

**STUDI KETERJADIAN *INTERNAL BROWNING* PADA
NANAS EKSPOR MELALUI PENGELOLAAN FAKTOR PRA-
DAN PASCA- PANEN**

DISERTASI

Oleh

DAVID CHANDRA



**PROGRAM STUDI DOKTOR ILMU PERTANIAN
FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2024**

**STUDI KETERJADIAN *INTERNAL BROWNING* PADA
NANAS EKSPOR MELALUI PENGELOLAAN FAKTOR PRA-
DAN PASCA- PANEN**

Disertasi untuk memperoleh gelar Doktor
dalam Ilmu Pertanian
pada Universitas Lampung

Dipertahankan di hadapan
Dewan Penguji Program Pascasarjana
Fakultas Pertanian Universitas Lampung

Pada Tanggal 24 April 2024

Oleh

DAVID CHANDRA

Tempat dan tanggal lahir: Krui, 21 Oktober 1986
Lulus Sarjana Pertanian Institut Pertanian Bogor: 2008
Lulus Magister Agronomi Universitas Lampung: 2019

**PROGRAM STUDI DOKTOR ILMU PERTANIAN
FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2024**



**Studi Keterjadian *Internal Browning* pada Nanas Ekspor melalui
Pengelolaan Faktor Pra- dan Pasca- Panen**

Dipersiapkan dan disusun oleh:

DAVID CHANDRA

NPM: 2134171001

Telah disetujui oleh:

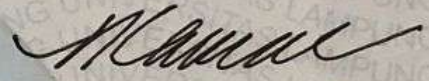
Prof. Dr. Ir. Soesiladi Esti Widodo, M.Sc.
Promotor

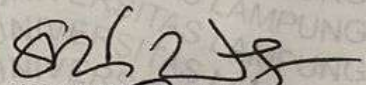
Prof. Dr. Ir. Muhammad Kamal, M.Sc.
Ko-Promotor

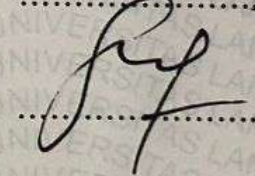
Ir. Sri Waluyo, S.T.P., M.Si., Ph.D., IPU.
Ko-Promotor

Prof. Dr. Ir. Slamet Budi Yuwono, M.S.
Ketua Program Studi Doktor Ilmu Pertanian









Mengesahkan

Dekan Fakultas Pertanian



Dr. H. Kuswanta Futas Hidayat, M.P.
NIP 19641118 198902 1 002

Direktur Program Pascasarjana



Prof. Dr. Ir. Muliadi, M.Si.
NIP 19640326 198902 1 001

**Studi Keterjadian *Internal Browning* pada Nanas Ekspor melalui
Pengelolaan Faktor Pra- dan Pasca- Panen**

Dipersiapkan dan disusun oleh:

DAVID CHANDRA

NPM: 2134171001

Telah dipertahankan di depan Dewan Penguji
Pada Tanggal 24 April 2024

Dewan Penguji

Prof. Dr. Ir. Soesiladi Esti Widodo, M.Sc.
Promotor

Prof. Dr. Ir. Muhammad Kamal, M.Sc.
Ko-Promotor

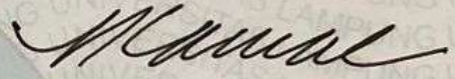
Ir. Sri Waluyo, S.T.P., M.Si., Ph.D., IPU.
Ko-Promotor

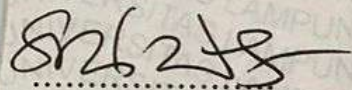
Prof. Dr. Ir. Kukuh Setiawan, M.Sc.
Penguji

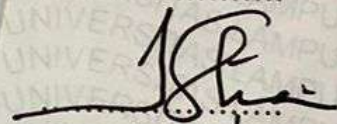
Prof. Dr. Ir. Saroni, M.Si.
Penguji

Prof. Dr. Ir. Slamet Budi Yuwono, M.S.
Ketua Program Studi Doktor Ilmu Pertanian













Disertasi ini telah diterima sebagai salah satu persyaratan
Untuk memperoleh gelar Doktor Ilmu Pertanian pada tanggal 24 April 2024

Mengesahkan

Dekan Fakultas Pertanian



Dr. Ir. Kuswanta Futas Hidayat, M.P.
NIP. 19641118 198902 1 002

PERNYATAAN ORISINALITAS

Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa sepanjang pengetahuan saya di dalam disertasi ini tidak terdapat karya ilmiah yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar akademik di suatu perguruan tinggi, dan tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Bandar Lampung, 24 April 2024

Yang Menyatakan



DAVID CHANDRA
NPM. 2134171001

PERSEMBAHAN

*Dengan penuh rasa syukur dan atas ridho Allah Subhanahu Wa Ta'ala,
Karya ini kupersembahkan kepada:*

*Keluargaku tercinta, Ibu dan Ayahku, istriku, anak-anakku, dan sanak
saudara yang selalu membantu dan melantunkan namaku dalam do'a.*

Serta Almamater Tercinta Universitas Lampung

*“When the pain of an obstacle is too great, challenge yourself to
be stronger.”*

SANWACANA

Puji dan syukur Penulis panjatkan kehadirat *Allah Subhanahu Wa Ta'ala* karena atas rahmat dan hidayah-Nya disertasi ini dapat diselesaikan.

Disertasi dengan judul “**Studi Keterjadian *Internal Browning* pada Nanas Ekspor melalui Pengelolaan Faktor Pra- dan Pasca- Panen**” adalah salah satu syarat untuk memperoleh gelar Doktor Ilmu Pertanian di Universitas Lampung. Shalawat serta salam senantiasa tercurahkan kepada *Rasulullah Muhammad Shallallahu 'Alaihi Wa sallam*.

Dalam kesempatan ini Penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Ibu Prof. Dr. Ir. Lusmeilia Afriani, D.E.A., I.P.M. selaku Rektor Universitas Lampung.
2. Bapak Dr. Ir. Kuswanta Futas Hidayat, M.P. selaku Dekan Fakultas Pertanian Universitas Lampung.
3. Bapak Prof. Dr. Ir. Murhadi, M.Si. selaku Direktur Program Pascasarjana Universitas Lampung.
4. Bapak Prof. Dr. Ir. Slamet Budi Yuwono, M.S. selaku Ketua Program Doktor Ilmu Pertanian Universitas Lampung.
5. Bapak Prof. Dr. Ir. Soesiladi Esti Widodo, M.Sc. selaku Promotor yang telah mendidik, memberikan banyak arahan, saran, motivasi, tausyiah, bimbingan serta fasilitas material dan non-materil selama penyelesaian penelitian hingga penulisan disertasi ini selesai.
6. Bapak Prof. Dr. Ir. Muhammad Kamal, M.Sc. selaku Ko-promotor 1 atas saran, nasihat, motivasi, dan bimbingan selama penyelesaian penelitian dan penulisan disertasi ini.

7. Bapak Ir. Sri Waluyo, S.T.P., M.Si., Ph.D., IPU. selaku Ko-promotor 2 atas saran, nasihat, motivasi, dan bimbingan selama penyelesaian penelitian dan penulisan disertasi ini.
8. Bapak Prof. Dr. Ir. Kukuh Setiawan, M.Sc. selaku Penguji Internal atas masukan, saran, dan motivasinya selama menyelesaikan penelitian dan penulisan disertasi ini.
9. Prof. Dr. Ir. Sarono, M.Si. selaku Direktur Politeknik Negeri Lampung sekaligus sebagai Penguji Eksternal pada ujian terbuka atas masukan dan sarannya yang membangun.
10. Ayahanda M. Rusdi Yahya, ibunda Hilyati, istriku drg. Irma Prihatiani, anak-anakku Zahran Saqif dan Chaiza Pervaiz, kakanda Iwan Setiawan, S.E., Heri Wihansen (alm), Yulian Handika, S.E., Riza Pahlevi, S.Kom. Febri Himawan, S.S., dan adinda Ria Lestari atas doa, bantuan, kasih sayang, kesabaran, motivasi, serta dukungan dalam semua hal kepada Penulis.
11. Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi RI melalui Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi, Riset, dan Teknologi atas bantuan dana Hibah Penelitian Kompetitif Nasional Program Penelitian Disertasi Doktor tahun 2022 dan 2023.
12. PT. Great Giant Foods (GGF), terkhusus bapak Ir. Fauzan, bapak Ibun Parnadi, S.P., bapak Dr. Diego, bapak Ahmad Ziaurrahman, S.P., M.P., dan seluruh staf Research and Development Pascapanen Nanas GGF atas izin, bantuan, dan kerja samanya selama pelaksanaan penelitian disertasi ini.
13. Bapak Prof. Dr. Ir. Setyo Dwi Utomo, M.Sc., bapak Prof. Dr. Ir. Dwi Hapsoro, M.Sc., ibu Prof. Dr. Ir. Yusnita, M.Sc., dan bapak Dr. Agustiansyah, S.P., M.Si. atas motivasi dan dukungannya selama ini.
14. Teman-teman Doktor Ilmu Pertanian angkatan 2021 atas dukungan, persahabatan, dan kebersamaan selama ini.
15. Bapak Agus Sugiri, S.T., M.Eng., Marta Kesuma, S.I.P., Salamulloh, S.T., M.H., Puji Lestari, S.P., M.Si., Fitri, S.P., M.P., Rayi, S.Hut., Dr. Ir. Martinus, S.T., M.Sc., Prof. Ir. Irza Sukmana, S.T., M.T., Ph.D., IPU., Prof. Dr. Sugiyanto, M.T., Dr. Jamiatul Akmal, S.T., M.T., Dr. Amrul, S.T., M.T., Nafrizal, S.T., M.T., Ir. Gusri Akhyar Ibrahim, S.T., M.T., Ph.D., Ahmad

Su'udi, S.T., M.T., Yusrizal, S.P., M.M., serta semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu per satu atas bantuan selama penulis melakukan penelitian dan menyelesaikan disertasi ini.

Semoga keberkahan dan rahmat Allah *Subhanahu Wa Ta'ala* selalu dilimpahkan atas keikhlasan bantuan yang telah diberikan kepada Penulis dan semoga hasil penelitian ini dapat bermanfaat.

Bandar Lampung, 24 April 2024

David Chandra

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN PENGESAHAN PEMBIMBING	i
HALAMAN PENGESAHAN PENGUJI	ii
PERNYATAAN ORISINALITAS	iii
PERSEMBAHAN	iv
SANWACANA	v
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR TABEL.....	xv
DAFTAR GAMBAR	xx
DAFTAR LAMPIRAN.....	xxiii
RINGKASAN	xxiv
<i>ABSTRACT</i>	xxvi
 I. PENDAHULUAN	 1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	6
1.3 Tujuan Penelitian	7
1.4 Manfaat Penelitian	7
1.5 Nilai Kebaruan dan Kedalaman	8
 II. TINJAUAN PUSTAKA	 9
2.1 Mekanisme Keterjadian <i>Internal Browning</i>	9
2.2 Senyawa Fenol.....	11
2.3 Suhu Simpan terhadap Keterjadian <i>Internal Browning</i>	14
2.4 Klasifikasi dan Karakteristik Nanas	18
2.4.1 Nanas klon <i>GP</i>	18
2.4.2 Nanas klon <i>MD2</i>	19

2.5	Ketahanan Nanas terhadap <i>Internal Browning</i>	20
2.6	Hubungan Pemangkasan Mahkota dan <i>Internal Browning</i>	22
2.7	Hubungan Asam Askorbat dan <i>Internal Browning</i>	23
2.8	Hubungan Asam Absisat dan <i>Internal Browning</i>	27
2.9	Hubungan Gibberellin dan <i>Internal Browning</i>	33
2.10	Hubungan Metil Jasmonat dan <i>Internal Browning</i>	33
2.11	Hubungan Kalsium dan <i>Internal Browning</i>	35
2.12	Hubungan Kalium dan <i>Internal Browning</i>	36
2.13	Hubungan Pelilinan dan <i>Internal Browning</i>	37
2.14	<i>Image Processing</i>	39
III.	KERANGKA PEMIKIRAN DAN HIPOTESIS	41
3.1	Kerangka Pemikiran	41
3.2	Hipotesis	45
IV.	TAHAPAN DAN RUANG LINGKUP PENELITIAN.....	46
4.1	PENELITIAN 1 RESPON NANAS KLON GP3 DAN MD2 SETELAH APLIKASI PASCAPANEN PEMANGKASAN MAHKOTA DAN COATING BUAH DENGAN ABA DAN KITOSAN TERHADAP <i>INTERNAL BROWNING</i> DAN MUTU BUAH LAINNYA	49
4.1.1	PENDAHULUAN	49
4.1.1.1	Latar Belakang	49
4.1.1.2	Tujuan Penelitian	51
4.1.1.3	Manfaat Penelitian	51
4.1.2	BAHAN DAN METODE.....	52
4.1.2.1	Tempat dan Waktu	52
4.1.2.2	Pelaksanaan Penelitian	52
4.1.2.3	Pengamatan Penelitian	53
4.1.2.3.1	<i>Internal browning</i>	53
4.1.2.3.2	Asam askorbat	53
4.1.2.3.3	Total fenol	54
4.1.2.3.4	ABA dan GA ₃	54
4.1.2.3.5	Total padatan terlarut	55

4.1.2.3.6	Asam tertitrasi	56
4.1.2.3.7	Tingkat kemanisan	56
4.1.2.3.8	Susut bobot buah.....	56
4.1.2.3.9	<i>Mold</i>	56
4.1.2.3.10	Dehidrasi kulit buah	56
4.1.2.3.11	Indeks warna kulit buah	57
4.1.2.3.12	Suhu buah	57
4.1.2.4	Analisis Data	57
4.1.3	HASIL DAN PEMBAHASAN	58
4.1.3.1	Respon Nanas Klon <i>GP3</i> dan <i>MD2</i> terhadap Penyimpanan Dingin.....	58
4.1.3.2	Pengaruh Pemangkasan Mahkota Buah Nanas Klon <i>GP3</i> dan <i>MD2</i>	62
4.1.3.3	Pengaruh Mahkota Buah Nanas dan Pelapisan ABA dan Kitosan pada Nanas Klon <i>GP3</i> dan <i>MD2</i> terhadap <i>Internal Browning</i>	64
4.1.4	KESIMPULAN DAN SARAN	67
4.1.4.1	Kesimpulan	67
4.1.4.2	Saran	67
4.2	PENELITIAN 2 PENGARUH PERUBAHAN SUHU SIMPAN TERHADAP <i>INTERNAL BROWNING</i> DAN MUTU BUAH LAINNYA SETELAH APLIKASI PASCAPANEN PEMANGKASAN MAHKOTA DAN <i>COATING</i> BUAH DENGAN ABA DAN KITOSAN PADA NANAS KLON <i>GP3</i> DAN <i>MD2</i>	69
4.2.1	PENDAHULUAN	69
4.2.1.1	Latar Belakang	69
4.2.1.2	Tujuan Penelitian	71
4.2.1.3	Manfaat Penelitian	71
4.2.2	BAHAN DAN METODE.....	71
4.2.2.1	Tempat dan Waktu	71
4.2.2.2	Pelaksanaan Penelitian	72
4.2.2.3	Pengamatan Penelitian	72
4.2.2.3.1	<i>Internal browning</i>	73
4.2.2.3.2	Asam askorbat	73

4.2.2.3.3	Total fenol	73
4.2.2.3.4	Total padatan terlarut	74
4.2.2.3.5	Asam tertitrasi	74
4.2.2.3.6	Tingkat kemanisan	74
4.2.2.3.7	Susut bobot buah	75
4.2.2.3.8	<i>Mold</i>	75
4.2.2.3.9	Dehidrasi kulit buah	75
4.2.2.3.10	Indeks warna kulit buah	75
4.2.2.3.11	Suhu buah	76
4.2.2.4	Analisis Data	76
4.2.3	HASIL DAN PEMBAHASAN	76
4.2.3.1	Respon Nanas Klon <i>GP3</i> dan <i>MD2</i> terhadap Perubahan Suhu Simpan	76
4.2.3.2	Respon Nanas Klon <i>GP3</i> dan <i>MD2</i> terhadap Perubahan Suhu Simpan Setelah Pemangkasan Mahkota Buah	79
4.2.3.3	Respon Nanas Klon <i>GP3</i> dan <i>MD2</i> terhadap Perubahan Suhu Simpan Setelah <i>Coating</i> Buah dengan ABA dan Kitosan	80
4.2.3.4	Respon Nanas Klon <i>GP3</i> dan <i>MD2</i> terhadap Perubahan Suhu Simpan Setelah Pemangkasan Mahkota dan <i>Coating</i> Buah dengan ABA 50 mg/L dan Kitosan 1%	81
4.2.3.5	Respon Nanas Klon <i>GP3</i> dan <i>MD2</i> pada Perubahan Suhu Simpan terhadap Mutu Buah Lainnya	82
4.2.4	KESIMPULAN DAN SARAN	85
4.2.4.1	Kesimpulan	85
4.2.4.2	Saran	86
4.3	PENELITIAN 3 RESPON EMPAT KLON NANAS TERHADAP <i>INTERNAL BROWNING</i> DAN MUTU BUAH LAINNYA SETELAH APLIKASI PASCAPANEN PENYEMPROTAN MAHKOTA BUAH	87
4.3.1	PENDAHULUAN	87
4.3.1.1	Latar Belakang	87
4.3.1.2	Tujuan Penelitian	89

4.3.1.3	Manfaat Penelitian	89
4.3.2	BAHAN DAN METODE.....	89
4.3.2.1	Tempat dan Waktu	89
4.3.2.2	Pelaksanaan Penelitian	90
4.3.2.3	Pengamatan Penelitian	90
4.3.2.3.1	<i>Internal browning</i>	90
4.3.2.3.2	Kebocoran ion	91
4.3.2.3.3	Total fenol	92
4.3.2.3.4	<i>Mold</i>	93
4.3.2.3.5	Dehidrasi kulit buah	93
4.3.2.3.6	Indeks warna kulit buah	93
4.3.2.3.7	Susut bobot buah	93
4.3.2.3.8	Kekerasan daging buah	94
4.3.2.3.9	Asam askorbat	94
4.3.2.3.10	Total padatan terlarut	94
4.3.2.3.11	Asam tertitiasi	94
4.3.2.3.12	Tingkat kemanisan	94
4.3.2.3.13	pH jus nanas	94
4.3.2.3.14	Suhu buah	94
4.3.2.4	Analisis Data.....	95
4.3.3	HASIL DAN PEMBAHASAN	95
4.3.3.1	Respon Klon Nanas <i>GP3</i> , <i>GP4</i> , <i>HC</i> , dan <i>MD2</i> terhadap <i>Internal Browning</i> dan Mutu Buah Lainnya	95
4.3.3.2	Pengaruh Interaksi Klon, Penundaan Aplikasi Pascapanen, dan <i>Coating</i> Mahkota Buah Nanas terhadap <i>Internal Browning</i>	100
4.3.4	KESIMPULAN DAN SARAN	102
4.3.4.1	Kesimpulan	102
4.3.4.2	Saran	102
4.4	PENELITIAN 4 PENGARUH APLIKASI PRAPANEN BUAH NANAS DENGAN ABA, CaCl_2 , dan K_2SO_4 TERHADAP <i>INTERNAL BROWNING</i> DAN MUTU BUAH LAINNYA DI PENYIMPANAN	103

4.4.1	PENDAHULUAN	103
4.4.1.1	Latar Belakang	103
4.4.1.2	Tujuan Penelitian	105
4.4.1.3	Manfaat Penelitian	105
4.4.2	BAHAN DAN METODE.....	105
4.4.2.1	Tempat dan Waktu	105
4.4.2.2	Pelaksanaan Penelitian	105
4.4.2.3	Pengamatan Penelitian	106
4.4.2.3.1	<i>Internal browning</i>	106
4.4.2.3.2	Kebocoran ion	107
4.4.2.3.3	Asam askorbat	108
4.4.2.3.4	Total fenol	108
4.4.2.3.5	Total padatan terlarut	109
4.4.2.3.6	Asam tertitrasi	109
4.4.2.3.7	Tingkat kemanisan	109
4.4.2.3.8	Susut bobot buah	109
4.4.2.3.9	<i>Mold</i>	110
4.4.2.3.10	Dehidrasi kulit buah	110
4.4.2.3.11	Indeks warna kulit buah	110
4.5.2.4	Analisis Data	110
4.4.3	HASIL DAN PEMBAHASAN	111
4.4.4	KESIMPULAN DAN SARAN	117
4.4.4.1	Kesimpulan	117
4.4.4.2	Saran	118
4.5	PENELITIAN 5 NOVELTY METODE PENGUKURAN KEPARAHAN <i>INTERNAL BROWNING</i> MENGGUNAKAN <i>IMAGE PROCESSING ANALYSIS METHOD</i>	119
4.5.1	PENDAHULUAN	119
4.5.1.1	Latar Belakang	119
4.5.1.2	Tujuan Penelitian	121
4.5.1.3	Manfaat Penelitian	121
4.5.2	BAHAN DAN METODE.....	121

4.5.3	TAHAPAN ANALISIS KEPARAHAN IB BUAH NANAS	123
4.5.3.1	Input citra	124
4.5.3.2	Data <i>acqusition</i>	125
4.5.3.3	<i>Preprocessing</i> citra	125
4.5.3.4	Segmentasi obyek dan <i>background</i>	125
4.5.3.5	Ekstraksi citra	126
4.5.3.6	Perekaman data	127
4.5.4	HASIL ANALISIS <i>IMAGE PROCESSING</i> PENGUKURAN KEPARAHAN <i>INTERNAL</i> <i>BROWNING</i> PADA NANAS KLON <i>GP3, MD2, HC,</i> <i>DAN GP4</i>	127
4.5.5	KESIMPULAN DAN SARAN	131
4.5.5.1	Kesimpulan	131
4.5.5.2	Saran	131
V.	KESIMPULAN DAN SARAN UMUM	132
5.1	Kesimpulan Umum	132
5.2	Saran Umum	133
	DAFTAR PUSTAKA	135
	LAMPIRAN	150
	PUBLIKASI KARYA ILMIAH	150
	PUBLIKASI ARTIKEL INTERNASIONAL SCOPUS	150
	PUBLIKASI BUKU BER-ISBN	151
	DATA ANALISIS STATISTIK	152
	ANALISIS RAGAM	152
	UJI LANJUT.....	168

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Klasifikasi nanas berdasarkan karakteristik reproduksi, morfologi, biokimia, dan molekuler	19
2. Pengaruh aplikasi pascapanen klon nanas, pemangkasan mahkota, dan <i>coating</i> buah nanas yang disimpan pada suhu 7 °C	66
3. Analisis ragam interaksi klon, <i>coating</i> , dan suhu simpan buah nanas terhadap keterjadian dan keparahan <i>internal browning</i>	81
4. Pengaruh aplikasi pascapanen pemangkasan mahkota, <i>coating</i> dan suhu simpan pada nanas klon <i>GP3</i> dan <i>MD2</i>	82
5. Pengaruh aplikasi pascapanen klon nanas, pemangkasan mahkota, <i>coating</i> , dan perubahan suhu simpan terhadap mutu buah lainnya ..	83
6. Warna skor <i>internal browning min-max</i> (kiri-kanan) buah nanas	91
7. Hasil analisis ragam interaksi klon, <i>crown coating</i> , dan waktu aplikasi pascapanen terhadap keterjadian dan keparahan <i>internal browning</i>	101
8. Warna skor <i>internal browning min-max</i> (kiri-kanan) nanas klon <i>GP3</i>	107
9. Pengaruh aplikasi prapanen penyemprotan nanas dengan ABA, CaCl ₂ , dan K ₂ SO ₄ pada waktu 11 dan 18 hari sebelum panen terhadap mutu buah lainnya umur 42 hari setelah simpan	116
10. Gejala <i>internal browning</i> pada buah nanas	122
11. Sampel nilai intensitas RGB pada setiap skor warna <i>internal browning</i> buah nanas.....	123
12. Nilai rerata kisaran skor intensitas warna RGB IB buah nanas	125
13. Visual batasan warna skor IB <i>min-max</i> (kiri-kanan) buah nanas	125
14. Hasil pengukuran keparahan <i>internal browning</i> nanas sebelum	

dilakukan koreksi data	129
15. Analisis faktor koreksi dari buah nanas sehat	130
16. Nilai keparahan <i>internal browning</i> nanas setelah dilakukan koreksi data	130
17. Analisis ragam penelitian 1: Respon nanas klon <i>GP3</i> dan <i>MD2</i> setelah aplikasi pascapanen pemangkasan mahkota dan <i>coating</i> buah dengan ABA dan kitosan terhadap <i>internal browning</i> dan mutu buah lainnya	152
18. Analisis ragam penelitian 2: Pengaruh perubahan suhu simpan terhadap <i>internal browning</i> dan mutu buah lainnya setelah aplikasi pascapanen pemangkasan mahkota dan <i>coating</i> buah dengan ABA dan kitosan pada nanas klon <i>GP3</i> dan <i>MD2</i>	156
19. Analisis ragam penelitian 4: Respon empat klon nanas terhadap <i>internal browning</i> dan mutu buah lainnya setelah aplikasi pascapanen penyemprotan mahkota buah	161
20. Analisis ragam penelitian 5: Pengaruh aplikasi prapanen buah nanas dengan ABA, CaCl_2 , dan K_2SO_4 terhadap <i>internal browning</i> dan mutu buah lainnya di penyimpanan	165
21. Estimasi rerata marginal klon <i>GP3</i> and <i>MD2</i> terhadap <i>internal browning</i> dan mutu buah lainnya	168
22. Estimasi rerata marginal klon <i>GP3</i> and <i>MD2</i> x pemangkasan mahkota terhadap <i>internal browning</i> dan mutu buah lainnya	170
23. Estimasi rerata marginal klon <i>GP3</i> and <i>MD2</i> x pelapisan buah terhadap <i>internal browning</i> dan mutu buah lainnya	175
24. Uji lanjut <i>duncan's multiple range test</i> perlakuan suhu simpan x klon terhadap keterjadian <i>internal browning</i> (%)	183
25. Uji lanjut <i>duncan's multiple range test</i> perlakuan suhu simpan x klon terhadap keparahan <i>internal browning</i> (%)	184
26. Uji lanjut <i>duncan's multiple range test</i> perlakuan suhu simpan x klon terhadap asam askorbat (ppm)	184
27. Uji lanjut <i>duncan's multiple range test</i> perlakuan suhu simpan x klon terhadap total padatan terlarut (%)	184
28. Uji lanjut <i>duncan's multiple range test</i> perlakuan suhu simpan x klon terhadap asam tertitrasi (%)	184

29.	Uji lanjut <i>duncan's multiple range test</i> perlakuan suhu simpan x klon terhadap tingkat kemanisan	185
30.	Uji lanjut <i>duncan's multiple range test</i> perlakuan suhu simpan x klon terhadap susut bobot buah (%)	185
31.	Uji lanjut <i>duncan's multiple range test</i> perlakuan suhu simpan x klon terhadap dehidrasi kulit buah (%)	185
32.	Uji lanjut <i>duncan's multiple range test</i> perlakuan suhu simpan x klon terhadap mold (%)	185
33.	Uji lanjut <i>duncan's multiple range test</i> perlakuan suhu simpan x klon terhadap shell color (%)	186
34.	Uji lanjut <i>duncan's multiple range test</i> perlakuan suhu simpan x klon terhadap suhu buah (°C)	186
35.	Uji lanjut <i>duncan's multiple range test</i> perlakuan suhu simpan x klon terhadap total kandungan fenol (mg GAE/100 ml jus)	186
36.	Uji lanjut <i>duncan's multiple range test</i> perlakuan suhu simpan x klon x decrowning terhadap keterjadian internal browning (%)	186
37.	Uji lanjut <i>duncan's multiple range test</i> perlakuan suhu simpan x klon x decrowning terhadap keparahan internal browning (%)	187
38.	Uji lanjut <i>duncan's multiple range test</i> perlakuan suhu simpan x klon x decrowning terhadap asam askorbat (ppm)	187
39.	Uji lanjut <i>duncan's multiple range test</i> perlakuan suhu simpan x klon x decrowning terhadap total padatan terlarut (%)	187
40.	Uji lanjut <i>duncan's multiple range test</i> perlakuan suhu simpan x klon x decrowning terhadap asam tertitiasi (%)	188
41.	Uji lanjut <i>duncan's multiple range test</i> perlakuan suhu simpan x klon x decrowning terhadap tingkat kemanisan	188
42.	Uji lanjut <i>duncan's multiple range test</i> perlakuan suhu simpan x klon x decrowning terhadap susut bobot buah (%)	188
43.	Uji lanjut <i>duncan's multiple range test</i> perlakuan suhu simpan x klon x decrowning terhadap dehidrasi kulit buah (%)	189
44.	Uji lanjut <i>duncan's multiple range test</i> perlakuan suhu simpan x klon x decrowning terhadap keterjadian mold (%)	189

