

**MODEL KLASIFIKASI TINGKAT KEMATANGAN BUAH JAMBU
KRISTAL (*Psidium guajava* L.) MENGGUNAKAN JARINGAN SARAF
TIRUAN**

SKRIPSI

Oleh

Rara Maharani Bintang Lampung

2114071028



**FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2025**

**MODEL KLASIFIKASI TINGKAT KEMATANGAN BUAH JAMBU
KRISTAL (*Psidium guajava* L.) MENGGUNAKAN JARINGAN SARAF
TIRUAN**

Oleh

Rara Maharani Bintang Lampung

Skripsi

**Sebagai salah satu syarat mencapai gelar
SARJANA TEKNIK**

Pada

**Jurusan Teknik Pertanian
Fakultas Pertanian Universitas Lampung**



**FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2025**

ABSTRACT

Classification Model of Crystal Guava (*Psidium guajava* L.) Ripeness Level Using Artificial Neural Networks

By

RARA MAHARANI BINTANG LAMPUNG

The conventional method of determining the ripeness level of crystal guava still relies on visual observation, which is subjective, inconsistent, and less accurate. This study aims to develop a non-destructive classification model for determining crystal guava ripeness using a combination of visible images and thermal images analyzed with an Artificial Neural Network (ANN). The input parameters include skin color (Hue, Saturation, Value), fruit temperature, size, weight, firmness, and total soluble solids (TSS). The ANN architecture applied is 4-4-4-1 with tansig–logsig–tansig activation functions and trained using the backpropagation method. The model was trained with 70% of the data and tested with the remaining 30%. The results showed that the ANN model could classify the ripeness levels of crystal guava with high accuracy. HSV parameters and temperature were found to be effective in objectively distinguishing the ripeness levels. This approach is expected to improve the accuracy of fruit sorting and enhance post-harvest efficiency in the horticultural industry.

Keywords: *Crystal Guava, Artificial Neural Network, Ripeness Level, Thermal Image, Visible Image, HSV.*

ABSTRAK

MODEL KLASIFIKASI TINGKAT KEMATANGAN BUAH JAMBU KRISTAL (*Psidium guajava* L.) MENGGUNAKAN JARINGAN SARAF TIRUAN

By

RARA MAHARANI BINTANG LAMPUNG

Penentuan tingkat kematangan buah jambu kristal secara konvensional masih bergantung pada pengamatan visual dan bersifat subjektif, sehingga kurang akurat dan efisien. Penelitian ini bertujuan mengembangkan model klasifikasi tingkat kematangan buah jambu kristal secara non-destruktif menggunakan kombinasi teknologi *visible images* dan *thermal images* dengan pendekatan Jaringan Saraf Tiruan (JST). Data yang digunakan meliputi parameter warna kulit (*Hue, Saturation, Value*), suhu buah, ukuran, berat, kekerasan dan total padatan terlarut (TPT). Arsitektur JST yang digunakan adalah 4-4-4-1 dengan fungsi aktivasi *tansig–logsig–tansig* dan metode pelatihan *backpropagation*. Model dilatih dengan 70% data dan diuji dengan 30% data. Hasil penelitian menunjukkan bahwa model JST mampu mengklasifikasikan tingkat kematangan buah jambu kristal dengan akurasi tinggi. Parameter HSV dan suhu terbukti efektif dalam membedakan tingkat kematangan secara objektif. Pendekatan ini diharapkan dapat meningkatkan akurasi proses sortasi buah dan efisiensi penanganan pascapanen di industri hortikultura.

Kata kunci: Jambu Kristal, Jaringan Saraf Tiruan, Kematangan Buah, *Thermal Images*, *Visible Images*, HSV.

Judul Skripsi

: **MODEL KLASIFIKASI TINGKAT
KEMATANGAN BUAH JAMBU KRISTAL
(*Psidium guajava* L.) MENGGUNAKAN
JARINGAN SARAF TIRUAN**

Nama Mahasiswa

: **Rara Maharani Bintang Lampung**

Nomor Pokok Mahasiswa

: 2114071028

Jurusan

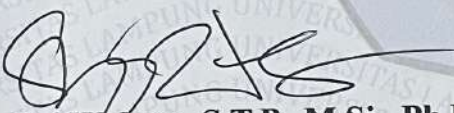
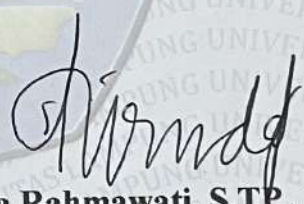
: Teknik Pertanian

Fakultas

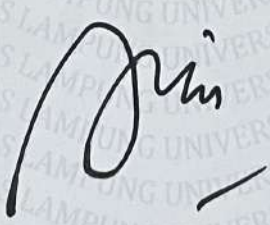
: Pertanian

MENYETUJUI

1. Komisi Pembimbing

 
Ir. Sri Waluyo, S.T.P., M.Si., Ph.D., IPU. **Winda Rahmawati, S.T.P., M.Sc., M.Si.**
NIP. 197203111997031002 NIP. 198905202015042001

2. Ketua Jurusan Teknik Pertanian


Prof. Dr. Ir. Warji, S.T.P., M.Si., IPM.
NIP. 197801022003121001

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

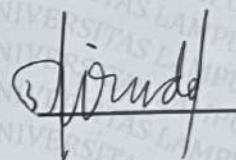
Ketua

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



Sekretaris

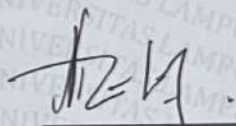
: Winda Rahmawati, S.TP., M.Sc., M.Si.



Penguji

Bukan Pembimbing

: Dwi Dian Novita, S.T.P., M.Si.

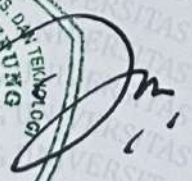


2. Dekan Fakultas Pertanian



Nr. Ir. Kuswanto Futas Hidayat, M.P.

NIP. 196411181989021002



Tanggal Lulus Ujian Skripsi: 6 November 2025

PERNYATAAN KEASLIAN HASIL KARYA

Saya adalah **Rara Maharani Bintang Lampung** NPM **2114071028**. Dengan ini menyatakan bahwa apa yang tertulis dalam karya ilmiah ini adalah 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.Sc., M.Si.** berdasarkan pada pengetahuan dan informasi yang telah saya dapatkan. Karya ilmiah ini berisi material yang dibuat sendiri dan hasil rujukan beberapa sumber lain (buku, jurnal, dll) yang telah dipublikasikan sebelumnya atau dengan kata lain bukanlah hasil dari plagiat karya orang lain.

Demikianlah pernyataan ini saya buat dan dapat dipertanggungjawabkan. Apabila dikemudian hari terdapat kecurangan dalam karya ini, maka saya siap mempertanggungjawabkannya.

Bandar Lampung, 15 September 2025
Yang membuat pernyataan



(Rara Maharani Bintang Lampung)
NPM. 2114071028

RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Metro, Provinsi Lampung pada hari Kamis tanggal 25 September 2003. Penulis merupakan anak pertama dari dua bersaudara, putri dari Bapak Muhammad Ma'ruf dan Ibu Endang Puji Rahayu. Penulis menyelesaikan Pendidikan di Taman Kanak-kanak (TK) Wahdatul Ummah pada tahun 2008, Sekolah Dasar (SD) Negeri 1 Metro pada tahun 2014, Sekolah Menengah Pertama (SMP) Negeri 2 Metro 2019, dan Sekolah Menengah Atas (SMA) Negeri 1 Metro 2021. Penulis terdaftar sebagai Mahasiswa S1 Jurusan Teknik Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung pada tahun 2021 melalui jalur Seleksi Nasional Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SBMPTN).

Pada bulan Januari hingga Februari 2024, penulis telah melaksanakan Kuliah Kerja Nyata (KKN) Periode 1 Tahun 2024 selama 40 hari di Desa Penawar Baru, Kecamatan Gedung Aji, Kabupaten Tulang Bawang, Provinsi Lampung. Selain itu pada tanggal 1 Juli sampai 9 Agustus 2024, penulis telah melaksanakan Praktik Umum (PU) di PT Great Giant Pineapple Lampung Tengah dengan Judul Mempelajari Anasir Agroklimat yang Memengaruhi Produktivitas Tanaman Pisang Cavendish di Plantation Group 3 PT Great Giant Pineapple.

PERSEMBAHAN

Segala Puji bagi Allah SWT atas segala nikmat, kesempatan, kesehatan, kemudahan, dan kelancaran dalam setiap langkah sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini

Karya ini penulis persembahkan untuk:

Diri Sendiri

Terima kasih telah berjuang meski badai selalu menerpa. Skripsi ini adalah bentuk perjuanganmu yang paling nyata, walaupun menghabiskan emosi yang tidak sedikit tentunya terbayar penuh dengan membanggakan orang-orang di sekitarmu. Terima kasih selalu bertahan di tengah hiruk pikuknya dunia yang tidak pernah tidur ini, melawan duka dan menyambut suka dengan penuh antusias dan hikmat sampai bisa memaknai arti skripsi ini untuk diri sendiri.

Untuk Bapak Muhammad Ma'ruf dan Ibu Endang Puji Rahayu

Dengan segenap cinta dan rasa syukur, karya ini kupersembahkan untuk Papa dan Mama tercinta yang selalu menjadi sumber kekuatan, doa dan semangat dalam setiap langkahku. Terima kasih atas segala cinta, pengorbanan, dan dukungan tanpa henti yang kalian berikan sepanjang hidupku.

Keluargaku

Persembahan ini kupersembahkan untuk adikku tersayang yang selalu menjadi penyemangat yang menjadikan saya panutan sebagai seorang kakak dalam mengemban pendidikan. Terima kasih juga untuk keluarga besar atas doa, cinta dan dukungan tanpa henti.

SANWACANA

Puji dan syukur penulis haturkan ke hadirat Allah SWT, karena berkat rahmat, taufik dan hidayah-Nya, penulis dapat menyelesaikan skripsi ini. Sholawat serta salam selalu tercurahkan kepada suri tauladan seluruh umat Islam, Nabi Muhammad SAW, yang senantiasa kita nantikan syafaatnya di yaumul kiyamah, Aamiin.

Skripsi yang berjudul “**Model Klasifikasi Tingkat Kematangan Buah Jambu Kristal (*Psidium guajava* L.) Menggunakan Jaringan Saraf Tiruan**” ini disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik (S.T.) di Jurusan Teknik Pertanian, Universitas Lampung.

Penulis ingin menyampaikan penghargaan yang sebesar-besarnya kepada:

1. Prof. Dr. Ir. Lusmeilia Afriani, D.E.A., I.P.M., selaku Rektor Universitas Lampung;
2. Dr. Ir. Kuswanta Futas Hidayat, M.P., selaku Dekan Fakultas Pertanian, Universitas Lampung;
3. Prof. Dr. Ir. Warji, S.TP., M.Si., IPM., selaku Ketua Jurusan Teknik Pertanian Fakultas Pertanian Universitas Lampung dan selaku dosen penguji yang telah memberikan saran dan masukan untuk menyempurnakan skripsi ini;
4. Ir. Sri Waluyo, S.T.P., M.Si., Ph.D., IPU., selaku pembimbing utama dan dosen Pembimbing Akademik (PA) selama menempuh Pendidikan di Jurusan Teknik Pertanian yang telah meluangkan waktu memberikan bimbingan, arahan, nasehat, kritik, dan saran serta motivasi selama proses penyusunan skripsi;
5. Winda Rahmawati, S.TP., M.Sc., M.Si., selaku dosen pembimbing dua yang telah memberikan bimbingan, kritik, dan saran selama proses penyusunan skripsi;

6. Seluruh dosen Program Studi S1 Teknik Pertanian atas semua ilmu dan didikannya dalam masa perkuliahan;
 7. Terima kasih kepada Bapak Muhammad Ma'ruf dan Ibu Endang Puji Rahayu, yang telah memberi dukungan mulai dari semangat, motivasi hingga finansial yang membuat saya menyelesaikan skripsi ini dengan baik;
 8. Terima kasih kepada Amanda Amelia Putri, Pingkan Najua Demato, Nurvita Anggraini dan Reni Fitriani Puspita, yang telah membersamai penulis sedari semester satu sampai dengan semester sembilan ini. Terima kasih atas suka, duka, cerita seru, pengalaman menyenangkan dan semangat yang selalu menyertai penulis semasa menempuh perkuliahan;
 9. Terima kasih kepada Revina Azzahra, Sepbrina Larasati dan Dede Maesin yang telah membersamai selama berproses di UKPM Teknokra Unila semasa kuliah dengan memberi semangat dan kekuatan untuk menyelesaikan skripsi peneliti;
 10. Terima kasih kepada Mas Danny, Mas Ma'ruf, Mba Putri, Mas Agus, Om Ju, Mas Deni, Mas Apip, Mas Wisnu, Mas Risky dan Mba Reki yang sudah membantu serta membersamai saya selama penelitian saya berlangsung;
 11. Seluruh staff Jurusan Teknik Pertanian atas semua bantuan dalam hal administrasi;
 12. Keluarga Teknik Pertanian 2021 yang telah membantu penulis selama masa perkuliahan, hingga penyusunan skripsi ini;
 13. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu yang telah memberikan bantuan dalam menyelesaikan penelitian dan skripsi ini;
- Penulis menyadari bahwa dalam penulisan skripsi ini belum sempurna, akhir kata penulis berharap semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi penulis dan pembaca.

