

**METODE CITRA TERMAL DAN *VISIBLE* SEBAGAI PENDETEKSI
TINGKAT KERUSAKAN BUAH NANAS (*Ananas comosus* L. Merr.)
AKIBAT BEBAN BENTURAN (*IMPACT*)**

(Skripsi)

Oleh

BEKTI DINASARI



**FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2025**

**METODE CITRA TERMAL DAN *VISIBLE* SEBAGAI PENDETEKSI
TINGKAT KERUSAKAN BUAH NANAS (*Ananas comosus* L. Merr.)
AKIBAT BEBAN BENTURAN (*IMPACT*)**

Oleh

**BEKTI DINASARI
1814071035**

Skripsi

**Sebagai Salah Satu Syarat Mencapai Gelar
SARJANA TEKNIK**

Pada

Jurusan Teknik Pertanian
Fakultas Pertanian
Universitas Lampung



**FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2025**

ABSTRAK

METODE CITRA TERMAL DAN *VISIBLE* SEBAGAI PENDETEKSI TINGKAT KERUSAKAN BUAH NANAS (*Ananas comosus* L. Merr.) AKIBAT BEBAN BENTURAN (*IMPACT*)

Oleh

BEKTI DINASARI

Buah nanas (*Ananas comosus* L. Merr.) rentan mengalami kerusakan mekanis akibat benturan selama penanganan pascapanen yang dapat memengaruhi kualitasnya. Penelitian ini bertujuan untuk memanfaatkan citra termal dan citra *visible* sebagai metode pendeteksi kerusakan buah nanas akibat benturan serta menganalisis hubungan antara tingkat kematangan dan ukuran buah terhadap perubahan parameter fisik dan termal selama penyimpanan. Penelitian dilakukan dengan memberikan beban benturan berupa bandul seberat ± 1 kg, dengan sudut kemiringan 60° dan panjang tali 100 cm pada buah nanas dengan tiga tingkat kematangan (K0, K1, K2) dan tiga ukuran (S8, S10, S12). Buah nanas disimpan di dalam ruangan dengan suhu 25°C selama sembilan hari. Parameter yang diamati yaitu susut bobot, perubahan diameter, kadar air, warna (RGB dan HSV), persebaran suhu, dan nilai analisis LBP (*Local Binary Pattern*) yaitu *Entropy*, *Energy*, dan *Contrast*. Data pada parameter susut bobot menunjukkan bahwa K2S10 memiliki nilai susut bobot tertinggi, yaitu mencapai 12% selama waktu penyimpanan. Sedangkan pada parameter diameter, penurunan diameter tertinggi terjadi pada sampel K2S12 dengan penurunan diameter sebesar 0,96 cm.

Buah nanas dengan kadar air tertinggi ada pada sampel K0S10 yaitu 72,68%. Namun sampel yang mengalami penurunan kadar air tertinggi selama waktu penyimpanan adalah sampel K0S12 yang mencapai 9,61%. Pada nilai RGB selama waktu penyimpanan, *Ired* tertinggi terjadi pada sampel K2S8 dengan nilai 157,7, *Igreen* tertinggi terjadi pada sampel K1S12 dengan nilai 115,54, dan *Iblue* tertinggi terjadi pada sampel K0S8 dengan nilai 46,6. Pada pengukuran nilai HSV, *Hue* terendah terjadi pada sampel K2S10 dan K2S12 dengan nilai 0,1, *Saturation* tertinggi terjadi pada sampel K2S10 dengan nilai 0,83, dan *Value* tertinggi terjadi pada sampel K2S8 dengan nilai 0,62. Pada analisis LBP selama waktu penyimpanan, *Entropy* terendah terjadi pada sampel K2S12 dengan nilai 6,19, *Energy* tertinggi terjadi pada sampel K2S12 yang mencapai 0,2, dan *Contrast* tertinggi terjadi pada sampel K2S12 yang mencapai 8290,16.

Kata kunci: Nanas, Citra Termal, Citra *Visible*

ABSTRACT

THERMAL AND VISIBLE IMAGING METHODS FOR DETECTING DAMAGE LEVEL IN PINEAPPLE (*Ananas comosus* L. Merr.) DUE TO IMPACT LOAD

By

BEKTI DINASARI

Pineapple (*Ananas comosus* L. Merr.) is susceptible to mechanical damage caused by impact during postharvest handling, which may affect its quality. This study aimed to utilize thermal imaging and visible imaging methods to detect impact-induced damage in pineapple and to analyze the relationship between ripeness levels and fruit sizes on the changes of physical and thermal parameters during storage. The experiment was conducted by applying an impact load using a pendulum weighing approximately 1 kg, with a tilt angle of 60° and a rope length of 100 cm, on pineapples with three ripeness levels (K0, K1, K2) and three size grades (S8, S10, S12). The pineapples were stored at 25°C for nine days. The observed parameters included weight loss, diameter change, moisture content, color (RGB and HSV), temperature distribution, and LBP (Local Binary Pattern) analysis values, namely Entropy, Energy, and Contrast. The weight loss data showed that the K2S10 sample had the highest weight loss, reaching 12% during storage. The highest diameter reduction was found in the K2S12 sample, with a decrease of 0.96 cm. The highest moisture content was recorded in the K0S10 sample at 72.68%, while the highest moisture loss was observed in the K0S12

sample, reaching 9.61% during storage. For RGB values, the highest red intensity (I_{red}) was observed in the K2S8 sample (157.7), the highest green intensity (I_{green}) in the K1S12 sample (115.54), and the highest blue intensity (I_{blue}) in the K0S8 sample (46.6). In the HSV measurements, the lowest hue value was recorded in the K2S10 and K2S12 samples (0.1), the highest saturation in the K2S10 sample (0.83), and the highest value (brightness) in the K2S8 sample (0.62). In the LBP analysis during storage, the lowest entropy was found in the K2S12 sample (6.19), while the highest energy (0.2) and the highest contrast (8290.16) were also recorded in the K2S12 sample.

Keywords: Pineapple, Thermal Imaging, Visible Imaging

Judul Skripsi

: **METODE CITRA TERMAL DAN
VISIBLE SEBAGAI PENDETEKSI TINGKAT
KERUSAKAN BUAH NANAS (*Ananas
comosus* L. Merr.) AKIBAT BEBAN
BENTURAN (*IMPACT*)**

Nama Mahasiswa

: **Bekti Dinasari**

Nomor Pokok Mahasiswa

: 1814071035

Jurusan

: Teknik Pertanian

Fakultas

: Pertanian



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

Winda Rahmawati, S.T.P., M.Si., M.Sc.
NIP. 198905202015042001

2. Ketua Jurusan Teknik Pertanian

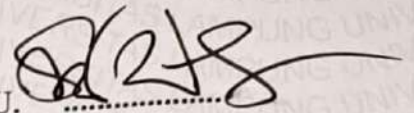
Dr. Ir. Warji, S. TP., M.Si., IPM.
NIP. 197801022003121001

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

Ketua

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



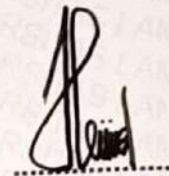
Sekretaris

: Winda Rahmawati, S.TP., M.Si., M.Sc.



Penguji

: Dr. Mareli Telaumbanua, S.T.P., M.Sc.



2. Dekan Fakultas Pertanian



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

NIP. 196411181989021002



Tanggal Lulus Ujian Skripsi: 17 Juni 2025

PERNYATAAN KEASLIAN HASIL KARYA

Bersamaan dengan ini saya **Bekti Dinasari** NPM 1814071035 menyatakan bahwa apa yang tertulis dalam karya ilmiah ini merupakan hasil karya saya yang dibimbing oleh Komisi Pembimbing, 1) **Ir. Sri Waluyo, S.T.P., M.Si., Ph.D., IPU.** dan 2) **Winda Rahmawati, S.T.P., M.Si., M.Sc.** Karya ini saya tulis berdasarkan pengetahuan dan informasi yang telah saya dapatkan dari beberapa sumber seperti buku, jurnal, dan lain sebagainya yang telah dipublikasikan atau dengan kata lain bukan hasil dari plagiat karya orang lain.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya. Apabila di kemudian hari ditemukan adanya ketidaksesuaian atau kecurangan dalam karya ini, saya bersedia untuk mempertanggungjawabkannya sesuai dengan ketentuan yang berlaku.

Bandar Lampung, 19 Juni 2025

Yang membuat pernyataan



Bekti Dinasari
NPM. 1814071035

RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Desa Wayngison, Kecamatan Pagelaran, Kabupaten Pringsewu pada tanggal 20 Juli 1999 dari pasangan Bapak Jarot dan Ibu Kastini. Penulis merupakan anak keempat dari empat bersaudara sekaligus anak perempuan satu-satunya. Tiga kakak laki-lakinya yaitu bernama Joko Riyanto, Johan, dan Mugo Utomo.

Pada tahun 2006 sampai dengan 2012, penulis menempuh Pendidikan Sekolah Dasar di SDN 1 Gemahripah. Setelah itu penulis melanjutkan pendidikan Sekolah Menengah Pertama di SMPN 1 Pagelaran pada tahun 2012 sampai dengan tahun 2015. Kemudian penulis melanjutkan pendidikan Sekolah Menengah Atas di SMAN 1 Pagelaran pada tahun 2015 sampai dengan tahun 2018.

Penulis diterima sebagai mahasiswa di Jurusan Teknik Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung pada tahun 2018 melalui jalur Seleksi Bersama Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SBMPTN). Selama menjadi mahasiswa, penulis aktif mengikuti organisasi kemahasiswaan sebagai anggota Persatuan Mahasiswa Teknik Pertanian (PERMATEP). Penulis pernah menjabat sebagai anggota bidang Informasi dan Komunikasi (Infokom).

Pada tahun 2021, penulis melaksanakan Kuliah Kerja Nyata (KKN) selama 40 hari di Desa Way Ngison, Kecamatan Pagelaran, Kabupaten Pringsewu. Kemudian penulis melaksanakan Praktik Umum (PU) di PT. Perkebunan Nusantara VII Unit Way Berulu, Kabupaten Pesawaran dengan judul laporan Praktik Umum “Proses Pengemasan dan Sortasi Karet *Ribbed Smoked Sheet* (RSS) di PT Perkebunan Nusantara (PTPN) VII Unit Way Berulu Pesawaran”

HALAMAN PERSEMBAHAN

Alhamdulillahil 'aalamiin

Puji syukur kehadiran Allah *subhanahu wa ta'ala*

Dengan nama Allah Yang Maha Pengasih dan Maha Penyayang, kupersembahkan karya ini sebagai wujud rasa syukur, rasa sayang, dan tanda bakti kepada:

Orang tuaku tercinta, Bapak Jarot dan Mamak Tini

Terima kasih Bapak, Mamak, atas kasih sayang dan perjuangannya dalam membesarkanku. Terima kasih selalu sabar, mendukung, dan berdoa untuk setiap langkahku demi mencapai keberhasilan dan kebahagiaanku. Tanpa doa, restu, dan dukungan dari Bapak dan Mamak serta ridho Allah, aku tidak akan bisa sampai pada titik ini.

Serta Mamas-Mamasku tersayang, Mas Joko Riyanto, Mas Johan, dan Mas Mugo Utomo

Terima kasih karena selalu memberikan dukungan dan semangat kepadaku.

SANWACANA

Puji syukur kehadiran Allah *subhanahu wa ta'ala* yang telah memberikan rahmat dan hidayahNya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir perkuliahan yaitu penyusunan skripsi. Sholawat dan salam semoga selalu tercurah kepada Nabi Muhammad *shallallahu 'alaihi wasallam*, semoga kita mendapatkan syafaat beliau di hari akhir nanti, *amiin*. Penulis menulis skripsi yang berjudul “Metode Citra Termal dan *Visible* Sebagai Pendeteksi Tingkat Kerusakan Buah Nanas (*Ananas comosus* L. Merr.) Akibat Beban Benturan (*Impact*)” yang merupakan salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik (S.T.) di Universitas Lampung.

