

KLASIFIKASI JENIS KOPI LOKAL BERDASARKAN CITRA BIJI MENGUNAKAN CONVOLUTIONAL NEURAL NETWORK (CNN)

Margaretha Maria Sina¹, Erna Rosani Nubatonis², Heni³

^{1,2,3}STIKOM Uyelindo Kupang

margarethamariasina@gmail.com¹, ernarosaninubatonis@gmail.com²,

heni81monika@gmail.com³

ABSTRAK

Kopi merupakan komoditas perkebunan unggulan dengan nilai ekonomi tinggi, khususnya di Flores Sikka, Nusa Tenggara Timur. Namun, identifikasi jenis kopi seperti Arabika, Robusta, dan Liberika masih dilakukan secara manual sehingga berpotensi menimbulkan kesalahan. Penelitian ini bertujuan menerapkan metode Convolutional Neural Network (CNN) berbasis arsitektur InceptionV3 untuk mengklasifikasikan jenis biji kopi berdasarkan citra digital. Dataset yang digunakan sebanyak 300 citra biji kopi yang terbagi dalam tiga kelas. Tahapan penelitian meliputi preprocessing (resize, normalisasi, dan augmentasi), pembagian data menggunakan K-Fold Cross Validation (K=5), pelatihan model dengan transfer learning, serta evaluasi menggunakan confusion matrix dengan metrik akurasi, presisi, recall, dan F1-score. Model dilatih dengan ukuran citra 299×299 piksel, optimizer Adam, learning rate 0.0001, batch size 8, dan 40 epoch. Hasil penelitian menunjukkan bahwa model mampu mengklasifikasikan jenis kopi dengan rata-rata akurasi sebesar 96,6% dan mencapai akurasi terbaik sebesar 98%. Nilai precision, recall, dan F1-score pada setiap kelas juga tinggi. Dengan demikian, metode CNN InceptionV3 efektif untuk klasifikasi biji kopi secara otomatis, akurat, dan konsisten.

Kata Kunci: Biji Kopi, Citra Digital, Convolutional Neural Network, Inceptionv3, Klasifikasi.

ABSTRACT

Coffee is a leading agricultural commodity with high economic value, particularly in Flores Sikka, East Nusa Tenggara. However, the identification of coffee varieties such as Arabica, Robusta, and Liberica is still done manually, which has the potential to cause errors. This study aims to apply the Convolutional Neural Network (CNN) method based on the InceptionV3 architecture to classify coffee bean types based on digital images. The dataset consists of 300 coffee bean images divided into three classes. The research stages include preprocessing (resizing, normalization, and augmentation), data splitting using K-Fold Cross Validation (K=5), model training with transfer learning, and evaluation using a confusion matrix with accuracy, precision, recall, and F1-score metrics. The model was trained using images of 299×299 pixels, the Adam optimizer, a learning rate of 0.0001, a batch size of 8, and 40 epochs. The results showed that the model was able

to classify coffee types with an average accuracy of 96.6% and achieved a best accuracy of 98%. The precision, recall, and F1-score values for each class were also high. Thus, the InceptionV3 CNN method is effective for the automatic, accurate, and consistent classification of coffee beans.

Keywords: *Classification, Coffee Beans, Convolutional Neural Network, Digital Image, InceptionV3.*

