

**KLASIFIKASI KUALITAS BUAH MANGGA
MENGUNAKAN BAYESIAN NEURAL NETWORK
BERBASIS FITUR MULTIMODAL
SKRIPSI**

Diajukan Guna Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Komputer (S. Kom.)
Pada Program Studi Teknik Informatika.



Disusun Oleh :

Syailendra Julian Wicaksono

NPM : 2213020202

**FAKULTAS TEKNIK DAN ILMU KOMPUTER
UNIVERSITAS NUSANTARA PGRI KEDIRI
2026**

Skripsi Oleh :

Syailendra Julian Wicaksono
NPM : 2213020202

Judul :

**KLASIFIKASI KUALITAS BUAH MANGGA
MENGUNAKAN BAYESIAN NEURAL NETWORK
BERBASIS FITUR MULTIMODAL**

Telah Disetujui Untuk Diajukan Kepada Panitia Ujian/Sidang Skripsi
Program Studi Teknik Informatika Fakultas Teknik dan Ilmu Komputer
Universitas Nusantara PGRI Kediri

Tanggal : 18 Juni 2026

Pembimbing I

Pembimbing II



Wahyu Cahyo Utomo. S.Kom., M.Cs
NIDN 0713059502



Danang Wahyu Widodo, S.P. M.Kom
NIDN 0720117501

Skripsi oleh:

Syailendra Julian Wicaksono

NPM : 2213020202

Judul:

**KLASIFIKASI KUALITAS BUAH MANGGA
MENGUNAKAN BAYESIAN NEURAL NETWORK
BERBASIS FITUR MULTIMODAL**

Telah dipertahankan di depan Panitia Ujian/Sidang Skripsi
Program Studi Teknik Informatika Fakultas Teknik dan Ilmu Komputer
Universitas Nusantara PGRI Kediri
Pada tanggal : 16 Juli 2026

Dan Dinyatakan telah Memenuhi Syarat

Panitia Penguji :

1. Ketua : Wahyu Cahyo Utomo. S.Kom., M.Cs
2. Penguji I : Julian Sahertian, S.Pd, M.T
3. Penguji II : Danang Wahyu Widodo, S.P. M.Kom



Mengetahui,
Dekan FTIK

Dr. Sulistiono, M.Si
NIDN 0007076801

HALAMAN PERNYATAAN

Yang bertanda tangan dibawah ini saya,

Nama : Syailendra Julian Wicaksono
Jenis Kelamin : Laki-Laki
Tempat/Tgl Lahir : Kediri/ 27 Juli 2003
NPM : 2213020202
Fakultas/Prodi : Teknik dan Ilmu Komputer/ Teknik Informatika

Menyatakan dengan sebenarnya, bahwa dalam Skripsi ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di suatu perguruan tinggi, dan sepanjang pengetahuan saya tidak dapat karya tulis atau pendapat yang pernah diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara sengaja dan tertulis diacu dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar pustaka

Kediri, 18 Juni 2026
Yang menyatakan



Syailendra Julian Wicaksono
NPM : 2213020202

HALAMAN PERSEMBAHAN

Penulisan Skripsi ini dengan tulus saya dedikasikan kepada:

1. Kedua orang tua saya, yang dengan penuh kesabaran senantiasa mendoakan, memberikan dukungan terbaik, serta menjadi sumber motivasi tak henti-hentinya dalam perjalanan menyelesaikan skripsi ini.
2. Adik-adik saya, yang selalu memberikan semangat dan dukungan moral, sehingga saya dapat menyelesaikan proses ini dengan baik.
3. Seluruh dosen Universitas Nusantara PGRI Kediri, yang telah memberikan bimbingan, ilmu, dan pelajaran berharga, baik dalam ranah akademik maupun kehidupan sehari-hari.
4. Teman-teman seperjuangan di kampus, yang menjadi tempat berbagi suka dan duka, serta saling menyemangati selama menjalani masa perkuliahan hingga tahap akhir ini.
5. Almamater tercinta, Universitas Nusantara PGRI Kediri, yang telah menjadi tempat saya tumbuh, belajar, dan mengembangkan diri selama masa perkuliahan.
6. Semua pihak yang tidak dapat saya sebutkan satu per satu, yang telah memberikan kontribusi dalam berbagai bentuk dukungan selama proses penyusunan skripsi ini.

Semoga dedikasi ini dapat menjadi penghormatan atas semua dukungan, doa, dan kebersamaan yang telah diberikan.