45.	Uji lanjut <i>duncan's multiple range test</i> perlakuan suhu simpan x klon x <i>decrowning</i> terhadap keterjadian <i>shell color</i> (%)	189
46.	Uji lanjut <i>duncan's multiple range test</i> perlakuan suhu simpan x klon x <i>decrowning</i> terhadap suhu buah (°C)	190
47.	Uji lanjut <i>duncan's multiple range test</i> perlakuan suhu simpan x klon x <i>decrowning</i> terhadap total fenol (mg GAE/100 ml jus)	190
48.	Uji lanjut <i>duncan's multiple range test</i> perlakuan suhu simpan x klon x <i>coating</i> terhadap keterjadian <i>internal browning</i> (%)	191
49.	Uji lanjut <i>duncan's multiple range test</i> perlakuan suhu simpan x klon x <i>coating</i> terhadap keparahan <i>internal browning</i> (%)	191
50.	Uji lanjut <i>duncan's multiple range test</i> perlakuan suhu simpan x klon x <i>coating</i> terhadap asam askorbat (ppm)	192
51.	Uji lanjut <i>duncan's multiple range test</i> perlakuan suhu simpan x klon x <i>coating</i> terhadap total padatan terlarut (%)	192
52.	Uji lanjut <i>duncan's multiple range test</i> perlakuan suhu simpan x klon x <i>coating</i> terhadap asam tertitiasi (%)	193
53.	Uji lanjut <i>duncan's multiple range test</i> perlakuan suhu simpan x klon x <i>coating</i> terhadap tingkat kemanisan	193
54.	Uji lanjut <i>duncan's multiple range test</i> perlakuan suhu simpan x klon x <i>coating</i> terhadap susut bobot buah (%)	194
55.	Uji lanjut <i>duncan's multiple range test</i> perlakuan suhu simpan x klon x <i>coating</i> terhadap dehidrasi kulit buah (%)	194
56.	Uji lanjut <i>duncan's multiple range test</i> perlakuan suhu simpan x klon x <i>coating</i> terhadap keterjadian <i>mold</i> (%)	195
57.	Uji lanjut <i>duncan's multiple range test</i> perlakuan suhu simpan x klon x <i>coating</i> terhadap keparahan <i>shell color</i> (%)	195
58.	Uji lanjut <i>duncan's multiple range test</i> perlakuan suhu simpan x klon x <i>coating</i> terhadap suhu buah (°C)	196
59.	Uji lanjut <i>duncan's multiple range test</i> perlakuan suhu simpan x klon x <i>coating</i> terhadap total senyawa fenol (mg GAE/100 ml jus)	196
60.	Uji lanjut <i>duncan's multiple range test</i> perlakuan suhu simpan x klon x <i>decrowning</i> x <i>coating</i> terhadap keterjadian <i>internal browning</i> (%)	197

61.	Uji lanjut <i>duncan's multiple range test</i> perlakuan suhu simpan x klon x <i>decrowning</i> x <i>coating</i> terhadap keparahan <i>internal browning</i> (%)	198
62.	Uji lanjut <i>duncan's multiple range test</i> perlakuan suhu simpan x klon x <i>decrowning</i> x <i>coating</i> terhadap asam askorbat (ppm)	199
63.	Uji lanjut <i>duncan's multiple range test</i> perlakuan suhu simpan x klon x <i>decrowning</i> x <i>coating</i> terhadap total padatan terlarut (%)	200
64.	Uji lanjut <i>duncan's multiple range test</i> perlakuan suhu simpan x klon x <i>decrowning</i> x <i>coating</i> terhadap asam tertitrasi (%)	201
65.	Uji lanjut <i>duncan's multiple range test</i> perlakuan suhu simpan x klon x <i>decrowning</i> x <i>coating</i> terhadap tingkat kemanisan	202
66.	Uji lanjut <i>duncan's multiple range test</i> perlakuan suhu simpan x klon x <i>decrowning</i> x <i>coating</i> terhadap susut bobot buah (%)	203
67.	Uji lanjut <i>duncan's multiple range test</i> perlakuan suhu simpan x klon x <i>decrowning</i> x <i>coating</i> terhadap dehidrasi kulit buah (%)	204
68.	Uji lanjut <i>duncan's multiple range test</i> perlakuan suhu simpan x klon x <i>decrowning</i> x <i>coating</i> terhadap <i>mold</i> (%)	205
69.	Uji lanjut <i>duncan's multiple range test</i> perlakuan suhu simpan x klon x <i>decrowning</i> x <i>coating</i> terhadap <i>shell color</i> (%)	206
70.	Uji lanjut <i>duncan's multiple range test</i> perlakuan suhu simpan x klon x <i>decrowning</i> x <i>coating</i> terhadap suhu buah (°C)	207
71.	Uji lanjut <i>duncan's multiple range test</i> perlakuan suhu simpan x klon x <i>decrowning</i> x <i>coating</i> terhadap total senyawa fenol (mg GAE/100 ml jus)	208
72.	Estimasi rerata marginal klon terhadap <i>internal browning</i> dan mutu buah lainnya	209
73.	Estimasi rerata marginal bahan kimia terhadap <i>internal browning</i> dan mutu buah lainnya	212
74.	Estimasi rerata marginal waktu aplikasi terhadap <i>internal browning</i> dan mutu buah lainnya	219
75.	Estimasi rerata marginal bahan kimia x waktu aplikasi terhadap <i>internal browning</i> dan mutu buah lainnya	221

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Bentuk morfologi nanas klon <i>GP4</i> , <i>MD2</i> , <i>HC</i> , dan <i>GP3</i> (kiri-kanan) pada tingkat kemasakan kacang hijau (SC-0)	2
2. Jalur metabolisme karbon sekunder	11
3. Jalur sintesis senyawa fenol	12
4. Penampakan fisik buah yang disimpan pada suhu 10 dan 25 °C terhadap resistensi IB	17
5. Struktur skelerenkim pada bagian F/C kultivar MD2 (resisten) yang tidak ada keterjadian IB, <i>Pattavia</i> (toleran) sedikit keterjadian IB, dan <i>Trad-see-thong</i> (rentan) banyak keterjadian IB	21
6. Transpor AsA pada sel tumbuhan	23
7. Jalur metabolisme AsA pada tanaman	25
8. Biosintesis ABA secara umum	28
9. Lokasi dan jalur biosintesis ABA	28
10. Pembentukan isopentenylidiphosphate jalur mevalonate	29
11. Pensinyalan ABA dan etilen dalam mengatur pemasakan buah	30
12. Efek kandungan aplikasi GA ₃ eksogen terhadap area <i>internal browning</i> dan aktivitas enzim PPO pada hari ke-7, 14, dan 21	33
13. Bagan alir kerangka pemikiran aplikasi penghambatan <i>internal browning</i> nanas	44
14. Bagan alir novelty metode pengukuran keparahan <i>internal browning</i> buah nanas	47
15. Bagan alir tahapan dan ruang lingkup penelitian eksperimental disertasi	48

16.	Respon nanas klon <i>GP3</i> dan <i>MD2</i> setelah penyimpanan selama 37 hari pada suhu 7 °C	59
17.	Perubahan suhu buah nanas <i>GP3</i> dan <i>MD2</i> setelah simpan selama 37 hari pada suhu 7 °C	62
18.	Respon nanas klon <i>GP3</i> (A1) dan <i>MD2</i> (A2) terhadap mahkota buah utuh (B1) dan tanpa mahkota (B2) setelah penyimpanan 37 hari pada suhu 7 °C	63
19.	Respon nanas klon <i>GP3</i> (A1) dan <i>MD2</i> (A2) dengan mahkota buah utuh (B1) dan dipangkas (B2) dan aplikasi pascapanen <i>coating</i> dengan H ₂ O (C1); kitosan 1% (C2); ABA+kitosan (C3); ABA 50 mg/L (C4) terhadap keterjadian <i>internal browning</i>	65
20.	Respon nanas klon <i>GP3</i> dan <i>MD2</i> setelah mengalami perubahan suhu simpan	78
21.	Respon nanas klon <i>GP3</i> dan <i>MD2</i> pada perubahan suhu simpan setelah pemangkasan mahkota buah	80
22.	Respon klon nanas selama 46 hari pada penyimpanan suhu 7 °C	96
23.	Pengukuran tingkat keparahan gejala <i>internal browning</i> pada potongan melintang nanas setelah penyimpanan selama 28 hari setelah panen pada suhu 7 °C	99
24.	Respon klon nanas pada penyimpanan selama 46 hari setelah panen pada suhu 7 °C terhadap mutu buah lainnya	100
25.	Pengaruh aplikasi penyemprotan buah dan <i>crown</i> nanas 11 dan 18 hari sebelum panen (HSP) terhadap keparahan <i>internal browning</i> (IB) di penyimpanan dingin 7 °C	112
26.	Pengukuran tingkat keparahan gejala <i>internal browning</i> pada nanas potongan melintang setelah penyimpanan dingin suhu 7 °C selama 28 hari setelah panen	113
27.	Struktur jaringan vascular (Vb) buah nanas klon <i>GP3</i> hari ke 42 setelah penyimpanan pada suhu 7 °C	114
28.	Pengaruh aplikasi penyemprotan nanas 11 dan 18 hari sebelum panen (HSP) di penyimpanan dingin pada suhu 7 °C terhadap kebocoran elektrolit, total fenol (TP), dan perubahan pH buah nanas	115
29.	Potongan melintang buah nanas sehat	122

30.	Diagram alir analisis tingkat keparahan IB buah nanas	124
31.	Bagan alir proses analisis area skor dan total <i>internal browning</i>	128
32.	Data tersimpan dalam <i>file</i> teks	128

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran	Halaman
1. PUBLIKASI ARTIKEL INTERNASIONAL SCOPUS	150
2. PUBLIKASI BUKU BER-ISBN	151
3. ANALISIS RAGAM	152
4. UJI LANJUT	168

RINGKASAN
STUDI KETERJADIAN *INTERNAL BROWNING* PADA NANAS EKSPOR
MELALUI PENGELOLAAN FAKTOR PRA- DAN PASCA- PANEN

Oleh

DAVID CHANDRA

Salah satu permasalahan dalam penyimpanan dan pengiriman buah nanas pada suhu dingin adalah penurunan mutu akibat kerusakan fisiologis IB (*internal browning*). Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan data empiris respon nanas ekspor terhadap IB, pengelolaan buah nanas terhadap IB, serta mendapatkan metode pengukuran keparahan IB yang obyektif dan lebih akurat. Penelitian dilakukan di PT Great Giant Foods pada bulan Juni 2022 – Desember 2023. Penelitian pertama untuk mengetahui respon nanas klon *GP3* dan *MD2* yang disimpan selama 37 hari pada suhu 7 °C setelah aplikasi pascapanen pemangkasan mahkota dan pelapisan buah dengan ABA (asam absisat) 50 mg/L dan kitosan 1% terhadap IB. Penelitian ke-dua untuk mengetahui respon nanas klon *GP3* dan *MD2* setelah disimpan selama 28 hari pada suhu 7 °C dilanjutkan 2 hari pada suhu 16 °C setelah aplikasi pascapanen pemangkasan mahkota dan pelapisan buah dengan ABA 50 mg/L dan kitosan 1% terhadap IB. Penelitian ke-tiga untuk mengetahui efektifitas penundaan aplikasi pascapanen penyemprotan mahkota buah nanas dengan ABA 50 mg/L, AsA (asam askorbat) 200 mg/L, asam jasmonat 1 mM, dan CaCl₂ 2% selama 16 hari terhadap IB pada buah nanas *GP3*, *MD2*, *HC*, dan *GP4* yang disimpan selama 46 hari pada suhu 7 °C. Penelitian ke-empat untuk mengetahui pengaruh aplikasi prapanen penyemprotan nanas *GP3* dengan ABA 5 dan 10 mg/L, CaCl₂ 1% dan K₂SO₄ 5% pada waktu 11 dan 18 hari sebelum panen terhadap IB pada buah yang disimpan selama 42 hari pada suhu 7 °C. Penelitian ke-lima untuk mendapatkan kebaruan cara pengukuran keparahan IB melalui *image analysis method*. Hasilnya nanas klon *MD2* (hibrida) lebih tahan terhadap IB dibandingkan nanas klon *GP3*, *GP4*, dan *HC* (tipe *Smooth Cayenne*). Nanas klon *GP3* memiliki ketahanan terendah diantara tipe *Smooth Cayenne* lainnya terhadap IB. Katahanan nanas terhadap IB berkorelasi positif terhadap kandungan AsA. Perkembangan IB konsisten dengan peningkatan kandungan fenol buah nanas. Peningkatan kandungan fenol berkorelasi positif dengan GA₃ dan negatif dengan ABA endogen. Pemangkasan mahkota dapat meningkatkan keparahan IB buah nanas, tetapi tidak pada klon *MD2* yang memiliki kandungan AsA yang cukup tinggi. Kerusakan fisiologis IB nanas dapat ditekan dengan aplikasi ABA 10 mg/L, CaCl₂ 1%, atau K₂SO₄ 5% 11 hari sebelum panen dan aplikasi pascapanen pelapisan buah dengan ABA 50 mg/L. Perubahan suhu simpan selama 2 hari meningkatkan keterjadian IB hingga 33% dengan keparahan IB kategori sedang dan keterjadian IB dapat ditekan

hingga 50% dengan kategori gejala ringan melalui aplikasi pascapanen pelapisan dengan ABA 50 mg/L. Selain itu, menghasilkan cara baru pengukuran keparahan IB buah nanas dengan *image analysis method* dalam menggantikan metode konvensional untuk mendapatkan data yang lebih konsisten dan valid.

Kata kunci: Asam absisat, asam askorbat, fenol, gangguan fisiologis, pemangkasan mahkota, respon nanas.

ABSTRACT
STUDY OF INTERNAL BROWNING INCIDENCE IN PINEAPPLE
EXPORTS THROUGH THE MANAGEMENT OF PRE- AND POST-
HARVEST FACTORS

By

DAVID CHANDRA

One of the problems in storing and shipping pineapple fruit at cold temperatures is a decrease in quality due to physiological damage to IB (internal browning). This research aimed to obtain empirical data on the response of exported pineapples to IB, management of pineapple to IB, and to obtain an objective and more accurate method for measuring the severity of IB. The research was conducted at PT Great Giant Foods in June 2022 – December 2023. The first research was to determine the response of pineapple clones GP3 and MD2 which were stored for 37 days at 7 °C after postharvest applications of decrowning and coatings of 50 mg/L ABA (abscisic acid) and 1% chitosan to IB. The second research was to determine the response of GP3 and MD2 pineapple clones after was stored for 28 days at 7 °C followed by 2 days at 16 °C after postharvest applications of decrowning and coatings of 50 mg/L ABA and 1% chitosan to IB. The third research was to determine the effectiveness of delaying postharvest application of pineapple crown spraying with ABA 50 mg/L, AsA (ascorbic acid) 200 mg/L, jasmonic acid 1 mM, and CaCl₂ 2% for 16 days against IB in GP3, MD2, HC, and GP4 pineapple clones were stored for 46 days at 7 °C. The fourth research was to determine the effect of pre-harvest application of GP3 pineapple sprayings of 5 and 10 mg/L ABA, 1% CaCl₂ and 5% K₂SO₄ at 11 and 18 days before harvest on IB in fruit stored for 42 days at 7 °C. The fifth research was to obtain a novel of method for measuring the severity of IB through image processing analysis. The results showed that the MD2 pineapple clone (hybrid) was more resistant to IB than GP3, GP4, and HC (Smooth Cayenne type) pineapple clones. The GP3 clone pineapple had the lowest resistance among other Smooth Cayenne types to IB. Pineapple resistance to IB was positively correlated with AsA content. The development of IB was consistent with the increase in total phenol content (TPC) of pineapple. The increase in TPC was positively correlated with GA₃ and negatively with endogenous ABA. Crown pruning increased the severity of IB in pineapple fruit, but not in the MD2 clone which has a fairly high AsA content. physiological damage to pineapple IB could be suppressed by preharvest applications of ABA 10 mg/L, CaCl₂ 1%, or K₂SO₄ 5% 11 days before harvest and postharvest application of fruit coating with ABA 50 mg/L. Changing the storage temperature for 2 days increased the incidence of IB by up to 33% with the severity of IB in the moderate category and the incidence of IB could be reduced by up to 50% with the mild symptoms category through the postharvest application of coating with ABA 50 mg/L. In addition, the novel method of measuring IB severity using image analysis method could replace conventional methods in obtaining more consistent and valid data.

Keywords: *Absciscic acid, ascorbic acid, crown pruning, phenol, physiological disorders, pineapple responses.*

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Nanas merupakan buah yang menjadi salah satu produk unggulan ekspor Indonesia. Hal ini terlihat dari jumlah produksi buah Indonesia tahun 2022, nanas berada pada urutan ke-3 setelah pisang dan mangga, yaitu 3.203.775 ton (BPS, 2023). Produksi buah nanas Indonesia pada tahun 2019, merupakan yang terbesar ke-4 dunia setelah Costa Rica, Philipina, dan Brazil (FAO, 2019). Provinsi Lampung merupakan daerah terbesar dalam produksi buah nanas tahun 2022, yaitu 26,90 % dari produksi nanas nasional (BPS, 2023).

Nanas dikategorikan sebagai buah non-klimakterik, yaitu menghasilkan tingkat etilen yang rendah dan tidak menunjukkan puncak utama dalam laju respirasi selama proses pematangan (Hui *et al.*, 2010 dan Kader, 1999). Selain itu, perlakuan etilen tidak memberikan pengaruh apapun pada buah non-klimakterik terhadap mutu buah, kecuali derajat warna permukaan buah (degradasi klorofil) (Symons *et al.*, 2012). Ciri khas lain dari buah non-klimakterik adalah buah tidak akan melanjutkan proses pemasakan (*ripening*) setelah panen, sehingga buah harus dipanen pada tahap kemasakan yang tepat untuk memastikan mutu santap buah yang dapat diterima konsumen (Kader, 1999).

Produksi nanas terbesar di Indonesia disumbang oleh PT GGF (Great Giant Foods), Terbanggi Besar, Lampung Tengah, Lampung. Buah nanas yang dikembangkan di PT GGF antara lain *GP3*, *GP4*, dan *HC* (tipe *Smooth Cayenne*) dan *MD2* (hibrida), morfologi buah dapat dilihat pada Gambar 1. Nanas klon *GP* (Great Pineapple) merupakan nanas hasil perakitan PT GGF, nanas klon *F180* dan *MD2* merupakan klon introduksi. Klon nanas yang paling banyak dikembangkan

di PT GGF adalah *GP3* dan *MD2*. Nanas klon *MD2* memiliki karakteristik 50% sama dengan jenis nanas *Smooth Cayenne*. Beberapa keunggulan nanas klon *MD2* dibandingkan dengan jenis nanas lainnya, diantaranya memiliki warna kulit dan buah yang menarik, yaitu kuning keemasan, memiliki kandungan vitamin C dan total padatan terlarut yang lebih tinggi, dan memiliki ketahanan pada penyimpanan suhu dingin (Thalip *et al.*, 2015).



Gambar 1. Bentuk morfologi nanas klon *GP4*, *MD2*, *HC*, dan *GP3* (kiri-kanan) pada tingkat kemasakan kacang hijau (SC-0).

Kultivar nanas yang sampai dengan saat ini menjadi primadona adalah *Smooth Cayenne* dan *MD2* (Uriza-Ávila *et al.*, 2018). Kultivar *Smooth Cayenne* digunakan masyarakat dalam memproduksi nanas kaleng, karena kultivar tersebut agak rentan terhadap IB (*internal browning*). Hal tersebut sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Souleymane *et al.* (2019), bahwa intensitas serangan IB pada kultivar *MD2* lebih rendah dibandingkan *Smooth Cayenne*. Menurut Luengwilai *et al.* (2016), bahwa kultivar *MD2* resisten terhadap induksi IB. Resistensi *Smooth Cayenne* terhadap IB selama penyimpanan buah nanas ekspor, telah dikalahkan oleh nanas hibrida, *MD2*. Kultivar *MD2* dapat memberikan kepuasan kepada konsumen untuk dapat mengonsumsi produk buah nanas segar di negara-negara non-tropis yang biasanya hanya dapat menikmati buah nanas dalam bentuk olahan nanas kaleng dari kultivar *Smooth Cayenne* (Thalip *et al.*, 2015).

Berdasarkan Standar Pemasaran dan Kontrol Mutu Komersil Nanas FFV-49 UNECE, klasifikasi kemasakan buah nanas dibagi menjadi 5 kelas berdasarkan

warna kulitnya, yaitu stadium C0 kulit buah 0% warna kuning, stadium C1 memiliki 0 – 25% warna kuning, stadium C2 memiliki 25 – 50% warna kuning, stadium C3 memiliki 50 – 75% warna kuning, dan stadium C4 memiliki 75 – 100% warna kuning (UNECE, 2013). Berdasarkan Standar Warna Kulit Buah PG 4 GGF, bahwa tingkat kemasakan buah nanas terdiri dari 7 kalsifikasi SC (shell color) yang terlihat dari persentase warna kuning pada kulit buah. SC-0 (0%), SC-1 (0 – 10%), SC-2 (11 – 20%), SC-3 (21 – 35%), SC-4 (36 – 50%), SC-5 (51 – 75%), dan SC-6 (76-100 %). Klasifikasi SC digunakan untuk menentukan waktu panen berdasarkan tujuan pemasaran. Klasifikasi SC 0 – 3 untuk kebutuhan ekspor, tergantung dengan jarak tempuh, semakin jauh tujuan pengiriman buah semakin kecil derajat kemasakan buah berdasarkan SC dan klasifikasi SC 3 – 5 digunakan untuk menentukan waktu panen terhadap kebutuhan pasar lokal.

Pemasaran buah nanas segar dapat dihambat oleh lamanya jarak dan waktu pendistribusian yang mengakibatkan beberapa masalah, salah satu masalah penting cedera buah akibat IB yang disimpan pada suhu di bawah 13 °C (Youryon *et al.*, 2008). Rasa dan konsistensi buah sangat penting, namun IB juga tidak kalah penting yang merupakan kerusakan fisiologis yang dapat menurunkan mutu buah yang tidak dapat diterima negara-negara importir. Kemunculan IB menyebabkan kerugian besar di pengalengan atau setelah pengiriman laut dalam kontainer berpendingin. Kerugian industri nanas Australia yang disebabkan IB mencapai US \$1,3 juta per tahun dari total nilai produksi sekitar US \$30 juta (Ko *et al.*, 2006). Kejadian IB juga telah lama dilaporkan pada nanas yang ditanam di beberapa negara, antara lain Thailand (Haruenkit and Thompson 1993, 1996), Sri Lanka (Wijeratnam *et al.*, 1996), Filipina (Akamine *et al.*, 1975), Afrika Selatan (Van Lelyveld dan de Bruyn 1976, 1977), Taiwan (Chang and Wu, 1961) dan Pantai Gading (Teisson, 1979a). Kejadian IB menjadi masalah yang penting pada buah nanas di Srilanka pada tahun 1985 – 2005, mengalahkan kerusakan umum busuk inti buah akibat penggunaan pupuk urea yang tinggi dalam menghasilkan ukuran buah nanas yang besar (Nanayakkara *et al.*, 2005).

Inisiasi IB terjadi melalui mekanisme reaksi enzimatik yang bergantung pada senyawa fenolik, aktifitas enzim PPO (polyphenol oxidase) dan POD (peroxidase), dan O₂ (oksigen) (Pardede, 2017). Kejadian IB muncul akibat kerusakan pada jaringan tanaman, kerusakan tersebut dapat diinduksi mulai dari pembentukan buah di pohon induknya, maupun proses penyimpanan buah yang sudah lepas dari tanaman. Pencoklatan terjadi akibat reaksi antara senyawa fenol dengan adanya enzim PPO dalam kondisi aerob dan atau dengan enzim POD yang membentuk o-kuinon yang sangat rektif dalam berpolimerisasi atau berikatan dengan senyawa fenol lainnya (Queiroz *et al.*, 2008). Menurut Luengwilai *et al.* (2016), sklerenkim buah nanas kultivar tahan, seperti MD2 yang diamati menggunakan *scanning electron microscopy* (SEM), memiliki struktur lapisan serat sklerenkim yang lebih tebal dan dua kali lebih besar dari kultivar rentan *Trad-see-thong* dan *Pattavia* (toleran), selain itu, sel sklerenkim MD2 membentuk cincin konsentris mengelilingi phloem dan xylem.

Perubahan suhu simpan dapat mempengaruhi perkembangan keterjadian IB buah nanas. Keterjadian IB pasca-penyimpanan buah nanas kultivar rentan *Trad-see-thong* pada suhu 10 °C diinisiasi pada hari ke-10 penyimpanan dan dipercepat pada hari-8 jika setelahnya dipindahkan pada suhu 25 °C selama satu hari. Pada kultivar toleran *Pattavia*, keterjadian IB diinisiasi setelah umur penyimpanan 19 hari pada suhu 10 °C, dan keterjadian dipercepat menjadi 15 hari jika setelahnya dipindahkan ke suhu 25 °C selama satu hari (Luengwilai *et al.*, 2018). Kultivar *Mauritius* yang sebelumnya disimpan pada suhu 8 dan 12 °C hingga 4 minggu diikuti dengan periode penyimpanan selama seminggu di suhu ruang (28 °C) menginduksi keterjadian IB (Abdullah and Rohaya, 1983).

Senyawa GA (gibberellic acid) bersifat antagonis terhadap ABA (abscisic acid), sehingga kadar GA berkorelasi negatif terhadap kadar ABA pada jaringan. Pada percobaan terhadap mahkota buah buah nanas yang dipangkas dan dibiarkan utuh, menunjukkan kandungan GA yang lebih tinggi pada buah nanas yang mahkota buahnya dipangkas. Hal ini disimpulkan bahwa mahkota buah merupakan salah satu media yang menjadi sumber ABA endogen pada buah nanas. Menurut Liu *et*

al. (2017), pemangkasan mahkota buah nanas dengan tingkat kemasakan 70% berkorelasi positif terhadap keterjadian IB dan kandungan GA dan tidak berkorelasi terhadap aktivitas PPO pada buah nanas setelah penyimpanan selama 9 hari pada suhu 20 °C. Pelepasan mahkota buah nanas memperparah IB sebesar 55,2% dan mengurangi rasio total padatan terlarut/asam tertitrasi sebesar 2,2, setelah penyimpanan 9 hari. Pelepasan mahkota buah juga meningkatkan jumlah ROS (reactive oxygen species), MDA (malondialdehyde), kadar fenolat, serta peningkatan ekspresi dan aktivitas enzim PPO dan PAL (phenylalanine ammonia-lyase). Oleh karena itu, menjaga mahkota tetap utuh selama penyimpanan dapat mencegah pembentukan ROS dan peroksidasi lipid, serta menghambat biosintesis dan oksidasi fenolat.

Berdasarkan laporan Liu *et al.* (2017), bahwa ABA endogen dari mahkota buah dapat menekan GA endogen pada buah nanas dalam menekan keterjadian IB. Menurut Zhang *et al.* (2016), infiltrasi ABA dilakukan dengan menyemprotkan larutan ABA 380 μ M pada buah nanas berkorelasi positif dalam menekan keterjadian IB dan penurunan kandungan GA setelah 9 hari penyimpanan dan aktivitas enzim PPO setelah 6 hari penyimpanan. Menurut Zhang *et al.* (2015), bahwa perlakuan ABA 200 mg/L yang dikombinasikan dengan suhu penyimpanan 5 °C dapat menekan keterjadian IB dan GA₄.

Kitosan merupakan salah satu bahan pelapis buah yang bersifat *edible* pelapisan yang dapat memperpanjang masa simpan buah dan mempertahankan mutu buah. Perlakuan pelilinan dapat menurunkan keterjadian IB buah naans sebesar 87,5 % pada hari ke 20 (Pitadeniya and Lakshman., 2004). Kitosan banyak dipergunakan dalam memperpanjang masa simpan buah lainnya melalui penekanan laju respirasi, antara lain pada buah jambu (Zulferiyenni and Widodo, 2010a and Widodo *et al.*, 2013), pisang (Zulferiyenni and Widodo, 2010b, Widodo *et al.*, 2010, Ali and Hamid, 2021, dan Changsiripom and Manuskwan, 2011), tomat (El Ghaouth *et al.*, 1992), stroberi (Vargas and Albors, 2006), dan alpukat (Manftoonazad, 2005). Kitosan juga dapat menekan pencoklatan, aktivitas PPO, dan susut bobot buah buah lengkeng (Jiang and Li, 2001). Kitosan juga bersifat

biokompatibel dengan bahan lainnya, kombinasi perlakuan kitosan dan asam sitrat lebih dapat menekan pencoklatan pada perikarp letci melalui penurunan pH dan susut bobot buah (Joas *et al.*, 2005) dan melalui pengelolaan kandungan senyawa antosianin dan kontrol aktivitas enzim PPO dan POD (Ducamp-Collin *et al.*, 2008).

Perbaikan mutu buah dapat dicapai melalui perbaikan perawatan buah saat masih berada pada pohon induknya, karena penanganan pascapanen hanya bersifat mempertahankan mutu buah (Arah *et al.*, 2015). Permasalahan IB terjadi akibat faktor-faktor yang memicunya, baik yang berasal dari genetik buah maupun lingkungan. Oleh karena itu, dalam mengurangi *losses* akibat mutu buah yang kurang baik, perlu adanya penanganan yang baik dari prapanen (cekaman lingkungan, pemilihan kultivar yang tepat, dan pengelolaan tanaman), hingga pascapanen (teknologi memperlambat terjadinya IB dan *senescence*).

Pemberian K (kalium) yang lebih banyak pada perawatan tanaman nanas, yaitu 34–40 g/tanaman dibandingkan dengan 20 g/tanaman, dapat mengurangi keterjadian IB selama 5 hari penyimpanan pada suhu 22 °C. Selain itu, didapatkan TPT terbaik, total fenol, aktivitas enzim PAL, TAL (tyrosine ammonia-lyase), PPO, dan POD terendah (Souleymane *et al.*, 2019). Ada beberapa indikasi bahwa K yang cukup dalam tanah juga dapat berkontribusi pada peningkatan kualitas termasuk kadar AsA (ascorbic acid) yang dapat mencegah beberapa derajat pencoklatan enzimatis dengan menghambat aktivitas PPO (Tisseau, 1972 dan Teisson *et al.* 1979b).

