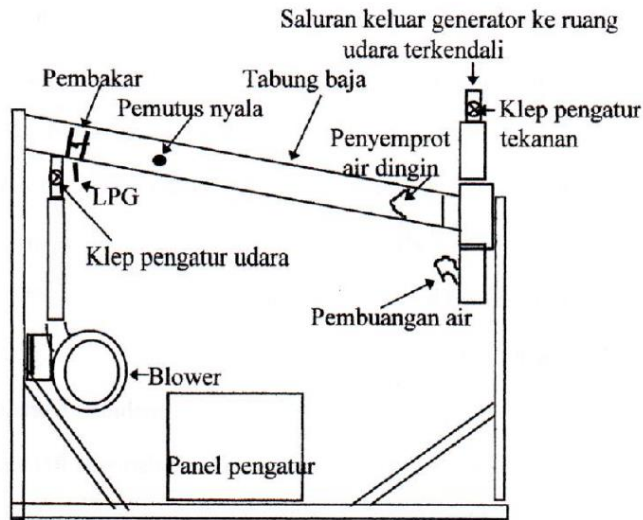
Penyimpanan dingin merupakan Teknik penyimpanan yang dilakukan dengan cara mengatur suhu penyimpanan menjadi rendah, baik di bawah titik beku (*freezing*) maupun di atas titik beku. Terdapat 2 macam penyimpanan dingin berdasarkan suhu yang digunakan yaitu penyimpanan atis (*chilled*) yang menggunakan suhu penyimpanan 1-5°C, penyimpanan sejuk yang menggunakan suhu penyimpanan sekitar 10°C (Wijandi, 2008). Keuntungan dari metode ini adalah dapat menghambat kerusakan fisiologis, penguapan dan aktivitas mikroorganisme yang dapat mempercepat kerusakan komoditas (Saputri dkk, 2020). Selain itu penyimpanan suhu dingin merupakan cara yang efektif untuk memperpanjang umur simpan komoditas. Hal ini dikarenakan penggunaan metode ini dapat menghambat proses respirasi dan penuaan pada komoditas yang disimpan.

Penyimpanan dingin telah banyak dimanfaatkan di Indonesia untuk memperpanjang umur simpan beberapa jenis komoditas. Beberapa komoditas yang menggunakan penyimpanan dingin adalah komoditas hasil hewani (misal: udang, ikan, dan daging), serta komoditas hortikultura seperti wortel, kentang, dan buncis. Penyimpanan suhu dingin memiliki kelemahan yaitu dapat menurunkan kelembapan produk/komoditas. Oleh karena itu pengaturan kelembapan dengan penyemprotan air dan pemberian kain basah dalam ruang penyimpanan sering dilakukan (Wijandi, 2008). Pengaturan kelembapan ini penting untuk dilakukan karena apabila kelembapan ruangan rendah maka potensi produk kehilangan kandungan airnya akan meningkat dan dapat merusak komoditas segar yang disimpan.

2. Penyimpanan atmosfir modifikasi dan terkendali

Penyimpanan atmosfir modifikasi merupakan teknik penyimpanan yang dilakukan dengan cara mengatur atau memodifikasi gas atau udara yang berada disekitar komoditas. Penyimpanan metode ini berkaitan dengan perlunya pengurangan kadar O_2 dalam tempat penyimpanan karena dapat menurunkan laju metabolisme komoditas, menurunkan resiko pertumbuhan mikroorganisme pada komoditas, dan mengurangi resiko ketengikan, bau dan perubahan warna selama penyimpanan akibat adanya O_2 (Wijandi, 2008). Pada umumnya pengurangan kadar O_2 dapat dilakukan dengan cara pemasukan CO_2 dalam bentuk gas, cair atau padat maupun dengan pemasukan N_2 dalam tempat penyimpanan komoditas sehingga akan mendesak O_2 untuk keluar dari sistem penyimpanan. Cara lain yang dapat digunakan untuk mengurangi komposisi O_2 dalam penyimpanan adalah dengan melakukan pembakaran sehingga kadar CO_2 meningkat dan kadar O_2 menurun.

Penyimpanan atmosfir terkendali (*controlled atmosphere*) merupakan teknik penyimpanan yang dilakukan dengan mengatur kondisi suhu, kelembapan, dan gas di sekitar komoditas yang disimpan. Komoditas yang sering memanfaatkan metode ini adalah buah-buahan seperti apel. Selain itu komoditas yang sangat peka dengan kondisi lingkungan seperti bunga, juga menggunakan metode ini untuk penyimpanannya (Wijandi, 2008).



Gambar 10.4. Diagram generator terbuka yang digunakan untuk memodifikasi kadar O_2 dalam penyimpanan
(Sumber: Wills dkk, 1981)

Salah satu alat yang digunakan untuk memodifikasi kadar O_2 dalam penyimpanan adalah generator terbuka (**Gambar 10.4**). Prinsip kerja dari generator ini yaitu mengurangi kadar O_2 disekitar penyimpanan dengan menggunakan gas CO_2 hasil pembakaran dari generator khusus ini. Gas CO_2 hasil pembakaran ini akan mendesak keluar gas oksigen dari sistem penyimpanan. Pada sistem ini, perlu dilengkapi dengan penyerap gas karbondioksida untuk menyerap kelebihan karbondioksida yang terbentuk dari hasil pembakaran dan hasil respirasi.

3. Penyimpanan hermetik

Penyimpanan hermetik merupakan salah satu teknik pengemasan yang memanfaatkan desain dan bahan dari wadah pengemas komoditas. Pada teknik pengemasan ini, digunakan bahan pengemas yang kedap udara. Oleh karena itu, kemungkinan gas, udara, uap air, dan mikroorganisme

dari luar masuk tidak ada (Nugraheni, 2018; Wijandi, 2008). Akan tetapi, suhu dari luar kemasan masih dapat mempengaruhi kondisi penyimpanan, sehingga kondisi gas dalam penyimpanan akan tetap konstan selama tidak ada reaksi kimia yang terjadi di dalam sistem penyimpanan. Kondisi vakum dalam sistem penyimpanan hermetik dapat terjadi apabila komoditas yang disimpan dalam kemasan ini masih melakukan respirasi. Hal ini dikarenakan ketika komoditas melakukan respirasi, maka kadar oksigen dalam sistem penyimpanan komoditas secara hermetik akan menjadi rendah (Wijandi, 2008). Beberapa contoh kemasan yang menerapkan sistem hermetik adalah kemasan botol, kaleng, dan jar yang ditutup secara hermetik (Nugraheni, 2018).



Gambar 10.5 Penyimpanan produk pangan dengan menerapkan teknik penyimpanan hermetik
(Sumber: Nugraheni, 2018)

4. Penyimpanan kelembapan rendah

Jenis penyimpanan dengan kelembapan rendah biasa digunakan untuk komoditas yang bersifat higroskopis atau sangat mudah menyerap uap air di sekeliling komoditas. Adapun contoh dari komoditas ini adalah gula, dan tepung-tepungan. Beberapa komoditas pertanian tersebut memerlukan kondisi penyimpanan yang kering atau memiliki kelembapan rendah di dalam ruang penyimpanan. Oleh karena itu biasanya untuk menciptakan kondisi tersebut, digunakan bahan kimia seperti kapur gamping

(CaO) maupun silika gel di dalam tempat penyimpanan komoditas (Wijandi, 2008). Akan tetapi, beberapa komoditas seperti kacang-kacangan, akan menjadi lebih rapuh ketika disimpan dalam kondisi ruang yang terlalu kering. Oleh karena itu, perlu adanya pengaturan kondisi kelembapan ruangan secara berkala agar kualitas komoditas produk yang disimpan masih dalam kondisi yang layak sebelum sampai ke tangan konsumen.

5. Penyimpanan vakum

Penyimpanan vakum merupakan salah satu teknik penyimpanan komoditas pada kondisi kadar oksigen dalam sistem penyimpanan sangat rendah atau bahkan tidak ada. Kondisi penyimpanan yang memiliki kadar oksigen sangat rendah ini, dapat menghambat laju reaksi kimia seperti oksidasi. Terhambatnya laju reaksi kimia ini akan dapat menghambat kerusakan kimiawi seperti ketengikan dan bau apek dari komoditas yang disimpan (Wijandi, 2008). Adapun prinsip utama dari teknik penyimpanan ini adalah dengan mengeluarkan (menyedot) udara yang berada di dalam kemasan yang digunakan untuk mengemas komoditas. Pada beberapa industri yang menerapkan sistem ini, misalkan industri pengemasan beras, komoditas yang dikemas memiliki umur simpan yang lebih lama daripada yang tidak divakum (Wijandi, 2008). Oleh karena itu teknik penyimpanan ini sangat banyak dimanfaatkan saat ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Agrios, G. N. 2005. *Plant Pathology* (5th ed.). London: Elsevier Academic Press.
- Amalia, R. R., Hairiyah, N., & Nuryati, N. 2018. Analysis of Mechanical Damage and Shelf Life on Dragon Fruit Supply Chain in Tanah Laut Regency. *Industria: Jurnal Teknologi Dan Manajemen Agroindustri*, 7(2), 107–115. <https://doi.org/10.21776/ub.industria.2018.007.02.5>
- Behar, A., Jurkevitch, E., & Yuval, B. 2008. Bringing back the fruit into fruit fly-bacteria interactions. *Molecular Ecology*, 17(5), 1375–1386. <https://doi.org/10.1111/j.1365-294X.2008.03674.x>
- Bewley, J. D., & Black, M. 1985. *Seeds: Physiology of Development and Germination*. Plenum Press.
- Blongkod, N. A., Wenur, F., & Longdong, I. A. 2016. Kajian Pengaruh Pra Pendinginan dan Suhu Penyimpanan Terhadap Umur Simpan Brokoli. *Jurnal Cocos*, 7(5), 1–10.
- Budhyowati, M. Y. N., & Pandeiroth, Y. C. S. 2022. Pengaruh Desain Konstruksi Terhadap Nilai Perpindahan Panas Pada Dinding Batu Bata Merah. *Jurnal Arsitektur DASENG*, 11(1), 1–9. https://www.google.com/search?q=batubata+merah+adalah&rlz=1C1RLNS_enID923ID923&source=lnms&tbn=isch&sa=X&ved=2ahUKE
- Burg, S. P. 2004. *Postharvest Physiology and Hypobaric Storage of Fresh Produce*. London: CABI Publishing.
- Coronado-Gonzalez, P. A., Vijaysegaran, S., & Robinson, A. S. 2008. Functional morphology of the mouthparts of the adult Mediterranean fruit fly, *Ceratitis capitata*. *Journal of Insect Science*, 8(73), 1–11. <https://doi.org/10.1673/031.008.7301>
- Krzyzanowski, F. C., Neto, J. D. B. F., Mandarino, J. M. G., & Kaster, M. 2008. Evaluation of Lignin Content of Soybean Seed Coat Stored in a Controlled Environment. *Revista Brasileira de Sementes*, 30(2), 220–223.

