

**PENGARUH TINGKAT KEMATANGAN BUAH, PELAPISAN BUAH,
DAN SUHU SIMPAN TERHADAP MUTU DAN MASA SIMPAN BUAH
PISANG CAVENDISH**

(Tesis)

Oleh

**ALAMANDA KATARTIKA FAHRI
NPM 2124011004**



**PROGRAM STUDI MAGISTER AGRONOMI
FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS LAMPUNG
2023**

ABSTRACT

EFFECTS OF FRUIT MATURITIES, COATINGS, AND STORAGE TEMPERATURES ON THE QUALITIES AND SHELF-LIFE OF CAVENDISH BANANA

By

ALAMANDA KATARTIKA FAHRI

Cavendish banana is a climacteric fruit with a fast response to ethylene and a very high respiration rate during storage. Previous studies revealed that these characteristics shortened the green-life and fastened fruit damage, affecting the economic value. Therefore, this study aims to examine the effects of fruit maturity levels, coatings, and storage temperatures on the qualities and green-life of Cavendish banana. This study used a Completely Randomized Design with a factorial 3 x 4 x 2 with 3 replications. The first factor was the banana fruit at 3 levels of maturities, namely physiologically immature M1 (5th cluster), full mature M2 (3rd cluster), and over mature M3 (1st cluster). The second factor was the fruit coating, namely non-coating or control (C1), 1% chitosan (C2), 150 ppm GA₃ (C3), and 1% chitosan + 150 ppm GA₃ (C4), which were applied on the rind tip and base. The third factor was the storage temperature, including room S1 (27 ± 1°C) and cold S2 (16 ± 1°C) temperatures. The observation was discontinued in this study either when the fruit rind changed to stage III (greenish yellow) at the end of the green shelf-life, or flesh was softened or past 35 days in the postharvest handling. The result showed that the level of fruit maturity significantly increased the green-life duration, as well as maintained firmness, diameter loss, acidity, and starch content, but it had no effect on weight loss, °brix, and glucose. The use of 1% chitosan, 150 ppm GA₃, or their combination had no significant effect on all parameters. Meanwhile, low temperature was able to delay senescence, promote starch degradation, as well as detain firmness and diameter loss. The results also showed that the combined application of maturity levels and storage temperature affected all parameters, while maturities + coatings as well as coatings + storage had effects on firmness, acidity, and starch content. The 1% chitosan coating coverage was analyzed with a Scanning Electron Microscope (SEM), which showed fully covered surface of M1 finger rind tip and some crack points on finger rind base. Furthermore, there was full coverage on M2, and some crack points on M3.

Keywords : Cavendish banana; maturity; coating; storage; temperature

ABSTRAK

PENGARUH KEMATANGAN BUAH, PELAPISAN, DAN SUHU PENYIMPANAN TERHADAP KUALITAS DAN MASA SIMPAH PISANG CAVENDISH

Oleh

ALAMANDA KATARTIKA FAHRI

Pisang Cavendish merupakan buah klimakterik dengan respon yang cepat terhadap etilen dan laju respirasi yang sangat tinggi selama penyimpanan. Studi sebelumnya mengungkapkan bahwa karakteristik ini memperpendek masa simpan hijau dan mempercepat kerusakan buah, yang mempengaruhi nilai ekonomi. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengkaji pengaruh tingkat kematangan buah, pelapisan, dan suhu penyimpanan terhadap kualitas dan masa simpan hijau pisang Cavendish. Penelitian ini menggunakan Rancangan Acak Lengkap faktorial $3 \times 4 \times 2$ dengan 3 kali ulangan. Faktor pertama adalah buah pisang pada 3 tingkat kematangan, yaitu M1 belum matang fisiologis (sisir ke-5), M2 matang penuh (sisir ke-3), dan M3 lewat matang (sisir ke-1). Faktor kedua adalah pelapisan buah yaitu non pelapis atau kontrol (C1), 1% kitosan (C2), 150 ppm GA₃ (C3), dan 1% kitosan + 150 ppm GA₃ (C4) yang diaplikasikan pada kulit buah. ujung dan dasar. Faktor ketiga adalah suhu penyimpanan yang meliputi suhu ruangan S1 ($27 \pm 1^\circ\text{C}$) dan suhu rendah S2 ($16 \pm 1^\circ\text{C}$). Pengamatan dihentikan pada penelitian ini baik pada saat kulit buah berubah menjadi stadium III (kuning kehijauan) pada akhir masa simpan hijau, atau daging telah lunak atau melewati 35 hari pada penanganan pascapanen. Hasil penelitian menunjukkan bahwa tingkat kematangan buah secara nyata meningkatkan masa simpan hijau, serta mempertahankan kekerasan, susut diameter, asam bebas, dan kandungan pati, namun tidak berpengaruh terhadap susut bobot, °Brix, dan glukosa. Sementara itu, suhu rendah mampu menunda pemasakan, mendorong degradasi pati, serta mempertahankan kekerasan buah dan susut diameter. Hasil penelitian juga menunjukkan bahwa aplikasi kombinasi tingkat kematangan + suhu berpengaruh terhadap semua parameter, sedangkan kematangan + pelapisan serta pelapisan + penyimpanan berpengaruh terhadap kekerasan, asam bebas, dan kandungan pati. Cakupan lapisan kitosan 1% yang dianalisis dengan Scanning Electron Microscope (SEM), menunjukkan permukaan ujung kulit buah M1 tertutup penuh dan beberapa titik retakan pada permukaan pangkal buah. Selain itu, buah M2 terlapis penuh dan beberapa titik retak di M3.

Kata Kunci : Pisang Cavendish; kematangan; pelapisan; penyimpanan; suhu

**PENGARUH TINGKAT KEMATANGAN BUAH, PELAPISAN BUAH,
DAN SUHU SIMPAN TERHADAP MUTU DAN MASA SIMPAN BUAH
PISANG CAVENDISH**

Oleh

ALAMANDA KATARTIKA FAHRI

Tesis

**Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencepai Gelar
MAGISTER PERTANIAN**

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



**PROGRAM STUDI MAGISTER AGRONOMI
FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS LAMPUNG
2023**

Judul

: **PENGARUH TINGKAT KEMATANGAN BUAH, PELAPISAN BUAH, DAN SUHU SIMPAN TERHADAP MUTU DAN MASA SIMPAN BUAH PISANG CAVENDISH**

Nama Mahasiswa

: **Alamanda Katartika Fahri**

Nomor Pokok Mahasiswa

: 2124011004

Program Studi

: Magister Agronomi

Fakultas

: Pertanian



1. Komisi Pembimbing

Pembimbing Pertama

Pembimbing Kedua

Soesiladi Esti Widodo *Sri Waluyo*

Prof. Dr. Ir. Soesiladi Esti Widodo, M.Sc.
NIP 196005011984031002

Ir. Sri Waluyo, S.T.P., M.Si., Ph.D., IPU
NIP 197203111997031002

2. Ketua Program Studi Magister Agronomi

Yusnita

Prof. Dr. Ir. Yusnita, M.Sc.
NIP 196108031986032002

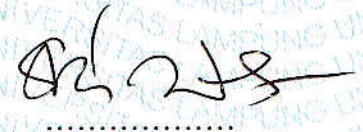
MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

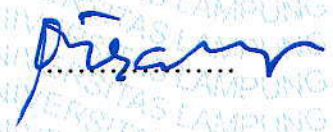
Ketua : Prof. Dr. Ir. Soesiladi Esti Widodo, M.Sc.



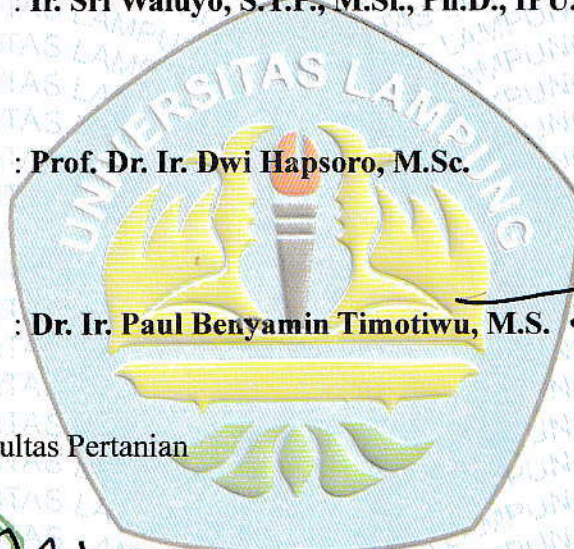
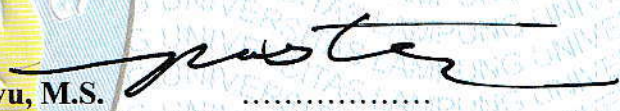
Sekretaris : Ir. Sri Waluyo, S.T.P., M.Si., Ph.D., IPU.



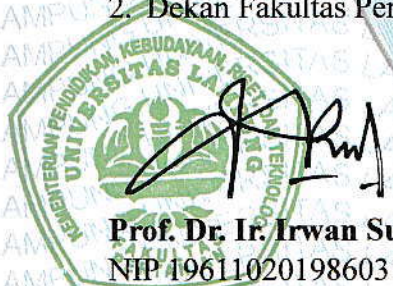
Penguji I : Prof. Dr. Ir. Dwi Hapsoro, M.Sc.



Penguji II : Dr. Ir. Paul Benyamin Timotiwu, M.S.



2. Dekan Fakultas Pertanian



Prof. Dr. Ir. Irwan Sukri Banuwa, M.Si
NIP 196110201986031002

3. Direktur Program Pasca Sarjana Universitas Lampung



Prof. Dr. Ir. Murhadi, M.Si.
NIP 196403261989021001

Tanggal Lulus Ujian Tesis : 10 April 2023

SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini, menyatakan bahwa tesis saya yang berjudul: **Pengaruh Tingkat Kematangan Buah, Pelapisan Buah, dan Suhu Simpan Terhadap Mutu dan Masa Simpan Buah Pisang Cavendish**, 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, 10 April 2023

Penulis,



Alamanda Katartika Fahri

NPM 2124011004

RIWAYAT HIDUP

Penulis dilahirkan di Bandar Lampung, pada tanggal 18 November 1993, sebagai anak ketiga dari empat bersaudara dari bapak Ir. Fahri, M.Sc. (alm) dan ibu Iis Kurniasih. Penulis pernah menempuh Pendidikan pada SD Negeri 1 Way Halim Permai Kota Bandar Lampung diselesaikan tahun 2005, SMP Negeri 25 Bandar Lampung diselesaikan tahun 2008 dan SMA Negeri 3 Bandar Lampung hingga tahun 2009 dan dilanjutkan pada SMA Negeri 1 Ciruas kabupaten Serang diselesaikan pada 2011. Pada tahun 2011 Penulis diterima sebagai mahasiswa Program Studi Agroteknologi, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung melalui jalur Seleksi Nasional Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SNMPTN) Tertulis serta menerima beasiswa Peningkatan Prestasi Akademik (PPA) 2012-2015.

Pada tahun 2013-2014 Penulis menjadi asisten dosen pada mata kuliah Ilmu Tanah, Fisiologi Tumbuhan, Bahasa Inggris, Statistika Pertanian dan Teknik Penelitian. Pada tahun 2014, Penulis menjadi Duta Mahasiswa Fakultas Pertanian dan terpilih sebagai Mahasiswa Berprestasi ke-4 pada program Mahasiswa Berprestasi (Mawapres) Universitas Lampung 2014. Pada 2015, Penulis lulus menjadi Sarjana Pertanian dan mendapatkan penghargaan sebagai Lulusan Terbaik ke-1 Fakultas Pertanian, Universitas Lampung periode wisuda September 2015 dengan predikat Cumlaude. Pada tahun 2017-2021, Penulis bekerja pada Bank Mandiri Taspen melalui jalur *Officer Development Program* (ODP) dan pernah bertugas di Kantor Cabang Jakarta Proklamasi, Kantor Cabang Surabaya, Divisi *Risk Management* Kantor Pusat Denpasar Bali, Divisi *Risk Management* Kantor Pusat Jakarta Cikini dan Kantor Cabang Pembantu Metro, Provinsi Lampung.