1.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimanakah respon nanas klon GP3 dan MD2 yang disimpan selama 37 hari terhadap IB setelah aplikasi pascapanen pemangkasan mahkota dan pelapisan buah dengan ABA 50 mg/L dan kitosan 1% pada suhu 7 °C?
2. Bagaimanakah respon nanas klon GP3 dan MD2 yang mengalami perubahan suhu simpan terhadap IB setelah aplikasi pascapanen pemangkasan mahkota dan pelapisan buah dengan ABA 50 mg/L dan

kitosan 1%?

3. Bagaimanakah pengaruh aplikasi pascapanen penyemprotan mahkota buah nanas dengan ABA 50 mg/L, kitosan 1%, AsA (ascorbic acid) 200 mg/L, JA (jasmonic acid) 1 mM, dan CaCl_2 2% pada mahkota buah nanas *Smooth Cayenne* dan *MD2* setelah panen terhadap IB dan mutu buah lainnya?
4. Bagaimanakah pengaruh aplikasi prapanen buah nanas dengan ABA 5 mg/L, ABA 10 mg/L, CaCl_2 1%, dan K_2SO_4 5% terhadap IB dan mutu buah lainnya di penyimpanan dingin?
5. Bagaimanakah metode pengukuran keparahan IB dalam mendapatkan data yang lebih konsisten dan valid untuk menggantikan metode konvensional?

1.3 Tujuan Penelitian

1. Mengetahui respon nanas klon *GP3* dan *MD2* yang disimpan selama 37 hari pada suhu 7 °C terhadap IB setelah aplikasi pascapanen pemangkasan mahkota dan pelapisan buah dengan ABA 50 mg/L dan kitosan 1%.
2. Mengetahui respon nanas klon *GP3* dan *MD2* yang mengalami perubahan suhu simpan terhadap IB setelah aplikasi pascapanen pemangkasan mahkota dan pelapisan buah dengan ABA 50 mg/L dan kitosan 1%.
3. Mengetahui pengaruh aplikasi pascapanen penyemprotan mahkota buah nanas dengan ABA 50 mg/L, kitosan 1%, AsA 200 mg/L, JA 1 mM, dan CaCl_2 2% pada mahkota buah nanas *Smooth Cayenne* dan *MD2* terhadap IB dan mutu buah lainnya.
4. Mengetahui pengaruh aplikasi prapanen penyemprotan buah nanas dengan ABA 5 mg/L, ABA 10 mg/L, CaCl_2 1%, dan K_2SO_4 5% terhadap IB.
5. Menghasilkan metode pengukuran keparahan IB dalam menghasilkan data yang lebih konsisten dan valid dalam menggantikan metode konvensional.

1.4 Manfaat Penelitian

Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan gambaran dan informasi kepada akademisi, praktisi, dan pemerintah dalam mengelola buah nanas segar terhadap penekanan IB dan mempertahankan mutu buah lainnya melalui perawatan buah pra- dan pasca- panen.

1.5 Nilai Kebaruan dan Kedalaman

Keterjadian IB disebabkan oleh kerusakan/kebocoran sel yang dipengaruhi oleh stres lingkungan yang menyebabkan terjadinya reaksi enzimatik pencoklatan daging buah. Menurut Liu *et al.* (2017), bahwa pelepasan mahkota buah nanas memperparah IB sebesar 55,2% dan mengurangi rasio total padatan terlarut/asam tertitrasi sebesar 2,2, setelah penyimpanan 9 hari, sehingga dapat memperpendek umur simpan buah. Pada praktiknya, mahkota buah nanas akan mengurangi efisiensi pengemasan dan penyimpanan buah.

Suhu penyimpanan dingin merupakan suatu upaya dalam memperpanjang masa simpan buah. Hal ini dikaitkan dengan mekanisme penghambatan reaksi enzimatik pada proses respirasi. Suhu dingin dapat menekan aktivasi enzim, dengan dihambatnya aktivitas enzim akan memperlambat terjadinya oksidasi karbohidrat. Namun, suhu dingin dalam kurun waktu yang relatif lama akan meningkatkan senyawa fenol dan produksi ROS, menyebabkan kerusakan/kebocoran membran sel, sehingga berpotensi meningkatkan reaksi senyawa fenol dengan enzim PPO yang menyebabkan terbentuknya senyawa o-kuinon dan pencoklatan. Kondisi ini akan lebih diperparah dengan adanya perubahan suhu penyimpanan buah pada suhu yang lebih tinggi setelahnya.

Beberapa hal yang menjadi kebaruan dalam penelitian ini, antara lain:

1. Respon nanas klon GP3, HC, dan GP4 terhadap IB setelah disimpan pada suhu 7 °C belum pernah dilakukan.
2. Interaksi aplikasi pascapanen pemangkasan mahkota, pelapisan buah, dan perubahan suhu simpan buah nanas terhadap IB belum pernah dilakukan.
3. Konsentrasi aplikasi pascapanen dengan ABA 50 mg/L dan kitosan 1% dalam menekan IB buah nanas belum pernah dilakukan.
4. Aplikasi prapanen buah nanas dengan ABA 5 dan 10 mg/L, CaCl₂ 1%, dan K₂SO₄ 5% pada 11 dan 18 hari sebelum panen terhadap perkembangan IB di penyimpanan suhu dingin belum pernah dilakukan.
5. Metode pengukuran tingkat keparahan IB buah nanas dengan *image analysis method* belum pernah ada.

II. TINJAUAN PUSTAKA

Reaksi enzimatik IB terjadi melalui reaksi oksidasi senyawa fenol dan oksigen yang dikatalis oleh enzim PPO dalam membentuk o-kuinon, kemudian sesama o-kuinon atau dengan senyawa fenol membentuk melanin. Perkembangan IB semakin cepat dengan kehadiran enzim POD dalam mengkatalis H_2O_2 (hydrogen peroxide) untuk menghasilkan o-kuinon (Quiroz *et al.*, 2008 dan Pardede, 2014). Reaksi IB akan terjadi jika terjadi stres atau cekaman yang mengaktifkan metabolisme sekunder sebagai sistem pertahanan produk. Biosintesis metabolit sekunder akan menghasilkan produk sampingan yang merusak, yaitu ROS. Kerusakan vakuola dan plastida akan menyebabkan bertemunya fenol dan enzim PPO. Antioksidan merupakan salah satu cara dalam mengurangi efek kerusakan jaringan yang disebabkan oleh ROS.

2.1 Mekanisme Keterjadian *Internal Browning*

Gangguan fisiologis IB merupakan pencoklatan bagian internal yang terjadi melalui reaksi enzimatik. Reaksi pencoklatan terjadi melalui dua jalur, yaitu melalui reaksi oksidasi dan peroksidasi. Pencoklatan diinduksi karena adanya kerusakan atau kebocoran sel yang menyebabkan senyawa fenol yang berada di vakuola sel dan PPO yang berada pada plastida keluar dan berkesempatan untuk bereaksi. Kehadiran oksigen, enzim PPO mengkatalis reaksi oksidasi senyawa-senyawa fenol menjadi o-kuinon. Senyawa o-kuinon yang memiliki sifat sangat reaktif akan bergabung secara spontan dengan sesama senyawa o-kuinon dan senyawa fenol lainnya membentuk pigmen berwarna coklat, yaitu melanin (Queiroz *et al.*, 2008 dan Lonita, 2013). Reaksi kedua, sintesis kuinon berasal dari reaksi antara senyawa fenol dengan H_2O_2 yang dikatalisis oleh enzim POD. Sehingga pencoklatan juga dapat dipercepat dengan adanya enzim PPO dan POD.

Kuinon yang terbentuk dari reaksi oksidasi senyawa fenol yang dikatalisis enzim PPO, dapat beraksi dengan enzim POD dalam membentuk pigmen coklat.

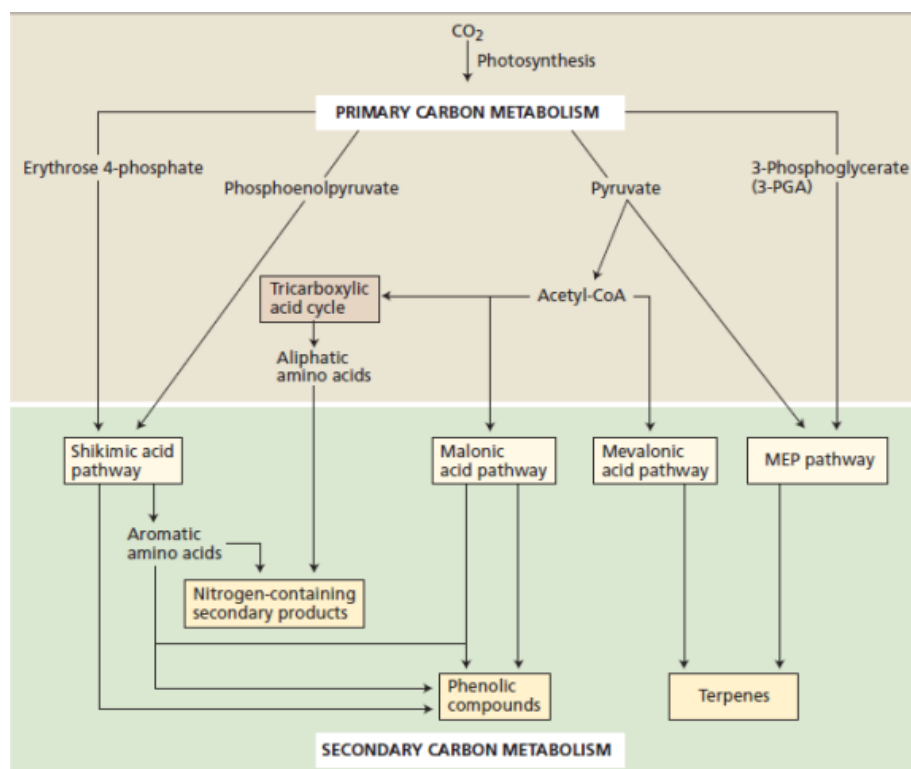
Menurut Luengwilai *et al.* (2016), daging buah nanas yang dekat *core* buah (F/C) yang mengalami gangguan IB, mengandung senyawa fenol yang lebih tinggi, diikuti tingginya aktivitas enzim PPO dan POD dibandingkan dengan buah yang sehat. Menurut Luengwilai *et al.* (2018), terdapat hubungan antara kandungan asam amino dengan keterjadian IB. Kultivar *Pattavia* (toleran) mengandung asam amino yang lebih tinggi dibandingkan dengan kultivar *Trad-see-thong* (rentan). Kandungan asam amino yang lebih tinggi setelah pendinginan dapat berkontribusi pada produksi enzim baru yang diperlukan untuk perbaikan jaringan akibat CI (*chilling injury*). Kumpulan asam amino sebagai respon terhadap pendinginan, menunjukkan bahwa perubahan ini mungkin merupakan komponen penting dari respon toleransi. Selain itu, induksi akumulasi asam amino pada kultivar toleran bertepatan dengan penundaan IB setelah penurunan AsA. Menurut Dolhaji *et al.* (2020), peningkatan aktivitas PPO signifikan terjadi pada hari ke-7 setelah awal pemanenan. Genotipe tanaman mempengaruhi jalur antioksidan, jika tanaman cukup tahan, maka selama defisit air (cekaman kekeringan), reaksi jalur oksidan akan lebih tinggi dalam mengatasi cekaman (Prajapat *et al.*, 2018).

Menurut Dahler *et al.* (2002), bahwa perbedaan kerentanan buah setelah panen terhadap IB tidak konsisten dengan aktivitas enzim PPO. Konsentrasi total fenol meningkat dengan laju kemasakan buah, tetapi konsentrasi fenol yang tinggi tidak konsisten dengan peningkatan kejadian IB. Selain itu, tidak ada perbedaan yang signifikan dalam kadar AsA saat panen antara batasan kemasakan, hal ini berbeda dengan beberapa literatur yang menyebutkan bahwa kadar AsA saat panen menunjukkan ketahanan terhadap IB. Menurut Stewart *et al.* (2001), adanya korelasi antara aktivitas PPO terhadap keterjadian IB, pada penelitiannya, menemukan aktivitas enzim PPO yang rendah pada daun, akar, jaringan perbungaan dan buah nanas yang sedang berkembang dan matang. Pada buah yang terdapat gangguan IB yang diinduksi suhu dingin, aktivitas enzim PPO meningkat 10 kali lipat lebih tinggi daripada buah yang tidak terdapat gangguan

IB dan adanya korelasi langsung antara aktivitas enzim PPO dengan keparahan gejala IB.

2.2 Senyawa Fenol

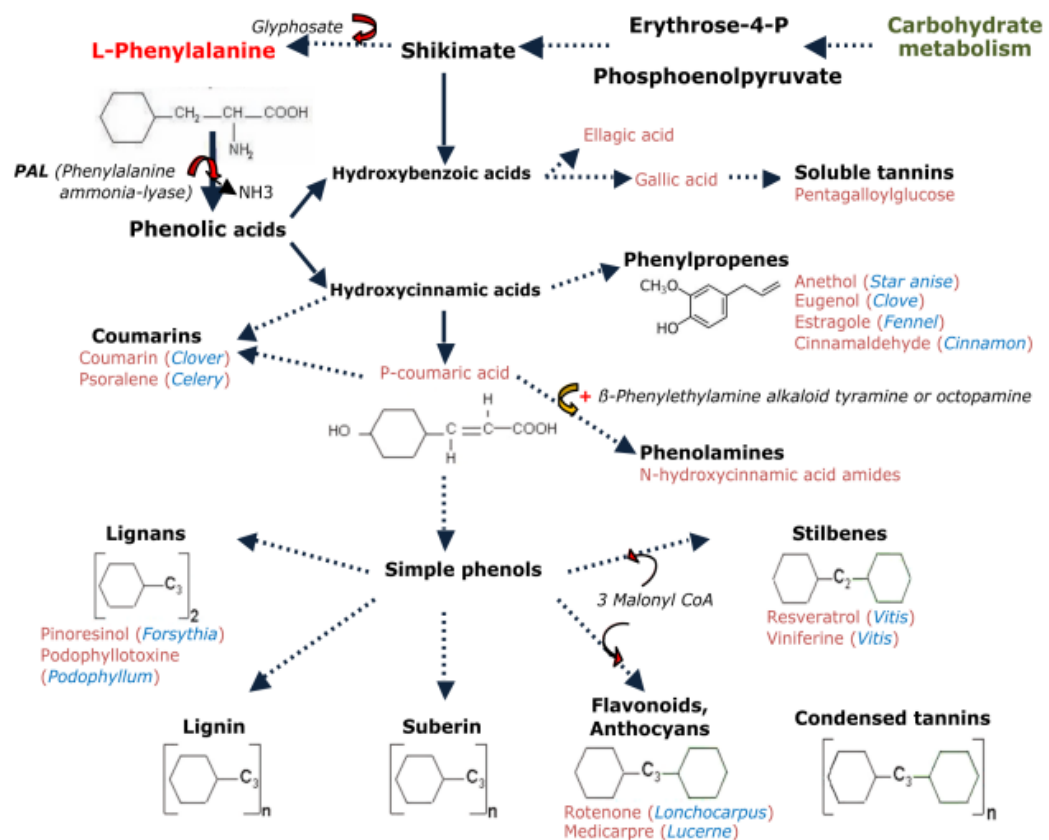
Senyawa fenol merupakan metabolit alami sekunder yang muncul secara biogenetik baik dari jalur shikimat, yang secara langsung menyediakan fenilpropanoid, atau jalur malonat (Gambar 2), yang dapat menghasilkan fenol sederhana dan polifenol yang memenuhi berbagai peran fisiologis yang sangat luas pada tanaman. Senyawa fenol tanaman dianggap memiliki peran kunci sebagai senyawa pertahanan ketika tekanan lingkungan, seperti cahaya tinggi, suhu rendah, infeksi patogen, herbivora, dan defisiensi nutrisi, dapat menyebabkan peningkatan produksi radikal bebas dan spesies oksidatif lainnya pada tanaman.



Gambar 2. Jalur metabolisme karbon sekunder. Acetyl-CoA (acetyl coenzyme A) dan MEP (methyl erythritol phosphate) (Sumber: Lattanzio, 2013)

Cekaman biotik dan abiotik merangsang aliran karbon dari jalur metabolisme primer ke sekunder, sehingga mendorong pergeseran sumber daya yang tersedia

mendukung sintesis produk sekunder. Oksidasi NADPH bergantian dengan sintesis prolin dan reduksi NADP^+ oleh dua langkah oksidatif dari jalur oksidatif pentosa fosfat menyebabkan akumulasi simultan senyawa fenolik. Asam fenol (C6-C1) umumnya diwakili oleh gallic, p-asam hidroksibenzoat, protocatechuic, vanillic, dan syringic (Gambar 3: Douce, 2005). Asam fenol biasanya hadir dalam bentuk larut terikat yang terkonjugasi dengan gula atau asam organik dan biasanya merupakan komponen struktur kompleks seperti lignin dan tanin yang dapat dihidrolisis. Asam galat adalah unit dasar galotanin, sedangkan asam galat dan gugus heksahidroksidifenoil keduanya merupakan subunit dari ellagitannin, yang diklasifikasikan sebagai tanin yang dapat dihidrolisis.



Gambar 3. Jalur sintesis senyawa fenol. CoA (coenzyme A) (Douce, 2005)

Melanin adalah pigmen dengan berat molekul tinggi yang dibentuk oleh polimerisasi oksidatif senyawa fenolik dan biasanya berwarna coklat tua atau hitam. Melanin adalah salah satu bahan biokimia yang paling stabil, tidak larut, dan tahan, dan mereka meningkatkan kelangsungan hidup dan kemampuan

kompetitif organisme di lingkungan tertentu. Melanin merupakan mekanisme pertahanan dan ketahanan terhadap stres seperti radiasi UV, radikal bebas, sinar gamma, dehidrasi, dan suhu ekstrim dan berkontribusi pada resistensi dinding sel jamur terhadap enzim hidrolitik dalam menghindari lisis seluler. Selain itu, senyawa fenol dapat mengkelat ion logam, sebagai penyangga redoks fisiologis, untuk memberikan kekakuan struktural pada dinding sel, dan untuk membantu menyimpan air dan ion (Nicolaus *et al.*, 1964 dan Langfelder *et al.*, 2003).

Fenol merupakan senyawa yang memiliki sedikit gugus hidroksil larut dalam eter, kloroform, etil asetat, metanol, dan etanol. Campuran metanol, etanol, air, dan alkohol-air paling sering digunakan untuk melarutkan senyawa fenolik untuk tujuan analitik (Lattanzio *et al.*, 2008). Semua senyawa fenolik menunjukkan penyerapan yang kuat di daerah spektrum UV dan yang berwarna juga menyerap dengan kuat di daerah yang terlihat. Setiap kelas senyawa fenolik memiliki karakteristik penyerapan yang khas. Fenol dan asam fenol menunjukkan maksimum spektral dalam kisaran 250–290 nm, turunan asam sinamat memiliki maksimum utama dalam kisaran 290–330 nm, flavon dan flavonol menunjukkan pita serapan dengan intensitas yang kira-kira sama pada sekitar 250 dan 350 nm (Campos and Markham, 2007).

Kondisi stres akan menginduksi ROS dalam jumlah besar. ROS mengindikasikan produk tercekam dan memberikan sinyal kepada produk untuk mensintesis antioksidan dalam mempertahankan hidupnya, sehingga produk mulai mensintesis senyawa fenol melalui jalur metabolisme phenylpropane yang melibatkan enzim PAL. Metabolit sekunder ini dibiosintesis dengan menggunakan sumber dan kerangka karbon esensial terutama dari jalur glikolisis fosfoenolpiruvat dan pentosa fosfat dalam proses dekomposisi serapan oksigen gula. Suhu rendah merangsang peningkatan metabolisme fenolik, dan suhu ini terkait dengan suhu ambang di mana cedera dingin juga diinduksi. Efek suhu rendah juga melibatkan stimulasi yang diinduksi dingin dari aktivitas PAL serta enzim lain yang penting dalam jalur biosintesis fenolik. Respon dalam metabolisme fenolik terhadap suhu rendah (peningkatan aktivitas enzim, serta tingkat senyawa fenolik) dapat

digabungkan dengan perubahan fase yang bergantung pada suhu pada membran sel, untuk memengaruhi umur simpan buah yang disimpan dengan menyediakan substrat yang memadai untuk reaksi pencoklatan pada jeruk dan apel (Lattanzio *et al.*, 1989, 2001).

Cekaman biotik dan abiotik merangsang aliran karbon dari jalur metabolisme primer ke jalur metabolisme sekunder, sehingga mendorong pergeseran sumber daya yang tersedia demi sintesis produk sekunder, misalnya, realokasi sumber daya inang (Herms and Mattson, 1992). Korelasi negatif antara konsentrasi metabolit sekunder dan tingkat pertumbuhan tanaman diasumsikan menunjukkan *trade-off* antara pertumbuhan tanaman dan produksi senyawa defensif. Tumbuhan memiliki sumber daya yang terbatas untuk mendukung proses fisiologisnya; karenanya, semua persyaratan tidak dapat dipenuhi secara bersamaan dan lebih banyak karbon dialihkan dari pertumbuhan menuju metabolisme sekunder ketika pertumbuhan tanaman dibatasi oleh kendala stres.

Menurut Liu *et al.* (2017), pemangkasan mahkota buah nanas meningkatkan total fenol pada buah nanas. Aplikasi AsA meningkatkan kandungan senyawa fenol, tetapi menurunkan aktivitas enzim PPO pada buah stroberi (Nazoori *et al.*, 2020) dan jambu biji (Azam *et al.*, 2021). Aplikasi pascapanen buah nanas dengan ABA dapat menurunkan total fenol buah (Youryon, 2019; Zhan *et al.*, 2015, 2016). Menurut Leungwilai *et al.* (2016), buah nanas dengan kejadian IB memiliki kandungan total fenol yang lebih tinggi dibandingkan buah normal.

2.3 Suhu Simpan terhadap Keterjadian *Internal Browning*

Penyimpanan buah nanas pada suhu dingin dapat memperpanjang masa simpan buah terkait penundaan penguningan pada kulit buah dan kesegaran buah (Pott *et al.*, 2020, Sun Lin *et al.*, 2020, dan Dolhaji *et al.*, 2019). Penyimpanan buah nanas pada suhu 10 °C lebih baik dibandingkan dengan suhu 5 dan 25 °C dalam memperpanjang masa simpan terhadap perubahan kekerasan buah dan kualitas buah lainnya pada nanas MD2, Josapine, dan Morris (Mohd Ali *et al.*, 2022).

Menurut Paull (1993), suhu optimum penyimpanan buah nanas pada suhu 7 – 12 °C terhadap masa simpan buah nanas segar.

Menurut Hong *et al.* (2013), suhu rendah dapat menjaga kualitas buah dan menekan keterjadian IB selama penyimpanan. Pada buah yang disimpan pada suhu 25 °C terjadi penurunan total padatan terlarut, sementara pada suhu penyimpanan buah pada 10 dan 6 °C relatif konstan. Penurunan kandungan sukrosa lebih cepat pada suhu yang tinggi pada buah nanas selama penyimpanan dibandingkan suhu yang lebih dingin. Retensi maksimum konsentrasi glukosa dan fruktosa dapat dicapai dengan penyimpanan buah pada suhu 6 °C dari pada penyimpanan pada 10 atau 25 °C. Perlambatan penurunan vitamin C dan asam bebas yang efektif adalah buah yang disimpan pada suhu 6 °C, diikuti oleh 10 dan 25 °C. Menurut Menurut Pusittigul *et al.* (2017), peningkatan keparahan IB buah nanas kultivar *Trad-see-thong* (tipe Queen) dan *Pattavia* (tipe Smooth Cayenne) meningkat dengan adanya penambahan 1 hari pada 25 °C dari sebelumnya disimpan selama 21 hari pada suhu simpan 10 °C.

Suhu penyimpanan juga sangat mempengaruhi keterjadian IB lebih cepat dan dengan intensitas yang lebih tinggi pada buah yang disimpan pada suhu 25 °C dari pada 10 °C, dan intensitas IB terendah pada buah yang disimpan pada suhu 6 °C. Selain itu, aktivitas enzim PPO meningkat dengan semakin tingginya suhu penyimpanan selama 24 hari. Aktivitas enzim CAT (catalase) secara bertahap meningkat pada tiga suhu penyimpanan dan pada buah yang disimpan pada suhu 25 °C lebih tinggi dari pada 10 dan 6 °C. Namun, tidak berpengaruh terhadap aktivitas enzim POD (Hong *et al.*, 2013).

Menurt Zhang *et al.* (2016), penyimpanan buah nanas *Trad-see-thong* (kultivar rentan) selama 9 hari pada suhu 5 °C lebih baik dibandingkan suhu 20 °C terhadap keterjadian IB. Buah nanas yang disimpan pada suhu 5 °C memiliki kandungan GA₄ yang lebih rendah dibandingkan suhu 20 °C. Hal ini menunjukkan adanya korelasi positif keterjadian IB terhadap kandungan GA₄ pada hari ke- 1 dan 9 setelah aplikasi suhu simpan.

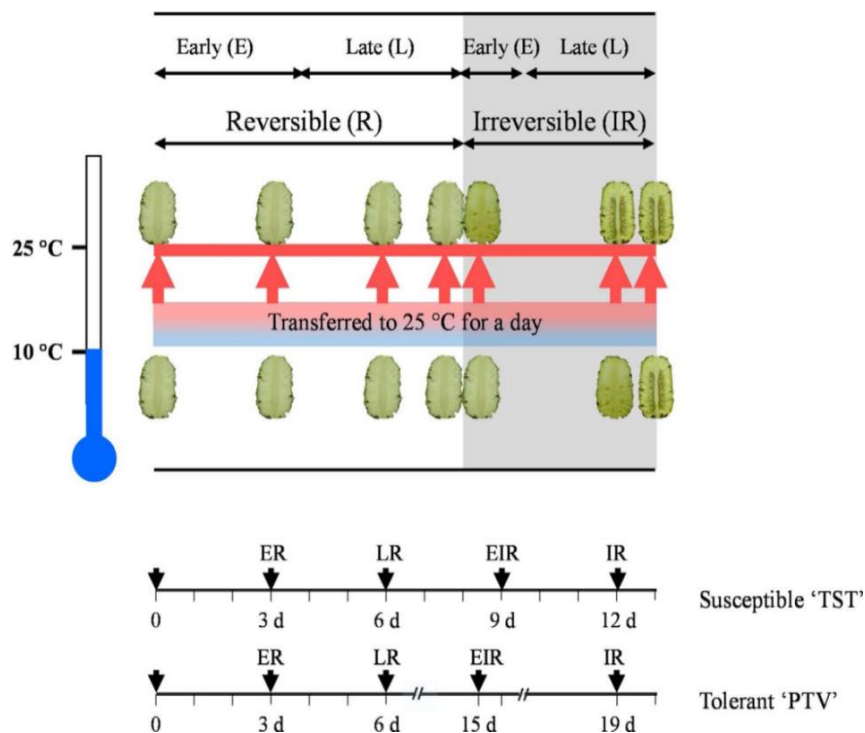
Penambahan waktu simpan buah nanas selama 1 hari dari suhu konstan 10 °C ke suhu 25 °C terjadi peningkatan keterjadian IB dan penurunan yang signifikan terhadap kandungan hormon ABA pada buah. Penyimpanan pada suhu dingin 10 °C memiliki kandungan hormon ABA yang lebih tinggi dibandingkan dengan penyimpanan pada suhu ruang 25 °C pada hari ke-7, 14, dan 21 pada kultivar rentan *Trad-see-thong* dan toleran *Pattavia* (Pusittigul *et al.*, 2012).

Kandungan hormon ABA lebih stabil pada buah yang disimpan pada suhu konstan 10 °C pada hari ke- 7, 14, dan 21 dibandingkan dengan penyimpanan pada suhu ruang 25 °C dan perubahan suhu 25 °C selama 1 hari setelah disimpan pada suhu 10 °C (Pusittigul *et al.*, 2012). Kandungan total hormon GA pada penyimpanan buah nanas hari ke- 7, 14, dan 21 yang dipindahkan dari suhu 10 °C ke suhu 25 °C selama 1 hari signifikan lebih tinggi dibandingkan dengan penyimpanan buah nanas yang tidak dipindahkan pada hari ke- 7, 14, dan 21. Kenaikan kandungan hormon GA pada penambahan 1 hari dari suhu 10 °C ke 25 °C berkorelasi negatif terhadap kandungan hormon ABA. Hormon GA₁, GA₃, GA₄, dan total GA pada suhu 10 °C lebih tinggi dibandingkan dengan penyimpanan pada suhu 25 °C pada hari ke-14, tetapi pada hari ke-21 tidak ada korelasi suhu simpan terhadap kandungan hormon GA pada kultivar *Trad-see-thong* dan *Pattavia* (Pusittigul *et al.*, 2012).