Bandar Lampung, 28 November 2025

Penulis,

Rara Maharani Bintang Lampung

DAFTAR ISI

	Halaman
DAFTAR TABEL	i
DAFTAR GAMBAR	iii
I. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Manfaat Penelitian	3
1.5 Hipotesis	3
II. TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Buah Jambu Kristal	4
2.1.1 Struktur Anatomi	6
2.2 Kualitas Buah Jambu Kristal	7
2.2.1 Kematangan	7
2.2.2 Mutu Internal Buah Jambu Kristal	7
2.3 Metode Prediksi Mutu Internal Buah Jambu Kristal	8
2.3.1 Metode <i>Thermal Images</i>	9
2.3.2 Metode Pengolahan Citra	9
2.4 Jaringan Saraf Tiruan	9
2.4.1 Arsitektur Jaringan Saraf Tiruan	11
2.4.2 Fungsi Aktivasi Jaringan Saraf Tiruan	12
2.4.3 RMSE (<i>Root Mean Square Error</i>)	14
2.4.4 R Square	15
III. METODE PENELITIAN	16
3.1 Waktu dan Tempat	16
3.2 Alat dan Bahan	16
3.3 Rancangan Penelitian	16

3.4 Prosedur Penelitian.....	17
3.5 Diagram Alir.....	20
3.6 Parameter Penelitian.....	24
3.6.1 Pengambilan Citra (<i>Images Acquisition</i>).....	24
3.6.2 Suhu Buah.....	25
3.6.3. Kekerasan Buah	26
3.6.4 Total Padatan Terlarut	26
3.7 Analisis Parameter Non-Destruktif vs Destruktif.....	27
3.8 Analisis Data	28
3.8.1 Analisis Statistik	28
3.8.2 Grafik Boxplot	29
3.8.3 Pengembangan Model Prediksi	31
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN.....	32
4.1 Suhu Buah (<i>Thermal Images</i>).....	32
4.2 Warna Kulit Buah (<i>Visible Images</i>)	33
4.2.1 <i>Hue</i> (Warna Dominan).....	35
4.2.2 <i>Saturation</i> (Kejenuhan Warna)	36
4.2.3 <i>Value</i> (Kecerahan Warna)	37
4.3 Total Padatan Terlarut.....	38
4.4 Kekerasan Daging Buah	40
4.5 Vitamin C Buah Jambu Kristal.....	42
4.6 Analisis Parameter Non-Destruktif vs Destruktif.....	45
4.6.1 HSV dengan Kekerasan	45
4.6.2 HSV dengan Total Padatan Terlarut.....	48
4.6.3 HSV dengan Vitamin C	51
4.6.4 Suhu dengan Kekerasan.....	55
4.6.5 Suhu dengan Total Padatan Terlarut	56
4.6.6 Suhu dengan Vitamin C	57
4.7 Analisis Parameter Destruktif.....	58
4.7.1 Vitamin C dengan Kekerasan.....	58
4.7.2 Vitamin C dengan Total Padatan Terlarut	60
4.8 Analisis Jaringan Saraf Tiruan.....	61

4.8.1 Perancangan Arsitektur Jaringan Saraf Tiruan.....	61
<u>4.8.2 Pelatihan dan Pengujian Model JST</u>	<u>62</u>
4.8.3 Model Jaringan Saraf Tiruan.....	64
4.8.4 Evaluasi Kinerja Model JST	65
4.8.5 Validasi Model JST	68
V. KESIMPULAN DAN SARAN.....	78
5.1 Kesimpulan.....	78
5.2 Saran	78
DAFTAR PUSTAKA.....	79
LAMPIRAN.....	88

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
Teks	
1. Rancangan Percobaan	16
2. Hasil ANOVA Pengaruh Perbedaan Tingkat Kematangan Terhadap Suhu Buah	33
3. Hasil ANOVA Pengaruh Perbedaan Tingkat Kematangan Terhadap <i>Hue</i>	36
4. Hasil ANOVA Pengaruh Perbedaan Tingkat Kematangan Terhadap <i>Saturation</i>	37
5. Hasil ANOVA Pengaruh Perbedaan Tingkat Kematangan Terhadap <i>Value</i>	38
6. Hasil ANOVA Pengaruh Perbedaan Tingkat Kematangan Terhadap Total Padatan Terlarut Buah	39
7. Hasil Uji Lanjut Total Padatan Terlarut	40
8. Hasil ANOVA Pengaruh Perbedaan Tingkat Kematangan Terhadap Kekerasan Buah.....	41
9. Hasil Uji Lanjut Kekerasan Buah	42
10. Hasil ANOVA Pengaruh Perbedaan Tingkat Kematangan Terhadap Vitamin C	44
11. Hasil Uji Lanjut Vitamin C	45
12. Koefisien Determinasi Setiap Parameter	58
13. Hasil Pelatihan dan Pengujian Model JST HSV dengan T	63
14. Pengujian Model JST	68
15. Akurasi Model Klasifikasi.....	78
16. Nilai Suhu Buah Jambu Kristal.....	89
17. Nilai Ukuran Buah Jambu Kristal.....	89

18. Nilai Berat Buah Jambu Kristal	89
19. Nilai Total Padatan Terlarut Buah Jambu Kristal.....	89
20. Nilai Kekerasan Buah Jambu Kristal	90
21. Nilai <i>Hue</i> Buah Jambu Kristal	90
22. Nilai <i>Saturation</i> Buah Jambu Kristal	90
23. Nilai <i>Value</i> Jambu Kristal	90
24. Bobot dan Bias <i>Input - Hidden Layer 1</i> pada JST HSV dan T	91
25. Bobot dan Bias <i>Hidden Layer 1 - Hidden Layer 2</i> pada JST HSV dan T.....	91
26. Bobot dan Bias <i>Hidden Layer 2 - Output</i> pada JST HSV dan T.....	91

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
Teks	
1. Buah jambu kristal	5
2. Tingkat kematangan buah jambu kristal berdasarkan warna kulit	7
3. <i>Model neuron</i>	10
4. <i>Single layer network</i>	11
5. <i>Multi layer network</i>	12
6. Fungsi sigmoid biner.....	13
7. Fungsi sigmoid bipolar.....	13
8. Fungsi linear.....	14
9. Diagram alir prosedur penelitian.....	18
10. Ilustrasi perangkat pengambilan citra digital	20
11. Diagram alir pengambilan <i>thermal images</i>	20
12. Diagram alir pengambilan <i>visible images</i>	21
13. Diagram alir simulasi model dengan JST	23
14. Boxplot.....	30
15. Model arsitektur JST	31
16. Grafik perubahan suhu buah berdasarkan tingkat kematangan buah jambu kristal.....	33
17. Grafik perubahan <i>hue</i> berdasarkan tingkat kematangan buah jambu kristal . .	35
18. Grafik perubahan <i>saturation</i> berdasarkan tingkat kematangan buah jambu kristal.....	36
19. Grafik perubahan <i>value</i> berdasarkan tingkat kematangan buah jambu kristal.....	37

20. Grafik total padatan terlarut berdasarkan tingkat kematangan buah jambu kristal	39
21. Grafik perubahan kekerasan berdasarkan tingkat kematangan buah jambu kristal	41
22. Grafik hubungan tingkat kematangan buah jambu kristal dengan kandungan vitamin C	44
23. Hubungan <i>hue</i> dengan kekerasan pada buah jambu kristal	46
24. Hubungan <i>saturation</i> dengan kekerasan pada buah jambu kristal	47
25. Hubungan <i>value</i> dengan kekerasan pada buah jambu kristal	48
26. Hubungan <i>hue</i> dengan TPT pada buah jambu kristal	49
27. Hubungan <i>saturation</i> dengan TPT pada buah jambu kristal	50
28. Hubungan <i>value</i> dengan TPT pada buah jambu kristal	51
29. Hubungan <i>hue</i> dengan vitamin C pada buah jambu kristal	52
30. Hubungan <i>saturation</i> dengan vitamin C pada buah jambu kristal	53
31. Hubungan <i>value</i> dengan vitamin C pada buah jambu kristal	54
32. Hubungan suhu buah dengan kekerasan pada jambu kristal	55
33. Hubungan suhu buah dengan TPT pada jambu kristal	56
34. Hubungan suhu buah dengan vitamin C pada buah jambu kristal	57
35. Hubungan vitamin C dengan kekerasan pada jambu kristal	59
36. Hubungan vitamin C dengan TPT pada jambu kristal	60
37. Pola hubungan tingkat kematangan antara aktual dan prediksi	66
38. Hubungan target dengan <i>ouput</i>	67

LAMPIRAN

39. Citra hasil segmentasi pada kematangan 1 (70%)	92
40. Hasil pengolahan RGB pada kematangan 1 (70%)	92
41. Hasil pengolahan HSV pada kematangan 1 (70%)	92
42. Citra hasil segmentasi pada kematangan 2 (75%)	93

43. Hasil pengolahan RGB pada kematangan 2 (75%).....	93
44. Hasil pengolahan HSV pada kematangan 2 (75%)	93
45. Citra hasil segmentasi pada kematangan 3 (78%).....	94
46. Hasil pengolahan RGB pada kematangan 3 (78%).....	94
47. Hasil pengolahan HSV pada kematangan 3 (78%)	94
48. Citra hasil segmentasi pada kematangan 4 (80%).....	95
49. Hasil pengolahan RGB pada kematangan 4 (80%).....	95
50. Hasil pengolahan HSV pada kematangan 4 (80%)	95
51. Citra hasil segmentasi pada kematangan 5 (85%).....	96
52. Hasil pengolahan RGB pada kematangan 5 (85%).....	96
53. Hasil pengolahan HSV pada kematangan 5 (85%)	96
54. Pengolahan citra <i>thermal</i> buah jambu kristal pada kematangan 1	97
55. Pengolahan citra <i>thermal</i> buah jambu kristal pada kematangan 2	97
56. Pengolahan citra <i>thermal</i> buah jambu kristal pada kematangan 3	98
57. Pengolahan citra <i>thermal</i> buah jambu kristal pada kematangan 4	98
58. Pengolahan citra <i>thermal</i> buah jambu kristal pada kematangan 5	99
59. Proses pengambilan citra <i>thermal</i>	99
60. Proses pengambilan citra <i>visible</i>	100
61. Proses pengambilan data TPT	100
62. Proses pengambilan data kekerasan buah	101

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Jambu biji kristal saat ini populer di antara buah-buahan tropis di Lampung. Tanaman yang berasal dari Brasil ini menyebar ke Thailand dan negara-negara Asia lainnya termasuk Indonesia. Provinsi Lampung merupakan salah satu sentra produksi jambu biji kristal di Indonesia, dengan produksi yang berfluktuasi dari tahun ke tahun misalnya pada tahun 2022. Menurut data BPS Provinsi Lampung mencapai produksi tertinggi menunjukkan dinamika produksi yang signifikan dalam beberapa tahun terakhir, dengan produksi yang mengalami fluktuasi dari tahun ke tahun, yaitu 173.431 ton pada 2020, menurun menjadi 114.384 ton pada 2021, meningkat menjadi 188.296 ton pada 2022, dan kembali turun menjadi 155.644 ton pada 2023 (BPS, 2024).

Jambu biji kristal memiliki kulit tipis, permukaan halus hingga kasar, serta variasi bentuk, ukuran, warna daging dan rasa yang bergantung pada varietasnya (Ulfa, dkk., 2024). Dalam pemanenan, buah ini memerlukan penanganan pascapanen yang tepat untuk mengurangi kerusakan, mempertahankan mutu, memperpanjang umur simpan dan menjaga kesegaran hingga sampai ke konsumen. Namun, penentuan tingkat kematangan masih banyak dilakukan dengan metode konvensional seperti pengamatan visual berdasarkan warna kulit, tekstur, atau aroma buah. Metode ini bersifat subjektif, memerlukan pengalaman, dan memiliki tingkat kesalahan yang cukup tinggi.

Kemajuan teknologi pencitraan seperti *visible images* dan *thermal images* memberikan peluang baru untuk mengatasi keterbatasan tersebut. Teknologi ini memungkinkan analisis sifat fisik buah tanpa merusak atau menyentuh objek, sehingga lebih efisien dan dapat diterapkan dalam skala besar. *Visible images* memberikan informasi mengenai warna dan kondisi luar buah, sedangkan *thermal*

images mampu mendeteksi perbedaan suhu yang berhubungan dengan kelembapan dan kondisi internal buah. Kedua teknologi ini dapat dimanfaatkan untuk menentukan tingkat kematangan jambu kristal secara akurat tanpa pengukuran fisik langsung. Meskipun potensinya besar, pemanfaatan teknologi pencitraan untuk analisis kematangan jambu kristal di Indonesia masih terbatas.

Hingga saat ini standar tingkat kematangan jambu biji, termasuk jambu kristal belum ditetapkan secara jelas, baik dari segi warna kulit, tekstur daging, kadar gula, maupun kandungan nutrisinya. Padahal standar kematangan sangat penting untuk memastikan mutu produk, meningkatkan daya simpan dan memenuhi preferensi konsumen. Beberapa buah seperti pisang, mangga dan apel telah memiliki standar kematangan yang ditetapkan berdasarkan parameter seperti Total Padatan Terlarut (TPT), kadar asam, atau warna kulit (Wisnu, 2010). Penelitian sebelumnya di PT GGP sebagian besar masih mengandalkan metode kualitatif melalui pengamatan visual dan penilaian subjektif oleh tenaga ahli, yang memiliki keterbatasan dalam hal konsistensi dan objektivitas.