Penulis menyadari dan memahami bahwa selama penyusunan skripsi ini terdapat banyak kekurangan dan jauh dari kesempurnaan yang disebabkan karena keterbatasan pengetahuan penulis. Oleh karena itu, dalam penyusunan skripsi ini penulis banyak dibimbing, dibantu, diberi dukungan, semangat, serta doa yang sangat berarti bagi penulis. Pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Dr. Ir. Kuswanta Futas Hidayat, M.P., selaku Dekan Fakultas Pertanian Universitas Lampung.
2. Dr. Ir. Warji, S.TP., M.Si., IPM., selaku Ketua Jurusan Teknik Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung.
3. Ir. Sri Waluyo, S.T.P., M.Si., Ph.D., IPU., selaku Dosen Pembimbing Akademik sekaligus Dosen Pembimbing I yang telah meluangkan waktunya untuk memberikan arahan, motivasi, masukan, dan saran kepada penulis selama proses penelitian hingga penyusunan skripsi ini.

4. Ibu Winda Rahmawati, S.TP., M.Si., M.Sc., selaku Dosen Pembimbing II yang telah meluangkan waktunya untuk membimbing dan memberikan saran dalam penyusunan skripsi ini.
5. Dr. Mareli Telaumbanua, S.T.P., M.Sc., selaku Dosen Pembahas yang telah meluangkan waktunya untuk memberikan saran dan masukan untuk perbaikan dalam penyusunan skripsi ini
6. Seluruh dosen dan karyawan Jurusan Teknik Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung yang telah memberikan banyak bantuan kepada penulis sehingga proses penyusunan skripsi ini dapat berjalan dengan lancar.
7. Bapak Ahmad Ziahurrahman, Bapak Cahyo, Bapak Suradi, Bapak Rachmat, dan seluruh tenaga kerja PT. Great Giant Food PG 4 Lampung Timur yang telah memberikan bantuan dan tenaganya selama proses penelitian.
8. Bapak Hengki Alwi, Mas Muhammad Syaiful Anam, Mba Dewi Novitasari, Kholil Mahfudz, Mas Dwi Andrianto, Mas Dede Kurniawan, Bapak Purnomo, Bapak Catur Irawan, dan Bapak Wahyudin, selaku Perangkat Pekon Way Ngison yang bersedia memberikan izin dan dukungannya untuk menyelesaikan skripsi ini.
9. Bapak Jarot dan Ibu Tini, selaku orang tua penulis yang telah memberikan doa, semangat, dan dukungan dalam menyelesaikan perkuliahan dan melaksanakan penyusunan skripsi ini.
10. Mamas, Mba, Keponakan, serta Adik penulis, Mas Joko Riyanto, Mba Winda, Mas Johan, Mas Mugo Utomo, dan Mba Eka. Keponakan penulis, Dzulfan Hafizh Alfaqih, Arkan Shaka Alfaqih, Ayesha Hana Shahiqah, dan adik penulis, Tika Yulis Diana. Terima kasih karena selalu memberikan semangat dan dukungan dalam penyusunan skripsi ini.
11. Sahabat dan teman seperjuangan, Sekar Kinanti dan Aksal Pramuja. Terima kasih karena selalu bersedia menjadi tempat bertukar informasi, berkeluh kesah, saling berbagi semangat, motivasi, dan dukungan selama perkuliahan dan dalam menyelesaikan skripsi ini.

12. Teman seperjuangan dalam penelitian, Sefriyanti Simanjuntak, serta teman seperjuangan dalam menyelesaikan skripsi, Rena Novelia, Muhammad Adji Prastowo, Muhammad Randy Akbar, Rizky Zakaria, dan Ismawati Fernanda Parmadi. Terima kasih karena bersedia berjuang bersama untuk menyelesaikan skripsi ini.
13. Maulydia Ayu Ningrum, Lailatul Khoiriyah, Amalia Agustin, Dina Aulia, Putri Windasari, dan Nasya Afra Rosalifa, sebagai teman dan sahabat selama perkuliahan yang selalu memberikan semangat, dukungan, dan motivasinya selama ini.
14. Keluarga Besar Teknik Pertanian 2018 yang telah menjadi salah satu bagian dari cerita perjuangan selama perkuliahan. Terima kasih atas kebersamaannya selama perkuliahan dan penyelesaian skripsi ini.
15. Semua pihak yang telah berjasa dan membantu penulis dalam penyusunan skripsi ini. Penulis berharap semoga kebaikan tersebut mendapat balasan dari Allah *subhanahu wa ta'ala*.

Di dalam penyusunan skripsi ini, penulis menyadari masih belum sempurna dan terdapat banyak kekurangan. Oleh karena itu, penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang membangun dari pembaca. Semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat serta menambah wawasan bagi pembaca dan dapat dijadikan sebagai rujukan dalam penelitian selanjutnya.

Bandar Lampung, 19 Juni 2025

Bekti Dinasari

DAFTAR ISI

	Halaman
DAFTAR ISI.....	v
DAFTAR GAMBAR.....	vii
DAFTAR TABEL	ix
I. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Manfaat Penelitian	4
1.5 Hipotesis	4
1.6 Batasan Masalah	4
II. TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Buah Nanas	5
2.2 Respirasi Nanas.....	8
2.3 Benturan pada Buah Nanas	9
2.4 Thermal Image	10
2.5 Citra <i>Visible</i>	11
2.5.1 RGB (<i>Red Green Blue</i>).....	12
2.5.2 HSV (<i>Hue Saturation Value</i>).....	12
2.6 <i>Local Binnary Pattern</i> (LBP).....	13
2.7 Aplikasi Matlab.....	14
III. METODOLOGI PENELITIAN	16
3.1 Waktu dan Tempat.....	16
3.2 Alat dan Bahan.....	16
3.3 Rancangan dan Pelaksanaan Penelitian	16
3.4 Diagram Alir	20
3.5 Parameter Penelitian	22
3.5.1 Suhu	22
3.5.2 Citra Warna	23
3.5.3 Kadar Air	24
3.5.4 Susut Bobot dan Diameter	25
3.5.5 Analisis Data	26

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN.....	27
4.1 Bobot dan Diameter	27
4.1.1 Susut Bobot.....	27
4.1.2 Diameter.....	32
4.2 Kadar Air	37
4.3 Citra Warna	40
4.3.1 <i>Ired</i> Buah Nanas	40
4.3.2 <i>Igreen</i> Buah Nanas.....	43
4.3.3 <i>Iblue</i> Buah Nanas	45
4.3.4 <i>Hue</i> Buah Nanas	47
4.3.5 <i>Saturation</i> Buah Nanas	50
4.3.6 <i>Value</i> Buah Nanas	52
4.4 Citra Termal	55
4.5 Tingkat Kerusakan	58
4.5.1 <i>Entropy</i>	58
4.5.2 <i>Energy</i>	62
4.5.3 <i>Contrast</i>	65
V. SIMPULAN DAN SARAN	69
5.1 simpulan.....	69
5.2 Saran	69
DAFTAR PUSTAKA.....	70
LAMPIRAN.....	74

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. a) <i>Cayenne</i> , b) <i>Queen</i> , c) <i>Red Spanish</i> , d) <i>Green Spanish</i>	6
2. Petunjuk Warna Tingkat Kematangan PT Great Giant Food	8
3. Laju Respirasi Buah Klimakterik dan Non Klimakterik.....	9
4. Bandul Sederhana.....	10
5. <i>Thermal Camera</i> FLIR E5-XT.....	11
6. Model Warna a) <i>Red</i> , b) <i>Green</i> , c) <i>Blue</i>	12
7. Model Warna a) <i>Hue</i> , b) <i>Saturation</i> , c) <i>Value</i>	13
8. Demonstrasi <i>Local Binary Pattern</i> (LBP).....	14
9. Tampilan Matlab R2017b	15
10. Ilustrasi Pelaksanaan Beban Benturan pada Nanas.....	18
11. Peralatan Pengambilan Citra Termal	19
12. Diagram Alir Penelitian	20
13. Diagram Alir Pengambilan Citra Termal dan Citra <i>Visible</i>	21
14. Diagram Alir Analisis LBP	22
15. Hasil Pengambilan Gambar Citra Termal	23
16. Segmentasi Sampel Nanas	24
17. Susut Bobot Selama Waktu Penyimpanan a) S8, b) S10, dan c) S12.....	28
18. Susut Bobot Selama Waktu Penyimpanan a) K0, b) K1, dan c) K2.....	29
19. Diameter Selama Waktu Penyimpanan a) S8, b) S10, dan c) S12.....	33
20. Diameter Selama Waktu Penyimpanan a) K0, b) K1, dan c) K2.....	34
21. Kadar Air Selama Waktu Penyimpanan a) S8, b) S10, dan c) S12	38
22. Kadar Air Selama Waktu Penyimpanan a) K0, b) K1, dan c) K2	39
23. Rerata <i>Ired</i> Sampel Selama Waktu Penyimpanan	40
24. Rerata <i>Igreen</i> Sampel Selama Waktu Penyimpanan.....	43

25. Rerata <i>Iblue</i> Sampel Selama Waktu Penyimpanan.....	46
26. Rerata <i>Hue</i> Sampel Selama Waktu Penyimpanan	48
27. Rerata <i>Saturation</i> Sampel Selama Waktu Penyimpanan	51
28. Rerata <i>Value</i> Sampel Selama Waktu Penyimpanan.....	53
29. Rerata Suhu Sampel Selama Waktu Penyimpanan.....	57
30. <i>Entropy</i> Selama Waktu Penyimpanan a) S8, b) S10, dan c) S12.....	60
31. <i>Entropy</i> Selama Waktu Penyimpanan a) K0, b) K1, dan c) K2.....	61
32. <i>Energy</i> Selama Waktu Penyimpanan a) S8, b) S10, dan c) S12.....	63
33. <i>Energy</i> Selama Waktu Penyimpanan a) K0, b) K1, dan c) K2.....	64
34. <i>Contrast</i> Selama Waktu Penyimpanan a) S8, b) S10, dan c) S12.....	66
35. <i>Contrast</i> Selama Waktu Penyimpanan a) K0, b) K1, dan c) K2.....	67
36. Sampel Nanas dengan Ukuran S8 a) K1, b) K2, dan c) K3	88
37. Hasil Analisis Gambar Kamera Termal Menggunakan Metode ROI	88
38. Analisis RGB Buah Nanas	89
39. Analisis HSV Buah Nanas	89
40. Histogram Analisis Buah Nanas	90
41. Sampel Buah Nanas	90
42. Pengeringan Buah Nanas	91
43. Proses Sortir Buah Nanas.....	91

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Ciri-Ciri Beberapa Varietas Nanas	6
2. Klasifikasi Ukuran Buah Nanas	7
3. Klasifikasi Tingkat Kematangan Buah Nanas	7
4. Rancangan Penelitian.....	17
5. Matriks Rancangan Penelitian	17
6. Hasil Anova Pengaruh Kematangan dan Ukuran Terhadap Susut Bobot Hari Ketiga.....	31
7. Hasil Anova Pengaruh Kematangan dan Ukuran Terhadap Susut Bobot Hari Ketujuh.....	31
8. Hasil Anova Pengaruh Kematangan dan Ukuran Terhadap Diameter Hari Kesatu	35
9. Uji BNT Pengaruh Ukuran Terhadap Diameter Hari Kesatu	36
10. Hasil Anova Pengaruh Kematangan dan Ukuran Terhadap Diameter Hari Ketujuh.....	36
11. Uji BNT Pengaruh Ukuran Terhadap Diameter Hari Ketujuh	36
12. Hasil Anova Pengaruh Kematangan dan Ukuran Terhadap <i>Ired</i> Hari Ketiga.....	42
13. Uji BNT Pengaruh Kematangan Terhadap <i>Ired</i> Hari Ketiga.....	42
14. Hasil Anova Pengaruh Kematangan dan Ukuran Terhadap <i>Ired</i> Hari Ketujuh.....	42
15. Uji BNT Pengaruh Kematangan Terhadap <i>Ired</i> Hari Ketujuh.....	42
16. Hasil Anova Pengaruh Kematangan dan Ukuran Terhadap <i>Igreen</i> Hari Ketiga.....	44