HALAMAN MOTTO

"Sesungguhnya bersama kesulitan ada kemudahan." -- *QS. Al-Insyirah: 6*

“Jangan takut memulai, kita tidak pernah tau apa yang tersimpan untuk kita di esok hari”

"If I have seen further, it is by standing on the shoulders of giants." -- **Isaac Newton**

RINGKASAN

Syailendra Julian Wicaksono. *Implementasi Sistem Grading Kualitas Buah Mangga Menggunakan Bayesian Neural Network Berbasis Fusi Fitur Citra dan Sensor Gas*, Skripsi, Program Studi Teknik Informatika, Fakultas Teknik dan Ilmu Komputer, Universitas Nusantara PGRI Kediri, 2026.

Kata Kunci : *Grading Mangga, Bayesian Neural Network (BNN), MobileNetV2, Principal Component Analysis (PCA), Sensor MQ-135.*

Penelitian ini bertujuan mengembangkan sistem grading kualitas buah mangga berbasis multimodal dengan menggabungkan fitur citra dan sensor gas menggunakan *Bayesian Neural Network* (BNN). Sistem dibangun menggunakan sensor MQ-135 untuk memperoleh nilai *delta gas*, OpenCV untuk mengekstraksi fitur area dan *hue median*, *pretrained MobileNetV2* untuk memperoleh fitur visual yang kemudian direduksi menggunakan *Principal Component Analysis* (PCA), serta antarmuka berbasis Next.js. Hasil penelitian menunjukkan bahwa seluruh modul sistem berhasil diimplementasikan dan berfungsi sesuai dengan perancangan. Pengujian nonfungsional menunjukkan konfigurasi terbaik diperoleh pada *learning rate* 0,01, *epoch* 200, dan optimizer NAdam dengan akurasi mencapai 93%, sedangkan pengujian *5-Fold Cross Validation* menghasilkan rata-rata akurasi sebesar 93,75%. Dengan demikian, sistem yang dikembangkan mampu melakukan grading kualitas buah mangga secara otomatis, objektif, dan konsisten dengan memanfaatkan integrasi fitur visual dan sensor gas.

PRAKATA

Puji Syukur dipanjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, karena atas ridha dan karunianya peneliti dapat menyelesaikan penyusunan laporan penelitian ini. Penulisan ini juga tak lepas dari dukungan pihak yang selalu membantu dalam penulisan penelitian ini. Oleh karenanya peneliti ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Dr. Zainal Afandi, M.Pd. Selaku Rektor Universitas Nusantara PGRI Kediri, yang selalu memberikan dorongan motivasi kepada mahasiswa.
2. Dr. Sulistiono, M.Si. Selaku Dekan Fakultas Teknik dan Ilmu Komputer yang selalu memberikan dukungan moral kepada mahasiswa.
3. Risa Helilintar, M.Kom. Ketua Program Studi Teknik Informatika yang selalu memberikan arahan kepada mahasiswa.
4. Wahyu Cahyo Utomo, S.kom., M.Cs. dan Danang Wahyu Widodo, S.P., M.kom. Selaku Dosen Pembimbing Skripsi yang telah dan mengarahkan kami selama mengerjakan skripsi.
5. Kedua Orang Tua saya dan Keluarga atas doa dan dukungannya.
6. Ucapan Terima Kasih juga disampaikan kepada pihak-pihak lain yang tidak dapat disebutkan satu persatu, yang telah banyak menyelesaikan proposal skripsi ini.

Disadari bahwa penelitian ini masih banyak kekurangan, maka diharapkan tegur, kritik, dan saran-saran dari berbagai pihak sangat diharapkan. Disertai harapan semoga penelitian ini ada manfaat bagi kita semua, khususnya bagi dunia pendidikan .

Kediri, 16 Juli 2026



Syailendra Julian Wicaksono
NPM : 2213020202

DAFTAR ISI

HALAMAN SAMPUL..... i

HALAMAN PERSEMBAHAN ii

HALAMAN MOTTO vi

RINGKASAN vii

PRAKATA..... viii

DAFTAR ISI..... ix

DAFTAR TABEL xi

DAFTAR GAMBAR xii

DAFTAR LAMPIRAN xiii

BAB I 1

 A. Latar Belakang..... 1

 B. Identifikasi Masalah 2

 C. Rumusan Masalah..... 3

 D. Batasan Masalah 3

 E. Tujuan Penelitian..... 4

 F. Manfaat Penelitian 4

BAB II 6

 A. Teori dan Penelitian Terdahulu 6

 1. Landasan Teori 6

 2. Kajian Pustaka 17

 B. Kerangka Berpikir 20

BAB III..... 20

 A. Desain Penelitian 20

 B. Instrumen Penelitian 22

 C. Tempat dan Jadwal Penelitian 24

 D. Objek / Subjek Penelitian 24

 E. Prosedur Penelitian 30

 F. Teknik Analisis Data 32

BAB IV.....	52
A. Hasil Penelitian.....	52
B. Pembahasan	78
BAB V.....	89
A. Kesimpulan	89
B. Saran	89
DAFTAR PUSTAKA	91
LAMPIRAN.....	94