Keterjadian IB pascaperlakuan penyimpanan buah nanas kultivar rentan *Trad-see-thong* pada suhu 10 °C diinisiasi pada hari ke-10 penyimpanan dan dipercepat pada hari-8 jika setelahnya dipindahkan pada suhu 25 °C selama satu hari. Pada kultivar toleran *Pattavia*, keterjadian IB diinisiasi setelah umur penyimpanan 19 hari pada suhu 10 °C, dan keterjadian dipercepat menjadi 15 hari jika setelahnya dipindahkan ke suhu 25 °C selama satu hari. Kultivar toleran dapat memperlambat keterjadain IB karena pengaruh penyimpanan pada suhu dingin.

Buah nanas kultivaar *Pattavia* memiliki toleransi terhadap kerusakan IB yang lebih tinggi dibandingkan dengan nanas kultivar *Trad-see-thong*, kondisi keparahan IB semakin diperparah dengan pemindahan suhu dari 10 °C ke suhu 25

°C selama 1 hari. Pada nanas kultivar *Trad-see-thong* yang rentan terhadap IB keterjadian IB diinduksi pada hari ke-9 dan puncak keparahan IB yang tidak dapat diobati kembali pada hari ke-12. Pada kultivar toleran *Pattavia* keterjadian IB diinduksi pada hari ke-15 dan puncak keparahan pada hari ke-19 (Gambar 4: Luengwilai *et al.*, 2018).



Gambar 4. Penampakan fisik buah yang disimpan pada suhu 10 dan 25 °C terhadap resistensi IB. TST (*Trad-see-thong*) dan PTV (*Pattavia*) (Luengwilai *et al.*, 2018)

Potensi untuk memperpanjang umur simpan buah segar yakni dengan meningkatkan tingkat ketahanan buah terhadap cedera dingin dieksplorasi di nanas cv. 'N36'. Pengkondisian suhu dilakukan dengan menahan buah selama 24 jam pada suhu 15 dan/atau 10 °C sebelum disimpan pada suhu 5 °C. Buah dikeluarkan setiap minggu dari ruang dingin dan disimpan lebih lanjut hingga 6 hari pada suhu sekitar (25 °C). Perkembangan cedera dingin diamati pada buah pada pemindahan dan selama hari-hari berikutnya pada suhu kamar. Penurunan suhu bertahap pada 15 dan 10 °C selama 24 jam pada setiap suhu memungkinkan buah disimpan pada suhu 5 °C hingga 6 minggu dengan gejala kerusakan dingin yang lebih sedikit dibandingkan dengan kontrol (Abdullah *et al.*, 2008).

Buah nanas yang disimpan pada suhu 13 °C diikuti dengan penyimpanan 7 hari pada suhu 25 °C, buah dari kultivar *Smooth Cayenne* dan PRI hybrid '73-50' terjadi peningkatan aktivitas enzim PPO bersamaan dengan peningkatan gejala IB. Pada buah yang disimpan terus menerus pada suhu 25 °C tidak berkembang menjadi IB, tidak ada korelasi antara aktivitas enzim POD dan perkembangan IB untuk kedua kultivar. Kemasakan buah nanas berpengaruh terhadap perkembangan IB, dengan menyimpan buah *Smooth Cayenne* dari enam batasan kematangan selama 3 minggu pada 10 °C atau selama 3 minggu pada 10 °C diikuti 7 hari pada 25 °C. Buah dengan tingkat kemasakan kacang hijau (stadia 1) tidak ada keterjadian IB, buah dengan kemasakan menengah (stadia 2 – 4) rentan dan juga terjadi peningkatan aktivitas enzim PPO setelah 4 minggu, dan buah dengan kemasakan akhir (stadia 5 dan 6) yang terakhir terjadi *translucent* pada pulp (Dahler *et al.*, 2002).

2.4 Klasifikasi dan Karakteristik Nanas

Klasifikasi nanas dibedakan menjadi 5 kelompok berdasarkan karakteristik reproduksi, morfologi, biokimia, dan molekuler, yaitu *Cayenne*, *Queen*, *Spanish*, *Abacaxi*, dan *Maipure* (Tabel 1: D'Eeckenbrugge and Leal, 2003).

2.4.1 Nanas kultivar GP

Kultivar *GP* (Great Pineapple) merupakan kultivar yang dirakit oleh PT GGF. Kultivar Great Pineapple sering disingkat sebagai kultivar *GP*. PT GGF merakit beberapa jenis kultivar *GP*, di antaranya *GP1*, *GP2*, *GP3*, dan *GP4*, akan tetapi klon *GP3* saat ini yang telah banyak dikembangkan di PT GGF untuk keperluan nanas kaleng. Klon *GP* merupakan klon dari kelompok nanas *Cayenne*. Menurut D'Eeckenbrugge and Leal (2003), tipe nanas *Smooth Cayenne* memiliki karakteristik bentuk buah silinder, mata dangkal, daging kuning, manis, rasa asam ringan, serat rendah, hasil tinggi, daun halus. Belum banyak informasi terkait klon *GP* karena pengembangan jenis nanas ini hanya terbatas pada lokasi perkebun PT GGF.

Tabel 1. Klasifikasi nanas berdasarkan karakteristik reproduksi, morfologi, biokimia, dan molekuler

Kelompok	Karakteristik
<i>Cayenne</i>	Bentuk buah silinder, mata dangkal, daging buah kuning, manis, rasa asam ringan, serat rendah, hasil tinggi, daun halus. Klon: <i>Smooth Cayenne</i> , <i>Cayenne Lisse</i> , <i>Smooth Guatemala</i> , <i>Thypone</i> , <i>St. Michael</i> , <i>Esmeralda</i> , <i>Sarawak</i> (Malaysia), <i>Champaka</i> . Hibrida: 73-114 (<i>MD2</i>)
<i>Queen</i>	Bentuk kerucut, manis, rendah asam, rendah serat, berduri, daun lebih pendek dibandingkan dengan kelompok <i>Cayenne</i> Klon: <i>ac Gregor</i> , <i>Natal</i> , <i>Ripley</i> , <i>Alexandria</i> Mutan: <i>Z-Queen</i>
<i>Spanish</i>	Bentuk bulat, asam pedas, berserat, daun berduri, vigourus Klon: <i>Singapore Spanish</i> , Nanas Merah, Masmerah, Nanas Jahor (Malaysia), <i>Cabezona</i> (Maxico, Puerto Rico), <i>Red Spanish</i> (Wilayah Karibia) Klon hibrida: PR 1-67 (Puerto Rico)
<i>Abacaxi</i>	Daun berduri, tumbuh di Amerika Latin dan kawasan Karibia Klon: <i>Sugar Loaf</i> , <i>Abakka</i> , <i>Papelon</i> , <i>Venezuela</i> , <i>Amarella</i> , <i>Perola</i> , <i>Pernambuco</i> , <i>Eleuthera</i> , dan <i>Abacaxi</i> (Brazil)
<i>Maipure</i>	Bentuk silider, lebih manis dari <i>Cayenne</i> , berserat, daging buah lembut, berair, daun halus, dibudidayakan di Amerika Tengah dan Selatan Klon: <i>Maipure</i> , <i>Perolera</i> , <i>Lerija</i> , <i>Monte Liro</i> , <i>Rondon</i> .

Sumber: D'Eeckenbrugge and Leal (2003)

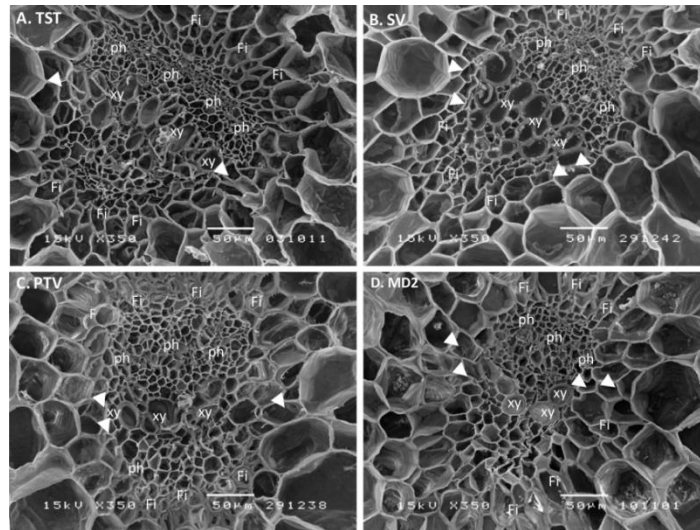
2.4.2 Nanas kultivar MD2

Nanas kultivar *MD2* merupakan nanas yang dirakit dan dikembangkan oleh Pineapple Research Institute di Hawaii pada tahun 1960-an hingga 1972. Pada tahun 1985, pengembangan nanas kultivar *MD2* dilanjutkan oleh Maui Pineapple Company untuk dapat dikomersilkan, melalui persilangan tetua PRI hybrids 58-1184 dan 59-443 yang berasal dari gabungan ciri-ciri tetua yaitu *Smooth Cayenne*, *Smooth Guatemalan*, *Ruby* (tetua klon Spanish), *Queen*, dan *Pernambuco* oleh Dr. David, D.F. Williams, dan Frank Bermudas yang menghasilkan nanas kultivar *MD1* (73-50) dan *MD2* (73-114) yang dikenal hingga saat ini dan memiliki 50% ciri kemiripan dengan *Smooth Cayenne*. *MD* merupakan singkatan dari *Mille Dillard* yang merupakan nama istri dari Frank Dillard (Pengurus Besar Del Monte, Hawaii saat itu) (Bartholomew, 2009).

Kultivar *MD2* berhasil dikembangkan dan dapat diterima oleh masyarakat secara luas karena mutu buahnya. Nanas kultivar *MD2* merupakan nanas hibrida yang memiliki ciri morfologi daun halus tidak berduri, daging dan kulit buah yang telah masak berwarna kuning keemasan, bentuk buah selinder, ukuran buah sedang. Ciri pertumbuhan buah, yaitu umur buah dari antesis hingga siap panen ± 14 bulan. Menurut Thalip *et al.* (2015), ciri lainnya dari kultivar *MD2*, yaitu memiliki rasa yang lebih manis, kandungan serat lebih rendah, mengandung vitamin C yang ± 4 kali lebih tinggi dibandingkan dengan jenis buah nanas lainnya. Nanas kultivar *MD2* memiliki masa simpan yang cukup panjang, termasuk di dalam kemasan es, sehingga nanas ini dikembangkan untuk keperluan nanas ekspor. Tahun 1983 – 1984 benih nanas klon *MD2* diserahkan ke kebun nanas Del Monte di Philipina untuk pengembangan nanas komersil.

2.5 Ketahanan Nanas terhadap *Internal Browning*

Genotipe tanaman mempengaruhi jalur antioksidan, jika tanaman cukup tahan, maka selama defisit air reaksi jalur oksidan lebih tinggi dalam mengatasi cekaman (Prajapat *et al.*, 2018). Kultivar nanas yang sampai dengan saat ini menjadi primadona adalah *Smooth Cayenne* dan *MD2* (Uriza-Ávila *et al.*, 2018). Kultivar *Smooth Cayenne* digunakan masyarakat dalam memproduksi nanas kaleng, pada tahun 2008 kultivar *MD2* masuk ke Malaysia untuk dapat menggantikan kultivar sebelumnya. Keunggulan dari kultivar *MD2* memiliki masa simpan yang lebih panjang, yaitu 30 hari dibandingkan dengan kultivar lainnya yang hanya bertahan 21 hari. Hal tersebut sesuai dengan penelitian yang dilakukan Souleymane *et al.* (2019), bahwa kultivar *MD2* lebih sedikit intensitas serangan IB dibandingkan dengan kultivar *Smooth Cayenne*. Menurut Luengwilai *et al.* (2016), sklerenkim buah nanas kultivar *MD2* yang diamati menggunakan *scanning electron microscopy* (SEM) memiliki struktur lapisan serat sklerenkim yang lebih tebal dan dua kali lebih besar dari kultivar rentan *Trad-see-thong* dan toleran *Savee* dan *Pattavia*. Sel sklerenkim pada nanas klon *MD2* membentuk cincin konsentris yang mengeliling floem dan xilem (Gambar 5).



Gambar 5. Struktur sklerenkim pada bagian F/C kultivar *Trad-see-thong* (A) (rentan) banyak keterjadian IB, *Sevee* (B) dan *Pattavia* (C) (toleran) sedikit keterjadian IB, dan *MD2* (D) (resisten) yang tidak ada keterjadian IB (Luengwilai *et al.*, 2016)

Kultivar *MD2* resisten terhadap induksi IB yang diinduksi dalam penyimpanan suhu 10 °C selama tiga minggu (Luengwilai *et al.*, 2016). Selain itu, kultivar tersebut dapat memberikan kepuasan kepada konsumen untuk dapat mengkonsumsi produk buah nanas segar di negara-negara non-tropis yang biasanya hanya dapat menikmati buah nanas dalam bentuk olahan nanas kaleng dari kultivar *Smooth Cayenne* (Thalip *et al.*, 2015). Buah nanas *MD2* juga memiliki keunggulan dalam segi warna yang lebih menarik, yaitu kuning keemasan pada buah masak, kaya vitamin C, dan ketahanan terhadap cekaman suhu dingin yang cukup tinggi dibandingkan jenis lainnya.

Menurut Nukuntornprakit *et al.* (2015), gejala CI, terutama kebocoran air, hanya ditemukan pada kultivar rentan *Trad-see-thong* (grup Queen), sedangkan pada kultivar toleran *Pattavia* (tipe *Smooth Cayenne*) tidak terjadi. Trend keterjadian IB tersebut tidak signifikan pada 2 asal lokasi buah nanas, hanya perbedaan kecil dalam rasio asam lemak jenuh dan tak jenuh yang ditemukan antara mitokondria dari dua kultivar. Aktivitas enzim SOD (superoksida dismutase), CAT, dan *ascorbate peroxidase* mitokondria lebih rendah pada kultivar yang rentan dibandingkan yang toleran. Kapasitas antioksidan total mitokondria juga lebih

lebih rendah pada kultivar rentan dan tidak adanya peningkatan respirasi setelah penambahan adenosin difosfat (ADP) pada kultivar yang rentan. Sensitivitas yang lebih tinggi terhadap disfungsi mitokondria yang diinduksi ROS merupakan penyebab peningkatan gejala CI dalam daging buah *Trad-see-thong* yang didinginkan (Nukuntornprakit *et al.*, 2015).

Menurut Nukuntornprakit *et al.* (2015), buah nanas dari cv. nanas *Pattavia* dengan tingkat kemasakan stadia-2 yang disimpan pada suhu 10 °C selama 7, 14, dan 21 hari kemudian dipindahkan selama satu hari ke suhu ruang 25 °C lebih tahan terhadap CI dibandingkan dengan cv. *Trad-see-thong*. Hal ini sesuai dengan laporan tentang buah nanas tipe *Queen* lebih rentan terhadap cedera dingin dibandingkan dengan buah tipe *Smooth Cayenne* (Hewajulige *et al.*, 2003 dan 2006). Kebocoran ion pada pulp cv. *Pattavia* tetap stabil selama dua minggu pertama penyimpanan dan hanya sedikit meningkat pada minggu ke-3 penyimpanan, hal ini menunjukkan membran yang masih utuh. Sebaliknya, peningkatan kebocoran ion pada pulp cv. *Trad-see-thong*, menunjukkan bahwa membran telah menjadi rusak (Concellon *et al.*, 2005, Ratule *et al.*, 2006, dan Woolf, 1997). Pada kultivar *Trad-see-thong* cenderung lebih rentan kerusakan akibat IB dibandingkan dengan kultivar *Pattavia* yang lebih toleran.

2.6 Hubungan Pemangkasan Mahkota dan *Internal Browning*

Mahkota nanas penting untuk menjaga keseimbangan antara GA dan ABA. Aplikasi ABA eksogen pada buah yang mahkotanya utuh lebih efektif dalam menghambat IB dibandingkan tanpa mahkota. Hal ini menunjukkan bahwa mahkota adalah sumber utama ABA endogen dan kontrol IB bergantung pada transfer ABA dari mahkota. Pelepasan mahkota buah nanas memperparah IB sebesar 55,2%, mengurangi rasio SSC/TA sebesar 2,2 dan vitamin C setelah penyimpanan 9 hari. Hal ini menunjukkan bahwa pemangkasan mahkota menurunkan mutu buah dan memperpendek umur simpan buah (Liu *et al.*, 2017).

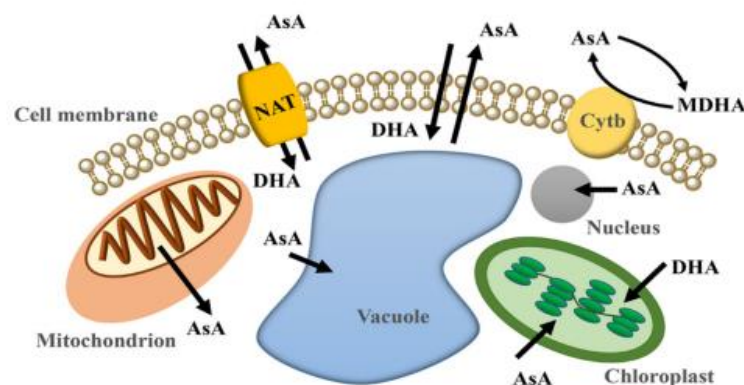
Mahkota buah nanas perlu dijaga selama penyimpanan dalam mencegah pembentukan ROS dan peroksidasi lipid, serta menghambat biosintesis dan

oksidasi fenolat. Pelepasan mahkota buah juga meningkatkan jumlah ROS, MDA (malondialdehyde), kadar fenolat, serta peningkatan ekspresi dan aktivitas enzim PPO dan PAL. Selain itu, pelepasan mahkota dapat meningkatkan GAs (GA₁ dan GA₄) endogen dan menurunkan ABA endogen dalam jaringan nanas yang berkorelasi terhadap peningkatan IB (Liu *et al.*, 2017).

2.7 Hubungan Asam Askorbat dan *Internal Browning*

Senyawa AsA atau sering disebut vitamin C merupakan antioksidan penting yang banyak ditemukan pada tumbuhan. Salah satu fungsi AsA adalah sebagai ketahanan tumbuhan dari stres yang disebabkan cekaman biotik dan abiotik, yaitu sebagai antioksidan dan *scavenger* ROS. Salah satu fungsi AsA adalah sebagai antioksidan dan *scavenger* ROS yang bermanfaat dalam melindungi sel dari kerusakan (Batth *et al.*, 2017, Li *et al.*, 2018, dan Min *et al.*, 2020).

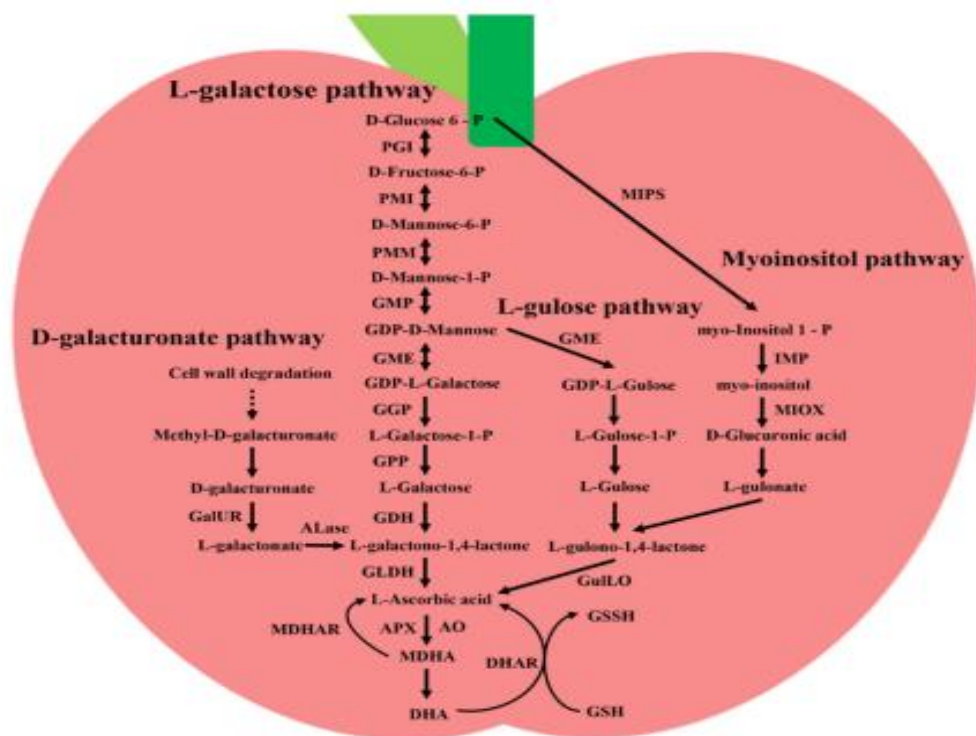
Senyawa AsA disintesis pada membran mitokondria bagian dalam dan diangkut ke dalam sitoplasma. AsA dalam sitoplasma dapat masuk ke organel, seperti vakuola, kloroplas, dan inti, melalui difusi atau pembawa. Selain itu, AsA juga dapat diangkut ke luar membran sel melalui difusi sederhana atau protein transpor. DHA dalam apoplast juga dapat masuk ke membran sel dan ikut serta dalam regenerasi AsA. Panah menunjukkan arah transportasi material. NAT, pengangkut nukleobase/askorbat; Cytb, sitokrom b (Gambar 6: Zheng *et al.*, 2022).



Gambar 6. Transpor AsA (ascorbic acid) pada sel tumbuhan. DHA (dehydro-ascorbic), MDH (monodehydro-ascorbic), NAT (nucleobase-ascorbic) (Zheng *et al.*, 2022).

Jalur utama sintesis AsA pada tumbuhan adalah jalur L-galaktosa, jalur Myoinositol, jalur L-gulosa, dan jalur D-galakturonat (Gambar 7: Zheng *et al.*, 2022). Jalur D-galakturonat, setelah degradasi dinding sel menghasilkan L-galaktonat, kemudian bereaksi dengan alase membentuk L-galactono-1,4-lakton pada jalur L-galaktosa yang bereaksi dengan L-galactono-1,4-lakton dehydrogenase membentuk L-asam askorbat. Sementara jalur L-galaktosa dimulai dari poses penguraian D-glukosa 6-P menjadi D-fruktosa 6-P. Sedangkan pada jalur Myioinositol D-glukosa 6-P bereaksi dengan MIPS myoinositol fosfat sintase) membentuk myo-inositol 1-P hingga setelah mebuat L-gulonat masuk pada jalur L-gulosa pada L-gulono-1,4-lakton. Sementara jalur L-gulosa sendiri berasal dari GDP-D-manosa yang bereaksi dengan GDP-D-mannose 3', 5'-epimerase membentuk L-AsA. L-gulono-1,4-lakton oksidase. Kemudian L-AsA teroksidasi dan terperoksidase membentuk MDHA dan DHA yang sebagian kembali lagi menjadi L-AsA melalui reaksi dengan monodehidro askorbat reduktase dan dehidro askorbat reduktase (Zhang *et al.*, 2022).

Aplikasi pascapanen buah dengan AsA eksogen dapat meningkatkan ketahanan terhadap suhu dingin pada buah stroberi (Saleem *et al.*, 2021). Aplikasi perendaman buah lengkeng pada larutan AsA 4 g/L dapat mencegah terjadinya IB pada perikarp buah. Selain itu, aplikasi AsA terhadap kandungan vitamin C, TPT (total padatan terlarut), total larutan gula, sukrosa, total fenol, klorofil, karetonoid, antosianin, flavonoid lebih tinggi dan susut bobot dan asam bebas yang lebih rendah dibandingkan dengan kontrol (Liu *et al.*, 2021). Menurut Azam *et al.* (2021), aplikasi pencelupan buah jambu biji ke dalam larutan AsA 200 ppm selama 5 menit yang disimpan pada suhu 25 ± 2 °C secara signifikan mengurangi penurunan susut bobot, persentase pembusukan buah, peningkatan TPT, asam bebas, total gula, vitamin C, dan total fenol, serta menurunkan pH dan rasio antara TPT dan asam bebas buah jambu biji selama penyimpanan pada suhu ruang. Selain itu, aplikasi pascapanen jambu biji dengan AsA juga secara signifikan menunda aktivitas enzim SOD, POD, CAT, sehingga mengurangi stres oksidatif dalam produk.



Gambar 7. Jalur metabolisme asam askorbat pada tanaman. Aldono-laktonase (alase), oksida askorbat (AO), askorbat peroksidase (APX), asam dehidroaskorbat (DHA), reduktase dehidroaskorbat (DHAR), D-galakturonat reduktase (GalUR), L-galaktosa dehydrogenase (GDH), GDP-L-galaktosa-fosforilase (GGP), L-galactono-1,4-lakton dehydrogenase (GLDH), GDP-D-mannose3', 5'-epimerase (GME), pirofosforilase manosa-PDB (GMP), L-galaktosa-1-fosfatase fosfatase (GPP), glutathione (GSH), glutathione teroksidasi (GSSH); L-gulono-1,4-lakton oksidase (GulLO); myoinositol monophosphatase (IMP), asam monodehidro askorbat (MDHA); reduktase monodehidro askorbat (MDHAR), oksigenase myoinositol (MIOX), myoinositol fosfat sintase (MIPS), fosfoglukosa isomerase (PGI), fosfomannomutase (PMM) (Zheng *et al.*, 2022).

Menurut Nazoori *et al.* (2020), penambahan AsA 1% dapat menambah efektifitas aplikasi natrium alginat 2% pada buah stroberi yang disimpan pada suhu 4 ± 1 °C terhadap peningkatan masa simpan, kekencangan buah, TPT, total asam, vitamin C, total fenol, dan aktivitas antioksidan dan menurunkan susut bobot, aktivitas enzim PPO, dan pH. Menurut Liguori *et al.* (2021), AsA 5% yang dicampur pelapis buah *Opuntia ficus-indica* mucilage dapat meningkatkan efektifitas pelapisan buah sebesar 36% terhadap total padatan terlarut dan warna buah stroberi. Pelapisan kombinasi *Opuntia* dan AsA 5% dapat memperpanjang masa

simpan buah dan menjaga mutu buah stroberi tetap baik yang disimpan pada suhu $4 \pm 0,5$ °C.

Senyawa AsA melindungi buah dari pelunakan dan pembusukan akibat stres oksidatif dan tekanan biotik dengan peningkatan kadar antioksidan (Paliyath *et al.*, 2008). Pembusukan buah jambu biji dapat ditekan melalui aplikasi AsA. Aplikasi AsA 100 ppm menunjukkan skor kejadian pembusukan paling sedikit pada jambu biji. Namun, konsentrasi rendah AsA ditemukan tidak signifikan dalam meminimalkan kejadian pembusukan. Pada kandungan kimia buah, seperti TPT dan vitamin C lebih tinggi pada perlakuan AsA dibandingkan dengan kontrol (Gill *et al.*, 2014). Kandungan AsA pada buah nanas berkorelasi negatif terhadap kerusakan fisiologis IB dan aktivitas enzim PPO (Nimitkeatkai *et al.*, 2006 dan Queiroz *et al.*, 2018).

Menurut Nukuntornprakit *et al.* (2020), keterjadian IB tidak berkorelasi terhadap AsA, pada kultivar *Pattavia* (kultivar toleran) yang memiliki kandungan AsA dan hidrogen peroksida yang lebih rendah dari kultivar *Trad-see-thong* (kultivar rentan) terhadap IB. Selain itu, tidak ada korelasi keterjadian IB dengan komposisi asam lemak membran, dan rasio asam lemak tak jenuh membran, aktivitas enzim SOD) atau CAT, dan zat reaktif asam tiobarbiturat (TBARS; indikasi peroksidasi asam lemak). Gejala berkorelasi dengan peningkatan kebocoran ion, dengan kapasitas antioksidan total pulp yang lebih rendah, ditentukan dengan metode FRAP, dan dengan aktivitas askorbat peroksidase (APX) yang lebih rendah.

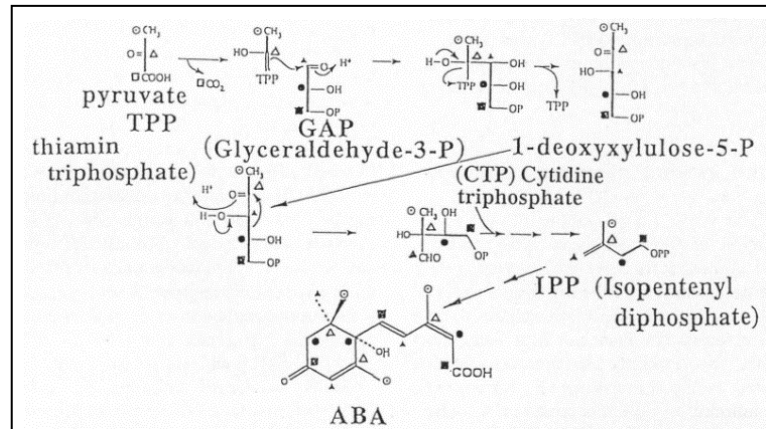
Faktor cahaya dapat mempengaruhi langsung kandungan AsA pada buah tomat. Perubahan kandungan karbohidrat dalam buah tidak mempengaruhi sintesis AsA yang diinduksi oleh cahaya, hal ini menunjukkan bahwa sintesis AsA yang diinduksi oleh cahaya pada buah tomat tidak bergantung pada karbohidrat *in vivo* (Ntagkas *et al.*, 2019). Menurut Zhang *et al.* (2021), cahaya menginduksi ekspresi gen kritis dalam jalur D-mannosa/L-galaktosa, bersamaan dengan

menghambat ekspresi gen yang terkait dengan degradasi AsA, sehingga meningkatkan sintesis AsA dalam buah tomat.

