

**PENGARUH UMUR PANEN DAN APLIKASI NANO-KALSIUM
PASCAPANEN TERHADAP KARAKTERISTIK FISIKOKIMIA
DAN TRANSLUSENSI BUAH NANAS (*Ananas comosus* L.) KLON MD2**

(Tesis)

Oleh

CAHYO LUQMANTORO

NPM 2224011011



**PROGRAM PASCASARJANA MAGISTER AGRONOMI
FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2024**

ABSTRAK

PENGARUH UMUR PANEN DAN APLIKASI NANO-KALSIUM PASCAPANEN TERHADAP KARAKTERISTIK FISIKOKIMIA DAN TRANSLUSENSI BUAH NANAS (*Ananas comosus* L.) KLON MD2

Oleh

CAHYO LUQMANTORO

Nanas (*Ananas comosus* L.) merupakan buah tropis yang populer dan memiliki nilai ekonomis yang tinggi. Kualitas buah nanas sangat dipengaruhi oleh berbagai faktor, salah satunya adalah umur panen. Nano-kalsium diharapkan dapat memperkuat dinding sel buah, sehingga meningkatkan umur simpan dan mengurangi kerusakan akibat proses fisiologis pascapanen. Translusensi pada buah nanas merupakan indikator kualitas yang penting, karena berkaitan dengan tingkat kematangan dan daya tarik konsumen. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh umur panen dan perendaman buah dalam nano-kalsium terhadap karakteristik fisikokimia dan terjadinya translusensi selama penyimpanan nanas klon MD2. Penelitian dilakukan di PT. GGP dari bulan April sampai dengan Agustus 2023. Penelitian ini menggunakan rancangan acak lengkap dengan 2 faktor yaitu umur buah setelah berbunga (137 HST, dan 146 HST) dan pemberian nanokalsium (kontrol tanpa nanokalsium, nanokalsium 20 mL/L, nanokalsium 40 mL/L, nanokalsium 60 mL/L) dengan 4 kali ulangan. Perlakuan umur panen 137 DAF (day after forcing) pada penyimpanan suhu ruang secara signifikan mengakibatkan rendahnya perubahan warna kulit buah, rendahnya intensitas warna merah dan hijau, rendahnya suhu kulit buah, total padatan terlarut, Rasio TSS/TA, beta karoten, *electrolyte leakage* dan laju respirasi, tetapi mengakibatkan tingginya asam tertitrasi buah, kandungan vitamin C, kalsium buah dan kadar air. Umur panen 137 DAF tidak mengakibatkan perbedaan susut bobot, warna daging buah, keparahan mold, kekerasan dan keparahan translusensi. Perlakuan nanocal 20 mL/L setelah panen pada penyimpanan suhu ruang secara signifikan mengakibatkan rendahnya susut bobot, akan tetapi mengakibatkan tingginya perubahan warna kulit buah, dan intensitas warna merah. Pemberian nano-kalsium 'nanocal' pascapanen tidak menunjukkan perbedaan terhadap peubah lainnya yang diamati dan juga keparahan translusensi. Interaksi perlakuan 137 DAF dan nanocal 20 mL/L secara signifikan mengakibatkan rendahnya susut bobot tetapi kombinasi perlakuan antara umur panen dan pemberian nano kalsium belum secara efektif mempengaruhi karakteristik fisikokimia buah nanas MD2 selama masa simpan.

Kata Kunci : Masa simpan, nanas MD2, nano kalsium, umur panen

ABSTRACT

THE EFFECT OF HARVEST AGE AND POST-HARVEST NANO-CALCIUM APPLICATION ON THE PHYSICOCHEMICAL PROPERTIES AND TRANSLUCENCE OF MD2 CLONE PINEAPPLE FRUIT

By

CAHYO LUQMANTORO

*Pineapple (*Ananas comosus* L.) is a popular tropical fruit with high economic value. The quality of pineapples is influenced by various factors, one of which is the harvest age. Nano-calcium is expected to strengthen the cell walls of the fruit, thus increasing shelf life and reducing damage due to post-harvest physiological processes. Translucency in pineapple is an important quality indicator as it relates to ripeness and consumer appeal. The aim of this study was to determine the effects of harvest age and soaking in nano-calcium on the physicochemical characteristics and the occurrence of translucency during storage of MD2 clone pineapples. The study was conducted at PT. GGP from April to August 2023. A completely randomized design was used with 2 factors: the age of the fruit after flowering (137 days after forcing [DAF] and 146 DAF) and the application of nano-calcium (control without nano-calcium, 20 mL/L nano-calcium, 40 mL/L nano-calcium, and 60 mL/L nano-calcium) with 4 repetitions. The treatment of harvesting at 137 DAF during room temperature storage significantly resulted in lower changes in skin color, lower intensity of red and green colors, lower skin temperature, total soluble solids, TSS/TA ratio, beta-carotene, electrolyte leakage, and respiration rate, but resulted in higher total acidity, vitamin C content, Ca mineral content, and water content. Harvesting at 137 DAF did not result in differences in weight loss, flesh color, mold severity, firmness, and translucency severity. The treatment with nano-calcium at 20 mL/L after harvest during room temperature storage significantly resulted in lower weight loss but caused a higher change in skin color and increased red color intensity. The application of post-harvest nano-calcium did not show differences in other observed variables or translucency severity. The interaction between the 137 DAF treatment and 20 mL/L nano-calcium significantly resulted in lower weight loss, but the combination of harvest age and nano-calcium application has not yet effectively influenced the physicochemical characteristics of MD2 pineapples during the storage period.*

Keywords: Harvest age, MD2 pineapple, nano-calcium, shelf life

**PENGARUH UMUR PANEN DAN APLIKASI NANO-KALSIUM
PASCAPANEN TERHADAP KARAKTERISTIK FISIKOKIMIA
DAN TRANSLUSENSI BUAH NANAS (*Ananas comosus* L.) KLON MD2**

Oleh

CAHYO LUQMANTORO

(Tesis)

**Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Mencapai Gelar
MAGISTER PERTANIAN**

Pada

**Program Studi Pascasarjana Magister Agronomi
Fakultas Pertanian Universitas Lampung**



**FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2024**

Judul : **PENGARUH UMUR PANEN DAN APLIKASI NANO-KALSIMUM PASCAPANEN TERHADAP KARAKTERISTIK FISIKOKIMIA DAN TRANSLUSENSI BUAH NANAS (*Ananas comosus* L.) KLON MD2**

Nama Mahasiswa : **Cahyo Luqmantoro**


Nomor Pokok Mahasiswa : **2224011011**

Program Studi : **Magister Agronomi**


Fakultas : **Pertanian**




Dr. Ir. Agus Karyanto, M.Sc.
NIP 19610820 198603 1 002


Ir. Sri Waluyo, S.T.P., M.Si., Ph.D., IPU
NIP 19720311 199703 1 002

2. Ketua Program Studi Magister Agronomi


Prof. Dr. Ir. Yusnita, M.Sc.
NIP 19610803 198603 2 002

MENGESAHKAN

I. Tim Penguji

Ketua

: **Prof. Dr. Ir. Soesiladi Esti Widodo, M.Sc.**

Sekretaris 1

: **Dr. Ir. Agus Karyanto, M.Sc.**

Sekretaris 2

: **Ir. Sri Waluyo, S.T.P., M.Si., Ph.D., IPU**

Penguji

Bukan Pembimbing

: **Prof. Dr. Ir. Kukuh Setiawan, M.Sc.**

Dekan Fakultas Pertanian



Dr. Ir. Kuswanta Futas Hidayat, M.P.

NIP 19641118 198902 1 002

3. Direktur Program Pascasarjana Universitas Lampung



Prof. Dr. Ir. Murhadi, M.Si.

NIP 19640326 198902 1 001

Tanggal Lulus Ujian Tesis: 8 Agustus 2024

SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini, menyatakan bahwa tesis saya yang berjudul **“Pengaruh Umur Panen dan Aplikasi Nano-Kalsium Pascapanen Terhadap Karakteristik Fisikokimia dan Translusensi Buah Nanas (*Ananas comosus* L.) Klon MD2”** merupakan hasil karya sendiri bukan hasil karya orang lain. Akan tetapi beberapa bagian tertentu yang mendukung dalam penulisan tesis ini saya kutip dari hasil karya orang lain dan semua tertuang dalam tesis ini telah mengikuti kaidah Penulisan Karya Ilmiah Universitas Lampung. Apabila di kemudian hari terbukti bahwa tesis ini merupakan hasil salinan atau dibuat oleh orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai dengan ketentuan akademik yang berlaku.

Bandar Lampung, 8 Agustus 2024

Penulis,



Cahyo Luqmantoro

NPM 2224011011

RIWAYAT HIDUP

Penulis dilahirkan di Ujung Pandang, pada tanggal 02 Juli 1993, sebagai anak ke dua dari empat bersaudara dari bapak Prawoto dan ibu Rusmiati. Penulis pernah menempuh Pendidikan pada SD Negeri Kraton 4, Kecamatan Maospati, Kabupaten Magetan, Jawa Timur diselesaikan tahun 2005, SMP Negeri 1 Maospati diselesaikan tahun 2008 dan SMA POMOSDA Kabupaten Nganjuk diselesaikan pada 2011 dan selama SMA aktif dalam organisasi siswa intra sekolah (OSIS) sebagai Koordinator Departemen. Pada tahun 2011 Penulis diterima sebagai mahasiswa Program Studi Agroekoteknologi, Fakultas Pertanian, Universitas Brawijaya Malang melalui jalur Seleksi Nasional Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SNMPTN) tertulis, Pada tahun 2013-2014 Penulis menjadi pengurus Himpunan Mahasiswa Budidaya Tanaman FP Universitas Brawijaya dan beberapa kepanitiaan kampus. Setelah lulus dari S1 Penulis mendapatkan pekerjaan di First Resources Group yang bergerak dalam bidang perkebunan kelapa sawit dengan posisi Asisten Afdeling 5 PT Karangjuang Hijau Lestari 2, Kalimantan Utara pada tahun 2015 sampai dengan tahun 2017. Selanjutnya setelah *resign* dari First Resources Group Penulis diterima sebagai karyawan di PT Great Giant Pineapple, Lampung pada tahun 2017 sampai dengan sekarang dengan posisi sebagai Peneliti Pertama Pascapanen buah nanas segar Departemen R&D Pineapple, Research & Development, PT Great Giant Pineapple. Pada April tahun 2021, Penulis memutuskan mendaftar dan diterima sebagai mahasiswa Program Studi Magister Agronomi, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung melalui jalur masuk tes tertulis. Selama masa studi Magister, Penulis berkesempatan untuk mengikuti konferensi Internasional *The 8th FiA Conference 2024 "Toward One Health Through Sustainable And Innovative Food Science And Technology"* pada tanggal 4 September 2024 di JIEXPO Kemayoran Jakarta.

PERSEMBAHAN

Dengan menyebut nama Allah Yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang, dengan ridho-Nya dan penuh rasa syukur, kupersembahkan karya ini untuk orang-orang yang senantiasa melantunkan namaku dalam setiap doa mereka.

Karya ini kupersembahkan kepada:

Kedua orang tuaku tercinta, istri dan anakku tersayang serta keluarga besarku yang telah mencurahkan ridho dan keikhlasannya bagiku untuk dapat menyelesaikan studi dan menulis karya ini dengan penuh dukungan.

Dosen Pembimbing yang telah sabar mengarahkan saya dalam melakukan penulisan karya ilmiah ini. Bapak dan Ibu Dosen pengajar yang dengan tulus dan ikhlas membagi ilmu, membimbing dan mendidik.

Sahabat dan teman seperjuangan yang selalu mendukung dalam suka dan duka pada studi dan perjalanan penulisan karya ini.

Serta Almamater Tercinta

Program Studi Magister Agronomi, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung

*“Bacalah dengan menyebut nama Tuhanmu Dia telah menciptakan manusia dari segumpal darah bacalah, dan Tuhanmulah yang Maha Mulia yang mengajar manusia dengan pena, Dia mengajarkan manusia apa yang tidak diketahuinya”
(QS Al-Alaq: 1-5)*

*“Niscaya Allah akan mengangkat (derajat orang-orang beriman di antaramu dan orang-orang yang diberi ilmu beberapa derajat”
(QS Al- Mujadalah:11)*

*“Maka nikmat Tuhanmu yang manakah yang kamu dustakan?”
(QS Ar-Rahman:13)*

SANWACANA

Puji dan syukur Penulis ucapkan kepada Allah *Subhanahu wa ta'ala* yang selalu mencurahkan berkah dan rahmat-Nya pada setiap hembusan nafas sehingga Penulis dapat menyelesaikan penulisan tesis yang berjudul “Pengaruh Umur Panen dan Aplikasi Nano-Kalsium Pascapanen terhadap Karakteristik Fisikokimia dan Translusensi Buah Nanas (*Ananas comosus* L.) Klon MD2”. Tesis ini merupakan salah satu syarat untuk memperoleh gelar Magister Pertanian (S2) di Program Studi Magister Agronomi, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung. Pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih yang setulus-tulusnya kepada:

1. Prof. Dr. Ir. Lusmeilia Afriani, D.E.A.IPM., selaku Rektor Universitas Lampung.
2. Dr. Ir. Kuswanta Futas Hidayat, M.P., selaku Dekan Fakultas Pertanian Universitas Lampung.
3. Prof. Dr. Ir. Murhadi, M.Si., selaku Direktur Program Pascasarjana Universitas Lampung.
4. Prof. Dr. Ir. Yusnita, M.Sc. selaku Ketua Program Studi Magister Agronomi, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung atas ilmu, motivasi, doa, serta dukungan terhadap penulis hingga tesis ini selesai.
5. Prof. Dr. Ir. Soesiladi Esti Widodo, M.Sc., selaku Dosen Pembimbing I atas ilmu, fasilitas penelitian, motivasi, saran, dan nasihat serta kesabaran yang besar dalam membimbing penulis hingga tesis ini selesai.
6. Dr. Ir. Agus Karyanto, M.Sc., selaku Dosen Pembimbing II atas ilmu, saran, nasihat, dan motivasi yang diberikan kepada Penulis hingga tesis ini selesai.
7. Ir. Sri Waluyo, S.T.P., M.Si., Ph.D., IPU., selaku Dosen Pembimbing III atas ilmu, saran, nasihat, dan motivasi yang diberikan hingga tesis ini selesai.

8. Prof. Dr. Ir. Kukuh Setiawan, M.Sc. selaku Dosen Penguji atas ilmu, saran, nasihat, dan motivasi yang diberikan kepada penulis.
9. Kedua orang tua tercinta ibu Rusmiati dan bapak Prawoto, kedua mertuaku tercinta bapak Suwono dan ibu Lilik, kakak adikku tercinta Ila Pramia A., Triami M.S., Moch. K. Hanif yang selalu memberikan doa, kasih sayang, secara moral dan material.
10. Istriku tercinta Galuh Novikah Widy Utami, S.P. dan anakku tersayang Maryam Naura Azzahra yang telah memberikan ridho, doa, kasih sayang dan motivasi serta dukungan secara moral dan material.
11. Keluarga besar, sahabat, dan teman, dan teman-teman seperjuangan Magister Agronomi 2022 (Yusuf Fadhilah Umar, Bayu Aji Nurrahmadhan, Cicilia Novian Puspitarini, Bayu Lesmana, Ika Maysaroh, Zakiah Selviani, Rahmat Hidayat, Rusdi Sion, Emir Matslan Lubis, Tuti Nurkhomariyah, Ita Rizkiana, Novi Kurnia, Naufal Dani Fauzan) atas kebersamaan, motivasi dan dukungan kepada Penulis.
12. Lembaga Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat, Universitas Lampung atas Hibah Penelitian dan Pengabdian DIPA BLU Universitas Lampung tahun 2024 melalui Skema Penelitian Pascasarjana.
13. PT Great Giant Pineapple atas dukungan fasilitas, forum diskusi dan tempat penelitian selama pelaksanaan dan proses penelitian.
14. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu per satu yang secara langsung telah membantu penulis baik selama pelaksanaan penelitian maupun dalam proses penyelesaian tesis ini.

Semoga Allah *Subhanahuwa ta'ala* membalas kebaikan semua pihak yang telah membantu dalam penyelesaian tesis ini dan semoga tesis ini dapat bermanfaat bagi yang membacanya.

Bandar Lampung, 8 Agustus 2024
Penulis,

Cahyo Luqmantoro

DAFTAR ISI

	Halaman
DAFTAR ISI	xii
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR TABEL	xviii
I . PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Tujuan Penelitian.....	6
1.3 Kerangka Teori.....	6
1.4 Hipotesis Penelitian.....	10
II . TINJAUAN PUSTAKA	11
2.1 Nanas Klon MD2	11
2.2 Karakteristik Fisikokimia Buah Nanas	14
2.2.1 Warna kulit buah.....	16
2.2.2 Respirasi buah.....	17
2.2.3 Metabolisme gula.....	17
2.2.4 Metabolisme asam organik	19
2.2.5 Dinding sel.....	21
2.2.6 Enzim	21
2.3 Translusensi Buah Nanas	23
2.4 Nano Kalsium.....	28
2.5 Panen dan Pascapanen Buah Nanas	31
2.5.1 Pembentukan buah	32
2.5.2 Kemasakan buah	33
2.5.3 Panen dan grading.....	35
2.5.4 Handling dan pengemasan	38
2.5.5 Penyimpanan dan retail	39

III . METODE PENELITIAN.....	41
3.1 Waktu dan Tempat	41
3.2 Bahan dan Alat	41
3.3 Metode.....	42
3.4 Pelaksanaan	43
3.5 Pengamatan	44
3.5.1 Susut bobot.....	45
3.5.2 Perubahan warna kulit buah.....	45
3.5.3 Perubahan warna daging buah	46
3.5.4 Persentase keriput kulit buah	46
3.5.5 Persentase serangan cendawan mold	47
3.5.6 Persentase pencoklatan kulit buah	48
3.5.7 Kekerasan buah.....	48
3.5.8 Tingkat keparahan translusensi.....	49
3.5.9 Suhu kulit buah (<i>thermal photo</i>).....	49
3.5.10 Total padatan terlarut (TSS) dan asam tertitrasi (TA)	50
3.5.11 Laju respirasi.....	51
3.5.12 Kandungan vitamin C	52
3.5.13 Kandungan beta karoten.....	52
3.5.14 <i>Electrolyte leakage</i>	53
3.5.15 Kandungan mineral buah (kalsium, magnesium dan kalium)	53
3.5.16 Kadar air buah.....	54
IV . HASIL DAN PEMBAHASAN	55
4.1 Hasil Pengamatan.....	55
4.1.1 Susut bobot.....	55
4.1.2 Perubahan warna kulit buah.....	57
4.1.3 Perubahan warna daging buah	60
4.1.4 Persentase keriput kulit buah	62
4.1.5 Persentase serangan cendawan mold	63
4.1.6 Persentase pencoklatan kulit buah	65
4.1.7 Kekerasan buah.....	66
4.1.8 Tingkat keparahan translusensi.....	68
4.1.9 Suhu kulit buah (<i>thermal photo</i>).....	69
4.1.10 Total padatan terlarut (TSS) dan asam tertitrasi (TA)	71
4.1.11 Laju respirasi.....	75

4.1.12 Kandungan vitamin C	76
4.1.13 Kandungan beta karoten.....	78
4.1.14 <i>Electrolyte leakage</i>	79
4.1.15 Kandungan mineral buah (kalsium, magnesium dan kalium)	81
4.1.16 Kadar air buah.....	84
4.2 Pembahasan Hasil Pengamatan	86
4.2.1 Pengaruh umur panen selama penyimpanan.....	86
4.2.2 Pengaruh nano kalsium pascapanen selama penyimpanan..	91
4.2.3 Interaksi umur panen dan nano-kalsium	94
V . KESIMPULAN DAN SARAN.....	97
5.1 Kesimpulan.....	97
5.2 Saran.....	97
DAFTAR PUSTAKA	99
LAMPIRAN	111
HASIL ANALISIS STATISTIKA	111

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Pengamatan kondisi dalam buah (a) foto daging buah mengapung horizontal, (b) foto daging buah non-horizontal, (c) data keparahan translusensi dan kandungan vitamin C	7
2. Kerangka pemikiran penelitian	9
3. Standar warna kulit buah nanas MD2	46
4. Katagori kejadian shell pitting kulit buah nanas MD2	47
5. Katagori serangan cendawan mold pada pangkal buah nanas MD2..	47
6. Katagori kejadian pencoklatan kulit buah nanas MD2	48
7. Pengaruh perbedaan umur panen (a) dan dosis nano kalsium setelah panen (b) terhadap rerata persentase susut bobot buah selama 15 hari penyimpanan suhu ruang. Garis vertikal adalah standar error rerata..	56
8. Pengaruh perbedaan umur panen (a) dan dosis nano kalsium setelah panen (b) terhadap rerata persentase perubahan warna kulit buah selama penyimpanan. Garis vertical adalah standar error rerata.....	57
9. Pengaruh perbedaan umur panen (a) dan dosis nano kalsium setelah panen (b) terhadap rerata intensitas warna merah kulit buah selama penyimpanan. Garis vertikal adalah standar error rerata.....	58
10. Pengaruh perbedaan umur panen (a) dan dosis nano kalsium setelah panen (b) terhadap rerata intensitas warna hijau kulit buah selama penyimpanan. Garis vertikal adalah standar error rerata.....	59
11. Pengaruh perbedaan umur panen (a) dan dosis nano kalsium setelah panen (b) terhadap rerata intensitas warna biru kulit buah selama penyimpanan. Garis vertikal adalah standar error rerata.....	59
12. Pengaruh perbedaan umur panen (a) dan dosis nano kalsium setelah panen (b) terhadap rerata intensitas warna biru kulit buah selama penyimpanan. Garis vertikal adalah standar error rerata.....	61
13. Pengaruh perbedaan umur panen (a) dan dosis nano kalsium setelah panen (b) terhadap rerata intensitas warna biru kulit buah selama penyimpanan. Garis vertikal adalah standar error rerata.....	62

14.	Pengaruh perbedaan umur panen (a) dan dosis nano kalsium setelah panen (b) terhadap rerata persentase cendawan mold buah selama penyimpanan suhu ruang. Garis vertikal adalah standar error rerata ...	64
15.	Pengaruh perbedaan umur panen (a) dan dosis nano kalsium setelah panen (b) terhadap rerata persentase pencoklatan kulit buah selama penyimpanan suhu ruang. Garis vertikal adalah standar error rerata ...	65
16.	Pengaruh perbedaan umur panen (a) dan dosis nano kalsium setelah panen (b) terhadap rerata kekerasan buah selama penyimpanan suhu ruang. Garis vertikal adalah standar error rerata	67
17.	Pengaruh perbedaan umur panen (a) dan dosis nano kalsium setelah panen (b) terhadap rerata tingkat keparahan translusensi buah selama penyimpanan suhu ruang. Garis vertikal adalah standar error rerata	68
18.	Pengaruh perbedaan umur panen (a) dan dosis nano kalsium setelah panen (b) terhadap rerata suhu kulit buah selama penyimpanan suhu ruang. Garis vertikal adalah standar error rerata	70
19.	Pengaruh perbedaan umur panen (a) dan dosis nano kalsium setelah panen (b) terhadap rerata total padatan terlarut buah selama penyimpanan suhu ruang. Garis vertikal adalah standar error rerata ...	71
20.	Pengaruh perbedaan umur panen (a) dan dosis nano kalsium setelah panen (b) terhadap rerata asam tertitrasi buah selama penyimpanan suhu ruang. Garis vertikal adalah standar error rerata.....	73
21.	Pengaruh perbedaan umur panen (a) dan dosis nano kalsium setelah panen (b) terhadap rerata rasio TSS/TA buah selama penyimpanan suhu ruang. Garis vertikal adalah standar error rerata.....	74
22.	Pengaruh perbedaan umur panen (a) dan dosis nano kalsium setelah panen (b) terhadap rerata laju respirasi buah selama penyimpanan suhu ruang. Garis vertikal adalah standar error rerata.....	75
23.	Pengaruh perbedaan umur panen (a) dan dosis nano kalsium setelah panen (b) terhadap rerata suhu ruangan selama penyimpanan suhu ruang. Garis vertikal adalah standar error rerata Error! Bookmark defined.	10t
24.	Pengaruh perbedaan umur panen (a) dan dosis nano kalsium setelah panen (b) terhadap rerata kelembaban relative ruangan selama penyimpanan suhu ruang. Garis vertikal adalah standar error rerata.. Error! Bookmark not defined.	or!
25.	Pengaruh perbedaan umur panen (a) dan dosis nano kalsium setelah panen (b) terhadap rerata kandungan vitamin C buah selama penyimpanan suhu ruang. Garis vertikal adalah standar error rerata ...	77

