

OPTIMISASI MODEL DEEP LEARNING UNTUK KLASIFIKASI BUAH PISANG BARANGAN MENGGUNAKAN TEKNIK DATA AUGMENTATION**Nazwa Cahya Kamila¹, Muhammad Dede Fitriawan², Ernisa³, Muh.Rasyid Ridha⁴**¹⁻⁴Sistem Informasi, Fakultas Ilmu dan Teknik Komputer, Universitas Islam Indragiri,
Email: cahyacahyakamilao@gmail.com¹, dedeacc1122@gmail.com², ernisa20@gmail.com³,
rasyid4sky@gmail.com⁴**ABSTRAK**

Penentuan tingkat kematangan buah pisang secara manual masih banyak dilakukan berdasarkan pengamatan visual sehingga bersifat subjektif dan berpotensi menimbulkan kesalahan dalam proses sortasi maupun pemasaran. Penelitian ini bertujuan untuk mengoptimisasi model deep learning dalam klasifikasi buah pisang barangan menggunakan teknik data augmentation. Metode penelitian yang digunakan adalah metode eksperimen yang meliputi pengumpulan dataset citra buah pisang dari berbagai sudut pengambilan gambar dan kondisi pencahayaan, tahap preprocessing berupa resize citra menjadi 224×224 piksel dan normalisasi data, penerapan teknik data augmentation seperti rotasi, horizontal flipping, zoom, dan brightness adjustment, serta pelatihan model menggunakan arsitektur Convolutional Neural Network (CNN). Proses pelatihan model dilakukan selama 10 epoch dan menghasilkan nilai accuracy sebesar 25% dengan nilai loss akhir sebesar 1,3414. Hasil pengujian menunjukkan bahwa model mampu melakukan proses klasifikasi terhadap citra buah pisang, namun performa yang dihasilkan masih belum optimal karena keterbatasan jumlah dataset yang digunakan. Penerapan teknik data augmentation memberikan variasi data pelatihan yang lebih beragam sehingga dapat membantu proses pembelajaran model terhadap karakteristik visual objek. Berdasarkan hasil penelitian, optimisasi model deep learning menggunakan teknik data augmentation menunjukkan potensi untuk mendukung proses klasifikasi buah pisang barangan secara otomatis. Namun demikian, diperlukan penambahan jumlah dataset dan optimasi model lebih lanjut agar tingkat akurasi klasifikasi dapat ditingkatkan pada penelitian selanjutnya.

Kata Kunci: Deep Learning, Klasifikasi Citra, Buah Pisang Barangan, Data Augmentation, Convolutional Neural Network (CNN)

ABSTRACT

This study addresses the limitations of manual banana classification, which is commonly performed through visual observation and is often subjective, leading to inconsistencies in sorting and marketing processes. The research aims to optimize a deep learning model for Barangan banana classification using data augmentation techniques. An experimental method was employed, including image dataset collection under various lighting conditions and viewing angles, image preprocessing through resizing to 224×224 pixels and normalization, implementation of data augmentation techniques such as rotation, horizontal flipping, zooming, and brightness adjustment, and model training using a Convolutional Neural Network (CNN) architecture. The model was trained for 10 epochs and achieved an accuracy of 25% with a final loss value of 1.3414. Testing results indicate that the model was able to perform image classification; however, its performance remains limited due to the small dataset used in this study. Data augmentation provided additional variations in training data and supported the learning process of visual object characteristics. The findings suggest that deep learning optimization with data augmentation has potential for automatic banana classification, although further improvements through larger datasets and model optimization are required to enhance classification performance.

Keywords: Deep Learning, Image Classification, Barangan Banana, Data Augmentation, Convolutional Neural Network (CNN)

1 PENDAHULUAN

Buah pisang merupakan salah satu komoditas pertanian yang sangat populer di Indonesia karena mudah ditemukan dan memiliki nilai gizi tinggi, serta banyak dikonsumsi oleh masyarakat dari berbagai kalangan. Selain dikonsumsi secara langsung, pisang juga menjadi bahan utama dalam berbagai produk olahan seperti keripik, kue, dan makanan tradisional lainnya. Dalam proses distribusi dan pemasaran, tingkat kematangan buah pisang menjadi faktor yang sangat menentukan kualitas, rasa, serta harga jual. Pisang yang masih mentah cenderung memiliki rasa sepat dan tekstur keras, sedangkan pisang yang terlalu matang atau busuk akan menurunkan kualitas produk dan mengurangi minat konsumen[1].

Fenomena yang terjadi di lapangan menunjukkan bahwa proses penentuan tingkat kematangan pisang masih banyak dilakukan secara manual dengan mengandalkan pengamatan visual manusia, terutama berdasarkan warna kulit pisang. Cara ini memang sederhana, namun memiliki kelemahan karena bersifat subjektif dan tidak konsisten. Perbedaan persepsi antar individu sering menyebabkan hasil penilaian yang berbeda-beda, terlebih jika perubahan tingkat kematangan tidak terlalu signifikan. Kesalahan dalam mengklasifikasikan kematangan dapat menyebabkan kerugian ekonomi, seperti buah yang seharusnya dijual cepat namun terlambat dipasarkan hingga membusuk, atau buah mentah yang terlanjur dijual sehingga menurunkan kepuasan konsumen[2].

Seiring perkembangan teknologi, bidang kecerdasan buatan (Artificial Intelligence) khususnya deep learning mulai banyak diterapkan dalam pengolahan citra digital. Salah satu metode deep learning yang efektif untuk pengenalan pola pada gambar adalah Convolutional Neural Network. CNN mampu mengekstraksi fitur visual secara otomatis, seperti warna, tekstur, dan bentuk objek, sehingga sangat cocok digunakan dalam klasifikasi citra buah. Dalam konteks penelitian ini, CNN dapat digunakan untuk mengklasifikasikan buah pisang berdasarkan karakteristik visual yang terdapat pada kategori mentah, mengkal, matang, dan busuk[3].

Namun, dalam penerapan deep learning terdapat kendala yang cukup umum, yaitu keterbatasan jumlah dataset citra. Model CNN membutuhkan data yang cukup banyak agar dapat belajar secara optimal dan menghasilkan akurasi tinggi. Dataset yang sedikit dapat menyebabkan model mengalami overfitting, yaitu model terlalu menyesuaikan diri dengan data latih namun kurang mampu mengenali data baru. Oleh karena itu, diperlukan strategi untuk meningkatkan variasi data tanpa harus mengumpulkan gambar dalam jumlah besar secara manual.[4]

Salah satu teknik yang dapat digunakan untuk mengatasi permasalahan tersebut adalah data augmentation. Teknik ini dilakukan dengan memodifikasi citra yang ada melalui rotasi, flipping, zoom, perubahan brightness, dan transformasi lainnya sehingga menghasilkan variasi data baru. Dengan adanya data augmentation, model CNN dapat dilatih menggunakan dataset yang lebih beragam sehingga meningkatkan kemampuan generalisasi serta performa klasifikasi[5].