DAFTAR TABEL

Tabel 3. 1 Jadwal Penelitian24

Tabel 3. 2 Bentuk Data Input CNN..... 44

Tabel 3. 3 Bentuk Data Input Sensor 1..... 45

Tabel 4. 1 Pengujian Fungsional Sistem 63

Tabel 4. 2 Distribusi Dataset..... 65

Tabel 4. 3 Hasil Pengujian Learning Rate dan Epoch 68

Tabel 4. 4 Hasil Pengujian Optimizer 70

Tabel 4. 5 Hasil K-Fold Cross Validation 72

Tabel 4. 6 Classification Report..... 76

Tabel 4. 7 Analisis Uncertainty 77

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Arsitektur CNN..... 10

Gambar 2. 2 Arsitektur MobileNetV2 12

Gambar 2. 3 Arsitektur BNN..... 14

Gambar 2. 4 Kerangka Berpikir 20

Gambar 3. 1 Diagram Waterfall..... 30

Gambar 3. 2 DFD Level 0..... 33

Gambar 3. 3 DFD Level 1..... 35

Gambar 3. 4 Diagram Dekomposisi 36

Gambar 3. 5 Flowchart..... 39

Gambar 3. 6 ERD..... 41

Gambar 3. 7 User Interface 43

Gambar 4. 1 Desain Perangkat Mikrokontroler..... 53

Gambar 4. 2 Proses Pengiriman Data Sensor ke Server..... 55

Gambar 4. 3 Arsitektur Modul Sistem Cerdas 56

Gambar 4. 4 Proses Ekstraksi dan Pembentukan Vektor Fitur..... 58

Gambar 4. 5 Halaman Utama Sistem 59

Gambar 4. 6 Hasil Prediksi Grade Mangga..... 60

Gambar 4. 7 Keterkaitan Antar Modul Sistem..... 61

Gambar 4. 8 Proses Pembentukan Dataset Fitur..... 67

Gambar 4. 9 Learning Curve Model BNN 72

Gambar 4. 10 Confusion Matrix Model BNN..... 74

Gambar 4. 11 Grafik perbandingan Epoch & Learning Rate 81

Gambar 4. 12 Grafik perbandingan Optimizer 82

Gambar 4. 13 Grafik Uncertainty terhadap Epoch & Learning Rate..... 84

Gambar 4. 14 Grafik Uncertainty terhadap Optimizer 85

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. 1 Berita Acara..... 94

Lampiran 1. 2 Berita Acara..... 95

Lampiran 1. 3 Surat Bebas Similiarity..... 96

Lampiran 1. 4 Hasil Turnitin 97

Lampiran 1. 5 Hasil Turnitin 98

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Buah mangga (*Mangifera indica* L.) merupakan salah satu komoditas tropis unggulan di Indonesia dengan nilai ekonomi yang tinggi serta tingkat konsumsi yang luas di masyarakat. Selain memiliki cita rasa khas, mangga juga berperan penting dalam memenuhi kebutuhan nutrisi masyarakat karena mengandung vitamin C, folat, magnesium, dan serat dalam jumlah tinggi (Fulgoni & Fulgoni, 2024).

Selama ini, proses penentuan *Grade* mangga di tingkat petani dan pedagang masih dilakukan secara manual oleh tenaga ahli berdasarkan pengamatan visual dan pengalaman. Pendekatan manual tersebut bersifat subjektif dan sangat bergantung pada penilaian individu, sehingga berpotensi menghasilkan inkonsistensi dalam penentuan *Grade* antar operator. Ketidakkonsistenan tersebut dapat berdampak pada penurunan standar kualitas produk yang sampai ke konsumen, kerugian ekonomi bagi petani, serta rendahnya daya saing produk mangga di pasar ekspor. Oleh karena itu, diperlukan suatu sistem yang mampu melakukan penilaian *Grade* kualitas mangga secara otomatis, objektif, dan terukur.