26.	Pengaruh perbedaan umur panen (a) dan dosis nano kalsium setelah panen (b) terhadap rerata kandungan beta karoten buah selama penyimpanan suhu ruang. Garis vertikal adalah standar error rerata	78
27.	Pengaruh perbedaan umur panen (a) dan dosis nano kalsium setelah panen (b) terhadap rerata <i>electrolyte leakage</i> buah selama penyimpanan suhu ruang. Garis vertikal adalah standar error rerata ...	80
28.	Pengaruh perbedaan umur panen (a) dan dosis nano kalsium setelah panen (b) terhadap rerata kandungan kalsium buah selama penyimpanan suhu ruang. Garis vertikal adalah standar error rerata ...	81
29.	Pengaruh perbedaan umur panen (a) dan dosis nano kalsium setelah panen (b) terhadap rerata kandungan magnesium buah selama penyimpanan suhu ruang. Garis vertikal adalah standar error rerata ...	82
30.	Pengaruh perbedaan umur panen (a) dan dosis nano kalsium setelah panen (b) terhadap rerata kandungan kalium buah selama penyimpanan suhu ruang. Garis vertikal adalah standar error rerata ...	83
31.	Pengaruh perbedaan umur panen (a) dan dosis nano kalsium setelah panen (b) terhadap rerata kadar air buah selama penyimpanan suhu ruang. Garis vertikal adalah standar error rerata	85
32.	Pengaruh umur panen terhadap karakteristik fisika buah selama penyimpanan suhu ruang	88
33.	Pengaruh nano kalsium terhadap karakteristik fisika buah selama penyimpanan suhu ruang	92
34.	Pengaruh umur panen terhadap karakteristik kimia buah selama penyimpanan suhu ruang	91
35.	Pengaruh nano kalsium terhadap karakteristik kimia buah selama penyimpanan suhu ruang.	94
36.	Perubahan warna kulit pada perbedaan umur panen 137 DAF (a) dan 147 DAF (b) pada 9 hari penyimpanan suhu ruang	114
37.	Contoh hasil foto kamera thermal image pada perbedaan umur panen 137 DAF (a) dan 146 DAF (b) saat penyimpanan umur 9 hari pada suhu ruang.	124

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Daftar kombinasi perlakuan dalam penelitian	42
2. Daftar peubah pengamatan penelitian.....	45
3. Pengaruh nano kalsium setelah panen terhadap rerata susut bobot buah pada umur panen berbeda selama 15 hari penyimpanan suhu ruang 112	
4. Pengaruh nano kalsium setelah panen terhadap rerata perubahan warna kulit buah pada umur panen berbeda selama 15 hari penyimpanan	112
5. Pengaruh nano kalsium setelah panen terhadap rerata intensitas warna merah kulit buah pada umur panen berbeda selama penyimpanan	114
6. Pengaruh nano kalsium setelah panen terhadap rerata intensitas warna hijau kulit buah pada umur panen berbeda selama penyimpanan	115
7. Pengaruh nano kalsium setelah panen terhadap rerata perubahan warna kulit buah pada umur panen berbeda selama penyimpanan suhu ruang	117
8. Pengaruh nano kalsium setelah panen terhadap rerata perubahan warna daging buah pada umur panen berbeda selama penyimpanan suhu ruang	118
9. Pengaruh nano kalsium setelah panen terhadap persentase keriput kulit buah pada umur panen berbeda selama penyimpanan suhu ruang	119
10. Pengaruh nano kalsium setelah panen terhadap rerata persentase mold buah pada umur panen berbeda selama penyimpanan suhu ruang	119
11. Pengaruh nano kalsium setelah panen terhadap rerata pencoklatan kulit buah pada umur panen berbeda selama penyimpanan suhu ruang 121	
12. Pengaruh nano kalsium setelah panen terhadap rerata kekerasan buah pada umur panen berbeda selama penyimpanan suhu ruang ...	121

13.	Pengaruh nano kalsium setelah panen terhadap rerata tingkat keparahan translusensi buah pada umur panen berbeda selama 15 hari penyimpanan suhu ruang	122
14.	Pengaruh nano kalsium setelah panen terhadap rerata suhu kulit buah pada umur panen berbeda selama 15 hari penyimpanan suhu ruang 123	
15.	Pengaruh nano kalsium setelah panen terhadap rerata total padatan terlarut pada umur panen berbeda selama penyimpanan suhu ruang 124	
16.	Pengaruh nano kalsium setelah panen terhadap rerata asam tertitrasi buah pada perbedaan umur panen selama penyimpanan suhu ruang	126
17.	Pengaruh nano kalsium setelah panen terhadap rerata rasio TSS/TA buah pada perbedaan umur panen selama penyimpanan ..	126
18.	Pengaruh nano kalsium setelah panen terhadap rerata laju respirasi buah pada perbedaan umur panen selama penyimpanan suhu ruang 125	
19.	Pengaruh nano kalsium terhadap rerata kandungan vitamin C buah pada perbedaan umur panen selama 15 hari penyimpanan suhu ruang 129	
20.	Pengaruh nano kalsium terhadap rerata kandungan beta karoten buah pada umur panen berbeda selama penyimpanan suhu ruang .	129
21.	Pengaruh nano kalsium setelah panen terhadap rerata <i>electrolyte leakage</i> pada perbedaan umur panen selama penyimpanan suhu ruang	130
22.	Pengaruh nano kalsium terhadap rerata kandungan mineral dalam buah pada perbedaan umur panen selama penyimpanan suhu ruang	131
23.	Pengaruh nano kalsium setelah panen terhadap rerata kadar air buah pada perbedaan umur panen selama penyimpanan suhu ruang	132

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia merupakan penghasil nanas terbesar ke-2 dunia setelah Kosta Rika. Pada tahun 2021, total produksi nanas dari Indonesia mencapai 2,88 juta ton. (FAOSTAT, 2022). Di Indonesia, total area perkebunan nanas mencapai lebih dari 35 ribu hektar yang tersebar di beberapa provinsi sebagai sentra produsen nanas. Provinsi Lampung, Jawa Timur, Jawa Barat, dan Riau adalah beberapa provinsi dengan area perkebunan nanas terbesar di Indonesia.

Di Provinsi Lampung terdapat perusahaan perkebunan nanas terbesar yang bernama PT Great Giant Pineapple yang memproduksi nanas dengan area perkebunan dan ekspor buah nanas ke banyak negara di dunia. Pada beberapa perkebunan nanas di PT Great Giant Pineapple (GGP) di Indonesia, *translucent*, busuk, memar, jamur *peduncle*, dan sebagainya adalah cacat yang menyebabkan penurunan kualitas buah secara keseluruhan dan menyebabkan klaim penjualan. Total klaim atas total penjualan nanas segar ekspor GGP di tahun 2020 mencapai 5,2% untuk tujuan Timur Tengah dan 22,9% untuk tujuan Asia (Loekito *et al.*, 2022).

Translucent adalah gangguan pada daging buah nanas yang penyebabnya tidak diketahui secara pasti. Hal ini ditandai dengan penyerapan air dan porositas rendah pada daging buah, dengan potensi kehilangan sekitar 10% untuk buah segar (Paull dan Chen, 2015; Paull dan Chen, 2018). Gangguan fisiologis ini telah diselidiki dan dideskripsikan pada nanas sejak lama, berfokus pada penyebab dan kemungkinan penanganan alternatif (Paull dan Chen, 2015; Paull dan Chen, 2018).

Penelitian yang dilakukan oleh Chen *et al.* (2010) mengindikasikan bahwa suhu, akumulasi gula, dan kadar kalsium sebagai faktor penting yang berhubungan dengan translusensi. Translusensi buah nanas diduga terkait dengan peningkatan hidrolase dinding sel dan permeabilitas membran (Soler, 1993 dan 1994).

Konsentrasi kalsium yang tinggi dapat mengurangi sekresi atau aktivitas hidrolase dinding sel dan permeabilitas membran, namun demikian konsentrasi kalsium dan kapasitas pengikatan kation divalen dinding sel pada daging buah nanas menurun seiring perkembangan buah (Chen, 1999; Huber, 2011).

Translusensi buah nanas dapat meningkat dengan bertambahnya bobot buah (Bowden, 1969). Hal tersebut terjadi diduga karena penurunan konsentrasi kalsium, karena buah yang lebih besar membutuhkan lebih banyak kalsium untuk menstabilkan membran sel. Ketika buah tidak dapat memperoleh kalsium yang cukup, membran sel dapat kehilangan integritasnya dan menyebabkan kebocoran serta translusensi (Chen, 1999; Silva *et al.*, 2006).

Umur panen yang ideal akan menghasilkan buah dengan tingkat kematangan (*maturity*) yang optimal. Buah yang terlalu muda cenderung keras, asam, dan kurang manis, sedangkan buah yang terlalu masak mudah busuk dan kehilangan kandungan nutrisinya. Selama pemasakan, buah mengalami perubahan biokimia yang kompleks. Proses ini meliputi perubahan kadar gula, asam organik, dan senyawa volatil yang mempengaruhi rasa dan aroma buah. Buah yang dipanen pada umur yang tidak tepat lebih rentan terhadap serangan penyakit dan gangguan fisiologis selama penyimpanan.

Jaringan bagian dasar daging buah menunjukkan translusensi terlebih dahulu. Jaringan ini memiliki kandungan gula yang lebih tinggi dari pada jaringan antar-buah dan daging di bagian atas, yang menunjukkan bahwa translusensi berhubungan dengan kematangan (*ripening*). Ruang antar-sel berisi cairan dalam daging buah nanas yang *translucent* memiliki tekanan osmotik yang lebih tinggi pada apoplast dibandingkan dengan buah normal (tanpa *translucent*). Kandungan gula apoplast meningkat diiringi dengan pemasakan buah (Chen, 2010) dan dapat

menarik lebih banyak lagi air ke dalam apoplas. Menurut (Chen, 1999) aktivitas *cell-wall invertase* (CWI) pada daging buah nanas meningkat pesat dalam 4 minggu sebelum panen dan segera diikuti oleh gejala pertama translusensi. Korelasi positif juga terdapat antara aktivitas CWI dan tingkat keparahan translusensi yang menunjukkan bahwa CWI pada daging buah nanas dapat menjadi faktor positif terjadinya translusensi.

Gangguan fisiologis pada buah 'Smooth Cayenne' yang disebut sebagai buah *green-ripe* ditandai dengan daging buah yang *translucent* dan kulit yang berwarna hijau (Py *et al.*, 1987). Gangguan *green-ripe* umumnya dimulai pada bagian buah yang terkena sinar matahari dan kejadiannya menurun dengan naungan. Persentase buah *green-ripe* menurun dari 10% tanpa naungan menjadi 7% dengan naungan parsial dan 4% saat buah dinaungi seluruhnya (Teisson dan Combres, 1979). Insiden gangguan ini tidak dapat diprediksi dan dasar fisiologisnya tidak sepenuhnya dipahami. Buah menjadi lebih *translucent* saat buah masak dan rongga udara di dalam daging buah terisi dengan sari buah. Translusensi dianggap sebagai gangguan sebelum panen karena buah lebih rapuh dan mudah memar daripada buah buram. Beberapa data menunjukkan bahwa translusensi berkurang dengan pasokan kalsium (Silva *et al.*, 2006) dan semprotan GA3 pasca-pembungaan (Villalobos *et al.*, 2013).

Nanas dilaporkan memiliki kebutuhan kalsium yang sangat rendah. Tingkat Ca tanah dilaporkan 100–150 mg/kg dan untuk nanas MD2 tingkat kecukupan hara pada daun adalah 4,4 g/kg (Jhonny, 2018). Kalsium diperlukan selama perkembangan buah untuk meningkatkan kualitas buah dan mencegah kerusakan buah, dan pemberian kalsium pada daun diperlukan untuk mengatasi masalah ini. Ada beberapa sumber kalsium di pasaran seperti kalsium nitrat, kalsium boron, kalsium klorida dan kalsium kelat 9,5% (dengan EDTA) yang dapat disemprotkan pada tanaman nanas. Namun laporan tentang pengaruh kalsium dari berbagai sumber terhadap kualitas buah nanas masih terbatas, terutama penggunaannya pada nanas MD2 pada fase perkembangan buah dan pada iklim tropis lembap.

Perlakuan penyimpanan pascapanen buah nanas merupakan upaya untuk mengendalikan pembusukan buah dengan menunda kerusakan karakter fisikokimianya, terutama selama waktu ekspor yang panjang (Hassan *et al.*, 2011; Paull dan Chen, 2018; Cano-Reinoso *et al.*, 2022). Selama penyimpanan dingin, buah dipengaruhi oleh gangguan fisiologis seperti translusensi, kerusakan dingin, dan pencokelatan internal (De Freitas dan Nassur, 2017; Paull dan Chen, 2018). Kondisi ini sangat merugikan umur simpan buah. Oleh karena itu, beberapa teknik pascapanen telah dikembangkan untuk memperpanjang penyimpanan produk hortikultura pada suhu dingin dan mengurangi efek gangguan fisiologis (De Freitas dan Nassur, 2017; Noichinda *et al.*, 2017). Salah satu teknik tersebut adalah pencelupan buah dengan menggunakan sumber mineral kalsium.

Perlakuan kalsium selama pascapanen terbukti dapat mempertahankan kualitas buah yang optimal dan memperpanjang masa penyimpanan dingin buah. Selain itu, kalsium menghambat pelunakan buah dengan meningkatkan kekuatan dinding sel, yang mengurangi kerusakan sel dalam fenomena normal yang terjadi selama pembusukan pascapanen. Di sisi lain, aplikasi dengan mineral ini menunjukkan dampak positif pada rasa nutrisi, kapasitas antioksidan, dan pengurangan pencokelatan internal (Hocking *et al.*, 2016; De Freitas dan Nassur, 2017). Misalnya, perlakuan kalsium pascapanen nanas telah memberikan hasil yang signifikan dalam pengurangan pencokelatan internal, aktivitas enzim oksidatif seperti *fenilalanin amonialisase* (PAL) dan *polifenol oksidase* (PPO), serta peningkatan kandungan total fenol (Youryon dan Wongsaree, 2015; Youryon *et al.*, 2018).

Penerapan teknik canggih baru-baru ini, seperti nanoteknologi, dalam pascapanen buah dan sayuran perlu diselidiki lebih lanjut. Teknik nano, yang bekerja untuk meningkatkan sifat fisik dan kimia material, juga memiliki sifat anti-jamur dan anti-virus yang signifikan (Babalar *et al.*, 2007). Lebih jauh lagi, di bidang pertanian untuk produk hortikultura, nanoteknologi memberikan efek positif terhadap pengawetan buah dan sayuran selama penyimpanan, sehingga

meningkatkan umur simpannya. Nanoteknologi berarti teknologi dalam hal atom untuk mencapai sesuatu yang bermanfaat melalui manipulasi. Faktanya, teknologi baru yang kuat menyebabkan sebagian besar perubahan di bidang pertanian seperti peningkatan kualitas pangan (Lo'ay dan Ameer, 2019).

Pupuk nano dapat memberikan banyak keuntungan dibandingkan dengan pupuk konvensional. Senyawa dalam skala nano menghasilkan peningkatan rasio permukaan terhadap volume, yang biasanya terjadi dengan memperkecil ukuran partikel, sehingga meningkatkan aktivitas partikel dibandingkan dengan senyawa lain dan meningkatkan efektivitasnya (Miller dan Senjen, 2008). Oleh karena itu, pupuk nano dapat mempengaruhi tanaman karena kemampuannya terserap lebih tinggi, lebih banyak penetrasi ke dalam tanaman, dan transportasi yang lebih besar di dalam sel tanaman dengan cepat (Benzon *et al.*, 2015) yang menghasilkan efisiensi penggunaan nutrisi.

Selain itu, pupuk nano dibutuhkan dalam jumlah yang lebih sedikit daripada pupuk kimia konvensional (Rameshaiah *et al.*, 2015) karena hanya sebagian kecil pupuk yang sampai ke tanaman dengan menggunakan pupuk konvensional, jauh lebih sedikit dari konsentrasi minimum yang dibutuhkan tanaman. Jadi, pemupukan harus sering dilakukan sampai titik sasaran. Selain itu, biaya dapat dikurangi jika pupuk nano digunakan sebagai pengganti pupuk konvensional.

Berdasarkan latar belakang di atas penelitian ini dilakukan untuk menjawab perumusan masalah sebagai berikut.

1. Apakah umur panen buah mempengaruhi karakteristik fisikokimia dan kejadian translusensi buah nanas kultivar MD2?
2. Apakah perendaman dengan nano-kalsium mempengaruhi karakteristik fisikokimia dan kejadian translusensi buah nanas kultivar MD2?
3. Apakah kombinasi antara umur panen yang tepat dan pemberian nano-kalsium pascapanen mempengaruhi karakteristik fisikokimia dan kejadian translusensi buah nanas kultivar MD2?

1.2 Tujuan Penelitian

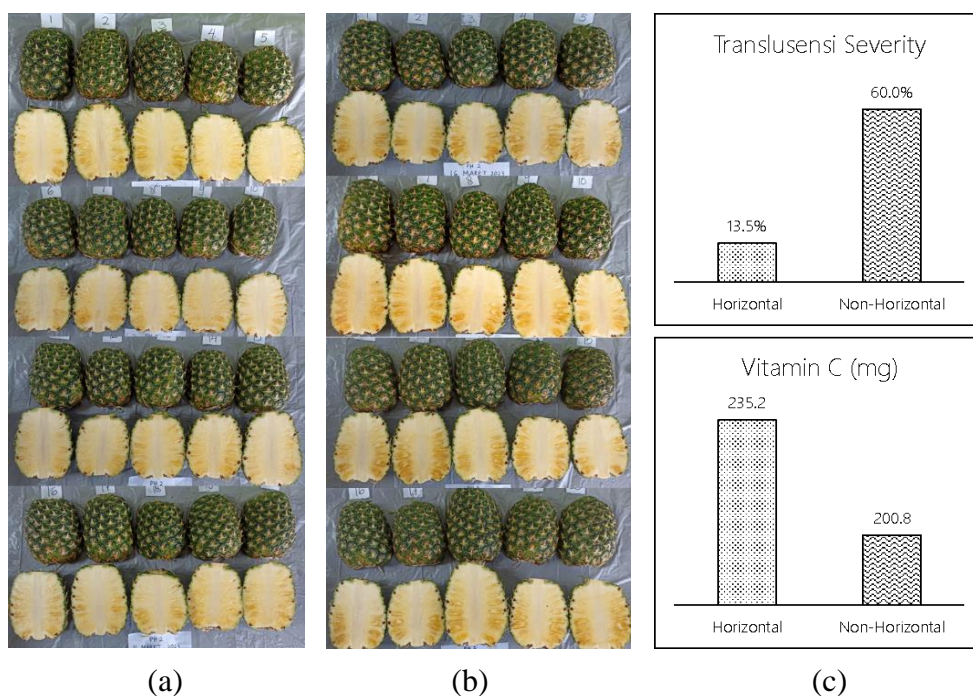
Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Mengetahui pengaruh umur panen buah terhadap karakteristik fisikokimia dan kejadian translusensi selama masa simpan buah nanas kultivar MD2.
2. Mengetahui pengaruh perendaman buah dengan nano-kalsium terhadap karakteristik fisiokimia dan kejadian translusensi selama masa simpan buah nanas kultivar MD2.
3. Mengetahui pengaruh kombinasi umur panen dan perendaman buah dengan nano-kalsium terhadap karakteristik fisiokimia dan kejadian translusensi selama masa simpan buah nanas kultivar MD2.

1.3 Kerangka Teori

Translusensi adalah kelainan fisiologis buah yang ditandai dengan daging buah transparan dan rongga udara pada daging buah yang berisi air dengan porositas rendah (Sideris dan Young, 1950). Penampilan buah *translucent* dimulai dari pangkal buah kemudian buah bening bertambah hingga ke ujung buah (Chen dan Robert, 2000). *Translucent* adalah gangguan pada daging buah nanas yang penyebabnya tidak diketahui secara pasti. Hal ini ditandai dengan penyerapan air dan porositas rendah pada daging buah, dengan potensi kehilangan sekitar 10% untuk buah segar.

Translusensi buah nanas diduga terkait dengan peningkatan hidrolase dinding sel dan permeabilitas membran (Soler, 1993 dan 1994). Konsentrasi kalsium yang tinggi dapat mengurangi sekresi atau aktivitas hidrolase dinding sel dan permeabilitas membran. Namun demikian, konsentrasi kalsium dan kapasitas pengikatan kation divalen dinding sel pada daging buah nanas menurun seiring perkembangan buah (Chen, 1999; Huber, 2011). Translusensi tidak dapat dideteksi dengan gejala eksternal meskipun buah terasa lebih berat dan tidak mengapung di tangki air jika translusensi parah. Sudut di mana buah mengapung juga merupakan indikasi tingkat translusensi (Gambar 1). Sinar-X dapat digunakan untuk menilai tingkat keparahan translucent (Haff *et al.*, 2006).



Gambar 1. Pengamatan kondisi dalam buah (a) foto daging buah mengapung horizontal, (b) foto daging buah non-horizontal, (c) data keparahan translusensi dan kandungan vitamin C. (sumber: Penulis)

Umur panen yang ideal akan menghasilkan buah dengan tingkat kematangan (*maturity*) yang optimal. Buah yang terlalu muda cenderung keras, asam, dan kurang manis, sedangkan buah yang terlalu masak mudah busuk dan kehilangan kandungan nutrisinya. Selama pemasakan, buah mengalami perubahan biokimia yang kompleks. Proses ini meliputi perubahan kadar gula, asam organik, dan senyawa volatil yang mempengaruhi rasa dan aroma buah. Buah yang dipanen pada umur yang tidak tepat lebih rentan terhadap serangan penyakit dan gangguan fisiologis selama penyimpanan.