Penelitian sebelumnya mengenai klasifikasi tingkat kematangan buah pisang telah dilakukan menggunakan metode Convolutional Neural Network (CNN) dan menunjukkan hasil akurasi yang cukup baik dalam mengenali tingkat kematangan buah berdasarkan citra digital. Namun, penelitian tersebut masih memiliki keterbatasan pada jumlah dataset sehingga diperlukan teknik data augmentation untuk meningkatkan performa model[6].

Berdasarkan permasalahan tersebut, penelitian ini dilakukan untuk mengoptimisasi model deep learning dalam klasifikasi buah pisang barangan menggunakan teknik data augmentation. Model deep learning yang digunakan dalam penelitian ini adalah Convolutional Neural Network (CNN) yang diterapkan untuk mengolah dan mengklasifikasikan citra buah pisang. Penelitian ini dianggap penting karena dapat menjadi alternatif penerapan teknologi kecerdasan buatan dalam proses klasifikasi buah secara otomatis. Selain itu, hasil penelitian diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam pengembangan sistem klasifikasi berbasis citra digital yang dapat dimanfaatkan oleh petani, pedagang, maupun pelaku industri untuk mendukung proses pengelolaan kualitas buah pisang barangan[7].

Penelitian mengenai klasifikasi buah berbasis citra digital telah berkembang pesat dalam beberapa tahun terakhir sebagai upaya untuk meningkatkan efisiensi proses sortasi dan menjaga kualitas produk pertanian. Pemanfaatan citra digital memungkinkan proses klasifikasi dilakukan secara otomatis sehingga dapat mengurangi subjektivitas yang sering terjadi pada pengamatan visual manusia [8].

Dalam klasifikasi buah pisang barangan, perubahan warna kulit buah merupakan salah satu karakteristik visual yang dapat digunakan untuk membedakan kategori buah. Oleh karena itu, sistem klasifikasi berbasis citra digital menjadi pendekatan yang relevan untuk mendukung proses identifikasi buah secara lebih efektif dan konsisten [9].

Salah satu metode deep learning yang banyak digunakan dalam pengolahan citra adalah Convolutional Neural Network (CNN). CNN memiliki kemampuan untuk mengekstraksi fitur visual secara otomatis melalui lapisan konvolusi dan pooling sehingga mampu mengenali pola warna, tekstur, dan bentuk objek dengan baik [10].

Meskipun demikian, performa CNN sangat dipengaruhi oleh jumlah dan variasi dataset yang digunakan. Dataset yang terbatas dapat menyebabkan overfitting sehingga model kurang mampu melakukan generalisasi terhadap data baru. Oleh karena itu, diperlukan strategi untuk meningkatkan variasi data pelatihan agar model dapat belajar secara lebih optima [11].

Salah satu teknik yang banyak digunakan untuk mengatasi keterbatasan dataset adalah data augmentation. Teknik ini dilakukan dengan menghasilkan variasi citra baru melalui proses rotasi, flipping, zoom, serta penyesuaian brightness sehingga dapat meningkatkan keragaman data dan membantu mengurangi risiko overfitting [12].

Berdasarkan uraian tersebut, penerapan CNN yang dikombinasikan dengan teknik data augmentation menjadi pendekatan yang relevan dalam optimisasi model deep learning untuk klasifikasi buah pisang barangan berbasis citra digital [13].

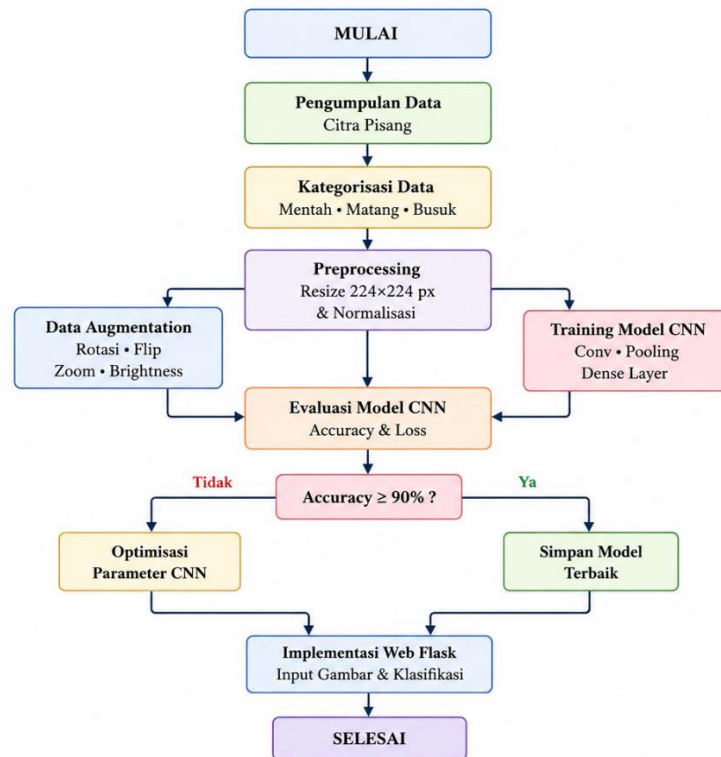
Tabel 1 Kategori Tingkat Kematangan Buah Pisang

Nomor	Kategori	Ciri Visual
1	Mentah	Kulit Hijau
2	Mengkal	Kulit Hijau Kekuningan
3	Matang	Kulit Kuning
4	Sangat Matang/Busuk	Kulit Kuning Kegelman

2 METODE PENELITIAN

Dalam penelitian ini digunakan metode eksperimen dengan pendekatan deep learning menggunakan algoritma Convolutional Neural Network (CNN) untuk mengklasifikasikan buah pisang barangan berdasarkan citra digital. Tahapan penelitian dilakukan mulai dari pengumpulan dataset, preprocessing citra, penerapan data augmentation, pelatihan model CNN, hingga implementasi sistem klasifikasi berbasis web menggunakan Flask [14].

Dataset yang digunakan berupa citra buah pisang barangan. Pada penelitian ini dataset dibagi ke dalam empat kategori, yaitu mentah, mengkal, matang, dan sangat matang atau busuk. Citra diperoleh menggunakan kamera smartphone dengan berbagai kondisi pencahayaan dan sudut pengambilan gambar. Pengambilan citra dilakukan dari berbagai sisi seperti tampak depan, samping, dan atas untuk menghasilkan variasi dataset yang lebih beragam sehingga model CNN dapat mengenali objek dalam berbagai posisi dan kondisi pencahayaan. Metode CNN dipilih karena mampu mengekstraksi fitur citra secara otomatis seperti warna, tekstur, dan bentuk objek. Dengan kemampuan tersebut, model CNN dapat digunakan untuk membedakan karakteristik visual pada setiap kategori buah pisang berdasarkan warna kulit, tekstur, dan tingkat kecerahan citra [15].