Berbagai pendekatan telah dikembangkan untuk mengatasi masalah tersebut. Beberapa penelitian terdahulu menggunakan sensor gas seperti MQ-135, yang mampu mendeteksi senyawa volatil organik (VOC) seperti amonia, etanol, dan karbon dioksida yang dihasilkan selama proses pematangan buah. Senyawa ini berperan sebagai indikator biologis perubahan fisiologis buah. Hasil penelitian menunjukkan bahwa perubahan konsentrasi gas dari sensor MQ-135 memiliki korelasi signifikan terhadap tingkat kematangan buah pisang dan mangga. Ketika dikombinasikan dengan *Deep Convolutional Neural Network* (DCNN), dapat mencapai akurasi hingga 97% dalam mengklasifikasi

Grade, peach, dan pisang (Gong dkk., 2025). Di sisi lain, kuantisasi ketidakpastian (*uncertainty quantification, UQ*) menjadi penting untuk meningkatkan keandalan sistem berbasis CNN (Hirimutugoda dkk., 2023). Dalam konteks inilah, *Bayesian Neural Network* (BNN) menawarkan solusi yang lebih adaptif karena mampu memberikan prediksi probabilistik beserta estimasi tingkat keyakinan model. Penelitian oleh (Ngartera dkk., 2024) menunjukkan bahwa BNN berhasil meningkatkan akurasi prediksi sekaligus memberikan estimasi *uncertainty* yang terukur pada kasus deteksi dini Alzheimer dan prediksi kadar glukosa darah, dua permasalahan yang juga melibatkan data kompleks dan sangat bervariasi. Sementara itu, (Zhao & Um, 2021) mengemukakan potensi BNN dalam pemodelan pertanian presisi, khususnya untuk mengatasi variabilitas data lingkungan yang dinamis.

Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini mengembangkan sistem klasifikasi *Grade* kualitas mangga secara multimodal menggunakan kombinasi pengolahan citra berbasis CNN MobileNetV2, reduksi dimensi PCA, data sensor gas MQ-135 berbasis ESP32, serta model klasifikasi Bayesian Neural Network. Sistem yang dikembangkan diharapkan mampu menggantikan proses penentuan *Grade* mangga secara manual dengan pendekatan yang lebih objektif, konsisten, dan dapat diimplementasikan secara praktis.

B. Identifikasi Masalah

1. Penentuan *Grade* buah mangga secara konvensional masih bergantung pada pengamatan visual dan pengalaman petani, sehingga bersifat subjektif dan kurang konsisten.
2. Belum terdapat pendekatan multimodal yang mengintegrasikan data visual (citra buah) dengan data numerik untuk menghasilkan klasifikasi *Grade* yang objektif, probabilistik, dan real-time.

C. Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian di atas, rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana merancang dan mengimplementasikan sistem multimodal yang mampu mengklasifikasikan *Grade* kualitas buah mangga secara otomatis berdasarkan data citra dan data sensor gas?
2. Bagaimana performa model Bayesian Neural Network dalam mengklasifikasikan *Grade* mangga berdasarkan kombinasi fitur area, hue median, delta gas, dan fitur MobileNetV2 hasil reduksi PCA?

D. Batasan Masalah

Agar penelitian ini terarah dan sesuai dengan tujuan yang ingin dicapai, maka ditetapkan beberapa batasan masalah sebagai berikut:

1. Penelitian ini difokuskan pada buah mangga varietas Arumanis sebagai objek utama penelitian.
2. Objek penelitian adalah buah mangga yang diklasifikasikan ke dalam tiga kelas *Grade*, yaitu *Grade A*, *Grade B*, dan *Grade C*.
3. Data sensor gas diperoleh menggunakan sensor MQ-135 yang terhubung dengan mikrokontroler ESP32 dalam sebuah chamber tertutup.
4. Fitur yang digunakan sebagai masukan model terdiri atas empat fitur, yaitu luas objek (area), nilai hue median, nilai delta gas, dan fitur MobileNetV2 hasil reduksi PCA.
5. Model *deep learning* yang digunakan untuk ekstraksi fitur visual adalah MobileNetV2, sedangkan *Bayesian Neural Network* (BNN) digunakan sebagai model pengambil keputusan akhir berbasis probabilitas.

E. Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah:

1. Merancang dan mengimplementasikan sistem multimodal yang mengintegrasikan data citra dan data sensor gas untuk mengklasifikasikan *Grade* kualitas buah mangga secara otomatis.
2. Mengevaluasi performa model Bayesian Neural Network dalam mengklasifikasikan *Grade* mangga berdasarkan kombinasi fitur area, hue median, delta gas, dan fitur MobileNetV2 hasil reduksi PCA.

F. Manfaat Penelitian

Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut:

1. Manfaat Teoretis

Secara teoretis, penelitian ini memberikan kontribusi ilmiah dalam beberapa aspek, yaitu:

- a. Memberikan kontribusi ilmiah terhadap pengembangan metode klasifikasi *Grade* buah berbasis multimodal, dengan menggabungkan data visual dan numerik.
- b. Menunjukkan penerapan *Bayesian Neural Network* (BNN) di bidang pertanian, khususnya dalam penanganan ketidakpastian hasil prediksi.
- c. Menambah referensi penelitian dalam bidang *computer vision* dan *machine learning* untuk aplikasi non-destruktif pada komoditas pertanian.

2. Manfaat Praktis

Secara praktis, penelitian ini diharapkan memberikan manfaat langsung bagi implementasi sistem penilaian kualitas buah, yaitu:

- a. Menghasilkan sistem yang dapat mendeteksi *Grade* buah mangga secara objektif, real-time, dan non-destruktif.

- b. Meningkatkan akurasi dan konsistensi penilaian mutu buah mangga dibandingkan metode konvensional berbasis pengamatan visual.
- c. Menjadi dasar pengembangan sistem pertanian cerdas (*smart agriculture*) yang dapat diterapkan di lapangan untuk meningkatkan efisiensi panen dan pengelolaan rantai pasok.

DAFTAR PUSTAKA

- Arwatchananukul, S., Wongsawat, S., Chaiwong, S., Chen, M., & Saengrayap, R. (2025). Automated Physical Feature Extraction of Namdokmai Sithong Mangoes Using YOLOv8 and Image Processing Techniques. *AgriEngineering*, 7(9), 312. <https://doi.org/10.3390/AGRIENGINEERING7090312/S1>
- Azizah, N., Budiarti, E., Wahyu Prima, K., Hutagalung, C. A., Budiarti, N. A. E., Prima, K. W., & Morphological, ". (2025). Morphological-Based Analysis for Fruit Shape and Size Estimation in Binary Image Processing. *Journal of Embedded Systems, Security and Intelligent Systems*, 6(2), 230–239. <https://doi.org/10.59562/JESSI.V6I2.9248>
- Chicco, D., & Jurman, G. (2020). The advantages of the Matthews correlation coefficient (MCC) over F1 score and accuracy in binary classification evaluation. *BMC Genomics*, 21(1). <https://doi.org/10.1186/S12864-019-6413-7>
- Colaco, L., & Kamat, P. (2025a). Artificial intelligence advances for cashew fruit maturity and quality detection: a systematic review on models, sensors, and farming applications. *Journal of Big Data*, 12(1), 250. <https://doi.org/10.1186/s40537-025-01296-2>
- Diaz Blasco, F. J., Viciano-Tudela, S., Parra, L., Ahmad, A., Chaloupková, V., Bados, R., Esteban Pascual, L. S., Mediavilla, I., Sendra, S., & Lloret, J. (2024). Employment of MQ gas sensors for the classification of Cistus ladanifer essential oils. *Microchemical Journal*, 206, 111585. <https://doi.org/10.1016/j.microc.2024.111585>
- Fulgoni, K., & Fulgoni, V. L. (2024). Mango Consumption Was Associated with Higher Nutrient Intake and Diet Quality in Women of Childbearing Age and Older Adults. *Nutrients*, 16(2). <https://doi.org/10.3390/NU16020303>
- Gong, Z., Zhi, Z., Zhang, C., Cao, D., Gong, Z., Zhi, Z., Zhang, C., & Cao, D. (2025). Non-Destructive Detection of Soluble Solids Content in Fruits: A Review. *Chemistry 2025*, Vol. 7, 7(4). <https://doi.org/10.3390/CHEMISTRY7040115>
- Hirimutugoda, Y. M., Silva, T. P., & Wagarachchi, N. M. (2023). Handling the predictive uncertainty of convolutional neural network in medical image analysis: a review. *Journal of Medical Artificial Intelligence*, 6(0). <https://doi.org/10.21037/JMAI-23-40/COIF>
- Luque, A., Mazzoleni, M., Carrasco, A., & Ferramosca, A. (2022). Visualizing Classification Results: Confusion Star and Confusion Gear. *IEEE Access*, 10, 1659–1677. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3137630>