Pada April tahun 2021, Penulis memutuskan untuk *resign* dari Bank Mandiri Taspen 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 pada *Multidisciplinary Research and Practices (ICMRP-2022)* dan *The 4th International Conference of Food Security and Sustainable Agriculture in the Tropics 2023* sebagai salah satu penyaji artikel.

PERSEMBAHAN

Dengan menyebut nama Allah yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang, dengan Ridho-Nya dan dalam syukur ku persembahkan karya ini untuk orang-orang yang selalu melantunkan namaku dalam setiap doa.

Karya ini ku persembahkan kepada:

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

Bapak dan Ibu Dosen 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 yang menciptakan. Dia telah menciptakan manusia dari segumpal darah. Bacalah, dan Tuhanmulah yang Mahamulia. Yang mengajar (manusia) dengan pena. Dia mengajarkan manusia apa yang tidak diketahuinya.”(QS. Al-Alaq 1-5).

SANWACANA

Puji dan syukur Penulis ucapkan kepada Allah *Subhanahuwa ta'ala* yang selalu mencurahkan berkah dan rahmat-Nya pada setiap hembusan nafas sehingga Penulis dapat menyelesaikan penulisan tesis yang berjudul “Pengaruh Tingkat Kematangan Buah, Pelapisan Buah, dan Suhu Simpan Terhadap Mutu dan Masa Simpan Buah Pisang Cavendish”. Tesis ini merupakan salah satu syarat untuk memperoleh gelar Magister Pertanian (S2) di Program Studi Magister Agronomi, pada Fakultas Pertanian, Universitas Lampung. Pada kesempatan ini Penulis mengucapkan terima kasih yang setulus-tulusnya kepada:

1. Prof. Dr. Ir. Irwan Sukri Banuwa, M.Si., selaku Dekan Fakultas Pertanian Universitas Lampung;
2. Prof. Dr. Ir. Murhadi, M.Si., selaku Direktur Program Pascasarjana Universitas Lampung;
3. Prof. Dr. Ir. Yusnita, M.Sc. selaku Ketua Program Studi Magister Agronomi, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung atas ilmu, motivasi, doa, dan dukungan serta perhatian terhadap Penulis hingga tesis ini selesai;
4. 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;

5. Ir. Sri Waluyo, S.T.P., M.Si., Ph.D., IPU., selaku Dosen Pembimbing II atas ilmu, saran, nasihat, dan motivasi yang diberikan kepada Penulis hingga tesis ini selesai;
6. Prof. Dr. Ir. Dwi Hapsoro, M.Sc. selaku Dosen Penguji I sekaligus Dosen Pembimbing Akademik atas ilmu, saran, nasihat, dan motivasi yang diberikan kepada Penulis;
7. Dr. Ir. Paul Benyamin Timotiwu, M.S. selaku Dosen Penguji II atas ilmu, saran, nasihat dan motivasi kepada Penulis;
8. Kedua orang tuaku tercinta papa Ir. Fahri, M.Sc. (alm.) dan mama Iis Kurniasih, kedua mertuaku tercinta papa Fietra Sany, S.H., M.H. dan mama Ir. Enny Wahyuni Soebroto, kakak adikku tercinta teteh Vita Rosaline Fahri, S.P., Irvan Nugraha, S.P., dan adik Zaki Mujadid yang selalu memberikan doa, kasih sayang dan dukungan secara moral dan material;
9. Suamiku tercinta Dimas Tryanda Sany, S.H., M.H. dan anakku tersayang Maher Adiaksana Sany yang telah memberikan ridho, doa, kasih sayang dan motivasi serta dukungan secara moral dan material;
10. Keluarga besar, sahabat, dan teman-teman seperjuanganku Magister Agronomi 2021 atas kebersamaan, motivasi dan dukungan kepada Penulis;
11. Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi, Riset, dan Teknologi, Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi, Republik Indonesia atas hibah dana penelitian melalui Skema Riset Dasar pada Riset Kompetensi Nasional Utama tahun 2022/2023;

10. 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, 10 April 2023

Penulis,

Alamanda Katartika Fahri

DAFTAR ISI

	Halaman
DAFTAR TABEL	xv
DAFTAR GAMBAR	xvi
I. PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang dan Masalah	1
1.2 Tujuan Penelitian	3
1.3 Kerangka Pemikiran	3
1.4 Hipotesis	5
II. TINJAUAN PUSTAKA.....	6
2.1 Tingkat Kematangan Buah dan Mutu Buah Pisang Cavendish.....	6
2.2 Penentuan Panen Buah Pisang Cavendish.....	7
2.3 Aplikasi Kitosan dan Hormon GA ₃ pada Pascapanen Buah Pisang Cavendish	8
2.4 Aplikasi Suhu Simpan terhadap Mutu Fisik dan Kimia Buah Pisang Cavendish	9
III. METODE PENELITIAN	11
3.1 Tempat dan Waktu Penelitian	11
3.2 Alat dan Bahan Penelitian	11
3.3 Metode Penelitian.....	12
3.4 Pelaksanaan	12
3.5 Pengamatan	13
3.5.1 Masa simpan	14
3.5.2 Susut diameter buah.....	14
3.5.3 Susut bobot buah.....	14
3.5.4 Kekerasan buah.....	14
3.5.5 Pengukuran kandungan °Brix	15
3.5.6 Pengukuran kadar keasaman buah	15
3.5.7 Kandungan glukosa.....	16
3.5.8 Kandungan pati	17

3.5.9 <i>Thermal image</i>	18
3.5.10 <i>Green-life</i>	19
3.5.11 Porositas buah	22
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	25
V. SIMPULAN DAN SARAN	39
5.1 Simpulan.....	39
5.2 Saran.....	39
DAFTAR PUSTAKA.....	41
LAMPIRAN.....	46
Hasil analisis statistik pada peubah masa simpan, <i>green-life</i> , susut diameter, susut bobot, kekerasan buah, kandungan °Brix, asam bebas, glukosa, pati dan <i>thermal image</i> dengan uji BNJ 5% menggunakan aplikasi minitab versi 2021. ..	47
<i>Effects of Fruit Maturities, Coatings, and Storage Temperatures on the Qualities and Green-Life of Cavendish Banana</i>	76
<i>Novel Determination Method of Green Life Based on Image Processing Data of Cavendish Banana After Receiving Postharvest Treatments</i>	84

DAFTAR TABEL

Tabel		Halaman
1.	Penentuan akhir <i>green-life</i> pada buah pisang Cavendish yang disimpan pada suhu ruang.....	26
2.	Penentuan akhir <i>green-life</i> pada buah pisang Cavendish yang disimpan pada suhu rendah.....	27
3.	Pengaruh tingkat kematangan, pelapisan, dan suhu simpan terhadap umur simpan buah, <i>green-life</i> , kekerasan, susut bobot dan susut diameter buah pisang Cavendish	30
4.	Pengaruh tingkat kematangan, pelapisan, dan suhu simpan terhadap °Brix, keasaman, glukosa dan pati buah pisang Cavendish.....	33
5.	Uji korelasi antar variabel <i>green-life</i> dengan masa simpan, kekerasan, susut bobot, susut diameter, Brix, keasaman, kandungan glukosa dan pati.....	35
6.	Trend suhu buah pisang Cavendish yang disimpan pada suhu ruang dan diamati dengan <i>thermal image</i> (satuan dalam °C)	37
7.	Trend suhu buah pisang Cavendish yang disimpan pada suhu rendah dan diamati dengan <i>thermal image</i> (satuan dalam °C)	38
8.	Analisis ragam variabel masa simpan.....	47
9.	Analisis ragam variabel <i>green-life</i>	49
10.	Analisis ragam variabel kekerasan buah.....	52
11.	Analisis ragam variabel susut bobot	55
12.	Analisis ragam variabel susut diameter	57
13.	Analisis ragam variabel °Brix	60
14.	Analisis ragam variabel tingkat keasaman.....	63
15.	Analisis ragam variabel glukosa	66
16.	Analisis ragam variabel kandungan pati	69

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Proses (a) aklimatisasi, (b) sortasi, (c) random sampling, (d) pemberian label dan penyimpanan pada sampel buah pisang Cavendish.....	13
2. Chamber akuisisi citra <i>thermal</i>	18
3. Proses pengambilan citra dengan <i>thermal image</i>	19
4. Proses pengambilan citra warna untuk penentuan <i>green-life</i>	20
5. Ilustrasi segmentasi warna.....	20
6. Ilustrasi <i>histogram processing</i>	21
7. Ilustrasi penentuan <i>green-life</i>	22
8. Pengamatan porositas buah dengan analisis SEM	23
9. Ilustrasi hasil hitung porositas	24
10. Komponen warna merah, hijau, dan biru (RGB <i>colour</i>).....	25
11. Ilustrasi penentuan <i>green-life</i> pisang Cavendish.....	28
12. Analisis <i>Scanning Electron Microscope</i> (SEM) pada ujung dan pangkal kulit pisang Cavendish yang dilapisi kitosan 1% dengan perbesaran 1000x. Ujung dan pangkal kulit pisang pada tandan ke-1 dari atas tandan (a1) dan (a2), tandan ke-3 dari atas tandan (b1) dan (b2), tandan ke-5 dari atas tandan (c1) dan (c2)	35
13. Analisis <i>Scanning Electron Microscope</i> (SEM) pada ujung dan pangkal kulit pisang Cavendish dengan SEM perbesaran 1000x. pada kulit pisang tanpa pelapis.....	73
14. <i>Trendline</i> suhu buah pisang Cavendish pada penyimpanan ruang menggunakan <i>thermal image</i>	74
15. <i>Trendline</i> suhu buah pisang Cavendish pada penyimpanan rendah menggunakan <i>thermal image</i>	75

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang dan Masalah

Pisang Cavendish merupakan buah yang bernilai ekonomis tinggi dan menjadi buah unggulan Indonesia. Kandungan gizi dan rasa yang lezat menjadi daya tarik dari pisang Cavendish. Pisang mengandung kalium, magnesium, vitamin A, C dan B6 (Kementerian Kesehatan Republik Indonesia, 2018). Kesadaran manusia akan kesehatan pada dewasa ini semakin meningkat, sehingga buah pisang sebagai salah satu sumber mineral dan vitamin menjadi pilihan yang tepat untuk dikonsumsi oleh seluruh kalangan usia.

Selain itu, buah pisang merupakan komoditas ekspor yang sangat menjanjikan dan dapat memperkuat kerjasama internasional. Menurut Kementerian Koordinator Bidang Perekonomian (2020), secara umum ekspor buah-buahan tahun 2019 adalah sebesar 110.000 ton. Struktur tandan pada pisang Cavendish yang tersusun dari beberapa sisir secara bertingkat memungkinkan tingkat kematangan yang beragam antarsisirnya. Informasi mengenai tingkat kematangan antarsisir dapat membantu petani dalam menentukan perlakuan pascapanen dan pasar yang dituju sehingga menurunkan tingkat kerugian akibat buah masak sebelum tiba di tempat tujuan.

Pisang Cavendish dipanen pada kondisi matang fisiologis atau pada fase I dengan ciri *green rid* pada kulit buahnya (Zulferiyenni *et al.*, 2016). Kemudian pisang Cavendish diekspor dalam kondisi hijau dan disimpan pada suhu 16 °C selama dalam perjalanan hingga tempat tujuan dan selanjutnya digas etilen agar siap didistribusikan pada pasar lokal. Pisang Cavendish merupakan buah klimakterik dengan respons yang sangat cepat terhadap gas etilen dan memiliki laju respirasi yang tinggi selama masa penyimpanan. Tingginya respons tersebut menyebabkan

kerusakan buah yang relatif cepat dan sulit dikendalikan sehingga memengaruhi nilai ekonomisnya.