- Marwanto. 2004. Karakteristik Kulit Benih Kedelai dan Kemunduran Mutu nya Selama Deraan Cuaca dan Penyimpanan. *Jurnal Ilmu-Ilmu Pertanian Indonesia*, 6(2), 57–65.
- Mushollaeni, W. 2012. *Penanganan dan Rekayasa Produk Hasil Pertanian* (1st ed.). Penerbit Selaras.
- Nugraheni, M. 2018. *Kemasan Pangan* (1st ed.). Yogyakarta: Plantaxia.
- Safaryani, N., Haryanti, S., & Hastuti, D. 2007. Pengaruh Suhu dan Lama Penyimpanan terhadap Penurunan Kadar Vitamin C Brokoli (*Brassica oleracea* L.). *Buletin Anatomi Dan Fisiologi*, XV(2), 39–45.
- Samad, M. Y. 2006. Pengaruh Penanganan Pasca Panen Terhadap Mutu Komoditas Holtikultura. *Jurnal Sains Dan Teknologi Indonesia*, 8(1), 31–36.
- Saputri, C. W. E., Pudja, I. A. R. P., & Kencana, P. K. D. 2020. Pengaruh Perlakuan Waktu dan Suhu Penyimpanan Dingin terhadap Mutu Kubis Bunga (*Brassica oleracea* L. var. botrytis). *Jurnal BETA (Biosistem Dan Teknik Pertanian)*, 8(1), 138–144.
- Suhartanto, M. R. 2013. *Dasar Ilmu dan Teknologi Benih*. IPB Press.
- Surmaini, E., Runtunuwu, E., & Las, I. (2008). Upaya Sektor Pertanian Dalam Menghadapi Perubahan Iklim. *Jurnal Litbang Pertanian*, 30(1), 1–7.
- Wijandi, S. 2008. *Penyimpanan dan Penggudangan*. Jakarta: Penerbit Universitas Terbuka.
- Wills, R. H., Lee, T. H., Graham, D., Mc. Glasson, W. B., & Hall, E. G. 1981. *Postharvest, An Introduction to the Physiology and Handling of Fruit and Vegetables*. New South Wales. New South Wales university Press Limited.
- Zettler, J. L., & Navarro, S. 2001. Effect of Modified Atmospheres On Microflora and Respiration of California Prunes. *International Conference Controlled Atmosphere and Fumigation in Stored Product*, 169–177.

BAB 11

HAMA DAN PENYAKIT PASCAPANEN

Oleh I Wayan Suanda

11.1 Pendahuluan

Dalam melakukan kegiatan usaha tani, pascapanen merupakan penantian panjang yang penuh kesabaran untuk menunggu hasil sebagai buah aktivitas bertani sebelumnya. Pascapanen itu sendiri merupakan hasil dari suatu kegiatan yang pernah dilakukan terhadap suatu komoditas dari saat panen sampai pemanfaatannya (konsumsi maupun pemanfaatan lain). Pascapanen atau merupakan hasil (pasca produksi), yang terdiri atas: 1) pascapanen (*postharvest*) dan 2) pengolahan (*processing*). Aktivitas yang terjadi dalam pascapanen ini diantaranya: mulai dari panen, penyotiran, pengeringan, pengolahan, pengemasan, pengiriman, penyimpanan dan pemasaran. Tahapan-tahapan yang dilalui dalam pascapanen akan menyebabkan terjadi penyusutan bobot, kuantitas maupun kualitas komoditi yang kita lakukan. Sedangkan pengolahan merupakan proses yang dilakukan dari buah (dari bahan baku awal) menjadi bentuk maupun produk baru berupa terjadinya perubahan penampilan. Pengolahan yang dilakukan bisa secara sederhana (tradisional) maupun skala industri menjadi produk yang bisa disimpan dalam waktu cukup lama dan memiliki nilai ekonomi lebih tinggi. Penyusutan ini sangat dipengaruhi oleh kualitas komoditi pada saat kita panen, sehingga dalam pemanenan memerlukan perhatian dengan pertimbangan lebih matang. Penurunan kualitas dan kuantitas komoditi ini terjadi dari mulai panen, perontokan, pengeringan dan penggilingan. Namun penurunan bobot dan kerusakan ini dominan terjadi pada saat penyimpanan, selama penyimpanan kerusakan yang disebabkan organisme pengganggu dapat menimbulkan penurunan viabilitas apabila dijadikan benih.

Komoditi yang berasal dari biji-bijian memiliki daya tahan sangat rendah dalam penyimpanan dan ini tergantung dari jenis komoditi, tingkat kematangan saat dipanen, termasuk pengaruh lingkungan. Komoditi dari biji-bijian ini akan cepat mengalami kebusukan terlebih kadar air masih tinggi, sehingga gangguan oleh serangga hama dan mikroorganisme (jamur, bakteri dan virus) menjadi cukup tinggi. Material pangan yang memiliki kadar air masih cukup tinggi yaitu melebihi 12% menjadi media tumbuh yang potensial bagi jamur patogen (Ukat dan Endah, 2013). Mikroorganisme yang paling sering yaitu jenis jamur seperti: *Aspergillus flavus*, *A. niger*, *A. parasiticus*, *A. oryzae*, *A. wentii*, yang menghasilkan aflatoksin. Selain itu ada jamur yang bersifat patogen, yaitu: *Penicilium citrinum* mampu memproduksi toksin citrinim, *P. prequantans*, *P. expansum*, *P. variable*. *Rhizopus* sp. dan *Mucor* sp. Toksin yang dihasilkan patogen ini mampu menurunkan kualitas dan bersifat racun yang berbahaya bagi kesehatan, karena bersifat karsiogenik dan hepatotoksik.

Ketahanan pangan berdampak besar terhadap adanya serangan hama dan penyakit pascapanen, mengingat kerusakan yang ditimbulkan didominasi pada komoditi sumber pangan. Dalam konsep ketahanan pangan, katagori pangan sehat adalah pangan yang selain kuantitas dengan terjaganya kontinuitas ketersediaan, juga memiliki kualitas yang terjamin. Untuk menjaga kualitas pangan harus diperhatikan ada atau tidaknya kerusakan oleh hama dan patogen pada pangan tersebut. Kerusakan pangan oleh organisme pengganggu ini dapat dilakukan dengan melibatkan pengkajian secara mikrobiologi terkait dengan mikroba patogen. Bila komoditi pangan yang telah terkontaminasi suatu patogen kemudian dijadikan bibit untuk budidaya akan memberi pengaruh negatif terhadap mutu benih, perkecambahan bibit dan pertumbuhan tanaman selanjutnya (Hanif dan Susanti., 2019; Satmalawati & Rusae, 2017).

11.2 Hama Pascapanen Buah-Buahan

Buah-buahan hasil pertanian merupakan komoditas yang memiliki arti dan nilai penting bagi Indonesia yang masih menekankan sektor pertanian sebagai sumber devisa negara. Ketersediaan buah segar secara kontinyu untuk memenuhi kebutuhan konsumsi dan industri serta ekspor menjadi suatu keharusan. Namun ketersediaan belum bisa secara terus menerus dan selalu mengalami fluktuasi antara musim atau saat panen dan paceklik. Oleh karena itu pengelolaan dan pengembangan sektor ini harus menjadi prioritas. Selain itu kerusakan komoditas hasil pertanian yang disebabkan akibat infeksi patogen (jamur dan bakteri) dapat dimulai dari saat masih pada tanaman (sebelum dipanen) maupun setelah di panen. Dalam melakukan kegiatan pemanenan selain memperhatikan kematangan (umur) dari komoditi yang akan dipanen juga harus berhati-hati agar tidak terjadi kerusakan akibat fisik, misalnya luka, atau jatuh. Kerusakan fisik akan memudahkan patogen terutama jamur untuk menginfeksi dan akan berlanjut menjadi jalan masuk untuk menembus jaringan yang lebih dalam yang akan mengakibatkan lebih parah. Menjaga kualitas buah agar tetap terjamin melalui prosedur penanganan pascapanen yang baik dan tepat waktu sangat penting.

Komoditas buah-buahan menjadi sasaran utama bagi lalat buah sehingga menjadi hama pascapanen yang paling potensial merusaknya. Lalat buah (*Drosophila* sp.) bertelur dengan menusukkan ovovisitornya ke bagian buah sampai tembus daging buah. Lubang yang dari luar kelihatan sangat kecil namun lubang tersebut akan menjadi besar seiring dengan menetasnya telur menjadi larva yang menggerogoti daging buah. Larva lalat buah (*Drosophila* sp.) inilah menjadi musuh utama tanaman buah-buahan dari masih muda (belum dipetik) hingga buah matang (siap dipetik). Kerusakan terjadi lebih parah karena ganasnya larva menghancurkan daging buah dari dalam. Kerusakan yang diakibatkan pada komoditas buah-buahan,

sehingga serangan lalat buah termasuk hama potensial pada buah-buahan. Buah yang telah dirusak larva ini tentu tidak bagus tampilan dan sangat tidak layak untuk dikonsumsi. Keberhasilan dalam kegiatan agribisnis buah-buahan maupun bunga sangat dipengaruhi oleh serangan organisme pengganggu tanaman (OPT) khususnya pada saat pascapanen. Adanya infeksi patogen maupun serangan hama menyebabkan kualitas buah maupun bunga dan komoditas lainnya menjadi kurang menarik dan menurunkan nilai tawar dalam pemasaran. Dalam pengelolaan OPT perlu memperhatikan dan penuh pertimbangan, mengingat gangguan predator, patogen yang ada pada buah maupun tempat penyimpanan sangat dipengaruhi oleh kelembaban, suhu, dan curah hujan serta populasi hama. Bila penyelamatan komoditas pascapanen dilakukan menggunakan bahan dari senyawa kimia sintetis perlu memperhatikan pencemaran dan resiko kesehatan yang diakibatkan. Mengingat masyarakat saat ini sudah mulai sadar akan dampak negatif pengaplikasian senyawa kimia sintetis terhadap produk **pertanian** dan lebih beralih ke yang alami (*back to nature*).

11.3 Hama Pascapanen Sayur Mayur

11.3.1 Kubis

Kubis merupakan tanaman sayuran tergolong Brassica cukup digemari oleh masyarakat, karena bermanfaat bagi kesehatan tubuh manusia, baik sebagai sumber vitamin C, vitamin B6, asam folat dan menyediakan mineral Kalsium, Magnesium dan Fosfor. Kubis bunga maupun kubis bulat produksinya selalu mengalami fluktuasi akibat serangan hama dan penyakit. Hama yang sering menyerang kedua komunitas sayuran ini yaitu: *Plutella xylostella* L.; *Crociodomia pavonana* dan *Spodoptera litura* (ulat grayak). Selain ketiga hama itu kubis sering dirusak hama berupa ulat tanah *Agrotis ipsilon* Hunf; *Chrysodeixis orichalcea* L. (Ulat jengkal); *Helicoverpa armigera* Hbn. Dan Kutu daun tanaman kubis. Serangan semakin hebat

terutama pada musim kemarau hingga tingkat kerusakan di atas 40% bahkan terjadinya gagal panen (Suanda, 2021).

11.3.2 Kacang Panjang

Kacang panjang merupakan sayuran yang banyak dikonsumsi masyarakat di Indonesia karena sayuran ini banyak mengandung protein, karbohidrat dan lemak, termasuk vitamin A, vitamin B, vitamin C. Kebutuhan akan sayur ini terus mengalami peningkatan namun tidak diimbangi dengan peningkatan produksi akibat adanya gangguan organisme pengganggu tanaman baik dari pembibitan sampai pascapanen (Gambar 11.1).



Gambar 11.1. Kacang Panjang terserang Hama
(Sumber: I Wayan Suanda)

11.3.3 Terung

Terung sebagai tanaman sayur yang memiliki nilai ekonomi tinggi karena telah menjadi komoditi cukup digemari masyarakat. Terung (*Solanum melongena* L.) menjadi lauk pauk sebagai pelengkap sayur dalam menyajikan menu makanan. Pengolahan terung menjadi aneka camilan dan makanan ringan dengan manfaat sebagai penurun diabetes menjadi kontribusi dalam kebutuhan akan komoditi ini. Namun ketersediaan terung secara kuantitas dan kualitas belum terjamin akibat kerusakan yang diakibatkan oleh hama penggerek buah terong, kumbang lembing saat pascapanen. Tanaman terung sebelum berbuah sudah banyak diganggu hama penggerek pucuk, penggerek

batang, kutu putih (*whitefly*), thrips, aphid, tungau merah dan penyakit daun. Larva yang menetas dari telur hama *Leucinodes orbonalis* merusak daging buah terung dari dalam yang menimbulkan kerugian sangat besar, sehingga dikategorikan sebagai hama utama. Serangan hama ini menimbulkan kerusakan tampilan buah terung, menyebabkan kurangnya daya tarik konsumen serta menurunkan gizi yang terkandung pada terung (Wowor *et al.*, 2017). Keberadaan Kutu Kebul (*Bemisia tabaci*) pada komoditas sayuran termasuk terung menjadi hama yang secara langsung dapat merusak terung maupun tanamannya sehingga produksi sangat minim dan kualitas rendah. Kutu Kebul ini selain berpredikat sebagai hama perusak langsung, dia memiliki peran sebagai vektor penular penyakit virus kuning pada beberapa jenis tanaman hortikultura.