- Martínez, A., Hernández, A., Arroyo, P., Lozano, J., Córdoba, M. de G., & Martín, A. (2025). Early Detection of *Monilinia laxa* in Yellow-Fleshed Peach Using a Non-Destructive E-Nose Approach. *Foods*, 14(18), 3155. <https://doi.org/10.3390/foods14183155>
- Ngartera, L., Issaka, M. A., Nadarajah, S., Ngartera, L., Issaka, M. A., & Nadarajah, S. (2024). Application of Bayesian Neural Networks in Healthcare: Three Case Studies. *Machine Learning and Knowledge Extraction* 2024, Vol. 6, Pages 2639-2658, 6(4), 2639–2658. <https://doi.org/10.3390/MAKE6040127>
- Nithya, R., Santhi, B., Manikandan, R., Rahimi, M., & Gandomi, A. H. (2022). Computer Vision System for Mango Fruit Defect Detection Using Deep Convolutional Neural Network. *Foods*, 11(21), 3483. <https://doi.org/10.3390/foods11213483>
- Nong, W., He, Y., Wang, J., Xiong, T., Xu, Y., Zhao, W., Gao, L., Chen, X., Yu, L., Yang, M., Zheng, Y., & Huang, F. (2025). *Effects of harvest maturity on microbial community composition, enzyme activities, and phenolic acids in upper tobacco leaves after curing*.
- Roh, Y. H., Choi, I.-L., Lee, J. H., Kwon, Y. B., Yoon, H. S., Jeong, H. N., & Kang, H.-M. (2025). Physiological Responses and Determination of Harvest Maturity in ‘Daehong’ Peach According to Days After Full Bloom. *Horticulturae*, 11(9), 1013. <https://doi.org/10.3390/horticulturae11091013>
- Sanislav, T., Mois, G. D., Zeadally, S., Folea, S., Radoni, T. C., Al-Suhaimi, E. A., Sanislav, T., Mois, G. D., Zeadally, S., Folea, S., Radoni, T. C., & Al-Suhaimi, E. A. (2025). A Comprehensive Review on Sensor-Based Electronic Nose for Food Quality and Safety. *Sensors* 2025, Vol. 25, 25(14). <https://doi.org/10.3390/S25144437>
- Santoso, K. A., Kamsyakawuni, A., & Izza, S. V. R. (2024). Comparison Classification Of Tomatoes Ripeness Based On RGB, HSV And CMYK Colors Based On Correlation Coefficient. *Journal of Computers and Digital Business*, 3(3), 112–120. <https://doi.org/10.56427/JCBD.V3I3.410>
- Sembiring, N. B., & Fakhriza, M. (2025). Image Classification of Red Dragon Fruit Ripeness Levels Using HSV Color Moments and the K-NN Algorithm. *Journal of Applied Informatics and Computing*, 9(4), 1793–1799. <https://doi.org/10.30871/JAIC.V9I4.10206>
- Xu, J. L., Xu, B. W., Zhang, W. F., & Cui, Z. F. (2008). Principal component analysis based feature selection for clustering. *Proceedings of the 7th International Conference on Machine Learning and Cybernetics, ICMLC*, 1, 460–465. <https://doi.org/10.1109/ICMLC.2008.4620449>

- Yuliyanti, S., Sulastri, H., & Sakifah. (2026). Principal Component Analysis-Driven Feature Reduction for Predicting Coffee Quality Using a Machine Learning Approach. *International Journal of Applied Sciences and Smart Technologies*, 8(1), 183–202. <https://ejournal.usd.ac.id/index.php/ijasst/article/view/750>
- Zaman, W., Siddique, M. F., Khan, S. U., & Kim, J.-M. (2025). A new dual-input CNN for multimodal fault classification using acoustic emission and vibration signals. *Engineering Failure Analysis*, 179, 109787. <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2025.109787>
- Zhang, H., Zhang, K., Zhao, X., Bi, M., Liu, Y., Wang, S., He, Y., Ma, K., & Qi, M. (2024). Galactinol synthase 2 influences the metabolism of chlorophyll, carotenoids, and ethylene in tomato fruits. *Journal of Experimental Botany*, 75(11), 3337–3350. <https://doi.org/10.1093/JXB/ERA121>
- Zhao, L., & Um, D. (t.t.). *Precision Agriculture Based on Bayesian Neural Network*.