Pelapisan buah merupakan salah satu perlakuan pascapanen yang dapat menurunkan laju respirasi dan memperpanjang umur simpan buah. Kitosan merupakan salah satu bahan *edible coating* yang bekerja dengan melapisi kulit buah pisang Cavendish untuk mencegah terjadinya kontak langsung etilen dengan permukaan kulitnya sehingga memperlambat proses pematangan. Bahan dasar kitosan bersifat biodegradasi dan non toksik sehingga sangat aman untuk diaplikasikan dan ramah terhadap lingkungan (Bakshi *et al.*, 2019). Kitosan secara kimiawi berperan menghalangi pergerakan O₂ dan CO₂, dengan adanya bahan ini modifikasi sekitar buah dengan lebih sedikit O₂ dan lebih banyak CO₂ diharapkan dapat menurunkan laju respirasi selama masa penyimpanan (Widodo *et al.*, 2015). Aplikasi kitosan secara sendiri pada buah pisang Cavendish menunjukkan respons yang berbeda dengan buah klimakterik lainnya karena meskipun kulit buah pisang dan umur simpan menjadi panjang, daging buahnya tetap menjadi lunak. Etilen dari dalam buah sulit berdifusi keluar dan tetap terjadi pematangan buah secara alami di dalam sehingga panas hasil respirasi terperangkap (Zulferiyenni *et al.*, 2016).

Penambahan bahan lain yang bersifat anti-etilen dianggap efektif mengendalikan pematangan di dalam buah jika dikombinasikan dengan aplikasi kitosan.

Gibberelic Acid (GA₃) merupakan zat pengatur pertumbuhan yang dapat menyebabkan penghijauan pada buah jeruk dan menunda munculnya warna merah pada buah tomat (Vendrell, 1970). (Sultana *et al.*, 2012) melaporkan bahwa GA₃ dapat menunda pematangan buah pisang dengan menangkal etilen dan mempertahankan klorofil sehingga menjaga warna hijau pisang, susut bobot yang minimum, persentase kadar air dan bobot kering buah yang rendah. Konsentrasi GA₃ sangat memengaruhi keberhasilan aplikasi, pada penelitian (Vargas and Lopez, 2011) penundaan pematangan pada pisang Cavendish selama 3-4 hari didapatkan dari aplikasi konsentrasi 50-250 mg/L GA₃.

Suhu penyimpanan merupakan faktor yang sangat berpengaruh terhadap masa simpan buah. Suhu berpengaruh langsung terhadap laju respirasi, pada suhu rendah laju respirasi dapat diperlambat. Hal ini juga didukung oleh proses pengiriman pisang Cavendish yang biasanya diberikan perlakuan suhu rendah berkisar 13.33-14.44% (Widodo *et al.*, 2015). Gonge *et al.* (2013) melaporkan bahwa penyimpanan buah pada suhu 16 °C berpengaruh nyata terhadap tekstur, aroma, warna, dan rasa. Oleh karena itu, penelitian mengenai tingkat kematangan, pelapisan dan suhu simpan pada pisang Cavendish perlu dilakukan sebagai informasi bagi petani dalam menentukan strategi pasar dan menghindari kerugian pascapanen.

1.2 Tujuan Penelitian

Berdasarkan identifikasi dan perumusan masalah, tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Mengetahui pengaruh tingkat kematangan buah pisang Cavendish terhadap mutu dan masa simpan-hijau (*green-life*);
2. Mengetahui pengaruh aplikasi pelapis-buah (*fruit-coating*) kitosan dan GA₃ terhadap mutu dan masa simpan-hijau (*green-life*) buah pisang Cavendish;
3. Mengetahui pengaruh suhu simpan terhadap mutu dan masa simpan-hijau (*green-life*) buah pisang Cavendish;
4. Mengetahui pengaruh interaksi antara tingkat kematangan buah, aplikasi pelapis-buah, dan suhu simpan terhadap mutu dan masa simpan-hijau (*green-life*) buah pisang Cavendish.

1.3 Kerangka Pemikiran

Pisang merupakan buah klimaterik, tanda inisiasi pemasakannya adalah dengan terjadinya produksi etilen dan peningkatan respirasi. Waktu antara panen dan inisiasi pemasakan alami disebut fase *green-life*, yang dinyatakan dalam jumlah hari. Setelah panen dan sebelum masak, pisang Cavendish yang akan diekspor harus mampu bertahan dalam kondisi pengiriman selama 3-4 minggu. Dengan demikian, penentuan waktu panen yang ideal sangat penting guna memastikan mutu pisang Cavendish yang baik pada tingkat kematangan yang cukup sepanjang

masa pasca panen dan masa pengiriman (Umber *et al.*, 2011). Jullien *et al.* (2001a) melaporkan bahwa *green-life* merupakan indikator umur fisiologis buah saat panen. Untuk pisang ekspor, usia fisiologis yang ideal untuk panen tandan sesuai dengan *green-life* sekitar 25 hari, yaitu masa maksimum yang tercatat pada proses pengemasan dan pengiriman pisang di tahap sebelum pemasakan buatan terjadi (pemberian gas etilen) (Alvindia, 2019).

Penambahan nanopartikel kitosan sebagai edible coating memberikan dampak yang signifikan terhadap kekerasan, laju etilen, respirasi, dan kandungan fenolik total selama penyimpanan (Odetayo, 2022). Pelapis dari bahan polisakarida adalah penghalang (*barrier*) yang baik, karena pelapis jenis ini bersifat permiabel terhadap CO₂ dan O₂, kitosan dapat membentuk matriks yang kuat dan kompak pada permukaan kulit buah. Kitosan sebagai bahan *coating* mampu melapisi dan melindungi bahan makanan, sehingga tetap dapat mempertahankan rasa asli dan menjadi penghalang masuknya mikroba (Suseno, 2006). Aplikasi pelapisan kitosan dapat bermanfaat dalam memperlambat proses pematangan pisang Cavendish, menjaga kualitas dan mengendalikan pembusukan pisang. Umur simpan buah pisang bisa diperpanjang hingga beberapa hari setelah aplikasi *edible coating* kitosan (Suseno *et al.*, 2014).

GA₃ secara signifikan dapat menunda perubahan warna kulit buah dan memperlambat mekanisme pemasakan pada cabai yang dilapisi oleh GA₃ sebagai perlakuan pascapanennya (Panigrahi *et al.*, 2017). Sementara hasil penelitian Sultana *et al.* (2012) dan Ghimire *et al.* (2021) pada pisang menunjukkan bahwa pemberian hormon pertumbuhan GA₃ mampu memperpanjang masa simpan secara sangat signifikan. Metode pemberian GA₃ yang paling efektif adalah dengan mencelupkan seluruh permukaan kulit buah pada larutan GA₃ dan dikeringanginkan untuk selanjutnya dibungkus dengan pelapis film telah dilaporkan pada penelitian sebelumnya Osman dan Abu-Goukh (2008).

Suhu penyimpanan merupakan faktor yang sangat penting dalam pascapanen pisang Cavendish karena berkaitan erat dengan proses fisiologi. Pada suhu simpan

15 °C proses pemasakan terjadi lebih panjang dibandingkan pada suhu ruang, sementara pada suhu 32 °C proses pemasakan terjadi sangat berlebih sehingga menyebabkan buah mengalami *over-ripe* dan kerusakan (Larotonda *et al.*, 2008). Zulferiyenni *et al.* (2016) melaporkan bahwa penyimpanan pisang Cavendish pada suhu rendah (13°C) dapat mempertahankan kekerasan, menahan laju respirasi dan produksi etilen, serta menunda kerusakan pisang. Oleh karena itu, sangat penting untuk mengkaji tingkat kematangan, pengaruh pelapis kitosan dan GA₃ serta suhu simpan pada pisang Cavendish. Hasil penelitian ini dapat menjadi informasi yang bermanfaat bagi petani dalam menentukan perlakuan yang efektif dan efisien, strategi pasar yang tepat serta meningkatkan pendapatan negara.

1.4 Hipotesis

Berdasarkan kerangka pemikiran yang telah dikemukakan, maka dapat diajukan hipotesis sebagai berikut.

1. Tingkat kematangan pada sisir ke- 3 buah pisang Cavendish diduga memiliki masa simpan-hijau (*green-life*) yang lebih panjang dan mutu buah yang lebih baik dibandingkan dengan sisir ke-1, sisir ke-s5 diduga memiliki masa simpan-hijau (*green-life*) yang lebih panjang namun tidak lebih baik secara mutu;
2. Aplikasi pelapis-buah (*fruit-coating*) berupa kitosan 1% diduga dapat memperpanjang masa simpan-hijau (*green-life*) namun tetap terjadi penurunan kekerasan buah, GA₃ 150 ppm diduga dapat mempertahankan kekerasan buah, sementara kombinasi kitosan 1% dan GA₃ diduga dapat memperpanjang masa simpan-hijau (*green-life*) dan mempertahankan kekerasan buah pisang Cavendish;
3. Aplikasi suhu simpan rendah pada buah pisang Cavendish menghasilkan mutu dan masa simpan-hijau (*green-life*) yang lebih panjang dan mutu yang lebih baik dibandingkan pada suhu simpan ruang;
4. Terdapat interaksi antara tingkat kematangan buah, aplikasi pelapis-buah, dan suhu simpan terhadap mutu dan masa simpan-hijau (*green-life*) buah pisang Cavendish.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tingkat Kematangan Buah dan Mutu Buah Pisang Cavendish

Standar tingkat kematangan dan kemasakan pada buah pisang sangat beragam di berbagai negara dan ditentukan oleh estimasi durasi *green-life* nya (Rajkumar *et al.*, 2012). Kemajuan teknologi memungkinkan deteksi tingkat kematangan untuk dilakukan dengan bantuan alat sensor yang bersifat non destruktif. Penelitian sebelumnya oleh Waluyo *et al.* (2021) melaporkan bahwa deteksi tingkat kematangan dini pada pisang Cavendish dapat dilakukan dengan deteksi suhu (*thermal image*), semakin tinggi suhu yang terakumulasi di dalam buah maka semakin tinggi tingkat kematangannya.

Penelitian Rajkumar *et al.* (2012) untuk prediksi tingkat kematangan pisang dengan model *hyperspectral imaging* menunjukkan jumlah faktor laten pada model Partial Least Square (PLS) untuk memprediksi tingkat kematangan ditentukan dengan memilih jumlah prediksi *square residual error* (PRESS). Penentuan PRESS dimulai pada peristiwa penurunan nilai yang lebih tinggi ke nilai yang lebih rendah hingga mencapai nilai terendah yang sesuai dengan jumlah ideal pada faktor laten. Tingkat kematangan pisang Cavendish sangat menentukan mutu buah dan berkaitan erat dengan kerugian pascapanen. Gonge *et al.* (2013) dalam penelitiannya pada *Navsari Agricultural University* melaporkan bahwa penentuan tingkat kematangan pisang Cavendish 100% matang penuh adalah 100 hari setelah antesis, tingkat kematangan 75% dan 90% adalah 75 dan 90 hari setelah antesis. Tingkat kematangan dapat dideteksi dengan metode *Watershed* yang menunjukkan tingkat akurasi 65% dan dominansi komponen warna merah pada pisang masak (Ageng dan Vidya, 2022).

Mutu buah pisang Cavendish dibagi menjadi dua, yaitu mutu fisik (warna, bobot, durasi *green-life*, dan kondisi permukaan kulit buah) serta mutu kimia yang

meliputi pati, gula, asam, dan *volatile*), sementara kandungan gula pada pisang Cavendish merupakan kandungan terpenting (Widodo, 2017). Rendahnya mutu buah pisang Cavendish dapat menyebabkan kerugian yang tinggi. Berdasarkan mutu 239 pisang Cavendish yang dipanen pada *stage* 1, hanya sekitar 38% yang diterima dan memenuhi standar pasar, sementara 43,5% dikirim ke industri pupuk dan 17,5% ke industri pakan ternak serta 1% sisanya ke industri makanan untuk diproses (Grasiele *et al.*, 2022). Faktor suhu sangat memengaruhi mutu buah pisang Cavendish, perubahan suhu secara ekstrim hingga 13 °C atau peningkatan hingga 36 °C menyebabkan gangguan fisiologis yang menyebabkan kerusakan mutu seperti *chilling injury* atau *sunburn*.