11.4 Penyakit Pascapanen Buah-Buahan

Kerusakan pada buah-buahan melalui proses penularan atau infeksi patogen (jamur dan bakteri) bisa terjadi lewat penetrasi dengan menghasilkan enzim untuk memudahkan masuk menembus lapisan kutikula dan lubang-lubang alami pada permukaan kulit buah. Kerusakan juga terjadi akibat adanya jalan masuk bagi infeksi patogen melalui lubang atau kondisi buah akibat luka maupun benturan fisik, baik saat panen maupun pada saat pengangkutan. Proses pematangan buah akan menjadi lebih cepat dari biasanya, bila terjadi pembusukan oleh mikroba maupun larva pada daging buah dari dalam akan menimbulkan gas C_2H_4 yang menyebabkan peningkatan suhu pada buah tersebut (Gambar 11.2).



Gambar 11.2. Buah Pare terserang Hama dan kerusakan di dalam buah
(Sumber: I Wayan Suanda)

Kerusakan Pascapanen Buaha-Buahan

1. Buah Salak

Salak walaupun memiliki pertahanan morfologi, yaitu pada bagian tanaman ditumbuhi duri tajam sebagai bentuk pertahanan terhadap organisme penggaggu. Buah salak juga dibungkus oleh kulit yang bersisik (permukaan kasar) yang sangat keras sehingga jenis serangga yang bersifat hama sangat sulit untuk menggagunya. Namun buah salak merupakan buah yang memiliki sifat mudah rusak (*perishable*), setelah dipanen ternyata ada patogen jenis jamur berwarna putih tumbuh dipermukaan kulit yang keras tersebut. Kerusakan buah salah dapat terjadi karena luka, memar akibat tertusuk duri pelepah daun dan terpotong oleh alat pemotong saat panen. Buah salak yang telah dipanen masih melakukan aktivitas metabolisme berupa respirasi. Buah salak mengalami kerusakan pada bagian daging berupa bercak berwarna merah kehitaman akibat terserang mikroorganisme (mikroba) sejenis jamur *Corticium salmonicolor*. Buah salak menjadi busuk dan keluar air diikuti kulit buah berwarna coklat sampai coklat kehitaman dengan kulit buah diselimuti jamur berwarna putih atau jamur berwarna hitam keabu-abuan.

2. Buah mangga

Buah mangga yang sudah layak untuk dipetik akan memiliki penampilan seperti: 1) kulit buah pada permukaan dilapisi zat lilin secara merata; 2) ada bintik-bintik coklat dipermukaan kulit buah yang menandakan sebagian lenti sel sudah pecah; 3) buah bentuknya padat sehingga terlihat agak tumpul bagian ujung buah; 4) bila buah diketuk-ketuk ada nada tinggi; 5) buah mangga akan tenggelam bila dimasukkan dalam air; 6) kulit buah berubah warna menjadi kekuningan dan bagian tangkai buah berwarna kuning.

Hama yang sering merusak buah mangga (*Mangifera indica* L.) berupa hama penggerek, diantaranya: a) *Sternochetus frigidus* atau *Cryptorrhynchus gravis* (Coleoptera : Curculionidae); b) *Philotroctis entrophera* (Lepidoptera : Pyralidae) dan c) *Noorda albizonalis* (Lepidoptera : Pyralidae). Gejala yang ditunjukkan akibat serangan hama ini berupa lubang kecil yang diikuti oleh gerakan, dimana larva telah berada didalam daging buah (Swastika, 2014). Buah mangga yang terserang hama penggerek maupun lalat buah yang telah merusak bagian daging buah akan menimbulkan pematangan buah lebih cepat, sehingga buah lepas dari tangkai sebelum waktu panen. Larva yang telah masuk kedalam daging buah akan merongrong daging hingga menjadi buah yang tidak layak untuk dikonsumsi, sehingga menimbulkan kerugian besar bagi petani mangga (Gambar 11.3).



Gambar 11.3. Buah Mangga terserang Larva Lalat Buah

3. Cabai

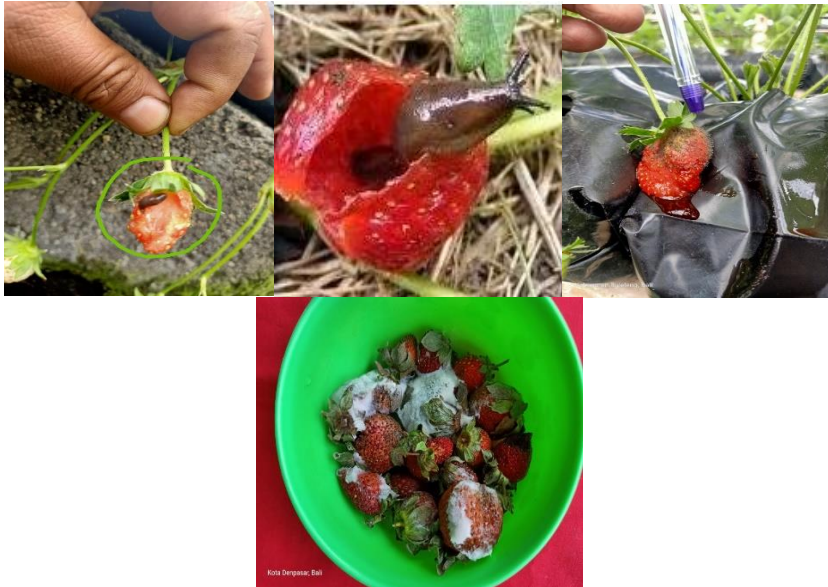
Hama yang menyerang cabai saat pascapanen yaitu lalat buah (*Bactrocera* sp.) dengan cara menusukkan ovipositornya untuk meletakkan telur dalam lubang pada buah cabai. Peletakkan telur bisa pada buah cabai yang masih muda maupun sudah tua. Bila telur menetas menjadi larva maka larva akan berkembang mengerogoti dari dalam hingga cabai menjadi busuk dan rontok dari tangkai buah (Gambar 11.4)



Gambar 11.4. Gejala Buah Cabai terserang Lalat Buah
(Sumber: I Wayan Suanda)

4. Stroberi

Stroberi merupakan buah yang memiliki multi manfaat terutama untuk kesehatan, oleh karena itu stroberi dibutuhkan masyarakat dalam jumlah cukup besar. Kebutuhan stroberi terus meningkat setiap tahun, selain dikonsumsi secara langsung (petik langsung dikonsumsi), maupun dalam bentuk minuman jus. Namun stroberi mengalami kerusakan dan kualitas menjadi turun akibat serangan hama dan penyakit (Gambar 11.5).



Gambar 11.5. Stroberi dirusak hama Slug (Keong telanjang) dan penyakit kelabu (*Botrytis cinerea*) dan stroberi dirusak Jamur pada penyimpanan
(Sumber: Suanda, 2023)

11.5 Hama Gudang

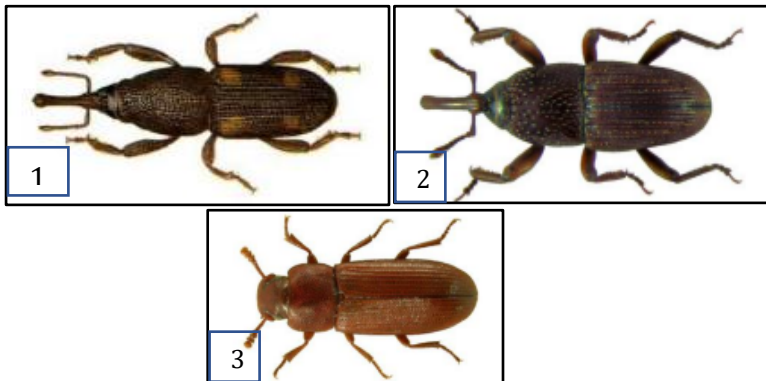
Hasil pertanian setelah panen sebelum dilakukan penangan lebih lanjut hingga dipasarkan biasanya disimpan dalam gudang, dalam penyimpanan jagung umumnya terserang hama kumbang bubuk (*Sitophilus zeamais*) yang dapat menurunkan bobot 12,6%-21,5% (Saenong, 2016). Biji jagung, gandum, kacang tanah, kacang kapri dan kopra terserang hama *Sitophilus oryzae*, terbukti mortalitas imago dari hama ini ditemukan pada komoditi ini (Antika *et al.*, 2014). *Sitophilus oryzae* sebenarnya lebih senang beras menjadi pakannya sehingga sebagai hama primer pada beras, yang sering disebut hama kutu beras. Daur hidup hama ini dari telur menetas menjadi larva, pupa (merupakan fase inkubasi atau istirahat tetapi dia tetap hidup) dan akhirnya menjadi imago (serangga dewasa), pada fase imago inilah memiliki sifat merugikan.

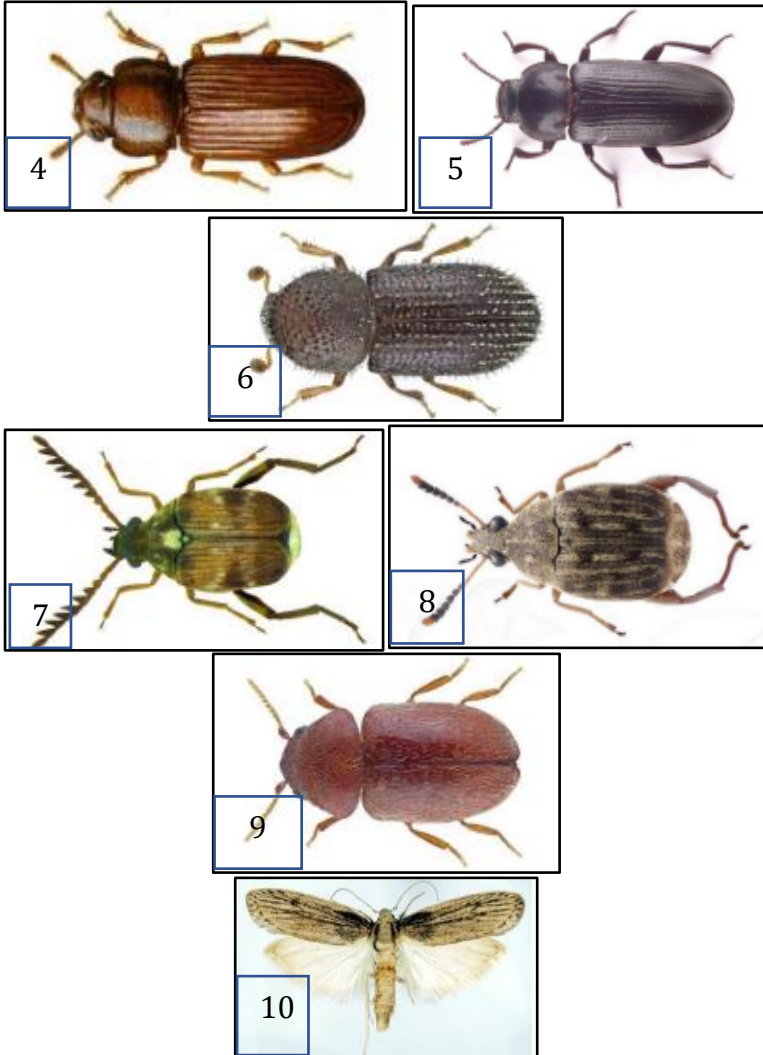
Berbeda halnya dengan serangga hama *Plutella xylostella* L. perusak daun kubis fase aktifnya saat menjadi larva (Suanda, 2021).