Tingkat asam askorbat buah saat panen berhubungan negatif dengan intensitas gejala pencokelatan internal yang terkait dengan kerusakan pascapanen (Paull dan Rohrbach, 1982). Translusensi dimulai sebelum panen dan berlanjut setelah panen (Paull dan Rohrbach, 1982; Paull dan Reyes, 1996). Buah dengan peningkatan translusensi akan meningkatkan pH, rasio padatan terlarut total/asam, dan bobot buah, serta menurunkan total ester dan asam. Penurunan asam organik selama pemasakan lebih terlihat pada buah yang translusensi

(Sideris dan Young, 1950) dibandingkan pada buah yang tidak *translucent*, sementara gula menunjukkan sedikit perubahan. Buah *translucent* biasanya memiliki rasio kandungan padatan terlarut (SSC): asam total (TA) yang lebih tinggi daripada buah normal karena keasaman yang lebih rendah (Sideris dan Young, 1950; Bowden, 1969).

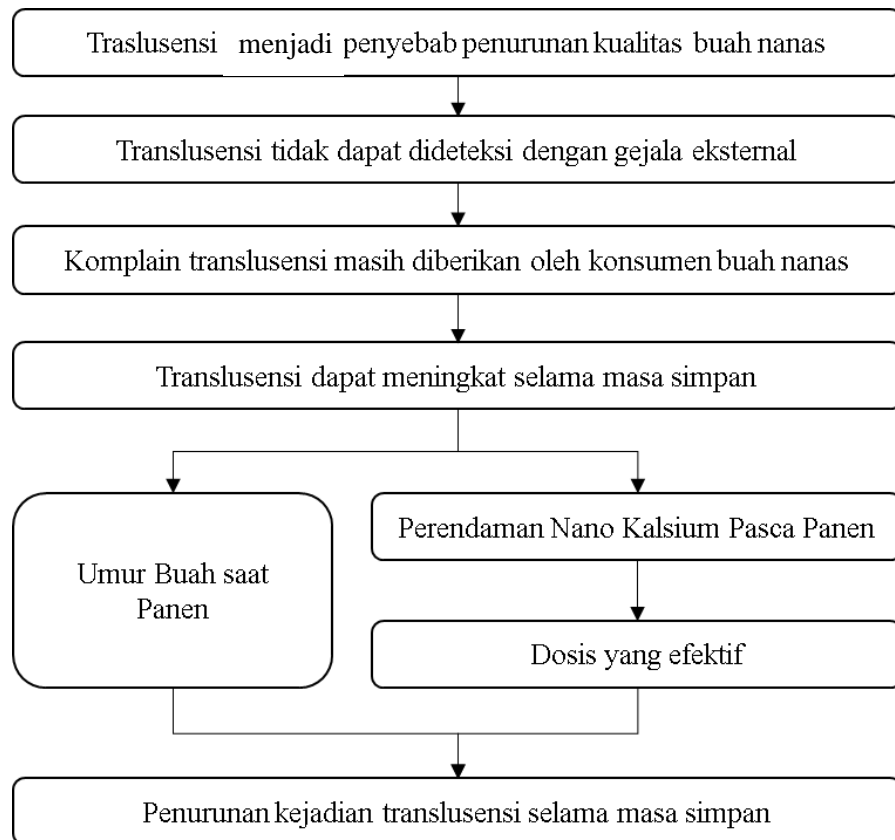
Senyawa dalam skala nano menghasilkan peningkatan rasio permukaan terhadap volume, yang biasanya terjadi dengan memperkecil ukuran partikel, sehingga meningkatkan aktivitas partikel dibandingkan dengan senyawa lain dan meningkatkan efektivitasnya (Miller dan Senjen, 2008). Oleh karena itu, pupuk partikel nano dapat mempengaruhi tanaman karena kemampuannya terserap lebih tinggi, lebih banyak penetrasi ke dalam tanaman, dan transportasi yang lebih besar di dalam sel tanaman dengan cepat (Benzon *et al.*, 2015) yang menghasilkan efisiensi penggunaan nutrisi.

Pupuk nano dibutuhkan dalam jumlah yang lebih sedikit daripada pupuk kimia konvensional (Rameshaiah *et al.*, 2015) karena hanya sebagian kecil pupuk yang sampai ke tanaman dengan menggunakan pupuk konvensional, jauh lebih sedikit dari konsentrasi minimum yang dibutuhkan tanaman. Jadi, pemupukan harus sering dilakukan sampai titik sasaran.

Penerapan teknik canggih, seperti nanoteknologi, dalam pascapanen buah dan sayuran perlu diselidiki lebih lanjut. Teknik nano, yang bekerja untuk meningkatkan sifat fisik dan kimia material, juga memiliki sifat anti-jamur dan anti-virus yang signifikan. CaNPs (*Calcium Nano Particles*) dan SA (*Salisilic Acid*) membatasi hidrolisis dinding sel dengan memodulasi *cellulase* (CEL), *polygalacturonase* (PG), dan *pectinase* (PT) (Srivastava dan Dwivedi, 2000). Peningkatan kekerasan buah sepanjang umur simpan dikaitkan dengan peningkatan SA endogen yang lebih cepat dalam jaringan buah (Champa *et al.*, 2015). Hal ini juga mungkin disebabkan oleh meningkatnya penghambatan enzim-enzim yang berperan dalam degradasi dinding sel, seperti *cellulase* (CEL), *polygalacturonase* (PG), dan *xylanase* (XYL), yang semuanya berhubungan

dengan kekerasan buah (Pasanphan *et al.*, 2010). Keberadaan asam salisilat membantu menjaga kadar air dalam jaringan buah mentimun selama masa penyimpanan dengan menghambat aktivitas *cell wall-degrading enzymes* (CWEAs) (Tareen *et al.*, 2012).

Kerangka pemikiran penelitian ini dapat dirangkum sebagaimana ditampilkan pada gambar dibawah ini (Gambar 2).



Gambar 2. Kerangka pemikiran penelitian

1.4 Hipotesis Penelitian

Hipotesis dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Buah nanas klon MD2 yang dipanen pada 137 hari setelah *forcing* memiliki karakteristik fisikokimia yang lebih baik dan kejadian translusensi yang lebih rendah dibandingkan dengan yang dipanen pada 143 hari setelah *forcing*.
2. Perendaman buah dengan nano-kalsium berdampak positif pada karakteristik fisikokimia dan mengurangi kejadian translusensi buah nanas klon MD2 selama penyimpanan.
3. Interaksi antara umur panen dan aplikasi nano-kalsium pascapanen akan memberikan pengaruh yang signifikan terhadap karakteristik fisikokimia dan translusensi buah nanas klon MD2.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Nanas Klon MD2

Nanas [*Ananas comosus* (L.) Merr.] adalah satu-satunya spesies dari famili *Bromeliaceae* yang dibudidayakan secara komersial karena buahnya yang sangat berharga dan bergizi. Produksinya ada di daerah tropis dan subtropis. Setelah pisang dan jeruk, nanas adalah buah terpenting ke tiga di dunia. Asia (Thailand, Filipina, India, dan Cina), Amerika Selatan (Kosta Rika dan Brasil) dan Afrika (Nigeria dan Afrika Selatan) adalah produsen utama nanas. Jenis nanas yang dibudidayakan disebut "klon" karena diperbanyak secara vegetatif. Banyak klon yang telah diberi nama dan dikelompokkan ke dalam 4–5 kelompok, termasuk 'Cayenne', 'Spanish', 'Queen', dan 'Pernambuco'. Nanas, yang merupakan buah non-musiman, harus segera dipanen setelah siap dimakan.

Perubahan warna kulit dasar buah dari hijau menjadi kuning, kandungan padatan terlarut minimal 12% dan keasaman hingga 1% memastikan rasa dasar diterima konsumen. Dinikmati segar, dikeringkan, dikalengkan, dijus dan dimaniskan, buah tropis yang lezat ini mengandung serat, bromelin, mangan, tembaga, vitamin C, vitamin B kompleks, kalsium, seng, dan β -karoten. Dagingnya bebas kolesterol dan lemak serta rendah sodium dan kalori. Nanas adalah satu-satunya sumber bromelin, kompleks enzim proteolitik yang digunakan di pasar farmasi, pembuatan bir, dan sebagai pelunak daging. Mengonsumsi buah ini menawarkan manfaat besar karena mendukung sistem kekebalan tubuh, meningkatkan pencernaan protein, meredakan gejala flu, dan memperkuat tulang. Berkat sifat nutrisi, tekstur, dan kesegarannya, penggunaannya cocok di semua tahap kehidupan.

Pineapple Research Institute (PRI) di Hawaii berusaha mengembangkan kultivar hibrida yang dapat melampaui 'Smooth Cayenne' dalam berbagai aspek. Namun, meskipun beberapa hibrida terbaik telah dikembangkan, mereka tetap gagal dalam evaluasi akhir karena adanya beberapa kelemahan fatal dan kecenderungan 'konservatisme Cayenne' yang menghalangi inovasi kultivar yang efektif dalam industri yang selama bertahun-tahun telah disesuaikan dengan 'Smooth Cayenne'.

Ketika PRI ditutup pada tahun 1975, hibrida-hibrida tersebut diserahkan kepada perusahaan-perusahaan pendiri. Salah satu hibrida, yang dikenal sebagai MD2, dipilih pada tahun 1973, tetapi baru dipasarkan oleh Del Monte pada tahun 1996 dengan nama komersial 'Del Monte Gold' (Bartholomew *et al.*, 2010). Kultivar ini sangat diterima oleh konsumen di Amerika Utara dan Eropa sehingga meningkatkan pasar nanas segar secara global. Sayangnya, kesuksesan ini tidak mendorong lebih banyak upaya diversifikasi. MD2 menggantikan 'Smooth Cayenne' sebagai kultivar utama untuk buah segar; namun, tidak ada satu pun hibrida menarik dari program pemuliaan berikutnya (di Brasil, Malaysia, Martinique, dan Pantai Gading) yang diuji dengan serius untuk menantang dominasi baru ini. Sebaliknya, MD2 bahkan menggantikan kultivar lokal di pasar negara-negara tropis, mengurangi keragaman nanas global.

Produksi komersial nanas dimulai di Hawaii pada akhir abad ke-19 dengan menggunakan kultivar 'Smooth Cayenne' terutama untuk buah segar dan pengalengan. Pada tahun yang sama, transportasi laut berpendingin berkembang dan mengurangi pentingnya kedekatan dengan pasar; Hawaii, Pantai Gading, dan Taiwan mengalihkan sebagian produksinya ke pasar buah segar, masing-masing mengekspor ke pasar Amerika Utara, Eropa, dan Jepang. Filipina sangat memperluas produksinya pada tahun 1970-an, mengekspor produk kalengan dan buah-buahan segar ke Jepang (Py *et al.*, 1987).

Saat ini pasar produk kalengan tetap penting tetapi dengan diperkenalkannya kultivar MD2, buah segar telah menempati posisi terdepan di pasar internasional,

dan terus berkembang sejak saat itu. Namun, kecenderungan yang mengesankan ini tidak boleh membuat kita lupa bahwa dua per tiga nanas yang diproduksi di dunia dikonsumsi sebagai buah segar di negara penghasilnya.

Kultivar MD2, Golden Ripe, atau Gold Extra Sweet dihasilkan dari persilangan antara '58-1184' (♀) dan '59-443' yang dibuat pada tahun 1970, oleh *Pineapple Research Institute of Hawaii* (PRI). Awalnya dipilih pada tahun 1973 sebagai '73-114', keturunan dari MD2 termasuk 'Smooth Cayenne', 'Smooth Guatemalan', 'Ruby', 'Queen' dan 'Pérola' (Williams dan Fleisch, 1993). MD2 pertama kali dipasarkan dalam skala besar oleh Del Monte Inc. pada tahun 1996 dan dalam sepuluh tahun merevolusi pasar buah segar nanas (Bartholomew, 2009). Sebagai indikasi keberhasilannya yang besar, MD2 telah menjadi standar pasar untuk pasar baru. Baik kultivar dan manajemen rantai pasoknya strategis untuk mencapai kesuksesan tersebut (Vagneron *et al.*, 2009).

MD2 mewakili lebih dari 80% nanas segar yang diperdagangkan di seluruh dunia. Ini menghasilkan buah berukuran sedang hingga besar (1,3–2,5 kg), silindris, berbahu persegi, dengan buah kecil pipih yang besar, dan kulit kuning jingga mengkilap. Daging buahnya berwarna kuning, rasa manis, padat, dan sedikit berserat. Buah ini memiliki kandungan gula cukup tinggi (15-17%) dan sangat tinggi asam askorbat tetapi lebih rendah total keasaman. Daunnya memiliki ujung berduri dan berwarna hijau pekat tanpa antosianin. MD2 bisa sama produktifnya dengan 'Smooth Cayenne'.

Buah MD2 sangat tahan terhadap pencokelatan internal, tetapi sangat rentan terhadap bakteri busuk jantung (*Dickeya chrysanthemi*), *Phytophthora cinnamomi* (Sanewski *et al.*, 2016) dan inisiasi pembungaan alami. Pengenalan MD2 telah berdampak, tidak hanya pada volume perdagangan, tetapi juga pada geografi produksi dan komersialisasi nanas. Pada tahun 1996, impor nanas segar, terutama dari 'Smooth Cayenne', dipimpin oleh Uni Eropa dan Amerika Serikat dengan masing-masing 283.258 dan 135.255 ton. Pasar sebelumnya didominasi

oleh Pantai Gading, dengan pangsa sekitar 55%. Kosta Rika berada di urutan kedua, dengan 22%, sedangkan pangsa pasar AS adalah 63%.

Didukung dengan baik oleh organisasi logistik dan komersial yang kuat, pengenalan MD2 oleh Del Monte di Kosta Rika langsung sukses. Lebih teratur dan lebih sesuai dengan ekspektasi konsumen, berkat keasamannya yang lebih rendah, dijual dengan harga yang jauh lebih tinggi daripada 'Smooth Cayenne'. Keberhasilan ini segera menarik banyak penanam baru, pertama di Kosta Rika. Pasar buah segar AS segera bereaksi, dan volumenya meningkat empat kali lipat dalam satu dekade, melebihi 500.000 ton sebelum tahun 2005.

Setelah pengenalan MD2, pasar dunia nanas segar telah mengalami pertumbuhan yang kuat selama dua dekade, dengan mengorbankan sektor nanas kalengan. Secara global, hasilnya terlihat positif, namun sebagian besar indikator menunjukkan hilangnya momentum. Selain itu, gambaran keseluruhannya adalah kerapuhan, terkait dengan peningkatan konsentrasi dan spesialisasi geografis, kurangnya inovasi dan diferensiasi produk, khususnya dalam hal kualitas dan keanekaragaman varietas, dan paparan bahaya lingkungan. Konsentrasi geografis dan keseragaman genetik membuat industri nanas sangat rentan terhadap bahaya lingkungan dan biologi, terutama ketika percepatan perubahan global meningkatkan frekuensi dan pentingnya variasi iklim. Industri nanas secara serius tidak mempertimbangkan baik risiko fitosanitari (misalnya dampak potensial dari penyakit parah seperti fusarium Brasil di bawah standar budidaya saat ini) maupun permintaan konsumen akan produksi organik, dampak lingkungan yang lebih rendah, dan tanggung jawab sosial.

2.2 Karakteristik Fisikokimia Buah Nanas

Studi perkembangan buah (Sideris dan Young, 1950) telah menunjukkan bahwa bobot buah dan komponennya meningkat secara sigmoid terus menerus setelah pembungaan dimulai (Singleton, 1965; Gortner *et al.*, 1967; Teisson dan Combres, 1979). Massa buah meningkat sekitar 20 kali lipat dari saat

pembungaan hingga pemasakan (Singleton, 1965; Teisson dan Pineau, 1982). Nanas merupakan buah majemuk yang dikenal sebagai sinkarpik dengan bentuk menyerupai silinder. Pada bagian atas buah, tumbuh daun-daun pendek yang tersusun melingkar, membentuk struktur yang disebut *crown* (Sunarjono, 2008). Buah majemuk adalah buah yang terbentuk dari beberapa bakal buah yang berasal dari bunga majemuk. Ukuran atau bobot akhir buah dipengaruhi oleh jumlah bakal buah, jumlah sel bakal buah individu, dan ukuran sel, dengan jumlah sel bakal buah yang menjadi faktor paling signifikan (Li *et al.*, 2010).

Kandungan bahan kering buah dapat bervariasi dengan kondisi yang berlaku selama perkembangan buah, sedangkan tajuk mungkin secara tidak langsung mempengaruhi pertumbuhan buah (Py *et al.*, 1987; Chen, 1999; Liu *et al.*, 2017). Pertumbuhan tajuk tanaman dimulai 30-45 hari setelah pertumbuhan buah dimulai dan sangat dipengaruhi oleh lingkungan tumbuh dan pemupukan (Py *et al.*, 1987). Pencabutan tajuk tanaman pada awal perkembangan buah pada beberapa penelitian memang meningkatkan bobot buah. Ukuran tajuk tanaman dapat dikurangi dengan zat pengatur tumbuh *kloroflurenol* bila diterapkan pada tahap pembungaan (Dalldorf, 1981; Py *et al.*, 1987).

NAA dan 3-CPA juga telah digunakan untuk mengurangi ukuran *crown* (Bartholomew dan Criley, 1983). Penelitian awal juga menunjukkan bahwa tajuk mungkin memainkan peran dalam pengembangan buah *translucent* (Paull dan Reyes, 1996; Chen, 1999). Ukuran *crown* adalah karakter estetika yang menjadi perhatian ekonomi untuk pengepakan, dan umumnya merupakan bagian dari standar penilaian. Ukuran tajuk dapat sangat bervariasi dan variasinya belum dipelajari dengan cermat tetapi ternyata tidak berkorelasi tinggi dengan ukuran buah. Fotoasimilasi *crown* tampaknya berasal dari fotosintesisnya sendiri (Hepton, 2003).

Sebagian besar studi fisiologi buah yang dirujuk di bawah ini adalah dengan 'Smooth Cayenne'. Tahap setengah kuning dianggap masak dan mendekati bobot buah maksimal jika masih pada tanaman (Wardlaw, 1937). Perkembangan buah

dan perubahan komposisi selama pertumbuhan telah ditinjau (Gortner *et al.*, 1967; Bartholomew dan Paull, 1986; Py *et al.*, 1987; Paull, 1993). Perubahan komposisi daging yang paling mencolok terjadi 3-7 minggu sebelum tahap warna kulit setengah kuning (Dull *et al.*, 1967; Tay, 1977; Teisson dan Pineau, 1982; Chen dan Paull, 1995). Sesaat sebelum tahap setengah kuning, translusensi buah dapat mulai berkembang hingga pemasakan, dengan perkembangan ini berlanjut setelah panen pada beberapa buah. Hilangnya integritas membran terkait penuaan menyebabkan daging yang basah dan tembus air yang cenderung lebih lembut daripada buah yang tidak *translucent*.

Gortner dan Leeper (1969) menunjukkan bahwa amida, nitril, ester sederhana dan garam asam fenoksi, senyawa naftalena, asam fenil dan asam *trikloro fenoksiasetat* dapat menunda penuaan buah. Asam naftalenaasetat dan asam fenoksiasetat adalah yang paling efektif dalam menunda menguningnya kulit bila diterapkan sebagai celup pascapanen singkat (Gortner, 1969). Zat kimia ini menyebabkan sedikit perubahan pada kandungan padatan terlarut (SSC), keasaman, pigmen karotenoid atau kandungan vitamin C, tetapi bersifat fitotoksik bagi *crown*. Tidak ada perubahan nyata pada tekstur buah selama pemasakan (*ripening*). Kehilangan air dapat menyebabkan penurunan kekerasan buah.

2.2.1 Warna kulit buah

Ada sedikit perubahan warna pada klorofil kulit buah sampai 10-15 hari terakhir sebelum kulit buah penuh menguning, setelah itu menurun (Gortner, 1965; Py *et al.*, 1987; Abdullah *et al.*, 2002). Pigmen karotenoid kulit buah juga tetap cukup konstan selama fase terakhir ini, sedikit menurun sebelum naik lagi saat buah menua. Karotenoid daging meningkat selama 10 hari terakhir sebelum tahap masak penuh (Gortner, 1965; Teisson dan Pineau, 1982; Py *et al.*, 1987). Penurunan serupa pada klorofil kulit buah dan peningkatan karotenoid daging terjadi pada buah yang dipanen (Dull *et al.*, 1967; Chen dan Paull, 1995).

Klorofil pada daun tajuk dan kulit buah juga menurun selama penyimpanan pascapanen (Abdullah *et al.*, 2002).

2.2.2 Respirasi buah

Buah nanas non-klimakterik menghasilkan sekitar 22 mL/kg/jam CO₂ pada suhu 23°C tanpa perubahan pernafasan yang dramatis selama pemasakan (Dull *et al.*, 1967). Laju respirasi buah meningkat sedangkan *crown* menurun selama penyimpanan pada suhu lingkungan (Abdullah *et al.*, 2002; Shiomi *et al.*, 2002). Produksi etilen dalam buah meningkat selama pemasakan (Shiomi *et al.*, 2002), tetapi tidak memiliki puncak yang jelas (Dull *et al.*, 1967; Shiomi *et al.*, 2002). Cazzonelli *et al.* (1998) melaporkan bahwa mRNA ACC-sintase dan ACC-oksidas terakumulasi selama pemasakan buah nanas, tetapi peran etilen selama pemasakan buah nanas masih belum jelas. Aplikasi etilen eksogen hanya merangsang laju respirasi ketika masih ada klorofil yang tersisa di kulit, dan juga dapat membuka stomata daun *crown*.

2.2.3 Metabolisme gula

Kandungan gula memainkan peran penting dalam karakteristik rasa dan penilaian komersial kualitas buah nanas (Py *et al.*, 1987). *Total soluble solid* (TSS), terutama gula, sering digunakan sebagai indikator kemasakan dan kualitas buah (Paull, 1993). TSS dapat bervariasi sebesar 40 g/l dari jaringan basal yang lebih masak dan lebih manis hingga ujung *crown* buah (Sideris dan Young, 1950), dan menurun hanya sedikit setelah panen (Paull dan Rohrbach, 1982; Chen dan Paull, 1995). Pati tidak terakumulasi saat buah masak, meskipun tinggi selama awal pertumbuhan buah, yang dapat menjelaskan tidak adanya perubahan dramatis pascapanen pada TSS.

Gula utama dalam buah masak adalah sukrosa, glukosa dan fruktosa (Gawler, 1962) dan konsentrasi sukrosa puncak dicapai pada tahap kuning penuh kemudian menurun. Gula buah terus meningkat hingga penuaan, kecuali buah

dipanen (Kelly, 1911). Chen (1999) menunjukkan bahwa total TSS rendah selama pertumbuhan buah dan sebagian besar terdiri dari glukosa dan fruktosa. Konsentrasi glukosa sedikit lebih tinggi daripada fruktosa selama awal perkembangan buah. Sukrosa terakumulasi dengan cepat 6 minggu sebelum panen komersial (Lodh *et al.*, 1972; Py *et al.*, 1987), dan akhirnya melebihi konsentrasi glukosa dan fruktosa (Chen, 1999). Fruktosa dan glukosa terus meningkat pascapanen (Singleton dan Gortner, 1965; Tay, 1977). Selain itu, akumulasi sukrosa lebih banyak di dalam buah daripada di dalam jaringan antar-buah hingga 2 minggu terakhir perkembangan buah, ketika tingkat akumulasi sukrosa di dalam jaringan antar-buah lebih besar daripada di dalam buah (Chen, 1999).