Salah satu pendekatan yang dapat digunakan untuk meningkatkan akurasi dan objektivitas penentuan tingkat kematangan adalah dengan mengembangkan model klasifikasi berbasis Jaringan Saraf Tiruan (JST). Metode ini mampu memproses data kompleks dari parameter warna dan suhu permukaan untuk menghasilkan klasifikasi tingkat kematangan secara otomatis dan konsisten. Dengan demikian, penelitian ini berfokus pada pengembangan model klasifikasi kematangan buah jambu kristal menggunakan Jaringan Saraf Tiruan (JST) berbasis *visible images* dan *thermal images*, yang diharapkan dapat meningkatkan akurasi dan objektivitas proses sortasi buah, serta mendukung penerapan teknologi modern dalam industri hortikultura.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dari penelitian ini yaitu seberapa akurat metode analisis JST berbasis *visible images* dan *thermal images* dalam mengelompokkan tingkat kematangan buah jambu kristal?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Membangun model Jaringan Saraf Tiruan untuk memprediksi tingkat kematangan buah jambu kristal secara tidak merusak berbasis parameter *visible images* dan suhu.
2. Menguji model Jaringan Saraf Tiruan yang dibangun dengan indikator akurasi kesesuaiannya dalam mengelompokkan buah jambu kristal pada tingkat kematangannya.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini yaitu sebagai berikut:

1. Pengembangan metode non-destruktif untuk menentukan tingkat kematangan buah menggunakan *visible images* dan *thermal images*.
2. Memberikan wawasan baru tentang pemanfaatan teknologi modern dalam bidang pertanian, khususnya pada analisis kualitas hasil panen.

1.5 Hipotesis

Adapun hipotesis dari penelitian ini yaitu model Jaringan Saraf Tiruan dapat digunakan untuk mendeteksi tingkat kematangan dengan deteksi warna dan suhu pada buah jambu kristal.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Buah Jambu Kristal

Jambu kristal (*Psidium guajava* L.) merupakan buah tahunan yang telah dibudidayakan sejak 1998 di Indonesia karena rasanya yang enak, memiliki manfaat bagi tubuh dan dapat dikonsumsi langsung tanpa melalui proses pengolahan (Rustani dan Susanto, 2019). Jambu biji kaya akan vitamin C dan antioksidan serta mengandung senyawa bioaktif seperti fenolik dan flavonoid yang memiliki potensi terapeutik dalam penyembuhan, termasuk aktivitas anti inflamasi, anti kanker serta perlindungan terhadap tekanan oksidatif dan beberapa penyakit degeneratif (Naseer, dkk., 2018).

Jambu kristal berasal dari Taiwan, masuk ke Indonesia pada tahun 1998 dibawa oleh Misi Teknik Taiwan. Bentuk buahnya bulat sedikit gepeng dengan permukaan buah ada tonjolan tidak merata. Kandungan biji 3% dengan bobot buah 250–500 gram/buah. Warna kulit luar hijau muda sedangkan daging buah putih. Tekstur daging buah renyah saat matang dan empuk saat di puncak kematangan.

Komoditi jambu kristal merupakan komoditas buah-buahan pendatang baru di Indonesia, yakni baru muncul tahun 2016. Variasi tanaman ini memiliki salah satu keunggulan yaitu biji buah yang sedikit, sehingga jambu kristal lebih praktis untuk dikonsumsi secara langsung tidak seperti jambu biji pada umumnya. Walaupun komoditas buah pendatang baru, akan tetapi jambu kristal dapat memengaruhi peningkatan jambu biji di Indonesia dari tahun ke tahun.



Gambar 1. Buah jambu kristal

(Sumber: <https://images.app.goo.gl/btB2yDMmEhi6h2Aj9>)

Klasifikasi tanaman jambu kristal sebagai berikut (USDA, 2023):

Kingdom : Plantae
Superdivisi : Spermatophyta
Divisi : Magnoliophyta
Kelas : Magnoliopsida
Ordo : Myrtales
Famili : Myrtaceae
Genus : *Psidium*
Spesies : *Psidium guajava* (L.)

Batang tanaman jambu kristal merupakan tanaman perdu, batang tumbuh tegak. Batangnya bulat seperti batang jambu biji pada umumnya dan berkayu keras, tidak mudah patah, permukaan batangnya licin dan berwarna coklat keabu-abuan. Bunga jambu kristal merupakan bunga sempurna, dengan jenis kelamin jantan dan betina pada satu bunga, memiliki tipe benang sari saling bebas tidak berlekata. Benang sari memiliki panjang sekitar 0,5 cm sampai 1,2 cm, dengan jumlah 180 sampai 600 benang sari. Kepala sari berwarna krem dan benang sari berwarna putih, serta putik berwarna putih kehijauan dan bentuk kepala putik bercuping (Wahyuni dan Afidah, 2022).

2.1.1 Struktur Anatomi

Buah jambu kristal dikenal dengan karakteristik biji yang sangat sedikit serta daging buah yang tebal dan renyah. Sebagaimana buah sejati lainnya, buah jambu kristal terbentuk dari perkembangan ovarium bunga pasca penyerbukan. Struktur anatomi buah ini terdiri dari beberapa bagian utama, yaitu kulit buah (*epikarp*), jaringan perantara (*mesokarp*), dan jaringan terdalam (*endokarp*) yang mengelilingi ruang biji (Lastriyanto, dkk., 2022).

Pada bagian luar, *epikarp* atau kulit buah jambu kristal tersusun atas jaringan epidermis yang dilapisi kutikula tipis. Warna *epikarp* umumnya hijau pada saat muda dan berubah menjadi putih kehijauan saat matang. *Epikarp* berfungsi sebagai pelindung mekanis terhadap cedera fisik dan patogen luar, serta sebagai pengatur transpirasi air dan pertukaran gas.

Di bawah *epikarp* terdapat *mesokarp*, yaitu lapisan daging buah tebal yang menyusun bagian utama dari volume buah jambu kristal. Jaringan ini tersusun dari parenkim yang kaya air, pati dan gula, yang berkontribusi terhadap rasa manis dan tekstur renyah buah. Seiring proses pematangan, sel-sel parenkim mengalami pembesaran, pelunakan dinding sel, dan peningkatan akumulasi senyawa organik terlarut, seperti fruktosa dan glukosa, yang menentukan kualitas organoleptik buah.

Bagian terdalam buah adalah *endokarp*, yang mengelilingi ruang biji. Pada jambu kristal, bagian ini tidak berkembang secara signifikan karena varietas ini memiliki jumlah biji yang sangat sedikit atau bahkan nyaris tanpa biji. Hal ini menjadi keunggulan utama jambu kristal dibandingkan jambu biji biasa. Ruang biji biasanya dipenuhi lendir atau gel yang berfungsi melindungi embrio biji dan menjadi indikator kematangan buah (Tsai, dkk., 2021).

Struktur anatomi buah jambu kristal tersebut saling berhubungan dalam menentukan mutu dan kualitas buah, baik dari aspek fisik seperti ukuran, kekerasan, warna maupun kimia seperti kadar air, gula dan vitamin C. Pemahaman terhadap anatomi buah sangat penting untuk pengembangan teknik panen, pascapanen, serta klasifikasi mutu berbasis sistem digital atau manual.

2.2 Kualitas Buah Jambu Kristal

Mutu internal buah nanas diantaranya, sebagai berikut:

2.2.1 Kematangan

Sebagai komoditas unggulan petani tentu buah jambu kristal dilihat dari tingkat kematangannya. Pada kematangan buah jambu kristal dapat dilihat dari parameter ciri warna. Buah jambu kristal akan berubah warna saat matang dari berwarna hijau menjadi berwarna hijau kekuningan proses tersebut *degreening*. Jambu kristal umumnya mulai bisa dipanen pada umur 4–5 bulan setelah tanam untuk tanaman yang berasal dari cangkok atau okulasi. Namun, untuk panen buah secara berkelanjutan, jambu kristal biasanya mulai produktif dan menghasilkan buah layak panen setelah 8–12 bulan setelah tanam.



Gambar 2. Tingkat kematangan buah jambu kristal berdasarkan warna kulit

Pada beberapa penelitian, menjelaskan dalam menentukan kematangan buah jambu kristal hanya berdasarkan warna kulit buah secara visual. Sementara itu, mata manusia memiliki beberapa kekurangan diantaranya dibutuhkan tenaga lebih banyak untuk menyortir kematangan buah, penilaian kematangan akan bersifat subjektif dan tidak konsisten dalam penilaian satu individu dengan individu lainnya. Sehingga nantinya akan memengaruhi tingkat kualitas dalam penyortiran buah jambu kristal.

2.2.2 Mutu Internal Buah Jambu Kristal

Mutu internal buah jambu kristal meliputi beberapa aspek diantaranya, sebagai berikut:

1. Total Padatan Terlarut

Total Padatan Terlarut (TPT) adalah jumlah bahan terlarut dalam suatu larutan. Satuan TPT yaitu %Brix dengan pengukuran menggunakan refraktometer. Nilai TPT jambu kristal meningkat secara signifikan seiring dengan umur panen. Nilai optimal untuk konsumsi segar adalah 10–12 °Brix (Angraeni, dkk., 2023).

2. Kekerasan

Kekerasan buah jambu kristal berkisar antara 7,0 hingga 21 kg/cm², tergantung pada tingkat kematangan buah. Buah yang masih hijau (mentah) memiliki kekerasan sekitar 20,5 kg/cm², yang menurun secara progresif menuju 13,2 kg/cm² pada tahap hijau kekuningan, dan akhirnya mencapai 7,47 kg/cm² pada tahap kematangan hijau kekuningan tua (Waluyo, dkk., 2021).

3. Vitamin C

Secara umum, kadar vitamin C dalam daging buah jambu kristal berkisar antara 140–200 mg/100 gram, tergantung pada tingkat kematangan dan kondisi lingkungan tempat tumbuhnya (Widyastuti, 2023). Sementara itu kulitnya, dikenal sangat tinggi antara 180 hingga 300 mg/100 gram daging buah menandakan bahwa kulit buah kemungkinan juga memiliki kadar yang setara atau lebih tinggi, karena kulit sering menyimpan konsentrasi vitamin lebih besar daripada daging buah. Semakin tinggi tingkat kematangan buah jambu kristal (*Psidium guajava* L.), maka kadar vitamin C pada daging dan kulit buah cenderung mengalami perubahan yang signifikan. Pada fase awal hingga puncak kematangan, kadar vitamin C meningkat sebagai respons terhadap aktivitas metabolik, namun setelah melewati puncak kematangan, kadar vitamin C mulai menurun akibat proses degradasi dan oksidasi.

2.3 Metode Prediksi Mutu Internal Buah Jambu Kristal

Metode prediksi mutu internal buah jambu kristal dapat dilakukan dengan metode destruktif dan metode non-destruktif. Metode destruktif adalah metode yang merusak buah, sedangkan metode non-destruktif adalah metode tanpa merusak

buah. Berikut beberapa metode prediksi mutu internal buah jambu kristal secara non-destruktif:

2.3.1 Metode *Thermal Images*

Thermal images adalah teknik non-destruktif yang menggunakan sensor inframerah untuk mendeteksi radiasi panas yang dipancarkan oleh objek, dalam hal ini buah, lalu mengubahnya menjadi gambar visual berbasis suhu. Teknologi ini banyak digunakan untuk menilai suhu permukaan buah, yang berkaitan erat dengan tingkat kematangan, metabolisme dan kualitas pascapanen. Suhu permukaan buah yang ditangkap melalui kamera *thermal* dapat digunakan untuk mendeteksi perbedaan tingkat kematangan. Seiring proses pematangan, aktivitas metabolisme buah termasuk laju respirasi meningkat, sehingga menyebabkan naiknya suhu permukaan yang dapat dipantau secara non-destruktif menggunakan *thermal images* (Pathmanaban, dkk., 2023).

2.3.2 Metode Pengolahan Citra

Pengolahan citra adalah suatu metode dengan menggunakan aplikasi pengolahan gambar, dapat mempermudah pengolahan gambar dengan mengubah gambar atau menjadi data yang diinginkan dengan tujuan mendapatkan informasi tertentu.

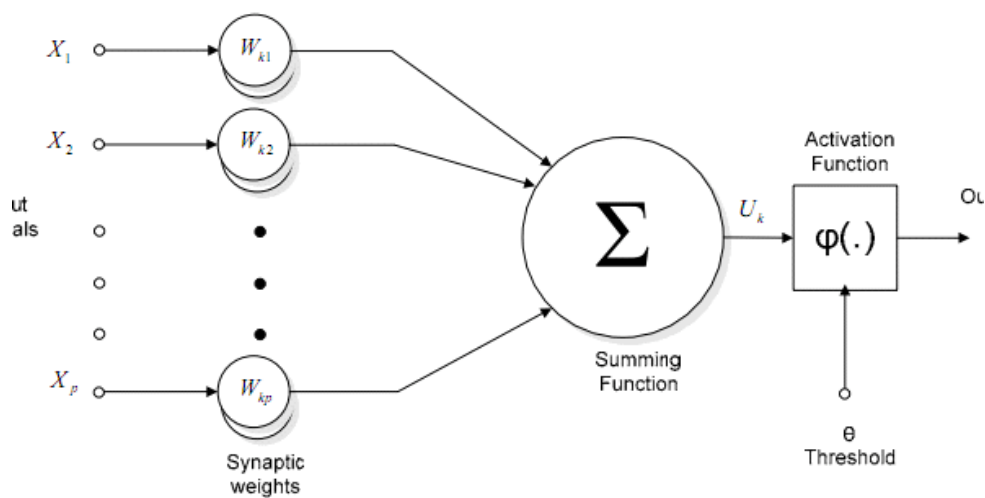
Komputer digital hanya memproses gambar digital saat mengambil gambar. Nilai intensitas cahaya atau nilai keabuan setiap piksel ditunjukkan dalam data gambar *input* (Nasution dkk., 2025). Sistem pengambilan gambar dapat secara otomatis menghasilkan gambar digital dengan membentuk matriks yang setiap elemennya menunjukkan nilai intensitas cahaya pada sejumlah titik yang berbeda. Tujuannya adalah untuk meningkatkan akurasi penentuan kematangan buah dengan memanfaatkan teknologi pengolahan citra.