17. Hasil Anova Pengaruh Kematangan dan Ukuran Terhadap <i>Igreen</i> Hari Ketujuh.....	45
18. Hasil Anova Pengaruh Kematangan dan Ukuran Terhadap <i>Iblue</i> Hari Ketiga.....	47
19. Hasil Anova Pengaruh Kematangan dan Ukuran Terhadap <i>Iblue</i> Hari Ketujuh.....	47
20. Uji BNT Pengaruh Kematangan Terhadap <i>Iblue</i> Hari Ketujuh.....	47
21. Hasil Anova Pengaruh Kematangan dan Ukuran Terhadap <i>Hue</i> Hari Ketiga.....	49
22. Uji BNT Pengaruh Kematangan Terhadap <i>Hue</i> Hari Ketiga.....	49
23. Hasil Anova Pengaruh Kematangan dan Ukuran Terhadap <i>Hue</i> Hari Ketujuh.....	50
24. Uji BNT Pengaruh Kematangan Terhadap <i>Hue</i> Hari Ketujuh.....	50
25. Hasil Anova Pengaruh Kematangan dan Ukuran Terhadap <i>Saturation</i> Hari Ketiga.....	52
26. Hasil Anova Pengaruh Kematangan dan Ukuran Terhadap <i>Saturation</i> Hari Ketujuh.....	52
27. Hasil Anova Pengaruh Kematangan dan Ukuran Terhadap <i>Value</i> Hari Ketiga.....	54
28. Hasil Anova Pengaruh Kematangan dan Ukuran Terhadap <i>Value</i> Hari Ketujuh.....	55
29. Uji BNT Pengaruh Kematangan Terhadap <i>Value</i> Hari Ketujuh.....	55
30. Hasil Anova Pengaruh Kematangan dan Ukuran Terhadap Suhu Hari Kesatu	57
31. Hasil Anova Pengaruh Kematangan dan Ukuran Terhadap Suhu Hari Ketujuh.....	58
32. Rerata Persentase Susut Bobot Buah Nanas Selama Penyimpanan (%)....	75
33. Rerata Diameter Buah Nanas Selama Penyimpanan (cm).....	75
34. Persentase Kadar Air Buah Nanas Selama Penyimpanan (%).....	76
35. Rerata <i>Ired</i> Buah Nanas Selama Penyimpanan.....	76
36. Rerata <i>Igreen</i> Buah Nanas Selama Penyimpanan.....	77
37. Rerata <i>Iblue</i> Buah Nanas Selama Penyimpanan	77

38. Rerata <i>Hue</i> Buah Nanas Selama Penyimpanan.....	78
39. Rerata <i>Saturation</i> Buah Nanas Selama Penyimpanan	78
40. Rerata <i>Value</i> Buah Nanas Selama Penyimpanan	79
41. Rerata Suhu Buah Nanas Selama Penyimpanan (°C)	79
42. Hasil Anova Pengaruh Kematangan dan Ukuran Terhadap Susut Bobot Hari Kelima.....	80
43. Hasil Anova Pengaruh Kematangan dan Ukuran Terhadap Diameter Hari Kelima.....	80
44. Uji BNT Pengaruh Kematangan Terhadap Diameter Hari Kelima	80
45. Hasil Anova Pengaruh Kematangan dan Ukuran Terhadap <i>Ired</i> Hari Kelima.....	80
46. Uji BNT Pengaruh Kematangan Terhadap <i>Ired</i> Hari Kelima.....	81
47. Hasil Anova Pengaruh Kematangan dan Ukuran Terhadap <i>Igreen</i> Hari Kelima.....	81
48. Uji BNT Pengaruh Kematangan Terhadap <i>Igreen</i> Hari Kelima.....	81
49. Hasil Anova Pengaruh Kematangan dan Ukuran Terhadap <i>Iblue</i> Hari Kelima.....	81
50. Uji BNT Pengaruh Kematangan Terhadap <i>Iblue</i> Hari Kelima	82
51. Hasil Anova Pengaruh Kematangan dan Ukuran Terhadap <i>Hue</i> Hari Kelima.....	82
52. Uji BNT Pengaruh Kematangan Terhadap <i>Hue</i> Hari Kelima.....	82
53. Hasil Anova Pengaruh Kematangan dan Ukuran Terhadap <i>Saturation</i> Hari Kelima.....	82
54. Uji BNT Pengaruh Kematangan Terhadap <i>Saturation</i> Hari Kelima	83
55. Hasil Anova Pengaruh Kematangan dan Ukuran Terhadap <i>Value</i> Hari Kelima.....	83
56. Uji BNT Pengaruh Kematangan Terhadap <i>Value</i> Hari Kelima	83
57. Hasil Anova Pengaruh Kematangan dan Ukuran Terhadap Suhu Hari Kelima.....	83
58. Uji BNT Pengaruh Kematangan Terhadap Suhu Hari Kelima	84
59. Rerata Nilai <i>Entropy</i> Buah Nanas Selama Penyimpanan	84
60. Rerata Nilai <i>Energy</i> Buah Nanas Selama Penyimpanan.....	84

61. Rerata Nilai <i>Contrast</i> Buah Nanas Selama Penyimpanan	85
62. Citra Termal Berdasarkan Waktu Penyimpanan.....	86
63. Citra <i>Visible</i> Berdasarkan Waktu Penyimpanan	87

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia memiliki hasil perkebunan yang sangat besar khususnya perkebunan buah-buahan. Menurut Badan Pusat Statistik (BPS) tahun 2020, produksi buah-buahan di Indonesia yang terbesar yaitu pisang (8.182.756 ton), mangga (2.898.588 ton), jeruk (2.593.384) ton, nanas (2.898.588 ton), dan salak (1.225.088) ton. Total produksi buah nanas menempati urutan keempat terbesar di Indonesia. Hal tersebut didukung oleh Provinsi Lampung sebagai provinsi dengan produksi buah nanas tertinggi yaitu sebesar 662.588 ton (Badan Pusat Statistik, 2021).

Seiring dengan tingginya produksi buah nanas, maka perlu adanya penanganan, mulai dari penanganan tanaman hingga penanganan pascapanen. Tingginya produksi buah nanas dapat menyebabkan berlimpahnya ketersediaan di pasaran. Oleh karena itu penanganan pascapanen sangat penting dilakukan untuk mempertahankan kualitas buah. Hal ini sejalan dengan sifat buah sebagai hasil pertanian yang sangat rentan dan mudah mengalami kerusakan dan dapat menyebabkan menurunnya kualitas.

Salah satu hal yang dapat menurunkan kualitas buah selama masa pascapanen adalah adanya kerusakan. Kerusakan tersebut yaitu kerusakan fisiologis, kerusakan mekanis, kerusakan mikrobiologis, kerusakan fisik, kerusakan kimia, dan kerusakan biologis. Benturan merupakan kerusakan mekanis yang ditandai dengan adanya memar, sobek, maupun terpotong pada permukaan kulit dan jaringan buah yang dapat memicu terjadinya kerusakan lanjutan akibat tumbuhnya mikroorganisme (Sari & Simbolon, 2020).

Memar adalah salah satu kerusakan mekanis yang sangat penting untuk ditangani (Abedi & Ahmadi, 2013). Kerusakan tersebut dapat terjadi selama masa panen, penanganan pascapanen, pengangkutan, serta pemrosesan karena adanya kontak dengan objek-objek lain serta tekanan akibat adanya benturan dengan buah dan objek lain yang bersentuhan. Kerusakan produk dapat menyebabkan terjadinya pembukaan jaringan sel yang dapat mengakibatkan kerusakan mekanis dan memungkinkan terjadinya kerusakan patologis dan mampu mempermudah infeksi mikroorganisme pembusuk (patogen) (Lospiani dkk, 2017). Kerusakan mekanis pada buah dapat dianalisis berdasarkan laju respirasi pada buah. Laju kerusakan produk pascapanen biasanya sebanding dengan laju respirasi. Meskipun demikian, tidak selalu ada hubungan yang konstan antara kapasitas etilen yang dihasilkan oleh produk dengan rusaknya suatu produk (Setiasih dkk, 2020). Berdasarkan hal tersebut, maka diperlukan adanya suatu alat yang dapat digunakan sebagai pendeteksi adanya kerusakan pada buah, terutama kerusakan mekanis. Selama ini, belum ada metode yang dapat digunakan untuk mendeteksi kerusakan pada buah akibat benturan terutama yang tidak menyebabkan kerusakan pada buah.

Thermal image adalah teknologi yang dapat mendeteksi panas yang dilepaskan oleh objek dan dapat menganalisis suhu tanpa merusak buah (*non destructive*).

Thermal image merupakan teknologi yang menggunakan sinar inframerah yang dapat digunakan untuk mendeteksi distribusi suhu pada suatu objek. Alat ini biasa dipakai dalam dunia kesehatan, salah satunya adalah kedokteran hewan. Santoso dkk (2020) menggunakan teknologi kamera termal dalam mengukur suhu pada sapi perah untuk membantu menentukan diagnosis pada sapi perah. Namun demikian, teknologi ini juga dapat diterapkan dalam dunia pertanian.

Berdasarkan uraian di atas, maka adanya teknologi yang dapat digunakan untuk mendeteksi kerusakan pada buah sangat diperlukan. Pada penelitian ini, teknologi *thermal image* akan digunakan sebagai alat pendeteksi kerusakan pada buah yang diakibatkan oleh adanya beban benturan (*impact*). *Impact* pada buah akan memungkinkan rusaknya jaringan atau membran sel buah dan memicu terjadinya oksidasi. Jika oksidasi terjadi, maka dapat menyebabkan perubahan warna buah

(*browning*). Seperti penelitian yang dilakukan oleh Perdana dkk (2019), benturan yang terjadi pada buah apel berdampak pada kerusakan yang ditandai dengan adanya luka memar. Luka memar ini menyebabkan adanya perubahan warna coklat pada kulit buah yang menembus daging. Terjadinya pembukaan jaringan sel akibat kerusakan mekanis memungkinkan terjadinya kerusakan patologis yang mempermudah infeksi mikroorganisme pembusuk (patogen) (Lospiani dkk, 2017). Bagian kulit atau daging buah yang memar (*bruise*) tampak lebih berair dan besaran volumenya mungkin bertambah dengan berjalannya waktu. Oleh karena itu, selain menggunakan teknologi kamera termal, di dalam penelitian ini juga akan menggunakan kamera *visible* untuk menganalisis perubahan yang tampak pada buah nanas akibat adanya benturan.

Penggunaan teknologi kamera termal dan kamera *visible* yang tidak merusak merupakan salah satu keunggulan dalam penelitian ini. Kerusakan pascapanen buah-buahan akibat benturan merupakan salah satu masalah yang sangat serius dan perlu adanya penanganan yang baik. Adanya penelitian ini diharapkan dapat membantu petani dalam melakukan penanganan pascapanen yang tepat agar produk buah-buahan dapat sampai ke tangan konsumen dengan kualitas yang baik.

1.2 Rumusan Masalah

Tujuan dari penelitian ini yaitu sebagai berikut.

1. Apakah metode citra termal dan citra *visible* dapat digunakan sebagai pendeteksi tingkat kerusakan buah nanas selama waktu penyimpanan?
2. Bagaimana hubungan antara tingkat kematangan dan ukuran buah nanas yang mengalami benturan terhadap nilai intensitas pada citra *visible* dan citra termal selama waktu penyimpanan?

1.3 Tujuan Penelitian

Rumusan masalah dari penelitian ini yaitu sebagai berikut.

1. Mempelajari metode citra thermal dan citra *visible* sebagai pendeteksi tingkat kerusakan yang terjadi pada buah nanas.

2. Menganalisis hubungan antara tingkat kematangan dan ukuran buah nanas yang mengalami benturan terhadap nilai intensitas pada citra *visible* dan citra termal selama waktu penyimpanan.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini yaitu mampu memberikan informasi yang tepat dan dapat dijadikan sebagai acuan pengambilan keputusan tentang penanganan yang dapat dilakukan terhadap buah-buahan pascapanen.

1.5 Hipotesis

1. Metode citra termal dan citra *visible* dapat digunakan sebagai pendeteksi tingkat kerusakan buah nanas selama waktu penyimpanan.
2. Terdapat hubungan antara tingkat kematangan dan ukuran buah nanas yang mengalami benturan terhadap nilai intensitas pada citra *visible* dan citra termal selama waktu penyimpanan.

1.6 Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini yaitu sebagai berikut.