A. PENDAHULUAN

Kopi merupakan salah satu komoditas perkebunan unggulan yang memiliki nilai ekonomi tinggi serta menjadi bagian penting dalam kehidupan masyarakat, baik sebagai minuman sehari-hari maupun sebagai komoditas yang mendukung perekonomian, khususnya bagi petani dan masyarakat yang bergantung pada sektor perkebunan. Selain sebagai sumber penghasilan, kopi juga memiliki nilai budaya dan sosial karena sudah menjadi bagian dari kebiasaan minum masyarakat di berbagai daerah. Namun, di balik pentingnya komoditas ini, proses identifikasi jenis kopi masih menghadapi kendala dalam hal ketepatan dan konsistensi, terutama di tingkat petani. Salah satu daerah penghasil kopi di Indonesia adalah Pulau Flores, khususnya Kabupaten Sikka di Provinsi Nusa Tenggara Timur. Daerah ini menghasilkan tiga jenis kopi utama, yaitu Arabika, Robusta, dan dalam skala kecil Liberika yang dibudidayakan oleh petani lokal. Ketiga jenis kopi tersebut memiliki perbedaan karakteristik dari segi morfologi biji dan profil cita rasa. Kopi Arabika memiliki biji berbentuk lonjong dengan belahan tengah melengkung seperti huruf “S”, serta cita rasa lebih asam dan aroma kompleks dengan kadar kafein lebih rendah. Kopi Robusta memiliki biji berbentuk bulat dengan belahan tengah lurus, teksturnya lebih keras, dan cita rasanya lebih pahit serta memiliki body lebih kuat. Sementara itu, kopi Liberika memiliki ukuran biji lebih besar, bentuk tidak simetris, dan menghasilkan cita rasa unik dengan aroma menyerupai kayu atau buah-buahan tropis. Perbedaan karakteristik tersebut menunjukkan bahwa setiap varietas kopi memiliki ciri visual yang dapat digunakan sebagai parameter klasifikasi. (Murti et al., 2024).

Namun, keunikan yang dimiliki setiap varietas kopi tersebut juga menjadi tantangan dalam proses identifikasinya. Pada praktiknya, pembedaan jenis kopi di tingkat petani masih mengandalkan pengamatan visual secara langsung berdasarkan bentuk, warna, dan tekstur biji. Metode ini memiliki kelemahan karena perbedaannya sering kali tipis dan sulit dibedakan secara konsisten dengan mata manusia. Selain itu, proses pascapanen

seperti pengeringan dan pembersihan juga dapat mempengaruhi tampilan visual biji, sehingga meningkatkan potensi kesalahan identifikasi. Kondisi tersebut dapat menyebabkan tercampurnya varietas kopi yang berbeda, yang pada akhirnya berdampak pada penurunan kualitas dan hilangnya karakter cita rasa khas kopi Flores Sikka.

Oleh karena itu, untuk mengatasi permasalahan dalam membedakan varietas kopi hanya melalui pengamatan visual, diperlukan suatu sistem berbasis teknologi yang mampu melakukan klasifikasi secara lebih akurat, objektif, dan konsisten. Metode Convolutional Neural Network (CNN) menjadi salah satu pendekatan yang tepat dalam pengolahan citra biji kopi karena mampu mengekstraksi fitur visual secara otomatis, seperti bentuk, tekstur, serta pola permukaan biji yang sulit diidentifikasi oleh manusia. Beberapa penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa penerapan CNN berbasis transfer learning, seperti pada arsitektur VGG16 dan MobileNet V2, mampu menghasilkan akurasi klasifikasi citra biji kopi hingga mencapai 96%. (Murinto et al., 2023). Melalui pendekatan ini, proses identifikasi jenis kopi dapat dilakukan dengan lebih cepat, presisi, dan mengurangi ketergantungan terhadap subjektivitas manusia. Selain itu, sistem klasifikasi otomatis juga berpotensi membantu petani, pengepul, maupun pelaku industri kopi dalam menjaga kemurnian varietas serta meningkatkan daya saing kopi Flores Sikka di pasar nasional maupun internasional.