Gambar 1 Tahapan Penelitian

Selanjutnya dilakukan tahap preprocessing berupa *resize* gambar menjadi 224×224 piksel dan normalisasi data agar citra sesuai dengan input model CNN. Tahap ini dilakukan untuk menyeragamkan ukuran citra sehingga proses pelatihan model dapat berjalan dengan lebih optimal. Untuk meningkatkan jumlah dan variasi dataset digunakan teknik *data augmentation* seperti rotasi, *flipping*, *zoom*, dan perubahan *brightness*. Teknik ini digunakan untuk mengurangi *overfitting* dan meningkatkan kemampuan model dalam mengenali citra baru dengan kondisi yang berbeda-beda[16].

Dataset kemudian dibagi menjadi data training dan data validation sebelum dilakukan proses pelatihan model CNN. Model yang telah dilatih selanjutnya dievaluasi menggunakan nilai accuracy dan loss untuk mengetahui performa model dalam melakukan klasifikasi citra. Model hasil pelatihan kemudian disimpan dan diimplementasikan ke dalam sistem klasifikasi berbasis web menggunakan Flask[17].

3 HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada penelitian ini dilakukan optimisasi model deep learning berbasis Convolutional Neural Network (CNN) untuk klasifikasi buah pisang barangan menggunakan teknik data augmentation. Dataset yang digunakan terdiri dari empat kategori, yaitu mentah, mengkal, matang, dan busuk. Pengambilan citra dilakukan secara langsung menggunakan kamera smartphone di lingkungan pasar tradisional dengan berbagai kondisi pencahayaan dan sudut pengambilan gambar[18].

Pengambilan gambar dilakukan dari beberapa posisi seperti tampak depan, samping kanan, samping kiri, dan belakang. Variasi posisi pengambilan gambar bertujuan untuk meningkatkan keberagaman dataset sehingga model CNN dapat mengenali objek dalam berbagai kondisi visual[19]. Selain itu, penggunaan latar belakang pasar tradisional membuat dataset menjadi lebih realistis dan mendekati kondisi nyata saat proses distribusi dan penjualan buah dilakukan.

Berdasarkan hasil pengumpulan dataset, masing-masing kategori memiliki karakteristik visual yang berbeda. Perbedaan warna kulit, tekstur permukaan, dan tingkat perubahan warna menjadi

fitur utama yang digunakan model CNN dalam proses klasifikasi citra digital untuk menentukan pisang mentah, mengkal, matang, dan juga sangat matang atau busuk[15].

Model CNN yang digunakan terdiri dari beberapa lapisan utama yaitu input layer, convolution layer, max pooling layer, flatten layer, dan fully connected layer. Input layer berfungsi menerima citra digital berukuran 224×224 piksel yang telah melalui tahap preprocessing. Convolution layer digunakan untuk mengekstraksi fitur-fitur visual seperti warna, tekstur, dan bentuk objek. Max pooling layer berfungsi mengurangi dimensi fitur tanpa menghilangkan informasi penting. Selanjutnya, flatten layer mengubah hasil ekstraksi fitur menjadi bentuk vektor untuk diteruskan ke fully connected layer yang bertugas melakukan proses klasifikasi citra berdasarkan kategori buah pisang[20].

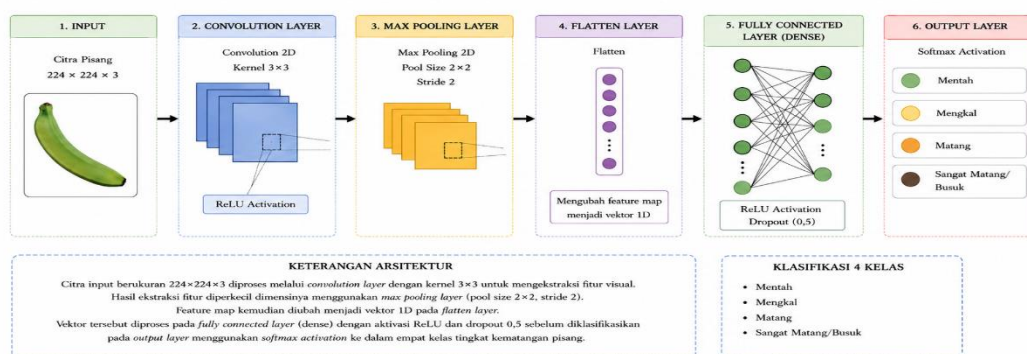
Tabel 2 Arsitektur CNN yang Digunakan

Nomor	Layer	Fungsi
1	Input Layer	Menerima citra berukuran 224×224 piksel
2		
3	Convolution Layer	Mengekstraksi fitur visual dari citra
4	Max Pooling Layer	Mengurangi dimensi fitur
5	Flatten Layer	Mengubah fitur menjadi bentuk vektor
	Fully Connected Layer	Melakukan proses klasifikasi citra

Model CNN yang digunakan terdiri dari beberapa lapisan utama yaitu input layer, convolution layer, max pooling layer, flatten layer, dan fully connected layer. Input layer berfungsi menerima citra digital berukuran 224×224 piksel yang telah melalui tahap preprocessing. Convolution layer digunakan untuk mengekstraksi fitur-fitur visual seperti warna, tekstur, dan bentuk objek. Max pooling layer berfungsi mengurangi dimensi fitur tanpa menghilangkan informasi penting. Selanjutnya, flatten layer mengubah hasil ekstraksi fitur menjadi bentuk vektor untuk diteruskan ke fully connected layer yang bertugas melakukan proses klasifikasi citra berdasarkan kategori buah pisang[21].

Arsitektur CNN tersebut digunakan untuk melakukan proses ekstraksi fitur dan klasifikasi citra buah pisang. Untuk meningkatkan variasi data pelatihan, penelitian ini menerapkan teknik data augmentation berupa rotasi, flipping, zoom, dan brightness adjustment. Teknik tersebut membantu model mempelajari karakteristik visual buah pisang pada berbagai kondisi citra.[22]

Arsitektur CNN yang digunakan dalam penelitian ini dirancang untuk mengklasifikasikan tingkat kematangan buah pisang barangan ke dalam empat kelas, yaitu mentah, mengkal, matang, dan sangat matang/busuk. Model terdiri dari beberapa lapisan utama, yaitu convolution layer, activation layer (ReLU), max pooling layer, flatten layer, fully connected layer (dense), dan output layer dengan fungsi aktivasi softmax. Rancangan arsitektur model ditunjukkan pada penjelasan berikut.