1. Menggunakan hasil analisis *thermal image* dari kamera FLIR E5-XT
2. Suhu pengambilan gambar adalah suhu ruangan, yaitu sekitar 25°C.
3. Parameter yang dianalisis adalah susut bobot, diameter, kadar air, RGB, HSV, dan distribusi suhu pada buah.
4. Buah nanas dibenturkan dengan cara mengayunkan beban seberat ± 1 kg yang berbentuk silinder dengan panjang tali 100 cm dan sudut 60°.
5. Tingkat kematangan yang digunakan adalah tingkat kematangan 0, 1, dan 2, dan ukuran buah yang digunakan adalah ukuran 12, ukuran 10, dan ukuran 8.

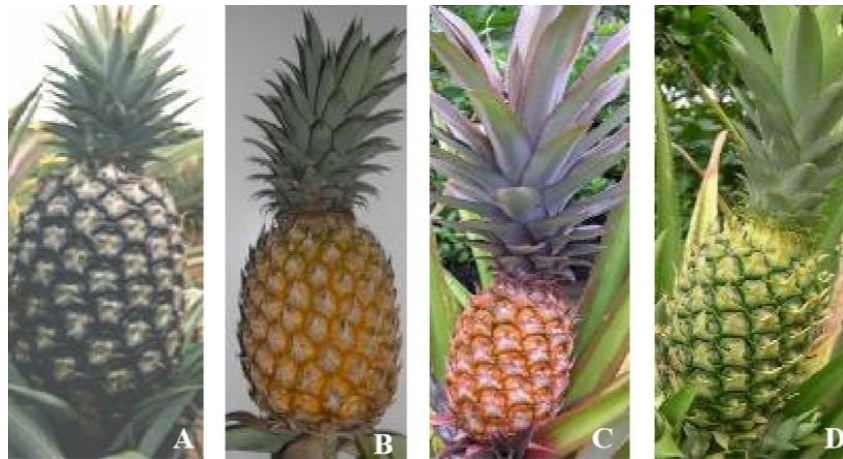
II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Buah Nanas

Buah nanas merupakan salah satu buah yang banyak diminati oleh masyarakat. Bentuk buah ini bulat panjang dengan kulit buah bersisik. Buah nanas berasal dari Brazilia (Amerika Selatan), tepatnya di kawasan lembah sungai Parana, Paraguay (Ardi dkk, 2019). Ada 4 varietas nanas yang dibudidayakan, yaitu *Cayenne* yang memiliki ciri-ciri berdaun halus, tidak berduri, dan ukuran buahnya besar. *Queen* memiliki daun pendek berduri tajam, buah lonjong mirip dengan kerucut. *Spanyol* *Spanish* memiliki daun panjang kecil, berduri halus sampai kasar, dan buah bulat dengan mata datar. Sedangkan *Abacaxi* berdaun panjang, berduri kasar, berbuah silindris atau seperti piramida. Varietas nanas yang banyak ditanam di Indonesia yaitu golongan *Cayenne* dan *Queen* (Hadiati & Indriyani, 2008).

Nanas adalah tanaman yang berupa semak dengan ujung dan tepi daun berduri serta tulang daun sejajar. Kulit buah berwarna hijau kekuningan dan daging buah berwarna kuning (Hairi, 2010). Klasifikasi buah nanas yaitu sebagai berikut.

Kingdom : Plantae (tumbuh-tumbuhan)
Divisi : Spermatophyte (tumbuhan berbiji)
Sub Divisi : Angiospermae (berbiji tertutup)
Ordo : Farinosae (bromeliales)
Kelas : Liliopsida (monokotil berdaun lembaga dua)
Famili : Bromeliaceae
Genus : *Ananas*
Spesies : *Ananas comosus* L. Merr.
(Lubis, 2020).



Gambar 1. a) *Cayenne*, b) *Queen*, c) *Red Spanish*, d) *Green Spanish*

Berbagai varietas nanas memiliki ciri-ciri yang berbeda. Ciri-ciri masing-masing varietas nanas dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Ciri-Ciri Beberapa Varietas Nanas

Varietas Nanas	Ciri-Ciri
<i>Cayenne</i>	Biasa digunakan sebagai buah keleng. Tepi daun tidak berduri atau berduri di ujung daun, mata buah lebar, daging buah berwarna kuning pucat dan tembus cahaya (transparan), dan mengandung banyak air
<i>Queen</i>	Biasa digunakan sebagai buah meja atau dikonsumsi dalam bentuk segar. Tepi daun berduri, buah berukuran kecil, mata buah kecil dan menonjol, daging buah berwarna kuning keemasan, daging buah renyah, dan tidak transparan.
<i>Spanish</i>	Daun berduri, duri daun berwarna merah atau hijau, mata buah datar dan lebih lebar dibanding <i>Cayenne</i> , daging buah mengandung banyak air, berserat, transparan, dan kurang manis jika dibandingkan dengan <i>Cayenne</i> dan <i>Queen</i> .

(Hadiati & Indriyani, 2008).

Buah nanas biasanya dipanen berdasarkan klasifikasi ukuran dan tingkat kematangan. Di PT Great Giant Food, klasifikasi buah nanas berdasarkan ukuran dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Klasifikasi Ukuran Buah Nanas

Ukuran (<i>Size</i>)	Berat Buah (kg)
12	1,00-1,20
11	1,21-1,25
10	1,26-1,35
9	1,36-1,45
8	1,46-1,70
7	1,71-1,90
6	1,91-2,25

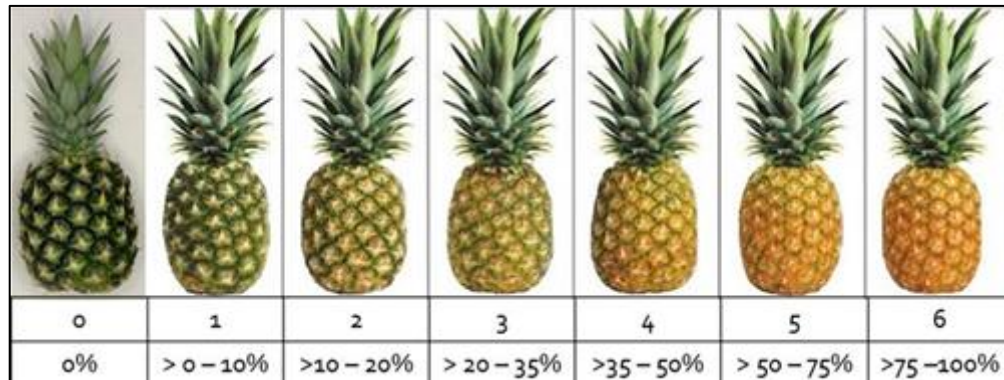
Sumber: Great Giant Food

Selain ukuran, buah nanas diklasifikasikan berdasarkan tingkat kematangan. Klasifikasi tingkat kematangan buah dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Klasifikasi Tingkat Kematangan Buah Nanas

Tingkat Kematangan	Standarisasi(<i>Shell Color</i>)	Warna Kulit Buah
0	0	Hijau
1	>0-10%	Mata jelas, hijau
2	>10%-20%	Mata jelas, mulai kuning
3	>20%-35%	Mata jelas, berwarna kuning
4	>35%-50%	Matanya berwarna kuning penuh
5	>50%-75%	Matanya berwarna kuning penuh
6	>75%-100%	Matanya jingga kemerah-merahan

Sumber: Great Giant Food

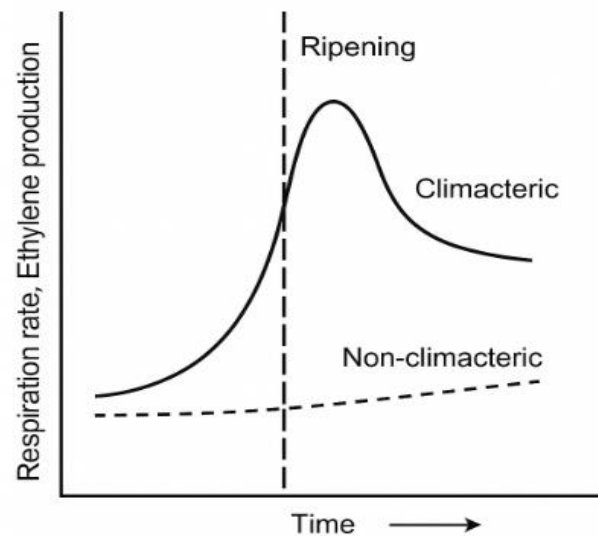


Gambar 2. Petunjuk Warna Tingkat Kematangan PT Great Giant Food

2.2 Respirasi Nanas

Buah-buahan dapat dikelompokkan berdasarkan laju pernapasan saat pertumbuhan hingga memasuki fase kelayuan (*senescence*) menjadi 2 kelompok yaitu klimakterik dan non klimakterik. Buah klimakterik mengalami kenaikan respirasi dan kenaikan kadar etilen saat proses pematangan. Sedangkan buah non klimakterik merupakan buah yang tidak mengalami lonjakan respirasi ataupun kadar etilen setelah di panen (Sari & Simbolon, 2020). Buah nanas merupakan salah satu jenis buah non klimakterik karena tidak mengalami lonjakan laju respirasi maupun etilen.

Respirasi buah nanas selama proses penyimpanan dapat menyebabkan buah nanas mengalami perubahan warna. Perubahan warna ini disebabkan oleh adanya perubahan metabolisme pada buah. Aktivitas enzim dan respirasi yang meningkat menyebabkan perubahan fisiologis dan biokimia yang menyebabkan perubahan warna kulit dan daging buah nanas. Menurut Radimas (2023), buah nanas merupakan buah dengan kandungan karotenoid sebagai zat pewarna alami. Perubahan warna dari hijau menjadi kekuningan pada buah nanas disebabkan oleh adanya degradasi klorofil. Pada saat masih muda, klorofil mendominasi yang menyebabkan warna hijau pada kulit buah nanas. Seiring waktu, klorofil mulai terdegradasi dan terurai sehingga pigmen warna lain muncul. Pigmen karotenoid, terutama beta-karoten, disintesis dan terakumulasi memberikan warna kuning hingga oranye pada kulit buah nanas yang matang.



Gambar 3. Laju Respirasi Buah Klimakterik dan Non Klimakterik

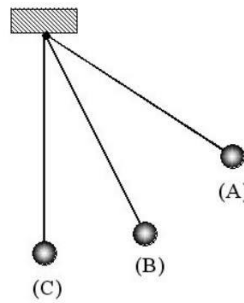
2.3 Benturan pada Buah Nanas

Benturan biasa terjadi pada saat pemanenan maupun transportasi selama penanganan pascapanen. Kerusakan bentur merupakan kerusakan yang diakibatkan oleh benda yang jatuh menimpa benda yang lain. Semakin kasar suatu permukaan benda maka kerusakan yang terjadi akan semakin besar. Kerusakan ini sering disebut dengan kerusakan mekanik. Kerusakan mekanik yang terjadi dapat mengakibatkan cepatnya proses transpirasi dan respirasi yang terjadi pada buah nanas. Hal ini dapat menyebabkan buah nanas mengalami susut bobot (Barus, 2011).

Penelitian tentang sifat fisik dan mekanik bahan pangan dapat digunakan untuk meminimalkan terjadinya kerusakan. Sifat-sifat tersebut dapat digunakan sebagai data dasar dalam perancangan alat maupun mesin yang digunakan saat pemanenan maupun dalam operasi-operasi pascapanen bahan pangan (Aman dkk, 2019).

Prinsip bandul sederhana dapat digunakan sebagai simulasi kerusakan buah secara mekanik, yaitu kerusakan yang disebabkan oleh *impact*. Bandul sederhana terdiri atas benda yang memiliki massa tertentu dan diikat dengan tali. Pada penelitian ini

sampel akan mendapatkan benturan dengan beban dan jarak tertentu sehingga terjadi benturan pada sampel.



Gambar 4. Bandul Sederhana

2.4 Thermal Image

Thermal image atau *thermography* adalah sebuah metode yang dapat memanfaatkan karakteristik panas yang dipancarkan oleh sebuah objek menggunakan sensor panas. Teknik ini mampu mengubah energi inframerah yang dipancarkan objek menjadi citra panas yang dapat dilihat oleh mata. Pencitraan termal (*thermal imaging*) adalah salah satu pendekatan yang dapat digunakan untuk memperoleh fitur termal suatu objek secara non-intrusive. Objek dapat berupa bagian wajah dan tubuh manusia, tubuh hewan, tumbuhan, danau, lautan, gedung, dan lain sebagainya (Arsatria dkk, 2020).