Jenis biji-bijian setelah dipanen selain untuk dijual langsung ada juga yang diperuntukan sebagai bibit dalam penanaman di musim berikutnya. Oleh karena itu komoditi biji-bijian ini perlu ditangani melalui penyimpanan sebagai stok atau persediaan. Pada masa penyimpanan telah banyak terjadi gangguan dan kerusakan oleh serangan OPT, seperti: Kutu Beras (*Sitophilus oryzae*) (Gambar 11.6). Beberapa serangga hama yang ditemukan pada biji-bijian yang disimpan dalam gudang, diantaranya: *Lasioderma serricorne*; *Stegonium paniceum*; *Araerus fasciculatus* (De Geer); *Rhyzopertha dominica*; *Sitophilus* spp.; *Tribolium castaneum* (Herbst) *Corcyra cephalonica*; *Ephestia cautella* (Walker). Umumnya hama gudang yang sering dijumpai adalah dari golongan Coleoptera, misalnya *Tribolium castaneum*; *Sitophilus oryzae*; *Callosobruchus* spp. (Gambar 11.7).



Gambar 11.6. Hama Kutu Beras (*Sitophilus oryzae*)





Gambar 11.7. Serangga Hama Gudang

- 1= *Sitophilus zeamais*; 2= *Sitophilus granarius*; 3= *Tribolium castaneum*;
 4= *Tribolium confusum*; 5= *Tenebrio mollitor*; 6= *Hypothenemus hampei*;
 7= *Callosobrunchus chinensis*; 8= *Callosobrunchus maculatus*;
 9= *Lasioderma serricorne*; 10= *Corcyra cephalonica*

Hama *S. oryzae* ini dalam menghancurkan pakannya memiliki mekanisme membuat lubang menggunakan mulut (stilet) untuk mencucuk pakannya. Apabila biji-bijian sebagai pakan sulit dihancurkan maka hama ini menghasilkan suatu enzim untuk membantu mempercepat pelunakan pakan agar mudah dilumat sampai hancur menjadi gumpalan tepung (Manauke *et al.*, 2015). Endosperm dari biji yang menjadi pakan dirusak sehingga menjadi terbuka dan mudah mengalami oksidasi asam lemak hingga menimbulkan bau tidak sedap, metabolisme dari patogen juga lebih memperparah kerusakan pakan itu. Jagung yang disimpan dalam gudang setelah panen mengalami kerusakan akibat serangan hama *Sitophilus zeamays*. Hama *S. zeamays* ini merusak jagung dengan membuat lubang pada jagung kemudian telurnya dimasukkan kedalam lubang tersebut. Telur akan menetas dalam beberapa hari dengan memanfaatkan jagung sebagai pakan untuk tumbuhnya. Serangga *Sitophilus* sp. secara biologi kelihatan berwarna hitam atau hitam kecoklatan, betina mampu menghasilkan telur melebihi 150 butir yang diletakkan pada lubang pada biji yang dirusaknya. Telur menetas kira-kira 6 hari kemudian dalam suhu 25°C. Larva yang menetas akan membuat lubang lebih besar untuk perkembangan imago.

11.6 Penanganan Pascapanen

Fluktuasi hasil pertanian pada saat tertentu tidak bisa dihindari, ini sangat dipengaruhi oleh musim tanam dan faktor abiotik serta biotik. Untuk menjaga kestabilan produksi petani seharusnya memiliki perhitungan dalam usaha bercocok tanam terutama tanaman jenis musiman, seperti: tomat, cabai, sayur mayur, bunga, dan umbi-umbian. Kualitas buah dapat dijaga dengan memperhatikan komoditas tersebut tetap segar dan sehat melalui komponen mutu eksternal dan internal. Mutu eksternal buah mencakup tampilan buah, warna buah, kesegaran, kebersihan, ukuran buah menjadi penilaian awal sebagai gambaran daya tarik masyarakat konsumen. Sedangkan kondisi dalam daging buah merupakan mutu internal, berupa

mutu konsumsi (*eating quality*) dengan katagori tebal kulit, rendemen jus dan jumlah kerusakan, tekstur, cita rasa dan nilai gizi. Pascapanen hasil hortikultura mutunya tidak dapat diperbaiki begitu saja, namun hanya bisa dipertahankan sehingga harus disesuaikan dengan kesukaan konsumen. Tampilan buah pada konsumen saat pemasaran menjadi sangat penting, karena menjadi suatu keberhasilan dalam memenuhi daya tarik untuk memperlancar pemasaran. Penanganan pascapanen dimulai dari saat: 1) Pemetikan, yaitu memperhatikan umur dan warna buah untuk mengetahui waktu yang tepat untuk dipetik; 2) Kerusakan fisik akibat pemotongan saat panen maupun benturan sehingga menyebabkan buah menjadi lecet maupun lembek; 3) Pengemasan pada saat packing yang baik agar tidak terjadi gesekan dan tekanan terlalu tinggi dan 4) Perubahan kimia yang terjadi pada komoditas (buah-buahan) selama proses penyimpanan, sehingga perlu dikondisikan agar tetap segar, tahan dan awet dalam penyimpanan.

Pengolahan komoditas pascapanen sebagai pengolahan pertama atau pengolahan primer (*primary processing*) merupakan penanganan dari saat panen sampai masih bagus dan layak (masih segar) untuk dikonsumsi. Dalam penanganan primer ini komoditas diperlakukan tanpa mengubah bentuk tampilan, misalnya hanya dipacking agar lebih tahan dan segarnya lama. Berbeda halnya dengan pengolahan sekunder (*secondary processing*), telah terjadi perubahan komoditas sebagai bahan baku untuk diolah menjadi bentuk lain sebagai produksi. Pengolahan sekunder ini sering dilakukan pada saat produksi melimpah (*over produksi*), sehingga dapat disimpan lama sebagai bentuk pengawetan, menjaga stabilitas harga komoditas awal dan mampu meningkatkan penghasilan petani. Terlebih cara pengolahan telah menjadi skala industri akan menjadikan produk yang memiliki jangkauan pemasaran lebih luas dan frekuensinya besar serta nilai ekonomi lebih tinggi.

Pascapanen buah-buahan penanganan sangat perlu dilakukan agar tetap memiliki kualitas tinggi, rangkaian kegiatan diawali dari pensortiran, berdasarkan ukuran dan matangnya

dilanjutkan pengemasan (*packing*), setelah aktivitas itu kemudian dilanjutkan mulai: tahap penyimpanan, pengiriman sampai pemasaran. Buah salak akan mengalami proses fisiologi (perubahan warna, pelukaan, pendinginan, terik matahari, bengkak), proses biokimia akibat adanya proses pembusukan oleh mikroba yang menyebabkan munculnya bau asam hasil perobakan itu. Terjadinya proses fisiologi dan biokimia ini dapat menurunkan tampilan serta kualitas buah salak. Oleh karena itu buah salak tidak boleh disimpan dalam waktu lama dan memerlukan penanganan pascapanen dengan inovasi tinggi. Pengembangan pascapanen salak melalui strategi berupa: 1) penanganan buah segar (*fres handling*) atau pascapanen primer dan 2) pengolahan hasil (pascapanen sekunder). Penanganan pascapanen ini lebih ditekankan pada variasi olahan dengan meningkatkan kualitas produk melalui pelayanan prima. Penangana pasca panen buah-buahan telah banyak dilakukan dengan berbagai metode dan hasil olahan, misal: salak telah banyak dilakukan melalui pengolahan menjadi beraneka variasi olahan, seperti: keripik salak, minuman nutrisi sari buah salak, sirup salak, asinan, manisan salak, dodol dan wine buah salak serta jenis olahan lain yang terus dikembangkan masyarakat (Suanda, 2023) dan alur teknologi pengolahan pascapanen sampai menjadi produk (Gambar 11.7).



Gambar 11.7. Produk Olahan Pascapanen: Wine Ketela Ungu; Cuka Apel dan Stroberi
(Sumber: Suanda2023)

DAFTAR PUSTAKA

- Antika, S.R.V; Astuti, L.P dan Rachmawati, R. 2014. Perkembangan *Sitophilus oryzae* Linnaeus (Coleoptera: Curculionidae) pada Berbagai Jenis Pakan. Jurnal HPT; 2(4): 77-84.
- Bautista, Ofelia K. 1990. Postharvest Technology for Southeast Asian Perishable Crops. Technology and Livelifood Resource Centre. Los Banos. The Philippines.
- Hanif, A dan Susanti, R. 2019. Inventarisasi dan identifikasi cendawan patogen terbawa benih jagung (*Zea mays* L.) Lokal asal Sumatera Utara dengan Metode Biotter Test. Jurnal Pertanian Tropik; 6(2): 311-318.
- Manauke, J; Tulung, M & Mamahit, J.M.E. 2015. Biologi *Sitophilus oryzae* dan *Sitophilus zeamais* (Coleoptera; Cucurlionidae) pada Beras dan Jagung Pipilan. Jurnal Eugenia; 21(1).
- Suanda, I.W dan Sumarya, I.M. 2021. Ekstraksi dan Fraksinasi Daun Brotowali (*Tinospora crispa* L. Miers) untuk Insektisida Nabati pada Larva *Plutella xylostella* L. Universitas PGRI Mahadewa Indonesia. Jurnal Widya Biologi FTIS UNHI; 12(01): 17-33.
DOI: <https://doi.org/10.32795/widyabiologi.v12i01.1320>
<https://ejournal.unhi.ac.id/index.php/widyabiologi/article/view/1320>
- Suanda, I.W. 2023. Stroberi Sehat “Petik Langsung” Trend Agrowisata. Universitas PGRI Mahadewa Indonesia. PT. Global Eksekutif Teknologi. Padang Sumatra Barat. 68 hal.
https://drive.google.com/file/d/1d_3AlBy9CdPPql8qxfhjEddbZVeNlnzd/view?usp=sharing

- Suanda, I.W dan Resiani, N.M.D. 2020. The Activity of Nimba Leaves (*Azadirachta indica* A. Juss.) Extract Insecticide as Vegetative Pesticide on Rice Weevil (*Sitophilus oryzae* L.) (Coleoptera: Curculionidae). Universitas PGRI Mahadewa Indonesia. Journal Sustainable Environment Agricultural Science; 04(01): 10-17.
DOI: <https://doi.org/10.22225/seas.4.1.1520.10-17>
<https://www.ejournal.warmadewa.ac.id/index.php/seas/article/view/1520>
- Satmalawati, M. E. & Rusae, A. 2017. Identifikasi Cendawan Patogen pada Penyimpanan Jagung sesuai Kearifan Lokal Masyarakat di Kabupaten Timor Tengah Utara dalam Perspektif Ketahanan Pangan. Jurnal Partner; 22(1): 406-417.
- Saenong, M.S. 2016. Tumbuhan Indonesia Potensial Sebagai Insektisida Nabati Untuk Mengendalikan Hama Kumbang Bubuk Jagung (*Sitophilus* spp.). Jurnal Litbang Pertanian; 35(3): 131-142.
- Swastika, I.W. 2014. Organisme Pengganggu Tumbuhan (OPT) Utama Pada Tanaman Mangga (*Mangifera indica*) dan Pengendaliannya di Kota Denpasar. Dinas Pertanian Tanaman Pangan dan Hortikultura Kota Denpasar.
- Ukat, P dan Mulat, M.M.E.S. 2013. Kajian umur Simpan Jagung (*Zea mays* L.) pada Berbagai Kondisi Penyimpanan dengan Metode *Accelerated Shelf Life Test* (Aslt) Dengan Pendekatan Arrhenius. Skripsi. Program Studi Agroteknologi. Fakultas Pertanian Unimor.
- Wowor, E.K; Kaligis, J.B & Caroulus, C.S. 2017. Persentase serangan *Leucinodes orbonalis* Gueene (Lepidoptera; Crambidae) pada buah terong di Kelurahan Wailan dan kakaskasen dua Kecamatan Tomohon Utara. Cocos. 1 (3): 1-11.