Enzim *sucrose synthase* (SS), *sucrose phosphate synthase* (SPS), dan invertase diduga mengendalikan akumulasi gula pada jaringan buah. Aktivitas SS tinggi pada buah nanas yang lebih muda dan menurun ke tingkat yang sangat rendah 6 minggu sebelum panen, sedangkan aktivitas SPS relatif rendah dan konstan selama perkembangan buah ketika tindakan pencegahan diambil untuk menghindari aktivitas invertase selama pengambilan sampel (Chen, 1999).

Aktivitas invertase asam, netral, dan dinding sel tinggi pada buah yang lebih muda dan menurun ke tingkat rendah 6 minggu sebelum panen ketika sukrosa mulai terakumulasi. Aktivitas *cell-wall invertase* (CWI) memang meningkat 4 minggu sebelum panen, terutama pada jaringan buah, sedangkan aktivitas *neutral invertase* (NI) dan *acid invertase* (AI) tetap rendah, bersamaan dengan akumulasi sukrosa. Hal ini menunjukkan bahwa enzim mungkin merupakan prasyarat untuk akumulasi sukrosa dalam daging buah nanas. Volume cairan apoplas dan konsentrasi gula meningkat seiring dengan pemasakan buah (Chen, 2010). Aktivitas CWI yang tinggi, mendukung pembongkaran floem apoplas, mungkin berperan dalam akumulasi gula dalam daging buah nanas pada tahap akhir perkembangan buah (Chen, 1999).

2.2.4 Metabolisme asam organik

Nilai pH jus nanas mengalami penurunan dari 3,9 menjadi 3,7 seiring dengan mendekati tahap kuning penuh (Teisson dan Pineau, 1982; Saradhuldhath dan Paull, 2007), dan kemudian meningkat saat buah semakin tua, sementara keasaman yang dapat dititrasi memperlihatkan pola yang berlawanan (Teisson dan Pineau, 1982; Chen dan Paull, 1995; Saradhuldhath dan Paull, 2007). Keasaman daging buah menunjukkan peningkatan dari tengah daging buah (4 meq/100 mL) ke bagian luar dekat lapisan kulit hingga mencapai 10 meq/100 mL. Sebagian besar asam non volatil, sekitar 65-70%, terdiri dari asam sitrat dan malat yang ditemukan dalam bentuk asam organik bebas (Chan *et al.*, 1973; Teisson dan Combres, 1979). Proporsi asam malat dalam nanas berkisar antara 18% hingga 30% dari total asam, tanpa perbedaan signifikan antara musim dingin dan musim panas (Chan *et al.*, 1973), meskipun dapat berfluktuasi hingga tiga kali lipat tergantung kondisi cuaca (Gortner, 1963).

Akumulasi asam pada buah sangat dipengaruhi oleh varietas atau kultivar (Saradhuldhath dan Paull, 2007), serta kondisi suhu selama tahap awal pertumbuhan, intensitas radiasi di fase berikutnya, dan curah hujan sepanjang siklus pertumbuhan (Dorey *et al.*, 2016). Klon nanas untuk pengalengan, seperti 'Smooth Cayenne' yang memiliki kandungan asam tinggi, menunjukkan peningkatan keasaman secara bertahap hingga mencapai puncak satu minggu sebelum panen. Sebaliknya, kultivar dengan kandungan asam rendah mulai mengalami peningkatan keasaman sekitar 6 hingga 8 minggu setelah berbunga, mencapai puncaknya pada minggu ke-15 setelah berbunga, dan kemudian mengalami penurunan tajam dalam dua minggu terakhir menjelang kemasakan buah (Saradhuldhath dan Paull, 2007).

Peningkatan keasaman buah yang dapat dititrasi berkaitan dengan perubahan kadar asam sitrat pada kedua klon nanas. Kandungan asam sitrat, yang menyumbang 28-66% dari total asam, lebih rendah pada buah 'Smooth Cayenne' yang dipanen di musim panas dan cenderung bervariasi terutama sesuai dengan

tahap perkembangan buah (Gortner, 1963; Singleton dan Gortner, 1965). Akumulasi asam malat terjadi saat intensitas sinar matahari dan tingkat evapotranspirasi rendah (Singleton dan Gortner, 1965). Tidak ada perubahan signifikan pada kadar asam malat menjelang panen, dan perubahan kandungan kalium dalam buah menunjukkan korelasi yang signifikan dengan tingkat keasaman. Aktivitas sitrat sintase (EC 4.1.3.7) meningkat satu minggu sebelum panen, bertepatan dengan puncak kadar asam sitrat pada klon berkadar asam tinggi. Sebaliknya, aktivitas *aconitase* (EC 4.2.1.3) meningkat tepat sebelum panen, bersamaan dengan penurunan keasaman pada kultivar berkadar asam rendah (Saradhuldhath dan Paull, 2007). Enzim *phosphoenolpyruvate carboxylase*, *malate dehydrogenase*, dan *malic enzyme* dapat berkontribusi terhadap perubahan keasaman buah yang terjadi sebelum panen (Saradhuldhath dan Paull, 2007; Liu, 2009). Kadar asam malat dalam buah tetap stabil setelah panen maupun selama dan setelah penyimpanan (Chen dan Paull, 1995).

Selama penyimpanan pada suhu 7°C, asam sitrat meningkat sekitar 25%, kemudian sedikit menurun ketika buah disimpan pada suhu 22,5°C. Kandungan asam sitrat buah yang tidak disimpan tidak berubah tetapi keasaman yang dapat dititrasi sedikit menurun setelah panen. Kandungan asam askorbat bervariasi secara signifikan dengan kultivar (Kerns *et al.*, 1936; Singleton, 1965; Teisson dan Combres, 1979) dan dapat bervariasi dari 200 mg/L di 'Smooth Cayenne' hingga 710 mg/L di 'Spiny Guatemala' (Tunggal, 1955).

Ferreira *et al.* (2016) menemukan korelasi positif yang signifikan antara konsentrasi asam askorbat dan aktivitas antioksidan di antara kultivar Brasil. Asam askorbat juga berkorelasi dengan keasaman kultivar (Hamner dan Nightingale, 1946), meskipun tidak berkontribusi secara substansial terhadap keasaman yang dapat dititrasi, dan 25% lebih tinggi di dekat permukaan buah daripada di dekat inti. Kadar asam askorbat meningkat dengan meningkatnya radiasi matahari (Gortner dan Singleton, 1965) dan suhu udara. Tingkat asam askorbat buah saat panen berhubungan negatif dengan intensitas gejala pencokelatan internal yang terkait dengan kerusakan pascapanen (*Chilling Injury*)

(Miller dan Heilman, 1952; Teisson dan Combres, 1979; Paull dan Rohrbach, 1982). Pencokelatan internal merupakan masalah kecil jika kandungan asam askorbat buah lebih besar dari 500 mM (Teisson dan Combres, 1979).

2.2.5 Dinding sel

Secara umum, dinding sel non-selulosa pada buah nanas memiliki sifat-sifat peralihan atau gabungan antara karakteristik dinding sel Poaceae (seperti pada rumput-rumputan dan sereal) yang tidak berlignin dan dinding sel dikotil yang khas. Komponen utama dari fraksi non-selulosa adalah glucurono-arabinoxylans, dengan keberadaan xyloglucans, sejumlah kecil polisakarida pektik, dan glukomanan. Meskipun dinding sel parenkim buah nanas tidak mengandung lignin, dinding tersebut mengandung asam ferulat yang teresterifikasi (Smith dan Harris, 2001). Asam ferulat membentuk ikatan ester dengan *glucurono-arabinoxylans*, seperti yang umum ditemukan pada dinding primer spesies Poaceae (seperti pada rumput-rumputan dan sereal) (Smith dan Harris, 2001).

Jus nanas terutama mengandung galaktomanan (Chenchen dan Yamamoto, 1978), dengan tidak adanya gula asam yang terdeteksi, menunjukkan bahwa hidrolisis pektin selama pemasakan sangat sedikit terjadi. Polisakarida netral dalam jus nanas dapat membentuk gum yang menempel pada peralatan pemrosesan, tetapi dapat dengan mudah diurai menggunakan enzim seperti selulase komersial, hemiselulase, dan pektinase (Chenchen *et al.*, 1984). Polisakarida netral yang diekstraksi dari dinding sel buah nanas terdiri dari xilosa, arabinosa, glukosa, galaktosa, serta sejumlah kecil manosa (Bartolomé dan Rupérez, 1995).

2.2.6 Enzim

Aktivitas peroksidase pada buah nanas mengalami penurunan yang terus-menerus selama proses perkembangan buah, hingga mencapai hanya sepertiga dari tingkat awal saat buah masak. Asam peroksidase, dengan pH optimum 5,0, tidak menunjukkan hubungan langsung dengan perkembangan gejala *chilling injury*

(CI) meskipun aktivitasnya juga menurun selama penyimpanan (Teisson dan Combres, 1979). Dua enzim yang terkait dengan respons pendinginan, yaitu peroksidase dan polifenol oksidase (PPO), telah berhasil dimurnikan (Teisson, 1977), dan gen-gen yang terkait dengan enzim tersebut telah dikarakterisasi (Stewart *et al.*, 2001; Zhou *et al.*, 2003a,b; Raimbault *et al.*, 2011). Penurunan ekspresi gen yang mengkode enzim *polifenol oksidase* (PPO) selama pendinginan pada nanas terbukti dapat menekan pencokelatan jaringan yang diinduksi oleh proses tersebut (Ko *et al.*, 2013).

Aktivitas peroksidase menurun secara terus menerus selama perkembangan buah hingga mencapai minimal sepertiga dari nilai awal selama pemasakan. Asam peroksidase (pH optimum 5,0) tampaknya tidak berhubungan dengan perkembangan gejala CI, meskipun menurun selama penyimpanan (Teisson dan Combres, 1979). Dua enzim terkait pendinginan, peroksidase dan polifenol oksidase (PPO) telah dimurnikan (Teisson dan Combres, 1979) dan gen dikarakterisasi (Stewart *et al.*, 2001; Zhou *et al.*, 2003a,b; Raimbault *et al.*, 2011). Ketika dalam pendinginan nanas, pencokelatan jaringan yang diinduksi ditekan (Ko *et al.*, 2013).

Van Lelyveld dan de Bruyn (1977) tidak menemukan aktivitas asam askorbat oksidase dalam penelitian mereka, tetapi pengujian menggunakan protein hasil endapan amonium sulfat menunjukkan keberadaan enzim tersebut dengan pH optimum di atas 8 dan tidak aktif di bawah pH 6,0 (Teisson dan Combres, 1979). Perbedaan ini kemungkinan disebabkan oleh kondisi pengujian yang berbeda. Polifenol oksidase (PPO) memiliki pH optimum sekitar 5,0 dengan suhu optimum mendekati 45°C (Teisson dan Combres, 1979). Das *et al.* (1997) mengidentifikasi tiga isoform PPO, di mana isoform utama berupa tetramer dengan subunit identik seberat sekitar 25 kDa, menunjukkan aktivitas maksimum pada pH antara 6 dan 7. Perbedaan kondisi pH optimum ini mungkin terkait dengan metode ekstraksi yang digunakan atau variasi isoform enzim. PPO tetap stabil terhadap panas saat diekstraksi, tetapi lebih dari 50% aktivitasnya hilang setelah 20 menit paparan pada suhu 60°C *in vivo* (Teisson, 1977).

Indole acetic acid oxidase pada nanas memiliki pH optimum 3,5 yang berbeda dengan pH optimum pada buah-buah lainnya (Teisson dan Combres, 1979). Ekstrak batang nanas yang diolah menjadi serbuk aseton mengandung enzim proteinase bromelain bersama dengan keluarga polipeptida yang berfungsi sebagai inhibitor enzim tersebut (Reddy *et al.*, 1975). Aktivitas proteinase mulai muncul secara mendadak setelah fase pembungaan dan tetap tinggi selama proses perkembangan buah, tetapi kemudian menurun seiring dengan pemasakan (Lodh *et al.*, 1972). Bromelin buah (EC 3.4.22.33) merupakan proteinase sistein utama pada buah nanas; enzim ini adalah proteinase nonglikosilasi yang secara imunologis berbeda dari bromelin batang, yang merupakan proteinase glikosilasi (EC 3.4.22.32) (Rowan *et al.*, 1990; Lencastre *et al.*, 2016).

2.3 Translusensi Buah Nanas

Translusensi adalah kelainan fisiologis buah yang ditandai dengan daging buah transparan dan rongga udara pada daging buah yang berisi air dengan porositas rendah (Sideris dan Young, 1950). Penampilan buah *translucent* dimulai dari pangkal buah kemudian buah bening bertambah hingga ke ujung buah (Chen dan Robert, 2000). Penyebab translusen pada buah biasanya disebabkan oleh buah yang terkena sinar matahari dan fenomena ini akan berkurang dengan pemberian naungan. Kondisi buah *translucent* mengurangi kualitas buah dan meningkatkan kerusakan mekanis, sehingga penurunan kualitas buah selama pengiriman menyebabkan kerugian bagi produsen (Paull dan Reyes 1996). Buah *translucent* memiliki rasa hambar dan kualitas rendah dan sangat rentan terhadap kerusakan mekanis selama panen dan penanganan pascapanen (Bowden, 1967). Buah nanas *translucent* dapat dideteksi pada usia 120 DAF (hari setelah *forcing*) dan tidak dapat dideteksi pada usia sebelum 110 DAF (Joomwong., 2006).

Translusensi pada buah nanas tidak dapat terdeteksi melalui gejala eksternal, meskipun *peduncle* (tangkai buah) cenderung tetap basah (*leakage*) setelah panen dan buah terasa lebih berat serta tidak mengapung di dalam tangki air ketika

translusensi cukup parah. Untuk menilai tingkat keparahan translusensi, dapat digunakan sinar-X (Haff *et al.*, 2006). Translusensi menunjukkan kekurangan udara di ruang antar sel daging buah dan memiliki bobot jenis yang lebih tinggi (Sideris dan Young, 1950). Bobot jenis (*Specific gravity*) dapat digunakan sebagai metode non destruktif untuk mendeteksi buah *translucent* dan memisahkannya ke dalam kelas translusensi yang berbeda. Buah *translucent* sangat rapuh, membuatnya rentan terhadap cedera mekanis selama panen dan penanganan pascapanen (Py *et al.*, 1987). Selain itu, buah yang *translucent* lebih rentan terhadap penyakit dan sengatan matahari sebelum panen (Gortner *et al.*, 1963).

Nanas yang sangat transparan biasanya memiliki kualitas yang buruk, dengan rasa yang hambar dan terlalu masak, sehingga tidak sedap untuk dikonsumsi (Bowden, 1967). Jika tangkai nanas rusak, bagian dalam buah menjadi semakin transparan dan lebih rentan terhadap infeksi jamur seperti *Penicillium* dan *Ceratocystis*, yang dapat merusak tampilan dan cita rasa buah (Paull dan Reyes, 1996). Translusensi ini biasanya dimulai sebelum panen (Bowden, 1969; Paull dan Rohrbach, 1982; Paull dan Reyes, 1996), dengan bagian bawah buah yang pertama kali menunjukkan gejala, dan dalam kasus yang parah, seluruh buah dapat terpengaruh. Kondisi ini lebih sering terjadi pada musim dingin. Penyemprotan lilin/pelapis buah (*waxing/fruit coating*) setelah panen dapat membantu mengurangi tingkat translusensi, terutama pada buah yang kulitnya kurang berwarna. Beberapa peneliti menyatakan bahwa translusensi merupakan indikasi penuaan dini pada daging buah (Soler, 1993 dan 1994), namun kondisi cuaca sebelum panen juga dianggap berperan dalam hal ini (Paull dan Reyes, 1996). Penelitian menunjukkan bahwa nanas dengan ukuran tajuk yang lebih besar cenderung memiliki insiden translusensi yang lebih rendah.

Translusensi dimulai sebelum panen dan berlanjut setelah panen (Paull dan Rohrbach, 1982; Paull dan Reyes 1996). Buah dengan peningkatan translusensi akan meningkatkan pH, rasio *total soluble solid/acidity*, dan bobot buah, serta menurunkan total ester dan asam. Penurunan asam organik selama pemasakan

lebih terlihat pada buah yang translusensi (Sideris dan Young, 1950) dibandingkan pada buah yang tidak *translucent*, sementara gula menunjukkan sedikit perubahan. Buah *translucent* biasanya memiliki rasio *total soluble solid/acidity* yang lebih tinggi daripada buah normal karena keasaman yang lebih rendah (Sideris dan Young, 1950; Bowden, 1969).

Penyebab pasti dari translusensi (*translucent*) pada buah nanas belum diketahui. Di Hawaii, kondisi ini dikaitkan dengan berbagai faktor, termasuk kultivar yang ditanam, kadar nitrogen yang tinggi, tanaman yang besar dan kuat, buah yang dipanen pada musim semi, perlakuan dengan bahan pembesar buah, tingkat irigasi, kerapatan penanaman, ukuran tajuk yang lebih besar, serta faktor lingkungan (Paull dan Reyes, 1996). Paull dan Reyes (1996) menemukan bahwa bobot tajuk dan translusensi daging buah saat panen berkorelasi dengan suhu udara rata-rata 2-3 bulan sebelum panen, dengan korelasi negatif yang signifikan antara bobot tajuk dan tingkat *translucent*. Namun, pemangkasan *crown* baik pada tahap awal maupun akhir perkembangan buah nanas tidak memberikan pengaruh signifikan terhadap bobot buah atau translusensi (Chen, 1999). Korelasi negatif yang signifikan antara suhu udara 2-3 bulan sebelum panen dan translusensi mungkin berhubungan dengan peningkatan toleransi panas pada daging buah (Chen, 1999).

Translusensi buah nanas diduga terkait dengan peningkatan hidrolase dinding sel (Soler, 1993) dan permeabilitas membran (Soler, 1994). Konsentrasi kalsium yang tinggi dapat menurunkan sekresi atau aktivitas hidrolase dinding sel (Huber, 2011) dan permeabilitas membran, namun konsentrasi kalsium dan kapasitas pengikatan kation divalen dinding sel pada daging buah nanas menurun seiring perkembangan buah (Chen, 1999). Translusensi buah nanas meningkat dengan bertambahnya bobot buah (Bowden, 1969), kemungkinan karena penurunan konsentrasi kalsium karena buah yang lebih besar membutuhkan lebih banyak kalsium untuk menstabilkan membran sel. Ketika buah tidak dapat memperoleh kalsium yang cukup, membran sel dapat kehilangan integritas dan menyebabkan

kebocoran dan *translucent*. Kontrol parsial terjadinya translusensi telah dikaitkan dengan aplikasi kalsium (Chen, 1999; Silva *et al.*, 2006).

Fruitlet basal menunjukkan translusensi terlebih dahulu. Jaringan-jaringan ini memiliki kandungan gula yang lebih tinggi daripada jaringan antar-buah dan daging di bagian atas buah, masing-masing menunjukkan bahwa *translucent* berhubungan dengan kemasakan. Chen (1999) melaporkan bahwa defoliiasi tanaman yang dilakukan 3-4 minggu sebelum panen menurunkan kandungan padatan terlarut (TSS) dan translusensi daging buah nanas. Ada hubungan sebab-akibat linier antara persentase defoliiasi dan translusensi.

Defoliiasi tidak secara signifikan mempengaruhi permeabilitas membran sel daging buah nanas, menunjukkan bahwa translusensi yang disebabkan oleh pembongkaran gula berbeda dengan translusensi yang disebabkan oleh tekanan panas, dan yang pertama jauh lebih signifikan pada tahap akhir perkembangan buah. Ruang antar-sel yang berisi cairan dalam daging buah nanas yang translusensi menunjukkan bahwa tekanan osmotik yang lebih tinggi ada di apoplas.

Kandungan gula apoplastik meningkat seiring dengan pemasakan buah (Chen, 2010) dan dapat menarik lebih banyak air ke dalam apoplast. Aktivitas *cell-wall invertase* (CWI) pada daging buah nanas meningkat pesat 4 minggu sebelum panen dan segera diikuti oleh gejala pertama *translucent*. Korelasi positif juga terdapat antara aktivitas CWI dan tingkat keparahan translusensi (Chen, 1999) yang menunjukkan bahwa CWI pada daging buah nanas dapat menjadi faktor positif terjadinya translusensi.

Translucent dapat terjadi bahkan ketika kulit buah masih berwarna hijau (Py *et al.*, 1987), dan kondisi ini lebih sering teramati selama periode suhu tinggi (Green, 1963). Suhu yang tinggi dapat menyebabkan kerusakan pada membran sel, yang selanjutnya memicu terjadinya *translucent*. Penelitian oleh Soler (1993 dan 1994) menunjukkan bahwa fenomena *translucent* pada buah dengan

kematangan kulit hijau ditandai oleh peningkatan aktivitas enzim katalase, a- dan b-galaktosidase, serta peningkatan sintesis asam askorbat. Perubahan ini mungkin terkait dengan *translucent* melalui modifikasi galaktolipid membran dan perubahan dalam permeabilitas membran sel.

Daging buah nanas menjadi rentan terhadap kebocoran dan *translucent* yang disebabkan oleh suhu tinggi pada tahap akhir perkembangan buah (Chen, 1999). Sideris dan Young (1950), mengemukakan bahwa penembusan daging dan derajat kulit adalah fenomena independen yang terkait dengan penuaan buah, dengan daging buah masak hijau mengalami penuaan sebelum derajat kulit dimulai. Buah-buah kulit hijau translusensi dengan cepat bila diperlakukan dengan *ethephon*.

Kerentanan buah nanas terhadap translusensi dan keparahannya sangat dipengaruhi oleh kontrol genetik (Chen, 2010). Pada kultivar yang rentan, perubahan terkait kemasakan termasuk kebocoran membran, kadar gula, konsentrasi kalsium, volume cairan apoplastik, dan aktivitas *cell-wall invertase* (CWI) semuanya berkorelasi dengan terjadinya translusensi karena kejadian dan tingkat keparahan translusensi meningkat seiring dengan pemasakan buah. Namun, perubahan terkait kemasakan tersebut juga terjadi pada varietas tahan yang tidak mengalami translusensi. Tidak ada korelasi yang signifikan antara faktor-faktor yang berhubungan dengan kemasakan tersebut dan kejadian translusensi di antara kultivar dengan tingkat kerentanan yang berbeda terhadap translusensi (Chen, 2010). Oleh karena itu, korelasi signifikan yang ditemukan pada kultivar rentan tidak menunjukkan hubungan sebab-akibat dengan translusensi.

Translucent berhubungan dengan volume cairan apoplastik, ruang bebas antar-sel, dan rasio keduanya di atas, pada kultivar yang sama yang dipanen dari area produksi yang berbeda dan pada kultivar yang berbeda yang dipanen dari area produksi yang sama dan dari area produksi yang berbeda (Chen, 1999). Korelasi negatif yang sangat signifikan juga ditemukan antara keparahan translusensi dan

volume rongga lokuler di antara kultivar berbeda yang dipanen dari area produksi yang sama. Tampaknya semakin besar ruang bebas antar-sel dan rongga lokuler memberikan lebih banyak ruang untuk penyimpanan cairan apoplastik dan penguapan air di dalam buah, yang mengurangi kemungkinan terjadinya translusensi. Peran ruang antar-sel dan rongga lokuler dalam terjadinya translusensi perlu diteliti lebih lanjut.