Perbedaan yang paling dasar antara pencitraan visual dan pencitraan termal terletak pada sensor yang digunakan. Pada citra visual digunakan sensor visual untuk mengakuisisi citra tampak (*visible*), sedangkan pada citra termal menggunakan sensor termal untuk mengakuisisi sejumlah panas yang diradiasikan oleh objek. Citra visual dan citra termal juga memiliki spektrum dan panjang gelombang yang berbeda. Citra visual memiliki spektrum antara $0.4 \sim 0.8 \mu\text{m}$ dan citra termal memiliki spektrum antara $0.8 \sim 14 \mu\text{m}$ (Arsatria dkk, 2020).

Dilihat dari sisi fisiologisnya, buah yang telah dipanen akan tetap melakukan proses metabolisme. Selama proses metabolisme tersebut, buah akan melakukan respirasi. Proses respirasi ini akan menghasilkan air, CO_2 , dan energi yang berupa

ATP dan panas. Panas yang dihasilkan oleh buah tersebut akan terekam oleh *thermal image* yang diinterpretasikan ke dalam bentuk citra warna. Citra hasil deteksi suhu inilah yang dipancarkan oleh objek dan ditangkap oleh kamera thermal. Kemudian citra yang dihasilkan akan berupa olahan pancaran panas objek yang tertangkap dan menghasilkan warna-warna tertentu sesuai dengan panas yang dipancarkan (Saifullah dkk, 2016).

Thermal image merupakan alat yang dapat mengubah citra analog tersebut ke dalam citra digital, sehingga kondisi fisiologis pada buah dapat terpantau.

Thermal image adalah teknologi non-invasif, non-kontak, dan non-destruktif yang dapat digunakan untuk menentukan sifat dan fitur termal dari berbagai objek.

Pemanfaatan *thermal image* di bidang pertanian dapat digunakan pada proses pembibitan dan pemantauan rumah kaca, penjadwalan irigasi, deteksi penyakit tanaman, pendugaan hasil buah, evaluasi kematangan buah, dan deteksi kerusakan (memar) pada buah dan sayuran (Ishimwe *et al.*, 2014).



Gambar 5. *Thermal Camera FLIR E5-XT*

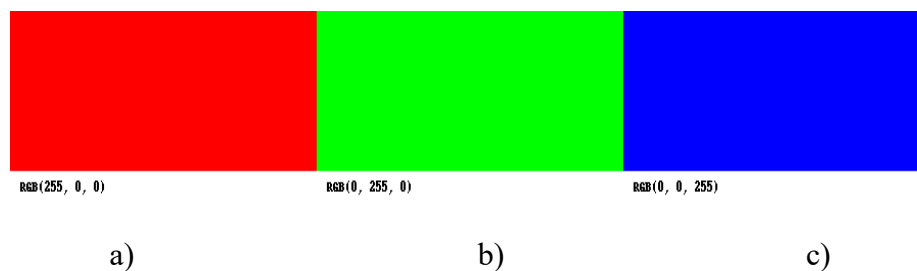
2.5 Citra *Visible*

Ada banyak jenis sistem representasi warna yang umum digunakan dalam pengolahan citra visible, dua diantaranya adalah sistem RGB (*Red Green Blue*) dan HSV (*Hue Saturation Value*).

2.5.1 RGB (*Red Green Blue*)

RGB merupakan salah satu model analisis warna. Model warna RGB didasari oleh kepekaan mata manusia terhadap warna merah, hijau, dan biru (*truecolor*). Apabila dilakukan pencampuran ketiga unsur warna tersebut, maka dapat menghasilkan warna lain yang disebut dengan *additive color*. Warna RGB (*Red, Green, Blue*) menggunakan skala mulai dari 0 sampai dengan 255. Setiap piksel gambar merupakan kombinasi dari ketiga warna tersebut (Himmah dkk, 2020).

Model warna RGB merupakan sistem pewarnaan yang umum diterapkan dalam berbagai teknologi pengolahan citra, baik dalam konteks penginderaan, visualisasi data, maupun tampilan pada perangkat elektronik seperti monitor, kamera, dan proyektor. Prinsip kerja dari model ini bersifat aditif, yang berarti bahwa perpaduan antara tiga warna dasar, yaitu merah (*red*), hijau (*green*), dan biru (*blue*) dapat menciptakan berbagai macam spektrum warna baru. Penambahan intensitas cahaya pada masing-masing warna akan meningkatkan kecerahan warna (Lustini, 2019).



Gambar 6. Model Warna a) *Red*, b) *Green*, c) *Blue*

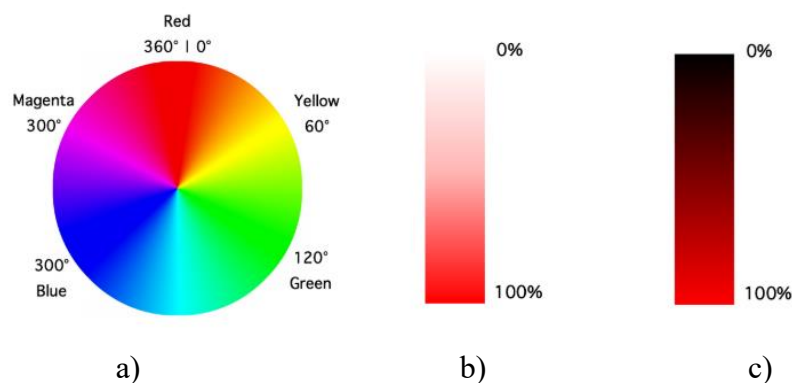
2.5.2 HSV (*Hue Saturation Value*)

Sedangkan HSV yaitu *Hue*, *Saturation* dan *Value*. *Hue* menyatakan warna yang sebenarnya, seperti merah, violet, dan kuning. Warna-warna ini digunakan untuk menentukan kemerahan (*redness*), kehijauan (*greenness*), dan lainnya. *Saturation* atau *chroma*, artinya kemurnian atau kekuatan warna. Sedangkan *Value* menyatakan kecerahan warna dan nilainya berkisar antara 0-100 %. Jika *Value* bernilai 0 maka warnanya akan menjadi hitam. Semakin besar nilai *Value* maka

warna semakin cerah dan muncul variasi-variasi baru dari warna tersebut (Himmah dkk, 2020).

Menurut Pramudiya dkk (2024), model Warna HSV dapat didefinisikan sebagai berikut.

1. *Hue* (Nuansa Warna). *Hue* menggambarkan warna seperti merah, hijau, biru, dan lainnya. Dalam model HSV, *Hue* direpresentasikan dalam bentuk lingkaran warna, dengan setiap titik pada lingkaran mewakili nuansa warna yang berbeda.
2. *Saturation* (Kemurnian Warna). *Saturation* menggambarkan tingkat kejenuhan warna. *Saturation* yang tinggi menunjukkan warna yang lebih kaya dan jenuh, sementara *saturation* rendah menghasilkan warna yang lebih pucat atau abu-abu.
3. *Value* (Tingkat Kecerahan). *Value* menggambarkan tingkat kecerahan atau intensitas warna. *Value* yang tinggi menunjukkan warna yang lebih terang, sedangkan *value* rendah menghasilkan warna yang lebih gelap.

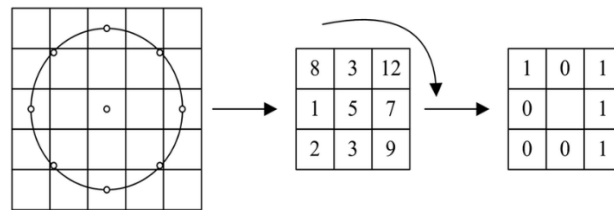


Gambar 7. Model Warna a) *Hue*, b) *Saturation*, c) *Value*

2.6 Local Binary Pattern (LBP)

Local Binary Pattern (LBP) pertama kali dikenalkan oleh Timo Ojala sebagai teknik untuk menganalisis tekstur berdasarkan pendekatan statistik dan pola struktur lokal. Metode ini dimanfaatkan dalam proses klasifikasi citra berdasarkan karakteristik teksturnya. LBP menggunakan jendela berukuran 3×3 piksel, di mana nilai dari delapan piksel tetangga dibandingkan dengan nilai piksel pusat sebagai ambang batas (*threshold*) dan menghasilkan kode biner. Jika intensitas

piksel tetangga sama dengan atau lebih besar dari piksel pusat, maka diberi nilai 1, sedangkan jika lebih kecil akan diberi nilai 0 (Rivan & Davella, 2020).



Gambar 8. Demonstrasi *Local Binary Pattern* (LBP)

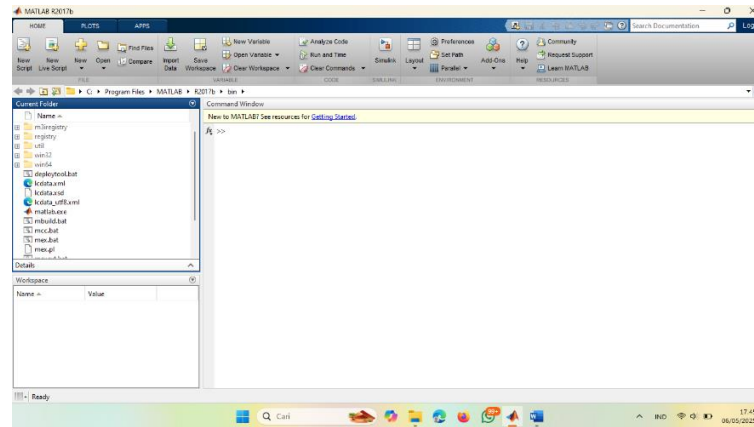
LBP dapat digunakan dalam berbagai aplikasi, terutama dalam pengenalan pola dan analisis tekstur. Kegunaan utama LBP meliputi pengenalan wajah, deteksi cacat, analisis citra medis, dan pemantauan kualitas material (Fahrurozi dkk, 2023). Dalam analisis tekstur, LBP digunakan untuk mengekstraksi ciri-ciri tekstur dari berbagai objek, yang kemudian diaplikasikan dalam sistem pengenalan pola. Selain itu, LBP dapat diterapkan untuk mendeteksi ketidaksempurnaan atau kerusakan pada produk. LBP memiliki beberapa keunggulan, termasuk kesederhanaan komputasi, ketahanan terhadap perubahan pencahayaan, dan kemampuan untuk bekerja secara efektif dalam kondisi pencahayaan yang berbeda (Ridwan, 2024).

2.7 Aplikasi Matlab

Matlab (Matrix Laboratory) merupakan perangkat lunak (software) yang menggunakan matriks sebagai dasar dalam pemanfaatannya. Matriks di dalam Matlab cukup sederhana sehingga mudah dalam penggunaannya (Atina, 2019). Versi pertama dari Matlab ditulis pada tahun 1970 dan pada saat itu Matlab digunakan dalam teori matriks, aljabar linier, dan analisis numerik (Indriyani dkk, 2017).

Seiring dengan berkembangnya aplikasi Matlab, saat ini Matlab dapat digunakan untuk menyelesaikan berbagai masalah komputasi teknis dengan lebih cepat jika dibandingkan dengan bahasa pemrograman tradisional seperti C, C++, dan Fortran. Matlab dapat digunakan dalam berbagai aplikasi, seperti aplikasi

pengolahan sinyal dan gambar, komunikasi, desain kontrol, pengujian dan pengukuran, pemodelan, analisis keuangan, maupun biologi komputasi. Di kalangan ilmuwan di industri maupun akademisi, Matlab disebut sebagai bahasa komputasi teknis (Chamundeswari *et al.*, 2012).



Gambar 9. Tampilan Matlab R2017b

III. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Juni-Juli 2022 di Laboratorium PT Great Giant Food PG 4 Lampung Timur.