Arsitektur CNN pada penelitian ini dibangun dengan pendekatan sederhana namun efektif untuk mempelajari pola warna, tekstur, dan bentuk pada permukaan buah pisang yang berubah seiring proses kematangan. Model dioptimisasi menggunakan konfigurasi hyperparameter yang dijelaskan pada tabel konfigurasi hyperparameter.

Gambar 2 Arsitektur Model CNN untuk Klasifikasi Buah Pisang Barangan

Gambar 2 menunjukkan arsitektur Convolutional Neural Network (CNN) yang digunakan dalam penelitian. Arsitektur tersebut terdiri dari input layer, convolution layer, max pooling layer, flatten

layer, dan fully connected layer. Setiap lapisan memiliki fungsi yang berbeda dalam proses ekstraksi fitur dan klasifikasi citra. Melalui arsitektur ini, model dapat mempelajari karakteristik visual buah pisang berdasarkan warna, tekstur, dan bentuk objek sehingga dapat melakukan proses klasifikasi secara otomatis[23].

Arsitektur Convolutional Neural Network (CNN) pada penelitian ini dirancang untuk melakukan proses ekstraksi fitur secara hierarkis terhadap citra buah pisang barangan. Tahap awal dimulai pada input layer yang menerima citra berukuran 224×224 piksel hasil preprocessing. Selanjutnya, convolution layer berfungsi untuk mengekstraksi fitur-fitur lokal seperti pola warna, tekstur permukaan, dan bentuk objek melalui operasi konvolusi menggunakan kernel. Proses ini memungkinkan model untuk mengenali karakteristik visual buah pisang berdasarkan warna, tekstur, dan bentuk objek[24].

Hasil ekstraksi fitur kemudian diproses pada max pooling layer untuk melakukan reduksi dimensi feature map tanpa menghilangkan informasi penting, sehingga dapat meningkatkan efisiensi komputasi dan mengurangi kompleksitas model. Selanjutnya, flatten layer digunakan untuk mengubah representasi feature map dua dimensi menjadi vektor satu dimensi agar dapat diteruskan ke tahap klasifikasi. Pada tahap akhir, fully connected layer melakukan integrasi seluruh fitur hasil ekstraksi untuk menghasilkan keputusan klasifikasi citra ke dalam empat kategori buah pisang, yaitu mentah, mengkal, matang, dan busuk[25].

Arsitektur CNN tersebut digunakan untuk mempelajari karakteristik visual buah pisang berdasarkan warna, tekstur, dan tingkat kecerahan citra. Untuk meningkatkan variasi data pelatihan, penelitian ini menerapkan teknik data augmentation berupa rotasi, flipping, zoom, dan brightness adjustment. Teknik tersebut membantu model memperoleh variasi data yang lebih beragam sehingga dapat meningkatkan kemampuan model dalam mengenali objek pada berbagai kondisi citra[26].

Pengambilan gambar dilakukan dari beberapa posisi seperti tampak depan, samping kanan, samping kiri, dan belakang. Variasi posisi pengambilan gambar bertujuan untuk meningkatkan keberagaman dataset sehingga model CNN dapat mengenali objek dalam berbagai kondisi visual. Selain itu, penggunaan latar belakang pasar tradisional membuat dataset menjadi lebih realistis dan mendekati kondisi nyata saat proses distribusi dan penjualan buah dilakukan. Berdasarkan hasil pengumpulan dataset, masing-masing kategori memiliki karakteristik visual yang berbeda. Perbedaan warna kulit, tekstur permukaan, dan tingkat kecerahan citra menjadi fitur utama yang digunakan model CNN dalam proses klasifikasi citra digital untuk membedakan kategori pisang mentah, mengkal, matang, dan busuk[27].

Kategori pisang mentah memiliki ciri visual berupa warna kulit hijau terang dengan tekstur kulit yang masih padat dan segar. Pada kategori ini belum terlihat perubahan warna menuju kuning maupun bercak hitam pada permukaan kulit buah. Warna hijau menjadi karakteristik visual utama yang digunakan untuk membedakan kategori pisang mentah dari kategori lainnya[28].



Gambar 3 Dataset Pisang Barangan Kategori Mentah

Berdasarkan hasil pengamatan, citra pisang mentah menunjukkan dominasi warna hijau pada hampir seluruh bagian kulit buah. Selain warna, tekstur kulit yang masih halus dan bentuk buah yang tampak segar menjadi ciri utama kategori mentah. Model CNN mempelajari pola warna hijau tersebut sebagai fitur utama dalam proses klasifikasi.

Pengambilan gambar dari berbagai sudut membantu model mengenali objek meskipun posisi buah berubah-ubah. Variasi posisi pengambilan gambar sangat penting karena pada implementasi nyata posisi objek tidak selalu berada dalam arah yang sama saat dilakukan proses klasifikasi. Selain itu, kondisi pencahayaan alami pada lingkungan pasar memberikan variasi intensitas cahaya pada dataset. Variasi tersebut membantu model CNN menjadi lebih adaptif terhadap kondisi lingkungan nyata sehingga meningkatkan kemampuan generalisasi model terhadap data baru.

Selanjutnya kategori pisang mengkal merupakan tahap perubahan antara kondisi mentah dan matang. Pada tahapan ini, warna kulit buah mulai mengalami perubahan dari hijau menuju kuning, tetapi belum sepenuhnya matang. Umumnya terlihat kombinasi warna hijau kekuningan pada sebagian besar permukaan kulit dengan tekstur yang masih cukup padat. Perubahan warna ini menjadi indikator awal proses pematangan buah dan menjadi fitur visual penting yang dipelajari model CNN dalam proses klasifikasi.



Gambar 4 Dataset Pisang Barangan Kategori Mentah

Berdasarkan hasil pengamatan, kategori pisang mengkal ditandai dengan perubahan warna kulit dari hijau ke kuning yang belum merata pada seluruh permukaan buah. Kondisi ini

menunjukkan fase transisi kematangan yang dipengaruhi oleh proses perubahan pigmen pada kulit buah. Karakteristik visual tersebut menjadi fitur penting bagi model CNN dalam proses klasifikasi.

Selanjutnya kategori pisang matang memiliki karakteristik visual berupa perubahan warna kulit menjadi kuning dengan beberapa bercak coklat kecil pada bagian tertentu permukaan buah. Warna kuning menjadi karakteristik visual utama yang membedakan kategori matang dari kategori lainnya.



Gambar 5 Dataset Pisang Barangan Kategori Mentah

Pada kategori matang, model CNN mempelajari perubahan warna dari hijau menuju kuning sebagai fitur utama klasifikasi. Selain itu, munculnya bercak kecil berwarna coklat pada beberapa bagian kulit buah menjadi ciri tambahan yang membantu model dalam mengenali karakteristik visual kategori matang secara lebih detail. Berdasarkan hasil pengamatan, kategori matang memiliki variasi visual yang cukup beragam. Beberapa citra menunjukkan warna kuning terang secara merata, sedangkan beberapa lainnya memiliki warna kuning kecoklatan akibat proses pematangan yang lebih lanjut. Variasi tersebut membuat model CNN perlu mempelajari pola visual secara lebih kompleks agar dapat membedakan kategori matang dengan kategori busuk.