2.4 Nano Kalsium

Istilah "*nanofertilizer*" mengacu pada struktur dengan dimensi 1–100 nm yang dirancang untuk mengirimkan nutrisi ke tanaman. Selain itu, istilah ini juga mencakup bahan *massal* yang digunakan bersama dengan struktur nano untuk membuat produk baru (misalnya, molekul pupuk yang dilapisi dengan nanopartikel logam). *Nanofertilizer*, karena sifat-sifatnya, telah terbukti meningkatkan produktivitas melalui pengiriman yang tepat sasaran atau pelepasan nutrisi yang lambat, sehingga membatasi tingkat aplikasi pupuk. Dengan kata lain, harapan dari pertanian berbasis nano termasuk peningkatan signifikan dalam *nutrient use efficiency* (NUE) (Kah *et al.*, 2019).

Saat ini, pengembangan dan pemanfaatan potensi nanoteknologi dalam pemupukan tanaman menjadi fokus utama dalam penelitian pupuk, dengan tujuan untuk mencegah atau mengurangi kehilangan nutrisi (Chhipa, 2017). Diharapkan bahwa struktur nano yang dirancang dengan baik akan memungkinkan pelepasan nutrisi yang terkendali, sehingga dapat disinkronkan dengan kebutuhan nutrisi tanaman (Zuverza *et al.*, 2017). Penurunan ukuran melalui metode fisik atau kimia telah terbukti meningkatkan rasio *massa* permukaan pupuk, yang memungkinkan penyerapan nutrisi yang lebih efektif oleh akar. Dengan demikian, pelepasan nutrisi yang lebih lambat, terarah, dan efisien dapat tercapai, mengarah pada pengurangan dosis dan biaya aplikasi, serta pengurangan signifikan kehilangan nutrisi, yang pada gilirannya meningkatkan *nutrient use efficiency* (NUE). Diperkirakan bahwa penggunaan nano-agrokimia dapat meningkatkan *nutrient use efficiency* (NUE) hingga 20–30% dibandingkan

dengan produk konvensional (Kah *et al.*, 2018). Nanomaterial dapat diklasifikasikan ke dalam berbagai jenis berdasarkan ukuran, morfologi, serta sifat fisik dan kimianya. Meskipun beberapa bahan nano telah diusulkan untuk pertanian, klasifikasi yang sistematis masih belum tersedia.

Dalam beberapa tahun terakhir, para peneliti telah meneliti pengaruh material berstruktur nano terhadap perkecambahan dan pertumbuhan tanaman. Sebagai contoh, penetrasi material berstruktur nano ke dalam biji diyakini berkontribusi pada peningkatan tingkat perkecambahan serta produksi biomassa yang lebih tinggi pada jenis tanaman tertentu. Dalam aplikasi pestisida, formulasi berbasis nano untuk pertanian juga dapat memiliki manfaat unik, seperti peningkatan kemampuan dispersi dan daya sebar. Penggunaan bahan aktif berskala nano dalam pestisida memanfaatkan sifat khas material tersebut untuk meningkatkan dispersi, daya sebar, serta stabilitas, sehingga dirancang untuk mengoptimalkan efektivitas pestisida.

Kalsium adalah bahan alkali yang tersebar luas di bumi. Ini adalah unsur paling melimpah ke lima (berdasarkan *massa*), biasanya ditemukan di batuan sedimen dalam bentuk mineral kalsit, dolomit, dan gipsum. Tanaman membutuhkan kalsium untuk pertumbuhan dan perkembangannya mengaktifkan sejumlah aktivitas enzim, metabolisme, serapan nitrat (suatu bentuk nitrogen yang dapat digunakan), rasio biomassa (Savithramma, 2002) dan laju fotosintesis (Savithramma, 2004; Savithramma *et al.*, 2007).

Telah terbukti bahwa Ca^{2+} dapat memperbaiki salinitas dan meningkatkan pertumbuhan tanaman (Savithramma dan Swamy, 1995; Kedarnath dan Savithramma, 2013). Kalsium ditemukan dalam sekitar 80 senyawa yang sering disebut sebagai garam kalsium, seperti kalsium karbonat (kapur). Kalsium karbonat merupakan komponen utama dalam kapur taman, yang juga dikenal sebagai kapur pertanian, dan digunakan untuk meningkatkan kualitas tanah dengan menaikkan pH serta kapasitas penahan air pada tanah masam. Sumber kalsium karbonat, seperti batu kapur dan kapur, bersama dengan senyawa kimia

lainnya, digunakan dalam pembuatan kapur pertanian, yang bila ditambahkan ke tanah berfungsi sebagai sumber kalsium untuk tanaman. Kalsium karbonat ada dalam tiga bentuk kristal utama: kalsit, aragonit, dan vaterit. Dari ketiganya, kalsit adalah yang paling banyak ditemukan di alam dan paling stabil secara termodinamika dalam kondisi lingkungan sekitar (Sabriye, 2012).

Sintesis nanopartikel kalsium karbonat dapat dilakukan melalui berbagai metode fisik dan kimia, seperti partikel koloid (Sadowski *et al.*, 2010), kandang protein (Hiroko *et al.*, 2011), membran emulsi yang dimodifikasi (Ritika *et al.*, 2004), sistem dua membran (Zeshan *et al.*, 2004), larutan berair karbonat dan kalsium nitrat jenuh (Romuald *et al.*, 2012), serta sintesis yang dibantu oleh etanol (Shao *et al.*, 2013). Dalam beberapa tahun terakhir, pengembangan metode hijau yang efisien untuk sintesis nanopartikel logam telah menjadi perhatian utama. Salah satu metode yang paling banyak dipertimbangkan adalah produksi nanopartikel logam dengan menggunakan tanaman (Ankanna *et al.*, 2010).

Penerapan teknik canggih baru-baru ini, seperti nanoteknologi, dalam pascapanen buah dan sayuran perlu diselidiki lebih lanjut. Teknik nano, yang bekerja untuk meningkatkan sifat fisik dan kimia material, juga memiliki sifat anti-jamur dan anti-virus yang signifikan (Babalar *et al.*, 2007). Lebih jauh lagi, di bidang pertanian untuk produk hortikultura, nanoteknologi memberikan efek positif terhadap pengawetan buah dan sayuran selama penyimpanan, sehingga meningkatkan umur simpannya (Lo'ay dan Ameer, 2019). Asam salisilat (SA) dikenal sebagai senyawa fenolik yang memiliki efek pada pertumbuhan tanaman dan pertahanan terhadap berbagai cekaman yang terjadi secara bersamaan selama pascapanen buah (Zavala *et al.*, 2004).

Jaringan buah (sel) menghasilkan *reactive oxygen species* (ROS) ketika mengalami kondisi stres (Agamy *et al.*, 2013). ROS mencakup ion superoksida (O_2^-), peroksida (H_2O_2) dan hidroksil (OH) yang dapat menyebabkan kerusakan pada kondisi stres (Dat *et al.*, 2000). Produksi ROS juga meningkat akibat kerusakan struktur seluler yang diakibatkan oleh stres (Orabi *et al.*, 2015). Selain

itu, SA (*salicylic acid*) dapat mengontrol beberapa jalur fisiologis dan biokimia dalam sel, hal ini dapat menghambat efek berbahaya dari ROS dengan meningkatkan aktivitas antioksidan, seperti menurunkan kadar H₂O₂ melalui *askorbat peroksidase* (APX) (Hayat et.al. 2010). Selain itu, SA menahan penuaan buah selama penyimpanan, menjaga elemen kualitas buah (Yao *et al.*,2005).

2.5 Panen dan Pascapanen Buah Nanas

Nanas [*Ananas comosus* (L.) Merr.] adalah satu-satunya spesies dari famili *Bromeliaceae* yang ditanam secara komersial di daerah tropis dan subtropis di dunia untuk diambil buahnya. Rasa dan aroma yang unik dan menarik, penampilan menarik dan komposisi gizi yang sangat baik (vitamin, serat, mineral) bersama dengan mistik tropisnya membuatnya sangat diminati oleh konsumen. Konsentrasi tinggi senyawa bioaktif menambah daya tarik konsumen secara signifikan. Buahnya, seperti halnya bagian tanaman lainnya, mengandung bromelain, enzim yang memecah protein dan terdapat dalam nanas mentah dan jus. Hal ini menimbulkan dugaan bahwa buah ini berguna sebagai alat bantu pencernaan dan anti inflamasi yang efektif dengan merangsang respons tubuh. Namun, beberapa orang alergi terhadap bromelin dan sering menunjukkan respons serupa terhadap papain, wortel, beberapa serbuk sari, dan lateks.

Bobot buah, bentuk, warna kulit dan daging buah, komposisi proksimat dan senyawa bioaktif bervariasi di antara kultivar, dan dipengaruhi oleh wilayah tumbuh, tanah, iklim, dan praktik budaya. Nanas adalah buah non-klimakterik yang biasanya dipanen pada tahap masak (*ripe*) yang dapat dimakan dan diharapkan tidak ada peningkatan kualitas lebih lanjut. Sangat penting untuk memanen pada tahap kemasakan yang tepat. Keterlambatan panen berarti buah menjadi terlalu masak dan mulai menua. Keberhasilan pemasaran bergantung pada kemasakan buah yang tepat saat panen, perkembangan warna dan bentuk yang seragam, tidak adanya kerusakan, penanganan dan pengangkutan yang hati-hati, dan kondisi penyimpanan yang memadai. Aspek-aspek ini sangat diperlukan untuk memaksimalkan margin keuntungan (Wijesinghe dan Sarananda, 2002).

2.5.1 Pembentukan buah

Bobot buah meningkat sekitar 20 kali lipat dari fase pembungaan hingga pemasakan buah (Singleton, 1965; Teisson dan Pineau, 1982), yang dapat memakan waktu antara 100 hingga 150 hari bergantung pada iklim lingkungan. Ukuran buah yang dihasilkan sangat bervariasi bergantung pada kondisi tanaman dan lingkungan, terutama suhu (Hotegni *et al.*, 2014). Studi perkembangan buah yang dilakukan oleh Sideris dan Young (1950) menunjukkan bahwa bobot buah dan komponennya meningkat secara sigmoid terus-menerus setelah pembungaan dimulai (Teisson dan Combres, 1979).

Kandungan air buah dapat dipengaruhi oleh kondisi lingkungan, terutama suhu yang terjadi selama awal perkembangan buah. Pertumbuhan daun *crowns* (mahkota) mulai meningkat sekitar 30 hingga 45 hari setelah perkembangan buah dimulai. Pencabutan daun *crowns* terkadang dapat meningkatkan bobot buah (Sanford, 1964; Hwang, 1968; Wee dan Ng, 1970; Marler, 2011), tetapi juga dapat meningkatkan risiko luka bakar akibat sinar matahari serta meningkatkan akumulasi nitrat yang tinggi. Meskipun demikian, daun *crowns* tidak berpengaruh langsung pada pertumbuhan buah itu sendiri (Senanayake dan Gunasena, 1975; Paull, 1993; Chen dan Paull, 2001).

Suhu udara yang terjadi 2 hingga 4 bulan sebelum panen menyebabkan 94% hingga 96% variasi bobot daun *crowns*, namun tidak berpengaruh signifikan terhadap bobot buah (Paull dan Reyes, 1996). *Crassulacean acid metabolism* (CAM) pada daun *crowns* dapat terjadi setelah panen, tetapi hanya jika ada variasi diurnal pada intensitas cahaya, dan proses ini tidak terjadi selama penyimpanan dalam kondisi dingin (Londers *et al.*, 2011).

2.5.2 Kemasakan buah

Proses pemasakan (*ripening*) dan penuaan buah pada tanaman dimulai dengan penurunan klorofil pada kulit buah, yang pertama kali terjadi di pangkal buah. Ketika buah mencapai tahap setengah kuning, buah dianggap sudah masak (*ripe*), dan pada tahap ini jumlah total padatan terlarut (seperti konsentrasi gula) mencapai nilai maksimum, sementara keasaman yang dapat dititrasi mulai menurun (Saradhuldhath dan Paull, 2007). Proses ini terjadi bersamaan dengan buah mendekati bobot maksimalnya. Perubahan dalam tingkat keasaman, terutama yang terkait dengan asam sitrat, memiliki rasio 2 hingga 3 kali lebih tinggi dibandingkan dengan asam malat (Chan *et al.*, 1973). Perubahan ini bervariasi bergantung pada kultivar.

Pada hibrida dengan kadar asam rendah, asam akan terus terakumulasi selama perkembangan, tetapi dengan cepat menurun ketika buah mendekati tahap kemasakan (Saradhuldhath dan Paull, 2007). Pada bagian atas buah, kadar asam lebih tinggi, sementara padatan terlarut lebih banyak ditemukan di bagian bawah buah, karena perbedaan tingkat kemasakan (*ripening*) di dalam buah. Kadar asam juga lebih tinggi di dekat inti buah (Miller dan Hall, 1953). Proses peningkatan dan penurunan keasaman ini dipengaruhi oleh aktivitas dua enzim, yaitu sitrat sintase dan aconitase.

Proses perkembangan buah dan perubahan dalam komposisi kimianya selama pertumbuhan telah dibahas dalam beberapa studi (Teisson dan Pineau, 1982; Bartholomew dan Paull, 1986; Paull dan Chen, 2003; Paull dan Lobo, 2012). Perubahan yang paling signifikan pada komposisi daging buah biasanya terjadi antara 3 hingga 7 minggu sebelum buah mencapai tahap warna kulit setengah kuning, yang dianggap sebagai tahap *ripe* (Dull *et al.*, 1967; Tay, 1977; Teisson dan Pineau, 1982; Paull dan Lobo, 2012).

Selama pemasakan, tidak ada perubahan yang jelas pada tekstur buah. Namun, kehilangan air dari buah dapat menyebabkan penurunan kekerasannya. Selain itu, seiring dengan penuaan buah, integritas membran selnya mulai menurun, yang

mengarah pada tekstur daging yang menjadi berair dan transparan (*translucent*), membuatnya lebih lembek dan lebih mudah rusak atau cedera karena tekanan mekanis.

Konsumen menilai kemasakan dan kualitas buah berdasarkan beberapa faktor, seperti rasio gula terhadap asam, warna kulit, dan aroma. Disarankan agar total padatan terlarut mencapai minimal 14%. Setelah dipanen, buah nanas tidak akan terus masak (*ripe*) atau menjadi lebih manis secara signifikan. Tingkat kemasakan buah juga dinilai berdasarkan kerataan "mata" buah dan perubahan warna kulit yang menguning. Buah yang masak dengan warna kuning biasanya tidak cocok untuk pengiriman jarak jauh, sementara buah yang belum terlalu masak lebih cocok untuk pengiriman ke pasar yang jauh. Buah yang belum masak sebaiknya tidak dikirim karena cenderung tidak enak rasanya, memiliki padatan terlarut rendah, keasaman tinggi, dan lebih rentan terhadap cedera akibat dingin (Paull dan Rohrbach, 1982).

Pupuk nitrogen cenderung dapat menurunkan keasaman buah sekaligus meningkatkan kerentanan terhadap *chilling injury*. Intensitas *chilling injury* berkurang dengan pemupukan kalium terutama pupuk KCl atau kalium klorida (Teisson dan Combres, 1979; Soares *et al.* 2005). Penerapan pupuk kalium klorida tampaknya meningkatkan keasaman buah sedangkan kalium sulfat meningkatkan rasa manis. Pupuk lain seperti kalsium, fosfor, dan mikronutrien sejauh ini tidak banyak berpengaruh pada kualitas buah dan sensitivitas pendinginan. Peningkatan suhu dari 25,9 menjadi 27,1°C selama 5 bulan berkaitan dengan penurunan keasaman dari 12 menjadi 7 meq/100 mL jus. Sinar matahari juga dapat menyebabkan penurunan keasaman yang serupa. Hubungan terbalik ditemukan antara evapotranspirasi dalam 1 sampai 2 minggu sebelum panen dan kandungan asam malat (Gortner, 1963).

Periode 2 sampai 3 bulan sebelum panen sangat menentukan perkembangan translusensi buah saat panen dan pertumbuhan tajuk (Paull dan Reyes, 1996). Translusensi lebih parah dan memiliki kejadian yang lebih tinggi ketika suhu

maksimum dan minimum 3 bulan sebelum panen keduanya rendah, 23°C dan 15°C; atau pada tingkat yang lebih rendah, masing-masing 29°C dan 20°C. Buah dengan daun *crowns* yang lebih besar memiliki insiden dan tingkat keparahan tembus yang lebih rendah. Selain itu, pemangkasan $\frac{1}{3}$ daun tanaman 3 minggu sebelum panen secara signifikan mengurangi total padatan terlarut daging buah, aktivitas invertase dinding sel, dan kejadian translusensi saat panen (Chen dan Paull, 2000). Hasil ini dan data lain menunjukkan suhu lingkungan, kandungan gula di dalam buah dan kandungan kalsium dalam buah berperan dalam kejadian *translucent* (Paull dan Chen, 2003; Chen *et al.*, 2008).

Sering kali, nanas yang masak dengan ukuran penuh dan permukaan kulit yang datar memiliki total padatan terlarut lebih dari 12% serta rasio gula dan asam yang seimbang, namun kulitnya tetap hijau, terutama saat di musim panas. Konsumen cenderung lebih memilih buah nanas dengan kulit kuning penuh karena mereka menganggap bahwa buah yang masih berwarna hijau belum masak. Di perkebunan nanas komersial, buah sering disemprot dengan *ethephon* sekitar seminggu sebelum panen yang direncanakan untuk mengurangi kehijauan kulit. Perlakuan ini, baik sebelum maupun setelah panen, tidak mengubah kualitas atau kekerasan bagian dalam buah, melainkan hanya mempercepat kerusakan klorofil pada kulitnya (Soler, 1993; Santana *et al.*, 2004).

2.5.3 Panen dan grading

Buah nanas dipanen secara manual dan dengan bantuan alat mekanis seperti sabuk konveyor pada alat angkut untuk memindahkan buah ke dalam peti, keranjang, atau langsung ke dalam truk atau wadah di lapangan. Petani kecil biasanya memanen buah dengan tangan dan memasukkannya ke dalam keranjang di punggung mereka. *Crown* buah dibiarkan melekat pada buah dan dilakukan dengan hati-hati untuk menghindari kerusakan pada daun-daun ini. Kemasakan buah yang seragam menentukan puncak panen dan jumlah putaran panen yang diperlukan untuk mencapai hasil panen maksimum dari suatu lahan. Jika terlalu banyak putaran panen mengakibatkan peningkatan biaya tenaga kerja, dan para

petani lebih memilih untuk dapat memanen lahan dengan jumlah panen seminimal mungkin. Hasil panen buah pada setiap panen harus menutupi semua biaya yang terkait dengan panen dan penanganan pascapanen.

Dalam operasi komersial, buah nanas dipanen dengan hati-hati untuk meminimalkan kerusakan. Buah disusun dengan cara *crow*n menghadap ke bawah pada lapisan buah pertama dan kedua untuk memberikan perlindungan dan hanya 2 lapisan yang ditumpuk di atas lapisan buah pertama ini untuk menghindari kerusakan akibat tekanan. Buah harus segera dibawa ke area pengemasan setelah panen dengan melindungi buah dari paparan sinar matahari langsung dalam jangka waktu yang lama.

Panen nanas secara manual dapat sangat melelahkan ketika ditanam dengan kepadatan populasi tanaman yang tinggi dan buahnya besar. Kerusakan mekanis merupakan masalah utama setelah pemetikan dan terutama selama transportasi. Upaya telah dilakukan untuk memanen buah secara mekanis tetapi belum berhasil, dengan kesulitan ditemukan dalam menemukan lokasi buah dan mengevaluasi tingkat kematangan serta penampilan keseluruhan (Xia *et al.*, 2012; Li dan Wang, 2013). Sistem yang lebih canggih menggunakan *boom* bergerak di atas baris tanaman dengan sabuk konveyor untuk membawa buah ke jalan lapangan.

Di gudang pengemasan, buah-buahan dibongkar secara manual dari truk atau wadah truk, atau seluruh wadah dicelupkan atau direndam ke dalam air yang mengandung desinfektan untuk mengapungkan buah keluar dan mencuci buah untuk menghilangkan kotoran dan serangga (Singleton, 1965). Buah yang tenggelam dipisahkan secara terpisah dari 'buah yang mengapung' oleh sabuk konveyor terpisah. Buah yang sangat transparan yang tenggelam biasanya dikirim untuk diproses menjadi jus, irisan, potongan, dan potongan-potongan. Sudut di mana buah mengapung juga merupakan indikasi tingkat transparansi. Transparansi buah juga dapat ditentukan oleh suara yang dihasilkan saat mengetuk buah.

Setelah dicuci, buah nanas diperiksa, daun di bagian bawah buah dihilangkan, dan batang buah dipangkas jika diperlukan sekitar 0,5 hingga 2 cm. Buah juga disortir untuk menghilangkan buah yang cacat, serta yang memiliki memar atau kerusakan akibat serangga. Pada operasi komersial, buah-buah tersebut diletakkan di atas sabuk konveyor dan diorientasikan sedemikian rupa sehingga hanya formulasi lilin/fungisida yang diaplikasikan pada buah. Beberapa lapisan buah (*fruit coating*) dapat menyebabkan kerusakan pada *crown*. Setelah dilapisi lilin dan melewati pengering udara, buah disortir berdasarkan bobot dan kemudian di-*packing* dengan tangan, di mana pengepak memisahkan buah ke dalam karton yang berbeda jika ada perbedaan warna kulit.

Pelapisan buah (*fruit coating*) yang diterapkan pada buah sering kali disertai dengan fungisida. Keuntungan utama dari pelapisan buah adalah pengurangan kehilangan air dan gejala pencokelatan internal yang disebabkan oleh pendinginan, serta peningkatan penampilan buah secara keseluruhan (Saborío dan Fonseca, 2011; Lin *et al.*, 2013; Koffi *et al.*, 2021). Antagonis mikroba dapat memberikan kontrol perlindungan terhadap penyakit pascapanen (Reyes *et al.*, 2004). Asam giberelat (GA_3) yang diaplikasikan pada *crown* membantu mempertahankan kondisi *crown* selama penyimpanan (Liu, 1986).

Buah nanas diklasifikasikan berdasarkan beberapa kriteria penting untuk memastikan kualitas sebelum proses pengemasan (Soler, 1993). Kriteria tersebut mencakup tingkat warna kulit, yang menunjukkan kemasakan buah, ukuran atau bobot buah, serta bebas dari cacat fisik dan penyakit. Keseragaman dalam karakteristik ini sangat penting untuk mempertahankan kualitas yang konsisten. Selain itu, buah yang baik harus memiliki tingkat kemasakan yang sesuai, tekstur yang kokoh, bentuk yang sempurna, dan mata buah yang datar. Bagian batang (*peduncle*) yang patah juga harus terawat dengan baik. Standar internasional, seperti di Hawaii, menetapkan kadar padatan terlarut minimum sebesar 12% untuk memastikan rasa yang manis dan memuaskan (Anon, 1968; Codex, 2007).

Ukuran *crowns* juga menjadi parameter penting, dengan rasio panjang *crowns* terhadap panjang buah antara 0,33 hingga 1,5 yang digunakan untuk menentukan tingkat kualitas yang lebih tinggi. Di Hawaii (Paull dan Reyes, 1996), *crowns* yang tumbuh pada musim panas cenderung lebih besar, sehingga terkadang memerlukan pemangkasan ujung *crowns* beberapa bulan sebelum panen untuk memenuhi standar pasar (Py *et al.*, 1987). Namun, tindakan ini dapat meningkatkan risiko pembusukan karena menciptakan titik masuk bagi patogen yang menyebabkan penyakit pada buah.