Musim dingin memengaruhi bobot dan ukuran buah yang lebih kecil dibandingkan buah pisang Cavendish yang ditanam selama musim panas (Saowapa, 2021). Somchai (1999) menyatakan bahwa Cavendish banana ‘Grand Naine’ memiliki mutu tertinggi untuk dikonsumsi setelah pemasakan dengan etilen ketika dipanen pada 90 hari setelah antesis. Aplikasi perlakuan pascapanen dapat mempertahankan mutu buah pisang Cavendish, aplikasi 1-Methycyclopropene dapat memperpanjang masa simpan hingga 6 hari pada suhu simpan 2 °C (Bagnato *et al.*, 2003). Kekerasan buah dianggap sebagai kriteria berguna dalam menentukan mutu makan dan kemasakan buah pisang Cavendish (Liew dan Lau, 2012). Seperti buah lainnya, total padatan terlarut dianggap sebagai evaluasi mutu buah pisang, nilai °Brix di atas 12% dianggap lebih dapat diterima oleh konsumen (McGlone dan Kawano, 1998). Instrumen yang dapat digunakan untuk mengukur kekerasan buah adalah penetrometer (Abbott *et al.*, 1997).

2.2 Penentuan Panen Buah Pisang Cavendish

Bolfarini *et al.* (2020) melaporkan bahwa waktu panen buah pisang Cavendish yang paling tepat adalah pada saat diameter mencapai ukuran 38 atau 40 mm karena dapat menunda penurunan mutu yang signifikan diantaranya keasaman, total padatan terlarut dan kekerasan buah. Menurut Salunkhe dan Kadam (1995), buah pisang dipanen ketika sudah matang fisiologis penuh pada kondisi hijau

segar, selanjutnya pisang akan mengalami proses pemasakan di tempat penyimpanan dengan pemberian etilen pada suhu tertentu. Pisang Cavendish adalah buah klimakterik sehingga memiliki puncak laju respirasi selama pemasakan yang ditandai dengan meningkatnya produksi etilen.

Akumulasi satuan panas dapat dijadikan standar penentuan panen pada pisang Cavendish, Haryadi (2018) melaporkan bahwa 1.400 °hari (satuan *heat unit*) atau 84-86 hari setelah berbunga merupakan waktu yang tepat untuk panen. Penutup tandan buah pisang Cavendish dengan tanda khusus mempermudah dalam identifikasi dan penjadwalan waktu munculnya tandan yang siap dipanen. Pada saat buah masak setelah panen, terjadi peningkatan tingkat gula pada daging buah, pada saat ini daging buah membengkak sementara kulit buah menipis (Newly *et al.*, 2008). Pemanenan buah pisang Cavendish saat ini masih didasari oleh ukuran dengan umur panen selama 8 – 11 minggu setelah antesis, hal ini sangat subjektif dan banyak menyebabkan kerugian pascapanen. Buah dengan kriteria ukuran dan penampilan yang sama tidak menentukan keseragaman kematangan fisiologis yang sama pula.

Pisang Cavendish yang dipanen melewati matang fisiologis, maka akan menyebabkan buah mengalami proses pemasakan di dalam perjalanan dan berkaitan langsung dengan kerugian pascapanen (Santosh *et al.*, 2017). Pada umumnya, pisang Cavendish siap dipanen pada 11-16 bulan setelah penanaman. Sementara tandannya memerlukan waktu 90-120 hari hingga matang fisiologis setelah terjadinya antesis. Secara mata telanjang, buah yang matang fisiologis penuh menunjukkan penampakan montok dan seluruh sudut terisi penuh (Widodo, 2017).

2.3 Aplikasi Kitosan dan Hormon GA₃ pada Pascapanen Buah Pisang Cavendish

Aplikasi pelapis kitosan dapat bermanfaat dalam memperlambat proses pemasakan, menjaga mutu dan memperpanjang masa simpan pada buah mangga (Silva *et al.*, 2017) dan jeruk nipis (Arnon *et al.*, 2014). Penggunaan kitosan pada pisang dapat memperpanjang masa simpan hingga 11 hari dan berpengaruh

terhadap mutu buah seperti kandungan pati, susut bobot dan total padatan terlarut. Dibandingkan dengan bahan pelapis lain, kitosan memiliki beberapa keunggulan penting, termasuk biokompatibilitas, biodegradabilitas, tidak bersifat toksik dan memiliki sifat antimikroba (Suseno *et al.*, 2014). Zat pengatur tumbuh GA₃ berpengaruh secara signifikan memperpanjang masa simpan, mempertahankan persentase kelembaban, persentase kandungan bahan kering dan susut bobot pada buah pisang (Sultana *et al.*, 2012). Aplikasi GA₃ pada konsentrasi 300 ppm dapat memperpanjang masa simpan buah pisang hingga 32.67 hari dibandingkan kontrol, yaitu 18.33 hari dilaporkan pada penelitian sebelumnya (Ghimire, 2021).

Vendrell (1969) menemukan bahwa perlakuan GA pada pisang utuh menunda perubahan warna buah menjadi kuning tetapi semua aspek pematangan lainnya tetap normal. Di dalam sebaliknya, GA mempercepat fenomena pematangan normal dalam irisan (tanpa merangsang produksi etilen), kecuali untuk beberapa penundaan menguningnya kulit. GA yang bertindak sebagai penghambat penuaan juga efektif dalam mengurangi kerusakan pada apel jika dikombinasikan dengan perlakuan suhu rendah, sehingga menunjukkan kesamaan antara penuaan dan fenomena stres (Vendrell, 1970). Efek penghambat penuaan dari giberelin dalam buah adalah penghambatan klorofilioss pada jeruk Navel. Selanjutnya ditunjukkan bahwa GA menunda pelunakan dan akumulasi kulit karotenoid, dilaporkan oleh Guardiola *et al.* (1984).

2.4 Aplikasi Suhu Simpan terhadap Mutu Fisik dan Kimia Buah Pisang Cavendish

Suhu rendah dapat menghambat perubahan spesifik pada karakteristik fisikokimia dan fisiologis, seperti laju respirasi dan produksi etilen sehingga dapat memperpanjang umur simpan pisang. Peningkatan suhu dilaporkan meningkatkan laju respirasi dan produksi etilen (Zou *et al.*, 2014). Suhu selama masa simpan memengaruhi perubahan mutu dan potensi pasar buah pisang Cavendish (Ahmad *et al.*, 2001). Penyimpanan buah pisang pada suhu rendah (13 °C) dapat menghambat laju produksi etilen selama waktu pemasakan setelah panen. Laju

produksi etilen endogen sangat mempengaruhi laju respirasi buah (Toàn *et al.*, 2013).

Pada suhu 30-34 °C pisang Cavendish tetap hijau saat masak karena degradasi klorofil yang tidak lengkap sementara pada suhu 20 °C terjadi peristiwa *degreening* sempurna dan buah menjadi kuning. Kandungan total karotenoid kulit tetap konstan selama pemasakan dan tidak dipengaruhi oleh suhu. Xantofil bebas mengalami penurunan sementara ester xanthophyll meningkat pada saat pemasakan. Aktivitas klorofilase meningkat selama pemasakan dan sejalan dengan respirasi puncak klimakteriknya, meskipun aktivitas tidak secara konsisten berkaitan dengan degradasi diferensial klorofil pada suhu ini. Aplikasi etilen dan ethrel secara eksogen mempercepat pemasakan, tetapi tidak berpengaruh terhadap kadar klorofilase, degradasi klorofil dan kandungan karotenoid pisang Cavendish masak pada suhu 30-34 °C atau pada 20 °C (Thomas dan Janave, 1992).

Pisang yang disimpan pada suhu yang lebih tinggi menunjukkan total padatan terlarut lebih besar daripada pada pisang yang disimpan pada suhu yang lebih rendah. Pisang yang mengalami pemasakan pada suhu 14 °C dan 20 °C menunjukkan perbedaan yang signifikan dalam total padatan terlarutnya. Namun, tidak ada perbedaan yang signifikan antara pisang matang pada suhu 16 °C, 18 °C dan 20 °C dilaporkan oleh Ahmad *et al.* (2001). Toleransi tanaman terhadap stress suhu rendah bergantung pada kemampuannya mengoordinasikan proses fisiologis yang disertai penurunan suhu sehingga untuk meminimalkan efek merusak dari dingin. Setelah adaptasi jangka panjang terhadap dingin, pisang Cavendish ditampilkan lebih sedikit inaktivasi beberapa enzim kunci selama stres dingin dan lebih tahan dingin (Zhang *et al.*, 2012).

III. METODE PENELITIAN

3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Hortikultura dan Pascapanen, Jurusan Agronomi dan Hortikultura, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung. Penelitian dilaksanakan pada Juli sampai dengan Agustus 2022.

3.2 Alat dan Bahan Penelitian

Bahan utama penelitian terdiri atas sisir dari tandan buah pisang Cavendish dengan tiga tingkat kematangan, yaitu : belum, tepat, dan telah melewati fase kematangan fisiologis berdasarkan hasil penelitian Latansya (2022). Sampel pisang didatangkan dari PT Great Giant Foods (GGF), c.c. Plantation Group (PG) 4, Labuhan Ratu, Lampung Timur pada stadium I yang relatif seragam, baik umur panen maupun tampilan fisiknya.

Bahan penelitian lainnya adalah aquades, NaOH 0,1 N, CH₃COOH 0,5%, Kitosan (*cosmetics grade*), GA₃, fenolftalein, H₂SO₄. Alat yang digunakan pada penelitian ini adalah thermal camera, set *chamber* pengambilan citra dengan dimensi 40 cm x 25 cm x 25 cm yang dilengkapi dengan lampu LED 15 watts, unit laptop untuk perekaman data citra yang dilengkapi dengan instrumen kamera 8MP (Infinix X6812B), *interface* FLIR E5-XT dan aplikasi MATLAB V2020b untuk pengujian *thermal image* dan *K-mean unsupervised*, instrumen SEM EDX EVO MA 10, plastik *vacuum*, labu ukur 150 mL, gelas piala, timbangan digital, penetrometer, biuret, gelas ukur 5 mL, *magnetic stirrer*, sentrifugasi, erlenmeyer (100 dan 250 mL), pipet gondok, neraca digital, pipet tetes 10 mL, talenan, saringan, piring styrofoam, tisu, ember, tabung sampel, blender, pisau, spidol, kamera, dan biuret beserta peralatan gelas untuk analisis mutu kimia buah. penetrometer, refraktometer digital, spektronik-20.

3.3 Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL) yang disusun secara faktorial $3 \times 4 \times 2$ dengan 2 ulangan. Faktor pertama adalah sisir buah pisang pada 3 tingkat kematangan, yaitu: belum mencapai fase kematangan fisiologis (sisir ke-5 dari atas tandan), tepat pada fase kematangan fisiologis (sisir ke-3 dari atas tandan), dan telah melewati fase kematangan fisiologis (sisir 1 dari atas tandan) berdasarkan Latansya (2021). Faktor kedua adalah *fruit coating* (*non-coating*/kontrol, 2.5% kitosan, GA₃ 150 ppm, kombinasi 1% kitosan + GA₃ 150 ppm), sedangkan faktor III adalah suhu simpan [suhu ruang (27 ± 1 °C) dan suhu rendah (16 ± 1 °C)]. Pengamatan akan dihentikan jika kulit buah sudah berubah kekuningan dan daging buah lunak sebagai akhir masa simpan-hijau (*green-life*) atau telah melewati 35 hari, sebagai batas maksimal durasi *green-life* (Jullien *et al.*, 2001b).