2.4 Jaringan Saraf Tiruan

Jaringan Saraf Tiruan adalah sebuah sistem komputasi yang mengambil inspirasi dari bagaimana otak manusia bekerja. JST merupakan sistem paralel besar yang terdiri dari banyak unit pemroses sederhana yang saling terhubung satu sama lain, diinspirasi dari model biologis neuron dan mampu bekerja sama untuk menyelesaikan masalah kompleks, terdiri dari unit pemroses sederhana yang saling

terhubung (Novita, 2016). Neuron adalah unit pemrosesan informasi yang membentuk fungsi dasar jaringan saraf tiruan. Menurut Lesnussa dkk., (2015) terdapat dari 3 elemen dasar dari neuron, yaitu:

1. Merupakan kumpulan sinapsis atau jalur koneksi, dan setiap sinapsis memiliki bobot atau kekuatan koneksi.
2. Unit penjumlahan yang menambahkan sinyal input dikalikan dengan bobot sinaptik dari neuron yang bersangkutan.
3. Fungsi aktivasi yang menentukan amplitude keluaran setiap neuron.



Gambar 3. Model neuron

Jaringan Saraf Tiruan (JST) adalah metode pemodelan fungsi sistem saraf manusia saat melakukan tugas tertentu. JST adalah model yang meniru fungsi jaringan saraf biologis. Metode *backpropagation* jaringan saraf tiruan merupakan metode yang meniru fungsi otak manusia dan dapat menyelesaikan permasalahan dalam proses pembelajaran, sehingga target keluaran yang diinginkan dapat mendekati keakuratan tes dan pembelajaran (Setiawan, 2011).

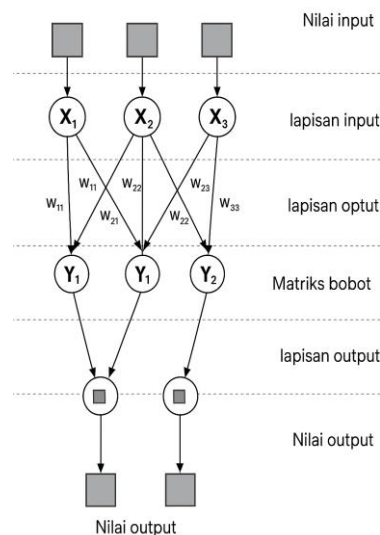
Jaringan Saraf Tiruan (JST) biasanya terdiri dari tiga lapisan yaitu lapisan masukan, lapisan tersembunyi dan lapisan keluaran. Tahapannya yaitu JST mengirimkan data dari satu neuron ke neuron lainnya. Sebaliknya keluaran suatu neuron dapat menjadi hasil akhir atau bahan masukan bagi neuron berikutnya.

2.4.1 Arsitektur Jaringan Saraf Tiruan

Jaringan Saraf Tiruan (JST) memiliki beberapa arsitektur jaringan, antara lain:

A. *Single Layer Network*

Single layer network merupakan bentuk paling sederhana dari JST yang hanya memiliki satu lapisan keluaran (*output layer*) yang terhubung langsung dengan lapisan masukan (*input layer*) tanpa adanya lapisan tersembunyi. Arsitektur ini hanya mampu mempelajari hubungan yang bersifat linear sehingga penerapannya terbatas pada permasalahan sederhana seperti klasifikasi logika dasar yang dapat dipisahkan secara garis lurus. Arsitektur jaringan *single-layer* ditunjukkan pada Gambar 4.

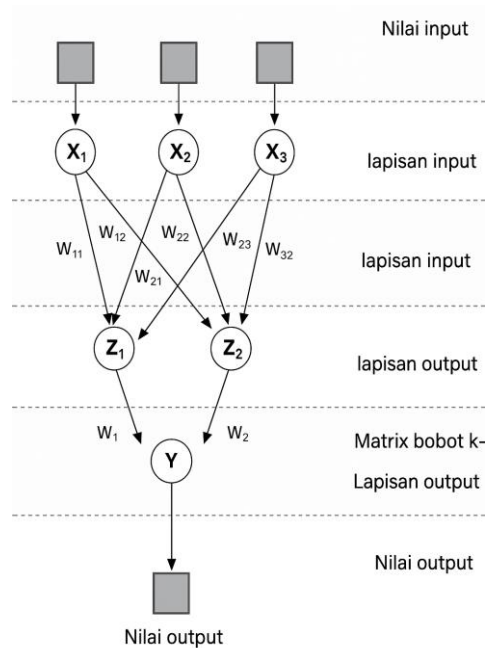


Gambar 4. *Single layer network*

B. *Multi Layer Network*

Berbeda dengan *single layer*, *multi layer network* memiliki satu atau lebih lapisan tersembunyi (*hidden layer*) yang ditempatkan di antara lapisan masukan dan lapisan keluaran. Keberadaan *hidden layer* memungkinkan jaringan melakukan transformasi non-linear sehingga mampu mempelajari pola dan hubungan yang lebih rumit dalam data. Model ini umumnya dilatih menggunakan algoritma *backpropagation* untuk meminimalkan kesalahan prediksi, sehingga hasilnya lebih

akurat pada kasus klasifikasi maupun regresi. Arsitektur jaringan *multi-layer* ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5. *Multi layer network*

2.4.2 Fungsi Aktivasi Jaringan Saraf Tiruan

Fungsi aktivasi yang biasanya digunakan untuk algoritma pelatihan *backpropagation* adalah :

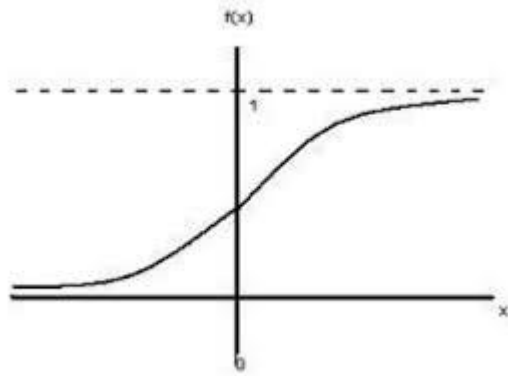
A. Fungsi Sigmoid Biner

Fungsi sigmoid biner dalam JST dikenal dengan sebutan *logsig*, yang memetakan *input* ke rentang $[0,1]$ dan didefinisikan sebagai berikut:

$$f(x) = \frac{1}{1 + e^{-x}} \dots \dots \dots (1.1)$$

Dengan turunan

$$f'(x) = f(x) (1 - f(x)) \dots \dots \dots (1.2)$$



Gambar 6. Fungsi sigmoid biner

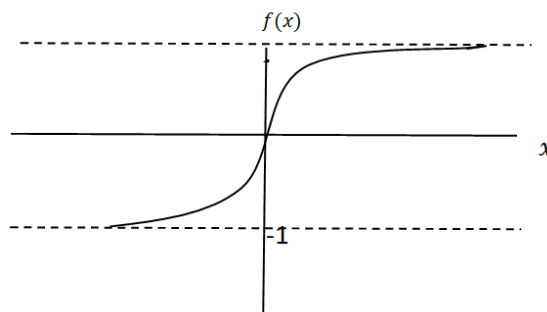
B. Fungsi Sigmoid Bipolar

Fungsi sigmoid bipolar disebut *tansig* dengan keluaran berada pada rentang $[-1,1]$ dan didefinisikan sebagai berikut:

$$f(x) = \frac{2}{1+e^{-x}} - 1 \dots\dots\dots(1.3)$$

Dengan turunan

$$f'(x) = \frac{(1+f(x))(1-f(x))}{2} \dots\dots\dots(1.4)$$



Gambar 7. Fungsi sigmoid bipolar

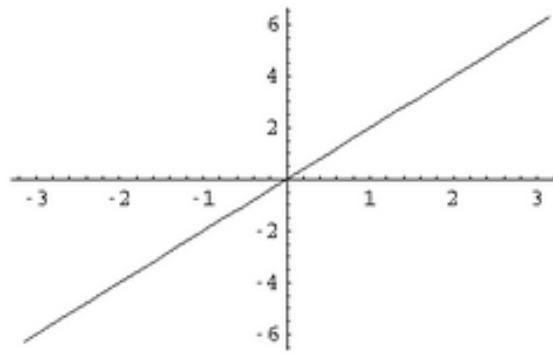
C. Fungsi Linier

Fungsi linier dikenal dengan istilah *purelin*, fungsi ini memiliki nilai keluaran yang sama dengan nilai masukan dan didefinisikan sebagai berikut:

$$f(x) = x \dots\dots\dots(1.5)$$

Dengan turunan

$$f'(x) = 1 \dots\dots\dots(1.6)$$



Gambar 8. Fungsi linear

2.4.3 RMSE (*Root Mean Square Error*)

RMSE adalah salah satu matrik evaluasi yang digunakan untuk mengukur seberapa besar rata-rata kesalahan (*error*) antara nilai hasil prediksi dan nilai aktual (*observasi*). RMSE dihitung dengan cara menguadratkan selisih antara nilai prediksi dan aktual, kemudian dihitung rata-ratanya dan diambil akar kuadrat dari nilai tersebut.

Menurut Jierula, dkk., (2021) dalam penelitiannya, nilai RMSE yang rendah menunjukkan bahwa model memiliki tingkat akurasi yang tinggi karena kesalahan prediksi rata-ratanya kecil. Dalam bidang statistika dan pembelajaran mesin, RMSE digunakan sebagai ukuran utama untuk mengevaluasi performa model regresi. Semakin kecil nilai RMSE, maka semakin baik model tersebut dalam memprediksi nilai target.

RMSE dapat dicari dengan menggunakan:

$$\text{RMSE} = \sqrt{\frac{\sum_i^n (\hat{x} - x_i)^2}{n}} \dots \dots \dots (1.7)$$

Keterangan:

$\hat{x}$ = Nilai hasil *forecast*

x_i = Nilai observasi ke-i

n = Banyaknya data

2.4.4 R Square

R Square digunakan untuk melihat kekuatan hubungan secara simultan antara semua variabel independen terhadap variabel dependen. R^2 menjelaskan seberapa besar persentase perubahan variabel dependen yang bisa dijelaskan oleh model (Gao, 2024).

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_i^n (\hat{x} - x)^2}{\sum_i^n (\hat{x} - \bar{x})^2} \dots \dots \dots (1.8)$$

III. METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat

Penelitian dilakukan di PT Great Giant Pineapple (PT GGP) PG1, yang terletak di Jl. Terbanggi Besar Km 77, Kecamatan Terbanggi Besar, Kabupaten Lampung Tengah, penelitian dilakukan di Laboratorium Research and Development Guava. Penelitian ini dimulai pada bulan Januari sampai dengan Februari 2025.

3.2 Alat dan Bahan

Alat yang digunakan pada penelitian ini yaitu, box pengambilan citra (*Chamber*), Refraktometer, Penetrometer, Jangka Sorong, Timbangan Digital, Kamera *Thermal* (Flir E5-XT) dengan rentang pengukuran -20°C hingga 400°C, Kamera Digital (Samsung, Resolusi 30MP) serta Laptop. Bahan yang digunakan adalah jambu kristal dengan tingkat kematangan berbeda, yaitu 70% (K1), 75% (K2), 78% (K3), 80% (K4) dan 85% (K5).

3.3 Rancangan Penelitian

Pada penelitian digunakan metode Rancangan Acak Lengkap (RAL) untuk mengetahui perbedaan pada masing-masing tingkat kematangan buah jambu kristal.