2.5.4 Handling dan pengemasan

Buah nanas segar biasanya diproses dengan fungisida melalui metode perendaman atau penyemprotan untuk mengendalikan pembusukan buah pascapanen yang dikenal sebagai *black rot* atau *water blister*. Penyakit ini disebabkan oleh jamur *Ceratocystis paradoxa* atau *Thielaviopsis paradoxa*, sementara penyakit lain seperti *fruitlet core rot*, *interfruitlet corking*, *pink disease*, dan *marbling disease* juga tersebar luas dan menjadi penting (Paull dan Rohrbach, 1982).

Kerusakan memar menjadi tantangan utama saat panen dan pengemasan. Memar dapat terjadi karena benturan atau tekanan. Jatuh dari ketinggian 30 cm dapat menimbulkan cedera akibat benturan, yang menyebabkan warna daging buah berubah menjadi abu-abu kehitaman setelah beberapa waktu (Singleton, 1965). Pengujian perubahan *carotenoid absorption spectral* digunakan untuk mendeteksi pelepasan asam dari sel-sel yang rusak (Singleton *et al.*, 1961). Kerusakan karena tekanan biasanya muncul selama pengangkutan akibat pengemasan yang tidak tepat atau tumpukan buah yang terlalu tinggi (Kluge *et al.*, 2009; Aguila *et al.*, 2013), yang memicu fermentasi dalam buah dan menyebabkan perubahan warna kulit serta daging buah (Botrel *et al.*, 2002; Kluge *et al.*, 2009).

Fermentasi ini terjadi karena *fruitlet* nanas tidak steril, melainkan mengandung jamur dan bakteri. Memar menyebabkan pecahnya sel dan pelepasan gula serta nutrisi yang mendukung pertumbuhan mikroba (Paull dan Rohrbach, 1982; Reyes *et al.*, 2004). Nanas biasanya dikemas dalam karton berdasarkan ukuran dan warna. Bobot buah dengan *crown* berkisar antara 0,8 hingga 2,75 kg, sementara kultivar kecil bisa mulai dari 0,25 kg. Karton berbahan serat-panjang dengan kapasitas 15 kg dapat memuat delapan hingga empat belas buah dalam dua lapisan untuk pengiriman ekspor maupun lokal.

2.5.5 Penyimpanan dan *retail*

Suhu penyimpanan yang disarankan untuk nanas berkisar antara 7,5 hingga 12°C dengan kelembapan relatif 70 hingga 90% (Paull dan Chen, 2003; Paull dan Lobo, 2012). Penyimpanan pada suhu 0 hingga 4°C dapat mempertahankan buah selama beberapa minggu, tetapi buah menjadi tidak dapat masak dengan rasa buruk dan daging yang berubah coklat setelah dikeluarkan dari suhu dingin. Buah dengan seperempat bagian berwarna kuning saat dipanen dapat disimpan lebih lama, sekitar satu minggu tambahan untuk setiap penurunan suhu penyimpanan 6°C. Buah setengah masak kultivar 'Smooth Cayenne' dapat bertahan hingga dua minggu pada suhu 7,5 hingga 12,5°C dan memiliki masa simpan tambahan sekitar satu minggu, dengan masa simpan maksimum sekitar empat minggu pada suhu 7°C (Paull dan Rohrbach, 1982; Paull dan Lobo, 2012).

Gejala kerusakan akibat pendinginan terjadi setelah paparan suhu di bawah 10 hingga 12°C selama lebih dari empat minggu. Gejala tersebut menjadi nyata saat buah kembali ke suhu ruang (18–30°C) (Paull dan Rohrbach, 1982). Ada juga pendapat bahwa gangguan dapat terjadi setelah paparan suhu 12 hingga 21°C, meski hanya berdasarkan pengujian terbatas (Smith dan Harris, 2001).

Seringkali di pasar ekspor dengan jarak yang jauh, buah nanas terlihat mengalami perubahan warna kulit menjadi gelap dan coklat akibat paparan suhu dingin (Koffi *et al.*, 2021). Istilah seperti *endogenous brown spot*, *blackheart*, dan

internal browning digunakan untuk menggambarkan gejala ini (Bartholomew dan Paull, 1986). Buah yang rentan memiliki kadar asam askorbat dan gula rendah, serta daging yang *translucent* (Miller, 1951; Teisson dan Combres, 1979; Abdullah dan Rohaya, 1983; Paull dan Rohrbach, 1982). *Crown* lebih mudah rusak oleh suhu dingin daripada buah (Paull dan Rohrbach, 1982).

Berbagai metode dikembangkan untuk mengurangi kerusakan dingin, termasuk *coating* (Paull dan Rohrbach, 1982; Wijeratnam *et al.*, 2005), pengemasan polietilen (Paull dan Rohrbach, 1982), perlakuan air panas (Weerahewa dan Adikaram, 2011), atmosfer terkendali (Paull dan Rohrbach, 1982), aplikasi asam askorbat, asam salisilat (Lu *et al.*, 2011), kalsium (Goncalves *et al.*, 2000; Herath *et al.*, 2003), dan 1-methylcyclopropene (1-MCP) (Selvarajah *et al.*, 2001; Dantas *et al.*, 2009). Perlakuan 1-MCP juga meningkatkan aktivitas antioksidan dan memperlambat perubahan warna kulit. Atmosfer terkendali efektif secara terbatas dalam memperpanjang masa simpan nanas (Dull *et al.*, 1967; Yahia, 1998), sementara penggunaan lilin (*wax*) meningkatkan karbon dioksida internal hingga 5% (Paull dan Rohrbach, 1982). Kombinasi oksigen rendah dan karbon dioksida tinggi menunda gejala cedera dingin (Haruenkit dan Thompson, 1994).

Selama pengiriman dan penyimpanan di toko, nanas disarankan disimpan pada suhu 10 hingga 13°C (Paull, 1999). Namun, toko dengan ruang penyimpanan terbatas sering menyimpan nanas di suhu lebih rendah, yang menyebabkan *crown* layu dan kulit berjamur. Pendinginan atau es untuk *display* ritel tidak dianjurkan (Nunes *et al.* 2009).

III. METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat

Penelitian ini dilaksanakan selama 4 minggu pada tanggal 28 Juni hingga 19 Juli 2023. Panen buah dilaksanakan pada pagi hari pertama dan dilanjutkan dengan aplikasi beberapa perlakuan yang telah ditentukan.

Penelitian ini dilaksanakan di kebun milik PT Great Giant Pineapple Plantations Group 4 yang berada di Kecamatan Labuhan Ratu, Kabupaten Lampung Timur, Provinsi Lampung. Panen dilakukan pada beberapa lokasi yang telah dipilih sesuai kriteria panen buah dan aplikasi percobaan dilakukan di dalam laboratorium milik *Research and Department* milik perusahaan dan penyimpanan dilakukan pada penyimpanan suhu ruang PT Great Giant Pineapple Plantations Group 4 dengan pengaturan suhu $\pm 28^{\circ}\text{C}$ dan RH 98% sesuai standar penyimpanan buah nanas MD2 yang dilakukan reguler.

3.2 Bahan dan Alat

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah buah nanas klon MD2 dengan warna kulit buah katagori SC2 (warna kulit buah kuning 20-35%) yang dipanen pada musim penghujan di bulan Juni 2023, fungisida berbahan aktif fludioxonil untuk mencegah munculnya cendawan selama masa simpan buah, *edible coating* buah berbahan dasar *plant-oil-base* sebagai pelapis tambahan buah selama masa simpan, nano-calsium dengan merek dagang 'Nanocal' berasal dari kalsium karbonat, dan air sebagai pelarut dari bahan – bahan yang dibutuhkan.

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah ruangan penyimpanan dengan suhu $\pm 28^{\circ}\text{C}$, *CO₂ logger*, *thermal image camera* (FLIR E5xt. incl. Wi-Fi), timbangan digital buah, refractometer ‘Atago’, penetrometer, *blender*, *centrifuge*, biuret, erlenmeyer, gelas ukur, labu ukur, gelas piala, pipet tetes, pipet gondok, termometer, tabung sampel, spidol, gunting, isolasi, isolatip, pisau, talenan, saringan, tisu, ember, dan kamera.

3.3 Metode

Penelitian ini menggunakan 2 faktor dalam perlakuannya. Faktor pertama adalah umur buah setelah pembungaan dengan 2 taraf perlakuan meliputi umur buah 137 DAF (*days after forcing*) dan 146 DAF, dan faktor kedua adalah perlakuan nano-kalsium dengan 4 taraf perlakuan, yaitu kontrol (tanpa nano kalsium), nano kalsium 20, 40, dan 60 mL/L. Dengan kombinasi 2 faktor tersebut terdapat 8 total perlakuan, masing – masing perlakuan terdapat 45 buah nanas MD2 dan total sampel yang digunakan sebanyak 360 buah. Dengan demikian percobaan ini terdiri dari 8 kombinasi perlakuan sebagai berikut.

Tabel 1. Daftar kombinasi perlakuan dalam penelitian

Kode	Perlakuan
P137N0	Umur buah 137 DAF tanpa perlakuan nano kalsium
P137N20	Umur buah 137 DAF dengan perlakuan nano kalsium 20 mL/L
P137N40	Umur buah 137 DAF dengan perlakuan nano kalsium 40 mL/L
P137N60	Umur buah 137 DAF dengan perlakuan nano kalsium 60 mL/L
P146N0	Umur buah 146 DAF tanpa perlakuan nano kalsium
P146N20	Umur buah 146 DAF dengan perlakuan nano kalsium 20 mL/L
P146N40	Umur buah 146 DAF dengan perlakuan nano kalsium 40 mL/L
P146N60	Umur buah 146 DAF dengan perlakuan nano kalsium 60 mL/L

3.4 Pelaksanaan

Panen buah nanas MD2 dilakukan pada beberapa umur sesuai dengan perlakuan yang di lokasi perkebunan milik PT Great Giant Pineapple Plantations Group 4 yang berada di Lampung Timur dengan cara manual, lalu dibawa menuju rumah-kemas nanas segar milik PT Great Giant Pineapple di Lampung Timur. Selama proses distribusi buah dari lokasi panen ke rumah-kemas, buah dimasukkan ke dalam keranjang plastik agar mengurangi kerusakan buah akibat benturan selama proses distribusi.

Setelah sampai di rumah-kemas, buah dibersihkan dengan cara dicuci dengan 2 tahap, yaitu yang pertama menggunakan air bersih untuk menghilangkan kotoran tanah dan debu yang berasal dari areal panen, dan kedua menggunakan air yang mengandung desinfektan kaporit dengan dosis 125 ppm agar mikroorganisme yang terbawa dari kebun terdegradasi. Buah yang telah dicuci bersih diberi perlakuan perendaman nano-kalsium sesuai dosis yang telah direncanakan pada penelitian ini. Nano-kalsium dilarutkan ke dalam air bersih di area *fruit receiver* rumah-kemas dan perendaman buah dilakukan selama 5 menit, setelah itu buah dikering-anginkan.

Pemberian *coating* pelapis buah dilakukan setelah pengaplikasian nano-kalsium dengan menggunakan *coating* buah berbahan dasar *plant oil based* “Sta-Fresh” dengan dosis sesuai yang dilakukan oleh rumah-kemas nanas MD2 secara regular. Selain itu, pemberian fungisida dengan nama dagang “Hontai” berbahan dasar fludioxonil dengan konsentrasi 0,2% juga dilakukan agar buah terhindar dari serangan cendawan selama masa simpan. Sebelum buah dikemas, pengeringan dilakukan menggunakan kipas hingga permukaan buah agak kering. Pengemasan ke dalam kotak karton menggunakan karton *telescopic* dengan 2 bagian, yakni *body* dan *cover* karton dengan ukuran 49 cm x 39 cm x 20 cm sesuai standar pengiriman buah nanas MD2 dan setiap kotak karton diberi identitas perlakuan. Semua perlakuan buah disimpan di dalam ruang penyimpanan PT Great Giant Pineapple Plantations Group 4 dengan pengaturan

suhu ruang $\pm 28^{\circ}\text{C}$ dan RH $\pm 98\%$ sesuai standar penyimpanan buah Nanas MD2 yang dilakukan reguler.

3.5 Pengamatan

Pengamatan dilakukan mulai dari hari pertama aplikasi dan selama masa simpan buah nanas MD2 hingga hari ke 15 masa simpan dengan beberapa peubah karakteristik fisik dan kimia buah. Terdapat dua jenis sampel yang digunakan, yaitu sampel non-destruktif (ND) dengan jumlah 15 buah untuk setiap perlakuan, serta sampel destruktif (D) dengan jumlah 4 buah untuk setiap perlakuan.

Pengamatan karakter fisik meliputi bobot buah, perubahan warna kulit (*shell color*), warna daging buah (*flesh color*), persentase keriput kulit buah (*shell pitting*), persentase serangan cendawan (*mold*), persentase pencokelatan kulit buah (*decay*), kekerasan buah, kejadian translusensi, dan suhu kulit buah (thermal photo). Karakter kimia yang diamati meliputi total padatan terlarut ($^{\circ}\text{Brix}$), asam tertitrasi (*acidity*), laju respirasi (produksi CO_2), kandungan vitamin C, kandungan beta karoten, *electrolyte leakage*, kandungan mineral buah (kalsium, magnesium dan kalium), dan kadar air buah.

Pengamatan karakter fisik yang menggunakan sampel non-destruktif diukur pada hari ke-0, ke-3, ke-6, ke-9, ke-12, dan ke-15. Sementara itu, karakteristik warna daging buah, kekerasan buah, translusensi, total padatan terlarut ($^{\circ}\text{Brix}$), asam tertitrasi (*acidity*), dan kandungan vitamin C diamati menggunakan sampel destruktif pada hari yang sama dengan interval pengukuran yang sama (Tabel 2).

Beberapa peubah tambahan seperti kandungan *beta karoten*, *electrolyte leakage*, kandungan mineral (kalsium, magnesium, dan kalium), serta kadar air buah juga diukur menggunakan sampel destruktif, tetapi hanya pada hari ke-0 dan ke-9. Laju respirasi yang ditunjukkan melalui produksi CO_2 diamati setiap interval waktu yang sama dengan pengukuran non-destruktif (Tabel 2).

Tabel 2. Daftar peubah pengamatan penelitian

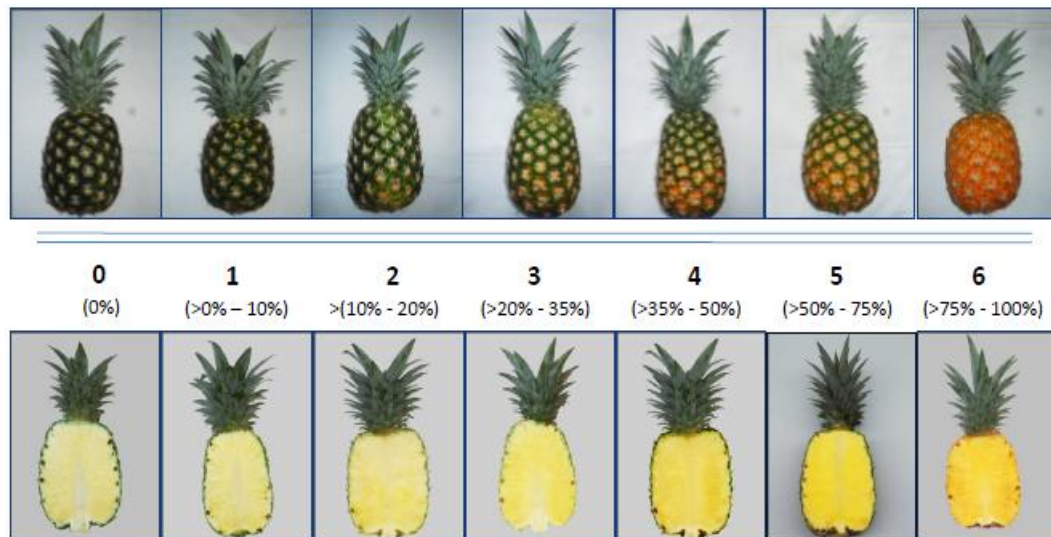
Peubah	H-0	H-3	H-6	H-9	H-12	H-15
Susut bobot buah	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Perubahan warna kulit	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Keriput kulit buah	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Serangan cendawan mold	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Pencokelatan kulit buah	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Warna daging buah		D	D	D	D	D
Kekerasan buah		D	D	D	D	D
Translusensi		D	D	D	D	D
Suhu kulit buah	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Total padatan terlarut		D	D	D	D	D
Asam tertitrasi		D	D	D	D	D
Laju respirasi	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Vitamin C		D	D	D	D	D
Beta karoten	D			D		
<i>Electrolyte leakage</i>	D			D		
Mineral buah	D			D		
Kadar air buah	D			D		

3.5.1 Susut bobot

Bobot buah diukur pada saat buah sebelum diberi perlakuan dan selama masa simpan. Susut bobot buah dihitung dengan cara pengurangan bobot awal buah oleh bobot buah selama masa simpan pada hari ke 0, 3, 6, 9, 12, dan 15 pada penyimpanan suhu ruang, kemudian dibagi bobot awal dan dikali 100%.

3.5.2 Perubahan warna kulit buah

Warna kulit diukur berdasarkan perubahan warna hijau menjadi warna kuning pada kulit buah nanas selama masa simpan sesuai dengan standar perubahan warna kulit buah (*shell color*) yang dimiliki oleh perusahaan (Gambar 3) dengan katagori yang sudah ditentukan. Pengukuran dilakukan pada hari ke 0, 3, 6, 9, 12, dan 15 pada penyimpanan suhu ruang.



Gambar 3. Standar warna kulit buah nenas MD2

3.5.3 Perubahan warna daging buah

Warna daging buah diukur berdasarkan persentase warna daging yang diukur menggunakan penggaris dengan menghitung panjang warna kuning daging buah dibagi dengan total panjang daging buah.

3.5.4 Persentase keriput kulit buah

Pengamatan *shell pitting* pada buah nenas adalah pengamatan yang dilakukan untuk mengetahui persentase *shell pitting* buah nenas yang menunjukkan proses dehidrasi pada buah nenas. *Shell pitting* berdampak pada penurunan kualitas buah akibat tampilan yang buruk. Menghitung kejadian *shell pitting* di setiap mata buah nenas dilakukan pada masing – masing sisi yang telah ditentukan dengan 3 kategori (Gambar 4) dan perhitungan persentase kejadian dan tingkat keparahan *shell pitting* menggunakan rumus sebagai berikut.

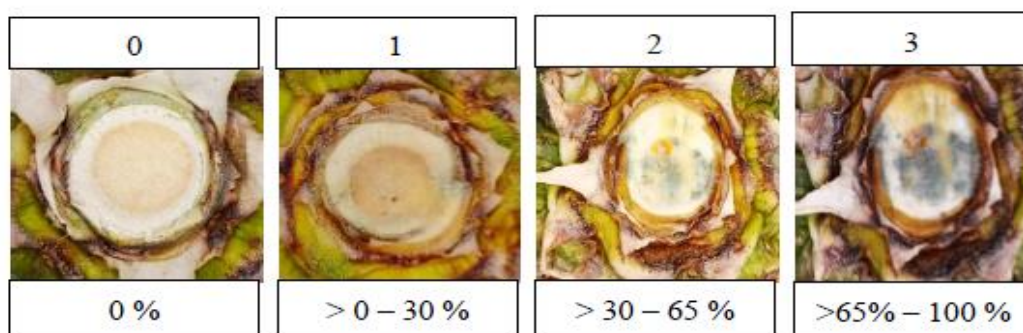
$$\% \text{ Shell pitting} = \frac{(n \text{ ringan} \times 1) + (n \text{ sedang} \times 2) + (n \text{ berat} \times 3)}{30 \times 3} \times 100\%$$



Gambar 4. Katagori kejadian *shell pitting* kulit buah nanas MD2

3.5.5 Persentase serangan cendawan *mold*

Pengamatan cendawan *mold* adalah pengamatan yang dilakukan untuk mengetahui tingkat serangan *mold*/jamur pada kurun waktu pengamatan masa simpan buah nanas. Pengamatan dilakukan dengan cara mengamati tingkat keparahan munculnya *mold* pada bagian *peduncle* sampel buah dan diberi skoring tingkat keparahan munculnya *mold* (Gambar 5) berdasarkan banyaknya cendawan *mold* yang tumbuh, dengan kategori skor, yaitu 0 = tidak ada *mold*, 1 = ringan, 2 = sedang, dan 3 = parah.






Gambar 5. Katagori serangan cendawan *mold* pada pangkal buah nanas MD2

3.5.6 Persentase pencokelatan kulit buah

Pengamatan *decay* pada buah nanas adalah pengamatan yang dilakukan untuk mengetahui persentase *decay* buah nanas yang menunjukkan proses pembusukan pada buah nanas dengan perubahan warna mata buah nanas menjadi kecokelatan. *Decay* mengakibatkan penampilan buah nanas menjadi lebih buruk sehingga berdampak pada penurunan kualitas buah. Kejadian *decay* dihitung di setiap mata buah nanas pada masing – masing sisi yang telah ditentukan dengan 3 kategori (Gambar 6) dan perhitungan persentase kejadian dan tingkat keparahan *decay* menggunakan rumus berikut.

$$\% \text{ Decay} = \frac{(n \text{ ringan} \times 1) + (n \text{ sedang} \times 2) + (n \text{ berat} \times 3)}{30 \times 3} \times 100\%$$

		
<p>Ringan (10 – 20%)</p> <p>Terjadi perubahan warna mata buah menjadi kecokelatan di bagian pinggir mata buah. Mata buah masih keras bila ditekan</p>	<p>Sedang (21 – 50%)</p> <p>Terjadi dominansi perubahan warna mata buah menjadi coklat kehitaman di bagian pinggir mata buah. Mata buah lunak bila ditekan</p>	<p>Berat (> 50%)</p> <p>Terjadi perubahan warna mata buah menjadi coklat kehitaman di seluruh bagian mata buah. Mata buah lunak bila ditekan</p>

Gambar 6. Katagori kejadian pencokelatan kulit buah nanas MD2

3.5.7 Kekerasan buah

Pengukuran kekerasan buah menunjukkan tingkat kekerasan daging buah nanas MD2 dengan cara membelah buah menjadi tiga bagian (atas, tengah, dan bawah).

Pengukuran tingkat kekerasan buah dilakukan dengan menggunakan penetrometer GY-4 dengan batas maksimal pengukuran 5 kg (untuk buah lunak) / 20 kg (untuk buah keras), akurasi : $\pm 0.5\%$ dan satuan kg, newton, lbr . Sebelum melakukan pengukuran perlu dilakukan pengaturan satuan pengukuran menjadi kgf/newton. Jarum penetrometer ditusukkan pada masing-masing bagian atas, tengah dan bawah daging buah nanas dengan cara ditekan dengan *holder* khusus penetrometer agar tekanan yang diberikan sama dengan 3 kali pengulangan sehingga hasil pengukuran adalah hasil dari rerata tekanan dari daging buah.

3.5.8 Tingkat keparahan translusensi

Pengukuran kejadian translusensi pada daging buah nanas dilakukan untuk mengetahui jumlah dan tingkat kejadian akibat dari cacat secara fisiologis dari daging buah nanas. Pengukuran berdasarkan persentase keparahan translusensi pada daging buah nanas, dilakukan dengan menggunakan penggaris dengan menghitung panjang daging buah yang terjadi translusensi dibagi dengan total panjang buah yang diamati sehingga dihasilkan pengukuran rerata persentase kejadian translusensi pada daging buah nanas MD2.