3.2 Alat dan Bahan

Alat yang digunakan dalam penelitian ini yaitu *thermal image camera* (FLIR E5-XT), komputer yang terinstal aplikasi Matlab, kamera *visible* Realme C12, timbangan, tali, beban (± 1 kg), pisau, jangka sorong, sarung tangan, chamber, cawan, busur, dan oven. Sedangkan bahan yang digunakan yaitu buah nanas dengan 3 tingkat kematangan dan 3 ukuran.

3.3 Rancangan dan Pelaksanaan Penelitian

Rancangan pada penelitian ini yaitu menggunakan 3 tingkat kematangan nanas yang akan diteliti, yaitu tingkat kematangan 0, tingkat kematangan 1, dan tingkat kematangan 2 yang ditentukan berdasarkan sortasi dari Great Giant Food. Buah nanas juga dipilih dengan 3 ukuran yang berbeda, yaitu ukuran 12, ukuran 10, dan ukuran 8. Pada penelitian ini, tingkat kematangan nanas disimbolkan dengan K dan ukuran buah disimbolkan dengan S.

Masing-masing sampel diberi satu perlakuan yang sama yaitu mendapatkan benturan beban dengan berat ± 1 kg dengan sudut $\pm 60^\circ$ dan panjang tali ± 100 cm. Buah nanas diletakkan sejajar dengan bandul beban dan tali, kemudian dibenturkan sebanyak satu kali. Penelitian ini menggunakan 3 kali ulangan untuk

setiap unit percobaan dan menggunakan 9 sampel untuk pengamatan destruktif sehingga buah nanas yang akan digunakan sebanyak 36 buah. Setiap sampel buah diambil citra termalnya sebanyak 2 kali dengan interval setiap pengambilan citra selama 30 detik. Pengambilan citra dilakukan setiap 2 hari sekali sebanyak 5 kali pada bagian buah yang mengalami benturan. Buah kemudian dianalisis mutu fisik buah (warna, diameter, bobot) dan kadar air buah.

Tabel 4. Rancangan Penelitian

Perlakuan	Dibenturkan dengan beban seberat ± 1 kg, sudut $\pm 60^\circ$, dan panjang tali ± 100 cm
Parameter	Warna, kadar air, kekerasan, diameter, dan bobot
Penyimpanan	9 hari pada suhu ruang
Kriteria Sampel	3 tingkat kematangan(K) dan 3 ukuran (S)
Ulangan	3 kali (27 sampel) 3 sampel untuk setiap unit percobaan per hari pengamatan 9 sampel destruktif, 3 sampel untuk setiap masing-masing unit percobaan
Jumlah Sampel	36

Tabel 5. Matriks Rancangan Penelitian

		Kematangan (K)		
		K0	K1	K2
Ukuran (S)	S8	$U_1U_2U_3$	$U_1U_2U_3$	$U_1U_2U_3$
	S10	$U_1U_2U_3$	$U_1U_2U_3$	$U_1U_2U_3$
	S12	$U_1U_2U_3$	$U_1U_2U_3$	$U_1U_2U_3$

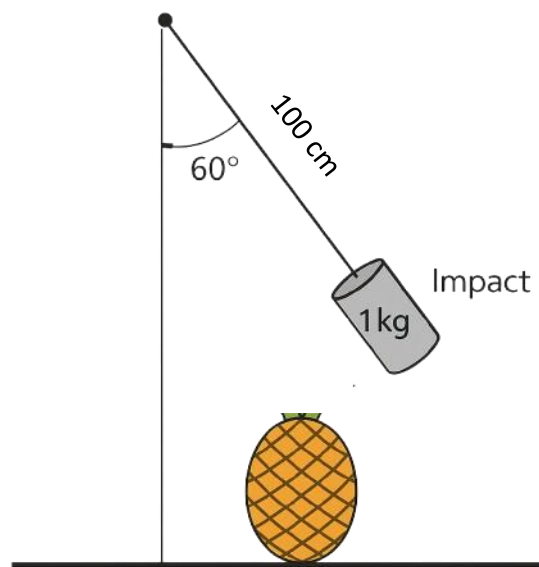
Keterangan:

S : Ukuran buah nanas

K : Tingkat kematangan buah nanas

U : Ulangan

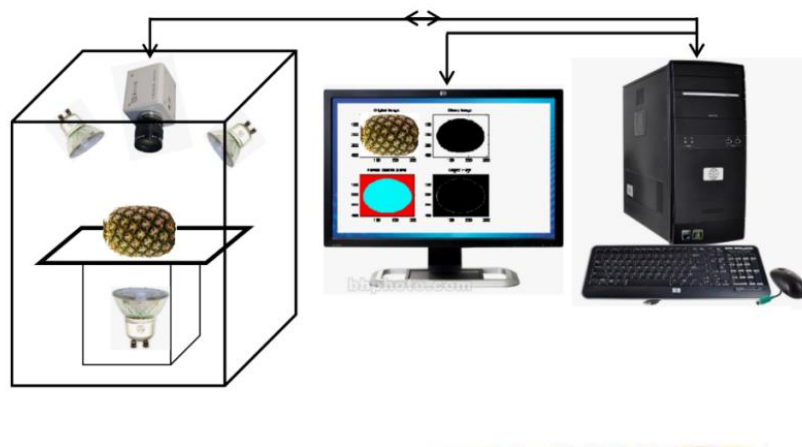
Buah nanas yang dijadikan sampel diberikan beban benturan sebesar 1kg, sudut 60° , dan panjang tali 100 cm dengan asumsi mampu menggambarkan kondisi buah nanas selama proses panen dan pascapanen. Bobot buah nanas seberat 1kg dipakai untuk mewakili berat rata-rata sampel buah nanas berukuran S8, S10, dan S12 yang memiliki berat yang berkisar 1kg. Penjelasan mengenai perhitungan pendekatan menggunakan pendulum yang berupa silinder dan terbuat dari bahan beton seberat 1kg dapat dilihat pada bagian Lampiran. Ilustrasi pelaksanaan beban bentur pada nanas dapat dilihat pada Gambar 10.



Gambar 10. Ilustrasi Pelaksanaan Beban Benturan pada Nanas

Cara pengambilan citra termal dari sampel buah nanas yaitu sampel buah yang telah disiapkan kemudian diletakkan per sampel pada kotak pengambilan citra. Citra termal buah diambil menggunakan kamera suhu inframerah (FLIR E5-XT) dengan akurasi suhu $\pm 2^\circ\text{C}$, resolusi kamera 160 X 120 piksel, dan sensitifitas termal $< 0,10^\circ\text{C}$. Kamera dipasang pada kotak dengan ketinggian kurang lebih 30 cm dari sampel. Jarak yang digunakan harus konsisten untuk mendapatkan hasil yang representatif. Cara penggunaan kamera FLIR E5-XT dimulai dengan memasang baterai. Kemudian ditekan tombol on hingga alat menampilkan FLIR pada layar. Kabel USB digunakan untuk menghubungkan kamera termal dengan komputer. Komputer yang telah terpasang aplikasi FLIR Tools akan mendeteksi kamera termal dan menampilkan gambar sampel yang diletakkan pada kotak

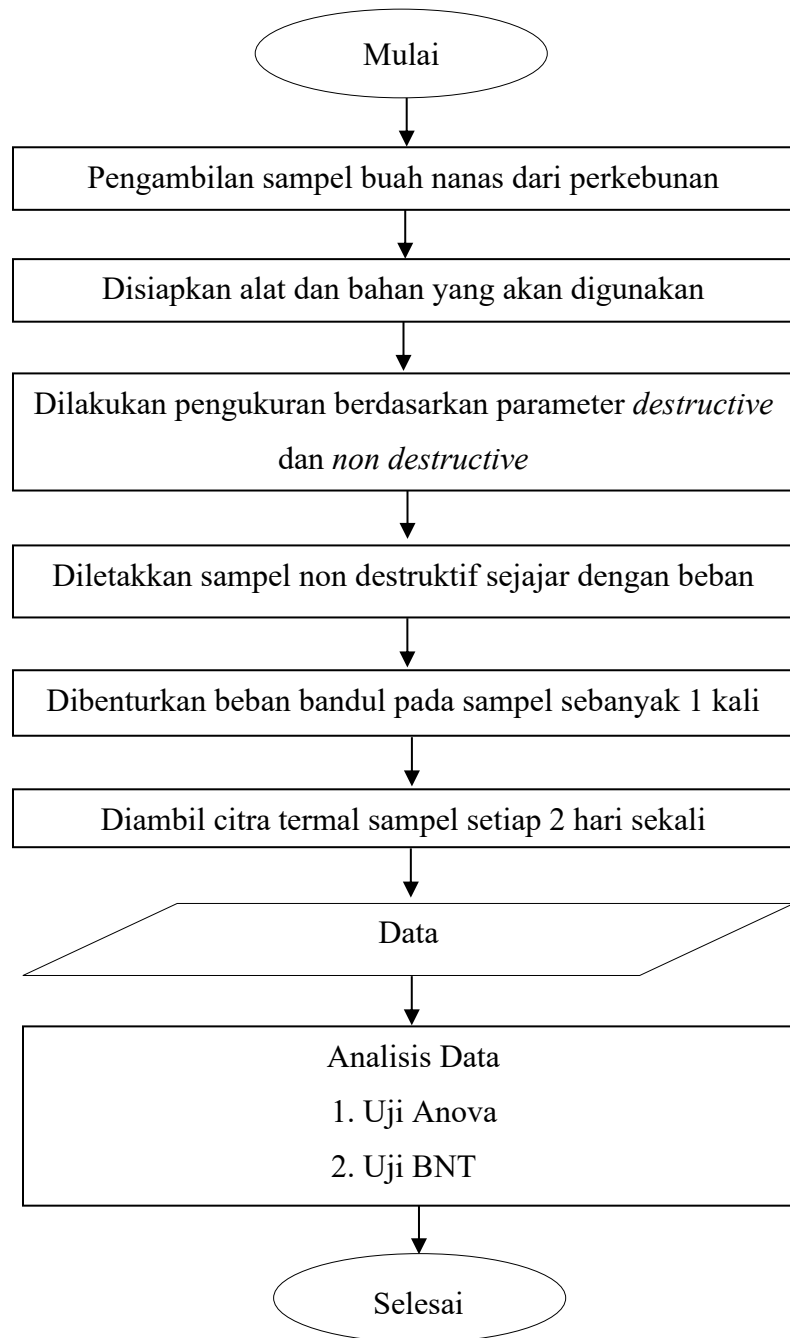
pengambilan citra. Komputer harus terhubung dengan internet agar dapat menampilkan gambar sampel secara langsung. Pada aplikasi FLIR Tools terdapat menu yang digunakan untuk mengambil gambar. Setelah gambar diambil kemudian disimpan pada komputer dengan file kode tertentu agar mudah dalam menganalisisnya. Analisis citra termal dilakukan dengan menggunakan aplikasi Matlab R2017b. Hasil analisis tersebut berupa suhu terendah, suhu tertinggi, dan suhu yang paling sering muncul pada sampel. Hasil analisis digambarkan dalam bentuk grafik.