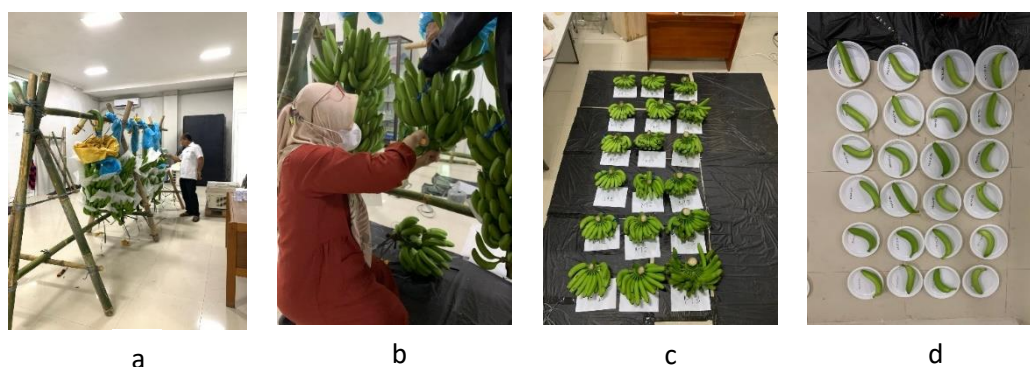
3.4 Pelaksanaan

Pada penelitian ini 10 tandan buah pisang dengan kualitas ekspor (skimming mencapai minimal 38) didatangkan dari PT Great Giant Foods (GGF), c.c. Plantation Group (PG) 4, Labuhan Ratu, Lampung Timur yang telah dipanen pada stadium I dalam kondisi seragam waktu panen dan mutu fisiknya. Pada saat tiba, tandan pisang digantung pada rak buah yang terbuat dari bambu dan diaklimatisasi pada ruang simpan selama 12 jam (Gambar 1 bagian a). Setelah itu, 6 tandan dari 12 tandan buah pisang disortasi berdasarkan ukuran yang relatif seragam. Sisir-sisir buah yang digunakan sebagai sampel dipisahkan secara hati-hati dari 6 tandan buah pisang terpilih menggunakan pisau (Gambar 1 bagian b).

Sisir-sisir pisang yang telah dipisahkan dari tandan kemudian diletakkan pada alas plastik dan diberi keterangan asal tandan untuk dilakukan *random sampling* (Gambar 1 bagian c). Setelah sisir buah dipilih secara acak, *finger* dipilih sebanyak 72 buah secara acak dan diukur serta dicatat bobot dan diameternya. Setelah itu, pemberian kode pada tiga tingkat kematangannya dilakukan pada sisir ke-5 dari atas tandan (M1), sisir ke-3 dari atas tandan (M2) dan sisir ke-1 dari atas tandan (M3) dan diulang sebanyak 3 kali (Gambar 1 bagian d). Larutan *coating*

kitosan dan GA₃ telah dipersiapkan terlebih dahulu dengan konsentrasi 1% dan GA₃ 150ppm, kemudian dilakukan pencucian buah di air mengalir. Selanjutnya, buah dikeringangin pada suhu ruang dan kemudian dilakukan pencelupan sampel buah dan diberikan label kontrol (C1), kitosan 1% (C2), GA₃ 150 ppm (C3), dan kombinasi kitosan 1% dan GA₃ 150 ppm (C4). Pada larutan kitosan, bagian buah yang dicelupkan adalah ujung dan pangkal buah.

Setelah itu, buah dibagi dan dipisahkan ke dalam ruang penyimpanan dan diberi label sesuai suhu ruang dengan kode S1 (27 ± 1 °C) dan suhu rendah dengan kode S2 (16 ± 1 °C). Selanjutnya dilakukan analisis awal mutu fisik buah (*green-life*, bobot, diameter, kekerasan buah, *thermal image* dan porositas buah menggunakan analisis SEM), mutu kimia (°Brix, asam bebas, glukosa dan pati). Analisis mutu fisik dan kimia (°Brix) dilakukan di Laboratorium Hortikultura dan Pascapanen, Jurusan Agronomi dan Hortikultura, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung, sedangkan analisis kimia (asam bebas, glukosa dan pati) dan analisis SEM dilakukan di UPT Laboratorium Terpadu dan Sentra Inovasi Teknologi (UPT LT-SIT) Universitas Lampung.



Gambar 1. Proses (a) aklimatisasi, (b) sortasi, (c) random sampling, (d) pemberian label dan penyimpanan pada sampel buah pisang Cavendish.

3.5 Pengamatan

Pengamatan terhadap peubah masa simpan dan *green-life* dilakukan setiap hari, *thermal image* dilakukan 8 (delapan) kali pengamatan dengan interval 4-5 hari. Analisis mutu fisik dan kimia dilakukan sebelum penerapan perlakuan dan saat akhir pengamatan. Peubah yang diamati adalah masa simpan, *green-life*, susut bobot, susut diameter, kekerasan buah, kandungan °Brix, asam bebas, kandungan

glukosa dan pati serta porositas buah. Pengamatan dihentikan jika warna kulit buah pisang sudah menguning dan daging buah lunak atau berumur 35 hari.

3.5.1 Masa simpan

Buah pisang yang telah diberi perlakuan diamati perubahan warna kulitnya setiap hari. Masa simpan buah dihitung dari hari pertama buah mulai disimpan (setelah diberi perlakuan) hingga pengamatan dihentikan ketika kulit buah menguning dan daging buah lunak.

3.5.2 Susut diameter buah

Susut diameter buah (dalam %) diukur dengan menggunakan jangka sorong merk Krisbow (*digital caliper*) tipe 200 mm/8" (QRC1) pada saat buah belum diberi perlakuan dan akhir masa simpan. Susut diameter buah dihitung dengan cara pengurangan diameter awal buah oleh diameter akhir buah, kemudian dibagi diameter awal dan dikali 100%. Diameter akhir diperoleh dari diameter buah saat analisis, yaitu setelah buah menguning dan daging buah lunak.

3.5.3 Susut bobot buah

Susut bobot buah (dalam %) diukur dengan menggunakan timbangan digital dengan akurasi 0.01 g pada saat buah belum diberi perlakuan dan akhir masa simpan. Susut bobot buah dihitung dengan cara pengurangan bobot awal buah oleh bobot akhir buah, kemudian dibagi bobot awal dan dikali 100%. Bobot akhir diperoleh dari bobot buah saat analisis, yaitu setelah buah menguning dan daging buah lunak.

3.5.4 Kekerasan buah

Kekerasan buah (dalam kg/cm^2) diukur dengan alat penetrometer model GY-3 dengan *indication scale* 0.5-12 kg/cm^2 dan ukuran *pressure head* sebesar 11 mm. Pengukuran kekerasan dilakukan dengan cara mengupas kulit buah, kemudian dilakukan pengukuran kekerasan buah pada tiga tempat yang tersebar acak di sekitar pertengahan atau sisi terlebar dari *finger* buah pisang Cavendish. Nilai

kekerasan buah dihitung dan dicatat berdasarkan angka yang ditampilkan pada penetrometer sesuai letak jarum.

3.5.5 Pengukuran kandungan °Brix

Kandungan °Brix diukur dengan menggunakan refraktometer digital SNDWAY °Brix 0-55%. Nilai °Brix buah pisang diukur dengan cara menghancurkan buah pisang dengan cara diparut kemudian disaring menggunakan kertas saring untuk mengambil cairan dari buah pisang dan meneteskannya pada lensa refraktometer. Setelah itu, nilai °Brix ditampilkan secara digital pada layar refraktometer dan dicatat.

3.5.6 Pengukuran kadar keasaman buah

Pengukuran kadar keasaman pada pisang Cavendish dilakukan dengan metode titrasi menggunakan bahan 0,1 N NaOH dan fenolftalein sebagai indikator.

Berikut tahap titrasi asam bebas.

- Daging buah pisang dipotong dan dihaluskan sebanyak 10 g.
- Daging buah dihaluskan dan dimasukkan ke dalam labu ukur berukuran 100 mL dan ditambahkan aquades sampai tanda tera.
- Filtrat disaring menggunakan kertas saring dan dipisahkan sebanyak 25-50 mL menggunakan pipet tetes.
- Filtrat yang telah dipisahkan dimasukkan ke dalam Erlenmeyer 100 mL dan ditetaskan indikator fenolftalein sebanyak 2 - 3 tetes.
- Larutan dititrasi dengan 0.1 N NaOH hingga berwarna pink dan tidak berubah selama 30 detik.
- Volume 0.1 N NaOH yang digunakan dicatat dan kemudian dihitung dengan rumus berikut.

$$\text{Asam} = \frac{\text{Vol. NaOH} \times 0.067 \times \text{molaritas NaOH}}{\text{Bobot Sampel (g)}} \times 100$$

Keterangan :

Asam = Kandungan asam malat (%)
 Vol. NaOH = Volume NaOH Pentitrasi (mL)
 0.067 = miliekuivalen asam malat

3.5.7 Kandungan glukosa

Pengukuran kandungan pati menggunakan metode Spektro 20 dengan langkah sebagai berikut (Muli *et al.*, 2017).

1. Pembuatan larutan standar dan fenol dilakukan dengan 100 mg glukosa yang dilarutkan dengan aquades di dalam labu ukur 1000 mL menghasilkan 1000 ppm. 10 mL larutan standar diambil dan diencerkan dengan aquades di dalam labu ukur 100 mL untuk didapatkan larutan standar glukosa 100 ppm. Larutan standar digunakan sebagai kontrol dalam analisis ini. Kemudian 5 g fenol dilarutkan dalam aquades hingga volume 100 mL untuk menghasilkan fenol 100 mL (Islamiyah, 2013);
2. Sampel pisang dengan bobot 3 g dan ukuran 0.5 µg ditimbang menggunakan timbangan analitik;
3. Sampel yang telah ditimbang kemudian dimasukkan ke beaker gelas 200mL dan ditambah aquades sebanyak 150 mL;
4. Ekstraksi dilakukan dengan menggunakan shaker orbital selama 30 menit dengan kekuatan kecepatan 180 Rpm;
5. Sampel disaring dengan kertas saring Whatman no. 1 dan sampel tersisa dibilas pada gelas beaker dan kertas saring hingga gula terlarut pada ekstrak;
6. pH filtrat diukur. Jika asam, maka ditambahkan CaCO_3 sampai cukup basa. Ekstrak dipanaskan dengan pemanas air pada suhu 90 °C selama 30 menit;
7. Ekstrak disaring kembali dengan kertas saring Whatman no. 1;
8. Filtrat ditambahkan 1 mL fenol 5% dan 6 mL H_2SO_4 pekat sampai senyawa berwarna dan senyawa koloid pada filtrat mengendap sehingga filtrat berwarna kuning;
9. Penyaringan dilakukan kembali dengan kertas saring Whatman no. 1;
10. Ekstrak dikocok hingga homogen dengan alat spektro UV VIS Cary 100.

Kemudian nilai absorbansi terlihat pada layar sebagai konsentrasi glukosa terukur, seluruh satuan komponen dikonversi menjadi g dan mg lalu dihitung dengan rumus berikut.

$$\text{Glukosa} = \frac{\text{C terukur} \times \text{V} \times \text{FP}}{\text{W} \times 10000}$$

Keterangan :

Glukosa	= kadar glukosa (mg/100g)
C terukur	= Konsentrasi glukosa terukur (mg)
V	= Volume ekstrak sampel (mg)
FP	= Faktor Pengenceran
W	= bobot sampel (g)
10000	= konversi dari ppm ke persen

3.5.8 Kandungan pati

Pengukuran kandungan pati menggunakan metode Spektro 20 dengan langkah sebagai berikut (Muli *et al.*, 2017).

1. Sampel pisang dengan bobot 3 g dan ukuran 0.5 µg ditimbang menggunakan timbangan analitik;
2. Sampel yang telah ditimbang kemudian ditambahkan HCl 3N sebanyak 5 mL kemudian dihidrolisis dengan dipanaskan pada *water bath*;
3. Sampel dari *water bath* dimasukkan ke gelas *beaker* 200 mL dan ditambah aquades sebanyak 150 mL;
4. Ekstraksi dilakukan dengan menggunakan *shaker orbital* selama 30 menit dengan kekuatan kecepatan 180 rpm;
5. Sampel disaring dengan kertas saring Whatman no. 1 dan sampel tersisa dibilas pada gelas beaker dan kertas saring hingga gula terlarut pada ekstrak;
6. pH filtrat diukur. Jika asam, maka ditambahkan CaCO₃ sampai cukup basa. Ekstrak dipanaskan dengan pemanas air pada suhu 90°C selama 30 menit;
7. Ekstrak disaring kembali dengan kertas saring Whatman no. 1;
8. Filtrat ditambahkan 1 mL fenol 5% dan 6 mL H₂SO₄ pekat sampai senyawa berwarna dan senyawa koloid pada filtrat mengendap sehingga filtrat berwarna kuning;
9. Penyaringan dilakukan kembali dengan kertas saring Whatman no. 1;
10. Ekstrak dikocok hingga homogen dengan alat spektro UV VIS Cary 100.