Tabel 1. Rancangan Percobaan

Ulangan	Kematangan				
	K1	K2	K3	K4	K5
1	K1U1	K2U1	K3U1	K4U1	K5U1
2	K1U2	K2U2	K3U2	K4U2	K5U2
3	K1U3	K2U3	K3U3	K4U3	K5U3
...	...	...	...	...	...
100	K1U100	K2U100	K3U100	K4U100	K5U100

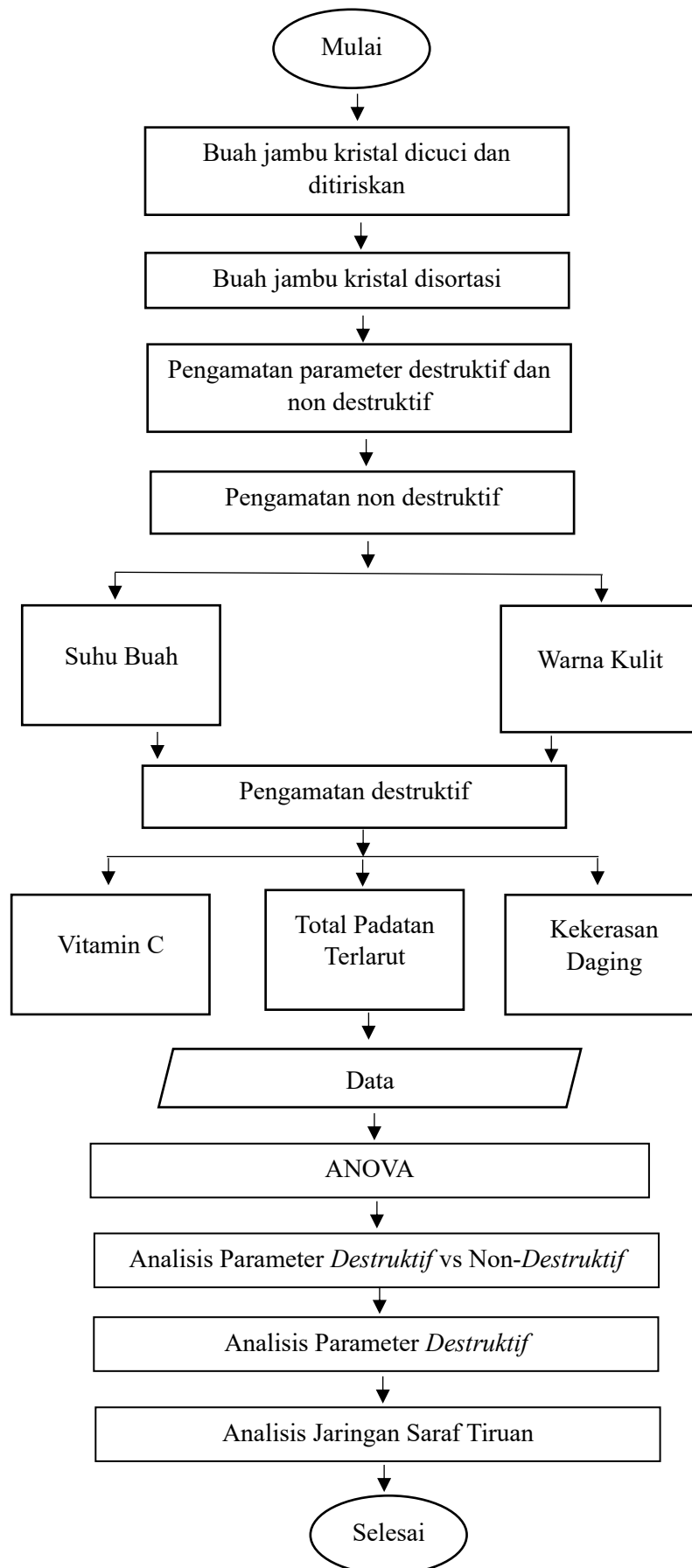
Keterangan:

- K = Tingkat Kematangan
- U = Ulangan/Sampel
- 1 = Tingkat Kematangan 1 (70%)
- 2 = Tingkat Kematangan 2 (75%)
- 3 = Tingkat Kematangan 3 (78%)
- 4 = Tingkat Kematangan 4 (80%)
- 5 = Tingkat Kematangan 5 (85%)

Penelitian ini menggunakan sampel sebanyak 500 buah jambu kristal, dengan setiap buah direkam sebanyak dua kali menggunakan *thermal images* sehingga diperoleh 1000 data dan dua kali menggunakan *visible images* sehingga diperoleh 1000 data menjadi total 2000 data.

3.4 Prosedur Penelitian

Prosedur penelitian yang dilakukan ditunjukkan pada diagram alir di bawah ini



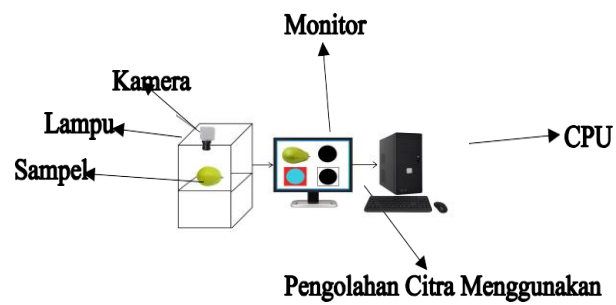
Gambar 9. Diagram alir prosedur penelitian

Buah jambu kristal yang telah dikelompokkan berdasarkan tingkat kematangan ditimbang menggunakan timbangan digital, kemudian diameternya diukur dengan jangka sorong pada dua posisi berbeda. Setelah itu dilakukan pengambilan *thermal images* dan *visible images*, serta pengukuran kekerasan dan Total Padatan Terlarut (TPT). Seluruh hasil pengamatan nantinya akan disajikan dalam bentuk tabel maupun grafik menggunakan Microsoft Excel.

Proses pengambilan *thermal images* dilakukan dengan menyiapkan sampel jambu kristal, lalu meletakkannya satu per satu di dalam kotak khusus pengambilan citra. Kamera *thermal* (Flir E5-XT) dipasang pada kotak dengan ketinggian 25 cm dari sampel, sehingga jarak antara kamera dan buah tetap konsisten dari awal hingga akhir pengambilan gambar.

Pengoperasian kamera Flir E5-XT dimulai dengan memasang baterai, kemudian menyalakan perangkat hingga menu utama tampil di layar. Selanjutnya, kamera dihubungkan ke laptop menggunakan kabel USB. Laptop yang sudah terpasang aplikasi FLIR Tools akan secara otomatis mendeteksi kamera dan menampilkan citra sampel yang berada di dalam kotak.

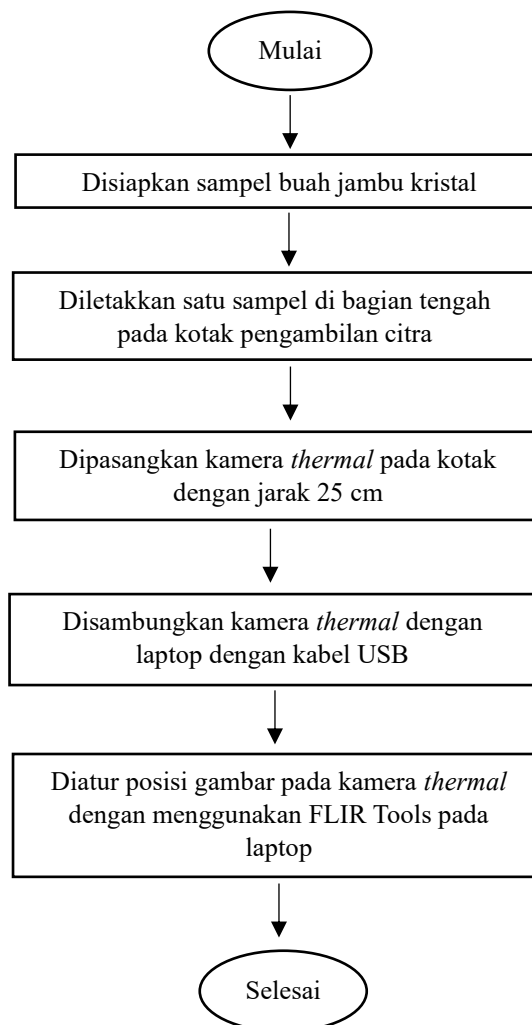
Pada aplikasi FLIR Tools tersedia menu khusus untuk mengambil gambar. Hasil citra yang diperoleh kemudian disimpan di laptop dengan format file tertentu agar mudah dianalisis. Data *thermal images* yang tersimpan selanjutnya diolah menggunakan Matlab R2016b bersama dengan parameter lainnya, sehingga diperoleh informasi yang dapat digunakan untuk mengklasifikasikan tingkat kematangan buah jambu kristal berdasarkan warna kulitnya.



Gambar 10. Ilustrasi perangkat pengambilan citra digital

3.5 Diagram Alir

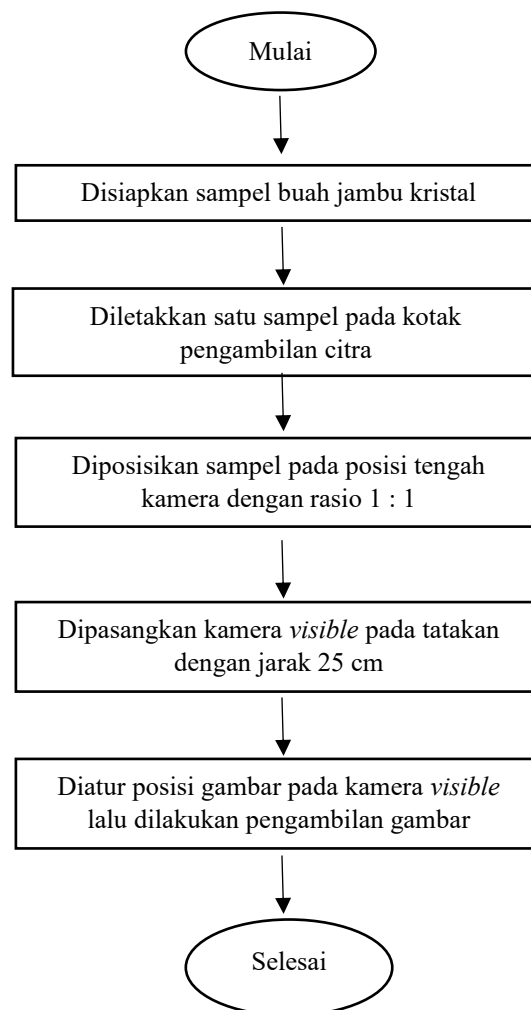
Diagram alir pada pengambilan *thermal images* yaitu sebagai berikut:



Gambar 11. Diagram alir pengambilan *thermal images*

Pengambilan citra *thermal* diawali dengan menyiapkan buah jambu kristal menggunakan sarung tangan agar tidak ada *noise* yang masuk ke dalam kotak (*chamber*). Kamera *thermal* disambungkan dengan komputer yang telah terinstal aplikasi FLIR Tools dan citra, analisis data dilakukan menggunakan aplikasi Matlab dan selesai.

Diagram alir pada pengambilan *visible images* yaitu sebagai berikut:

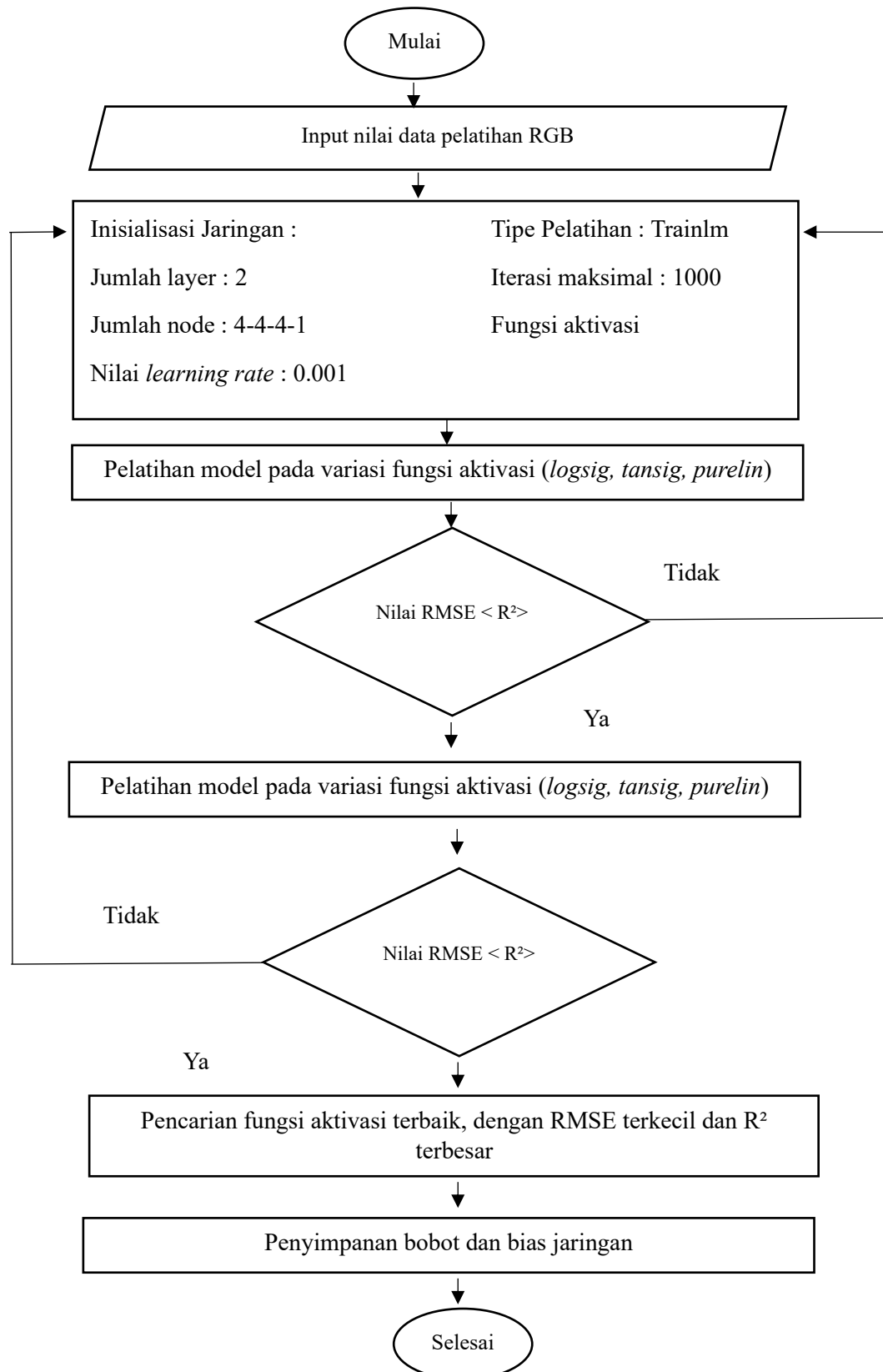


Gambar 12. Diagram alir pengambilan *visible images*

Setelah pengambilan citra *thermal*, selanjutnya yaitu proses pengambilan citra *visible*. Buah jambu kristal diletakkan ke dalam kotak yang sudah diatur lampu di dalamnya. Kamera ponsel diletakkan dengan pengaturan waktu pada penyanggah

di dalam kotak, dengan jarak 25 cm dan tutup rapat kotak supaya tidak ada *noise* yang masuk ke dalam citra. Setelah didapat citra *visible* berekstensi “jpg”, kemudian analisis data dilakukan dengan menggunakan aplikasi Matlab dan selesai.