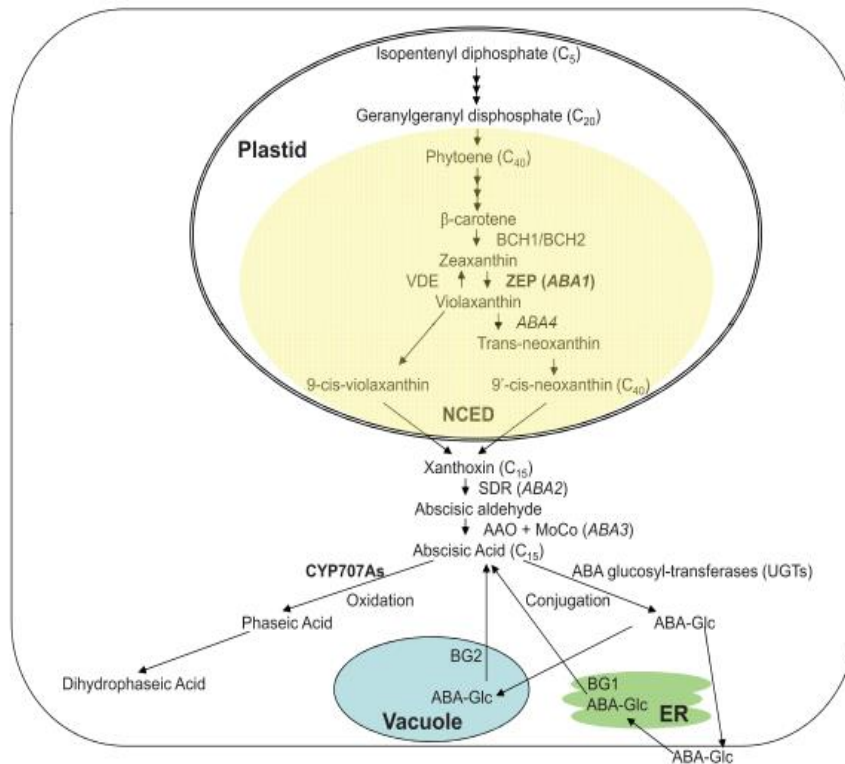
2.8 Hubungan Asam Absisat dan *Internal Browning*

Senyawa ABA adalah molekul seskuiterpen kecil dengan banyak fungsi penting dalam proses fenologi dan perkembangan tanaman, termasuk dormansi dan perkembangan benih, pertumbuhan vegetatif, pembungaan, pergerakan stomata, sintesis lipid dan penyimpanan protein, dan penuaan daun (Chen, *et al.*, 2020). Asam absisat adalah molekul terpenoid 15-karbon yang diidentifikasi pada 1960-an dan diakui sebagai senyawa penghambat pertumbuhan (abscisin II) yang terkait dengan dormansi tunas di maple dan absisi buah di kapas (Schwartz and Zeevaart, 2010). Senyawa ABA memainkan peran penting dalam beberapa proses perkembangan dan fisio-biokimia dan mengatur respons stres abiotik pada tanaman (Sah *et al.*, 2016).

Senyawa ABA disintesis di semua sel kloroplas atau amiloplas dan ditemukan di organ dan jaringan utama (Taiz *et al.*, 2015). Biosintesis ABA dimulai di kloroplas dan berakhir di sitoplasma (Seo and Koshiba, 2002). Isopentenyl diphosphate (IPP) dibentuk dalam plastida dari asam piruvat dan gliseraldehid 3-fosfat (Gambar 8) dan diubah menjadi geranylgeranyl diphosphate (GGPP) melalui jalur methylerythritol 4-phosphate (MEP). GGPP kemudian membentuk phytoene (C₄₀), yang diubah menjadi likopen dan β -karoten, dan akhirnya zeaxanthin. Konversi zeaxanthin menjadi all-trans-violaksantin (C₄₀) dimediasi oleh enzim zeaxanthin epoxidase (ZEP). Semua- trans-violaksantin (C₄₀) kemudian diubah menjadi 9-cis-neoksantin (C₄₀) dan dibagi menjadi xanthoxin (C₁₅) dan C₂₅ metabolit oleh 9-cisenzim -epoxycarotenoid dioxygenase (NCED). Reaksi ini adalah langkah pembatas laju, dan NCED adalah enzim penting dalam biosintesis ABA. Xanthoxin dipindahkan ke sitoplasma, di mana ia diubah menjadi ABA-aldehyde oleh enzim yang termasuk dalam keluarga dehidrogenase / reduktase rantai pendek. ABA-aldehyde kemudian diubah menjadi ABA dengan reaksi yang dikatalisis oleh ABA-aldehyde oxidase (AAO) (Gambar 9: Cardoso *et al.*, 2020).



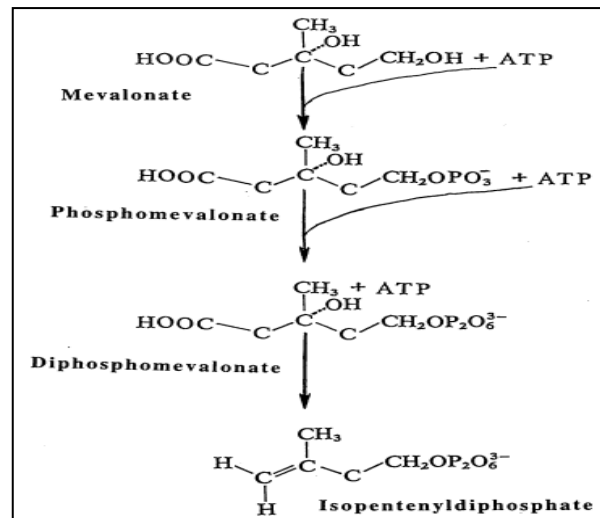
Gambar 8. Biosintesis ABA (abscisic acid) secara umum (Sumber: Seo and Koshiba, 2002)



Gambar 9. Lokasi dan jalur biosintesis ABA (abscisic acid). ZEP (zeaxanthin epoxidase), NCED (9- cis -epoxycarotenoid dioxygenase), AAO (ABA-aldehyde oxidase), ER (endoplasmic reticulum) (Sumber: Cardoso *et al.*, 2020)

Pembentukan IPP dapat terjadi melalui jalur mevalonat yang diubah menjadi phosphomevalonat dengan bantuan 1-ATP, kemudian phosphomevalonat

membentuk diphophomevalonat dengan 1-ATP, selanjutnya membentuk IPP dengan bantuan 1-ATP kembali (Gambar 10).

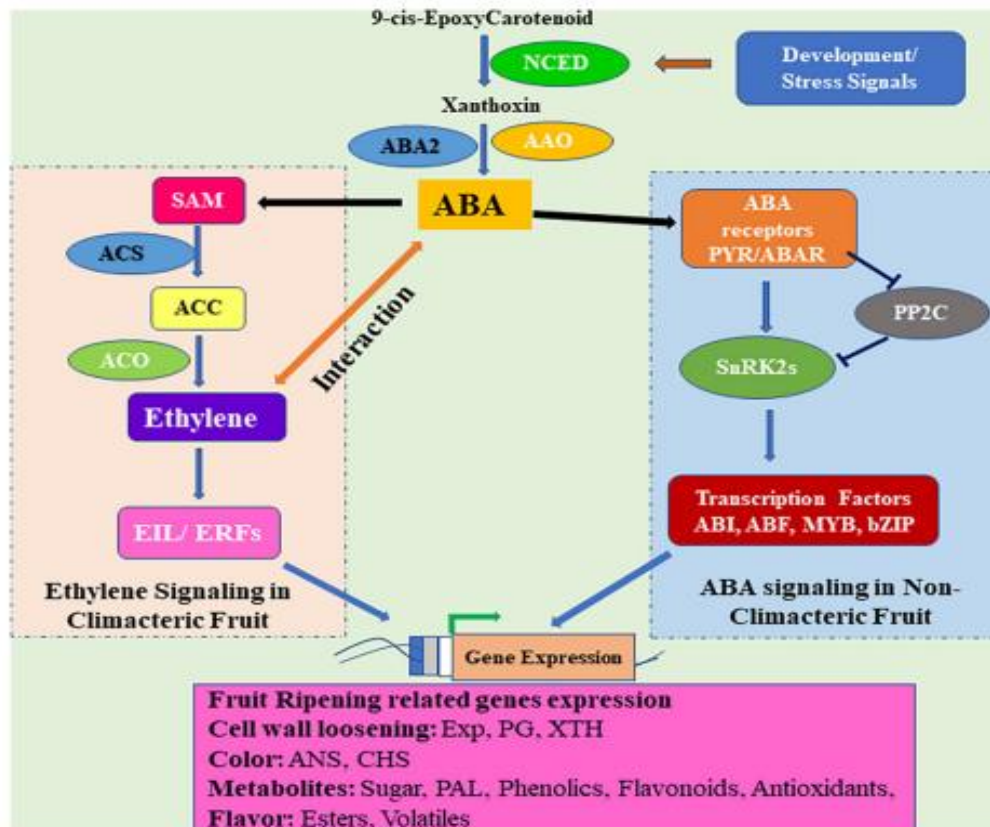


Gambar 10. Pembentukan isopentenyl diphosphate jalur mevalonate. ATP (adenosine triphosphate) (Sumber: Seo and Koshiba, 2002)

Menurut Gupta *et al.* (2022), pada buah klimakterik, etilen (ETH) bertanggung jawab atas dimulainya proses pematangan dan pemasakan. Senyawa ABA dan ETH dianggap memiliki efek sinergis, dan interaksinya mengarah pada pengendalian pematangan buah (Gambar 11). ABA eksogen telah terbukti mempercepat pematangan berbagai buah klimakterik, seperti buah tomat, pisang, persik, mangga, dan melon, persik, dan pisang melalui efek biologis modulasi pada berbagai proses terkait pematangan dalam sejumlah penelitian (Zhang *et al.*, 2009a,b dan Galpaz *et al.*, 2008; Zaharah *et al.*, 2013; Chen *et al.*, 2016; Mou *et al.*, 2016; dan Jiang *et al.*, 2000) dan buah non-klimakterik, seperti stroberi, anggur, dan bluberi (Owen *et al.*, 2009; Zhang *et al.*, 2009a; dan Zifkin *et al.*, 2012). Pemberian ABA secara eksogen meningkatkan laju sintesis etilen dan aktivitas respirasi pada buah dan mempercepat proses pematangan (Zhang *et al.*, 2009a).

Akumulasi ABA yang terjadi pada buah klimakterik sebelum produksi dan pelepasan etilen, menunjukkan bahwa ABA merupakan pengatur hulu biosintesis dan respon etilen (Leng *et al.*, 2009; Wang *et al.*, 2013; dan Mou *et al.*, 2016).

ABA diamati secara negatif mengatur sintesis etilen hingga tingkat endogennya mencapai puncak, setelah itu, pada awal proses pematangan, ABA secara positif mengatur biosintesis etilen (Sun *et al.*, 2010). ABA memediasi transformasi asam 1-aminosiklopropana 1-karboksilat (ACC) menjadi etilen selama pemasakan buah melalui mekanisme yang bergantung atau tidak bergantung pada etilen (Jiang *et al.*, 2000; Zhang *et al.*, 2009b; dan Zaharah *et al.*, 2013).



Gambar 11. Pensinyalan ABA (abscisic acid) dan etilen dalam mengatur pemasakan buah. ACC (1-aminocyclopropane 1-carboxylic acid), ACS (ACC synthase), ACO (ACC oxidase), SAM (S-adenosyl methionine), PYR (pyrabactin resistance), PP2C (type 2C protein phosphatases), SnRK2C (SNF1-related protein kinases 2), EXP (expansins), PG (polygalacturonase), XTH (xyloglucan hydroxylase), NCED (9-cis-epoxycarotenoid dioxygenase), AAO (ascorbic acid oxidase), ANS (anthocyanin synthase), CHS (chalcone synthase), ABI (ABA insensitive), ABF (ABA-response element binding factors) (Gupta *et al.*, 2022).

Metabolisme, transportasi, dan pensinyalan ABA menentukan jumlah ABA dalam buah atau sel. Kandungan ABA diamati pada melon yang belum menghasilkan

buah terus menurun seiring dengan pematangan buah, sedangkan kandungan ACC dan aktivitas ACC oxidase (ACO) tetap rendah sampai tingkat ABA mencapai maksimumnya (Sun *et al.*, 2013). NCED, gen biosintesis ABA, diekspresikan pada tingkat yang lebih tinggi pada buah persik dan anggur pada awal pemasakan dan meningkat ke tingkat tertinggi hingga panen (Zhang *et al.*, 2009b). Aplikasi ABA eksogen meningkatkan pematangan dan pelunakan buah pada buah non-klimakterik dengan meningkatkan produksi ABA, ETH, dan enzim pengubah dinding sel. Namun, penghambat biosintesis ABA (NDGA dan Fluridone) memperlambat proses pematangan. Kandungan ABA buah stroberi berkurang dengan penghambatan yang dimediasi oleh RNA (RNAi). FanCED1, mengakibatkan pematangan tertunda dan buah tidak berwarna, yang hanya dapat dipulihkan dengan menambahkan ABA eksogen (Jia *et al.*, 2011).

Menurut Yu *et al.* (2019), zat pengatur tumbuh ABA berperan dalam pematangan buah. ABA dan etilen mengatur sintesis AsA melalui mekanisme antagonisme. Penelitian Miret and Munne-Bosch (2016), menemukan bahwa ABA dapat mengubah keadaan redoks AsA pada tahap awal perkembangan buah dan lebih dari dua kali lipat kandungan AsA pada akhir pematangan buah raspberi merah. Stroberi mengalami peningkatan kandungan AsA 1,6 kali lipat setelah dilakukan aplikasi dengan ABA 1 μ M (Li *et al.*, 2015).

Aplikasi pascapanen dengan ABA 380 μ M menurunkan aktivitas phenylalanine ammonia-lyase (PAL) pada nanas, dimana PAL merupakan enzim yang berperan dalam sintesis fenol yang merupakan substrat dari reaksi enzimatik pencoklatan. ABA menurunkan biosintesis total senyawa fenol dengan menurunkan aktivitas PAL, menurunkan keterjadian IB pada nanas, dan mempertahankan kualitas nanas. Mekanisme penurunan pencoklatan oleh ABA, yaitu ABA memberikan efek pada pengaktifan saluran Ca^{2+} , ABA dapat menengahi efek dari stres abiotik terhadap saluran permeabel yang terblokir yang menyebabkan induksi IB dengan mengaktifkan kembali saluran tersebut (Zhang, *et al.* 2015).

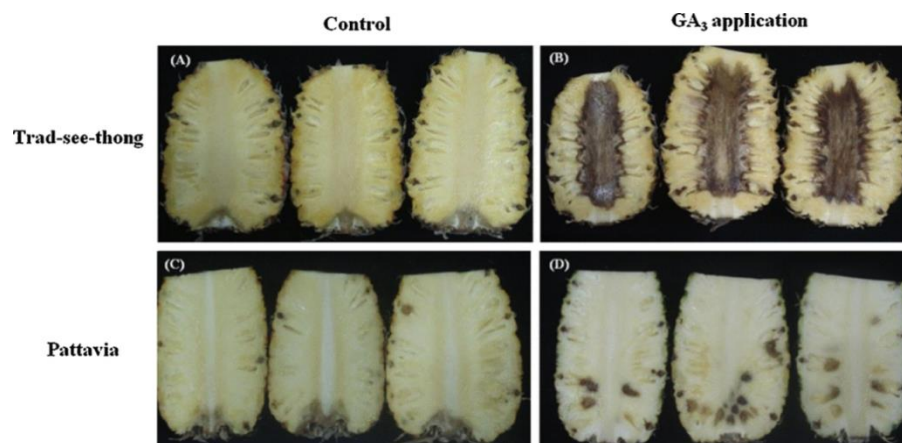
Menurut Liu *et al.* (2017), aplikasi ABA 380 μ M menurunkan keterjadian IB pada buah yang disimpan selama 9 hari pada suhu 20 °C. Mahkota buah memainkan peranan penting dalam efektifitas aplikasi ABA, pengaruh penurunan keterjadian IB signifikan terjadi pada perlakuan aplikasi ABA pada buah nanas yang mahkotanya tetap utuh dibandingkan dengan yang dipangkas dan tanpa perlakuan ABA. Selain itu, aplikasi ABA pada bagian mahkota buah lebih efektif dan efisien dibandingkan dengan aplikasi ABA pada buah saja atau keduanya dan tanpa perlakuan ABA.

Nanas 'Sawi' yang diinfiltrasi melalui tangkai buah dengan 380 μ M ABA selama 3 hari pada suhu 13 °C diikuti penyimpanan selama 14 hari pada suhu 13 °C dan 2 hari pada suhu ruang dapat menekan perkembangan IB dan peroksidasi lipid, menurunkan kandungan total fenol (TP), akumulasi MDA dan aktivitas LOX, PAL, dan PPO, serta menginduksi aktivitas POD (Youryon *et al.*, 2019). Menurut Zhang *et al.* (2016), aplikasi pascapanen dengan ABA 200 mg/L dengan mahkota buah yang tetap utuh dapat menurunkan keterjadian IB dan GA₄ dan meningkatkan kandungan ABA endogen. Menurut Nadernejad *et al.* (2013) terdapat korelasi positif antara aktivitas PAL dengan kandungan total fenol, semakin tinggi aktivitas enzim PAL, semakin tinggi juga kandungan senyawa fenol.

Senyawa ABA adalah molekul pensinyalan yang berhubungan dengan stres, dan fungsi utama ABA pada tanaman adalah untuk mengatur keseimbangan air dan toleransi stres osmotik (Cakir *et al.*, 2003). Studi terbaru menunjukkan bahwa banyak gen merespons ABA dalam buah-buahan di bawah tekanan. Misalnya ekspresi dari *Fxaltp*, gen stroberi yang mengkode protein transfer lipid non-spesifik, merespons ABA, luka, dan stres dingin (Yubero-Serrano *et al.*, 2003). Penyemprotan seluruh tanaman dengan ABA meningkatkan aliran getah xilem dan Ca²⁺ pergerakan ke dalam buah, menghasilkan konsentrasi Ca²⁺ apoplastik yang larut dalam air lebih tinggi, mengurangi kebocoran membran, dan mengurangi kerentanan buah terhadap perkembangan busuk ujung bunga.

2.9 Hubungan Gibberellin dan *Internal Browning*

Keparahan IB berkorelasi positif terhadap kandungan hormon GA₃ pada buah pada nanas kultivar *Trad-see-thong* dan *Pattavia*. Aktivitas enzim PPO dalam buah nanas lebih tinggi pada buah yang memiliki kandungan GA₃ endogen yang tinggi pada hari ke-14 dan 21. Pada hari ke-7 dengan kandungan GA₃ dibawah 0,8 unit/min/mg protein tidak berpengaruh terhadap keparahan IB (Gambar 12: Pusittigul *et al.*, 2012). Penerapan aplikasi GA₃ pada buah plum dapat menunda penurunan konsentrasi AsA dan mengurangi perkembangan IB selama penyimpanan pada suhu rendah (Li *et al.*, 2006). Aplikasi GA dan etilen eksogen juga dapat secara signifikan meningkatkan kandungan AsA dalam buah jeruk (Magwaza *et al.*, 2017).



Gambar 12. Efek kandungan aplikasi GA₃ eksogen terhadap area *internal browning* dan aktivitas enzim PPO pada hari ke- 7, 14, dan 21 (Pusittigul *et al.*, 2012).

2.10 Hubungan Metil Jasmonat dan *Internal Browning*

Metil jasmonat (MeJa) diyakini memainkan berbagai peran penting dalam mengatur respon stres dan pertumbuhan tanaman (Creelman and Mullet, 1997). Perlakuan MeJa secara signifikan meningkatkan kandungan AsA pada buah nanas, belimbing, bluberi, dan loquat, serta menunda penurunan kualitas buah pada penyimpanan suhu rendah (Mustafa *et al.*, 2016, Huang *et al.*, 2015, Boonyaritthongchai and Supapvanich, 2017, dan Cao *et al.*, 2019). Aplikasi pascapanen MeJa dapat mencegah penurunan kandungan AsA pada penyimpanan

buah nanas terhadap aktivitas enzim PPO dan kejadian dan keparahan IB (Lu *et al.*, 2011).

Menurut Boonyaritthongchai and Supapvanich (2017), aplikasi pascapanen perendaman buah nanas *Trad-see-thong* (jenis Queen) dalam larutan MeJa 1 mM selama 5 menit kemudian buah disimpan selama 20 hari pada 10 ± 1 °C dapat menghambat keterjadian IB, kebocoran ion, susut bobot, penurunan kekencangan daging buah, dan produksi etilen. Selain itu perlakuan MeJa juga dapat menurunkan aktivitas enzim PPO dan total fenol, meningkatkan senyawa biokatif seperti AsA dan enzim SOD, dan tidak signifikan terhadap aktivitas enzim POD dan laju respirasi dibandingkan dengan kontrol. Menurut Nilprapruck *et al.* (2008), MeJa meningkatkan metabolisme antioksidan AsA dan SOD yang dapat mengubah kuionon menjadi fenol dan menekan keterjadian IB pada buah nanas. Buah tomat ceri yang diberi perlakuan aplikasi pascapanen MeJa, memiliki kandungan AsA dan karotenoid yang jauh lebih tinggi dibandingkan dengan kontrol, terutama likopen (Liu *et al.*, 2018).

Perlakuan MeJa dapat menghambat aktivitas ascorbate oxidase (AO) dan meningkatkan aktivitas dehydroascorbic acid reductase (DHAR), sehingga meningkatkan kandungan AsA dalam buah loquat dan menunda terjadinya IB akibat CI (Cai *et al.*, 2011). Perlakuan dengan MeJa 0,25 mM secara signifikan dapat meningkatkan hasil buah tomat 'Kumato' dan kandungan AsA (Baek *et al.*, 2021). Perlakuan buah delima dan bluberi dengan MeJa juga dapat meningkatkan kandungan AsA dan aktivitas antioksidan total dalam buah, serta meningkatkan kapasitas antioksidan dan stabilitas penyimpanan buah (Garcia-Pastor *et al.*, 2020 dan Wang *et al.*, 2019). Selain itu, aplikasi MeJa secara efektif mencegah hilangnya AsA dan asam organik yang disebabkan oleh luka dan IB pada daging buah naga yang baru dipotong (Li *et al.*, 2018).

Menurut Cao *et al.* (2019), aplikasi pascapanen dengan perendaman buah loquat pada larutan MeJa 10 $\mu\text{mol/L}$ selama 24 jam pada suhu 20 °C kemudian disimpan pada suhu 1 °C selama 35 hari dapat menunda peningkatan produksi O_2^- dan

H₂O₂. Perlakuan aplikasi MeJa juga dapat meningkatkan aktivitas enzim SOD, CAT, dan *ascorbate peroxidase* dan menurunkan aktivitas lipoxigenase dibandingkan kontrol. Pada buah loquat yang diberi perlakuan MeJa juga memiliki rasio lemak tak jenuh/lemak jenuh yang lebih tinggi dibandingkan kontrol. Hal ini menunjukkan bahwa cedera dingin dapat dicegah dengan peningkatan aktivitas enzim antioksidan dan rasio lemak tak jenuh/lemak jenuh.

2.11 Hubungan Kalsium dan *Internal Browning*

Interaksi antara kalsium (Ca) dan pektin dalam dinding sel dapat membentuk kalsium pektat yang dapat mendukung ikatan antar dinding sel, sehingga dinding sel tidak mudah terdegradasi. Menurut Farag and Nagy (2012), aplikasi penyemprotan kalsium klorida (CaCl₂) 0,5 dan 1 % pada buah nanas pada 2, 4, dan 6 minggu sebelum panen dengan tingkat kemasakan 25% terhadap kualitas buah yang disimpan pada suhu 10 °C selama 28 hari menunjukkan peningkatan vitamin C, total fenol, total carotenoid, dan aktivitas antioksidan DPPH dan FRAP lebih tinggi dibandingkan dengan kontrol, serta tidak signifikan terhadap total flavonoid. Aplikasi penyemprotan CaCl₂ juga menurunkan gejala IB dan pelunakan buah. Hal ini memberikan gambaran, bahwa aplikasi CaCl₂ dapat mengelola kandungan antioksidan dan kualitas buah nanas di penyimpanan suhu dingin (Naradisorn *et al.*, 2022).

Aplikasi prapanen dengan penyemprotan tanaman apel 10 hari sebelum panen dengan larutan CaCl₂ 1% memberikan pengaruh positif terhadap ketahanan terhadap kebocoran elektrolit, tinggi akan kandungan asam dan vitamin C dibandingkan dengan kontrol, CaSO₄, MgCl₂, dan MgSO₄ (Naradisorn *et al.*, 2022). Pada perlakuan pascapanen dengan pencelupan buah apel pada larutan CaCl₂ 2% selama 3 menit memberikan pengaruh positif terhadap kekuatan terhadap kebocoran elektrolit, tinggi kandungan asam dan vitamin C dibandingkan dengan perlakuan kontrol, CaSO₄, CaCl₂ 1%, MgCl₂ dan MgSO₄ 1 dan 2 %. Perlakuan kombinasi CaCl₂+MgCl₂ memiliki kandungan asam dan vitamin C yang lebih tinggi pada perlakuan CaCl₂ tunggal, tetapi memiliki kekuatan terhadap kebocoran elektrolit yang lebih rendah dari kontrol.

Menurut Gu *et al.* (2020), aplikasi CaCl_2 1% setelah panen nanas dapat menurunkan intensitas IB, aktivitas enzim PAL dan PPO, dan total fenol pada buah, serta meningkatkan aktivitas enzim POD and total antioxidant capacity (T-AOC). Kalsium klorida (CaCl_2) dapat mengurangi terjadinya IB pada nanas dengan meningkatkan kapasitas antioksidan dalam buah untuk mengurangi tingkat metabolisme zat fenol dan meningkatkan kandungan kalsium intraseluler yang larut dalam air.

2.12 Hubungan Kalium dan *Internal Browning*

Urea merupakan unsur makro utama yang digunakan dalam memproduksi buah nanas yang berukuran besar, tingginya penggunaan nitrogen menyebabkan rendahnya unsur kalium. Gangguan IB merupakan masalah penting di Srilanka yang dikaitkan dengan rendahnya unsur kalium dalam buah. Buah nanas cv. *Mauritius* berumur 8 – 10 minggu yang disemprot dengan K_2SO_4 5% dapat mengurangi kerusakan jaringan inti buah dan IB, serta meningkatkan kandungan kalium (K) dalam buah setelah penyimpanan buah nanas pada suhu 10 °C selama 4 minggu (Nanayakkara *et al.*, 2005).

Kandungan K yang cukup dalam tanah juga dapat berkontribusi pada indikasi peningkatan kualitas termasuk kadar AsA yang dapat mencegah beberapa derajat pencoklatan enzimatis dengan menghambat aktivitas enzim PPO (polyphenol oxidase) (Tisseau, 1972 dan Teisson *et al.*, 1979b). Pemberian K yang lebih banyak pada perawatan tanaman nanas, yaitu 34–40 g/tanaman dibandingkan 20 g/tanaman, dapat mengurangi keterjadian IB selama penyimpanan 5 hari pada suhu 22 °C. Selain itu, didapatkan TPT terbaik, total fenol, phenylalanine ammonia-lyase (PAL), TAL, PPO, dan *peroxidase* (POD) terendah (Souleymane *et al.*, 2019).

Menurut Soares *et al.* (2005), aplikasi K pada tanah sebanyak 4-20 g K_2O per tanaman pada waktu 8, 24, dan 40 minggu setelah tanam dapat menurunkan keterjadian IB buah nanas yang disimpan selama 15 hari pada suhu 7 °C diikuti 5

hari pada suhu 25 °C setelah panen. Perlakuan aplikasi K terbaik adalah 16 g K₂O per tanaman terhadap keterjadian IB.

2.13 Hubungan Pelilinan dan *Internal Browning*

Pelilinan merupakan proses pelapisan buah menggunakan bahan yang dapat merekat pada permukaan buah. Pelilinan berfungsi untuk mencegah buah terpapar langsung oleh udara sekitar, sehingga dapat menekan peningkatan oksigen dalam buah. Oleh karena itu, pelilinan pada buah digunakan dalam memperpanjang masa simpan buah segar melalui penekanan proses respirasi. Penyimpanan yang lama dapat menginisiasi IB, perlakuan pelilinan dapat menurunkan keterjadian IB sebesar 87,5 % pada hari ke 20 (Pitadeniya and Lakshman, 2004). Rohrbach and Paull (1982) melaporkan bahwa pelilinan buah baik sebelum atau segera setelah terpapar suhu dingin sama efektifnya dalam mengurangi IB.

Penyimpanan yang lama dapat menginisiasi IB, perlakuan pelilinan dapat menurunkan keterjadian IB sebesar 87,5 % pada hari ke 20 (Pitadeniya and Lakshman, 2004). Pelilinan buah menghasilkan konsentrasi CO₂ yang tinggi terhadap IB tinggi (sampai 5%) dan mengurangi O₂ (Paul and Rohrbach, 1982). Plastik polietilen, meskipun sulit untuk dilakukan secara komersial pada buah individu, menghasilkan atmosfer 8 sampai 10% O₂ + 7% CO₂, dan waxing buah dalam menunda munculnya IB yang disebabkan oleh pendinginan (Abdullah *et al.*, 1985, Paull and Rohrbach, 1982, dan Rohrbach and Paull, 1982). Menurut Yahia (1998), rekomendasi sementara modifikasi atmosfer pada buah adalah 2 sampai 5% + 5 sampai 10% CO₂.