Kemudian nilai absorbansi terlihat pada layar sebagai konsentrasi glukosa terukur, seluruh satuan komponen dikonversi menjadi g dan mg lalu dihitung dengan rumus berikut.

$$\text{Pati} = \frac{\text{C terukur} \times \text{V} \times \text{FP} \times 0.9}{\text{W} \times 10000}$$

Keterangan :

Pati	= Kandungan pati
C terukur	= Konsentrasi glukosa terukur (mg/100g)
V	= Volume ekstrak sampel (mg)
FP	= Faktor Pengenceran
0.9	= konversi glukosa ke pati
W	= bobot sampel (g)
10000	= konversi dari ppm ke persen

3.5.9 Thermal image

Sampel buah pisang Cavendish yang telah dipersiapkan kemudian diletakkan per unit sampel pada kotak pengambilan citra (dimensi 40 cm x 25 cm x 25 cm) untuk diambil citra *thermal* nya. Citra *thermal* buah sampel dipotret menggunakan kamera inframerah FLIR E5-XT dengan resolusi 160 X 120 piksel, sensitifitas *thermal* < 0,10 yang dipasang pada kotak pengambilan citra pada ketinggian 30 cm di atas sampel (Gambar 2).

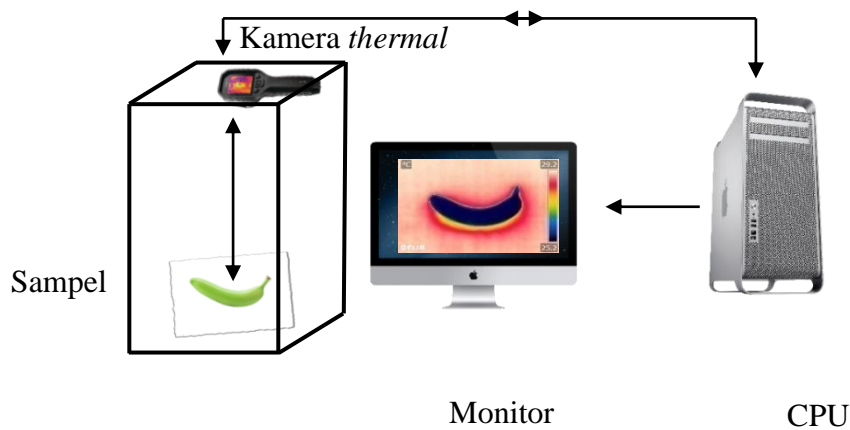


Gambar 2. Chamber akuisisi citra *thermal*

Berikut adalah langkah dalam akuisisi citra *thermal* (Gambar 3).

1. Sampel diaklimatisasi selama 12 jam agar kondisi fisiologis sampel menyesuaikan dengan kondisi lingkungan akuisisi;
2. Chamber dan kamera *thermal* disiapkan dan disambungkan dengan aplikasi pada unit computer;

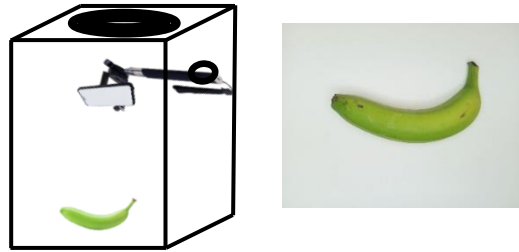
3. Sampel buah pisang Cavendish diletakkan ke dalam chamber pada ketinggian 30 cm di bawah kamera. Proses pemindahan sampel dari ruang penyimpanan ke dalam chamber dilakukan dengan menggunakan sarung tangan berbahan kain tebal agar panas tubuh operator tidak pindah pada sampel;
4. Akuisisi citra dilakukan pada semua sampel dan diulang sebanyak 3 kali dengan interval waktu 1 menit;
5. Data citra diberi nama dan disimpan;
6. Pengolahan data citra dilakukan dengan program Matlab versi 2020b dengan algoritma penetapan *Return of Investment* (ROI) sebesar minimal 30% dari keseluruhan ukuran sampel sebagai area yang representatif, segmentasi warna dan konversi informasi piksel menjadi informasi suhu.



Gambar 3. Proses pengambilan citra dengan *thermal image*

3.5.10 *Green-life*

Buah pisang yang telah diberi perlakuan diamati perubahan warna kulitnya setiap hari dan diambil *visible image* nya. dengan kamera 8MP (Infinix X6812B) di dalam *chamber* dengan dimensi 40 cm x 25 cm x 25 cm yang dilengkapi dengan lampu LED 15 watt dan kertas putih sebagai alas sampel (Gambar 4). Hasil *visible image* yang sudah diambil dan dikumpulkan kemudian diolah menggunakan aplikasi Matlab V2020b untuk diekstraksi data intensitas merah, hijau dan biru atau disingkat RGB-nya.

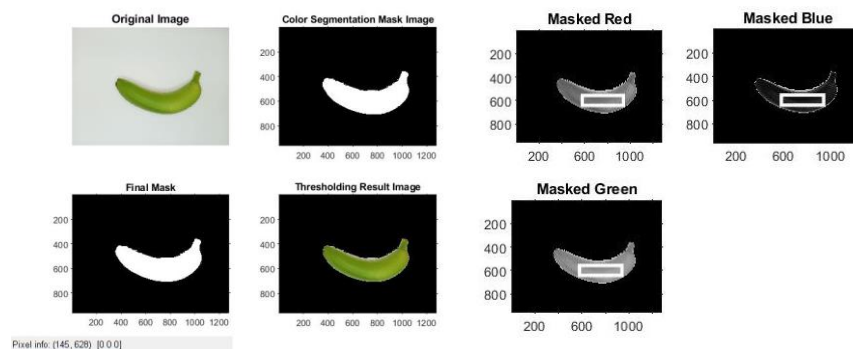


Gambar 4. Proses pengambilan citra warna untuk penentuan *green-life*

Algoritma yang dibangun dalam *image processing* adalah sebagai berikut.

- Segmentasi warna RGB

Segmentasi warna dari citra asli dianalisis dengan menggunakan metode *vector/thresholding* untuk menghitung gradien dan membentuk citra gradien komposit pada komponen RGB seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5 (Gonzalez *et al.*, 2004).



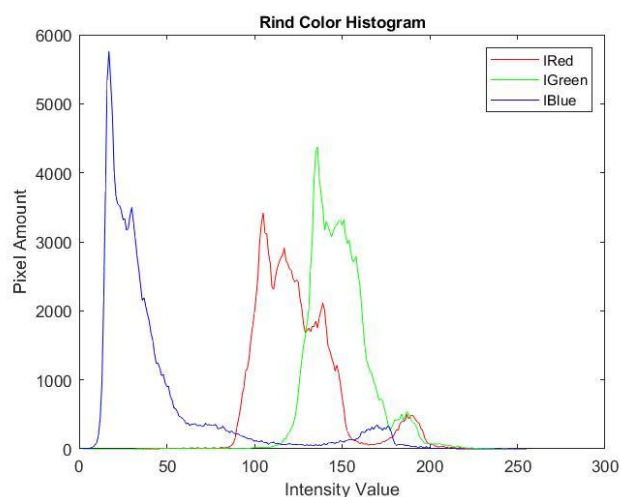
Gambar 5. Ilustrasi segmentasi warna

Perbedaan gradien antara gambar objek dan *background* ditunjukkan pada *final mask image*. Citra pisang Cavendish sebagai objek pengamatan dipisahkan dengan *background* citra. Nilai kecocokan komponen RGB pada koordinat (x,y) ditambahkan dan diskalakan. Nilai 1 adalah wilayah objek dan nilai 0 adalah wilayah *background*. Warna pisang Cavendish dibentuk oleh warna RGB dengan koefisien trikromatik, didefinisikan sebagai $R + G + B = 1$. Citra hasil *thresholding* kemudian dilakukan pengolahan *mask image* dan dibagi menjadi tiga komponen warna primer, merah, hijau, dan biru untuk mengekstraksi informasi intensitas warna sebagai *I-Red*, *I-Green* dan *I-Blue*. Penentuan area Return of Investment (ROI) pada

sampel dapat dilakukan jika diperlukan data wilayah objek yang lebih spesifik. Pada penelitian ini area ROI ditetapkan 30% bagian dari seluruh bentuk sampel untuk menginterpretasikan buah utuh.

- *Histogram processing*

Komputasi histogram untuk segmentasi pisang Cavendish dilakukan pada sudut yang dibentuk oleh objek pisang Cavendish. Pada citra, intensitas hitam direpresentasikan dengan nilai 0 dan intensitas putih direpresentasikan dengan nilai 255 (Gonzalez *et al.*, 2004). Gambar 6 adalah ilustrasi histogram dari tiap channel warna (R, G, B). Sumbu mendatar (X) merupakan nilai intensitas (0 – 255) sedangkan sumbu tegak (Y) adalah jumlah piksel masing-masing channel warna. Histogram digunakan untuk melihat distribusi warna sampel buah yang diamati.



Gambar 6. Ilustrasi *histogram processing*

- Pengumpulan data

Hasil data dari pengolahan citra adalah berupa format *txt* yang berisi nilai rata-rata dan standar deviasi untuk intensitas warna RGB. Selain itu juga terdapat informasi jumlah piksel dan persentase komponen RGB pada ROI/objek. Pengumpulan data dilakukan dengan mengumpulkan dan mengekspor nilai rata-rata intensitas warna RGB yang dibutuhkan ke Microsoft Excel. Data yang diperlukan seperti nilai rata-rata dan standar

deviasi intensitas warna Merah dan Hijau diekspor ke Microsoft Excel untuk penentuan waktu berakhirnya *green-life* pada pisang Cavendish.

- Penentuan *green-life*

Nilai intensitas merah dan hijau diamati hari per hari. Jika nilai intensitas merah lebih besar daripada intensitas hijau, maka pada hari tersebut digunakan sebagai penentu akhir masa *green life*-nya seperti ilustrasi yang ditunjukkan pada Gambar 7. Sementara nilai intensitas biru tidak dianalisa karena bukan sebagai komponen utama pembentuk warna pada buah pisang Cavendish. Dengan kata lain, warna biru tidak dominan sebagai warna dasar pembentuk warna kuning pada buah pisang Cavendish sehingga tidak dapat dijadikan penentu *green-life*.