Selain warna kulit, tekstur buah pada kategori matang terlihat lebih lembut dibandingkan kategori mentah. Tingkat kecerahan warna kuning juga menjadi salah satu fitur penting yang dipelajari model CNN dalam proses ekstraksi fitur citra. Pengambilan gambar dari berbagai posisi memberikan pengaruh positif terhadap proses pelatihan model. Dengan dataset yang lebih beragam, model menjadi lebih mampu mengenali objek meskipun posisi buah berubah-ubah saat proses klasifikasi dilakukan. Pada proses pelatihan model, CNN melakukan identifikasi terhadap pola warna, tekstur, dan tingkat kecerahan citra sebagai fitur utama dalam proses klasifikasi. Fitur-fitur tersebut diproses melalui convolution layer, pooling layer, dan fully connected layer hingga menghasilkan keputusan klasifikasi ke dalam kategori mentah, mengkal, matang, atau busuk.

Dan terakhir yaitu kategori pisang busuk memiliki karakteristik visual berupa perubahan warna kulit menjadi coklat gelap hingga hitam pada sebagian besar permukaan buah. Tekstur kulit terlihat lebih kusam dan tidak merata akibat proses pembusukan yang terjadi pada buah. Pisang busuk menunjukkan perubahan warna kulit menjadi coklat gelap hingga hitam pada sebagian besar permukaan buah. Tekstur kulit terlihat lebih kusam, tidak merata, dan menunjukkan tanda-tanda pembusukan yang cukup jelas. Dominasi warna gelap pada permukaan kulit menjadi fitur utama yang digunakan model CNN dalam mengenali kategori busuk.



Gambar 6 Dataset Pisang Barangan Kategori Mentah

Hasil pengamatan menunjukkan bahwa kategori busuk memiliki karakteristik visual yang paling berbeda dibandingkan kategori lainnya. Dominasi warna hitam pada permukaan kulit menjadi fitur utama yang dipelajari model CNN dalam mengenali kategori busuk. Selain perubahan warna, tekstur kulit pada kategori busuk terlihat lebih kasar dan tidak merata dibandingkan kategori mentah maupun matang. Kondisi tersebut membantu model dalam membedakan kategori busuk secara lebih akurat.

Pada proses klasifikasi, model CNN melakukan ekstraksi fitur terhadap pola warna gelap dan tekstur permukaan kulit buah. Perubahan warna yang sangat signifikan membuat kategori busuk relatif lebih mudah dikenali dibandingkan kategori matang yang memiliki variasi warna lebih kompleks. Namun demikian, kondisi pencahayaan saat pengambilan gambar tetap memberikan pengaruh terhadap hasil citra. Intensitas cahaya yang berbeda dapat menyebabkan tingkat gelap pada gambar terlihat lebih terang maupun lebih gelap dibanding kondisi aslinya. Oleh sebab itu, penelitian ini menerapkan teknik data augmentation untuk meningkatkan kemampuan model dalam mengenali objek pada berbagai kondisi visual.

Hasil Penerapan Teknik data Augmentation

Sebelum dilakukan proses pelatihan model CNN, seluruh dataset terlebih dahulu melewati tahap preprocessing berupa resize gambar menjadi ukuran 224×224 piksel dan normalisasi data. Tahap ini dilakukan untuk menyeragamkan ukuran citra agar sesuai dengan input model CNN sehingga proses pelatihan dapat berjalan lebih optimal. Untuk meningkatkan jumlah dan variasi dataset, penelitian ini menerapkan teknik data augmentation. Teknik augmentation dilakukan melalui beberapa proses seperti rotasi gambar, flipping horizontal, zoom, dan perubahan brightness. Teknik ini digunakan untuk menghasilkan variasi citra baru tanpa harus melakukan pengambilan gambar tambahan secara manual.

Berdasarkan hasil penerapan teknik data augmentation, dataset menjadi lebih beragam karena setiap citra mengalami perubahan posisi, arah, ukuran, dan tingkat pencahayaan. Teknik rotasi membantu model CNN mengenali objek yang miring atau berubah arah, sedangkan flipping horizontal membantu model mengenali objek dari posisi yang berbeda. Selain itu, teknik zoom digunakan untuk memperbesar tampilan objek sehingga model dapat mempelajari detail tekstur dan warna kulit buah secara lebih jelas. Perubahan brightness juga membantu model mengenali objek pada kondisi cahaya terang maupun redup sehingga sistem menjadi lebih adaptif terhadap berbagai kondisi lingkungan saat proses pengambilan gambar dilakukan. Dengan adanya variasi dataset hasil augmentation, model CNN menjadi lebih stabil dan memiliki kemampuan generalisasi yang lebih baik terhadap data baru. Teknik ini juga membantu mengurangi risiko overfitting, yaitu

kondisi ketika model terlalu menghafal data training sehingga kurang mampu mengenali citra baru di luar dataset pelatihan.

Tabel 3 Kategori Tingkat Kematangan Buah Pisang

Nomor	Teknik Augmentation	Fungsi
1	Rotasi	Menvariasikan posisi objek
2	Flipping Horizontal	Membantu model mengerjakan dari arah berbeda
3	Zoom	Menambah variasi ukuran objek
4	Brightness Adjustment	Menyesuaikan variasi pencahayaan

Berdasarkan hasil penerapan teknik data augmentation, dataset menjadi lebih beragam karena setiap citra mengalami perubahan posisi, arah, ukuran, dan tingkat pencahayaan. Teknik rotasi membantu model CNN mengenali objek yang miring atau berubah arah, sedangkan flipping horizontal membantu model mengenali objek dari posisi yang berbeda. Selain itu, teknik zoom digunakan untuk memperbesar tampilan objek sehingga model dapat mempelajari detail tekstur dan warna kulit buah secara lebih jelas. Perubahan brightness juga membantu model mengenali objek pada kondisi cahaya terang maupun redup sehingga sistem menjadi lebih adaptif terhadap berbagai kondisi lingkungan saat proses pengambilan gambar dilakukan. Dengan adanya variasi dataset hasil augmentation, model CNN menjadi lebih stabil dan memiliki kemampuan generalisasi yang lebih baik terhadap data baru. Teknik ini juga membantu mengurangi risiko overfitting, yaitu kondisi ketika model terlalu menghafal data training sehingga kurang mampu mengenali citra baru di luar dataset pelatihan.