Diagram alir metode Jaringan Saraf Tiruan (JST) yaitu sebagai berikut:



Gambar 13. Diagram alir simulasi model dengan JST

3.6 Parameter Penelitian

3.6.1 Pengambilan Citra (*Images Acquisition*)

Pengolahan citra digital merupakan salah satu metode yang digunakan dalam penelitian ini untuk memperoleh data warna dari permukaan buah jambu kristal. Citra digital buah diambil menggunakan kamera dengan spesifikasi resolusi tertentu, kemudian diolah menggunakan perangkat lunak Matlab untuk memperoleh informasi numerik yang dapat dianalisis secara kuantitatif. Langkah pertama yang dilakukan adalah membaca citra buah yang telah disimpan dalam format digital seperti “jpg” atau “png”. Proses pembacaan dilakukan menggunakan fungsi *imread* pada Matlab. Setelah citra terbaca, tampilan visual citra dapat ditampilkan menggunakan fungsi *imshow* sebagai tahap awal verifikasi.

Citra yang terbaca oleh Matlab secara *default* memiliki format warna RGB. Format ini kemudian dikonversi menjadi HSV, mengingat model warna HSV lebih representatif dalam menggambarkan persepsi manusia terhadap warna, terutama dalam konteks pematangan buah. Selanjutnya, dilakukan ekstraksi fitur warna dari masing-masing kanal HSV. Proses ini bertujuan untuk memperoleh nilai numerik dari parameter warna yang digunakan dalam analisis. Nilai *hue* merepresentasikan rona warna, *saturation* menggambarkan kejenuhan dan *value* menunjukkan tingkat kecerahan. Nilai-nilai tersebut diambil dari keseluruhan permukaan buah dengan menggunakan fungsi *mean* untuk memperoleh nilai rata-rata setiap komponen.

Nilai rata-rata dari masing-masing komponen HSV ini kemudian disusun sebagai hasil yang merepresentasikan satu buah sampel citra. Data numerik ini selanjutnya dapat digunakan sebagai *input* pada proses analisis statistik, klasifikasi tingkat kematangan. Dalam proses analisis statistik, agar dapat digunakan dalam model pembelajaran seperti Jaringan Saraf Tiruan (JST), data numerik hasil ekstraksi warna perlu dilakukan proses normalisasi agar memiliki rentang yang seragam, umumnya antara 0 dan 1. Normalisasi dilakukan menggunakan rumus:

$$X \text{ normalisasi} = \frac{x}{x_{max}}$$

Dengan demikian, melalui proses ini citra buah jambu kristal diubah menjadi data numerik melalui parameter warna yang dapat digunakan untuk mengkaji hubungan antara warna kulit dengan parameter fisiologis buah seperti kekerasan dan total padatan terlarut.

Warna buah adalah salah satu parameter penting dalam menilai kualitas buah secara visual, karena memengaruhi daya beli konsumen dan menjadi faktor tingkat kematangan serta kualitas buah (Tran, dkk., 2024). Perubahan warna sering kali berhubungan dengan perubahan suhu internal buah. Buah yang matang akan menunjukkan warna yang lebih cerah. Pengukuran warna buah dilakukan menggunakan ponsel dan laptop yang tegak lurus dengan buah jambu. Buah diposisikan lurus dengan kamera ponsel ke dalam kotak foto pada jarak 25 cm. Lampu kotak foto akan menyala, lalu foto diambil tanpa membentuk bayangan buah sedikitpun pada beberapa sisi buah dengan hal yang sama. Gambar yang dihasilkan nantinya akan menghasilkan tiga indeks warna yaitu *hue*, *saturation* dan *value* atau biasa disebut dengan HSV.

3.6.2 Suhu Buah

Suhu buah jambu kristal diukur menggunakan kamera *thermal* (Flir E5-XT) dan ditampilkan dalam format gambar dua dimensi. Kamera *thermal* beroperasi dengan mendeteksi radiasi panas pada buah jambu kristal. Pengambilan foto dilaksanakan dua kali untuk setiap sampel buah utuh.

Suhu buah sangat penting dalam penelitian untuk mengukur proses pematangan dan memprediksi umur simpan buah jambu kristal. Suhu dapat menunjukkan tingkat pematangan dan kelembaban dalam buah, yang berhubungan langsung dengan tekstur dan kualitas buah. Parameter ini dapat diukur dengan menggunakan teknologi *thermal images* untuk mendeteksi suhu di seluruh permukaan buah tanpa merusak. Dengan menggunakan *thermal images*, perbedaan suhu pada buah yang mentah dan matang dapat terlihat dengan memberikan informasi mengenai kondisi internal buah.

3.6.3. Kekerasan Buah

Pengukuran kekerasan buah jambu kristal menggunakan penetrometer dengan kedalaman jarum 5 mm. Awalnya buah dikupas sedikit kulitnya pada dua titik yaitu bagian depan dan samping buah. Hal itu mencegah perbedaan data yang dihasilkan dari pengukuran tersebut. Setelah itu, buah diposisikan tepat di bawah *probe* dengan jarak 1 cm. Lalu, tuas penetrometer ditarik dengan tekanan yang sama sampai data keluar di monitor, hasil dicatat dan difoto sebagai dokumentasi. Berikut perhitungan pada kekerasan buah.

$$P = \frac{F}{A}$$

Keterangan:

P = Kekerasan (kgF)

F = Gaya (N)

A = Luas penampang *probe* (mm²)

Luas Penampang *Probe*

$$A = \pi \left(\frac{d}{2}\right)^2$$

Keterangan:

A = Luas *probe* (cm²)

d = Diameter *probe* (cm)

π = Konstanta (3,14)

3.6.4 Total Padatan Terlarut

Total Padatan Terlarut (TPT) adalah parameter yang digunakan untuk mengukur jumlah zat terlarut dalam cairan buah, biasanya diukur dalam satuan °Brix. Pada buah seperti jambu kristal, TPT mencerminkan kandungan gula, mineral dan senyawa lain yang larut dalam jus buah. TPT sering digunakan sebagai tingkat kematangan, kualitas rasa dan nilai gizi buah. Sebelum pengukuran TPT, alat dikalibrasi dengan menggunakan aquades untuk menetralkan alat. Setelah itu,

buah jambu kristal ditusuk pada bagian pangkal, tengah dan ujung buah. Lalu hasilnya dicatat dalam satuan °Brix.

3.6.5 Vitamin C

Kandungan vitamin C pada buah seringkali menjadi bahan pertimbangan bagi konsumen untuk dikonsumsi, termasuk buah jambu kristal yang memiliki kandungan vitamin C pada kulit dan dagingnya. Selain itu, pengukuran kandungan vitamin C pada buah jambu kristal bertujuan untuk mengetahui mutu buah untuk dikonsumsi sebagai buah segar.

Pengukuran vitamin C pada buah jambu kristal dilakukan dengan metode titrasi 2,6-diklorofenol indofenol (DCPIP) yaitu dengan memisahkan kulit dan daging menggunakan pisau. Lalu daging buah dipotong dan ditambahkan air dengan rasio 2 : 1 pada daging buah, selanjutnya diblender hingga halus. Selanjutnya, kulit buah ditambahkan air dengan rasio 1 : 2 pada kulit buah. Hasil blender dimasukkan ke dalam labu ukur 100 mL.

Larutan tersebut disaring menggunakan kertas saring Whatman No.1 untuk memperoleh filtrat jernih yang digunakan sebagai sampel analisis. Analisis ini dapat mereduksi 2,6-dichloroophenol indophenol (2,6D) menjadi tidak berwarna. Pada titik akhir, kelebihan (2,6D) yang tidak tereduksi akan menghasilkan warna merah muda dalam larutan asam. Untuk perhitungan dilakukan standarisasi larutan (2,6D) dengan vitamin C.

3.7 Analisis Parameter Non-Destruktif vs Destruktif

Pada penelitian ini pengambilan data dilakukan dengan dua cara, yaitu metode non-destruktif dan metode destruktif. Pada metode non-destruktif yaitu teknik pengukuran yang tidak merusak buah, sehingga sampel tetap utuh dan bisa diamati kembali. Metode tersebut digunakan untuk mengamati warna dan suhu permukaan buah menggunakan *visible* dan *thermal images*. Melalui cara ini, buah tidak perlu dipotong atau diolah, sehingga perubahan kematangan dapat dipantau dari waktu ke waktu menggunakan pengolahan data.

Sementara itu, metode destruktif merupakan teknik yang membutuhkan sampel buah untuk dipotong atau dihancurkan sehingga buah tidak bisa digunakan lagi setelah pengukuran. Contoh pengukuran destruktif yang dilakukan adalah kekerasan buah menggunakan penetrometer, total padatan terlarut menggunakan refraktometer dan parameter internal lainnya. Teknik ini biasanya memberikan data yang lebih akurat mengenai kondisi dalam buah, tetapi setiap sampel hanya dapat diuji satu kali.

Dengan menggabungkan kedua metode ini, penelitian memperoleh data yang saling melengkapi. Pengukuran non-destruktif membantu membangun model prediksi kematangan tanpa merusak buah, sedangkan pengukuran destruktif menyediakan data pembandingan yang akurat sebagai dasar validasi model. Metode ini membuat analisis kematangan buah menjadi lebih lengkap dan mudah diterapkan dalam penelitian maupun praktik lapangan.

3.8 Analisis Data

3.8.1 Analisis Statistik

Pengolahan gambar dalam penelitian ini menggunakan aplikasi Matlab versi 2016b. Aplikasi ini digunakan untuk menganalisis distribusi suhu pada gambar *thermal* yang didapat dari kamera *thermal* Flir E5-XT. Gambar yang dihasilkan oleh kamera kemudian dikirim ke laptop melalui aplikasi FLIR Tools. Aplikasi ini mampu mengenali gambar *thermal* dan menyimpannya ke dalam komputer.

Pengolahan citra dengan Matlab dilakukan dengan program yang dapat mengenali nilai dan sebaran suhu pada buah. Analisis ini menentukan suhu terendah, tertinggi, serta suhu yang paling sering muncul dalam sampel. Data suhu tersebut kemudian disajikan dalam format Microsoft Excel. Setelah data diperoleh, langkah berikutnya adalah memproses data dengan menampilkan informasi berupa tabel dan grafik.

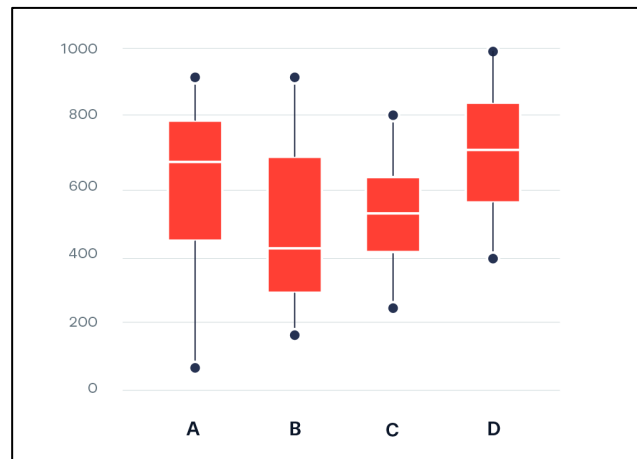
Dalam penelitian ini terdapat lima perlakuan, yaitu informasi warna kulit yang terdiri dari lima tingkat kematangan buah jambu kristal. Rancangan acak yang cocok digunakan adalah Rancangan Acak Lengkap (RAL). Uji ANOVA dan uji Beda Nyata Terkecil (BNT) dilakukan menggunakan aplikasi Microsoft Excel. Microsoft Excel digunakan untuk menganalisis uji ANOVA pada taraf 0,05 untuk setiap parameter. Pada uji ANOVA, parameter dinyatakan berpengaruh nyata terhadap tingkat kematangan apabila $F_{\text{Hitung}} > F_{\text{Tabel}}$. Selanjutnya, analisis JST digunakan untuk mengklasifikasikan buah menjadi 5 tingkat kematangan (K1, K2, K3, K4 dan K5) berdasarkan nilai intensitas *hue*, *saturation*, *value*, dan temperatur.

3.8.2 Grafik Boxplot

Boxplot merupakan salah satu metode visualisasi statistik yang efektif untuk menampilkan sebaran data serta mendeteksi keberadaan pencilan (*outlier*). Menurut Imawati (2014), boxplot adalah representasi grafis dari lima ukuran statistik ringkasan, yaitu nilai minimum, kuartil pertama, median, kuartil ketiga dan nilai maksimum. Representasi ini memudahkan peneliti dalam memahami karakteristik distribusi data secara keseluruhan.