BAB 12

KERUSAKAN MIKROBIOLOGIS

Oleh Suci Apsari Pebrianti

12.1 Peran Mikroba dalam Kehilangan Pascapanen

Kegiatan pascapanen meliputi sortasi, pembersihan, pencucian, perontokan, pengecilan ukuran, pengupasan sampai dengan penyimpanan dan transportasi dapat menimbulkan kerusakan dan menyebabkan kehilangan pascapanen, baik secara kuantitatif maupun kualitatif. Rata-rata persentase *food loss and food waste* di Indonesia dari tahun 2000 sampai 2019 berturut-turut mencapai 56% dan 44%. Tahap penanganan pascapanen menjadi salah satu faktor penyebab *food loss and waste* dengan perkiraan mencapai 6,1-9,9 juta ton per tahun. *Food loss and waste* tertinggi terjadi pada komoditas hortikultura yang mencapai 31,80% sedangkan untuk tanaman pangan hanya 5,80% (Bappenas, 2021). Data tersebut secara tidak langsung juga mengungkapkan kerentanan bahan pangan hasil pertanian terhadap kerusakan yang bisa terjadi selama rantai pascapanen berlangsung.

Salah satu penyebab kehilangan pascapanen pada bahan pangan hasil pertanian adalah kerusakan mikrobiologis yang diakibatkan oleh adanya pertumbuhan mikroba yang tidak diinginkan berupa mikroba pembusuk maupun patogen, bahkan parasit dan virus. Mikroba relatif mudah tumbuh pada bahan pangan karena adanya sumber nutrisi yang dibutuhkan untuk pertumbuhan dan perkembangbiakannya seperti air, karbon, nitrogen, mineral, dan vitamin B (Rahayu and Nurwitri, 2012).

Risiko kontaminasi mikroba tersebut bisa meningkat ketika penanganan pascapanen yang dilakukan tidak tepat sasaran dan tujuan.

Kehilangan pascapanen akibat kerusakan mikrobiologis bisa terjadi dengan atau tanpa didahului dengan kerusakan mekanis atau fisik pada bahan pangan. Proses transportasi berpotensi menyebabkan memar, luka, penyok, terkelupas, terbelah, abrasi, dan lainnya yang akan memudahkan invasi mikroba ke dalam bahan pangan dan menyebabkan kerusakan mikrobiologis (Hussein, Fawole and Opara, 2018).

Setiap kegiatan penanganan pascapanen perlu mendapatkan atensi khusus agar bisa meminimalisir kerusakan mikrobiologis yang sangat erat kaitannya dengan keamanan pangan. Produk hasil pertanian yang terkontaminasi mikroba pembusuk maupun patogen pada tingkat yang membahayakan kesehatan tidak akan bisa didistribusikan, dipasarkan maupun diolah lebih lanjut menjadi pangan siap konsumsi karena ancaman bahaya mikrobiologis yang terkandung didalamnya.

Selain menyangkut keamanan pangan, kerusakan mikrobiologi juga bisa berdampak pada susut kualitas fisik dan penurunan umur simpan. Pertumbuhan mikroba dapat mengubah karakteristik fisik bahan pangan hasil pertanian meliputi perubahan warna, aroma, bentuk, dan tekstur. Bahan pangan yang terkontaminasi kapang atau jamur dapat diketahui dari adanya pertumbuhan miselia pada permukaannya.

Pada bab ini akan dibahas kerusakan mikrobiologis pada produk hasil pertanian dimulai dari sumber kontaminasi mikroba dan kerusakan mikrobiologis yang terjadi pada beberapa komoditas hasil pertanian diantaranya sayuran dan buah serta sereal dan kacang-kacangan.

12.2 Sumber Kontaminasi

Mikroba hanya bisa tumbuh di lingkungan yang sesuai dengan kebutuhan nutrisinya dan faktor intrinsik lain pada bahan pangan seperti ada tidaknya luka fisik, nilai pH, aktivitas air (Aw), dan potensial redoks (Eh). Kontaminasi mikroba juga terjadi ketika didukung oleh faktor eksternal diantaranya suhu, keberadaan dan komposisi gas serta nilai kelembaban udara relatif (Rahayu and Nurwitri, 2012).

Kontaminasi mikroba bisa terjadi di rantai manapun, baik selama prapanen, pemanenan maupun pascapanen. Penanganan yang tidak tepat dan sistem kontrol yang kurang tegas terhadap faktor-faktor pendukung pertumbuhan mikroba seperti yang telah disampaikan sebelumnya, bisa lebih memudahkan kontaminasi mikroba pada bahan pangan.

12.2.1 Pemanenan

Teknik pemanenan yang buruk bisa memperparah kontaminasi mikroba yang sudah ada sejak masa prapanen yang bersumber dari tanah, air, pupuk atau lainnya ataupun bisa menimbulkan kontaminasi baru. Beberapa jenis mikroba mampu menembus jaringan pelindung pada tanaman atau produk hasil pertanian dan menyebabkan kerusakan sementara mikroba jenis lainnya baru mampu menembus jaringan bahan pangan jika terdapat luka akibat proses pemanenan yang buruk. Pemanenan secara manual atau tradisional yang hampir seluruhnya melibatkan tenaga manusia sangat perlu untuk memperhatikan higienitas dan kondisi kesehatan untuk menghindari transfer mikroba dari manusia ke produk hasil pertanian yang sedang dipanen. Sebaliknya, sumber kontaminasi dari pemanenan semi modern ataupun modern perlu memperhatikan kebersihan dan sanitasi alat pemanenan (*harvester*) yang digunakan agar tidak menimbulkan kontaminasi pada produk hasil pertanian yang sedang dipanen.

Pemakaian wadah untuk menampung hasil panen seperti *box*, ember, karung atau lainnya juga harus saniter untuk mencegah kontaminasi mikroba pada produk hasil pertanian (Matthews, 2013; Murray et al., 2017).

Tahapan krusial pada pemanenan bergantung pula pada jenis tanaman yang dipanen. Sayuran dan buah misalnya, keduanya mengalami prosedur pemanenan yang berbeda. Pada pemanenan sayuran terjadi lebih banyak kontak dengan tanah dibandingkan dengan pemanenan buah dan hal tersebut akan berdampak pada risiko kontaminasi mikroba yang berasal dari tanah. Penggunaan pada pemanenan sayuran juga akan mengalami banyak kontak dengan tanah sehingga permukaan alat panen tradisional akan cenderung lebih kotor dan sulit dijaga higienitasnya. Kondisi pemanenan yang tidak saniter tersebut bisa memicu kontaminasi silang mikroba dari pekerja maupun peralatan pemanenan yang digunakan (Pradhan, Mishra and Pang, 2018). Seperti yang dilaporkan oleh Yang et al., (2012) dan Fallon et al., (2011) yang menunjukkan bahwa kontaminasi *Escherichia coli* O157:H7 pada selada terjadi melalui pisau panen (*coring knife*) yang sebelumnya kontak langsung dengan tanah.

Pada komoditas biji-bijian, waktu panen juga berpengaruh terhadap tinggi atau rendahnya peluang kontaminasi mikroba terjadi, misalnya *Fusarium* sp. yang umum mengkontaminasi biji-bijian. Waktu panen berhubungan dengan iklim dan kandungan kadar air bahan. Perlu diingat bahwa pertumbuhan mikroba sangat dipengaruhi oleh kadar air sehingga penting untuk memperhatikan dan mengontrol kadar air bahan pangan untuk meminimalisir dan mengetahui potensi kontaminasi mikroba yang berpeluang terjadi. Sebaiknya biji-bijian dipanen pada saat musim kering atau kemarau ketika kadar air berada pada rentang yang aman untuk mengurangi potensi kontaminasi jamur (Atanda et al., 2013).

Berbeda dengan pemanenan komoditas buah, buah yang matang lebih berpotensi terkontaminasi dibandingkan buah yang belum matang karena terjadinya peningkatan kandungan kadar air dan kadar gula yang menjadi sebagai sumber nutrisi untuk mikroba. Fase pematangan menyebabkan perubahan tertentu pada buah seperti pelunakan jaringan dan peningkatan kerutan yang terjadi pada kulit buah di ujung batang. Kondisi tersebut meningkatkan risiko terjadinya *splitting* atau terbelah pada saat pemanenan dan menjadi jalur masuk untuk kontaminasi mikroba (El-Otmani, Ait-Oubahou and Zacarías, 2011).

12.2.2 Penanganan Pascapanen

Seperti halnya pada proses pemanenan, kontaminasi mikroba selama penanganan pascapanen juga bersumber dari kondisi yang tidak saniter, baik itu dari pekerja maupun peralatan yang digunakan. Jika diaplikasikan dengan metode dan tujuan yang tepat, penanganan pascapanen bisa mencegah peningkatan kontaminasi mikroba bahkan menurunkannya sampai level aman (Amoah et al., 2007; Dharmaputra et al., 2015). Keberhasilan tersebut perlu didukung dengan praktik sanitasi dari sumber daya manusia atau pekerja yang menangani produk hasil pertanian secara langsung serta dari setiap dan serta peralatan yang digunakan untuk memproses produk hasil pertanian.

Tahapan penanganan pascapanen lebih panjang dari pemanenan dan memiliki lebih banyak titik yang berpeluang untuk menimbulkan kontaminasi mikroba. Pada tahap ini, produk hasil pertanian juga mengalami kontak dengan air misalnya pada proses pencucian. Tujuan pencucian yang pertama adalah untuk membersihkan produk hasil pertanian dari kontaminan fisik berupa tanah, batu, kerikil dan lainnya yang terbawa dari proses pemanenan dan tujuan yang kedua adalah untuk mereduksi kontaminan mikroba yang berasal dari

lapangan atau lahan tanam. Air yang digunakan pada penanganan pascapanen bisa menjadi asal kontaminasi mikroba sehingga kualitas air sangat penting diperhatikan. Beberapa produk pertanian terkontaminasi mikroba yang berasal dari penggunaan air yang sudah tercemar koliform, *Escherichia coli* dan pestisida seperti yang telah dilaporkan terjadi pada selada, kol, dan tomat (Amoah *et al.*, 2007; Hamadoun *et al.*, 2014).

Produk hasil pertanian umumnya dikenai proses pengecilan ukuran seperti pengupasan, pemotongan, pengirisan, pemisahan dengan bagian lain seperti bonggol, akar dan lain. Penanganan pascapanen juga meliputi proses sortasi, grading, pendinginan, dan pengeringan. Semua proses tersebut bisa meninggalkan luka fisik dan jaringan bahan pangan bisa mengalami kerusakan sehingga menjadi lebih rentan terkontaminasi. Selama proses tersebut berlangsung, produk hasil pertanian akan mengalami kontak dengan peralatan yang lebih variatif dibandingkan pada saat pemanenan seperti tempat penyimpanan, wadah, kontainer, pisau dan sejenisnya, *conveyor belt*, dan kemasan pun bisa menjadi sumber kontaminasi jika kondisi sanitasinya tidak dijaga (Park *et al.*, 2012).