Kitosan merupakan polisakarida linear tanpa gugus asetil yang berasal dari senyawa kitin dan basa kuat dengan rumus molekul (C₆H₁₁NO₄)_n. Senyawa kitosan larut dalam pelarut asam dengan pH kurang dari 6, antara lain: HCl, H₃PO₄, HNO₃ dan tidak larut dalam H₂O (air) dan H₂SO₄ (Knorr, 1991). Kitosan merupakan polimer poliamina berbentuk linear yang memiliki gugus amino aktif, dan memiliki kemampuan mengkelat beberapa logam. Kitosan bersifat *adible*

pelapisan untuk buah, yaitu sebagai polimer alami yang tidak memiliki efek samping, tidak beracun, tidak dapat dicerna, mudah diuraikan oleh mikroba, dapat berikatan dengan sel mamalia secara agresif, mampu berperan dalam pembentukan tulang, bersifat hemostatik, fungistatik, spermisidal, anti-tumor, anti-kolesterol, dan sebagai depresan pada system saraf pusat. Sumber kitosan di alam, antara lain cangkang crustaceae (udang-udangan), shellfish (ikan bercangkang), serangga, dan terdapat pada yeast dan jamur *Aspergillus niger* (Austin *et al.*, 1981).

Kitosan banyak dipergunakan dalam memperpanjang masa simpan buah melalui penekanan laju respirasi, antara lain pada buah jambu (Zulferiyenni and Widodo, 2010a and Widodo *et al.*, 2013), pisang (Zulferiyenni and Widodo, 2010b, Widodo *et al.*, 2010, Ali and Hamid, 2021, dan Changsiripom and Manuskwan, 2011), tomat (El Ghaouth *et al.*, 1992), stroberi (Vargas and Albors, 2006), dan alpukat (Manftoonazad, 2005). Perlakuan kombinasi kitosan 2,5% dan 1-methylchyclopropane (1-MCP) 15 ppm meningkatkan efektifitas pada perlakuan pascapanen buah jambu Mutiara terhadap masa simpan dan mutu buah (Zulferiyenni *et al.*, 2015). Pelapisan kitosan juga dikembangkan dalam mempertahankan mutu simpan (AsA, total fenol, dan ektivitas antioksidan) dan memperpanjang masa simpan buah stroberi potong dan apel potong (Popescu *et al.*, 2022).

Pelapisan produk nanas juga tidak hanya dimaksudkan sebagai media untuk mencegah terjadinya respirasi dan transpirasi buah, tetapi juga meningkatkan suatu senyawa tertentu dalam buah. Pelapisan buah nanas dengan asam absisat eksogen dapat menurunkan kandungan senyawa fenol dan gibberellin buah nanas (Zhang *et al.*, 2015; 2016; dan Liu *et al.*, 2017). Hal ini menunjukkan aplikasi senyawa kimia pada permukaan akan masuk melalui kutikula atau pori buah dan mengubah komposisi endogen buah.

Pelapisan produk dapat diaplikasikan tidak hanya langsung pada permukaan buah. Pada buah yang dipanen dengan aksesoris berupa daun tunas seperti buah nanas,

pelapisan mahkota buah nanas lebih efektif dibandingkan dengan pelapisan langsung pada kulit buah, dan lebih efisien dibandingkan dengan pelapisan pada permukaan kulit buah dan mahkota buah (Liu *et al.*, 2017). Hal ini menunjukkan bahwa bagian tunas daun pada nanas (mahkota buah) yang telah dipanen yang masih hidup masih dapat menyalurkan air, mineral, dan senyawa kimia untuk buah.

2.14 *Image Processing*

Pengolahan citra (*image processing*) merupakan suatu visi computer dalam pengenalan pola (Cosido *et al.*, 2014 dan Long *et al.*, 2015). Sebagai hasil dari proses visi computer yaitu gambar dapat dipahami. Perkembangan di bidang ini terjadi melalui adaptasi kemampuan visual manusia dalam mencari informasi. Visi komputer adalah bidang ilmu yang mengekstrak informasi dari gambar (Jain and Farrokhnia, 1991). Hal ini berdampak pada kompleksitas evaluasi kinerja sistem visi komputer. Umumnya, evaluasi kinerja melibatkan pengukuran beberapa perilaku mendasar suatu algoritma untuk mencapai akurasi, ketahanan, atau skalabilitas untuk mengendalikan dan memantau kinerja sistem.

Pengolahan citra menggunakan algoritma dan sensor optik untuk merangsang visualisasi manusia dan secara otomatis mengekstrak informasi berharga dari obyek (Matiacevich *et al.*, 2013). Dibandingkan dengan metode konvensional yang memakan banyak waktu dan memerlukan analisis laboratorium tingkat lanjut, visi komputer telah berkembang ke bidang kecerdasan buatan dan simulasi visualisasi manusia. Selain itu, jika dikombinasikan dengan sistem pencahayaan, perolehan gambar dan analisis gambar selanjutnya menjadi lebih mudah. Secara rinci tahapan analisis citra adalah: 1) Pembuatan gambar, yaitu gambar suatu obyek diambil dan disimpan di komputer. 2) Pemrosesan awal gambar, tingkatkan kualitas gambar dan tingkatkan detail gambar. 3) Segmentasi gambar, obyek gambar diidentifikasi dan dipisahkan dari *background*. 4) Pengukuran gambar, beberapa fitur penting dikuantisasi. 5) Interpretasi gambar, gambar diekstraksi dan ditafsirkan (Mery *et al.*, 2013).

Prediksi jangkauan pencitraan telah dikembangkan dalam memprediksi suatu permukaan bidang, tetapi perlu menentukan dengan hati-hati terkait tujuan dan kriteria persepsi data visual terkait (Peric *et al.*, 2019). Hashim *et al.* (2018) menerapkan *multispectral imaging method* untuk mendeteksi CI pada buah mangga, hasilnya juga mengungkapkan bahwa parameter multispektral memiliki korelasi yang kuat dengan parameter referensi dari kecerahan buah, warna buah, TPT, dan kadar air.

Pencitraan termal inframerah adalah teknologi pengujian non-destruktif yang dapat digunakan untuk menentukan suhu permukaan benda. Teknologi ini semakin banyak digunakan dalam mendeteksi penyakit atau gangguan fisiologis pada peternakan dalam produksi unggas, babi, dan susu. Proses tersebut dapat mengidentifikasi perubahan aliran darah perifer dari hasil perubahan kehilangan panas. Oleh karena itu, inframerah telah menjadi alat yang berguna untuk mengevaluasi adanya penyakit, edema, dan stres pada hewan (Naas *et al.*, 2004). Spektroskopi transmisi NIR berpotensi sebagai metode non-destruktif yang dapat digunakan untuk memprediksi IB pada nanas utuh. Keakuratan metode ini dibuktikan dengan akurasi prediksi yang tepat, yaitu 47 dari 53 untuk nanas yang sehat dan 42 dari 45 untuk nanas yang berwarna kecoklatan (Sukwanit and Teerachaichayut, 2013). Cen *et al.* (2016) mempelajari CI dalam mentimun menggunakan *hyperspectral imaging techniques*. Mereka memperoleh akurasi klasifikasi keseluruhan terbaik antara 91,6% dan 100%. Demikian pula hasil penelitian ElMasry *et al.* (2009) menerapkan *hyperspectral imaging techniques* untuk memantau CI dalam apel merah. Akurasi klasifikasi berkisar antara 98,4% hingga 100% dalam membedakan apel yang tidak cidera dari apel yang cidera karena dingin.

III. KERANGKA PEMIKIRAN DAN HIPOTESIS

3.1 Kerangka Pemikiran

Kerusakan fisiologis IB merupakan reaksi enzimatik senyawa fenol yang dikatalis oleh enzim PPO dalam kondisi aerob. Senyawa monofenol akan membentuk senyawa o-difenol, kemudian ikatan beberapa senyawa difenol dan enzim PPO akan membentuk o-kuinon. Senyawa o-kuinon dengan o-kuinon lainnya atau dengan senyawa fenolik berpolimerisasi membentuk melanin. Kerusakan jaringan akibat cekaman suhu dingin dan pemangkasan mahkota buah dapat menginisiasi perkembangan keterjadian IB. Tingkat kemasakan buah panen juga dapat mempengaruhi perkembangan keterjadian IB di penyimpanan. Warna buah standar ekspor berdasarkan standar PT Great Giant Foods mulai dari indeks warna gurat kuning kulit buah atau SC (shell color)-0 hingga SC-2 atau 0 – 20 % tergantung jarak dan waktu tempuh perjalanan ke lokasi tujuan. Suhu simpan buah nanas mempengaruhi gangguan fisiologis IB. Suhu optimum penyimpanan buah nanas dalam memperpanjang masa simpan berkisar antara 5 – 12 °C. Penyimpanan buah nanas yang relatif lama pada suhu dingin dapat memicu insisiasi IB. Perubahan suhu simpan dari suhu dingin ke suhu yang lebih hangat akan memperparah IB.

Prinsip dalam penelitian ini mempelajari keterjadian IB pada nanas ekspor, baik yang terjadi akibat penyimpanan suhu dingin, perubahan suhu simpan, maupun akibat adanya pemangkasan mahkota buah dalam mengefisiensikan pengemasan. Penekanan aktivitas enzim secara tidak langsung sudah dapat ditekan melalui suhu simpan, semakin rendah suhu simpan akan semakin meng-inaktifkan kerja enzim, tetapi semakin lama buah terpapar suhu dingin akan menyebabkan stres dalam menghasilkan ROS yang dapat mendegradasi dinding dan membran sel buah. Penelitian disertasi ini diharapkan dapat memperpanjang masa simpan buah

nanas akibat kerusakan IB yang terjadi sebelum terjadinya pembusukan (senesens).

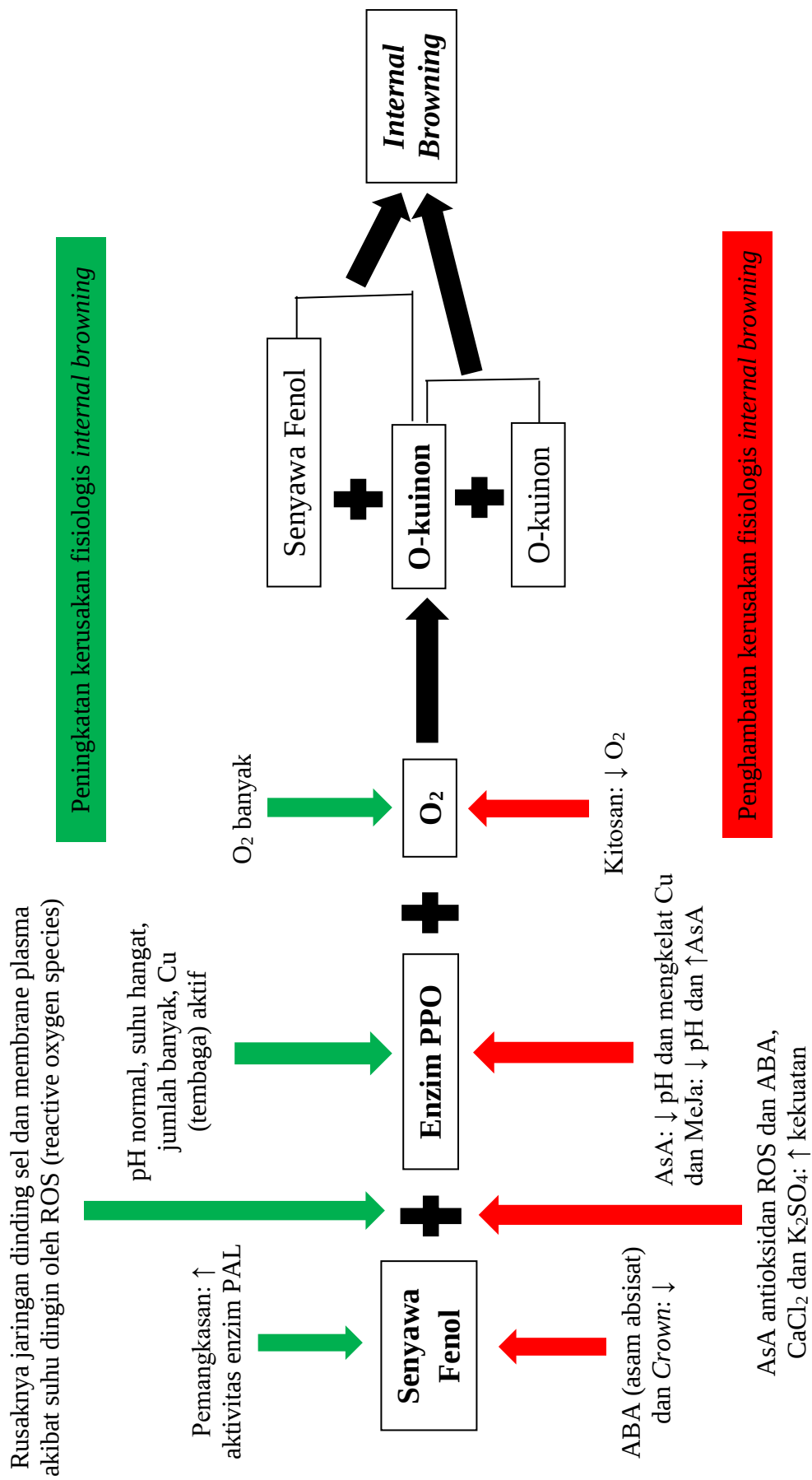
Penekanan IB dilakukan melalui 2 tahapan waktu, yaitu pra- dan pasca- panen. Perlakuan pada prapanen dilakukan terkait mutu buah yang masih dapat ditingkatkan, perlindungan dari kerusakan IB lebih ditekankan pada peningkatan kekuatan dinding dan membrane sel agar tidak terjadi kebocoran jaringan kloroplas tempat enzim PPO dan vakuola tempat senyawa fenol yang dapat menyebabkan reaksi pencoklatan enzimatis. Perlakuan pascapanen diharapkan dapat mempertahankan mutu buah, baik melalui perawatan dinding dan membrane sel jaringan buah, penekanan aktivitas enzim PPO dan PAL yang merupakan enzim pengkatalis substrat dalam mensintesis senyawa fenol, serta menekan akumulasi oksigen.

Unsur Ca (kalsium) merupakan unsur hara yang salah satunya berfungsi dalam regenerasi dinding sel, sehingga diharapkan mengurangi kebocoran elektrolit. Unsur K berfungsi mengatur kegiatan unsur mineral sehingga dapat meningkatkan mutu buah, kondisi buah sehat dan kuat akan mencegah kebocoran elektrolit. Senyawa ABA dalam proses pertumbuhan akan menekan sintesis GA yang berfungsi merangsang pertumbuhan organ generatif, ABA secara alami akan disintesis dalam kondisi bioproduct tercekam, dan memberikan sinyal kepada enzim PAL dalam memproduksi fenol sebagai sistem pertahanan dalam mengikat ROS. Aplikasi ABA diharapkan akan mengurangi stres produk dan mengurangi sinyal kepada enzim PAL. Pada beberapa penelitian terhadap kandungan GA pada buah, GA memiliki korelasi positif terhadap terjadinya IB. Oleh karena itu, untuk mengurangi dampak negatif dari rendahnya hormon GA, perlakuan ABA pada prapanen harus telah mencapai kondisi ukuran buah nanas yang optimal.

Buah nanas dengan tingkat kemasakan standar ekspor (0% warna kuning pada kulit buah) disimpan pada kondisi suhu dingin di atas suhu CI (7 °C) akan memperpanjang masa simpan melalui penekanan laju respirasi dan transpirasi. Aplikasi pra- dan pasca- panen untuk dapat lebih memperpanjang masa simpan

terhadap keterjadian IB yang akan dilakukan, yaitu: 1) Pelapisan buah nanas dengan ABA yang dapat menekan GA dan intensitas IB dan beberapa penelitian menekan aktivitas enzim PAL yang merupakan enzim pengkatalis dalam sintesis senyawa fenol terhadap pertahanan produk dari ROS. 2) Pelapisan dengan kitosan yang diharapkan dapat menekan jumlah O₂ atau kondisi aerob pada buah, sehingga dapat menekan reaksi oksidasi senyawa fenol. 3) Aplikasi asam askorbat dan asam jasmonat yang dapat menekan aktivitas enzim PPO melalui kondisi asam yang kurang disukai oleh enzim, serta bersifat sebagai pengkelat unsur tembaga (Cu) yang berada pada ujung bagian aktif enzim PPO dan bersifat antioksidan terhadap ROS. 4) Aplikasi Ca dan K dalam merawat dinding dan membran sel, mengurangi terjadinya kebocoran elektrolit yang dapat menyebabkan reaksi enzimatik pencoklatan terjadi. 5) Percobaan terhadap perubahan suhu simpan dilakukan dalam melihat pengaruh perubahan suhu simpan buah nanas terhadap keterjadian IB dan efektifitas perlakuan pascapanen dalam menekan IB. 6) Penundaan aplikasi pascapanen dalam meningkatkan efektifitas perlakuan dalam memperpanjang masa simpan buah nanas terhadap IB. 7) Mahkota buah merupakan salah satu sumber ABA endogen pada buah nanas, aplikasi pascapanen diharapkan akan memberikan hasil yang tidak signifikan terhadap mahkota yang utuh. 8) Mengetahui hubungan faktor endogen terhadap IB. 9) Mengetahui pengaruh aplikasi pascapanen yang dilakukan terhadap penekanan IB. 10) Mendapatkan metode baru pengukuran keparahan IB dalam menghasilkan data yang lebih konsisten dan valid dengan *image analysis method*.

Mekanisme kerangka pemikiran penghambatan terhadap IB buah nanas yang disimpan pada suhu dingin akan diaplikasikan melalui empat penelitian eksperimental disertasi ini (Gambar 13). Percobaan-percobaan didesain dalam mendapatkan data-data yang akan mendukung tujuan utama yang saling berkaitan dalam disertasi ini yang berjudul “Studi Keterjadian *Internal Browning* pada Nanas Ekspor melalui Pengelolaan Faktor Pra- dan Pasca- Panen”.



Gambar 13. Bagan alir kerangka pemikiran aplikasi penghambatan internal browning nanas

3.2 Hipotesis

1. Nanas klon *MD2* (hibrida) lebih tahan terhadap IB dibandingkan dengan klon *GP3* (tipe *Smooth Cayenne*). Pemangkasan mahkota dapat meningkatkan IB buah nanas. Aplikasi pascapanen pelapisan buah nanas dengan ABA 50 mg/L dan kitosan 1% dapat menekan IB setelah disimpan selama 37 hari pada suhu 7 °C.
2. Perubahan suhu simpan buah nanas klon *GP3* dan *MD2* dapat memperparah IB dan semakin diperparah dengan adanya interaksi antara pemangkasan mahkota dan perubahan suhu simpan. Aplikasi pascapanen pelapisan buah nanas dengan ABA 50 mg/L dan kitosan 1% dapat menekan IB buah nanas yang mengalami perubahan suhu simpan selama 2 hari pada suhu 16 °C yang sebelumnya disimpan selama 28 hari pada suhu 7 °C.
3. Nanas klon *MD2* (hibrida) lebih tahan terhadap IB dibandingkan dengan klon *GP3*, *HC*, dan *GP4* (tipe *Smooth Cayenne*) dan tidak ada perbedaan keparahan IB dalam tipe *Smooth Cayenne* setelah disimpan pada suhu 7 °C. Aplikasi pascapanen penyemprotan mahkota buah nanas dengan ABA 50 mg/L, AsA 200 mg/L, JA 1 mM, dan CaCl₂ 2% efektif menekan keparahan IB. Penundaan aplikasi pascapanen penyemprotan mahkota buah nanas selama 16 hari lebih baik dalam menekan keparahan IB dibandingkan dengan 0 hari setelah panen.
4. Aplikasi prapanen buah nanas klon *GP3* dengan ABA 5 dan 10 mg/L, CaCl₂ 1%, dan K₂SO₄ 5% efektif menekan IB. Waktu aplikasi 11 hari lebih efektif dibandingkan dengan 18 hari sebelum panen dalam menekan IB pada buah nanas yang disimpan selama 42 hari pada suhu 7 °C.

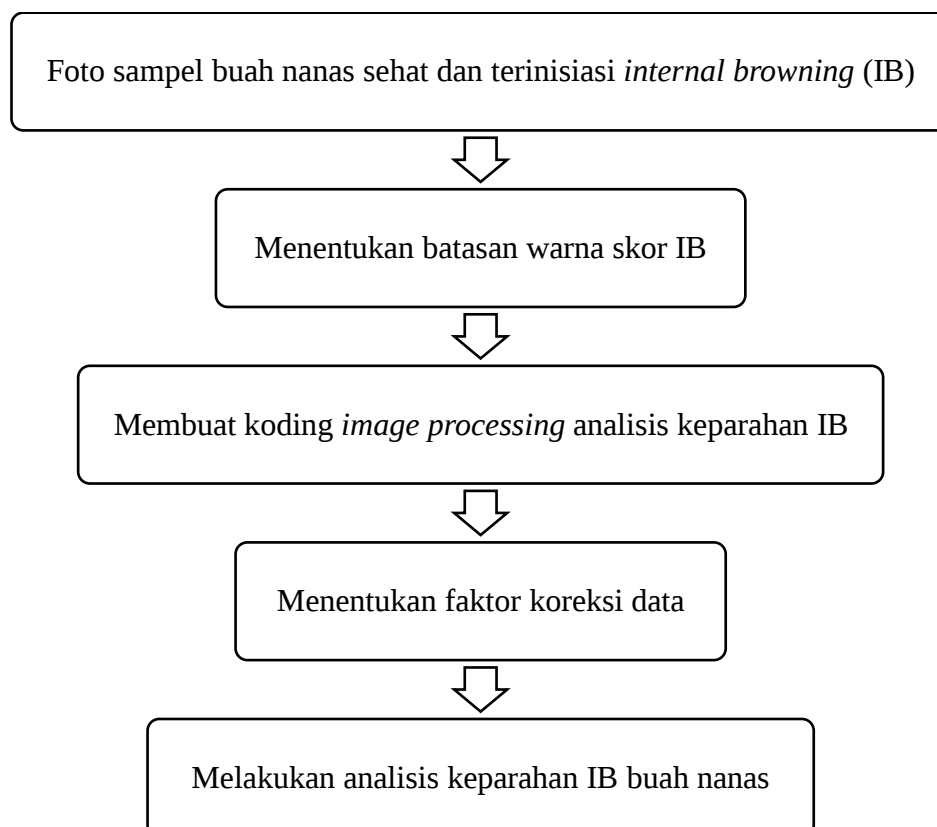
IV. TAHAPAN DAN RUANG LINGKUP PENELITIAN

Disertasi ini dilakukan melalui lima tahapan penelitian yang saling berkaitan satu sama lainnya terkait studi keterjadian IB pada nanas ekspor melalui pengelolaan faktor pra- dan pasca- panen dan pembuatan novel metode pengukuran keparahan IB. Penelitian-penelitian yang akan dilakukan, yaitu:

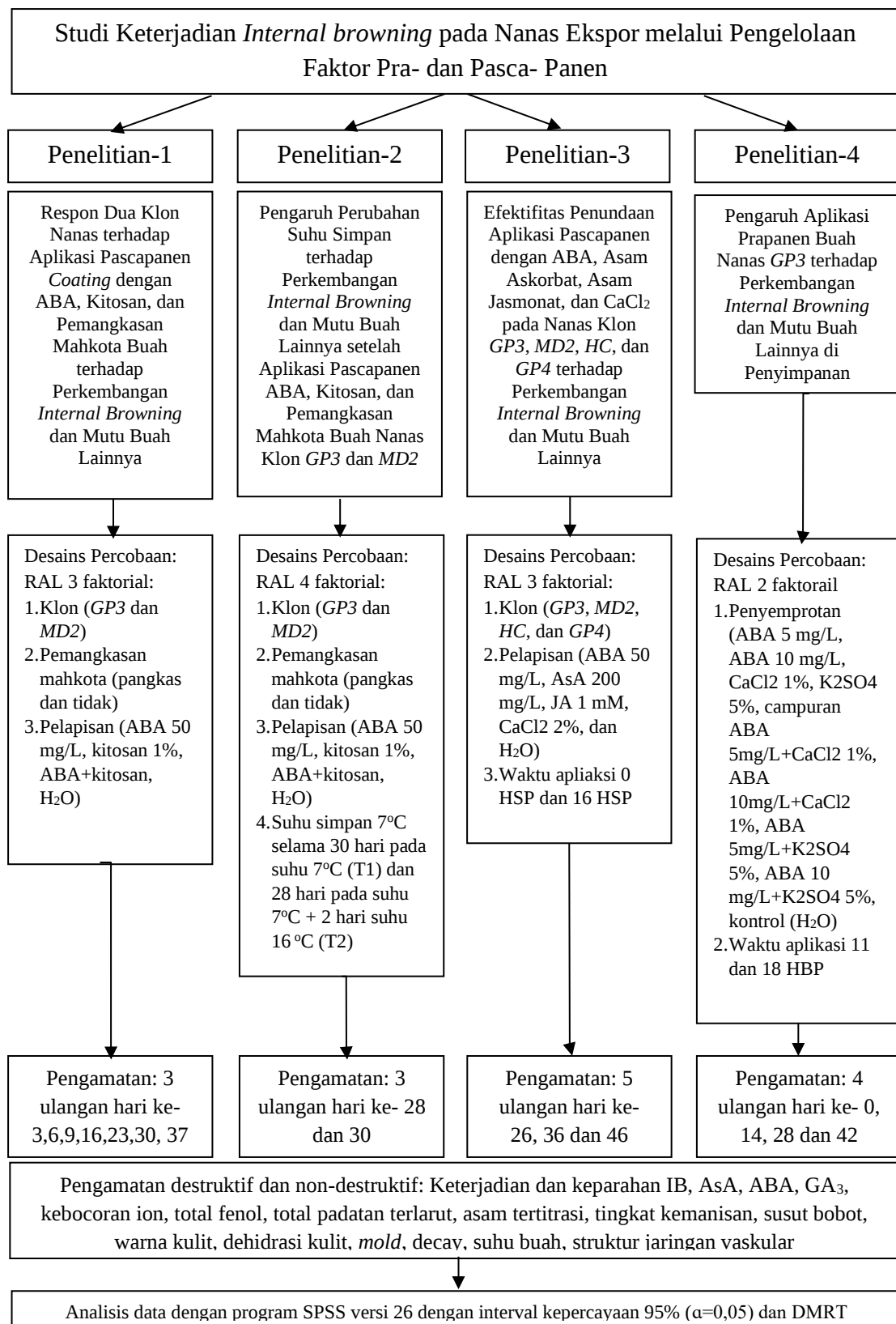
1. Respon Nanas Klon *GP3* dan *MD2* setelah Aplikasi Pascapanen Pemangkasan Mahkota dan Pelapisan Buah dengan ABA dan Kitosan terhadap *Internal Browning* dan Mutu Buah Lainnya.
2. Pengaruh Perubahan Suhu Simpan terhadap *Internal Browning* dan Mutu Buah Lainnya setelah Aplikasi Pascapanen Pemangkasan Mahkota dan Pelapisan Buah dengan ABA dan Kitosan pada Nanas Klon *GP3* dan *MD2*.
3. Respon Empat Klon Nanas terhadap *Internal Browning* dan Mutu Buah Lainnya setelah Aplikasi Pascapanen Penyemprotan Mahkota Buah.
4. Pengaruh Aplikasi Prapanen Buah Nanas dengan ABA, CaCl_2 , dan K_2SO_4 terhadap *Internal Browning* dan Mutu Buah Lainnya di Penyimpanan.
5. Novelty Metode Pengukuran Keparahen *Internal Browning* Buah Nanas Menggunakan *Image Analysis Method*.

Penelitian pertama melihat respon nanas klon *GP3* dan *MD2* yang disimpan pada suhu 7 °C selama 37 hari setelah aplikasi pascapanen pemangkasan mahkota buah dan pelapisan buah dengan ABA 50 mg/L, kitosan 1%, campuran ABA dan kitosan terhadap kerusakan akibat IB dan mutu buah lainnya. Penelitian ke-dua mengetahui pengaruh perubahan suhu simpan buah nanas klon *GP3* dan *MD2* selama 2 hari pada suhu 16 °C yang sebelumnya selama 28 hari disimpan pada suhu 7 °C setelah sebelumnya dilakukan pemangkasan mahkota buah dan pelapisan buah dengan ABA 50mg/L, kitosan 1%, campuran ABA dan kitosan

terhadap kerusakan akibat IB dan mutu buah lainnya pada hari ke-30. Penelitian ke-tiga, mengetahui efektifitas penundaan aplikasi pascapanen ABA 50 mg/L, AsA (ascorbic acid) 200 mg/L, JA (jasmonic acid) 1 mM, dan CaCl_2 2%, pada buah nanas klon *GP3*, *MD2*, *HC*, dan *GP4* terhadap perkembangan IB dan mutu buah lainnya yang disimpan pada suhu 7 °C selama 46 hari. Penelitian ke-empat, mengetahui pengaruh aplikasi prapanen ABA 5 dan 10 mg/L, CaCl_2 1%, atau K_2SO_4 5% tunggal dan campuran ABA 5 dan 10 mg/L dengan CaCl_2 1% atau K_2SO_4 5% terhadap kerusakan akibat IB dan mutu buah lainnya yang disimpan pada suhu 7 °C selama 42 hari. Penelitian ke-lima, menghasilkan algoritma *image analysis method* pengukuran keparahan IB pada nanas klon *GP3*, *MD2*, *HC*, dan *GP4*. Kelima penelitian tersebut akan di jelaskan secara rinci pada masing-masing Sub-bab Percobaan dan digambarkan melalui diagram alir (Gambar 14 dan 15).