Berdasarkan hasil penerapan data augmentation, dataset menjadi lebih beragam karena setiap citra mengalami banyak perbauhan posisi arah, , arah, ukuran, dan tingkat pencahayaan. . Teknik rotasi membantu model mengenali objek yang miring atau berubah arah, sedangkan flipping membantu model mengenali objek dari posisi yang berbeda.

Selain itu, perubahan brightness membantu model mengenali objek pada kondisi cahaya terang maupun redup. Teknik augmentation memberikan pengaruh yang cukup besar terhadap proses optimisasi model CNN karena membuat model lebih stabil dan memiliki kemampuan generalisasi yang lebih baik terhadap data baru.

Penggunaan data augmentation juga membantu mengurangi risiko overfitting, yaitu kondisi ketika model terlalu menghafal data training sehingga kurang mampu mengenali citra baru. Dengan dataset yang lebih bervariasi, model menjadi lebih adaptif terhadap berbagai kondisi visual saat proses klasifikasi dilakukan.

Model CNN yang dikembangkan pada penelitian ini mampu melakukan klasifikasi tingkat kematangan buah pisang berdasarkan pola visual citra digital. CNN bekerja dengan melakukan ekstraksi fitur secara otomatis terhadap warna kulit, tekstur permukaan, tingkat kecerahan, serta perubahan visual pada masing-masing kategori buah pisang. Pada proses pelatihan, lapisan convolution layer mendeteksi pola warna dan bentuk objek dari setiap citra. Selanjutnya fitur-fitur tersebut diproses melalui pooling layer dan fully connected layer untuk menghasilkan klasifikasi akhir berupa kategori mentah, matang, atau busuk.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan teknik data augmentation membantu meningkatkan kemampuan model dalam mengenali objek pada berbagai kondisi visual. Variasi dataset yang lebih banyak membuat model lebih adaptif terhadap perubahan pencahayaan, posisi objek, dan sudut pengambilan gambar.

Selain meningkatkan kemampuan klasifikasi, pengembangan sistem berbasis deep learning ini juga membantu proses sortasi buah menjadi lebih cepat dan objektif dibandingkan metode manual yang masih mengandalkan pengamatan visual manusia. Dengan adanya sistem klasifikasi otomatis berbasis CNN, proses penentuan tingkat kematangan buah dapat dilakukan secara lebih efisien

sehingga membantu menjaga kualitas dan nilai jual buah pisang barangan. Secara keseluruhan, hasil penelitian menunjukkan bahwa model deep learning berbasis Convolutional Neural Network (CNN) dengan penerapan teknik data augmentation dapat digunakan dalam proses klasifikasi buah pisang barangan berbasis citra digital.

Hasil Training Model CNN

Setelah proses data augmentation dilakukan, model Convolutional Neural Network (CNN) dilatih menggunakan dataset citra buah pisang yang terdiri dari empat kategori, yaitu mentah, mengkal, matang, dan busuk. Proses pelatihan dilakukan selama 10 epoch untuk mempelajari karakteristik visual pada setiap tingkat kematangan buah pisang.

Berdasarkan hasil pelatihan, model memperoleh nilai accuracy sebesar 25% dengan nilai loss akhir sebesar 1.3414. Nilai loss mengalami penurunan secara bertahap dari 14.3292 pada epoch pertama menjadi 1.3414 pada epoch ke-10. Penurunan nilai loss menunjukkan bahwa model mampu melakukan proses pembelajaran terhadap data latih yang diberikan. Hasil ini sejalan dengan penelitian sebelumnya yang menunjukkan bahwa proses optimisasi pada model CNN dapat meningkatkan kemampuan model dalam mempelajari pola data selama proses pelatihan.

Meskipun demikian, nilai accuracy yang masih rendah menunjukkan bahwa model belum mampu melakukan klasifikasi secara optimal. Hal ini disebabkan oleh jumlah dataset yang masih sangat terbatas, yaitu hanya empat citra asli yang digunakan dalam penelitian. Meskipun telah diterapkan teknik data augmentation untuk meningkatkan variasi data, jumlah data asli yang sedikit menyebabkan model belum mampu mengenali karakteristik setiap kelas secara lebih baik.

Grafik perubahan nilai accuracy dan loss selama proses pelatihan model CNN ditunjukkan pada dibawah



Gambar 7 Grafik hasil training model CNN

Hasil training grafik CNN menunjukkan bahwa nilai loss mengalami penurunan signifikan dari epoch pertama hingga epoch ke-10, yang menandakan bahwa model telah melakukan proses pembelajaran. Namun, nilai accuracy masih stabil pada angka 25%, yang menunjukkan bahwa model belum mencapai performa optimal akibat keterbatasan jumlah dataset.

Evaluasi dan Pengujian Model CNN

Untuk mengetahui kemampuan model dalam mengklasifikasikan tingkat kematangan buah pisang, dilakukan pengujian menggunakan empat sampel citra yang mewakili masing-masing kategori, yaitu mentah, mengkal, matang, dan busuk.

Tabel 4 Hasil Pengujian Pisang Mentah

Nomor	Parameter	Hasil
1	Kategori asli	Mentah
2	Hasil prediksi CNN	Busuk
3	Probabilitas	32.785%

Jadi Berdasarkan hasil pengujian terhadap citra pisang mentah, model CNN memprediksi citra sebagai kategori busuk dengan probabilitas sebesar 32.78%. Hasil ini menunjukkan bahwa model belum mampu membedakan karakteristik visual pisang mentah secara optimal.

Tabel 5 Hasil Pengujian Pisang Mengkal

Nomor	Parameter	Hasil
1	Kategori asli	Mengkal
2	Hasil prediksi CNN	Busuk
3	Probabilitas	27.68%

Berdasarkan hasil pengujian terhadap citra pisang mengkal, model CNN memprediksi citra sebagai kategori busuk dengan probabilitas sebesar 27.68%.

Tabel 6 Hasil Pengujian Pisang Matang

Nomor	Parameter	Hasil
1	Kategori asli	Matang
2	Hasil prediksi CNN	Mengkal
3	Probabilitas	30.88%

Berdasarkan hasil pengujian terhadap citra pisang matang, model CNN memprediksi citra sebagai kategori mengkal dengan probabilitas sebesar 30.88%.

Tabel 7 Hasil Pengujian Pisang Matang atau Busuk

Nomor	Parameter	Hasil
1	Kategori asli	Busuk
2	Hasil prediksi CNN	Busuk
3	Probabilitas	27.07%

Berdasarkan hasil pengujian terhadap citra pisang busuk, model CNN berhasil mengklasifikasikan citra ke dalam kategori busuk dengan probabilitas sebesar 27.07%.