Penyimpanan produk hasil pemanenan yang tidak tepat seperti terlihat pada Gambar 12.1. bisa memicu kontaminasi mikroba seperti pada kurma yang dibiarkan disimpan langsung di atas tanah setelah pemanenan dan pemisahan dengan tandan. Proses tersebut menyebabkan khamir, kapang dan mikroba mesofilik-aerobik dapat tumbuh pada kurma dan jumlahnya melebihi batas aman yang dipersyaratkan (Jdaini *et al.*, 2022). Beberapa kapang penghasil aflatoksin, seperti *Aspergillus* spp. dilaporkan mampu tumbuh dan memproduksi toksin dengan jumlah yang lebih tinggi pada proses pascapanen pala yang proses sortasinya tidak dilakukan dengan benar dan masih tercampur antara pala yang sudah dibelah (dipisahkan antara daging buah, biji dan fuli) dan yang belum dibelah serta proses

pengeringan tidak higienis dengan cara pala dihamparkan menggunakan alas atau wadah langsung di atas tanah atau lantai (Sembiring, Supriadi and Ediningsih, 2020).



Gambar 12.1 Buah pala yang dikeringkan dengan metode tradisional (a) (Sembiring, Supriadi and Ediningsih, 2020); kurma yang dibiarkan di atas tanah setelah pemanenan (b); kurma yang tidak disortasi dan dikemas secara tidak tepat (c) (Jdaini *et al.*, 2022).

Sebagian pemanenan pala juga dilakukan dengan mengambil pala yang jatuh dari buahnya secara alami dan bukan dengan memetik pala dari pohonnya. Selain itu, teknik pemisahan pala juga masih menggunakan batang kayu dengan cara dipukul-pukulkan pada buah pala yang membuat kerusakan mekanis menjadi lebih tinggi dan pada akhirnya memicu kontaminasi mikroba (Dharmaputra *et al.*, 2015).

12.2.3 Pengemasan, Penyimpanan dan Transportasi

Tahapan selanjutnya setelah penanganan pascapanen diantaranya adalah penyimpanan atau langsung ditransportasikan kemudian baru dilakukan penyimpanan. Kondisi penyimpanan meliputi kemasan, tempat, sanitasi dan kondisi lingkungan, risiko kerusakan akibat serangan hama atau hewan menjadikan produk hasil pertanian selama masa penyimpanan masih rentan terhadap kerusakan mikrobiologis. Transportasi produk hasil pertanian dari lahan ke tempat penyimpanan atau dari tempat penyimpanan ke tempat tujuan pemasaran juga tidak terhindari dari potensi kerusakan

mikrobiologis yang secara umum diawali dari kerusakan fisik selama transportasi. Misalnya, pada saat transportasi, produk hasil pertanian ditempatkan dengan cara menumpuk dengan asal, tidak disortasi berdasarkan kriteria tertentu, dan ditransportasikan menggunakan kendaraan yang tidak tepat penggunaannya, jarak dan waktu tempuh transportasi yang panjang, dan kemasan atau wadah yang digunakan tidak mampu melindungi produk maka kerusakan fisik akan mudah sekali terjadi dan menjadi jalan masuk kontaminasi mikroba.

Sebelum masuk tahap penyimpanan dan transportasi, produk hasil pertanian dikemas dengan tujuan untuk melindungi produk dari berbagai kerusakan, utamanya kerusakan fisik atau mekanis. Pemilihan jenis kemasan menjadi sangat penting untuk diperhatikan guna menjaga kualitas produk hasil pertanian selama penyimpanan dan transportasi. Karakteristik produk hasil pertanian menjadi salah satu faktor penentu pemilihan jenis kemasan. Artinya, satu jenis kemasan tidak akan memiliki efektivitas perlindungan yang sama bagi setiap komoditas hasil pertanian.

Selama simulasi transportasi darat selama 5 jam, kubis yang dikemas menggunakan keranjang bambu memiliki persentase luka memar mencapai 8.7% dibandingkan dengan kemasan plastik (7.3%) dan kemasan waring (6,2%). Getaran yang ditimbulkan selama transportasi darat menyebabkan terjadinya benturan, baik antara kubis dengan kubis maupun kubis dengan kemasan. Karakteristik keranjang bambu yang keras, kaku, dan tajam membuat luka memar pada kubis lebih mudah terjadi (Hardiana, Daulay and Sigalingging, 2018). Jenis kemasan yang sama, yaitu plastik dan keranjang bambu memiliki daya lindung yang berbeda jika diterapkan pada buncis dengan karakteristik yang berbeda dengan kubis. Dengan bentuk dan bobot produk yang lebih kecil, persentase luka memar pada buncis dengan kemasan keranjang justru lebih

rendah dibandingkan dengan kemasan plastik (Darmawati Emmy, 2010). Luka memar yang diakibatkan pemilihan kemasan yang tidak tepat dapat menyebabkan keluarnya air dan rusaknya jaringan bahan yang akan memicu pertumbuhan dan kontaminasi mikroba.

Selain jenis kemasan, posisi dan pola penyusunan produk hasil pertanian selama penyimpanan dan transportasi juga harus dilakukan dengan tepat. Penumpukan yang melebihi kapasitas kekuatan kemasan menahan beban bisa merusak produk yang ada didalamnya. Tomat yang dikenai simulasi transportasi darat selama 1 jam dan dikemas dalam kardus dan disusun dengan pola penyusunan *face centred cubic* (FCC) memiliki tingkat luka memar paling rendah dibandingkan dengan tomat yang disusun secara tradisional maupun *jumble* seperti terlihat pada Gambar 12.2. (Rozana, Perdana and Sigi, 2021).



Gambar 12.2. Pola penyusunan tomat secara (a) *face centred cubic* (FCC); (b) tradisional; (c) *jumble* (Rozana et al., 2021).

Kondisi lingkungan meliputi suhu dan kelembaban relatif (RH) di ruang penyimpanan maupun transportasi harus disesuaikan dengan kebutuhan produk hasil pertanian sebab akan mempengaruhi karakteristik fisikokimianya. Kadar air dan proses metabolisme seperti respirasi, transpirasi dan terutama pada buah klimakterik yang masih bisa mengalami proses enzimatik serta pematangan, suhu dan RH ruangan sekitarnya yang tidak sesuai bisa memicu percepatan pembusukan akibat

kerusakan yang terjadi. Ruang atau tempat yang digunakan selama penyimpanan dan transportasi produk hasil pertanian juga harus aman dari serangan hama, baik itu serangga, hewan pengerat maupun hewan lainnya serta kotoran yang dihasilkan oleh hewan-hewan tersebut. Serangan hama bisa mentransfer mikroba yang ada pada tubuh hewan ke dalam produk hasil pertanian.

Kapang pembusuk dan mikotoksigenik (penghasil toksin, aflatoksin maupun okratkaksin) diantaranya *Aspergillus flavus*, *A. Niger*, *A. penicillioides*, *Eurotium repens*, *Endomyces fibuligera*, dan *Penicillium citrinum* ditemukan pada buah pala dengan kadar air tinggi di atas 10%. Pengeringan buah pala yang tidak optimal dan kondisi penyimpanan yang tidak sesuai diduga menjadi faktor penyebab tingginya kontaminasi kapang-kapang tersebut pada buah pala (Dharmaputra *et al.*, 2015).



Gambar 12.3 Pola penyusunan tomat secara (a) *face centred cubic* (FCC); (b) tradisional; (c) *jumble* (Rozana, Perdana and Sigi, 2021).

Kontaminasi *Botrytis cinerea* umum dijumpai pada komoditas buah dan sayuran dengan kondisi penyimpanan yang buruk. Kerusakan mikrobiologis akibat *Botrytis cinerea* dapat menyebar dari buah yang sudah terkontaminasi kepada buah sehat yang diletakkan saling berdekatan dan bisa menyebabkan kerusakan pada seluruh komoditas yang disimpan bersamaan (Romanazzi and Feliziani, 2014).

12.3 Karakteristik Kerusakan Mikrobiologis

Kontaminasi mikroba memberikan dampak spesifik berbeda-beda yang dipengaruhi oleh spesies mikroba dan karakteristik produk hasil pertanian yang dikontaminasi. Kerusakan mikrobiologis yang akan dibahas pada sub bab ini berfokus pada mikroba perusak pangan atau pembusuk, baik itu kapang, khamir maupun bakteri. Beberapa ciri umum dari kerusakan mikrobiologis adalah adanya pertumbuhan koloni (misal miselia kapang), lendir, perubahan tekstur produk hasil pertanian yang umumnya menjadi lebih lunak, munculnya bau tidak sedap, dan perubahan rasa.

12.3.1 Sayuran dan Buah

Tingkat kehilangan pascapanen sayuran dan buah berturut-turut adalah sebesar 62,8% dan 45,5%, tertinggi pertama dan kedua diantara komoditas hasil pertanian lainnya (Bappenas, 2021). Sayuran dan buah tergolong *perishable food* yang memiliki kadar air tinggi, rata-rata di atas 70% dengan kandungan air bebas yang juga tinggi sehingga sangat memadai untuk pertumbuhan mikroba pembusuk. Kontaminasi mikroba pembusuk paling sering menyebabkan pelunakan atau disebut juga *soft rot* (busuk lunak) dan pelayuan, busuk asam (*sour rot*), dan timbulnya bintik-bintik pada permukaan sayuran atau buah.

Tabel 12.1 Kerusakan mikrobiologis pada sayuran dan buah.

No	Mikroba	Jenis Sayuran atau Buah	Sumber
1	<i>Erwinia carotovora</i> Soft rot Pelunakan, terdapat bagin jaringan yang berair, pelayuan	Bawang, kol, kentang, timun, selada, tomat, wortel, paprika	(Aremu and Babalola, 2015; Emma and Aniebiet, 2016; Alegbeleye <i>et al.</i> , 2022)

No	Mikroba	Jenis Sayuran atau Buah	Sumber
2	<i>Pseudomonas</i> spp. Soft rot Pelunakan jaringan buah disertai lendir	Kubis, selada, buncis, tomat, seledri, kubis, paprika, terong	(Rahayu and Nurwitri, 2012; Emami <i>et al.</i> , 2019; Alegbeleye <i>et al.</i> , 2022)
3	<i>Botrytis cinerea</i> Gray mold bintik atau noda berwarna putih keabuan	Paprika, wortel, asparagus, buncis, pala, kiwi, rasberi, melon, anggur	(Rahayu and Nurwitri, 2012; Romanazzi and Feliziani, 2014; Krasnow and Ziv, 2022)
4	<i>Geotrichum candidum</i> Sour rot	Asparagus, wortel, brokoli, bawang	(Rahayu and Nurwitri, 2012)
5	<i>Fusarium</i> spp. Brown rot	Paprika, nanas, jeruk, kentang	(Rahayu and Nurwitri, 2012; Frans <i>et al.</i> , 2021; Alegbeleye <i>et al.</i> , 2022)

Busuk lunak sebagian besar disebabkan oleh 6 genus mikroba, yaitu *Erwinia*, *Pseudomonas*, *Clostridium*, *Bacillus*, *Cytophaga*, dan *Xanthomonas* yang bersifat pektolitik atau penghasil enzim pektin yang menyebabkan pelunakan jaringan. Sebanyak 15-30% kerusakan mikrobiologis busuk lunak ini diakibatkan oleh *Erwinia carotovora* (Aremu and Babalola, 2015) yang bisa dilihat pada Gambar 12.4.



Gambar 12.4 Kerusakan mikrobiologis busuk lunak akibat *Erwinia carotovora* (atas) (Aremu and Babalola, 2015) dan busuk lunak akibat *Pseudomonas* (Emami *et al.*, 2019).

Beberapa contoh penampakan kerusakan mikrobiologis lainnya dapat dilihat pada Gambar 12.5. Sayuran dan buah pada penyimpanan suhu ruang memiliki umur simpan yang sangat pendek (hitungan hari), jika terkontaminasi mikroba dan mengalami kerusakan mikrobiologis maka umur simpannya akan semakin pendek karena kerusakan mikrobiologis akan mempercepat proses perombakan senyawa dalam bahan dan mempercepat pembusukan.