Dalam penelitian ini digunakan arsitektur Convolutional Neural Network (CNN) berbasis Inception V3 karena model ini mampu mengenali pola visual yang kompleks melalui kombinasi beberapa ukuran filter konvolusi (1×1 , 3×3 , dan 5×5) yang bekerja secara paralel dalam satu lapisan. Mekanisme tersebut menjadikan Inception V3 lebih efisien dalam mengekstraksi fitur bentuk, warna, dan tekstur biji kopi yang memiliki kemiripan antar varietas. Selain itu, arsitektur ini menggunakan teknik factorized convolution dan dimensionality reduction sehingga dapat meningkatkan performa tanpa memerlukan parameter yang berlebihan. Dengan kemampuan tersebut, Inception V3 diharapkan mampu menghasilkan akurasi tinggi dalam mengklasifikasikan tiga jenis kopi lokal Flores Sikka, yaitu Arabika, Robusta, dan Liberika. Oleh karena itu, penerapan model ini diharapkan menjadi solusi yang efektif untuk proses identifikasi jenis kopi secara otomatis, cepat, dan objektif.

B. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode Convolutional Neural Network (CNN) berbasis arsitektur InceptionV3 dengan pendekatan transfer learning untuk melakukan klasifikasi citra biji kopi Arabika, Robusta, dan Liberika. Dataset yang digunakan terdiri dari 300 citra biji kopi yang terbagi menjadi 100 citra Arabika, 100 citra Robusta, dan 100 citra Liberika.

Tahapan penelitian meliputi:

1. Akuisisi data citra
2. Preprocessing data
3. Augmentasi data
4. Pembagian data menggunakan 5-Fold Cross Validation
5. Pelatihan model
6. Evaluasi model menggunakan confusion matrix

Parameter pelatihan model:

- Ukuran citra: 299×299 piksel
- Batch size: 8
- Epoch: 40
- Optimizer: Adam
- Learning rate: 0.0001

C. HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Implementasi Sistem

Implementasi sistem klasifikasi jenis kopi lokal berdasarkan citra biji dilakukan menggunakan bahasa pemrograman Python dengan *framework TensorFlow* dan Keras. Proses pelatihan (*training*) dan pengujian model dilakukan menggunakan *platform google colab*, yang dipilih karena menyediakan dukungan komputasi yang lebih optimal untuk pengolahan data dan pelatihan model *deep learning*, sedangkan implementasi sistem dan pengembangan aplikasi web dilakukan menggunakan *visual studio code*. Model yang diterapkan dalam penelitian ini adalah *Convolutional Neural Network (CNN)* berbasis arsitektur *InceptionV3* dengan pendekatan *transfer learning*. Model *InceptionV3* yang digunakan merupakan model *pretrained ImageNet*, dimana lapisan dasar (*base*

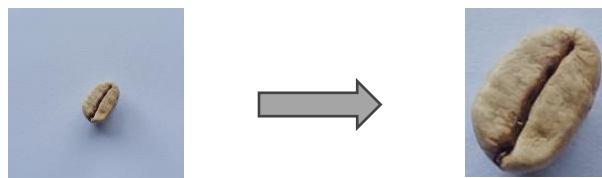
model) dibekukan (*freeze layer*) untuk mempertahankan bobot awal serta mempercepat proses pelatihan. Tahapan implementasi sistem meliputi proses prapemrosesan data, pembentukan arsitektur model, pelatihan model, serta evaluasi menggunakan metode *K-Fold Cross Validation* ($K=5$). Pada tahap awal, seluruh citra biji kopi yang memiliki ukuran bervariasi diubah menjadi ukuran seragam sebesar 299×299 piksel sesuai dengan kebutuhan input *InceptionV3*. Selanjutnya, model dilatih menggunakan data latih untuk mempelajari pola visual dari tiga kelas kopi, yaitu Arabika, Robusta, dan Liberika. Hasil dari proses pelatihan kemudian dievaluasi untuk mengetahui tingkat akurasi dan kemampuan model dalam mengklasifikasikan citra biji kopi secara otomatis dan konsisten. Model dengan performa terbaik kemudian disimpan dalam format *.keras* dan *.h5* untuk selanjutnya digunakan pada tahapan implementasi aplikasi berbasis web.