Selanjutnya, Efando dan Sonita (2025) menjelaskan bahwa boxplot sangat berguna dalam perbandingan antar kelompok data kuantitatif. Oleh karena itu, dalam penelitian yang berkaitan dengan klasifikasi tingkat kematangan buah, boxplot dapat dimanfaatkan untuk memperlihatkan perbedaan karakteristik antar kelas kematangan. Penyajian data melalui boxplot memungkinkan peneliti untuk mengamati distribusi nilai pada setiap kelas kematangan, sehingga memudahkan dalam proses klasifikasi berbasis fitur numerik.

Dalam studi pascapanen, parameter seperti suhu, warna, kekerasan dan total padatan terlarut sering digunakan sebagai indikator tingkat kematangan buah (Baihaqi dan Fridayati, 2025). Dengan menggunakan boxplot, sebaran nilai dari masing-masing parameter pada setiap kelas kematangan dapat terlihat secara visual sehingga mendukung proses identifikasi dan klasifikasi tingkat kematangan secara non-destruktif.



Gambar 14. Boxplot

Grafik pada Gambar 14 menunjukkan hubungan antara parameter dengan perlakuan. Sumbu mendatar (X) digunakan untuk menunjukkan variasi suhu atau waktu pengamatan, sedangkan sumbu tegak (Y) menggambarkan respon variabel yang diamati. Penyajian ini sesuai dengan kaidah umum bahwa sumbu X mewakili variabel bebas, sementara sumbu Y mewakili variabel terikat. Suhu diposisikan pada sumbu X karena berperan penting dalam memengaruhi proses fisiologis maupun perubahan kimia pascapanen.

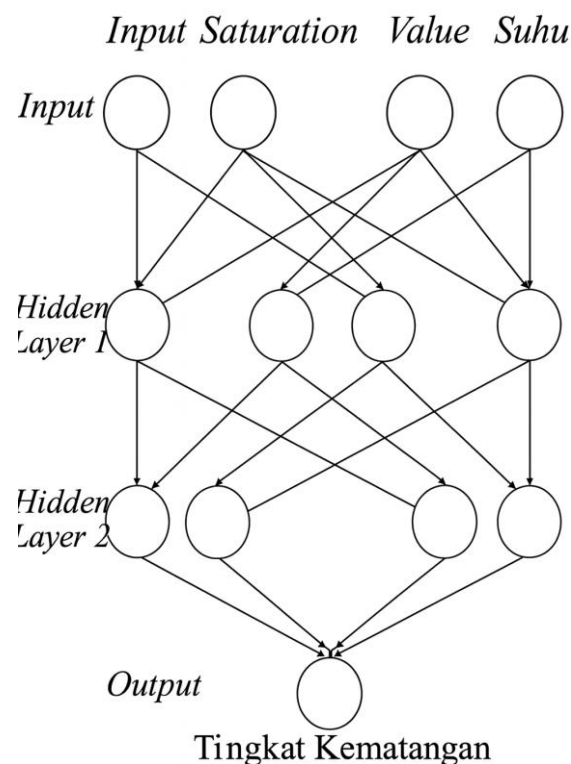
Grafik boxplot di atas juga menyajikan data menggunakan boxplot pada empat kelompok (A, B, C dan D). Boxplot dipilih karena mampu merangkum distribusi data mulai dari nilai minimum, kuartil, median, hingga maksimum, sehingga variasi dan potensi *outlier* dapat diamati secara (Sihombing dkk., 2023). Hasil interpretasi menunjukkan bahwa kelompok B dan D memiliki keragaman data yang lebih tinggi dibandingkan kelompok A dan C. Sementara itu, kelompok C relatif lebih homogen, sedangkan kelompok A masih menunjukkan variasi meskipun median berada mendekati batas atas kotak. Menurut Imawati (2014), perbedaan posisi median dan panjang kotak dapat mencerminkan adanya kecenderungan distribusi yang tidak simetris.

Secara keseluruhan, analisis grafik boxplot ini menegaskan bahwa parameter berperan besar dalam memengaruhi perlakuan pada penelitian, sekaligus

menunjukkan variasi distribusi data antar kelompok. Visualisasi tersebut memperkuat analisis deskriptif sebelumnya karena mampu memperlihatkan perbedaan pola distribusi secara ringkas dan jelas.

3.8.3 Pengembangan Model Prediksi

Jaringan Saraf Tiruan (JST) merupakan membuat model sistem komputasi yang meniru cara otak manusia dalam mengidentifikasi pola, menjalankan prediksi dan klasifikasi. Untuk pengklasifikasian mutu buah jambu kristal, jaringan yang digunakan yaitu JST *backpropagation* untuk memprediksi kelas seperti tingkat kematangan buah dengan *hue*, *saturation*, *value* dan suhu buah dari masing-masing tingkat kematangan. Dalam proses sortasi, JST membantu mengklasifikasikan buah jambu kristal sesuai dengan tingkat kematangan.



Gambar 15. Model arsitektur JST

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang diperoleh dari penelitian ini yaitu sebagai berikut.

1. Model Jaringan Saraf Tiruan berhasil dibangun dengan menggunakan parameter *visible images* yaitu *hue*, *saturation*, *value* dan suhu sebagai *input*, serta tingkat kematangan buah jambu kristal sebagai *output*. Arsitektur yang dipakai yaitu 4-4-4-1 dengan fungsi aktivasi terbaik *tansig-logsig-tansig* dan R^2 pada model yaitu sebesar 91% yang mampu merepresentasikan tingkat kematangan buah jambu kristal melalui *visible images* dan suhu.
2. Hasil pengujian Jaringan Saraf Tiruan menunjukkan bahwa model mampu mengikuti pola umum kematangan dengan nilai R^2 sebesar 81% pada data latih. Akan tetapi, akurasi pada data uji hanya mencapai 64% dari 300 sampel, yang menunjukkan bahwa kemampuan model dalam mengelompokkan tingkat kematangan masih tergolong kurang baik.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian ini, penulis menyarankan agar penelitian dapat dilanjutkan dengan pengembangan lebih lanjut agar dapat menghasilkan prediksi tingkat kematangan buah jambu kristal yang lebih konsisten dan akurat pada data uji.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmad, S., Thompson, A. K., Hafiz, I. A., dan Asi, A. A. 2001. Effect of Temperature on the Ripening Behavior and Quality of Banana Fruit. *International Journal Of Agriculture & Biology*, 3(2).
- Angraeni, R., Tamrin, T., Asmara, S., dan Warji, W. 2023. Pengaruh Coating Lidah Buaya dengan Penambahan Karagenan terhadap Umur Simpan Jambu Kristal Selama Penyimpanan. *Jurnal Agricultural Biosystem Engineering*, 2(1), 17.
- Ariani, F., dan Muhsin, L. B. 2023. Analisis Kadar Vitamin C pada Buah Jeruk Nipis (*Citrus aurantifolia* Swing.) dan Jeruk Manis (*Citrus sinensis*) menggunakan Titrasi Iodometri. *BIOCITY Journal of Pharmacy Bioscience and Clinical Community*, 1(2) 77–84.
- Ariwaodo, C. A. 2022. Handling Strategies and Facilities for Horticultural Crops. *Open Access Library Journal*, 09(05), 1–29.
- Azzahra, S. N., Ahmad Kamsyakawuni, dan Abduh Riski. 2025. Determining The Ripeness Level of Crystal Guava Fruit Using Backpropagation Neural Network. *Jurnal Ilmiah Teknologi Informasi*, 15(03), 186–193.
- Baihaqi, B., dan Fridayati, D. 2025. Analisis Warna, TSS dan Kekerasan Tomat (*Lycopersicum esculentum* Mill.) pada Tingkat Kematangan Berbeda. *Jurnal Minfo Polgan*, 13(2), 2424–2432.
- Basak, J. K., Madhavi, B. G. K., Paudel, B., Kim, N. E., dan Kim, H. T. 2022. Prediction of Total Soluble Solids and pH of Strawberry Fruits Using RGB, HSV and HSL Colour Spaces and Machine Learning Models. *Foods*, 11(14), 2086.
- BPS. 2024. *Produksi Tanaman Sayuran dan Buah-Buahan Provinsi Lampung 2023*. Diakses pada 24 September 2025 <https://lampung.bps.go.id/id/publication/2024/07/16/8c9242ece339d57652>

68fd99/production-of-vegetable-and-fruit-crops-in-lampung-province-2023.

- Bratu, A. M., Petrus, M., dan Popa, C. 2020. Monitoring of Post-Harvest Maturation Processes inside Stored Fruit Using Photoacoustic Gas Sensing Spectroscopy. *Materials*, 13(12), 2694.
- Brizzolara, S., Manganaris, G. A., Fotopoulos, V., Watkins, C. B., dan Tonutti, P. 2020. Primary Metabolism in Fresh Fruits During Storage. *Frontiers in Plant Science*, 11, 80.
- Budiman, C., Wirianto, H. A., dan Suhartanto, R. 2024. Uji Vigor Benih Cabai (*Capsicum sp*) dengan Metode Radicle Emergence Menggunakan Analisis Citra Digital. *Buletin Agrohorti*, 12(1), 142–153.
- Cavalini, F. C., Jacomino, A. P., Lochoski, M. A., Kluge, R. A., dan Ortega, E. M. M. 2006. Maturity Indexes For “Kumagai” and “Paluma” Guavas. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 28(2), 176–179.
- Chen, N., Wei, W., Yang, Y., Chen, L., Shan, W., Chen, J., Lu, W., Kuang, J., dan Wu, C. 2024. Postharvest Physiology and Handling of Guava Fruit. *Foods*, 13(5), 805.
- Efando, R., dan Sonita, A. 2025. Klasifikasi Tingkat Kematangan Buah Matoa Menggunakan Metode PCA dan KNN Berdasarkan Warna RGB. *Journal Scientific and Applied Informatics*, 08(2), 337-346.
- Efrizoni, L., Defit, S., Tajuddin, M., dan Anggrawan, A. 2022. Komparasi Ekstraksi Fitur dalam Klasifikasi Teks Multilabel Menggunakan Algoritma Machine Learning. *Matrik: Jurnal Manajemen, Teknik Informatika, dan Rekayasa Komputer*, 21(3): 653–666.
- Gao, J. 2024. R-Squared (R^2) – How much variation is explained?. *Research Methods in Medicine & Health Sciences*, 5(4), 104–109.
- Haerani, H., Aco, A. H. A., dan Mursalim. 2023. The Effect of Ripening Methods and Duration on The Ripeness Level of Kepok Banana. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1230(1), 012180.
- Haile, S., dan Ayele, A. 2022. Pectinase from Microorganisms and Its Industrial Applications. *The Scientific World Journal*, 2022, 1–15.

- Hapsari, A. P. V., Hasdar, M., dan Purwanti, Y. 2024. Kadar Vitamin C pada Mangga Arum Manis yang disimpan pada Suhu yang Berbeda. *Journal of Food Technology and Agroindustry*, 6(2).
- Harish Morwani. 2021. Artificial Neural Networks. *Journal of the Maharaja Sayajirao University of Baroda*, 55(1).
- Hasanzadeh, B., Abbaspour-Gilandeh, Y., Soltani-Nazarloo, A., Hernández-Hernández, M., Gallardo-Bernal, I., dan Hernández-Hernández, J. L. 2022. Non-Destructive Detection of Fruit Quality Parameters Using Hyperspectral Imaging, Multiple Regression Analysis and Artificial Intelligence. *Horticulturae*, 8(7), 598.
- Imawati, A. 2014. Penggunaan Stem And Leaf dan Boxplot. *Jurnal Unimus*, 1(1).
- Irhamni, D., Hayati, R., dan Hasanuddin, H. 2023. Pengaruh Tingkat Kematangan dan Lama Penyimpanan terhadap Kualitas Pisang Mas (*Musa acuminata Colla.*). *Jurnal Agrotropika*, 22(2), 145.
- Iwanami, H., Moriya-Tanaka, Y., Hanada, T., Baba, T., dan Sakamoto, D. 2024. Factors Explaining Variations in Soluble Solids Content of Apples During Ripening and Storage. *The Horticulture Journal*, 93(2), 135–142.
- Jierula, A., Wang, S., Oh, T.-M., dan Wang, P. 2021. Study on Accuracy Metrics for Evaluating the Predictions of Damage Locations in Deep Piles Using Artificial Neural Networks with Acoustic Emission Data. *Applied Sciences*, 11(5), 2314.
- Kapoor, L., Simkin, A. J., George Priya Doss, C., dan Siva, R. 2022. Fruit Ripening: Dynamics and Integrated Analysis of Carotenoids and Anthocyanins. *BMC Plant Biology*, 22(1), 27.
- Karmila, K., dan Nuryanti, S. 2021. Analisis Vitamin C pada Buah Rambusa (*Passiflora foetida L.*). *Media Eksakta*, 17(1), 46–51.
- Kasim, R., Dahlan, S. A., Limonu, M., Isima, R., Rusli, A., Supu, M. R., Sari, N. P., Ramdina, A., Poee, S. Z. T., Maele, I. A., dan Nurdin, D. F. 2025. Pengaruh Sumber Etilen Terhadap Perubahan Fisik dan Kimia Mangga (*Mangifera indica L.*). *Jambura Journal of Food Technology*, 7(2).
- Kaur, J., Singh, Z., Mazhar, M. S., Shah, H. M. S., dan Woodward, A. 2024. Changes in Physical Attributes, Activities of Fruit Softening Enzymes, Cell