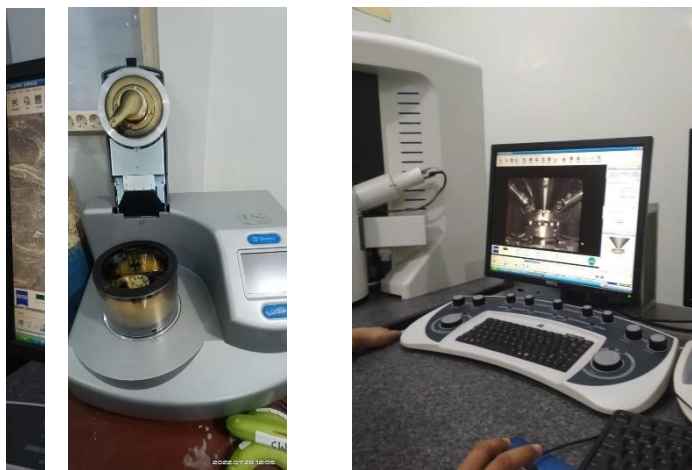
Sample	D21		D23		D24		D26		D27		D28		D30		D35	
	Red	Green	Red	Green	Red	Green	Red	Green	Red	Green	Red	Green	Red	Green	Red	Green
A2	148.23	158.02	144.85	152.11	144.64	148.68	149.79	147.81	151.55	146.99	157.46	148.04	165.96	148.27	164.14	134.63
B2	160.38	156.19	160.06	153.84	155.01	147.32	161.58	146.82	155.52	138.07	156.95	139.65	154.76	132.43	163.39	130.36
C2	123.56	135.25	138.64	149.77	131.91	138.03	134.33	134.49	123.57	137.61	126.81	139.60	128.58	134.80	131.64	131.00
D2	131.06	143.13	136.91	149.89	128.63	141.46	137.05	143.15	138.29	142.52	135.91	140.30	131.53	128.59	146.79	133.71
E2	146.80	149.35	158.23	158.17	154.32	151.85	152.56	145.04	157.45	146.77	155.56	143.00	155.78	140.49	167.20	131.79
F2	140.47	148.51	152.05	160.58	142.97	149.35	149.02	151.30	146.77	146.35	153.69	149.82	147.29	138.05	157.20	133.69
G2	140.56	146.49	153.07	162.97	153.33	160.04	152.73	155.11	152.52	154.20	157.40	158.10	154.84	149.54	161.37	139.39
H2	126.05	138.27	139.12	150.69	136.08	145.35	137.49	139.94	145.05	143.67	145.56	139.16	152.65	137.11	161.92	150.47
I2	146.98	147.70	160.64	162.17	158.49	157.59	159.13	152.55	152.08	144.10	158.19	146.98	155.09	136.41	157.18	130.76
J2	140.19	144.74	147.90	151.76	146.52	145.42	153.67	141.96	149.92	134.52	161.40	139.83	161.18	131.68	183.63	141.86
K2	131.70	145.88	140.58	156.17	138.50	150.46	145.32	151.83	146.39	148.04	151.39	150.38	148.04	140.20	148.18	135.22
L2	133.96	133.80	144.83	143.15	139.53	136.73	146.51	131.96	151.00	134.15	149.30	129.53	149.99	123.30	182.19	142.50

Gambar 7. Ilustrasi penentuan *green-life*

3.5.11 Porositas buah

Tingkat penutupan kitosan pada kulit buah diamati menggunakan analisis SEM (Scanning Electron Microscope) dan dilakukan di UPT Laboratorium Terpadu dan Sentra Inovasi Teknologi (UPT LT-SIT) Universitas Lampung.. Tahapan utama preparasi sampel sebelum diamati adalah pemotongan sampel kulit pisang Cavendish dengan ukuran luas permukaan 1 cm x 1 cm x 1 cm. Selanjutnya sampel kulit difiksasi menggunakan *glutaraldehyde* ($C_5H_8O_2$) - 25% *solution in water* dengan merk *Merck* dan ditambah *cacodylate buffer* 0.2M pH 7.4 dengan merk Boston BioProduct, Inc. Pada *buffer*, ditambahkan larutan *osmium tetroxide* (OsO_4 4% *solution*) merk *Merck*.

Setelah itu, sampel kulit dikeringkan dan didehidrasi dengan pemberian bahan kimia *hexamethyldisilazane* (10% *solution in xylene*) merk *Merck* yang bertujuan menghilangkan cairan pada sampel tanpa membuat ukuran sampel menyusut. Sampel dilapisi dengan lapisan konduktif konsentrat emas menggunakan Quorum Q150R-ES Magnetron *Sputtering Machine* dengan arus tetap 18mA (Gambar 8 bagian a). Kemudian sampel kulit disayat dengan mikrotom setebal $3\mu\text{m}$ dan diletakkan di atas *cover glass*. Sampel direkatkan dengan *carbon tape* pada *sample stage* lalu dilapisi dengan lapisan konduktif berupa konsentrat emas menggunakan Quorum Q150R-ES Magnetron *Sputtering Machine* dengan arus tetap 18mA. Setelah itu, sampel diamati di bawah mikroskop SEM EDX EVO MA 10 dengan perbesaran 1000x (Gambar 8 bagian b) dan ditentukan titik yang representative untuk di-*capture* dan dilanjutkan dengan analisis *unsupervised K-mean clustering* (Gambar 8 bagian c).



(a)

(b)

(c)

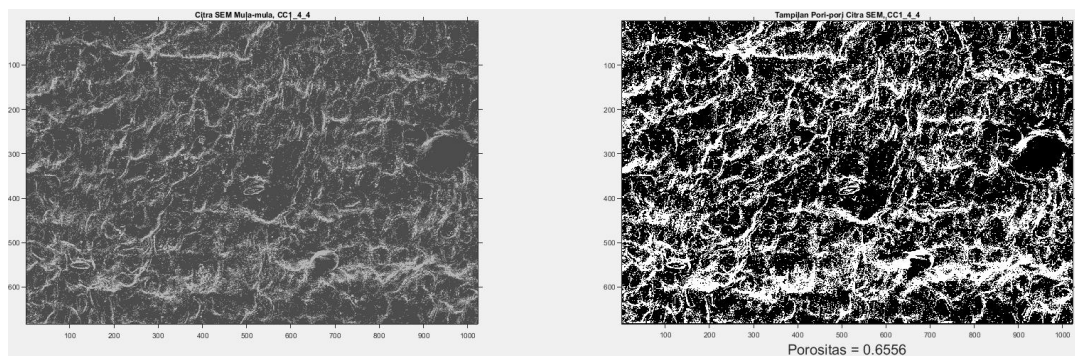
Gambar 8. Pengamatan porositas buah dengan analisis SEM

Setelah diperoleh citra SEM pada berbagai perbesaran, citra dianalisis porositasnya (Gambar 9) menggunakan program Matlab 2020v dengan metode *unsupervised K-mean clustering* sebagai berikut.

1. Jumlah kluster ditentukan;
2. *Random centroids value* ditemukan dan dihitung jarak tiap *centroid*;
3. Nilai yang didapat kemudian dikelompokkan berdasarkan jarak yang paling dekat;

4. Nilai rerata (*mean*) dari masing-masing kluster dihitung;
5. Tahapan 1 – 4 diulang sebanyak 3 kali hingga diperoleh nilai yang konsisten dan tidak berubah. Nilai porositas berkisar 0-1 dan positif.

Perhitungan jarak antara centroid dengan data dapat dilakukan menggunakan persamaan *euclidean distance*. Dalam perhitungan porositas kulit buah pisang dan jambu, nilai *k* ditetapkan nilainya sama dengan 4. Nilai ini diperoleh dari hasil simulasi program yang memberikan penampilan citra dan nilai porositas yang konsisten dan rasional (nilai porositas berada pada rentang 0-1, dan positif). Hasil analisis porositas yang berupa gambar diulas secara deskriptif secara kasat mata berdasarkan struktur gambarnya.



Gambar 9. Ilustrasi hasil hitung porositas

V. SIMPULAN DAN SARAN

5.1 Simpulan

Adapun simpulan dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Semakin rendah letak sisir buah pisang Cavendish maka semakin keras tekstur buah, semakin tinggi bobot, tingkat keasaman dan penurunan kandungan pati buahnya dengan urutan letak sisir dari terendah hingga teratas. Sisir ke-3 buah pisang Cavendish mampu memenuhi kriteria *export shipment* dengan *green-life* mencapai 21 hari.
2. Perlakuan pelapis kitosan 1%, GA₃ dan kombinasi keduanya tidak berpengaruh terhadap mutu dan *green-life* buah pisang Cavendish.
3. Perlakuan suhu rendah pada buah pisang Cavendish mampu mempertahankan kekerasan hingga 0.88 Kg/m², susut bobot hingga 3% dan menyebabkan penurunan keasaman dan perombakan pati yang lebih tinggi serta menghasilkan *green-life* 13 hari lebih panjang dibandingkan pada suhu ruang.
4. Terdapat pengaruh interaksi tingkat kematangan dan suhu simpan terhadap *green-life* dan masa simpan, namun tidak terdapat pengaruh semua tingkat kematangan dan suhu simpan terhadap *green-life* dan masa simpan.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian ini, sisir ke-2 pisang Cavendish yang selama ini dalam praktiknya dijadikan sebagai standar ekspor dapat dialihkan pada sisir ke-3. Pertimbangan yang digunakan yaitu masa *green-life* sisir ke-3 mampu mencapai standar *shipment* 21 hari ke lokasi ekspor dan mampu memitigasi risiko kekeliruan estimasi akibat letak sisir ke-2 yang terlalu rapat dengan sisir ke-1. Selain itu, penelitian selanjutnya perlu dilakukan dengan aplikasi kitosan dan GA₃ pada seluruh permukaan kulit pisang Cavendish pada konsentrasi yang lebih tinggi untuk membuktikan hasil penelitian sebelumnya yang menunjukkan

pengaruh positif pada kedua bahan tersebut. Penelitian mengenai simplifikasi teknologi berupa alat dan *software* untuk penentuan akhir masa *green-life* perlu dilakukan dengan mengadopsi metode penentuan pada penelitian ini agar dapat diimplementasikan.

DAFTAR PUSTAKA

- Abbott, J.A., Lu, R., Upchurch, B.L. dan Stroshine, R.L. 1997. *Technologies for nondestructive quality evaluation of fruit and vegetables*. Horticultural Reviews, p.1-119.
- Ageng, M. dan Vidya, I. 2022. *Segmentasi Tingkat Kematangan Buah Pisang Cavendish Sangat Matang Berdasarkan Warna Menggunakan Watershed*. Jurnal Riset Komputer, 9: 148-151.
- Ahmad, S., Thompson, A. K., Hafiz, I. A., and Asi, A. A. 2001. *Effect of Temperature on the Ripening Behavior and Quality of Banana Fruit*. *International Journal of Agriculture & Biology*. 03(2): 224-227.
- Alvindia, D.G. 2019. *Banana and Plantain. Postharvest Pathology of Fresh Horticultural Produce*. CRC Press. 26 hlm.
- Arnon, H., Zaitsev, Y., Porat, R., and Poverenov, E. 2014. *Effects of carboxymethyl cellulose and chitosan bilayer edible coating on postharvest quality of citrus fruit*. *Postharvest Biology and Technology*. 87: 21-26.
- Bagnato, N., Barrett, R., Sedgley, M., and Andreas, K. 2003. *The effects on the quality of Cavendish bananas, which have been treated with ethylene, of exposure to 1-methylcyclopropene*. *International Journal of Food Science and Technology*. 38: 745-750.
- Bakshi, P. S., Selvakumar, D., Kadirvelu, K., and Kumar, N. S. 2019. *Chitosan as an environment friendly biomaterial - a review on recent modifications and applications*. *Int. J. Biol. Macromol* 150: 1072-1083.
- Bolfarini, A. C. B., Souza, J. M. A., Silva, M. d. S., Ferreira, R. B., Leonel, M., Tecchio, M. A., dan Leonel, S. 2020. *Ideal harvest stage and quality descriptors of 5 banana cultivars based on 5 fruit diameters*. *Emirates Journal of Food and Agriculture*. 32 (3): 220-228.
- Chattophadyay, P. K., Khader, J. B. M. A., and Hasan, M. A. 2001. *Banana*. In : *Tropical and Sub-tropical*. T. K. Bose, S. K. Mitra and D. Sanyal (eds.). 721 hlm.
- Chauhan, O.P., Raju, S.P., Bawa, A.S. 2006. *Instrumental Textural Changes in Banana (Var. Pachbale) During Ripening Under Active and Passive Modified Atmosphere*. *International Journal of Food Properties*. 9(2): 237-253.
- Englberger, L., Ron, B. H., Blades B., Dufficy L., Jeff, W., and Coyne T. 2006. *Carotenoid content and flesh color of selected banana cultivars growing in Australia*. *Food and Nutrition Bulletin*. 27 (4): 281-291.