Gambar 12.5 Kerusakan mikrobiologis pada paprika: *gray mold* akibat *Botrytis cinerea* (a) (Krasnow and Ziv, 2022) dan akibat *Fusarium* (b) (Erkmen and Bozoglu, 2016; Frans *et al.*, 2021).

12.3.2 Serealia dan Kacang-kacangan

Kadar air serealia dan kacang-kacangan di atas 12% lebih rentan terkontaminasi mikroba pembusuk yang paling sering diantaranya adalah kapang *Aspergillus*, *Penicillium* dan *Fusarium* serta bakteri *Pseudomonas*, *Micrococci*, *Bacilli*, *Leuconostoc* and *Lactobacilli* (Erkmen and Bozoglu, 2016). Selain kerusakan mikrobiologis yang ditimbulkan bisa menurunkan kualitas, kuantitas, dan nilai ekonomi, adanya kapang mikotoksigenik menjadi kekhawatiran karena berkaitan dengan keamanan dan kesehatan.

Kerusakan mikrobiologis pada komoditas serealia dan kacang-kacangan dapat terlihat dari adanya pertumbuhan koloni kapang, perubahan warna biji, dan timbulnya aroma yang tidak sedap. Kerusakan akibat *Aspergillus flavus* dan *A. candidus* adalah perubahan warna biji menjadi kehijauan disertai dengan noda putih dan bubuk, kontaminasi *Fusarium* spp. Menimbulkan noda dan bintik kemerahan sedangkan kontaminasi *Alternaria* dan *Aspergillus niger* menyebabkan perubahan warna menjadi kehitaman (Rahayu and Nurwitri, 2012; Erkmen and Bozoglu, 2016).



Gambar 12.5 Kontaminasi kacang-kacangan oleh *A. flavus* (a), *A. niger* (b), *Penicillium* sp (c), *Fusarium* sp (d) (Mirabile et al., 2021).

DAFTAR PUSTAKA

- Alegbeleye, O. *et al.* (2022) 'Microbial spoilage of vegetables, fruits and cereals', *Applied Food Research*. Elsevier B.V. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.afres.2022.100122>.
- Amoah, P. *et al.* (2007) 'Irrigated urban vegetable production in Ghana: Microbiological contamination in farms and markets and associated consumer risk groups', *Journal of Water and Health*, 5(3), pp. 455–466. Available at: <https://doi.org/10.2166/wh.2007.041>.
- Aremu, B.R. and Babalola, O.O. (2015) 'Classification and Taxonomy of Vegetable Macergens', *Frontiers in Microbiology*, 6. Available at: <https://doi.org/10.3389/fmicb.2015.01361>.
- Atanda, O. *et al.* (2013) 'Fungal and Mycotoxin Contamination of Nigerian Foods and Feeds', in *Mycotoxin and Food Safety in Developing Countries*. InTech. Available at: <https://doi.org/10.5772/55664>.
- Bappenas (2021) *GRASP 2030 / BAPPENAS Study Report: Food Loss and Waste in Indonesia Supporting The Implementation of Circular Economy and Low Carbon Development*. Available at: <https://grasp2030.ibcsd.or.id/2022/07/07/bappenas-study-report-food-loss-and-waste-in-indonesia-supporting-the-implementation-of-circular-economy-and-low-carbon-development/> (Accessed: 26 March 2023).
- Darmawati Emmy (2010) 'Upaya Mengurangi Tingkat Kerusakan Buncis Pada Proses Transportasi', *Pangan*, 19(3), pp. 275–281. Available at: <https://doi.org/10.33964/jp.v19i3.149>.
- Dharmaputra, O.S. *et al.* (2015) 'Fungal infection and aflatoxin contamination in stored nutmeg (*Myristica fragrans*) kernels at various stages of delivery chain in North Sulawesi Province', *Biotropia*, 22(2), pp. 129–139. Available at: <https://doi.org/10.11598/btb.2015.22.458>.

- El-Otmani, M., Ait-Oubahou, A. and Zacarías, L. (2011) 'Citrus spp.: orange, mandarin, tangerine, clementine, grapefruit, pomelo, lemon and lime', in *Postharvest Biology and Technology of Tropical and Subtropical Fruits*. Elsevier, pp. 437–516e. Available at:
<https://doi.org/10.1533/9780857092762.437>.
- Emami, P. *et al.* (2019) 'Detection and Identification of some Pseudomonas Species causing Soft Rot using TUF Gene', *Biological Journal of Microorganism*, 8(32), pp. 81–93. Available at:
<https://doi.org/10.22108/bjm.2018.112453.1152>.
- Emma, U.O. and Aniebiet, A.A. (2016) 'An Overview of Characterization and Identification of Soft Rot Bacterium Erwinia in Some Vegetable Crops', *Greener Journal of Biological Sciences*, 6(3), pp. 46–055. Available at:
<https://doi.org/10.15580/GJBS.2016.3.041916078>.
- Erkmen, O. and Bozoglu, F.T. (2016) 'Spoilage of Cereals and Cereal Products', in O. Erkmen and F.T. Bozoglu (eds) *Food Microbiology: Principles into Practice*. New Jersey U.S: John Wiley & Sons, Ltd, pp. 364–375. Available at:
<https://doi.org/10.1002/9781119237860>.
- Fallon, S.D., Rios, D.V. and Fonseca, J.M. (2011) 'Scrutinizing The Sanitizing Process Involving Aqueous Chlorine From Field To Fresh-Cut Iceberg Lettuce', *Acta Horticulturae*, (906), pp. 37–41. Available at:
<https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2011.906.4>.
- Frans, M. *et al.* (2021) 'Possibilities of modified atmosphere packaging to prevent the occurrence of internal fruit rot in bell pepper fruit (Capsicum annuum) caused by Fusarium spp', *Postharvest Biology and Technology*, 178. Available at:
<https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2021.111545>.
- Hamadoun, A. *et al.* (2014) 'Safety of horticultural and livestock products in two medium-sized cities of Mali and Burkina Faso', *African Journal of Agricultural Research*, 9(8), pp. 735–745. Available at:
<https://doi.org/10.5897/ajar2013.6897>.

- Hardiana, P., Daulay, S.B. and Sigalingging, R. (2018) 'Pengaruh Jenis Kemasan Terhadap Susut Bobot, Kerusakan Fisik dan Kekerasan Kubis (*Brassica oleracea* L. Var. *Capitata*) Menggunakan Simulasi Transportasi Darat', *Jurnal Rekayasa Pangan dan Pertanian*, 6(2), pp. 334–340. Available at: <https://jurnal.usu.ac.id/index.php/jrpp/article/view/Purweni%20Hardiana> (Accessed: 20 March 2023).
- Hussein, Z., Fawole, O.A. and Opara, U.L. (2018) 'Preharvest factors influencing bruise damage of fresh fruits – a review', *Scientia Horticulturae*. Elsevier B.V., pp. 45–58. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2017.10.028>.
- Jdaini, K. *et al.* (2022) 'Effect of harvesting and post-harvest practices on the microbiological quality of dates fruits (*Phoenix dactylifera* L.)', *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 21(8), pp. 552–559. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.jssas.2022.04.001>.
- Krasnow, C. and Ziv, C. (2022) 'Non-Chemical Approaches to Control Postharvest Gray Mold Disease in Bell Peppers', *Agronomy*. MDPI. Available at: <https://doi.org/10.3390/agronomy12010216>.
- Matthews, K.R. (2013) 'Sources of enteric pathogen contamination of fruits and vegetables: Future directions of research', *Stewart Postharvest Review*, 9(1). Available at: <https://doi.org/10.2212/spr.2013.1.2>.
- Mirabile, G. *et al.* (2021) 'Fungal Contaminants and Mycotoxins in Nuts', in *Nuts and Nut Products in Human Health and Nutrition*. IntechOpen. Available at: <https://doi.org/10.5772/intechopen.100035>.
- Murray, K. *et al.* (2017) 'Challenges in the microbiological food safety of fresh produce: Limitations of post-harvest washing and the need for alternative interventions', *Food Quality and Safety*. Oxford University Press, pp. 289–301. Available at: <https://doi.org/10.1093/fqsafe/fyx027>.

- Park, S. *et al.* (2012) 'Risk Factors for Microbial Contamination in Fruits and Vegetables at the Preharvest Level: A Systematic Review', *Journal of Food Protection*, 75(11), pp. 2055–2081. Available at: <https://doi.org/10.4315/0362-028X.JFP-12-160>.
- Pradhan, A.K., Mishra, A. and Pang, H. (2018) 'Relevant Pathogenic and Spoilage Microorganisms in Vegetable Products', in *Quantitative Methods for Food Safety and Quality in the Vegetable Industry*. Springer International Publishing, pp. 29–58. Available at: https://doi.org/10.1007/978-3-319-68177-1_3.
- Rahayu, W.P. and Nurwitri, C.C. (2012) *Mikrobiologi Pangan*. Indonesia: IPB Press.
- Romanazzi, G. and Feliziani, E. (2014) 'Botrytis cinerea (Gray Mold)', in *Postharvest Decay: Control Strategies*. Elsevier Inc., pp. 131–146. Available at: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-411552-1.00004-1>.
- Rozana, R., Perdana, D. and Sigiro, O.N. (2021) 'SIMULASI TRANSPORTASI TOMAT DAN PERUBAHAN MUTU TOMAT SELAMA PENYIMPANAN', *Journal of Food Technology and Agroindustry*, 3(1), pp. 13–20. Available at: <https://doi.org/10.24929/jfta.v3i1.1209>.
- Sembiring, B., Supriadi and Ediningsih (2020) 'Reducing aflatoxin contamination of nutmeg using drying methods', in *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. Institute of Physics Publishing. Available at: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/418/1/012030>.
- Yang, Y. *et al.* (2012) 'Assessment of Escherichia coli O157:H7 transference from soil to iceberg lettuce via a contaminated field coring harvesting knife', *International Journal of Food Microbiology*, 153(3), pp. 345–350. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2011.11.024>.

BIODATA PENULIS



Ali Zainal Abidin Alaydrus, S.TP, MP

Dosen Program Studi Agroekoteknologi
Fakultas Pertanian Universitas Mulawarman

Penulis lahir di Sumenep tanggal 11 Agustus 1988. Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi Agroekoteknologi Fakultas Pertanian, Universitas Mulawarman dan dosen luar biasa di Prodi Agroteknologi Universitas Widya Gama Mahakam Samarinda. Mata kuliah yang diampu selama mengajar antara lain Kewirausahaan, Manajemen Agribisnis, Mekanisasi Pertanian, Ilmu Usaha Tani Penyuluhan dan Komunikasi Pertanian, Teknologi Budidaya Tanpa Tanah dll. Penulis menyelesaikan pendidikan S1 Jurusan Keteknikan Pertanian, Universitas Brawijaya dan melanjutkan S2 di Jurusan Magister Pertanian Tropika Basah Universitas Mulawarman. Memiliki pengalaman kerja selama 9 tahun di bidang industri kreatif sebagai Manajer Operasional di Hesandra Indonesia dan Pernah Bekerja sebagai Marketing Officer di Telkom PDC dan HRD di LPK Cahaya Tepian. Penulis pernah menjabat di organisasi BPD Asosiasi Eksportir dan Produsen Handicraft (ASEPHI) Kalimantan Timur sebagai Sekretaris dan Aktif di berbagai organisasi lainnya.

BIODATA PENULIS



Zurrahmi Wirda, S.P., M.P.

Dosen Program Studi Agroekoteknologi
Jurusan Budidaya Pertanian
Fakultas Pertanian Universitas Malikussaleh

Lahir pada tanggal 14 Oktober 1977 di Banda Aceh, Propinsi Aceh. Penulis menyelesaikan pendidikan SD, SMP dan SMP di Kota Banda Aceh. Pada awal tahun 2002 menyelesaikan pendidikan Strata 1 di Program Studi Agronomi Fakultas Pertanian Universitas Syiah Kuala Banda Aceh dan pada tahun 2009 alhamdulillah berhasil gelar Magister Pertanian di Program Pascasarjana Universitas Lambung Mangkurat Banjarbaru Kalimantan Selatan. Sejak tahun 2003 penulis diangkat sebagai dosen PNS di Program Studi Agronomi (sekarang Agroekoteknologi) Fakultas Pertanian Univ. Malikussaleh sampai sekarang.