3.5.9 Suhu kulit buah (*photo thermal*)

Suhu pada buah nanas akan diukur dengan thermal camera (Flir E5-XT) dan diwujudkan dalam bentuk foto dua dimensi. Buah nanas MD2 yang telah disiapkan ditempatkan satu per satu dalam kotak pengambilan citra berukuran 40 cm x 25 cm x 25 cm untuk pengambilan gambar termal. Citra termal buah diabadikan menggunakan kamera inframerah FLIR E5 XT dengan resolusi 160 x 120 pixel dan sensitivitas termal kurang dari 0,10, yang dipasang pada ketinggian 30 cm di atas sampel dalam kotak pengambilan citra. Kamera termal bekerja dengan memancarkan gelombang inframerah yang dapat menangkap radiasi panas pada buah nanas. Pengambilan gambar dilakukan sebanyak 3 kali pada setiap sampel buah utuh, dan satu kali pada buah yang telah dibelah.

Proses akuisisi citra termal dimulai dengan mengaklimatisasi sampel selama 12 jam agar kondisi fisiologis buah menyesuaikan dengan lingkungan pengambilan citra. Selanjutnya, perangkat *chamber* dan kamera termal disiapkan dan dihubungkan dengan aplikasi pada komputer untuk memantau dan merekam data. Sampel buah nanas diletakkan di dalam *chamber* dengan posisi 30 cm di bawah kamera termal.

Proses pemindahan sampel dari ruang penyimpanan ke dalam *chamber* dilakukan menggunakan sarung tangan berbahan kain tebal untuk mencegah perpindahan panas tubuh operator ke buah, yang dapat memengaruhi hasil pengukuran. Pengambilan citra dilakukan untuk setiap sampel dan diulang sebanyak tiga kali dengan interval waktu satu menit. Data citra yang diperoleh kemudian diberi nama sesuai dan disimpan untuk analisis lebih lanjut.

Pengolahan citra dilakukan menggunakan perangkat lunak Matlab versi R2020B dengan algoritma yang menetapkan *Region of Interest* (ROI) minimal 30% dari total ukuran sampel sebagai area representatif. Setelah ROI ditentukan, dilakukan segmentasi warna dan konversi informasi piksel menjadi data suhu untuk memperoleh hasil yang relevan dengan pengamatan termal.

3.5.10 Total padatan terlarut (TSS) dan asam tertitrasi (TA)

°Brix merupakan derajat satuan (dinyatakan dalam %) untuk menggambarkan jumlah atau kadar kandungan padatan terlarut (yang didominasi oleh gula dan asam) dalam larutan air. Umumnya °Brix digunakan untuk menghitung persentase gula dalam buah dan sayur serta persentase gula dalam produk pangan. Menurut prosedur yang dijelaskan dalam Shamsudin *et al.* (2020), TSS dan TA diukur pada setiap buah per ulangan dari setiap perlakuan yang disusun. TSS dihitung menggunakan refraktometer genggam (MASTER53 α , Atago, Jepang), sedangkan TA diukur dengan titrasi 0,1 M NaOH dengan menggunakan *fenolftalein* ($C_{20}H_{14}O_4$) sebagai indikator dan dinyatakan sebagai persentase asam sitrat.

3.5.11 Laju respirasi

Analisa laju respirasi nanas dianalisis dengan mengikuti metode yang dirujuk dari Cano-Reinoso (2022). Analisis dilakukan dengan *menggunakan respiration chamber*, di mana sampel buah nanas ditempatkan untuk mengukur perubahan konsentrasi karbon dioksida (CO₂) yang dihasilkan. Pengukuran laju respirasi ini menggunakan pendekatan metode sistem tertutup (*closed system*), yang memungkinkan pengamatan konsentrasi gas tanpa pertukaran udara dengan lingkungan luar. Sebelum pengukuran dimulai, setiap buah ditimbang dengan timbangan digital untuk mengetahui berat awalnya yang penting untuk perhitungan laju respirasi per unit berat.

Setelah proses penimbangan, buah nanas dimasukkan ke dalam wadah kedap udara berkapasitas 13 liter yang dilengkapi dengan detektor CO₂ HT-2000 Digital CO₂ Meter. Alat ini memiliki spesifikasi pengukuran yang mencakup konsentrasi CO₂ dalam rentang 0-9999 mg/kg, tingkat kelembapan relatif (RH) antara 10-99%, dan suhu operasi dari 0°C hingga 50°C. Detektor ini memungkinkan pengukuran yang akurat dalam kondisi tertutup. Langkah penting dalam pengaturan ini adalah memastikan bahwa wadah tertutup rapat untuk mencegah kebocoran udara yang dapat mempengaruhi hasil pengukuran.

Pengambilan data konsentrasi CO₂ dilakukan di ruang penyimpanan buah percobaan pada suhu $\pm 28^{\circ}\text{C}$ untuk menjaga stabilitas kondisi lingkungan selama pengukuran. Perubahan konsentrasi CO₂ di dalam wadah dihitung selama satu jam penuh untuk setiap buah, memberikan waktu yang cukup untuk mendeteksi akumulasi gas respirasi yang dihasilkan oleh proses metabolisme buah. Data yang diperoleh kemudian digunakan untuk menghitung laju respirasi, yang merupakan indikator penting dalam menentukan tingkat aktivitas fisiologis dan umur simpan buah selama masa penyimpanan.

Laju respirasi buah yang terukur dihitung dengan rumus berikut.

$$\text{Laju Respirasi (mL CO}_2\text{/kg.jam)} = \frac{(GCO_2)_\tau - (GCO_2)_{\tau+1}}{\Delta T} \times \frac{Fv}{w}$$

Keterangan :

R_r : Laju Respirasi (mL CO₂/kg*h)

GCO₂ : Konsentrasi gas CO₂ (mL/L)

τ : waktu penyimpanan (jam)

ΔT : Perbedaan waktu antara dua pengukuran (jam)

Fv : volume bebas ruang respirasi (L)

Fv = volume *chamber* – volume buah

W : bobot buah (kg)

3.5.12 Kandungan vitamin C

Analisa vitamin C (asam askorbat) digunakan untuk mengetahui kadar vitamin C dalam buah nanas. Analisis ini dapat mereduksi 2,6-dichloroophenol indophenol (2,6 D) menjadi tidak berwarna. Pada titik akhir, kelebihan (2,6 D) yang tidak tereduksi akan menghasilkan warna merah muda dalam larutan asam. Untuk perhitungan dilakukan Standarisasi larutan (2,6 D) dengan vitamin C.

Perhitungan:

$$\text{Dye Faktor (D)} = C / a - b$$

Keterangan :

C : volume larutan asam askorbat yang digunakan untuk titrasi

a : mL titrasi 2,6 D askorbat acid b : mL titrasi blanko (0)

$$\text{Vitamin C mg/L} = (x - b) \times D \times 1000 / V$$

Keterangan :

x : mL titrasi 2,6 D sampel D : Dye vaktor V : volume sampel

b : mL titrasi blanko (0)

3.5.13 Kandungan beta karoten

Analisa kuantitatif beta karoten dalam sampel buah nanas dilakukan dengan metode spektrofotometri. Uji kuantitatif ini dimaksudkan untuk menetapkan

kadar beta karoten. Beta karoten dalam sampel dapat dibaca absorbansinya pada panjang gelombang maksimum. Blanko dari pelarut yang digunakan pada analisa kuantitatif ini adalah etanol p.a 96%. Larutan blanko merupakan larutan yang tidak mengandung analit untuk dianalisis. Larutan blanko digunakan sebagai kontrol dalam suatu percobaan sebagai nilai 100% transmittan (Basset, 1994).

3.5.14 Electrolyte leakage

Electrolyte leakage (EL) diperoleh pada setiap perlakuan dengan menggunakan tiga buah selama setiap pengukuran, sebagaimana dijelaskan oleh Chen dan Paull (2001). Potongan daging buah diambil secara memanjang berbentuk kubus (panjang sisi 10 mm). Sekitar 6 g kubus ini kemudian dicuci tiga kali dengan air deionisasi untuk menghilangkan material sel yang sudah lisis. Sampel tersebut kemudian diguncang dan diinkubasi dalam 60 mL larutan manitol 0,3 M selama dua jam. Konduktivitas larutan ini diukur menggunakan *conductivity meter*. Sampel kemudian dimasukkan ke dalam autoklaf selama dua jam untuk melepaskan semua elektrolit, dan konduktivitas total diukur lagi menggunakan *conductivity meter*. EL dinyatakan sebagai persentase dari konduktivitas total.

3.5.15 Kandungan mineral buah (kalsium, magnesium dan kalium)

Analisis ini dilakukan dalam setiap pengamatan, menggunakan spektrometri emisi optik plasma yang digabungkan secara induktif (ICP-OES) (5100 ICO-OES, Agilent Technologies, USA). Masing - masing tiga buah per ulangan dianalisis pada setiap perlakuan, berdasarkan metode yang dijelaskan oleh (Benton-Jones, 2001). Untuk analisis, 5 mL jus dari daging buah yang berdekatan dengan inti diambil, disaring dengan kertas untuk mencegah kontaminan atau residu dalam sampel cair, dan dimasukkan ke dalam tabung pencernaan. Setelah itu ditambahkan 5 mL Asam Nitrat 65% melalui dinding tabung digesti dan dibiarkan semalaman. Kemudian sampel dipanaskan dengan *block digester* pada suhu 125°C selama satu jam, kemudian diangkat dan didinginkan. Setelah itu, 3 mL Hidrogen Peroksida (H₂O₂) 30% melalui dinding tabung pencernaan

ditambahkan, panaskan kembali selama 1 jam, angkat, dan dinginkan. Langkah ini diulang tiga sampai lima kali sampai diperoleh filtrat yang jernih. Setelah itu, HNO₃ digunakan untuk mencegah filtrat mengering (1 mL residu), menghangatkan dan mendinginkan kembali sampel. Ditambahkan 5 mL Asam Nitrat dengan air sulingan (1:10) dan dikocok menggunakan Vortex Shaker. Akhirnya, sampel dipindahkan ke labu 25/50 mL secara kuantitatif dan pitch dengan air distilat membuat ekstrak siap untuk analisis mineral. Hasil dinyatakan dalam konten basis kering.

3.5.16 Kadar air buah

Kadar air adalah jumlah air yang terkandung dalam suatu bahan, biasanya dinyatakan dalam bentuk persentase. Kadar air menentukan tingkat kesegaran dan daya tahan bahan pangan selama penyimpanan. Salah satu metode yang umum digunakan untuk menentukan kadar air adalah metode oven pengering. Penentuan kadar air bahan dilakukan dengan metode oven sesuai prosedur yang diadaptasi dari AOAC (2005).

Prinsip metode ini adalah menguapkan air bebas dalam sampel hingga beratnya tetap. Cawan kosong dikeringkan pada suhu 100–105°C selama 30 menit, didinginkan dalam desikator, lalu ditimbang (A). Sekitar 1 gram sampel ditimbang bersama cawan (B) dan dikeringkan pada suhu yang sama selama enam jam. Setelah itu, cawan didinginkan kembali dalam desikator selama 30 menit dan ditimbang (C). Proses ini diulangi hingga berat sampel konstan.

Kadar air dihitung dengan rumus:

$$\text{Kadar air (\%)} = \frac{B - C}{B - A} \times 100\%$$

dengan:

A = Berat cawan kosong (g)

B = Berat cawan dan sampel sebelum pengeringan (g)

C = Berat cawan dan sampel setelah pengeringan (g).

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan sebagai berikut.

1. Perlakuan umur panen 137 DAF pada suhu ruang memperlambat perubahan warna kulit, menurunkan intensitas warna merah dan hijau, suhu kulit, total padatan terlarut, rasio TSS/TA, beta karoten, *electrolyte leakage*, dan laju respirasi. Perlakuan ini meningkatkan asam tertitrasi, vitamin C, kalsium buah, dan kadar air, tetapi tidak memengaruhi susut bobot, warna daging buah, keparahan mold, kekerasan, dan translusensi.
2. Perlakuan nanocal 20 mL/L setelah panen menurunkan susut bobot tetapi mempercepat perubahan warna kulit dan meningkatkan intensitas warna merah. Perlakuan nanocal tidak memengaruhi peubah lainnya maupun translusensi.
3. Interaksi umur panen 137 DAF dan nanocal 20 mL/L menurunkan susut bobot. Namun, kombinasi tersebut belum efektif mengubah karakteristik fisikokimia nanas MD2 selama penyimpanan.

5.2 Saran

Penelitian mengenai penggunaan nano-kalsium pada buah nanas masih perlu dilakukan secara lebih mendalam. Meskipun hasil awal menunjukkan potensi dalam mengurangi translusensi dan meningkatkan kualitas buah, namun belum ada kesimpulan yang pasti mengenai dosis optimal, metode aplikasi, dan waktu yang tepat. Penelitian lebih lanjut diperlukan untuk mengungkap mekanisme

kerja nano-kalsium pada tingkat seluler, mengidentifikasi interaksi dengan faktor lain, serta mengoptimalkan penggunaan nano-kalsium dalam budidaya nanas. Dengan demikian, diharapkan dapat diperoleh rekomendasi yang lebih spesifik untuk meningkatkan kualitas dan produktivitas buah nanas.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah, H., Rohaya, M.A., Latifah, M.N., Mohammed Selamat, M. and Underhill, S. 2002. Respiration rate, ethylene production and chlorophyll content of the fruit and crown of pineapple stored at low temperatures. *Journal of Tropical Agriculture and Food Science* 30, 99–107. https://www.researchgate.net/publication/259579072_Respiration_rate_ethylene_production_and_chlorophyll_content_of_the_fruit_and_crown_of_pineapple_stored_at_low_temperatures_Authors'_full_names
- Agamy, R.A., Elsayed, E.H., Tarek, H.T. 2013. Acquired resistant motivated by salicylic acid applications on salt stressed tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.). *Am. Eurasian J. Agric. Environ. Sci.*, 13, 50–57. doi:10.5829/idosi.aejaes.2013.13.01.1881
- Amini, F., Bayat, L., & Hosseinkhani, S. 2016. Influence of preharvest nano calcium applications on postharvest of sweet pepper (*Capsicum annum*). *Nusantara Bioscience*, 8(2), 215–220. <https://doi.org/10.13057/nusbiosci/n080213>
- AOAC. 2005. Official Method of Analysis of the Association of Official Analytical Chemist. *Association of Official Analytical Chemist*, Inc
- Babalar, M., Asghari, M., Talaei, A.R.; Khosroshahi, A. 2007. Effect of pre- and postharvest salicylic acid treatment on ethylene production, fungal decay and overall quality of selva strawberry fruit. *Food Chem.*, 105, 449–453. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2007.03.021>
- Bano, A., Anmol G., Manas R.P., and Manoj K. 2023. Elicitation of Fruit Fungi Infection and Its Protective Response to Improve the Postharvest Quality of Fruits. *Stresses* 3, no. 1: 231-255. <https://doi.org/10.3390/stresses3010018>
- Bartholomew, D.P. 2009. ‘MD-2’ pineapple transforms the world’s pineapple fresh fruit export industry. *Pineapple News* 16, 2–5. Available at : <http://www.ishs-horticulture.org/workinggroups/pineapple/PineNews16.pdf>
- Bartholomew, D.P., Coppens d’Eeckenbrugge, G. and Chen, C.C. 2010. Pineapple. In: Clark, J.R. and Finn, C.E. (ed.) Register of new fruit and nut cultivars list 45. *HortScience* 45, 740–742. doi:10.21273/HORTSCI.45.5.716

- Basset, J. 1994. *Kimia Analisis Kuantitatif Anorganik*. EGC. Jakarta. ISBN: 9794482285
- Benton J.J. 2001. *Laboratory Guide for Conducting Soil Tests and Plant Analysis*. CRC Press, Boca Raton, US.
<https://doi.org/10.1201/9781420025293>
- Benzon, H.R.L., Rubenecia, M.R.U., Ultra Jr, V., & Lee, S.C. 2015. Nano-fertilizer affects the growth, development, and chemical properties of rice. *International Journal of Agronomy and Agricultural Research (IJAAR)*, 7(1), 105-117. <http://www.innspub.net/wp-content/uploads/2015/07/IJAAR-V7No1-p105-117.pdf>
- Bhat, M.Y., Hafiza, A., Banday, F.A., Dar, M.A. and Khan, F.A. 2011. Effect of calcium chloride and storage period at ambient temperature on physicochemical characteristics of pear cv. Bartlett. *Indian Journal of Horticulture*, 68: 444-447.
<https://journal.iahs.org.in/index.php/ijh/article/view/1933>
- Bitange, N.M., Chemining'wa, G.N., Ambuko, J.L., & Owino, W.O. 2022. Effects of mode and timing of calcium chloride application on tissue calcium concentration and acceptability of mango fruits. *African Journal of Food, Agriculture, Nutrition and Development*, 22(8), 18552–18573.
<https://doi.org/10.18697/ajfand.103.20350>
- Bowden, R.P. 1969. Further studies on ripeness in pineapple. *Food Technology Australia* 21, 160–163. dalam *Pineapple: Botany, Production and Uses Second Edition*, G. M. Sanewski, D P. Bartholomew, and R. E. Paull, Eds, pp, 175–202, CABI, London, UK. ISBN: 9781786393302
- Cano-Reinoso D.M., Soesanto L., Kharisun Wibowo C. 2022. Effect of pre-and postharvest treatments with salicylic acid on Physicochemical Properties of Pineapple cv. MD2. *CMUJ Nat. Sci.*, 21: e2022039.
<https://doi.org/10.12982/CMUJNS.2022.039>
- Cazzonelli, C.I., Cavallaro, A.S. and Botella, J.R. 1998. Cloning and characterisation of ripening-induced ethylene biosynthetic genes from non-climacteric pineapple (*Ananas comosus*) fruits. *Australian Journal of Plant Physiology* 25, 513–518. <https://doi.org/10.1071/PP98013>
- Champa, W.A.H., Gill, M.I.S., Mahajan, B.V.C., 2015, Preharvest salicylic acid Perlakuan to improve quality and postharvest life of table grapes (*Vitis vinifera* L.) cv Flame Seedless. *J Food Sci Technol* 52, 3607–3616,
<https://doi.org/10.1007/s13197-014-1422-7>
- Chepngeno, J., Owino, W.O., Kinyuru, J., & Nenguwo, N. 2016. Effect of Calcium Chloride and Hydrocooling on Postharvest Quality of Selected Vegetables. *Journal of Food Research*, 5(2), 23.
[doi:10.5539/jfr.v5n2p23](https://doi.org/10.5539/jfr.v5n2p23).

- Chen, C.C. and Paull, R.E. 2000. Sugar metabolism and pineapple fruit flesh translucency. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 125, 558–562. <https://doi.org/10.21273/JASHS.125.5.558>
- Chen, C.C. and Paull, R.E. 2017. Production and postharvest handling of low acid hybrid pineapple. *Acta Hort.* 1166: 25-34. doi:10.17660/ActaHortic.2017.1166.4
- Chen, C.C. 1999. *Effects of fruit temperature, calcium, crown and sugar metabolizing enzymes on the occurrence of pineapple fruit translucency*. PhD dissertation, University of Hawaii at Manoa, Honolulu, HI. <http://hdl.handle.net/10125/56090>
- Chen, M.L. 2010. *Studies on physical-chemical characteristics, mineral elements and translucency disorder in pineapple (Ananas comosus) fruit during development*. MSc thesis, National Chung Hsing University, Taichung, Taiwan. <https://hdl.handle.net/11296/zbjdp7>
- Chen, N., J. Paull, R.E. Chen and P. Saradhudhat. 2009. Pineapple production for quality and postharvest handling. *Acta Hort.* 822: 253-260. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2009.822.31>
- Chenchen, K.L. and Yamamoto, H.Y. 1978. Isolation characterization and enzymic hydrolysis of pineapple gum. *Journal of Food Science* 43, 1261–1263. doi:10.1111/j.1365-2621.1978.tb15283.x
- Chenchen, K.L., Yugawa, A. and Yamamoto, H.Y. 1984. Enzymic degumming of pineapple and pineapple mill juices. *Journal of Food Science* 49, 1327–1329. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1984.tb14981.x>
- Chhipa, H, Nanofertilizers and nanopesticides for agriculture, *Environ Chem Lett* 15, 15–22 (2017), <https://doi.org/10.1007/s10311-016-0600-4>
- Dalldorf, E.R. 1981. The effect of chloroflurenol methylester on the reduction of top size of Smooth Cayenne pineapples. *Subtropica* 2, 9–11. <https://www.cabdigitalibrary.org/doi/book/10.1079/6393302.0000>
- Dat, I., Vandenabeele, S. Vra, N. E., Vanmontagu, M., Inze, D., Vanbreusegem, F. 2000. Dual action of the active oxygen species during plant stress responses. *Cell Mol. Life Sci.*, 57, 779–795. doi:10.1007/s000180050041
- De Freitas S.T., Resender Nassur R.C.M. 2017. Calcium Treatments, Pp. 5268. In: Pareek S. (ed.) *Novel postharvest treatments of fresh produce*. CRC Press, Boca Raton, USA., <https://www.taylorfrancis.com/chapters/>
- Dorey, E., Fournier, P., Léchaudel, M. and Tixier, P. 2016. A statistical model to predict titratable acidity of pineapple during fruit developing period responding to climatic variables. *Scientia Horticulturae* 210, 19–24. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2016.07.014>

- Dull, G.G., Young, R.E. and Biale, J.B. 1967. Respiratory patterns in fruit of pineapple, *Ananas comosus* detached at different stages of development. *Physiology Plantarum* 20, 1059–1065. doi:10.1111/j.1399-3054.1967.tb08393.x
- Erkan, M., and Dogan, A. 2019. Harvesting of Horticultural Commodities. *Postharvest Technology of Perishable Horticultural Commodities*, 129–159. doi:10.1016/b978-0-12-813276-0.00005-5
- Food and Agriculture Organization (FAO). 2022. Production of pineapples: top 10 producers 2022 [internet]. Diakses pada tanggal 20 Agustus 2023. <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC/visualize>
- Gao, Q., Xiong, T., Li, X., Chen, W., & Zhu, X. 2019. Calcium and calcium sensors in fruit development and ripening. *Scientia Horticulturae*, 253, 412–421. doi:10.1016/j.scienta.2019.04.069
- Gawler, J.H. 1962. Constituents of canned Malayan pineapple juices. I. Amino acids, non-volatile acids, sugars, volatile carbonyl compounds and volatile acids. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 13, 57–61. doi:10.1002/jsfa.2740130111
- Gortner, W.A. 1963. A short term effect of weather on malic acid in pineapple fruit. *Journal of Food Science* 28, 191–192. doi:10.1111/j.1365-2621.1963.tb00181.x
- Gortner, W.A. and Leeper, R.W. 1969. Studies on the relation of chemical structure to plant growth regulatory activity in the pineapple plant. V. Postharvest delay of senescence of pineapple fruit. *Botanical Gazette* 130, 87–97. dalam *Pineapple: Botany, Production and Uses*, G. M. Sanewski, D P. Bartholomew, and R. E. Paull, Eds, pp, 175–202, CABI, London, UK, 2nd edition, 2018. ISBN: 9781786393302
- Gortner, W.A., Dull, G.G. and Krauss, B.H. 1967. Fruit development, maturation, ripening and senescence: a biochemical basis for horticultural terminology. *HortScience* 2, 141–144. doi:10.21273/JASHS.2.4.141
- Hamner, K.C. and Nightingale, G.T. (1946) Ascorbic acid contents of pineapples as correlated with environmental factors and plant composition. *Food Research* 11, 535–541. dalam *Pineapple: Botany, Production and Uses*, G. M. Sanewski, D P. Bartholomew, and R. E. Paull, Eds, pp, 175–202, CABI, London, UK, 2nd edition, 2018. ISBN: 9781786393302
- Hassan A., Othman Z., Siriphanich J. 2011. Pineapple (*Ananas comosus* L. Merr.), pp. 194–218. In: YAHIA E. (ed.) Postharvest biology and technology of tropical and subtropical fruits: Mangosteen to white sapote. *Woodhead Publishing*, Mexico City, Mexico, pp. 485. doi:10.1533/9780857092618.194