Gambar 14. Bagan alir novelty metode pengukuran keparahan *internal browning* buah nanas



Gambar 15. Bagan alir tahapan dan ruang lingkup penelitian eksperimental disertasi

V. KESIMPULAN DAN SARAN UMUM

5.1 Kesimpulan Umum

1. Gejala IB tidak terlihat hingga umur simpan 14 hari, keterjadian IB terlihat mulai dari umur simpan 23 hari, pada saat bersamaan dengan munculnya IB suhu buah telah mencapai di atas 14 °C. Nanas klon *GP3* memiliki ketahanan yang cukup rendah terhadap IB dibandingkan klon hibrida *MD2* setelah disimpan selama 37 hari pada suhu 7 °C. Hal ini dipengaruhi oleh tingginya kandungan AsA endogen buah nanas *MD2* dibandingkan dengan *GP3*. Pemangkasan mahkota buah meningkatkan IB buah nanas klon *GP3*. Pemangkasan mahkota meningkatkan total fenol dan GA₃ dan menurunkan ABA endogen hanya pada nanas klon *MD2*, tidak pada nanas klon *GP3*. Aplikasi pascapanen dengan ABA 50 mg/L dan kitosan 1% dapat menekan keterjadian IB buah nanas *MD2*, aplikasi ABA pada nanas klon *GP3* juga menahan keterjadian IB hingga umur 30 hari dan menekan keparahan IB hingga umur simpan 37 hari pada suhu 7 °C. Aplikasi pascapanen tidak mempengaruhi mutu buah lainnya kecuali dehidrasi kulit buah.
2. Perubahan suhu simpan buah nanas selama 2 hari pada suhu 16 °C setelah disimpan selama 28 hari pada suhu 7 °C meningkatkan gangguan fisiologis IB buah nanas. Keparahan IB nanas klon *GP3* dapat ditekan dengan aplikasi pascapanen ABA 50 mg/L pada kategori ringan dibandingkan dengan kontrol pada kategori sedang. Perubahan suhu simpan juga meningkatkan total fenol dan menurunkan kandungan AsA. Selain itu, perubahan suhu simpan buah nanas dapat meningkatkan suhu buah, indeks warna kulit buah, bobot buah, dan dehidrasi kulit buah dan tidak mempengaruhi TPT, AT, tingkat kemanisan, dan *mold*.
3. Buah nanas klon *MD2* memiliki keparahan IB terendah diikuti klon *GP4*, *HC*, dan *GP3* pada penyimpanan suhu 7 °C selama 46 hari. Selain itu nanas

MD2 memiliki kandungan AsA dan total fenol yang lebih tinggi dan kebocoran ion yang lebih rendah dibandingkan klon nanas lainnya. Peningkatan kandungan total fenol dalam buah memiliki pola perkembangan yang sama dengan gangguan fisiologis IB. Aplikasi pascapanen yang dilakukan terhadap mahkota buah tidak efektif dalam menekan IB, baik yang diaplikasikan pada 0 HSP maupun 16 HSP.

4. Aplikasi prapanen penyemprotan buah nanas dan mahkotanya dengan ABA 10 mg/L, CaCl₂ 1%, dan K₂SO₄ 5% pada 11 hari sebelum panen dapat menekan keparahan IB pada umur simpan 42 hari pada suhu 7 °C. Bahkan, pada aplikasi ABA 10 mg/L menekan keparahan IB sejak umur simpan 28 hari.
5. Mendapatkan *novelty* pengukuran keparahan IB buah nanas menggunakan *image analysis method* dalam menghasilkan data yang lebih konsisten dan dapat divalidasi kebenarannya dibandingkan dengan metode pengukuran konvensional.

5.2 Saran Umum

1. Pemangkasan mahkota buah hanya dapat dilakukan pada nanas klon *MD2* yang disimpan pada suhu 7 °C selama 30 hari, aplikasi kitosan 1% atau ABA 50 mg/L dan mahkota buah tetap utuh dapat memperpanjang masa simpan hingga 37 hari terhadap IB. Pada buah nanas klon *GP3* mahkota buah harus tetap, aplikasi ABA 50 mg/L dapat menahan IB hingga umur simpan 30 hari pada suhu 7 °C dan menekan keparahan IB umur 37 hari simpan dari kategori agak parah menjadi ringan.
2. Hindari terjadinya perubahan suhu simpan buah nanas saat penyimpanan dan pengangkutan. Jika ada peluang terjadinya perubahan suhu simpan selama 2 hari pada nanas klon *GP3* yang lama disimpan pada suhu dingin, sebaiknya buah nanas diaplikasikan ABA 50 mg/L untuk menekan keparahan IB.
3. Aplikasi pascapanen pelapisan yang efektif terhadap penekanan IB dilakukan melalui permukaan kulit buah tidak hanya melalui mahkota buah.

4. Aplikasi prapanen dengan penyemprotan buah dengan larutan ABA 10 mg/L, CaCl_2 1%, dan K_2SO_4 5% pada 11 hari sebelum panen dengan kemasakan hijau matang dapat menekan keparahan IB di penyimpanan hingga umur 42 hari.
5. *Image analysis method* dapat dilakukan untuk mengukur keparahan IB buah nanas dalam menghasilkan data yang lebih konsisten dan valid.

DAFTAR PUSTAKA

- Abd. Shukor, A.R., Faridah, A.A., Abdullah, H., and Chan, Y.K. 1998. Pineapple. In: Shaw, P.E., Chan, H.T., and Nagy, S. (Ed) Tropical and Subtropical Fruits. Agscience Inc., Florida. 137–190.
- Abdullah, H. and Rohaya, M.A. 1983. The development of internal browning disease in Mauritius pineapple (*Ananas comosus* cv. Mauritius) during storage at lower temperatures. *MARDI Res. Bull.* 11: 309–319.
- Abdullah, H., Rohaya, M.A., and Hasmah, E.A.E. 2008. Increasing pineapple fruit resistance to chilling injury during storage by temperature preconditioning. *Acta Hort.* 768: 217–224.
- Abdullah, H., Wills, R., Rohaya, M.A., Zaulia, O., Lam, P.F., and Smith, M., 2010. Internal browning disorder in fresh pineapple. In: Sivakumar, D. (Ed.), New Trends in Postharvest Management of Fresh Produce. *Fresh Produce*. 29–35.
- Akamine, E.K. 1976. Postharvest control of endogenous brown spot in fresh Australian pineapple with heat. *Horticulture Science*. 11: 586–588.
- Akamine, E.K., Good, T., Steepy, T., Greidanus, T., and Iwaoka, N. 1975. Control of endogenous brown spot of fresh pineapple in postharvest handling. *Journal of American Society for Horticulture Science*. 100: 60–65.
- Ali, M.N.B. and Hamid, N.A. 2021. The Effect of chitosan coating on post-harvest quality of banana in cold storage. *ESTEEM Academic Journal*. 17: 85–92.
- Ali, S. and Kim, W.C. 2018. Plant growth promotion under water: Decrease of waterlogging-induced ACC and etilen levels by ACC deaminase-producing bacteria. *Front. Microbiol.* 9(1096): 1–12.
- Altheide, D.L. and Johnson, J.M. 1994. Criteria for Assessing Interpretive Validity in Qualitative Research. In N. K. Denzin & Y. S. Lincoln (Ed.). *Handbook of Qualitative Research*, Thousand Oaks, CA: SAGE. 48–499.
- AOAC. 1995. Official Methods of Analysis, 16th ed. Association of Official Analytical Chemists International, Washington, DC.
- Arah, I.K., Amaglo, H., Kumah, E.K., dan Ofori, H. 2015. Preharvest and postharvest factors affecting the quality and shelf life of harvested tomatoes: a mini review. *International Journal of Agronomy*. 1–6.
- Austin, P.R. 1981. Chitin solvent and Solubility Parameter. Department of Commerce, College of Marine Studies. The University of Delaware. Zikakis Eds. Acad Press. Inc. 227–237.
- Ayón-Reyna, L.E., Ayón-Reyna, L.G., López-López, M.E., López-Angulo, G., Pineda-Hidalgo, K.V., Zazueta-Niebla, J.A. and Vega-García, M.O. 2019. Changes in ascorbic acid and total phenolics contents associated with

- browning inhibition of pineapple slices. *Food Sci. Technol.* 39: 531–537. DOI:10.1590/fst.21117
- Azam, M., Hameed, L., Qadri, R., Ejaz, S., Aslam, A., Khan, M.I., Shen, J., Zhang, J., Nafees, M., Ahmad, I., Ghani, M.A., Chen, J., and Anjum, N. 2021. Postharvest ascorbic acid application maintained physiological and antioxidant responses of Guava (*Psidium guajava* L.) at ambient storage. *Food Science and Technology*. 41(3): 748–754. DOI:10.1590/fst.19820
- Badan Pusat Statistik (BPS). 2023. Statistik Produksi Hortikultura 2022. BPS-*Statistic Indonesia*, Jakarta.
- Baek, M.W., Choi, H.R., Jae, L.Y., Kang, H.M., Lee, O.H., Jeong, C.S., and Tilahun, S. 2021. Preharvest treatment of methyl jasmonate and salicylic acid increase the yield, antioxidant activity and gaba content of tomato. *Agronomy*. 11: 2293.
- Bartholomew, D.P. 2009. MD2 pineapple transforms the world's pineapple fresh fruit export industry. Pine. News No. 16: 2-5. 18 Dec. 2022 (<https://ishs-horticulture.org/workinggroups/pineapple/PineNews16.pdb>>)
- Bath, R., Singh, K., Kumari, S., Mustafiz, A. 2017. Transcript profiling reveals the presence of abiotic stress and developmental stage specific ascorbate oxidase genes in plants. *Front. Plant Sci.* 8: 198. DOI:10.3389/fpls.2017.00198
- Boonyariththongchai, P. and Supapvanich, S. 2017. Effects of methyl jasmonate on physicochemical qualities and internal browning of 'Queen' pineapple fruit during cold storage. *Hortic. Environ. Biotechnol.* 58(5): 479–487.
- Buchwald, J.Z. and Feingold, M. 2013. Newton and the Origin of Civilization. Princeton Univ. Press.
- Cai, Y.T., Cao, S.F., Yang, Z.F., and Zheng, Y.H. 2011. Methyl jasmonate regulates enzymes involved in ascorbic acid and glutathione metabolism and improves chilling tolerance in loquat fruit. *Postharvest Biol. Technol.* 59: 324–326.
- Camos, M. and Markham, K.R. 2007. Structure information from HPLC and on-line measured absorption spectra: flavones, flavonoids and phenolic acid. Coimbra University Press, Coimbra.
- Cao, S., Zheng, Y., Wang, K., Jin, P., and Rui, H. 2009a. Effect of 1-methylcyclopropene treatment on chilling injury, fatty acid and cell wall polysaccharide composition in loquat fruit. *J. Agric. Food Chem.* 57: 8439–8443. DOI:10.1021/jf902114y
- Cao, S., Zheng, Y., Wang, K., Jin, P., and Rui, H. 2009b. Methyl jasmonate reduces chilling injury and enhances antioxidant enzyme activity in postharvest loquat fruit. *Food Chemistry*. 115: 1458–1463. DOI:10.1016/j.foodchem.2009.01.082
- Cardoso, A.A., Gori, A., Da-Silva, C.J., and Brufi, C. 2020. Absciscic acid biosynthesis and signaling in plants: Key targets to improve water use efficiency and drought tolerance. *Applied Sci.* 10: 6322. DOI:10.3390/app10186322
- Cen, H., Lu, R., Zhu, Q., & Mendoza, F. 2016. Nondestructive detection of chilling injury in cucumber fruit using hyperspectral imaging with feature selection and supervised classification. *Postharvest Biology and Technology*, 111, 352–361.

- Chandra, D., Widodo, S.E., Kamal, M., Waluyo, S. 2023a. Effect of storage temperature transfer on the internal browning and other fruit qualities of GP3 and MD2 pineapple clones after postharvest applications of ABA, chitosan and decrowning. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*. 1230: 012065.
- Chandra, D., Widodo, S.E., Kamal, M., Waluyo, S. 2023b. Pineapple responses to postharvest applications of ABA, chitosan, and decrowning on internal browning and other fruit qualities. *Acta Innovations*. 47(6): 64–72. DOI:10.32933/ActaInnovations.47.6
- Chandra, D., Widodo, S.E., Kamal, M., Waluyo, S. 2023c. Postharvest treatments influenced the incidence of internal browning, phenol, ABA, and GA3 contents of two pineapple clones. *Acta Innovations*. 50 (7): 74–80. DOI:10.32933/ActaInnovations.50.7
- Changsiriporn, J. and Manuskwan, J. 2011. Effect of chitosan coating on postharvest quality and shelf life of banana fruit. editors. TIChE International Conference. Songkhla Thailand: E-Publishing Inc. 11: 1–4.
- Cheeseman, J.M. 2007. Hydrogen peroxide and plant stres: a challenging relationship. *Plant Stres*. 1: 4-15.
- Chen, P., Sun, Y.F., Kai, W.B., Liang, B., Zhang, Y.S., Zhai, X.W., Jiang, L., Du, Y.W., and Leng, P. 2016. Interactions of ABA signaling core components (SlPYLs, SlPP2Cs, and SlSnRK2s) in tomato (*Solanum lycopersicon*). *J. Plant Physiol*. 205: 67–74. DOI:10.1016/j.jplph.2016.07.016
- Chen, T.T., Liu, F.F., Xiao, D.W., Jiang, X.Y., Li, P., Zhao, S.M., Hou, B.K., and Li, Y.J. 2020. The Arabidopsis UDP-glycosyltransferase75B1, conjugates abscisic acid and affects plant response to abiotic stresses. *Plant Mol. Biol*. 102: 389–401. DOI:10.1007/s11103-019-00953-4
- Concellón, A., Anón, ~ M.C., and Chaves, A.R., 2005. Effect of chilling on ethylene production in eggplant fruit. *Food Chem*. 92: 63–69.
- Cook, D.A. and Beckman, T.J. 2006. Current Concepts in Validity and Reliability for Psychometric Instruments: Theory and Application. *The American Journal of Medicine*. 119: 166.e7–166.e16.
- Cosido, O., Iglesias, A., Galvez, A., Catuogno, R., Campi, M., Terán, L. and Sainz, E. 2014. Hybridization of convergent photogrammetry, computer vision, and artificial intelligence for digital documentation of cultural heritage-A case study: The magdalena palace. In *Cyberworlds (CW)*, 2014 International Conference on IEEE. 369–376 DOI:10.1109/CW.2014.58
- Creelman, R.A. and Mullet, J.E. 1997. Biosynthesis and action of jasmonates in plants. *Annu. Rev. Plant Biol*. 48: 355–381.
- Dahler, J.M., Underhill, S.J., Zhou, Y., and Giles, J.E. 2002. Biochemical changes associated with chilling in pineapple fruit. *Proc. IS on Trop. & Subtrop. Fruits* Ed. R. Drew. *Acta Hort*. 575: 603–610. DOI:10.17660/ACTAHORTIC.2002.575.71
- Daulay, L.R. 2009. Adhesi Penguat Serbuk Pulp Tandan Kosong Sawit Teresterifikasi Dengan Matriks Komposit Polietilena. Disertasi. Medan: Universitas Sumatera Utara.
- D'Eeckenbrugge, C. and Leal, F. 2003. *The Pineapple Botany, Production and Uses*. CABI. Wallingford, Oxon. 13–32.

- Dolhaji, N.H., Muhamad, I.D., Ya'akub, H., and Abd Aziz, A. 2019. Evaluation of chilling injury and internal browning condition on quality attributes, phenolic content, and antioxidant capacity during sub-optimal cold storage of malaysian cultivar pineapples. *Malays. J. Fundam. Appl. Sci.* 14: 456–461.
- Dolhaji, N.H., Muhammad, I.D., Yaakob, H. and Mohd Marsin, A. 2020. Chilling injury in pineapple fruits: Physical quality attributes and antioxidant enzyme activity. *Food Research*. 4(5): 86 – 95.
- Douce, R. 2005. Les plantes supérieures: divines et/ou diaboliques. Conférences et débats sur les grands défis du 21e siècle. Paris: Institut de France, Académie des Sciences.
- Ducamp-Collin, M.N., Ramarson, H., Lebrun, M., Self, G. and Reynes, M. 2008. Effect of citric acid and chitosan on maintaining red colouration of litchi fruit pericarp. *Postarvest Biol. Technol.* 49: 241–246.
- Dull, G.G. 1971. The Pineapple: general. In: Hulme AC (Ed) *Biochemistry of Fruits and Their Products*. Academic Press. London and New York. 303–323.
- El Ghaouth, A., Ponnampalam, R., Castaigne, F., and Arul, J. 1992. Chitosan coating to extend the storage life of tomatoes. *J. Hort Science*. 27: 1016–1018.
- ElMasry, G., Wang, N., and Vigneault, C. 2009. Detecting chilling injury in red delicious apple using hyperspectral imaging and neural networks. *Postharvest Biology and Technology*. 52(1): 1–8.
- Faraq, K.M. and Nagy, N.M.N. 2012. Effect of pre- and post-harvest calcium and magnesium compounds and their combination treatments on "Anna" apple fruit quality and shelf life. *Journal of Horticultural Science & Ornamental Plants*. 4(2): 155–168.
- Food and Agriculture Organization (FAO). 2019. Production of Pineapples: Top 10 producers 2019. Diakses melalui <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC/visualize>
- Forza, C. 2002. Survey Research in Operations Management: A Process-based Perspective. *International Journal of Operations and Production Management*. 22(2): 152–194.
- Galpaz, N., Wang, Q., Menda, N., Zamir, D., and Hirschberg, J. 2008. Absciscic acid deficiency in the tomato mutant high-pigment 3 leading to increased plastid number and higher fruit lycopene content. *Plant J.* 53: 717–730. DOI:10.1111/j.1365-313X.2007.03362.x
- Garcia-Pastor, M.E., Serrano, M., Guillen, F., Gimenez, M.J., Martinez-Romero, D., Valero, D., and Zapata, P.J. 2020. Preharvest application of methyl jasmonate increases crop yield, fruit quality and bioactive compounds in pomegranate 'mollar de elche' at harvest and during postharvest storage. *J. Sci. Food Agr.* 100: 145–153.
- Gill, K.B.S., Dhaliwal, H.S., and Mahajan, B.V.C. 2014. Effect of post-harvest treatment of ascorbic acid on shelf life and quality of guava (*Psidium guajava* L.) Cv. Allahabad Safeda. *Int. J. Agric.Sc & Vet.Med.* Vol. 2(1).
- Giovannoni, J. 2001. Molecular biology of fruit maturation and ripening. *Annu. Rev. Plant Biol.* 52: 725–749. DOI:10.1146/annurev.arplant.52.1.725

- Gu, H., Zhu, S., Hou, X.W., Jia, Z.W., and Zhang, L.B. 2020. Effect of calcium chloride on internal browning and storage quality of pineapple after harvest. *Food Science*. 41(9): 161–167. DOI:10.7506/spkx1002-6630-20190425-326
- Gupta, K., Wani, S.H., Razzaq, A., Skalicky, M., Samantara, K., Gupta, S., Pandita, D., Goel, S., Grewal, S., Hejnak, V., Shiv, A., El-Sabrou, A.M., Elansary, H.O., Alaklabi, A. and Brestic, M. 2022. Absciscic acid: Role in fruit development and ripening. *Front. Plant Sci*. 13: 817500. DOI:10.3389/fpls.2022.817500.
- Hardenburg, R.E., Watada, A.E., and Wang, C.Y. 1986. The Commercial Storage of Fruits, Vegetables, and Florist and Nursery Stocks. United State Department of Agriculture. Agriculture Handbook No.66 (revised). USDA Washington D.C. 130 p.
- Haruenkit, R. and Thompson, A.K. 1993. Storage of fresh pineapple. In: Champ, B.R., Highley, E., and Johnson, G.I. (Ed.) Postharvest Handling of Tropical Fruits. ACIAR Proceeding No. 50. 422–426.
- Haruenkit, R. and Thompson, A.K. 1994. Storage of fresh pineapple. In: B.R. Champ, E. Highley and G.I. Johnson (Ed.) Postharvest Handling of Tropical Fruits. Proc. Intl. Conf. Chiang Mai, Thailand, July 1993, ACIAR Proc. 50: 422–426.
- Haruenkit, R. and Thompson, A.K. 1996. Effect of oxygen and carbondioxide levels on internal browning and composition of pineapple (Smooth Cayenne). In: Vijaysegaran, S., Pauziah, M., Mohamed, M.S., and Ahmad Tarmizi, S. (Ed.) Proceedings of International Conference on Tropical Fruits. MARDI. Serdang. 343–350.
- Hashim, N., Daniel I., Onwude, and Osman, M.S. 2018. Evaluation of chilling injury in mangoes using multispectral imaging. *Institute of Food Technologists*. 9 p.
- Hashim, N., Pflanz, M., Regen, C., Janius, R. B., Abdul Rahman, R., Osman, A., and Zude, M. 2013. An approach for monitoring the chilling injury appearance in bananas by means of backscattering imaging. *Journal of Food Engineering*. 116: 28–36.
- Hassan, A., Wills, R., Atan, R.Md., Othman, Z., Fatt, L.P., and Smith, M. 2010. Internal browning disorder in fresh pineapple. *Fresh Produce*. 4(1): 29-35.
- Herms, D.A. and Mattson, W.J. 1992. The dilemma of plants: to grow or defend. *Q Rev Biol*. 67: 283–335.
- Hewajulige, G.N., Wijeratnam, S.W., and Wijesundera, R.L.C. 2006. Pre-harvest application of calcium to control black heart disorder in Mauritius pineapple during low-temperature storage. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 86: 420–424.
- Hewajulige, G.N., Wijeratnam, S.W., Wijesundera, R.L.C, and Abeysekere, M. 2003. Fruit calcium concentration and chilling injury during low temperature storage of pineapple. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 83(14): 1451–1454.
- Hong, K., Xu, H., Wang, J., Zhang, L., Hu, H., Jia, Z., Gu, H., He, Q., and Gong, D. 2013. Quality changes and internal browning developments of summer pineapple fruit during storage at different temperatures. *Scientia Horticulturae*. 151: 68–74.

- Huang, X.J., Li, J., Shang, H.L., and Meng, X. 2015. Effect of methyl jasmonate on the anthocyanin content and antioxidant activity of blueberries during cold storage. *J. Sci. Food Agr.* 95: 337–343.
- Hui, Y.H., Chen, F., Nollet, L.M.L., Guiné, R.P.F., Martín-Belloso, O., Mínguez-Mosquera, M.I., Paliyath, G., Pessoa, F.L.P., Le Quéré, J.L., and Sidhu, J.S. 2010. Handbook of Fruit and Vegetable Flavors, Wiley Online Library: Hoboken, NJ, USA. Vol. 64.
- Hung, S.H., Yu, C.W., and Lin, C.H. Hydrogen peroxide functions as a stress signal in plants. *Bot Bull Acad Sin.* 46: 1–10.
- Husain, T., Fatima, A., Suhel, M., Singh, S., Sharma, A., Prasad, S.M., and Singh, V.P. 2020. A brief appraisal of ethylene signaling under abiotic stress in plants. *Plant Signaling & Behavior.* 15(9): 51–57.
- Isroi., Millati, R., Syamsiah, S., Niklasson, C., Cahyanto, M.N., Lundquist, K., and Taherzadeh, M.J. 2011. Biological pretreatment of lignocelluloses with white-rot fungi and its applications: A review. *BiorePerlakans.* 6(4): 5224–5259.
- Jain, A.K. and Farrokhnia, F. 1991. Unsupervised texture segmentation using Gabor filters. *Pattern Recognition*, 24: 1167–1186. DOI:10.1016/0031-3203(91)90143-S
- Jia, H.F., Chai, Y.M., Li, C.L., Lu, D., Luo, J.J., Qin, L., *et al.* 2011. Absciscic acid plays an important role in the regulation of strawberry fruit ripening. *Plant Physiol.* 157: 188–199. DOI:10.1104/pp.111.177311
- Jiang, Y., Joyce, D.C., and Macnish, A.J. 2000. Effect of absciscic acid on banana fruit ripening in relation to the role of ethylene. *J. Plant Growth Regulation.* 19: 106–111. DOI:10.1007/s003440000011
- Jiang, Y.M. and Li, Y.B. 2001. Effects of chitosan coating on postharvest life and quality of longan. *Food Chem.* 73: 139–143.
- Joas, J., Caro, Y., Ducamp, M.N. and Reynes, M. 2005. Postharvest control of pericarp browning of litchi fruits (*Litchi chinensis* Sonn cv. ‘Kwai Mi’) by treatment with kitosan and organic acids I. Effect of pH and pericarp dehydration. *Postharvest Biol. Technol.* 38: 128–136.
- Kader, A.A. 1999. Fruit Maturity, Ripening, and Quality Relationship. In *Acta Horticulturae*, International Society for Horticultural Science: Leuven, Belgium. 203–208.
- Knorr, D. 1991. Recovery and utilization of chitin and chitosan in food processing waste management. *Food Technology.* 45(1): 114–122.
- Ko, H.L., Campbell, P.R., Jobin-Decon, M.P., Eccleston, K.L., Graham, M.W., and Smith, M.K. 2006. The introduction of transgenes to control *internal browning* in pineapple (*Ananas comosus* L.) cv. Smooth Cayenne by microprojectile bombardment. *Euphytica.* 150: 387–395.
- Langfelder, K., Streibel, M., Jahn, B., Haase, G., and Brakhage, A.A. 2003. Biosynthesis of fungal melanins and their importance for human pathogenic fungi. *Fungal Genet Biol.* 38: 143–158.
- Lattanzio, V. 2013. Phenolic Compounds: Introduction. In: K.G. Ramawat, J.M. Merillon (Ed.), *Natural Products*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg. 1543–1580.