Hasil pengujian model CNN dapat dilihat pada Tabel 8

Tabel 8 Kategori Tingkat Kematangan Buah Pisang

Kategori Mentah	Hasil Prediksi	Keterangan
Mentah	Busuk (32.78%)	Tidak Sesuai

Mengkal	Busuk (27.68%)	Tidak Sesuai
Matang	Mengkal (30.88%)	Tidak Sesuai
Sangat Matang/Busuk	Busuk(27.07%)	Sesuai

4 KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa pengembangan dan optimisasi model deep learning berbasis Convolutional Neural Network (CNN) mampu digunakan untuk mengklasifikasikan tingkat kematangan buah pisang barangan berdasarkan citra digital. Model CNN telah mampu melakukan proses klasifikasi tingkat kematangan buah pisang berdasarkan karakteristik visual seperti warna kulit, tekstur permukaan, dan tingkat kecerahan citra. Namun kemampuan klasifikasi yang dihasilkan masih belum optimal karena keterbatasan jumlah dataset yang digunakan dalam penelitian.

Pengembangan model dilakukan melalui penyusunan arsitektur CNN yang terdiri dari input layer, convolution layer, max pooling layer, flatten layer, dan fully connected layer sehingga proses klasifikasi dapat dilakukan secara sistematis[29].

Hasil training model CNN yang dilakukan selama 10 epoch menunjukkan bahwa model memperoleh nilai accuracy sebesar 25% dengan nilai loss akhir sebesar 1.3414. Penurunan nilai loss dari 14.3292 pada epoch pertama menjadi 1.3414 pada epoch terakhir menunjukkan bahwa model mampu melakukan proses pembelajaran terhadap data latih. Namun, nilai accuracy yang masih rendah menunjukkan bahwa model belum dapat melakukan klasifikasi secara optimal karena jumlah dataset yang digunakan masih sangat terbatas[30].

Berdasarkan hasil pengujian terhadap empat sampel citra buah pisang, model hanya berhasil melakukan klasifikasi dengan benar pada satu sampel yaitu kategori busuk, sedangkan pada sampel mentah, mengkal, dan matang masih terjadi kesalahan prediksi. Hasil ini menunjukkan bahwa performa model masih perlu ditingkatkan melalui penambahan jumlah dataset dan variasi citra agar model mampu mengenali pola visual setiap tingkat kematangan dengan lebih baik[31].

Dataset yang digunakan dalam penelitian terdiri atas citra dengan variasi sudut pengambilan gambar dan kondisi pencahayaan yang berbeda. Variasi tersebut diharapkan dapat membantu model dalam mempelajari karakteristik visual objek selama proses pelatihan[32].

Variasi citra yang diperoleh dari tampak depan, samping, dan belakang membuat model menjadi lebih adaptif terhadap perubahan posisi objek saat proses klasifikasi dilakukan.

Penerapan teknik data augmentation seperti rotasi, flipping horizontal, zoom, dan brightness adjustment juga memberikan pengaruh positif terhadap proses optimisasi model CNN. Penerapan teknik data augmentation seperti rotasi, flipping horizontal, zoom, dan brightness adjustment digunakan untuk menambah variasi data pelatihan sehingga model memiliki lebih banyak variasi citra selama proses pembelajaran[33].

Selain itu, data augmentation membantu mengurangi risiko overfitting pada proses pelatihan model sehingga performa klasifikasi menjadi lebih stabil. Berdasarkan hasil pengembangan dan pembahasan yang telah dilakukan, sistem klasifikasi tingkat kematangan buah pisang berbasis CNN dapat membantu proses sortasi buah secara lebih cepat, objektif, dan efisien dibandingkan metode manual yang masih mengandalkan pengamatan visual manusia, namun dalam penelitian ini menunjukkan potensi untuk membantu proses identifikasi tingkat kematangan buah secara otomatis diperlukan pengembangan lebih lanjut melalui penambahan dataset dan optimisasi model agar performa klasifikasi menjadi lebih baik[34].

Dengan demikian, penelitian ini diharapkan dapat menjadi salah satu solusi penerapan teknologi deep learning dalam bidang pertanian, khususnya untuk membantu petani dan pedagang dalam menjaga kualitas serta meningkatkan nilai jual buah pisang barangan[35].

REFERENSI

- [1] T. Mac, H. Bui, D. Pham, and H. Ly, "HardwareX Development of an automated fruit classification system by using computer vision and deep learning," vol. 26, no. October 2025, 2026.
- [2] U. Klasifikasi and K. Buah, "IMPLEMENTASI CONVOLUTIONAL NEURAL NETWORK DALAM APLIKASI ANDROID," vol. 16, pp. 225–232, 2025.
- [3] I. R. Santelices, S. Cano, and F. Moreira, "Artificial Vision Systems for Fruit Inspection and Classification : Systematic Literature Review," 2025.
- [4] M. Jawarneh et al., "A Comparative Study of Convolutional Neural Networks and Vision Transformers for Fruit Classification," vol. 2, no. 2, pp. 104–112, 2025.
- [5] C. Series, "Fruit Quality Classification using Convolutional Neural Network Fruit Quality Classification using Convolutional Neural Network," 2022, doi: 10.1088/1742-6596/2377/1/012015.
- [6] J. Naranjo-torres, M. Mora, and R. Hernández-garcía, "applied sciences A Review of Convolutional Neural Network Applied to Fruit Image Processing," 2020, doi: 10.3390/app10103443.
- [7] Z. F. R. Ahmed, A. K. Abdalla, N. Kaur, and F. Wu, "Green Technologies and Sustainability Insights into recent developments and obstacles in automated fruit ripeness classification," *Green Technol. Sustain.*, vol. 4, no. 2, p. 100302, 2026, doi: 10.1016/j.grets.2025.100302.
- [8] S. H-s, "Measurement : Digitalization MultiNet : A lightweight deep learning group of models for fruit maturity detection," *Meas. Digit.*, vol. 4, no. May, p. 100012, 2025, doi: 10.1016/j.meadig.2025.100012.
- [9] S. Sifath and S. Saha, "Automatic classification of orange fruit diseases using deep neural network model," *J. Agric. Food Res.*, vol. 27, no. September 2025, p. 102712, 2026, doi: 10.1016/j.jafr.2026.102712.
- [10] F. Maulana, "Classification of Banana Ripeness Using a VGG16-Based Convolutional Neural Network (CNN)," vol. 17, no. 2, pp. 349–357, 2025.
- [11] A. I. Hanifah and A. Hermawan, "Klasifikasi Kematangan Pisang Menggunakan Metode Convolutional Neural Network Classification of Banana Fruit Maturity Levels Using the Convolutional Neural Network Method," vol. 12, no. 148, pp. 169–176, 2023, doi: 10.34010/komputika.v12i2.9999.
- [12] S. Morshed, S. Ahmed, T. Ahmed, M. U. Islam, and A. B. M. A. Rahman, "Fruit Quality Assessment with Densely Connected Convolutional Neural Network," 2022.
- [13] L. E. Chuquimarca, B. X. Vintimilla, and S. A. Velastin, "Banana Ripeness Level Classification using a Simple CNN Model Trained with Real and Synthetic Datasets," 2021.
- [14] M. Han and C. Yi, "Deep Convolutional Neural Networks for Palm Fruit Maturity Classification," pp. 1–9, 2025, [Online]. Available: <http://arxiv.org/abs/2502.20223>
- [15] A. A. Suryani, U. Athiyah, Y. Setiya, and R. Nur, "Classification of Cavendish Banana Quality using Convolutional Neural Network," vol. 1, no. 1, pp. 1–10, 2024.
- [16] R. S. Francisco and T. M. Ventura, "Multi-Class CNN Models for Banana Ripeness Classification," vol. 4, no. 1, pp. 14–19, 2025.
- [17] L. Jambola, A. R. Darlis, W. Malaha, and D. Aryanta, "Classification system of banana types and ripeness levels based on convolutional neural network," vol. 14, no. 6, pp. 4891–4901, 2025, doi: 10.11591/ijai.v14.i6.pp4891-4901.
- [18] S. Singh, A. Upadhyay, S. Singh, and S. Kanojija, "ScienceDirect ScienceDirect Segregation