- Wall Polysaccharides and Fruit Quality of Jackfruit (*Artocarpus heterophyllus* Lam.) as Influenced by Maturation and Ripening. *Horticulturae*, 10(12), 1264.
- Khafid, A., Nurchayati, Y., Hastuti, E. D., dan Setiari, N. 2023. Vitamin C and Total Soluble Solid Content Of Crystal Guava at Different Storage Duration and Ripeness. *Kultivasi*, 22(2).
- Kusumiyati, K., Farida, F., Sutari, W., Hamdani, J. S., dan Mubarak, S. 2018. Pengaruh Waktu Simpan Terhadap Nilai Total Padatan Terlarut, Kekerasan dan Susut Bobot Buah Mangga Arumanis. *Kultivasi*, 17(3).
- Lado, J., Alós, E., Rodrigo, M. J., dan Zacarías, L. 2015. Light Avoidance Reduces Ascorbic Acid Accumulation in The Peel of Citrus Fruit. *Plant Science*, 231, 138–147.
- Lastriyanto, A., Hawa, L. C., dan Wibowo, S. A.,. 2022. Pengawetan Buah Jambu Biji (*Psidium Guajava* L.) Segar dengan Teknologi Hypobaric Storage. *Jurnal Keteknikan Pertanian Tropis dan Biosistem*, 10(1), 55–65.
- Lesnussa, Y. A., Latuconsina, S., dan Persulesy, E. R. 2015. Aplikasi Jaringan Saraf Tiruan Backpropagation untuk Memprediksi Prestasi Siswa SMA (Studi kasus: Prediksi Prestasi Siswa SMAN 4 Ambon). *Jurnal Matematika Integratif*, 11(2).
- Marpaung, F. 2024. *Analisis Kinerja Jaringan Syaraf Tiruan Dalam Deteksi Intrusi Pada Jaringan Komputer*. Medan: Universitas Medan Area.
- Melinda, R., Sartika Daulay, A., Ridwanto, R., dan Amin Nasution, M. 2024. Penetapan Kadar Vitamin C dan Aktivitas Antioksidan Hasil Perasan Buah Jambu Kristal. *Indonesian Journal of Pharmaceutical Education*, 4(3).
- Moreno, J. L., Tran, T., Cantero-Tubilla, B., López-López, K., Becerra Lopez Lavalle, L. A., dan Dufour, D. 2021. Physicochemical and Physiological Changes During The Ripening of Banana (*Musaceae*) Fruit Grown in Colombia. *International Journal of Food Science & Technology*, 56(3), 1171–1183.
- Muamar, Y., dan Muhajirin, A. 2024. Penerapan Jaringan Saraf Tiruan dengan Metode Backpropagation untuk Memprediksi Tingkat Kelulusan

- Mahasiswa Perguruan Tinggi. *Digital Transformation Technology*, 4(1), 214–224.
- Naikofi, K. I. 2023. Analisis Kualitas Buah Jambu Kristal (*Psidium guajava* L.) di Leukopo IPB, Bogor). *Jurnal Multidisiplin Ilmu*, 2(01).
- Naseer, S., Hussain, S., Naeem, N., Pervaiz, M., dan Rahman, M. 2018. The Phytochemistry and Medicinal Value of (*Psidium guajava* L.). *Clinical Phytoscience*, 4(1), 32.
- Nasution, M. U., -, L. S. H., dan -, F. S. 2025. Tinjauan Metode Pengolahan Citra Digital untuk Deteksi Objek Otomatis. *Jurnal Informatika dan Teknik Elektro Terapan*, 13(3).
- Novita, A. 2016. Prediksi Pergerakan Harga Saham pada Bank Terbesar di Indonesia dengan Metode Backpropagation Neural Network. *Jutisi*, 5(1), 877-1021.
- Panebianco, S., Van Wijk, E., Yan, Y., Cirvilleri, G., Musumarra, A., Pellegriti, M. G., dan Scordino, A. 2024. Delayed Luminescence in Monitoring the Postharvest Ripening of Tomato Fruit and Classifying According to Their Maturity Stage at Harvest. *Food and Bioprocess Technology*, 17(12), 5119–5133.
- Paniagua, C., Posé, S., Morris, V. J., Kirby, A. R., Quesada, M. A., dan Mercado, J. A. 2014. Fruit Softening and Pectin Disassembly: An Overview Of Nanostructural Pectin Modifications Assessed By Atomic Force Microscopy. *Annals of Botany*, 114(6), 1375–1383.
- Papageorgiou, S. N. 2022. On Correlation Coefficients and Their Interpretation. *Journal of Orthodontics*, 49(3), 359–361.
- Pathmanaban, P., Gnanavel, B. K., Anandan, S. S., dan Sathiyamurthy, S. 2023. Advancing Post-Harvest Fruit Handling Through AI-Based Thermal Imaging: Applications, Challenges, and Future Trends. *Discover Food*, 3(1), 27.
- Pertiwi, S., Hutomo, A. S. F., dan Widodo, S. 2023. Non-Destructive Estimation of Maturity Level Of ‘Crystal’ Guava Fruit By Means of Fluorescence Spectroscopy. *Agricultural Engineering*, 115–123.

- Posom, J., Duangpila, C., Saengprachatanarug, K., Wongpichet, S., dan Onmankhong, J. 2023. Application of Thermal Imaging Combined with Machine Learning For Detecting The Deterioration of The Cassava Root. *Heliyon*, 9(10).
- Prabasari, I., Utama, N. A., Lestari, M. I., dan Djaafar, T. F. 2024. Pengaruh Precooling dan Coating Terhadap Chilling Injury Buah Nanas ‘Queen’ (*Ananas comosus L.*). *Jurnal Teknologi Pertanian*, 13(2), 117–126.
- Pramudiya, R., Asyraq, C., dan Kadafi, A. 2024. Analisis Gambar Menggunakan Metode Grayscale dan HSV (*Hue, Saturation, Value*). *Jurnal Sistem Informasi, Teknologi Informasi dan Komputer*, 14(3), 150-233.
- Prayitno, S. A. 2023. Effect Of Ethylene Compounds On Banana Ripening And Post-Harvest Packaging (Storage) of Citrus Fruits. *Agroindustrial Technology Journal*, 7(2).
- Putra, A. C., Nurchayati, Y., Hastuti, E. D., dan Setiari, N. 2023. Kandungan Vitamin C dan Morfometri Buah Jambu Kristal (*Psidium guajava L.*) pada Pengemasan yang Berbeda. *Buletin Anatomi dan Fisiologi*, 8(2), 146–153.
- R.A.D Widyastuti. 2023. Fruit Quality of Guava (*Psidium guajava L.*) under Diferent Fruit Bagging Treatments and Altit. *Indian Journal of Natural Products and Resources*, 2(2), 189-197.
- Roring, C. B., Mulyana, D. I., Lubis, Y. T., dan Zamzami, A. R. 2022. Klasifikasi Tingkat Kematangan Buah Jambu Bol Berdasarkan Warna Kulit Menggunakan Metode Naive Bayes. *Jurnal Pendidikan Tambusai*, 6(1), 2938-2948.
- Roza, Y. B., Salim, D. A., dan Ramadhanu, A. 2024. Optimasi Kualitas dan Kematangan Mangga Melalui Pemroses Citra Menggunakan Median Filter. *Journal of Education Research*, 5(4), 5589-5598.
- Rustani, D., dan Susanto, S. 2019. Kualitas Fisik dan Kimia Buah Jambu ‘Kristal’ pada Letak Cabang yang Berbeda. *Buletin Agrohorti*, 7(2), 123–129.
- Saputra, M. R., dan Irsyad, H. 2022. Klasifikasi Tingkat Kemanisan Alpukat Berdasarkan Fitur Hue Saturation Value (HSV) dengan Menggunakan Support Vector Machine (SVM). *Jurnal Algoritme*, 2(2), 113–119.

- Setiawan, S. I. A. 2011. Penerapan Jaringan Saraf Tiruan Metode Backpropagation Menggunakan VB 6. *Jurnal Teknik Informatika*, 3(2), 23–28.
- Shahinfar, S., Meek, P., dan Falzon, G. 2020. How Many Images Do I Need? Understanding How Sample Size Per Class Affects Deep Learning Model Performance Metrics For Balanced Designs In Autonomous Wildlife Monitoring. *Ecological Informatics*, 57, 101085.
- Sihombing, P. R., Suryadiningrat, S., Sunarjo, D. A., dan Yuda, Y. P. A. C. 2023. Identifikasi Data Outlier (Pencilan) dan Kenormalan Data pada Data Univariat serta Alternatif Penyelesaiannya. *Jurnal Ekonomi dan Statistik Indonesia*, 2(3), 307–316.
- Siti, K. 2019. *Pengaruh Rootone-F terhadap Keberhasilan Stek Tanaman Jambu Biji Kristal Merah (Psidium guajava L.)*. Riau: UIN Suska Riau.
- Sugiyono. 2016. *Pedoman Interpretasi Koefisien Determinasi*.
Diakses pada 24 September 2025
<https://www.scribd.com/document/876280711/Pedoman-Interpretasi-Koefisien-Determinasi-Dengan-Sugiyono?>
- Tambaru, E. 2024. Analisis Morfologi, Faktor Lingkungan dan Klorofil Daun *Cassia fistula L.* dan *Bauhinia acuminata L.* di Hutan Kota Universitas Hasanuddin. *Jurnal Ilmu Alam dan Lingkungan*, 15, 15–22.
- Tran, X., Antille, N., Devezeaux De Lavergne, M., Moccand, C., dan Labbe, D. 2024. Impact of Visual Cues on Consumers' Freshness Perception of Prepared Vegetables. *Foods*, 13(20), 3342.
- Tsai, A. Y.-L., McGee, R., Dean, G. H., Haughn, G. W., dan Sawa, S. 2021. Seed Mucilage: Biological Functions and Potential Applications in Biotechnology. *Plant and Cell Physiology*, 62(12), 1847–1857.
- Ulfa, S. W., Rahmah, S., Putri, P. K., Hasibuan, F. P., dan Gea, S. H. 2024. Identifikasi Hubungan Kekerasan Fenetik Pada Jambu Biji Melalui Pendekatan Morfologi di Laut Dendang. *Indonesian Journal of Multidisciplinary Scientific Studies*, 2(1), 46- 51.
- Wahyuni, S., dan Afidah, M. 2022. Studi Morfologi Organ Vegetatif dan Generatif Varietas Jambu Kristal (*Psidium guajava L.*). *Jurnal Pendidikan Biologi*, 9(1), 103-113.

- Waluyo, S., Oktavia, S., Widodo, E., dan Zulferiyenni. 2021. *Thermal Image Method to Detect Fruit Maturity of "Red" Guava (Psidium guajava L.)*. Lampung: Universitas Lampung.
- Wibowo, A., Hermanto, D. M. C., Lestari, K. I., dan Wijoyo, H. 2021. Deteksi Kematangan Buah Jambu Kristal Berdasarkan Fitur Warna Menggunakan Metode Transformasi Ruang Warna HSV (Hue Saturation Value) dan K-Nearest Neighbor. *Journal of Informatics and Computer Science Engineering*, 1(2), 76–88.
- Widodo, S. E., Waluyo, S., Karyanto, A., Zulferiyeni, Z., Febrianingrum, N., Latansya, R., dan Putri, M. D. 2023. Aplikasi Thermal Image Pendeteksi Tingkat Kematangan Buah Pisang Dan Apokat. *Jurnal Agrotek Tropika*, 11(2), 165.
- Wijethunga, W. M. U. D., Shin, M. H., Jayasooriya, L. S. H., Kim, G. H., Park, K. M., Cheon, M. G., Choi, S. W., Kim, H. L., dan Kim, J. G. 2023. Evaluation of Fruit Quality Characteristics in 'Irwin' Mango Grown via Forcing Cultivation in a Plastic Facility. *Horticultural Science and Technology*, 41(6), 617–633.
- Wisnu, B. 2010. *Teknologi Penanganan Pasca Panen*. Bogor: Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Pascapanen Pertanian.
- Yahaya, O. K. M., MatJafri, M. Z., Aziz, A. A., dan Omar, A. F. 2014. Non-destructive quality evaluation of fruit by color based on RGB LEDs System. *International Conference on Electronic Design*, 230–233.
- Yahia, E. M., Contreras-Padilla, M., dan Gonzalez-Aguilar, G. 2001. Ascorbic Acid Content in Relation to Ascorbic Acid Oxidase Activity and Polyamine Content in Tomato and Bell Pepper Fruits During Development, Maturation and Senescence. *Food Science and Technology*, 34(7), 452–457.
- Yanto, B., Kartawidjaja, M. A., dan Sukwadi, R. 2024. Penerapan Algoritma Hue Saturation Intensity (HIS) dengan Ruang Warna Red, Green, Blue (RGB) dan Implementasi Aplikasi Kematangan Buah Tomat. *Jurnal Praktik Keinsinyuran*, 1(1), 33–40.
- Zheng, X., Yuan, Y., Huang, B., Hu, X., Tang, Y., Xu, X., Wu, M., Gong, Z., Luo, Y., Gong, M., Gao, X., Wu, G., Zhang, Q., Zhang, L., Chan, H., Zhu, B., Li,

Z., Ferguson, L., dan Deng, W. 2022. Control of Fruit Softening and Ascorbic Acid Accumulation by Manipulation of SLIMP3 in Tomato. *Plant Biotechnology Journal*, 20(6), 1213–1225.