- Lattanzio, V., Cardinali, A., Di Venere, D., Linsalata, V., and Palmieri, S. 1994. Browning phenomena in stored artichoke (*Cynara scolymus* L.) heads: Enzymic or chemical reactions. *Food Chem.* 50: 1–7.
- Lattanzio, V., Kroon, P.A., Quideau, S., and Treutter, D. 2008. Plant phenolics secondary metabolites with diverse functions. In: Daayf, F. and Lattanzio, V. (Ed.) Recent advances in polyphenol research. Wiley-Blackwell, Oxford. 1: 1–35.
- Leng, P., Zhang, G., Li, X., Wang, L., and Zheng, Z. 2009. Cloning of 9-cisepoxycarotenoid dioxygenase (NCED) gene encoding a key enzyme during abscisic acid (ABA) biosynthesis and ABA-regulated ethylene production in detached young persimmon calyx. *Chinese Sci. Bull.* 54: 2830–2838. DOI:10. 1007/s11434-009-0486-487
- Li, D.D., Li, L., Luo, Z.S., Mou, W.S., Mao, L.C., and Ying, T.J. 2015. Comparative transcriptome analysis reveals the influence of abscisic acid on the metabolism of pigments, ascorbic acid and folic acid during strawberry fruit ripening. *PLoS ONE* 10: e0130037.
- Li, H., Jiang, Y., and Li, J. 2006. Use of GA₃ to inhibit flesh browning development of plum fruit during storage at low temperature. *Eur. J. Hortic. Sci.* 71: 231–235.
- Li, X.A., Li, M.L., Wang, J., Wang, L., Han, C., Jin, P., and Zheng, Y.H. 2018. Methyl jasmonate enhances wound-induced phenolic accumulation in pitaya fruit by regulating sugar content and energy status. *Postharvest Biol. Technol.* 137: 106–112.
- Li, Y., Chu, Z.N., Luo, J.Y., Zhou, Y.H., Cai, Y.J., Lu, Y.G., Xia, J.H., Kuang, H.H., Ye, Z.B., and Ouyang, B. 2018. The C2H2 zinc-finger protein SLZF3 regulates asa synthesis and salt tolerance by interacting with CSN5B. *Plant Biotechnol. J.* 16: 1201–1213.
- Liguori, G., Gaglio, R., Settanni, L., Inglese, P., D’Anna, F., and Miceli, A. 2021. Effect of opuntia ficus-indica mucilage edible coating in combination with ascorbic acid, on strawberry fruit quality during cold storage. *Journal of Food Quality*. 2021: 9976052. 8 p. DOI:10.1155/2021/9976052.
- Lim, W.H. 1972. Studies on *Thielaviopsis paradoxa* (De Saynes) Vohn Honh, a parasite of pineapple. *Malaysia Pineapple*. 2: 41–46.
- Lim, W.H. 1985. Diseases and disorders of pineapples in Peninsular Malaysia. MARDI Report No 97, MARDI, Serdang, Malaysia. 53 p.
- Liu, H., Jiang, W., Bi, Y., and Luo, Y. 2005. Postharvest BTH treatment induces resistance of peach (*Prunus persica* L. cv. Jiubao) fruit to infection by *Penicillium expansum* and enhances activity of fruit defense mechanisms. *Post-harvest Biology and Technology*. 35: 263–269.
- Liu, H.R., Meng, F.L., Miao, H.Y., Chen, S.S., Yin, T.T., Hu, S.S., Shao, Z.Y., Liu, Y.Y., Gao, L.X., Zhu, C.Q., *et al.* 2018. Effects of postharvest methyl jasmonate treatment on main health-promoting components and volatile organic compounds in cherry tomato fruits. *Food Chem.* 263: 194–200.
- Liu, J., He, C., Shen, F., Zhang, K., and Zhu, S. 2017. The Crown plays an important role in maintaining quality of harvested pineapple. *Postharvest Biology and Technology*. 124: 18–24.
- Liu, J., Lin, Y., Lin, H., Lin, M., and Fan, Z. 2021. Impacts of exogenous ROS scavenger ascorbic acid on the storability and quality attributes of fresh

- longan fruit. *Food Chemistry*. X 12: 100167. 8 p.
DOI:10.1016/j.fochx.2021.100167
- Long, J., Shelhamer, E., and Darrell, T. 2015. Fully convolutional networks for semantic segmentation. In *Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*. 3431–3440.
DOI:10.1109/CVPR.2015.7298965
- Lonita, E. 2013. Plant polyphenol oxidases. *Innovative Romanian food and Biotechnology*. 13: 1–10.
- Lu, X., Sun, D., Li, Y., Shi, W., Sun, G. 2011. Pre- and post- harvest salicylic acid treatments alleviate internal browning and maintain quality of winter pineapple fruit, *Sci. Hortic*. 130: 97–101.
DOI:10.1016/j.scienta.2011.06.017
- Luengwilai, K., Beckles, D.M., and Siriphanich, J. 2016. Postharvest internal browning of pineapple fruit originates at the phloem. *Journal of Plant Physiology*. 202: 121–133.
- Luengwilai, K., Beckles, D.M., Roessner, U., Dias, D.A., and Lui, V. 2018. Identification of physiological changes and key metabolites coincident with postharvest internal browning of pineapple (*Ananas comosus* L.) fruit. *Postharvest Biology and Technology*. 137: 56–65.
DOI:10.1016/j.postharvbio.2017.11.013
- Lyons, J.M. 1973. Chilling injury in plants. *Annual Review of Plant Physiology*. 24: 445–466.
- Maftoonazad, N. and Ramaswamy, H.S. 2005. Postharvest shelf-life extension of avocados using methyl cellulose-based coating. *Lwt*. 38: 617–624.
DOI:10.1016/j.lwt.2004.08.007.
- Magwaza, L.S., Mditshwa, A., Tesfay, S.Z., and Opara, U.L. 2017. An overview of preharvest factors affecting vitamin c content of citrus fruit. *Sci. Hortic*. 216: 12–21.
- Mansor, A.M., Lim, J.S., Ani, F.N., Hashim, H., and Ho, W.S. 2019. Characteristics of cellulose, hemicellulose and lignin of MD2 pineapple biomass. *Chemical Engineering Transactions*. 72: 79–84.
DOI:10.3303/CET1972014
- Mao, L.C., Pang, H.G., Wang, G.Z., and Zhu, C.G. 2007. Phospholipase D and lipoxygenase activity of cucumber fruit in response to chilling stress. *Postharvest Biology and Technology*. 44: 42–47.
- Matiacevich, S., Cofré, D.C., Silva, P., Enrione, J. and Osorio, F. 2013. Quality parameters of six cultivars of blueberry using computer vision. *International Journal of Food Science*. 419535. DOI:10.1155/2013/419535
- Mehrotra, R., Bhalothia, P., Bansal, P., Basantani, M.K., Bharti, V., and Mehrotra, S. 2014. Absciscic acid and abiotic stress tolerance - Different tiers of regulation. *J. Plant Physiol*. 171: 486–496.
DOI:10.1016/j.jplph.2013.12.007
- Milborrow, B.V. 2001. The pathway of biosynthesis of abscisic acid in vascular plants: A review of the present state of knowledge of ABA biosynthesis. *J. Exp. Bot*. 52: 1145–1164. DOI:10.1093/jexbot/52.359.1145.
- Miller, S.A., Smith, G.S., Boldingh, H.L., and Johansson, A. 1998. Effects of water stress on fruit quality attributes of kiwi fruit. *Annals of Botany*. 81: 73–81.

- Min, K., Chen, K., and Arora, R. A. 2020. Metabolomics study of ascorbic acid induced in situ freezing tolerance in spinach (*Spinacia oleracea* L.). *Plant Direct*. 4: e00202.
- Mirdehghan, S.H., Rahemi, M., Martí'nez-Romero, D., Guille'n, F., Valverde, J.M., Zapata, P.J., Serrano, M., and Valero, D. 2007. Reduction of pomegranate chilling injury during storage after heat treatment: Role of polyamines. *Postharvest Biol. Technol.* 44: 19–25.
- Miret, J.A. and Munne-Bosch, S. 2016. Absciscic acid and pyrabactin improve vitamin c contents in raspberries. *Food Chem.* 203: 216–223.
- Mittler, R. 2002. Oxidative stress, antioxidants and stress tolerance. *Trends in Plant Science*. 7: 405–410.
- Mohanty, Misra, M., Drzal, L.T. 2005. Natural fibers, biopolymers, and biocomposites: an introduction. In: *Natural Fibers, Biopolymers, and Biocomposites*. New York: CRC Press Taylor & Francis Group. 1–36.
- Mohd Ali, M., Hashim, N., Abd Aziz, S. and Lasekan, O. 2022. Shelf life prediction and kinetics of quality changes in pineapple (*Ananas comosus*) varieties at different storage temperatures. *Horticulturae*. 8: 992. DOI:10.3390/horticulturae8110992
- Mou, W., Li, D., Bu, J., Jiang, Y., Khan, Z.U., Luo, Z., Mao, L., and Ying, T. 2016. Comprehensive analysis of ABA effects on ethylene biosynthesis and signaling during tomato fruit ripening. *PLoS One*. 11: e0154072. DOI:10.1371/journal.pone.0154072
- Mustafa, M.A., Ali, A., Seymour, G., and Tucker, G. 2016. Enhancing the antioxidant content of carambola (*Averrhoa carambola*) during cold storage and methyl jasmonate treatments. *Postharvest Biol. Technol.* 118: 79–86.
- Nambara, E. and Marion-Poll, A. 2005. Absciscic acid biosynthesis and catabolism. *Annu. Rev. Plant Biol.* 56: 165–185. DOI:10.1146/annurev.arplant.56.0326040144046.
- Nanayakkara, K.P.G.A., Herath, H.M.W., and Senanayake, Y.D.A. 2005. Effects of pre-harvest treatments of potassium, post-harvest treatments of calcium, potassium, absciscic acid and light on reducing internal browning in pineapple (*Ananas comosus* L.) Merr. cv Mauritius) under cold-storage. Proc. IVth IS on Pineapple. Ed. A. Rebolledo Martinez. *Acta Hort.* 666, ISHS 2005.
- Naradisorn, M., Yuenyongsaen, K., and Setha, S. 2022. Preharvest calcium application maintains antioxidant capacity and postharvest quality of 'Phulae' pineapple. *Fruits, The International Journal of Tropical and Subtropical Horticulture*. 77(5): 1–8. DOI:10.17660/th2022/021
- Nazoori, F., Poraziz, S., Mirdehghan, S.H., Esmailizadeh, M., and Bahramabadi, E.Z. 2020. Improving shelf life of strawberry through application of sodium alginate and ascorbic acid coatings. *International Journal of Horticultural Science and Technology*. 7(3): 279–293.
- Nicolaus, R.A., Piattelli, M., and Fattorusso, E. 1964. The structure of melanins and melanogenesisIV: on some natural melanins. *Tetrahedron*. 20: 163–172.
- Nilprapruck, P., Pradisthakarn, N., Authanithe, F., and Keebjan, P. 2008. Effect of exogenous methyl jasmonate on chilling injury and quality of pineapple (*Ananas comosus* L.) cv. Pattavia. *Science and Technology Journal*. 2(2): 33–42. DOI:10.14456/SUSTJ.2008.9

- Nimitkeatkai, H., Srilaong, V. and Kanlayanarat, S. 2006. Effect of semi-active modified Atmosphere on internal browning of cold stored pineapple. Proc. IV th. IC on MQUIC. Eds. A.C. Purvis *et al.* *Acta Hort.* 712: 649–654.
- Ntagkas, N., Woltering, E., Bouras, S., de Vos, R.C.H., Dieleman, J.A., Nicole, C.C.S., Labrie, C., and Marcelis, L.F.M. 2019. Light-induced vitamin c accumulation in tomato fruits is independent of carbohydrate availability. *Plants*. 8: 86.
- Nugraheni, W.T., Ningrum, R.S., and Lindasari, W. 2018. Total fenolic content analysis in fresh and pineapple product (*Ananas comosus* (L.) Merr) from Kediri using uv-vis spectrophotometry. Prosiding Seminar Nasional Sains Teknologi dan Analisis ke-1. 206–211.
- Nukuntornprakit, Oa., Chanjiraku, K., and Doorn, W.Gv. 2015. Chilling injury in pineapple fruit: Fatty acid composition and antioxidant metabolism. *Postharvest Biology and Technology*. 99: 20–26.
- Nukuntornprakit, Oa., Luengwilai, K., and Siriphanich, J. 2020. Chilling injury in pineapple fruit is related to mitochondrial antioxidative metabolism. *Postharvest Biology and Technology*. 170 (111330). 10 p.
- Owen, S.J., Lafond, M.D., Bowen, P., Bogdanoff, C., Usher, K., and Abrams, S.R. 2009. Profiles of abscisic acid and its catabolites in developing Merlot grape (*Vitis vinifera*) berries. *Am. J. Enol. Viticulture*. 60: 277–284.
- Paliyath, G., Subramanian, J., and Phospholipase D. 2008. Inhibition technology for enhancing shelf life and quality. In Paliyath, G., Murr, D.P., Handa, A.K and Lurie, S. *Post-harvest Biology and Technology of Fruits, Vegetables, and Flowers*. 1: 195- 239.
- Pardede, E., 2017. Penanganan reaksi enzimatik pencoklatan pada buah dan sayur serta produk olahannya. *Visi: Majalah Ilmiah Universitas HKBP Nommensen*. 25(2): 3020–3032.
- Paull, R.E. 1993. Pineapple and Papaya. In: G. Seymour, J. Taylor and G. Tucker (Ed.) *Biochemistry of Fruit Ripening*, Chapman & Hall, London. 291–323.
- Paull, R.E. 1997. Pineapple. In: Mitra S (Ed.) *Postharvest Physiology and Storage of Tropical and Subtropical Fruits*. CAB International. Oxon. 123–143.
- Paull, R.E. and Chen, C.C. 2014. Pineapple: Postharvest Quality-Maintenance Guidelines. *UH-CTAHR. F_N-32* – May 2014. 6 p.
- Paull, R.E. and K.G. Rohrbach. 1982. Juice characteristics and internal atmosphere of waxed ‘Smooth Cayenne’ pineapple fruit. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 107: 448–452.
- Paull, R.E. and Rohrbach. 1985. Symptom development of chilling injury of pineapple fruit. *Journal of American Society of Horticulture Science*. 110: 100–105.
- Pedro, V.D.A., Cleber, B.D.S., Bernardo, B.D.S., and Vicente, P.R.D.S. 2007. Water requirements of pineapple crop grown in a tropical environment, Brazil. *Agricultural Water Management*. 88: 201–208.
- Phonyiam, O., Kongsuwan, A., and Setha, S. 2016. Effect of short-term anoxic treatment on internal browning and antioxidant ability in pineapple cv. Phulae. *International Food Research Journal*. 23(2): 521–527.
- Pinhero, R.G., Paliyath, G., Yada, R.Y., and Murr, D.P. 1998. Modulation of phospholipase D and lipoxygenase activities during chilling. Relation to

- chilling tolerance of maize seedlings. *Plant Physiology and Biochemistry*. 36: 213–224.
- Pitadeniya, D.S. and Lakshman, P.L.N. 2004. A study of pineapple internal browning disorder measures to reduce postharvest losses during transportation and storage. *Procidings of the Second Academic Sessions – 2004*. 192–195.
- Popescu, Mehrotra, R., Bhalothia, P., Bansal, P., Basantani, M.K., Bharti, V., and Mehrotra, S. 2014. Absciscic acid and abiotic stress tolerance—Different tiers of regulation. *J. Plant Physiol.* 171: 486–496.
- Popescu, P.-A., Palade, L.M., Nicolae, I.-C., Popa, E.E., Mitelut, A.C., Dr ̃aghici, M.C., Matei, F., and Popa, M.E. 2022. Chitosan-based edible coatings containing essential oils to preserve the shelf life and postharvest quality parameters of organic strawberries and apples during cold storage. *Foods*. 11: 3317. 18 p. DOI:10.3390/foods11213317
- Pott, D.M., Vallarino, J.G., and Osorio, S. 2020. Metabolite changes during postharvest storage: Effects on fruit quality traits. *Metabolites*. 10(5): 187 p. DOI:10.3390/metabo10050187
- Prajapat, P., Singh, D., Tripath, S., Patel, K., Abbas, H., and Patel, A. 2018. Effect of water stres on antioxidative enzymes and glycine betaine content in drought tolerant and drought susceptible cotton (*Gossypium hirsutum* L.) genotypes. *Indian Journal of Biochemistry and Biophysics*. 55: 198–204.
- Promyou, S., Kesta, S., and van Doorn, W. 2008. Hot water treatments delay cold-induced banana peel blackening. *Postharvest Biol. Technol.* 48: 132–138.
- Pusittigul, I., Kondod, S., and Siriphanich, J. 2012. Internal browning of pineapple (*Ananas comosus* L.) fruit and endogenous concentrations of abscisic acid and gibberellins during low temperature storage. *Scientia Horticulturae*. 146: 45–51.
- Quan, L.J., Zhang, B., Shi, W.W., and Li, H.Y. 2008. Hydrogen peroxide in plants: a versatile molecule of the reactive oxygen species network. *J Integr Plant Biol.* 50: 2–18.
- Queiroz, C., Lopes, M.L.M., Fialho, E., and Valenta-Mesquita, V.L. 2008. Polyphenol oxidase: Characteristics and mechanisms of browning control. *Food Reviews International*. 24: 361–375.
- Rasheed, A.A., Cobham, L., Zeighami, M., and Ong, S.P. 2012. Extraction of phenolic compounds from pineapple fruit. The 2nd International Symposium on Processing & Drying of Foods, Vegetables and Fruits (ISPDBVF 2012) University of Nottingham, Malaysia Campus, 18th – 19th June 2012. 8 p.
- Ratule, M.T., Osman, A., Ahmad, S.H., and Saari, N. 2006. Development of chilling injury of ‘Berangan’ banana (*Musa* cv Berangan (AAA) during storage at low temperature. *J. Food Agric. Environ.* 4: 128–134.
- Rohrbach, K.G. and R. E. Paull. 1982. Incidence and severity of chilling induced browning of waxed Smooth Cayenne pineapple. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 107: 453–457.
- Sah, S.K., Reddy, K.R., and Li, J. 2016. Absciscic acid and abiotic stress tolerance in crop plants. *Front. Plant Sci.* 7: 571. DOI:10.3389/fpls.2016.00571.
- Sala, J.M. 1998. Involvement of oxidative stress in chilling injury in cold-stored mandarin fruits. *Postharvest Biology and Technology*. 13: 255–261.

- Salazar, C., Hernandez, C., and Pino, M.T. 2015. Plant water stress: Associations between ethylene and abscisic acid response. *Chilean Journal of Agricultural Research* 75 (Suppl. 1) August 2015. 71–79.
- Saleem, M.S., Anjum, M.A., Naz, S., Ali, S., Hussain, S., Azam, M., Sardar, H., Khaliq, G., Canan, I., and Ejaz, S. 2021. Incorporation of ascorbic acid in chitosan-based edible coating improves postharvest quality and storability of strawberry fruits. *Int. J. Biol. Macromol.* 189: 160–169.
- Schwartz, S.H. and Zeveaart, J.A. 2010. Abscisic acid biosynthesis and metabolism. In *Plant hormones*. Dordrecht: Springer. 137–155.
- Seo, M. and Koshida, T. 2002. Complex regulation of ABA biosynthesis in plants. *Trends Plant Sci.* 7: 41–48. DOI:10.1016/s1360-1385(01)02187-2.
- Shan, C.J., Zhang, Y.Y., and Zhang, H.X. 2018. ABA participates in the regulation of vitamin C content in the fruit of strawberry using lanthanum nitrate. *Sci. Hortic.* 233: 455–459.
- Singh, A.S. 2014. Conducting Case Study Research in Non-Profit Organisations. *Qualitative Market Research: An International Journal*. 17: 77–84.
- Soares, A.G., Trugo, L.C., Botrel, N., and Souza, L.F.d.S. 2005. Reduction of internal browning of pineapple fruit (*Ananas comosus* L.) by preharvest soil application of potassium. *Postharvest Biology and Technology*. 35: 201–207.
- Song, L., Gao, H., Chen, H., Mao, J., Zhou, Y., Chen, W., and Jiang Y. 2009. Effects of short-term anoxic treatment on antioxidant ability and membrane integrity of postharvest kiwi fruit during storage. *Food Chemistry*. 114(4): 1216–1221.
- Souleymane, C., Salome, Y.S.E., Laurent, N.A., Samuel, K.O.K., and Hilaire, K.T. 2019. Effect of potassium fertilization for pineapple on internal browning of fruit in post-harvest conservation. *Journal of Agriculture and Crops*. 5(6): 100–108.
- Stewart, R.J., Sawyer, B.J.B., and Robinson, S.P. 2002. Blackheart development following chilling in fruit of susceptible and resistant pineapple cultivars. *Aust. J. Exp. Agric.* 42: 195–199. DOI:10.1071/EA01094.
- Stewart, R.J., Sawyer, B.J.B., Bucheli, C.S., and Robinson, S.P. 2001. Polyphenol oxidase is induced by chilling and wounding in pineapple. *Aust. J. Plant Physiol.* 28: 181–191.
- Sukporn, S., Kondo, S., and Setha, S. 2018. Application of pre- and postharvest salicylic acid on internal browning alleviation and postharvest quality of ‘Phulae’ pineapple fruit. *Acta Hortic.* 1206: 145–152.
- Sukwanit, S. and Teerachaichayut. 2013. Nondestructive prediction of internal browning in pineapple using transmittance short wavelength near infrared spectroscopy. Proc. Southeast Asia Symp. on Quality Mgt. Posthar. Sys. in conj. w/ Asia-Pacific Symp. Posthar. Quality Mgt. Root & Tuber Crops. Eds.: S. Kanlayanarat *et al.* *Acta Hort.* 989: 395–400.
- Sun Lin, P.X., Xia, P.X., Di, H.M., Zhang, J.Q., Zhang, C.L., and Zhang, F. 2020. Low-temperature storage after harvest retards the deterioration in the sensory quality, health-promoting compounds, and antioxidant capacity of baby mustard. *RSC Advances*. 10(60): 36495–36503. DOI:10.1039/d0ra07177c

- Sun, L., Zhang, M., Ren, J., Qi, J., Zhang, G., and Leng, P. 2010. Reciprocity between abscisic acid and ethylene at the onset of berry ripening and after harvest. *BMC Plant Biol.* 10: 257–267. DOI:10.1186/1471-2229-10-257.
- Sun, Y., Chen, P., Duan, C., Tao, P., Wang, Y., Ji, K., *et al.* 2013. Transcriptional regulation of genes encoding key enzymes of abscisic acid metabolism during melon (*Cucumis melo* L.) fruit development and ripening. *J. Plant Growth Regulation.* 32: 233–244. DOI:10.1007/s00344-012-9293-9295.
- Symons, G.M., Chua, Y.-J., Ross, J.J., Quittenden, L.J., Davies, N.W., and Reid, J.B. 2012. Hormonal changes during non-climacteric ripening in strawberry. *J. Exp. Bot.* 63: 4741–4750.
- Taiz, L., Zeiger, E., Møller, I.M., and Murphy, A. 2015. Plant physiology and development, Eds. 6. Sinauer, A.D (Ed.). Sunderland: Sinauer Associates Incorporated, U.S.A. 888 p.
- Tavakol, M. and Dennick, R. 2011. Making Sense of Cronbach's Alpha. *International journal of Medical Education.* 2: 53–55.
- Teisson, C., Combres, J.C., Martin-Prevel, P., and Marchal, J. 1979a. Internal browning of pineapple: III - Symptoms, IV - Biochemical approach. *Fruits.* 34: 315–318.
- Teisson, C., Lacuilhe, J.J., and Combres, J.C. 1979b. Internal browning of pineapples: V-Research of means of control. *Fruits.* 34: 399–411.
- Thalip, A.A., Tong, P.S., and Casey, Ng. 2015. The MD2 'Super Sweet' pineapple (*Ananas comosus*). *Utar Agriculture Science Journal.* 1(4): 14–17.
- Tisseau, C. 1972. Investigation on the internal browning of the pineapple. *Fruits.* 27: 603–612.
- UNECE. 2013. UNECE Standard on the Marketing and Commercial Quality Control of Pineapple: UNECE Standard FFV-49 Concerning the Marketing and Commercial Quality Control of Pineapple. UNECE Explanatory Brochure on the Standard for Pineapple. United Nations: New York and Geneva. 88 p.
- United States Department of Agriculture. 2008. The United States standards for grades of pineapples: Classification of Defects. United States Department of Agriculture. 1–8.
- Uriza-Ávila, D.E., Torres-Ávila, A., Aguilar-Ávila, J., Santoyo-Cortés, V.H., Zetina-Lezama, R. y., and Rebolledo-Martínez, A. 2018. La piña mexicana frente al reto de la innovación. Avances y retos en la gestión de la innovación. *Colección Trópico húmedo*. Chapingo, Estado de México: UACH. 479 p.
- Van Lelyveld, L.J. and Bruyn, J.A. 1976. Sugars and organic acids associated with black heart in Cayenne pineapple fruits. *Agrochemophysica.* 8: 65–68.
- Van Lelyveld, L.J. and Bruyn, J.A. 1977. Polyphenols, ascorbic acid and related enzymes activities associated with black heart in Cayenne pineapple fruits. *Agrochemophysica.* 9: 1–16.
- Vargas, A., Sanchez, M.R., Saenz, M.V., and Segura, A. 2011., and Balnco, F.A. Effect of natural flooding and postharvest gibberalic acid application on banana. *Fresh Produce.* 5(1): 56–60.

- Vargas, M. and Albors, A. 2006. Quality of cold-stored strawberries as affected by chitosan-oleic acid edible coatings. *Journal of Postharvest Biology and Technology*. 41: 164–171.
- Wang, C.Y. 1995. Effect of temperature preconditioning on catalase, peroxidase, and superoxide dismutase in chilled zucchini squash. *Postharvest Biology and Technology*. 5: 67–76.
- Wang, C.Y. and Baker, J.E. 1979. Effects of two free radical scavengers and intermittent warming on chilling injury and polar lipid composition of cucumbers and sweet pepper fruits. *Plant Cell Physiology*. 20: 243–251.
- Wang, H.B., Wu, Y., Yu, R.P., Wu, C.E., Fan, G.J., and Li, T.T. 2019. Effects of postharvest application of methyl jasmonate on physicochemical characteristics and antioxidant system of the blueberry fruit. *Sci. Hortic*. 258: 108785.
- Wang, Y., Wang, Y., Ji, K., Dai, S., Hu, Y., Sun, L., *et al.* 2013. The role of abscisic acid in regulating cucumber fruit development and ripening and its transcriptional regulation. *Plant Physiol. Biochem*. 64: 70–79. DOI:10.1016/j. plaphy.2012.12.015
- Widodo, S.E., Zulferiyenni, and Arista, R. 2013. Coating effect of chitosan and plastic wrapping on the shelf life and qualities of guava cv. ‘Mutiaru’ and ‘Crystal’. *J. ISSAAS*. 19(1), 1-7.
- Widodo, S.E., Zulferiyenni, and Novaliana, D. 2010. Effects of chitosan on the fruit qualities and shelf-life of ‘Muli’ and ‘Cavendish’ bananas. In Proc. 3rd National Seminar on Science and Technology, 18–19 October 2010, University of Lampung. Lampung, Indonesia.
- Wijeratnam, R.S.W., Abeyesekere, M., Hewajulige, I.G.N., and Suganthini, R. 1996. Studies on blackheart disorder, electrolyte leakage and endogenous calcium content in Kew and Mauritius variety pineapple grown in Sri Lanka. In: Vijayasegaran, S., Pauziah, M., Mohamed, M.S., Ahmad Tarmizi, S. Eds. Proceeding of an International Conference on Tropical Fruits. Kuala Lumpur. 423–430.
- Woolf, A.B. 1997. Reduction of chilling injury in stored ‘Hass’ avocado fruit by 38 °C water treatments. *Hort. Science*. 32: 1247–1251.
- Xiong, L., and Zhu, J.K. 2003. Regulation of abscisic acid biosynthesis. *Plant Physiol*. 133: 29–36. DOI:10.1104/pp.103.025395
- Youryon, P., Supapvanich, S., and Wongs-Aree, C. 2019. Internal browning alleviation of Queen pineapple cv. ‘Sawi’ under cold storage using salicylic acid or abscisic acid peduncle infiltration. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology Trust*. 9 p.
- Youryon, P., Wongs-Aree, C., McGlasson, W.B., Glahan, S. and Kanlayanarat, S. 2008. Internal browning occurrences of ‘Queen’ pineapple under various low temperatures. *Acta Hort.*, 804: 555–560.
- Yu, Y.W., Wang, J., Li, S.H., Kakan, X., Zhou, Y., Miao, Y., Wang, F.F., Qin, H., and Huang, R.F. 2019. Ascorbic acid integrates the antagonistic modulation of ethylene and abscisic acid in the accumulation of reactive oxygen species. *Plant Physiol*. 179: 1861–1875.
- Zaharah, S.S., Singh, Z., Symons, G.M., and Reid, J.B. 2012. Role of brassinosteroids, ethylene, abscisic acid, and indole-3-acetic acid in mango

- fruit ripening. *J. Plant Growth Regulation*. 31: 363–372.
DOI:10.1007/s00344-011-9245-9245
- Zaharah, S.S., Singh, Z., Symons, G.M., and Reid, J.B. 2013. Mode of action of abscisic acid in triggering ethylene biosynthesis and softening during ripening in mango fruit. *Postharvest Biol. Technol.* 75: 37–44.
DOI:10.1016/j.postharvbio.2012.07.009.
- Zhang, M., Leng, P., Zhang, G., and Li, X. 2009a. Cloning and functional analysis of 9-cis-epoxycarotenoid dioxygenase (NCED) genes encoding a key enzyme during abscisic acid biosynthesis from peach and grape fruits. *J. Plant Physiol.* 166: 1241–1252. DOI:10.1016/j.jplph.2009.01.013.
- Zhang, M., Yuan, B., and Leng, P. 2009b. The role of ABA in triggering ethylene biosynthesis and ripening of tomato fruit. *J. Exp. Bot.* 60: 1579–1588.
DOI:10.1093/jxb/erp026
- Zhang, Q., Liu, Y., He, C., and Zhu, S. 2015. Postharvest exogenous application of abscisic acid reduces internal browning in pineapple. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 63: 5313–5320.
- Zhang, Q., Rao, X., Zhang, L., He, C., Yang, F., and Zhu, S. 2016. Mechanism of internal browning of pineapple: The role of gibberellins catabolism gene (AcGA2ox) and Gas. *Scientific Reports*. 6(33344). 11 p.
- Zhang, Y.T., Ntagkas, N., Fanourakis, D., Tsaniklidis, G., Zhao, J.T., Cheng, R.F., Yang, Q.C., and Li, T. 2021. The role of light intensity in mediating ascorbic acid content during postharvest tomato ripening: A transcriptomic analysis. *Postharvest Biol. Technol.* 180: 111622.
- Zheng, X., Gong, M., Zhang, Q., Tan, H., Li, L., Tang, Y., Li, Z., Peng, M., and Deng, W. 2022. Metabolism and regulation of ascorbic acid in fruits. *Plants*. 11: 1602. DOI:10.3390/plants11121602
- Zifkin, M., Jin, A., Ozga, J.A., Zaharia, L.I., Schernthaner, J.P., Gesell, A., Abrams, S.R., Kennedy, J.A., and Constabel, C.P. 2012. Gene expression and metabolite profiling of developing highbush blueberry fruit indicates transcriptional regulation of flavonoid metabolism and activation of abscisic acid metabolism. *Plant Physiol.* 158: 200–224. DOI:10.1104/pp.111.180950
- Zulferiyenni and Widodo, S.E. 2010a. Technology of passive packaging for kitosan-coated 'Mutiar' guava and 'Muli' banana. Proceeding International Seminar on Horticulture to Support Food Security, Bandar Lampung, Indonesia, 22–23rd June 2010. 36–43.
- Zulferiyenni and Widodo, S.E. 2010b. Active packaging technologies for chitosan-coated 'Mutiar' guava and 'Muli' banana. Proceeding of the National Seminar on Agroindustrial Applied Technology 2010, Bandar Lampung, Indonesia 5-6th April 2010. 645–653.
- Zulferiyenni, Widodo, S.E., and Simatupang, Y. 2015. Applications of 1-methylcyclopropene and chitosan lengthened fruit shelf-life and maintained fruit qualities of 'Mutiar' guava fruits. *Journal of Food and Nutrition Sciences*. 3(1-2): 148–151.