- Harsini MG, Habibi H, Talaei GH. 2014. Study the effects of iron nano chelated fertilizers foliar application on yield and yield components of new line of wheat cold region of Kermanshah provence. *Agric Adv* 3 (4): 95-102. <https://www.cabidigitallibrary.org/doi/pdf/10.5555/20143189988>
- Hartono M.T., Rahayoe S., and Bintoro, N. 2019. Kinetics of physical quality of Pineapple fruit (*Ananas comosus* L.) with crown during storage with temperature variation. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science* 355 (2019) 012039. doi:10.1088/1755-1315/355/1/012039
- Hayat, Q. Hayat, S. Irfan, M. Ahmad, A. 2010. Effect of exogenous salicylic acid under changing environment. *Environ. Exper. Bot.* 2010, 68, 14–25. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2009.08.005>
- Haruenkit, R. dan Thompson, A.K. 1994. Storage of fresh pineapple. In: Postharvest Handling of Tropical Fruits. *Proceedings of International Conference, Chiang Mai, Thailand, 19–23 July 1993.* (eds B.R. Champ, E. Highley & G.I. Johnson). pp. 422–426. ACIAR Proc #50. https://www.aciar.gov.au/sites/default/files/legacy/node/2248/pr50_pdf_70186.pdf
- Hocking B., Tyerman S.D., Burton R.A., Gilliam M. 2016. Fruit calcium: Transport and physiology. *Front. Plant Sci.*, 7: 117. <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.00569>
- Hu, H., X., Li, C. Dong and W. Chen. 2012. Effects of wax treatment on the physiology and cellular structure of harvested pineapple during cold storage. *J. Agric. Food Chem.* 60: 6613-6619. doi: 10.1021/jf204962z
- Huber, D. J. 2011. The Role of Cell Wall Hydrolases in Fruit Softening. *Horticultural Reviews*, 169–219. doi:10.1002/9781118060728.ch4
- Jakhar M, Pathak S. 2016. Effect of Pre-harvest Nutrients Application and Bagging on Quality and Shelf Life of Mango (*Mangifera indica* L.) Fruits cv. Amrapali. *JAST* 2016; 18 (3) :717-729. <http://jast.modares.ac.ir/article-23-12045-en.html>
- Jhonny V.J. dan Bartholomew, D. P. 2018. Postharvest physiology, handling and storage of pineapple, dalam *Pineapple: Botany, Production and Uses*, G. M. Sanewski, D P. Bartholomew, and R. E. Paull, Eds., CABI, London, UK, 2nd edition, 2018. ISBN: 9781786393302
- Kah, M., Kookana, R.S., Gogos, A., 2018, A critical evaluation of nanopesticides and nanofertilizers against their conventional analogues, *Nature Nanotech* 13, 677–684, <https://doi.org/10.1038/s41565-018-0131-1>
- Kah, M., Tufenkji, N. dan White, J.C. 2019. Nano-enabled strategies to enhance crop nutrition and protection, *Nat, Nanotechnol*, 14, 532–540 (2019), <https://doi.org/10.1038/s41565-019-0439-5>

- Kmita, A., Hutera, B., Olejnik, E., Janas, A. 2012. Effect of water glass modification with nanoparticles of zinc oxide on selected physical and chemical properties of binder and mechanical properties of sand mixture. *Arch. Foundry Eng.* 2012, 12, 37–40.
<https://bibliotekanauki.pl/articles/381352>
- Koffi, Y. F., Traoremoumouny, Deffan, K. P., Louis, B. K., And Mireille, W. A. A. B. 2021. Assessment of the Physicochemical and Nutritional Parameters of Pineapple Fruits (*Ananas comosus* L.) and Post-harvest Bioconservation Test. *American Journal of Food Science and Technology*, vol. 9, no. 2: 53-61. doi: 10.12691/ajfst-9-2-4.
- Kumar, R., Antil R. S. dan Ali A. 2021. Effect of packaging material and postharvest calcium treatment on weight loss, decay and biochemical quality of strawberry fruits during storage. *Journal of Applied and Natural Science*, 13(4), 1158 - 1165.
<https://doi.org/10.31018/jans.v13i4.2981>
- Kumara, B. A. M. S., & Hettige, K. D. T. 2020. Ripening stage affects the quality of fresh and dehydrated pineapples (*Ananas comosus* (L.) Merr.) cv. Mauritius in Sri Lanka. *Sustainable Food Production*, 8, 29–37.
<https://doi.org/10.18052/www.scipress.com/SFP.8.29>
- Li, Y.-H., Zhang, Z. and Sun, G.M. 2010. Changes in cell number and cell size during pineapple (*Ananas comosus* L.) fruit development and their relationship with fruit size. *Australian Journal of Botany* 58, 673–678. doi:10.1071/BT10225
- 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.
 doi:10.1016/j.postharvbio.2016.09.007
- Lo'ay, A.A.; Ameer, N.M. 2019. Performance of calcium nanoparticles blending with ascorbic acid and alleviation internal browning of 'Hindi Be-Sennara' mango fruit at a low temperature. *Sci. Hortic.* 254, 199–207.
<https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.05.006>
- Lodh, S.B., Selvaraj, Y., Chadha, K.L. and Melanta, K.R. 1972. Biochemical changes associated with growth and development of pineapple fruit variety Kew II. Changes in carbohydrate and mineral constituents. *Indian Journal of Horticulture* 29, 287–291.
<https://www.semanticscholar.org/paper/Biochemical-Changes>
- Loekito, S., Afandi, Auliana A., Naomasa N., Hiroyuki K., and Masateru S. 2022. The Effects of Calcium Fertilizer Sprays during Fruit Development Stage on Pineapple Fruit Quality under Humid Tropical Climate, *Hindawi, International Journal of Agronomy*, Volume 2022, Article ID 3207161, 9 pages <https://doi.org/10.1155/2022/3207161>

- Lu, R., & Peng, Y. 2006. Hyperspectral Scattering for assessing Peach Fruit Firmness. *Biosystems Engineering*, 93(2), 161–171.
doi:10.1016/j.biosystemseng.2005.11.004
- Mahajan, B.V.C. and Dhatt, A.S. 2004. Studies on postharvest calcium chloride application on storage behaviour and quality of Asian pear during cold storage. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 2: 157-159.
<https://www.researchgate.net/publication/267264381>
- Maina, B., Ambuko, J., Hutchinson, M. J., & Owino, W. O. 2019. The Effect of Waxing Options on Shelf Life and Postharvest Quality of “ngowe” Mango Fruits under Different Storage Conditions. *Advances in Agriculture*, 2019, 1–9. doi:10.1155/2019/5085636.
- Miller, E.V. 1951. Physiological studies of the pineapple, *Ananas comosus* L. Merr. with special reference to physiological breakdown. *Plant Physiology* 26, 66–75. dalam *Pineapple: Botany, Production and Uses Second Edition*, G. M. Sanewski, D P. Bartholomew, and R. E. Paull, Eds, CABI, London, UK. ISBN: 9781786393302
- Miller, G., Senjen, R. 2008. Nanotechnology used for food packaging and food contact materials. *Nanotechnol. Food. Agric.* 2, 14–68.
- Miller, E.V. and Hall, G.D. 1953. Distribution of total soluble solids, ascorbic acid, total acid, and bromelain activity in the fruit of the natal pineapple (*Ananas comosus* L. Merr.). *Plant Physiology* 28, 532–534. dalam *Pineapple: Botany, Production and Uses Second Edition*, G. M. Sanewski, D P. Bartholomew, and R. E. Paull, Eds, CABI, London, UK. ISBN: 9781786393302
- Miller, E.V. and Heilman, A.S. 1952. Ascorbic acid and physiological breakdown in the fruits of the pine apple (*Ananas comosus* L. Merr). *Science*. 116, 505–506. dalam *Pineapple: Botany, Production and Uses Second Edition*, G. M. Sanewski, D P. Bartholomew, and R. E. Paull, Eds, pp, 175–202, CABI, London, UK. ISBN: 9781786393302
- Mitrakusuma W. H., Siswanto M. R. B. R., dan Ayu W. S. 2022. Penggunaan Kamera Thermal imaging untuk Pengecekan Kebocoran Refrigerasi pada Sistem Refrigerasi. *Kurvatek*, vol. 7, no. 2, pp. 93-102, 2022. doi: 10.33579/krvtk.v7i2.3195.
- Mushtaq, M. 2018. *Extraction of Fruit Juice*. *Fruit Juices*, 131–159.
doi:10.1016/b978-0-12-802230-6.00008-4
- Nassarawa, S. S., Bao, N., Zhang, X., Ru, Q., & Luo, Z. 2024. Evaluation of light irradiation on anthocyanins and energy metabolism of grape (*Vitis vinifera* L.) during storage. *Food Chemistry*, 431, Article 137141.
<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2023.137141>

- Noichinda S., Bodhipadma K., Wongsaree C. 2017. Antioxidant potential and their changes during postharvest handling of tropical fruits, pp. 633662. In: Pareek S. (ed.) *Novel postharvest treatments of fresh produce*. CRC Press, Boca Raton, USA, pp. 731. doi:10.1201/9781315370149-20
- Nunes, M.C.N., Brecht, J.K., Morais, A., Sargent, S.A. 2006. Physicochemical changes during strawberry development in the field compared to those that occur in harvested fruit during storage. *J. Sci. Food Agric.* 86, 180–190. <https://doi.org/10.1002/jsfa.2314>
- Orabi, S.; Dawood, M.; Salman, S. 2015. Comparative study between the physiological role of hydrogen peroxide and salicylic acid in alleviating the harmful effect of low temperature. *Sci. Agric.* 9, 49–59. doi:10.15192/pscp.sa.2015.1.9.4959
- Pasanphan, W., Buettner, G.R., Chirachanchai, S. 2010. Chitosan gallate as a novel potential polysaccharide antioxidant: An EPR study, *Carbohydrate Research*, 345, 132–140, <https://doi.org/10.1016/j.carres.2009.09.038>
- Pasanphan, W.; Buettner, G.R.; Chirachanchai, S. Chitosan gallate as a novel potential polysaccharide antioxidant: An EPR study. *Carbohydr. Res.* 2010, 345, 132–140. doi:10.1016/j.carres.2009.09.038
- Paull, R. E. and Chen, C. C. 2018. Postharvest physiology, handling and storage of pineapple. dalam G. M. Sanewski, D. P. Bartholomew and R. E. Paull (Eds.), *The Pineapple: Botany, Production and Uses*. CABI Publishing, Wallingford, UK, pp. 295-323. ISBN: 9781786393302
- Paull, R. E. and N. J. Chen. 2015. Pineapple translucency and chilling injury in new low-acid hybrids. *Acta Hort.* 1088: 61-66. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2015.1088.5>
- Py, C., Lacoëville, J.J. and Teisson, C. 1987. The Pineapple, Cultivation, and Uses. Paris: G.P. Maisson neuve et Larose. dalam *Pineapple: Botany, Production and Uses Second Edition*, G.M. Sanewski, D.P. Bartholomew, and R.E. Paull, Eds, CABI, London, UK. ISBN: 9781786393302
- Rameshaiah, G. N., Pallavi, J., & Shabnam, S. 2015. Nano fertilizers and nano sensors an attempt for developing smart agriculture. *Int J Eng Res Gen Sci*, 3(1), 314-320. <https://pnrsolution.org/Datacenter/Vol3/Issue1/40.pdf>
- Romero, F. R., Gladon, R. J., & Taber, H. G. 2007. Effect of Excessive Calcium Applications on Growth and Postharvest Performance of Bedding-plant Impatiens. *Journal of Plant Nutrition*, 30(10), 1639–1649. doi:10.1080/01904160701615517

- Shafiee, M., Taghavi, T. S., & Babalar, M. (2010). Addition of salicylic acid to nutrient solution combined with postharvest treatments (hot water, salicylic acid, and calcium dipping) improved postharvest fruit quality of strawberry. *Scientia Horticulturae*, 124(1), 40–45. doi:10.1016/j.scienta.2009.12.004
- Sandhu, A.S., Paul, S. and Dhillon, W.S. 2004. Studies on storage behavior and shelf life of semi soft subtropical pear cv. Punjab Beauty. *Acta Horticulturae*, 662: 385-390. doi: 10.17660/ActaHortic.2004.662.58
- Sanewski, G.M., Ko, H.L., De Faveri, J. and Kilian, A. 2016. Genetic resistance to the root rot pathogen *Phytophthora cinnamomi* in Ananas. *Acta Horticulturae III*: 281–286. doi:10.17660/ActaHortic.2016.1111.40
- Saradhuldhat, P. and Paull, R.E. 2007. Pineapple organic acid metabolism and accumulation during fruit dev. *Scientia Horticulturae* 112, 297–303. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2006.12.031>
- Shamsudin R., Zulfikli N.A., Kamarul Zaman A.A. 2020. Quality attributes of fresh pineapple-mango juice blend during storage. *Int. Food Res. J.*, 27. <https://www.cabidigitallibrary.org/doi/pdf/10.5555/20203240939>
- Shin, Y., Ryu, J.A., Liu, R.H., Nock, J.F., Watkins, C.B., 2008. Harvest maturity, storage temperature and relative humidity affect fruit quality, antioxidant contents and activity, and inhibition of cell proliferation of strawberry fruit. *Postharvest Biol. Technol.* 49, 201–209. doi:10.1016/j.postharvbio.2008.02.008
- Shiomi, S., Chono, K., Nishikawa, M., Okabe, M. and Nakamura, R. 2002. Effect of 1-methylcyclopropene (1-MCP) on respiration, ethylene production and color change of pineapple fruit after harvest. *Food Preservation Science* 28, 235–241. doi:10.5891/jafps.28.235
- Sideris, C. P. dan Young, H. Y. 1950. Growth of *Ananas comosus* (L.) Merr, at Different Levels of Mineral Nutrition under Greenhouse and Field Conditions, I, Plant and Fruit Weights and Absorption of Nitrate and Potassium at Different Growth Intervals, *Plant Physiology*, 25(4), 594–616, <http://www.jstor.org/stable/4258355>
- Silva, J.A., Hamasaki, R., Paull, R., Ogoshi, R., Bartholomew, D.P. 2006. Lime, gypsum, and basaltic dust effects on the calcium nutrition and fruit quality of pineapple. *Acta Horticulturae* 702, 123–132. dalam *Pineapple: Botany, Production and Uses Second Edition*, G.M. Sanewski, D.P. Bartholomew, and R.E. Paull, Eds, CABI, London, UK. ISBN: 9781786393302
- Singleton, V.L. 1965. Chemical and physical development of the pineapple fruit. I. Weight per fruitlet and other physical attributes. *Journal of Food Science* 30, 98–104. <https://www.cabidigitallibrary.org/>

- Singleton, V.L. and Gortner, W.A. (1965) Chemical and physical development of pineapple fruit III. Nitrogenous and enzyme constituents. *Journal of Food Science* 30, 24–29. dalam *Pineapple: Botany, Production and Uses Second Edition*, G.M. Sanewski, D.P. Bartholomew, and R.E. Paull, Eds, CABI, London, UK. ISBN: 9781786393302
- Singleton, V.L., Gortner, W.A. and Young, H.Y. 1961. Carotenoid pigments of pineapple fruits I. Acid catalyzed isomerization of the pigments. *Journal of Food Science* 26, 49–52. dalam *Pineapple: Botany, Production and Uses Second Edition*, G.M. Sanewski, D.P. Bartholomew, and R.E. Paull, Eds, CABI, London, UK. ISBN: 9781786393302
- Sinha, A., Jawandha, S. K., Gill, P. P. S., & Singh, H. 2019. Influence of pre-harvest sprays of calcium nitrate on storability and quality attributes of plum fruits. *Journal of Food Science and Technology*, 56, 1427–1437. <https://doi.org/10.1007/s13197-019-03621-z>
- Siti Rashima, R., Azhar, M. E., & Maizura, M. 2021. Influence of post-harvest physiology on sensory perception, physical properties, and chemical compositions of Moris pineapples (*Ananas comosus* L.). *J Food Sci.* 2021; 1–13. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.15877>
- Siti Roha A.M., Zainal S., Noriham A., Nadzirah K.Z. 2013. Determination of sugar content in pineapple waste variety N36. *Int.Food Res. J.*, 20: 19411943. https://www.researchgate.net/publication/289329647_Determination_of_sugar_content_in_pineapple_waste_variety_N36
- Smith, B.G. and Harris, P.J. (2001) Ferulic acid is esterified to glucuronarabinoxylans in pineapple cell walls. *Phytochemistry* 56, 513–519. doi: 10.1016/s0031-9422(00)00401-5
- Soares, A. G., Trugo, L. C., Botrel, N., & da Silva Souza, L. F. 2005. Reduction of internal browning of pineapple fruit (*Ananas comosus* L.) by preharvest soil application of potassium. *Postharvest Biology and Technology*, 35(2), 201–207. doi:10.1016/j.postharvbio.2004.07.00.
- Soler, A. 1993. Enzymatic characterization of stress induced translucence of pineapple flesh in the Ivory Coast. *Acta Horticulturae* 334, 295–304. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.1993.334.30>
- Soler, A. 1994. Enzymatic characterization of stress induced translucence of pineapple flesh in the Ivory Coast. *Acta Horti* 334:295–304. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.1993.334.30>
- Souza, J. M. A., Leonel, S., Leonel, M., Garcia, E. L., Ribeiro, L. R., Ferreira, R. B., Martins, R. C., Silva, M. S., Monteiro, L. N. H., & Duarte, A. S. 2023. Calcium nutrition in fig orchards enhance fruit quality at harvest

- and storage. *Horticulturae*, 9(1), Article 123.
<https://doi.org/10.3390/horticulturae9010123>
- Srivastava, M.K., Dwivedi, U.N., 2000, Delayed ripening of banana fruit by salicylic acid, *Plant Sci.*, 158, 87–96, [https://doi.org/10.1016/S0168-9452\(00\)00304-6](https://doi.org/10.1016/S0168-9452(00)00304-6)
- Sumiasih, I. H., Octaviani, L., Lestari, D. I., & Yunita, E. R. 2016. The Study of Postharvest Quality Changes of Star Fruit on Some Types of Packaging and Storage Temperatures. *Agrin*, 20(2), 1410–1439.
<http://dx.doi.org/10.20884/1.agrin.2016.20.2.319>
- Tareen, M.J., Abbasi, N.A., Hafiz, I.A. 2012. Postharvest application of salicylic acid enhanced antioxidant enzymes activity and maintained quality of peach cv. ‘Flordaking’ fruit during storage. *Sci. Hortic.*, 142, 221–228.
<https://doi.org/10.1016/j.scienta.2012.04.027>
- Tay, T.H. 1977. Fruit ripening studies on pineapple. *MARDI Research Bulletin* 4, 29–34. dalam *Pineapple: Botany, Production and Uses Second Edition*, G. M. Sanewski, D P. Bartholomew, and R. E. Paull, Eds, pp, 175–202, CABI, London, UK. ISBN: 9781786393302
- Teisson, C. and Combres, J.C. .1979. Le brunissement interne de l’ananas. III. Symptomatologie. *Fruits* 34, 315–339. <https://agritrop.cirad.fr/413966/>
- Teisson, C. and Pineau, P. 1982. Quelques données sur les dernières phases du développement de l’ananas. *Fruits* 37, 741–748.
<https://agritrop.cirad.fr/414229/1/414229.pdf>
- Truc ,T.T., Binh, L.N., N. Van Muoi, 2014, *Physico-chemical properties of pineapple at different maturity levels*, [Online]. Available:
<https://www.researchgate.net/publication/257943686>
- Vagneron, I., Faure, G. and Loeillet, D. 2009. Is there a pilot in the chain? Identifying the key drivers of change in the fresh pineapple sector. *Food Policy* 34, 437–446. <https://doi.org/10.1016/j.foodpol.2009.05.001>
- Villalobos, M., Alfaro, K. Carvajal, C., Castillo, R., Kaiser, R., López, A., López, J. and Tolentino, P. (2013) RyzUp® 40SG delays fruit maturity and increases fruit weight in pineapple cv. MD-2 under Costa Rican growing conditions. *Pineapple News* 20, 34–37. <http://www.ishs-horticulture.org/workinggroups/pineapple/PineNews20.pdf>
- Wardlaw, C.W. 1937. Tropical fruits and vegetables. An account of their storage and transport. *Tropical Agriculture* 24, 288–298.
<https://journals.sta.uwi.edu/ojs/index.php/ta/article/view/5836>

- Williams, D.D.F. and Fleish, H.1993. Historical review of pineapple breeding in Hawaii. *Acta Horticulturae* 334, 67–76.
<https://doi.org/10.17660/ActaHortic.1993.334.7>
- Yao, H.; Tian, S.H. 2005. Effects of pre- and post-harvest application of salicylic acid or methyl jasmonate on inducing disease resistance of sweet cherry fruit in storage. *Postharvest Biol. Technol.* 35, 253–262.
doi:10.1016/j.postharvbio.2004.09.001
- Youryon P., Supapvanich S., Kongtrakool P., Wongsaree C.. 2018. Calcium chloride and calcium gluconate peduncle infiltrations alleviate the internal browning of Queen pineapple in refrigerated storage. *Hortic. Environ. Biotechnol.*, 59: 205213. doi:10.1007/s13580-018-0028-9
- Youryon P., Wongsaree C. 2015. Postharvest application of calcium chloride affects internal browning reduction during low temperature storage of “sawi” pineapple. *Acta Horticulturae*, 1088: 197200.
<https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2015.1088.29>
- Yumbya P, Ambuko J, Shibairo S and W.O. Owino. 2014. Effect of modified atmosphere packaging (MAP) on the shelf life and post harvest quality of purple passion fruit (*Passiflora eddlis sims*). *Journal of Postharvest Technology*, 2014 ;2(1): 25-36.
<https://www.researchgate.net/publication/262375715>
- Zavala, I.F.A., Wangs, Y., Wang, C.Y., Aguilar, G.A.A. 2004. Effects of storage temperatures on antioxidant capacity and aroma compounds in strawberry fruit. *LWT-Food Sci. Technol.*, 37, 687–695.
doi:10.1016/j.lwt.2004.03.002
- Zuverza-Mena, N., Martínez-Fernández, D., Du, W., Hernandez-Viezcas, J.A., Bonilla-Bird, N., López-Moreno, M, L., Gardea-Torresdey, J, L, 2017, Exposure of engineered nanomaterials to plants: Insights into the physiological and biochemical responses-A review, *Plant Phy, and Bio.* 110, 236–264, <https://doi.org/10,1016/j,plaphy,2016,05,037>