Gambar 11. Peralatan Pengambilan Citra Termal

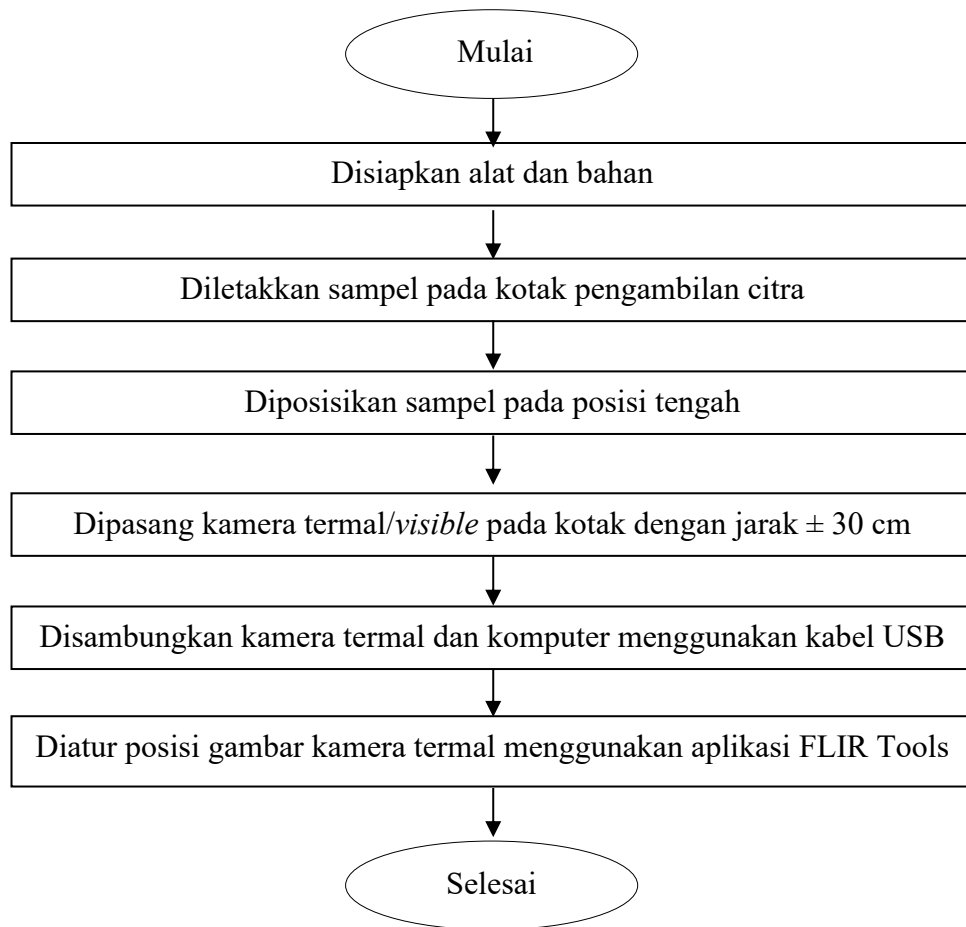
3.4 Diagram Alir

Diagram alir pada penelitian ini adalah sebagai berikut.



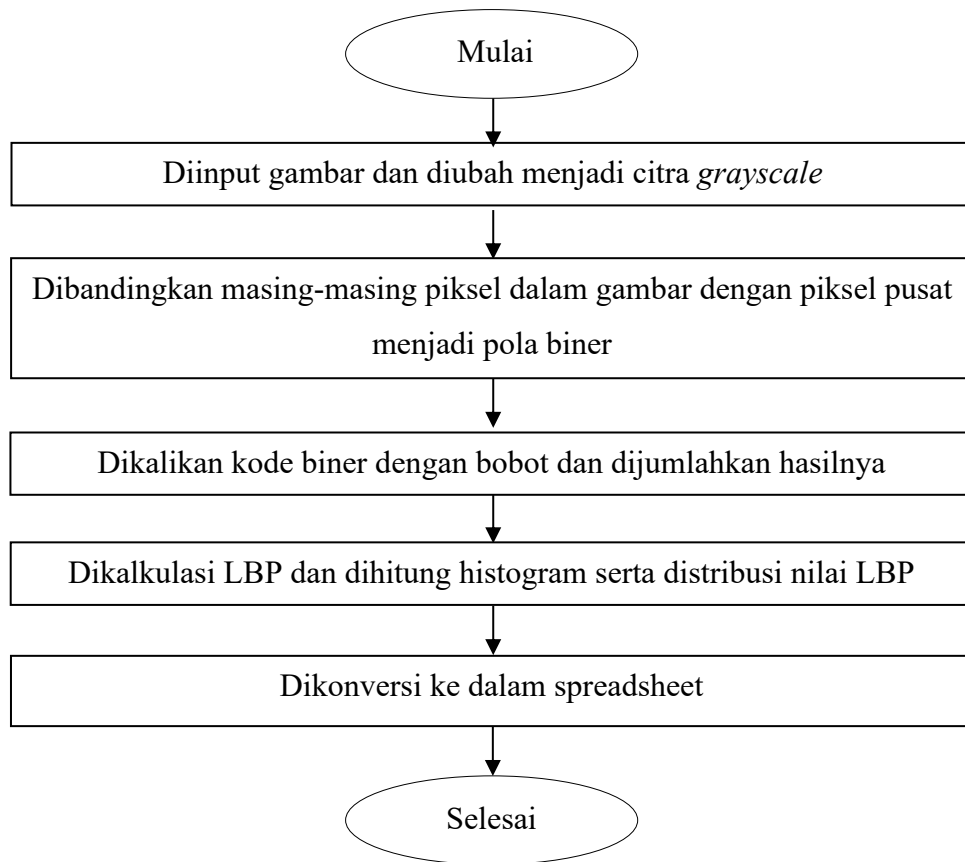
Gambar 12. Diagram Alir Penelitian

Diagram alir proses pengambilan gambar citra termal dan citra *visible* yaitu sebagai berikut.



Gambar 13. Diagram Alir Pengambilan Citra Termal dan Citra *Visible*

Diagram alir proses Analisis Local Binnary Pattern (LBP) yaitu sebagai berikut.



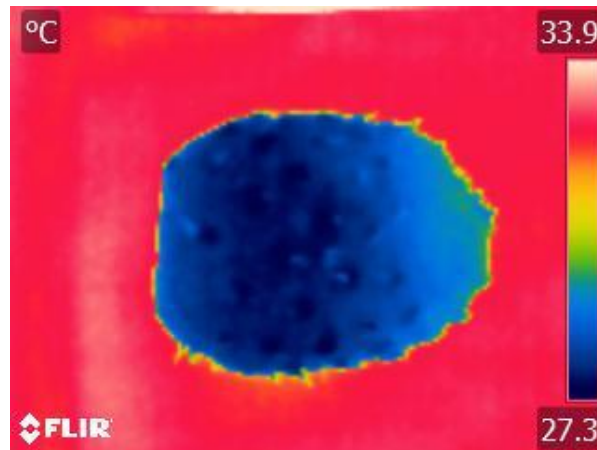
Gambar 14. Diagram Alir Analisis LBP

3.5 Parameter Penelitian

3.5.1 Suhu

Suhu buah nanas pada penelitian ini diukur dengan menggunakan *thermal image camera* (FLIR E5-XT) dalam bentuk foto. Kamera termal ini bekerja menggunakan gelombang inframerah yang dapat menangkap radiasi panas yang dikeluarkan oleh buah nanas. Pengambilan gambar dilakukan sebanyak 2 kali dalam interval waktu 1 menit. Pengambilan gambar sampel dilakukan setiap 2 hari sebanyak 5 kali. Bagian buah nanas yang diambil gambarnya adalah bagian yang telah mendapat benturan beban ± 1 kg. Hal ini untuk mengetahui perubahan suhu yang terjadi pada bagian buah nanas yang telah mendapatkan benturan.

Pengolahan citra termal diawali dengan memotret sampel dengan menggunakan kamera thermal yaitu FLIR E5-XT yang disambungkan pada laptop menggunakan USB sehingga didapatkan gambar citra termal seperti terlihat pada Gambar 15. Setelah diperoleh foto tersebut, kemudian diolah menggunakan aplikasi Matlab untuk memperoleh nilai rerata suhu pada bagian nanas yang mengalami benturan.



Gambar 15. Hasil Pengambilan Gambar Citra Termal

3.5.2 Citra Warna

Analisis pengolahan citra dilakukan dengan mengambil gambar nanas menggunakan kamera smartphone dengan spesifikasi kamera 12 MP. Nanas diletakkan di dalam kotak pengambilan citra (chamber) dengan jarak 35 cm dari kamera. Pencahayaan di dalam kotak menggunakan lampu 12 Watt. Sampel nanas diletakkan di bagian tengah kotak dalam keadaan diam dan difoto. Hasil foto kemudian diolah dengan menggunakan aplikasi Matlab sehingga diperoleh nilai RGB dan HSV pada setiap sampel yang diteliti.

Di dalam aplikasi Matlab, sebelum memperoleh nilai RGB maupun HSV, dilakukan *cropping* pada foto sampel yang ingin diketahui nilainya. Setelah proses tersebut akan didapatkan hasil segmentasi foto buah nanas seperti yang terlihat dalam Gambar 16. Setelah proses segmentasi selesai, program juga akan menampilkan nilai intensitas RGB dan nilai HSV. Nilai tersebut ditampilkan dalam bentuk histogram dan terekam dalam bentuk file Excel.



Gambar 16. Segmentasi Sampel Nanas

3.5.3 Kadar Air

Pengukuran kadar air pada setiap sampel buah nanas dalam penelitian ini dilakukan sebanyak dua kali, yakni pada awal dan akhir masa penelitian. Pada tahap awal penelitian, sebanyak 9 sampel diukur kadar airnya untuk mewakili keseluruhan populasi sampel. Sementara itu, pada akhir masa penyimpanan, jumlah sampel yang diukur yaitu sebanyak 36 sampel. Proses pengukuran kadar air dilakukan melalui metode pengeringan. Masing-masing sampel buah nanas ditimbang terlebih dahulu, kemudian dikeringkan menggunakan oven selama 24 jam. Setelah proses pengeringan selesai dan sampel dianggap telah mencapai kondisi kering sempurna, sampel kemudian ditimbang kembali. Selisih antara berat awal dan berat akhir setelah pengeringan digunakan sebagai dasar untuk menghitung kadar air yang terkandung dalam buah nanas.

Kadar air di dalam buah sangat berpengaruh terhadap bobot atau berat buah. Buah nanas sendiri merupakan buah dengan kandungan air yang melimpah. Di dalam 100 gram buah nanas ada sekitar 84,97% air (Barus, 2008). Di dalam penelitian ini akan dipelajari mengenai kadar air yang terdapat di dalam buah selama proses penyimpanan. Kadar air dihitung dengan rumus basis basah.

$$Ka = \frac{Ba}{Ba+Bk} \times 100\% \dots\dots\dots(1)$$

Keterangan:

Ka : Kadar air basis basah (%)

Ba : Bobot air dalam bahan (g)

Bk : Bobot bahan kering mutlak (g)

3.5.4 Susut Bobot dan Diameter

Susut bobot adalah suatu kondisi yang disebabkan oleh proses respirasi dan transpirasi pada buah pascapanen sebagai bagian dari proses biologis, di mana oksigen diserap untuk membakar bahan organik di dalam buah untuk menghasilkan energi. Hasil pembakaran energi tersebut yang kemudian diikuti dengan pelepasan sisa hasil pembakaran berupa gas karbon dioksida dan air yang mengalami penguapan (Fauzan & Budirokhman, 2025). Analisis bobot diawali dengan melakukan penimbangan buah nanas. Penimbangan dilakukan pada hari kesatu, ketiga, kelima, ketujuh, dan kesembilan (5 hari pengamatan). Setelah dilakukan penimbangan, akan diperoleh berat awal dan berat akhir. Berdasarkan data tersebut akan diperoleh susut bobot buah nanas pada setiap waktu pengamatan. Analisis bobot buah nanas dilakukan dengan mengelompokkan buah nanas berdasarkan ukuran dan kematangan buah nanas. Buah nanas mengalami penyusutan bobot yang beragam setiap harinya. Maka dibuatlah grafik susut bobot buah nanas berdasarkan fungsi waktu. Perhitungan bobot atau susut bobot yang terjadi pada buah dapat dihitung menggunakan rumus sebagai berikut.

$$\%SB = \frac{a-b}{a} \times 100\% \dots\dots\dots(2)$$

Keterangan:

SB: Susut bobot buah (%)

a : Bobot awal buah (g)

b : Bobot akhir buah (g)

Selain mengalami susut bobot, selama penyimpanan buah nanas juga dapat mengalami penyusutan diameter. Pengukuran diameter buah nanas dilakukan dengan menggunakan jangka sorong. Jangka sorong yang digunakan memiliki ketelitian 0,01 cm. Pengukuran dilakukan pada hari kesatu, ketiga, kelima, ketujuh, dan kesembilan.