Penulis pernah mengajar beberapa mata kuliah seperti Sistem Pertanian Berkelanjutan, Kimia Pertanian, Botani, Biokimia Tanaman, TBT Umbi-umbian dan TBT Tebu dan Serat. Email penulis: zurrahmi.wirda@unimal.ac.id

BIODATA PENULIS



Leni Marlina, S.TP. M.Si.

Peneliti Pusat Riset Agroindustri
Badan Riset dan Inovasi Nasional

Penulis lahir di Ulakan Tapakis tanggal 16 Mei 1984. Penulis adalah peneliti Teknologi Pascapanen pada Peneliti Pusat Riset Agroindustri, Organisasi Riset Pertanian dan Pangan, Badan Riset dan Inovasi Nasional. Menyelesaikan pendidikan S1 pada Program Studi Teknologi Hasil Pertanian Fakultas Pertanian tahun 2007 dan melanjutkan S2 pada Program Studi Pascapanen Program Pascasarjana Institut Pertanian Bogor tahun 2012. Penulis menekuni penelitian di bidang teknologi pascapanen khususnya untuk buah – buah tropis. Diantara penelitian yang telah dilakukan adalah penanganan segar buah salak dan buah naga untuk memperpanjang umur simpan.

BIODATA PENULIS



Melycorianda Hubi Ndapamuri, S.P., M.P.

Dosen Program Studi Agroteknologi
Fakultas Sains dan Teknologi
Universitas Kristen Wira Wacana Sumba

Penulis lahir di Waingapu tanggal 12 Januari 1993. Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi Agroteknologi Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Kristen Wira Wacana Sumba. Menyelesaikan pendidikan S1 pada Jurusan Agroteknologi di Universitas Nusa Cendana dan melanjutkan S2 pada Jurusan Ilmu Pertanian di Universitas Kristen Satya Wacana. Penulis menekuni bidang Teknologi Pascapanen dan Teknologi Pengolahan Hasil Pertanian. Pengalaman organisasi profesi yaitu sebagai anggota Perhimpunan Ahli Teknologi Pangan Indonesia (PATPI) Cabang Kupang sejak tahun 2021 hingga saat ini. Aktif melakukan kegiatan penelitian baik internal maupun eksternal, melaksanakan berbagai pengabdian kepada masyarakat, tulisannya dimuat diberbagai jurnal, baik yang berakreditasi SINTA maupun jurnal berISSN.

BIODATA PENULIS



Didi Carsidi, S.TP., M.P.

Dosen Program Studi Agroteknologi
Fakultas Pertanian Universitas Wiralodra

Penulis lahir di Indramayu tanggal 17 Maret 1987. Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi Agroteknologi Fakultas Pertanian, Universitas Wiralodra. Menyelesaikan pendidikan S1 pada Jurusan Teknologi Pertanian Program Studi Teknik Pertanian (2005-2010) dan melanjutkan S2 pada Magister Agronomi Universitas Jenderal Soedirman (2018-2020). Penulis menekuni bidang pertanian (Agroteknologi).

BIODATA PENULIS



Nur Aini Mahmudah S.TP, M.Sc.

Dosen Pengolahan Hasil Ternak Unggas
Akademi Komunitas Negeri Putra Sang Fajar Blitar

Penulis berasal dari Sukoharjo, Jawa Tengah dan lahir pada 28 November 1994. Beliau menyelesaikan studi sarjana bidang Ilmu dan Teknologi Pangan pada tahun 2016 di Universitas Sebelas Maret Surakarta. Di tahun 2019, penulis mendapatkan gelar *Master of Science* (M.Sc) dari Universitas Gadjah Mada Yogyakarta pada bidang yang linier. Selama mengenyam pendidikan master, penulis mengikuti program *Master of Science in Food Security and Climate Change* (MS FSCC) di University of the Philippines Los Baños, tahun 2018. Penulis menaruh minat besar pada topik mengenai pangan fungsional dan kimia pangan. Bersama tim, penulis pernah meneliti potensi umami dan sifat fungsional pada komoditas tanaman pangan indigenous Indonesia. Saat ini, penulis menjadi pengajar di institusi Akademi Komunitas Negeri Putra Sang Fajar Blitar dan tengah mengembangkan produk cookies fungsional sebagai *nutrition booster* untuk mendukung pencegahan stunting pada anak.

BIODATA PENULIS



Rizka Mulyani, S.Pt., M.Sc.

Dosen Program Studi Teknologi Hasil Pertanian
Fakultas Sekolah Vokasi

Penulis lahir di Bengkulu tanggal 14 Oktober 1995. Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi Teknologi Hasil Pertanian Fakultas Sekolah Vokasi, Universitas Sebelas Maret. Menyelesaikan pendidikan S1 pada Jurusan Ilmu dan Industri Peternakan, Fakultas Peternakan Universitas Gadjah Mada dan melanjutkan S2 pada Jurusan Ilmu dan Teknologi Pangan, Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Gadjah Mada. Penulis aktif meneliti di bidang pengolahan pangan hewani. Beberapa bidang yang aktif diteliti yaitu potensi pangan fungsional dari beberapa komoditas pangan hewani seperti telur, daging, dan susu.

BIODATA PENULIS



Anita, SP.M.Agr.

Dosen Program Studi Teknologi Hasil Pertanian
Fakultas Teknik Universitas Islam Majapahit

Penulis bernama lengkap Anita, SP.M.Agr lahir di Trenggalek pada tanggal 17 Januari 1992. Penulis menyelesaikan pendidikan S1 dan S2 di Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur dengan jurusan Agribisnis. Penulis pernah bekerja di Balai besar Karantina Pertanian-UPT Kementerian Pertanian 2015-2018 dan 2018 sampai saat ini bekerja sebagai dosen di jurusan teknologi Hasil Pertanian Universitas Islam Majapahit Mojokerto.

BIODATA PENULIS



Dr. Drs. I Wayan Suanda, S.P., M.Si.

Dosen Prodi Pendidikan Biologi FKIP Universitas PGRI
Mahadewa Indonesia, Bali

Penulis kelahiran 31 Desember 1965 di Kelurahan Pedungan Kecamatan Denpasar Selatan, Kota Denpasar-Bali (80222) bernama I Wayan Suanda. Penulis mulai tahun 1991 diangkat sebagai dosen PNS Kopertis Wilayah VIII (sekarang LLDikti Wilayah VIII) di Denpasar, dpk (dipekerjakan) pada Program Studi (Prodi) Pendidikan Biologi Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan (FKIP) Universitas PGRI Mahadewa Indonesia, di Denpasar-Bali (dahulu IKIP PGRI Bali). Penulis menyelesaikan Pendidikan S1 pada Pendidikan Biologi, tahun 1990 dan S1 Pertanian pada tahun 1993. Pendidikan Pascasarjana S2 Bioteknologi Pertanian di Universitas Udayana pada tahun 2002 serta Pendidikan Doktor (S3) Ilmu Pertanian (Konsentrasi Sumber Daya Hayati) diselesaikan pada tahun 2017 di Universitas Udayana, Bali. Penulis pernah menduduki jabatan di Perguruan Tinggi, yaitu: Kaprodi Pendidikan Biologi (1995-1999) FPMIPA IKIP PGRI Bali (sekarang Universitas PGRI Mahadewa Indonesia atau UPMI); PD III FPMIPA (1999-2003); Kaprodi Pendidikan Biologi (2003-2011); Dekan FPMIPA (2011-2015) dan sebagai Ketua Badan Penjamin Mutu (BPM) Universitas PGRI Mahadewa Indonesia (UPMI) Bali (2015-2020). Ketua Tim PAK (Pengusulan Angka Kredit) UPMI (2022-

sekarang). Penulis juga aktif dalam kegiatan di luar kampus, seperti: Pengurus Badan Musyawarah Perguruan Swasta (BMPS) Kota Denpasar (2022-2026); Forum Kerukunan Umat Beragama (FKUB) Kota Denpasar (2021-2025); Badan Pendiri Yayasan Taman Pendidikan Ganesha Denpasar, membawahi SMP Ganesha Denpasar (2008 – sekarang); Pendiri dan Pembina kelompok “Sekaa Guru Peduli Lingkungan” (SGPL) Provinsi Bali (2008-sekarang) dan aktivitas sosial kemasyarakatan lainnya. Penulis juga menghasilkan buku ber ISBN berjudul: “Pertanian Berkelanjutan, Sebuah Pendekatan Konsep dan Praktis”, terbit Juli 2020 (<https://drive.google.com/file/d/13MOryIoskcY-b-W8ZhMX3X1zSunsJPDX/view?usp=sharing>). dan Penulis Buku berjudul: “Manisnya Brotowali (*Tinospora crispa* L. Mier) sebagai Fitofarmasida”. Buku ber ISBN terbit bulan Juli 2021.

(https://drive.google.com/folderview?id=14LFZTSDwsgqORvHx0phf_Z6NFo6TUBz-). Buku: STROBERI SEHAT “PETIK LANGSUNG” *Trend AGROWISATA*, terbit November 2022. https://drive.google.com/file/d/1d_3AlBy9CdPPql8qxfhjEddbZVeNIInzd/view?usp=sharing

Buku “BIOLOGI DASAR untuk Perguruan Tinggi” terbit November 2022.

https://drive.google.com/file/d/1XtpXSWLFe2JTV2vIYk-9zGANEQVQuJFU/view?usp=share_link

Buku “Perlindungan Tanaman” terbit Maret 2023. <https://drive.google.com/file/d/1dkrhJh6WyrDkPqSw6fT8bO7mE0eDjWJU/view?usp=sharing>

BIODATA PENULIS



Prakoso Adi, S.TP., M.Sc.

Dosen Program Studi Teknologi Hasil Pertanian
Fakultas Sekolah Vokasi

Penulis lahir di Grobogan tanggal 18 Desember 1993. Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi Teknologi Hasil Pertanian Fakultas Sekolah Vokasi, Universitas Sebelas Maret. Menyelesaikan pendidikan S1 pada Jurusan Ilmu dan Teknologi Pangan, Fakultas Pertanian Universitas Sebelas Maret (Indonesia) dan melanjutkan S2 pada Jurusan Biomedical Sciences and Engineering, College of Health Science and Technology, National Central University (Taiwan).

Penulis aktif meneliti di bidang pangan fungsional, mikrobiologi, bioteknologi, dan pengemasan serta penyimpanan hasil pertanian. Beberapa bidang yang aktif diteliti yaitu potensi senyawa fungsional dari beberapa komoditas pangan dan non pangan seperti coklat dan daun kelor.

BIODATA PENULIS



Suci Apsari Pebrianti, S.T.P., M.Sc.

Dosen Program Studi Agroteknologi
Fakultas Pertanian Universitas Siliwangi

Penulis lahir di Kuningan tanggal 22 Februari 1993 dan telah menyelesaikan pendidikan S1 pada Jurusan Teknologi Pangan Institut Pertanian Bogor dan melanjutkan S2 pada Jurusan Ilmu dan Teknologi Pangan Universitas Gadjah Mada. Penulis menekuni bidang ilmu yang berkaitan dengan penanganan pascapanen hasil pertanian, pengolahan pangan, fermentasi, dan keamanan pangan. Saat ini, penulis merupakan dosen tetap pada Program Studi Agroteknologi Fakultas Pertanian, Universitas Siliwangi dan mengampu mata kuliah diantaranya adalah Pengendalian Kualitas Hasil Pertanian serta Penanganan dan Pengolahan Hasil Pertanian.