- Fernanda, H. G. P. O., Cardoso, M. B., Agopian, R. G. D., Louro, R. P. 2013. *The cold storage of green bananas affects the starch degradation during ripening at higher temperature*. Carbohydrate Polymers. 96 (1): 137-147.
- Ganesh, C. B., Donqing, L., Pritha, B., Sukhwinder, K. B. and Pathak, R. 2015. *Application of bio-image analysis for classification of different ripening stages of Banana*. Journal of Agricultural Science. 7(2): 152-160.
- Ghimire, R., Yadav, P.K., Khanal S., Shrestha, A.K., dan Devkota, A. R.. 2021. *Effect of different levels of gibberellic acid and kinetin on quality and self-life of banana (Musa spp.) fruits*. Heliyon 7: e08019.
- Gomez, K.A. dan A. A., Gomez. 1995. *Prosedur Statistik untuk Penelitian Pertanian*. UI Press, Jakarta. 698 hlm.
- Gonge, A.P., Patel, N. L. Ahlawat, T. R., and Patil, S. J. 2013. *Effect of maturity and storage temperature on shelf-life and quality of banana cv. Grand Naine*. Journal of Horticultural Science. 8(1): 95-98.
- Gonzalez, R. C. and Woods, R. E. 2004. *Digital Image Processing (Third Edition)*. Pearson Education International. 976 hlm.
- Gottreich, M., and Y. Halevy. 1982. *Delaying ripening of pre-harvest bananas (Dwarf Cavendish) with gibberellins*. Fruits 37(2): 97–102.
- Grasiele, M., Adriano, S., Regis, B., Wilson, T., Eugenio, Z., Sivanilza, M., and Joao, G. R. 2022. *Classification Criteria for Cavendish Bananas and a Framework to Indicate the Correct Destination*. Chemistry Proceedings, 10 (65).
- Guardiola, J., Garcia-Mari, F., and M. Agusti. 1984. *Competition and Fruit Set in the Washington Navel Orange*. Physiol. Plant. 62: 297-302.
- Haryadi, F. M. 2018. *Optimasi Kriteria Panen Pisang Cavendish Berdasarkan Satuan Panas Dengan Waktu Antesis Yang Berbeda*. Bogor. Institut Pertanian Bogor. 2018. (Skripsi)
- Islamiyah, U. 2013. *Profil Kinetika Perubahan Glukosa pada Nasi dalam Pemanas*. Universitas Tadulako Palu. (Skripsi)
- Jullien, A., M. Chillet, and E. Malézieux. 2001a. *Relationships between banana fruit green life, fruit age and development stage for different growing conditions*. The French agricultural research and international cooperation.
- Jullien, A., N.G. Munier-Jolain, E. Malézieux, M. Chillet, and B. Ney. 2001b. *Effect of pulp cell number and assimilate availability on dry matter accumulation rate in a banana fruit [Musa sp. AAA group 'Grande Naine' (Cavendish subgroup)]*. Ann. Bot. 88(2): 321–330.
- Kementerian Kesehatan Republik Indonesia. 2018. *Khasiat dan Manfaat Pisang*. <https://p2ptm.kemkes.go.id/tag/khasiat-dan-manfaat-pisang>. Diakses pada 10 Mei 2022 pukul 19. 30.

- Kementerian Koordinator Bidang Perekonomian RI. 2020. *Panen Perdana Tanaman Pisang Cavendish Pengembangan Hortikultura Berorientasi Ekspor*. <https://ekon.go.id/publikasi/detail/606/panen-perdana-tanaman-pisang-cavendish-pengembangan-hortikultura-berorientasi-ekspor>. Diakses pada 9 Mei 2022 pukul 19.33.
- Larotonda, F. D. S., Genena A. K., Dantela D., Soares H. M., dan Laurindo J. B. 2008. *Study of banana (Musa aaa Cavendish cv Nanica) trigger ripening for small scale process*. Brazilian Arch. Biol. Technol. 51(5): 1033-8913.
- Latansya, R. 2022. *Thermal Image Processing Sebagai Pendeteksi Tingkat Kematangan Buah Dan Korelasinya Terhadap Mutu Fisik dan Kimia Buah Pisang Cavendish*. Bandar Lampung. Universitas Lampung. (Skripsi)
- Liew, C.Y., and Lau, C.Y. 2012. *Determination of quality parameters in Cavendish banana during ripening by NIR spectroscopy*. International Food Research Journal. 19(2): 751-758.
- McGlone, V.A. and Kawano, S. 1998. *Firmness, dry matter and soluble solids assessment of postharvest kiwifruit by NIR spectroscopy*. Postharvest Biology and Technology 13: 131-141.
- Muller, T. and Krautler. 2011. *Chlorophyll breakdown as seen in banana : sign of aging and ripening*. Gerontology. 57: 521-527.
- Muli, N., Tiwow, V. M., dan Mustapa, K. 2017. *Analisis Kadar Glukosa pada Nasi Putih dan Nasi Jagung dengan Menggunakan Metode Spektrometri*. Jurnal Akademi Kimia. 6(2): 107-112.
- Newly, P., Akehurst, A., dan Campbell, B. 2008. *Banana growing guide Cavendish bananas*. NSW Department of Primary Industries. State of New South Wales.
- Odetayo, T., Shitole, L., Shezi, S., Nomngongo, P., Tesfay, S. and Ngobese, N. Z. 2022. *Effect of nanoparticle-enriched coatings on the shelf life of Cavendish bananas*. Scientia Horticulturae. 304: 1-21.
- Osman, H. E and Abu-Goukh, A. A. 2008. *Effect of polyethylene film lining and gibberellic acid on quality and shelf-life of banana fruits*. University of Khartoum Journal of Agricultural Sciences (Sudan). 16 (2): 241-260.
- Panigrahi, J., Gheewala, B., Patel, M., and Niyati, P. 2017. *Gibberellic acid coating: A novel approach to expand the shelf-life in green chilli (Capsicum annuum L.)*. 225: 581-588.
- Pierre, B., Bugaud, C., Guillermet, C., and Salmon, F. 2020. *Review of banana green life throughout the food chain: From auto-catalytic induction to the optimisation of shipping and storage conditions*. Scientia Horticulturae. 262.
- Rajkumar, P., Wang, N., Elmasry, G., Raghavan G. S. V., dan Gariepy, Y. 2012. *Studies on banana fruit quality and maturity stages using hyperspectral imaging*. Journal of Food Engineering. 108 (1). 192-200.

- Santosh, D. T., Tiwari, K. N., and Reddy, R. G. 2017. *Banana bunch covers for quality banana production – A review*. Int. J. Curr. Microbiol. App. Sci. 6: 1275-1291.
- Salunkhe, D. K. and Kadam, S. S. 1995. *Handbook of Fruit Science and Technology: Production, Composition, Storage and Processing*. CRC Press. 632 hlm.
- Saowapa, C., Rattapon, S., Johnson, M. O., Hiroaki, K., and Chureerat, P. 2021. *Performance of Different Bunch Cover Materials to Improve Quality of Cavendish Banana Cultivated during Winter and Summer in Thailand*. Agronomy 2021, 11.
- Silva, G. M. C., Silva, W. B., Medeiros, D. B., dan Salvador, A. R. 2017. *The chitosan affects severely the carbon metabolism in mango (Mangifera indica L. cv. Palmer) fruit during storage*. Food Chemistry. 237: 372-378.
- Somchai, L. 1999. *Physiology, quality and storage life of cavendish bananas harvested at various stages of maturity*. Agris (FAO). Ref. P. 69-77.
- Stavroulakis, G. and Sfakiotakis, E.M., 1993. *Regulation by temperature of the propylene induced ethylene biosynthesis and ripening in 'Hayward' kiwifruit*. In: Pech, J.C., Balague, C. (Eds.), Cellular and Molecular Aspects of the Plant Hormone Ethylene. Kluwer, Dordrecht. 16: 142-143.
- Sultana, M.S., Islam M. Z., Shamim A. H. M., dan Mondal M.F. 2012. *Effect of growth regulators on physical changes and shelf life of banana during storage*. Int. J. Sustain. Crop Prod 7(3): 31-35.
- Suseno, S.H. 2006. *Kitosan Pengawet Alami Alternatif Pengganti Formalin dalam Semiloka & Temu Bisnis: Teknologi untuk Peningkatan Daya Saing Wilayah Menuju Kehidupan yang Lebih Baik*. Jeparatech Expo 11.-15 April 2006.
- Suseno, N., Savitri E., Sapei L., and Padmawijaya K. S. 2014. *Improving Shelf-life of Cavendish Banana Using Chitosan Edible Coating*. Procedia Chem. 9.
- Thomas, P., and Janave, M. T. 1992. *Effect of temperature on chlorophyllase activity, chlorophyll degradation and carotenoids of Cavendish bananas during ripening*. International Journal of Food Science and Technology, 17: 57-63.
- Toãn, N., Hoang, L. V., Thanh, C. D., and Luan, L. V., 2011. *Effects of AminoethoxyVinylGlycine (AVG) Spraying Time at Preharvest Stage to Ethylene Biosynthesis of Cavendish Banana (Musa AAA)*. Journal of Agricultural Science, 3(1): 206-211.
- Toma, F. A., Razu, A., Muhammad, F. H. and Haque, M. R. 2018. *Non-destructive maturity index of "amritsagor" banana using rgb and hsv values*. Journal of Bangladesh Agricultural University. 16(2): 293-302
- Umber, M., B. Paget, O. Hubert, I. Salas, F. and Salmon. 2011. *Application of thermal sums concept to estimate the time to harvest new banana hybrids for export*. Sci. Hortic. (Amsterdam). 129(1): 52-57.

- Vargas, A., dan Lopez, J. A. 2011. *Effect of dose rate, application method and commercial formulations of GA₃ on banana (Musa AAA) fruit green life*. Fresh Produce. 5(1) 51-55.
- Vendrell, M. 1969. *Revision of senecense: effect of 2,4-dichlorophenoxyacetic and indoleacetic acid on respiration, ethylene production and ripening of banana fruit slices*. Aust. J. Biol. Sci. 22: 601-610.
- Vendrell, M. 1970. *Acceleration and delay of ripening in banana fruit tissue by gibberellic acid*. Aust. J. Biol. Sci. 23(3): 553-559.
- Waluyo, S., Febrianingrum, N., Widodo, S. E., dan Zulferiyenni. 2021. *Maturity Assessment Of Cavendish Bananas (Musa Paradisiaca L.) Using The Thermal Image Method*. International Symposium on Durian and Other Tropical Fruits 2021.
- Widodo, S. E., Zulferiyenni, Ginting Y. C., Fazri F. H., Saputra D. 2015. *The Effects of 1-Methylcyclopropene, Chitosan, and Storage Temperature on the Shelf-Life and Qualities of "Cavendish" Banana*. Journal of Food and Nutrition Sciences. 3(1-2): 54-49.
- Widodo, S.E. 2017. *Capita Selecta Panen, Pascapanen, dan Analisis Mutu Produk Tanaman Buah*. Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat, Universitas Lampung, Bandar Lampung. 107 hlm.
- Widodo, S. E., Waluyo, S., Zulferiyenni, dan Latansya, R. 2021. *Thermal Image Processing As A Detection Of Fruit Maturity And Its Correlation To Physical And Chemical Quality Of "Cavendish" Banana*. International Symposium on Durian and Other Tropical Fruits 2021.
- Zhang, J. Z., Zhang, Q., Chen, Y. J., and Sun, L. 2012. *Improved tolerance toward low temperature in banana (Musa AAA Group Cavendish Williams)*. South African Journal of Botany. 78: 290-294.
- Zou, Y., Zhang, L., Rao, S., Zhu, X., Ye, L., Chen, W., and Li, X. 2014. *The Relationship between the Expression of Ethylene-Related Genes and Papaya Fruit Ripening Disorder Caused by Chilling Injury*. National Center for Biotechnology Information, 9(12): e116002.
- Zulferiyenni, Widodo S.E and Hikmawati E. 2015. *The Effects of 1-Methylcyclopropene, Chitosan, and Storage Temperature on the Shelf-Life and Qualities of "Cavendish" Banana*. J. Horticulturae.
- Zulferiyenni, Widodo S.E., dan Putri A. 2016. *Effects of Aminoethoxyvinylglycine, Chitosan, and Storage Temperatures on Fruit Shelf-Life and Qualities of Cavendish Banana*. 6th International Conference on Agriculture, Environment and Biological Sciences. 162-165.