3.5.5 Analisis Data

Analisis data pada penelitian ini akan menggunakan analisis statistik. Hasil pengambilan data dari Matlab kemudian dipindahkan ke dalam komputer dengan bantuan aplikasi FLIR Tools. Aplikasi ini dapat mendeteksi citra termal yang diambil menggunakan kamera termal sehingga proses analisis dapat dilakukan. Pengambilan data dari aplikasi Matlab menggunakan program yang dapat mendeteksi sebaran suhu pada gambar. Hasil analisis ini dihasilkan suhu terendah, suhu tertinggi, dan suhu yang paling sering muncul pada sampel. Suhu-suhu tersebut dapat digambarkan menggunakan grafik melalui Microsoft Excel. Pada analisis warna, digunakan kamera *visible* yang kemudian dianalisis menggunakan aplikasi Matlab untuk memperoleh nilai RGB dan HSV pada buah nanas. Pada analisis kerusakan buah nanas, digunakan analisis menggunakan metode *Local Binary Pattern* (LBP) yang terdiri dari nilai-nilai *Entropy*, *Energy*, dan *Contrast* untuk mengetahui keragaman, keteraturan, dan sejauh mana perbedaan pola yang muncul dalam suatu citra. Rumus-rumus untuk mengetahui nilai *Entropy*, *Energy*, dan *Contrast* adalah sebagai berikut.

$$Entropy = \sum_{i=0}^{N-1} p(i) \cdot \log_2[p(i) + \epsilon] \dots\dots\dots(3)$$

$$Energy = \sum_{i=0}^{N-1} p(i)^2 \dots\dots\dots(4)$$

$$Contrast = \sum_{i=0}^{N-1} (i - \mu)^2 \cdot p(i) \dots\dots\dots(5)$$

Keterangan:

$p(i)$: Probabilitas kemunculan nilai LBP ke i

N : Jumlah nilai unil LBP

ϵ : Konstanta kecil

μ : $\sum_{i=0}^{N-1} i \cdot p(i)$

Setelah diperoleh semua data, kemudian dilakukan uji Anova untuk mengetahui ada atau tidaknya perbedaan tiap sampel buah nanas dengan masing-masing ulangan perlakuan. Jika terdapat beda nyata, kemudian dilakukan uji Beda Nyata Terkecil (BNT) untuk mengetahui secara rinci perbedaannya.

V. SIMPULAN DAN SARAN

5.1 Simpulan

Simpulan dari penelitian yang telah dilakukan yaitu sebagai berikut.

1. Diperoleh data yang menyatakan bahwa semakin tinggi tingkat kematangan buah nanas maka nilai susut bobot dan penurunan diameter buah nanas semakin tinggi. Nilai *Ired* dan *Igreen* semakin tinggi terjadi pada buah nanas dengan kematangan lebih tinggi, sedangkan nilai *Iblue* cenderung lebih tinggi pada tingkat kematangan yang lebih rendah. Pada nilai *Hue* cenderung meningkat seiring dengan tingginya tingkat kematangan, begitu pula dengan nilai *Value*, namun nilai *Saturation* fluktuatif selama waktu penyimpanan. Pada nilai intensitas suhu, suhu yang rendah mengindikasikan terjadinya kerusakan pada buah nanas.
2. Metode citra termal dan citra *visible* dapat digunakan sebagai pendeteksi nilai kerusakan yang terjadi pada buah nanas berdasarkan nilai suhu, RGB, dan HSV yang diperoleh pada penelitian ini.

5.2 Saran

Saran dari penelitian yang telah dilakukan yaitu sebagai berikut.

1. Pada penelitian ini digunakan suhu ruang yaitu 25°C, untuk penelitian selanjutnya dapat digunakan suhu yang berbeda, misalnya suhu yang lebih rendah seperti suhu yang digunakan untuk penyimpanan buah nanas di gudang.
2. Pada penelitian ini hanya digunakan 36 sampel untuk percobaan, untuk penelitian selanjutnya dapat digunakan lebih banyak sampel agar percobaan dapat menghasilkan data yang lebih akurat.

DAFTAR PUSTAKA

- Abedi, G., & Ahmadi, E. (2013). Bruises Susceptibilities of Golden Delicious Apples as Affected by Mechanical Impact and Fruit Properties. *Journal of Agricultural Science*, 152, 439–447.
<https://doi.org/10.1017/S0021859613000038>
- Aman, W. P., Tethool, E. F., Sarungallo, Z. L., & Hutabalian, O. (2019). *Penentuan Beberapa Karakteristik Fisik dan Mekanik Buah Merah (Pandanus Conoideus L.) Sebagai Dasar Perancangan Peralatan Pengolahan Minyak Buah Merah*. *Agritechnology*, 2(1), 32–40.
<https://doi.org/10.51310/agritechnology.v2i1.26>
- Ardi, J., Akrinisa, M., & Arpah, M. (2019). Keragaman Morfologi Tanaman Nanas (*Ananas Comosus* (L) Merr) Di Kabupaten Indragiri Hilir. *Jurnal Agro Indragiri*, 4(1), 34–38.
- Arsatria, T., Munadi, K., & Arnia, F. (2020). Pengolahan Citra Termal untuk Identifikasi Region of Interest (ROI) dan Deteksi Kesegaran Ikan Nila (*Oreochromis niloticus*). *Jurnal Online Teknik Elektro*, 5(3), 5.
- Atina. (2019). Aplikasi Matlab Pada Teknologi Pencitraan Medis. *JUPITER: Jurnal Penelitian Fisika dan Terapannya*, 1(1), 28–34.
<https://doi.org/10.31851/jupiter.vlil.3123>.
- Badan Pusat Statistik. (2021). *Produksi Tanaman Buah-Buahan 2020*. Badan Pusat Statistik. <https://www.bps.go.id/indicator/55/62/1/produksi-tanaman-buah-buahan.html>.
- Barus, A. (2008). *Agroteknologi Tanaman Buah-Buahan*. USU-Press.

- Barus, A. (2011). *Penurunan Mutu Buah Nanas (Ananas Comosus (L.) Merr.) Dalam Kemasan Setelah Transportasi Darat*. Institut Pertanian Bogor.
- Chamundeswari, G., Varma, G. P., & Satyanarayana, C. (2012). An Experimental Analysis of K-means Using Matlab. *International Journal of Engineering Research*, 1(5), 5.
- Fahrurozi, A., Nugraha, N., & Riminarsih, D. (2023). *Sistem Klasifikasi Kayu Berbasis Citra Tekstur Menggunakan Machine Learning*. Uwais Inspirasi Indonesia.
- Fauzan, F. & Budirokhman, D. (2025). Maturity Level on the Quality of Pineapple (Ananas Comosus L. Merr). Smooth Cayenne Variety During Storage Periode. *Journal Of Agricultural Science and Agriculture Engineering*, 8 (2), 160–169.
- Hadiati, S., & Indriyani, N. L. P. (2008). *Petunjuk Teknis Budidaya Nenas (Vol. 4)*. Balai Penelitian Tanaman Buah Tropika.
- Hairi, M. (2010). *Pengaruh Umur Buah Nanas Dan Konsentrasi Ekstrak Kasar Enzim Bromelin Pada Pembuatan Virgin Coconut Oil Dari Buah Kelapa Typical (Cocos nucifera L.)*. Jurusan Kimia Fakultas Sains Dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
- Himmah, E.F., Widyaningsih, M., Maysaroh. (2020). Identifikasi Kematangan Buah Kelapa Sawit Berdasarkan Warna RGB dan HSV Menggunakan Metode K-Means Clustering. *Jurnal Sains dan Informatika*, 6(2), 193-202.
- Indriyani, L., Susanto, W., & Riana, D. (2017). Teknik Pengolahan Citra Menggunakan Aplikasi Matlab Pada Pengukuran Diameter Buah Jeruk Keprok. *IJCIT (Indonesian Journal on Computer and Information Technology)*, 2(1), 46–52.
- Ishimwe, R., Abutaleb, K., & Ahmed, F. (2014). Applications of Thermal Imaging in Agriculture—A Review. *Advances in Remote Sensing*, 3, 128–140.
- Lubis, E. R. (2020). *Hujan Rezeki Budi Daya Nanas*. Bhuana Ilmu Populer. Jakarta.

- Lustini, A. (2019). Klasifikasi Tingkat Kematangan Buah Nanas Menggunakan Ruang Warna red-green-blue dan hue-saturation-intensity. *Jurnal Digital Teknologi Informasi*, 2(1), 1-8.
- Lospiani, N. P. N., Utama, I. M. S., & Pudja, I. A. R. P. (2017). Pengaruh Lama Waktu Cekaman Anaerobik dan Konsentrasi Emulsi Lilin Lebah Sebagai Bahan Pelapis Terhadap Mutu dan Masa Simpan Buah Tomat. *Jurnal Beta (Biosistem dan Teknik Pertanian)*, 5(2), 9–19.
- Muchtadi, T.R. & Sugiyono. (1992). *Ilmu Pengetahuan Bahan Pangan*. Alfabeta. Bandung.
- Nurhaq, S. (2024). *Pengaruh Ukuran dan Tingkat Translusensi Buah Nanas (Ananas comosus L.) MD2 Dengan Crown Selama Penyimpanan*. Skripsi. Universitas Lampung.
- Pathmanaban, P., Gnanavel, B.K., Anandan, S.S., Sathiyamurthy, S. (2023). Advancing post-harvest fruit handling through AI-based thermal imaging: applications, challenges, and future trends—A Review. *Discover Food*. <https://doi.org/10.1007/s44187-023-00068-2>
- Pramudiya, R., Asyraq, C., Kadafi, A., & Sardika, R.P. 2024. Analisis Gambar Menggunakan Grayscale dan HSV (Hue, Saturation, Value). *Jurnal Sistem Informasi, Teknologi Informasi dan Komputer*, 14 (3), 150-233.
- Perdana, L. P. R., Djoyowasito, G., Musyarofatunnisa, E., & Sandra, S. (2019). Pengaruh Jenis Kemasan Dan Frekuensi Penggetaran Terhadap Kerusakan Mekanis Buah Apel Manalagi (*Malus sylvestris*). *Jurnal Ilmiah Rekayasa Pertanian dan Biosistem*, 7(1), 8–16.
- Putra, A. (2015). *Kajian Karakteristik Perbandingan Mutu Buah Nanas Terolah Minimal*. Diploma Tesis. Universitas Andalas. Padang.
- Radimas, M.N. (2023). *E-Modul Fitokimia Zat Pewarna Alami (Berbasis Etno Sistem)*. FKIP Universitas Lambung Mangkurat. Banjarmasin.
- Ridwan, A.I.M. (2024). *Decision Support System Untuk Menentukan Tingkat Kerusakan Bangunan Menggunakan Metode Pca-Clustering*. Skripsi. Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim. Malang.

- Rivan, M.E.A. & Davella, S. 2020. Pengenalan Iris Menggunakan Fitur Local Binary Pattern Dan Rbf Classifier. *Jurnal SIMETRIS*, 11(1), 97-106.
- Sabari, S.D., Suyanti, Sunarmani. (2006). Tingkat Kematangan Panen Buah Nanas Sampit untuk Konsumsi Segar dan Selai. *J. Hort*, 16(3), 258–266.
- Saifullah, S., Sunardi, & Yudhana. (2016). Analisis Perbandingan Pengolahan Citra Asli Dan Hasil Cropping Untuk Identifikasi Telur. *Jurnal Teknik Informatika Dan Sistem Informasi*, 2(3), 341–350.
- Santoso, K., Yusuf, F., Setiyono, A., Seminar, K., Arif, R., & Suprayogi, A. (2020). Pola Citra Suhu Permukaan pada Sapi Perah yang Diukur Menggunakan Kamera Termal Inframerah. *Prosiding Seminar Nasional Teknologi Peternakan Dan Veteriner Virtual*, 249–259.
<http://dx.doi.org/10.14334/Pros.Semnas.TPV-2020-p.249-259>
- Sari, M., & Simbolon, J. (2020). Prediksi Laju Respirasi Terong Dengan Persamaan Arrhenius. *Jurnal Agroteknosains*, 4(2), 21–27.
- Setiasih, I. S., Hanidah, I. I., Mardawati, E., Cahyana, Y., Sukarminah, E., Djali, M., Rialita, T., & Andoyo, R. (2020). Implementasi Proses Ozonasi Pada Cabe Merah di Sub Terminal Agribisnis Kabupaten Ciamis. *Jurnal Aplikasi Ipteks untuk Masyarakat*, 9(3), 194–198.
- Wigustina, E. (2023). *Pengaruh Umur Panen Buah Nanas MD2 Terhadap Kualitas Buah Selama Penyimpanan*. Skripsi Sarjanan Universitas Lampung.