- of Ripe and Raw Bananas Using Convolutional Segregation of Ripe and Raw Bananas Using Convolutional Neural Network Neural Network,” *Procedia Comput. Sci.*, vol. 218, no. 2022, pp. 461–468, 2023, doi: 10.1016/j.procs.2023.01.028.
- [19] R. E. Saragih and A. W. R. Emanuel, “Banana Ripeness Classification Based on Deep Learning using Convolutional Neural Network”.
- [20] I. I. Halawa and C. Basir, “Image-Based Vegetable Type Classification Using Convolutional Neural Network with Nutritional Content Information Provision Klasifikasi Jenis Sayuran Berbasis Citra Menggunakan Convolutional Neural Network dengan Penyediaan Informasi Kandungan Nutrisi,” vol. 6, no. April, pp. 875–885, 2026.
- [21] A. Hamzah, R. Y. Ariyana, U. J. Basuki, and B. T. Basgoro, “CLASSIFICATION OF BANANA MATURITY LEVELS USING,” vol. 19, no. 1, pp. 23–32, 2026.
- [22] P. D. Wardani and C. Dewi, “KLASIFIKASI TIPE KEMATANGAN PISANG MENGGUNAKAN METODE ENSEMBLE CONVOLUTIONAL NEURAL NETWORK (CNN),” vol. 1, no. 1, pp. 1–10, 2017.
- [23] J. Halim and A. N. Fajar, “Klasifikasi Pisang Berbasis Algoritma VGG16 Melalui Metode CNN Deep Learning,” *Inf. (Jurnal Inform. dan Sist. Informasi)*, vol. 15, no. 1, pp. 1–17, 2023, doi: 10.37424/informasi.v15i1.190.
- [24] S. E. Prasetyo, G. Wijaya, A. Kwan, P. T. Informasi, F. I. Komputer, and U. I. Batam, “Klasifikasi Kematangan Buah Pisang Menggunakan YOLOv12 Berbasis Deep Learning,” vol. 5, no. 1, pp. 30–39, 2026.
- [25] M. R. Hidayatulloh, “Deteksi Tingkat Kematangan Buah Pepaya Menggunakan Convolutional Neural Network dengan Metode Deep Learning,” *JIMUJurnal Ilm. Multidisipliner*, vol. 2, no. 03, pp. 658–667, 2024, doi: 10.70294/jimu.v2i03.424.
- [26] S. I. Komariah et al., “Media Pembelajaran Pengenalan Buah (Fruits Zone) untuk Anak KB Menggunakan Deep Learning,” *MIND (Multimedia Artif. Intell. Netw. Database) J.*, vol. 9, no. 1, pp. 13–24, 2024, [Online]. Available: <https://doi.org/10.26760/mindjournal.v9i1.13-24>
- [27] A. D. Putro and A. Hermawan, “Pengaruh Cahaya dan Kualitas Citra dalam Klasifikasi Kematangan Pisang Cavendish Berdasarkan Ciri Warna Menggunakan Artificial Neural Network,” *MATRIK J. Manajemen, Tek. Inform. dan Rekayasa Komput.*, vol. 21, no. 1, pp. 215–228, 2021, doi: 10.30812/matrik.v21i1.1396.
- [28] S. Kasus, K. Putusan, and M. Konstitusi, “Jurnal Sains Informatika Terapan (JSIT) Jurnal Sains Informatika Terapan (JSIT),” pp. 187–201, 2025.
- [29] T. Pustaka, “Pengenalan tingkat kematangan buah pisang berbasis citra dengan metode convolutional neural network,” vol. 10, no. 3, pp. 4191–4199, 2026.
- [30] A. Pangestu, B. Purnama, and R. Risnandar, “Vision Transformer untuk Klasifikasi Kematangan Pisang,” *J. Teknol. Inf. dan Ilmu Komput.*, vol. 11, no. 1, pp. 75–84, 2024, doi: 10.25126/jtiik.20241117389.
- [31] A. W. Hastunggoro, A. D. Putro Wicaksono, and Y. Diah Rosita, “Klasifikasi Kualitas dan Kematangan Pisang Cavendish Menggunakan Convolutional Neural Network,” *J. SAINTEKOM*, vol. 14, no. 2, pp. 185–194, 2024, doi: 10.33020/saintekom.v14i2.686.
- [32] S. Darmawan Putra Bahari and U. Latifa, “Klasifikasi Buah Segar Menggunakan Teknik Computer Vision Untuk Pendeteksian Kualitas Dan Kesegaran Buah,” *JATI (Jurnal Mhs. Tek. Inform.)*, vol. 7, no. 3, pp. 1567–1573, 2023, doi: 10.36040/jati.v7i3.6871.
- [33] Taqwanur and Mega Bilqis Suryawantiningtyas, “G-Tech : Jurnal Teknologi Terapan,” *G-Tech J. Teknol. Terap.*, vol. 6, no. 2, pp. 295–305, 2022.
- [34] I. Astuti, L. N. Ibrahim, W. W. Ariestya, S. Ruhama, and D. Wahyuni, “Deep Learning for

- Horticulture: Convolutional Neural Network Driven Classification of Banana Types,” *Digit. Zo. J. Teknol. Inf. dan Komun.*, vol. 16, no. 1, pp. 12–25, 2025, doi: 10.31849/x39pj844.
- [35] F. A. Haq, M. Kurniawan, D. B. S, M. A. Wicaksono, and P. S. Alala, “Klasifikasi Tingkat Kematangan Buah Pisang Menggunakan Metode Cnn Arsitektur Vgg19,” *J. Tika*, vol. 9, no. 2, pp. 131–136, 2024.