2. Data Citra

Data yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari tiga jenis kopi lokal, yaitu kopi Arabika, Robusta, dan Liberika. Setiap jenis kopi memiliki masing-masing 100 citra biji kopi, sehingga total keseluruhan dataset yang digunakan berjumlah 300 citra. Citra diperoleh melalui proses pengambilan gambar secara langsung menggunakan kamera *smartphone* dengan resolusi rata-rata 960×686 piksel. Pengambilan gambar dilakukan dengan jarak yang relatif konsisten untuk memastikan objek biji kopi terlihat jelas dan fokus. Dataset disimpan dalam format JPG dengan variasi kondisi pencahayaan dan sudut pengambilan gambar. Latar belakang yang digunakan dibuat relatif seragam untuk meminimalkan gangguan (*noise*) visual yang dapat memengaruhi proses ekstraksi fitur oleh model. Seluruh citra kemudian disusun dalam struktur folder terpisah berdasarkan kelas masing-masing, yaitu folder Arabika, Robusta, dan Liberika. Struktur ini bertujuan untuk mempermudah proses pelabelan otomatis menggunakan *library TensorFlow/keras* saat tahap pelatihan model dilakukan. Data citra selanjutnya dimuat ke dalam lingkungan pengembangan menggunakan bahasa pemrograman *Python* untuk dilakukan proses prapemrosesan, pembentukan arsitektur model, serta pelatihan menggunakan metode *Convolutional Neural Network* (CNN) berbasis *InceptionV3*.

3. Praproses Citra

Tahap praproses citra dilakukan untuk meningkatkan kualitas data sebelum digunakan pada proses pelatihan model. Proses pertama yang dilakukan adalah augmentasi data untuk meningkatkan variasi citra dan membantu model dalam mengenali pola secara lebih general. Teknik augmentasi yang diterapkan dalam penelitian ini meliputi rotasi citra dengan sudut tertentu untuk mensimulasikan variasi posisi biji kopi saat pengambilan gambar. Selanjutnya dilakukan proses *cropping* pada citra untuk memfokuskan area pengamatan hanya pada bagian biji kopi dan mengurangi bagian latar belakang yang tidak relevan. Proses *cropping* dilakukan secara manual guna memastikan objek utama benar-benar terpusat dan tidak terpotong secara tidak proporsional. Setelah proses *cropping*, seluruh citra diubah ukurannya (*resize*) menjadi 299×299 piksel sesuai dengan spesifikasi input arsitektur *InceptionV3*. Proses normalisasi juga dilakukan dengan membagi nilai piksel dengan 255 sehingga rentang nilai berubah dari 0–255 menjadi 0–1. Normalisasi bertujuan untuk mempercepat proses konvergensi selama pelatihan model. Citra tetap dipertahankan dalam format tiga channel (RGB) agar sesuai dengan struktur input model *InceptionV3* yang telah dilatih sebelumnya menggunakan dataset *ImageNet*.



Gambar 8. Citra biji kopi Arabika setelah di *cropping*

4. Pelatihan Model

Pelatihan model pada penelitian ini dilakukan menggunakan arsitektur *Convolutional Neural Network* (CNN) berbasis *InceptionV3* dengan pendekatan *transfer learning*. Model *InceptionV3* yang digunakan merupakan model *pretrained* yang telah dilatih sebelumnya pada dataset *ImageNet*, sehingga telah memiliki kemampuan awal dalam mengenali pola visual umum seperti tekstur, bentuk, dan tepi objek. Pada tahap implementasi, bagian *fully connected* (*top layer*) dari model *InceptionV3* dihapus dan digantikan dengan layer klasifikasi baru yang disesuaikan dengan jumlah kelas pada penelitian ini, yaitu tiga kelas (Arabika, Robusta, dan Liberika). Layer tambahan yang

digunakan terdiri dari *Global Average Pooling* dan *Dense layer* dengan fungsi aktivasi *Softmax* pada *layer output* untuk menghasilkan probabilitas klasifikasi pada masing-masing kelas. Pada tahap awal pelatihan, *layer* dasar (*base model*) dibekukan (*freeze*) untuk mempertahankan bobot awal hasil pelatihan *ImageNet*. Proses pelatihan difokuskan pada *layer* klasifikasi yang baru ditambahkan sehingga model dapat menyesuaikan diri dengan karakteristik citra biji kopi yang digunakan dalam penelitian. Parameter pelatihan yang digunakan meliputi:

1. Ukuran *input* citra: 299×299 piksel
2. *Batch size*: 8
3. Jumlah *epoch*: 40
4. *Optimizer*: *Adam*
5. *Learning rate*: 0.0001
6. Fungsi aktivasi *output*: *Softmax*
7. *Loss function*: *Categorical Crossentropy*

Proses pelatihan dilakukan hingga model mencapai konvergensi yang ditunjukkan oleh penurunan nilai *loss* dan peningkatan akurasi pada data pelatihan dan validasi. Hasil pelatihan kemudian digunakan sebagai dasar dalam proses evaluasi model menggunakan metode *K-Fold Cross Validation*.

5. K-Fold Cross Validation

Untuk mengevaluasi performa model secara menyeluruh serta mengurangi potensi bias akibat pembagian data yang tidak merata, penelitian ini menggunakan metode *K-Fold Cross Validation* dengan nilai $K = 5$. Pada metode *5-Fold Cross Validation*, dataset yang berjumlah 300 citra dibagi menjadi lima bagian (*fold*) dengan ukuran yang sama, dimana setiap *fold* terdiri dari 60 citra. Pada setiap iterasi, empat *fold* (240 citra) digunakan sebagai data pelatihan dan satu *fold* (60 citra) digunakan sebagai data pengujian. Proses ini dilakukan sebanyak lima kali sehingga setiap *fold* memperoleh kesempatan menjadi data pengujian sebanyak satu kali. Pada masing-masing iterasi, model dilatih menggunakan parameter yang sama seperti yang telah dijelaskan pada bagian pelatihan model. Setelah proses pelatihan selesai, dilakukan evaluasi terhadap data pengujian untuk

memperoleh nilai akurasi dan loss. Nilai performa akhir model dihitung dengan menggunakan rata-rata akurasi dan rata-rata loss dari seluruh *fold*.

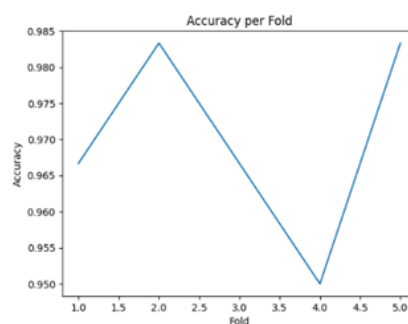
6. Hasil Pengujian Model

Pengujian model dilakukan menggunakan metode *5-Fold Cross Validation*. Dataset yang berjumlah 300 citra dibagi menjadi 5 bagian yang sama, dimana setiap *fold* berisi 60 citra. Pada setiap iterasi pelatihan, 240 citra digunakan sebagai data latih dan 60 citra digunakan sebagai data uji.

7. Accuracy Per Fold

Tabel 5. Nilai Accuracy Pada Setiap Fold

<i>Fold</i>	<i>Accuracy</i>
1	0.96
2	0.98
3	0.96
4	0.95
5	0.98



Gambar 9. grafik accuracy pada setiap Fold

Rata-rata akurasi dihitung menggunakan persamaan:

$$\text{Akurasi rata - rata} = \frac{0.96 + 0.98 + 0.96 + 0.95 + 0.98}{5}$$

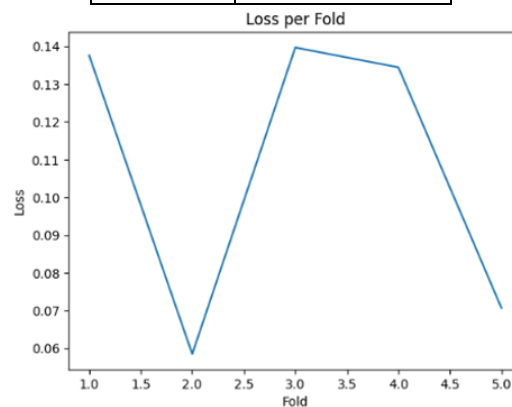
$$\text{Akurasi rata - rata} = 0.96$$

Sehingga rata-rata akurasi model yang diperoleh adalah 0.966 atau sekitar 96.6%.

8. Loss Per Fold

Tabel 6. Nilai Loss Pada Setiap Fold

<i>Fold</i>	<i>Loss</i>
1	0.137
2	0.058
3	0.140
4	0.135
5	0.070



Gambar 10. Grafik loss pada setiap Fold

Rata-rata loss dihitung menggunakan persamaan:

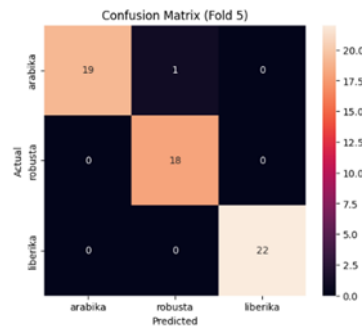
$$\text{Loss rata - rata} = \frac{0.137 + 0.058 + 0.140 + 0.135 + 0.070}{5}$$

$$\text{Loss rata - rata} = \frac{0,54}{5}$$

$$\text{Loss rata - rata} = 0.108$$

9. Confusion Matrix

Confusion matrix digunakan untuk mengevaluasi performa model klasifikasi dengan membandingkan hasil prediksi model dengan label sebenarnya. Berdasarkan hasil pengujian Fold ke-5 diperoleh *confusion matrix* sebagai berikut:



Gambar 11. *Confusion Matrix* Hasil Pengujian Model

Tabel 7. *Confusion Matrix*

<i>Actual/Prediksi</i>	Arabika	Robusta	Liberika
Arabika	19	1	0
Robusta	0	18	0
Liberika	0	0	22

Total data uji = 60 Berdasarkan *confusion matrix* pada fold ke-5, model mampu mengklasifikasikan 19 dari 20 citra Arabika dengan benar, sementara 1 citra lainnya salah diklasifikasikan sebagai Robusta. Pada kelas Robusta, 18 citra berhasil diprediksi dengan benar. Sedangkan pada kelas Liberika, 22 citra berhasil diprediksi dengan benar.

10. Perhitungan *Accuracy*, *Precision*, *Recall*, dan *F1-Score*

a. *Accurac*

$$Accuracy = \frac{\text{Jumlah Prediksi Benar}}{\text{Total Data}}$$

$$Accuracy = \frac{19 + 18 + 22}{60}$$

$$Accuracy = \frac{59}{60}$$

$$Accuracy = 0.983 \approx 98.3\%$$

b. Kelas Arabika

True Positive (TP) = 19

False Positive (FP) = 0

False Negative (FN) = 1

$$Precision = \frac{TP}{(TP + FP)}$$

$$Precision = \frac{19}{(19 + 0)}$$

$$Precision = \frac{19}{19}$$

$$= 1.00$$

$$Recall = \frac{TP}{(TP + FN)}$$

$$Recall = \frac{19}{(19 + 1)}$$

$$Recall = \frac{19}{20}$$

$$= 0.95$$

$$F1\ Score = 2 \times \frac{(Precision \times Recall)}{(Precision + Recall)}$$

$$F1\ Score = 2 \times \frac{(1.00 \times 0.95)}{(1.00 + 0.95)}$$

$$F1\ Score = 2 \times \frac{0.95}{1.95}$$

$$= 0.974$$

c. Kelas Robusta

TP = 18

FP = 1

FN = 0

$$Precision = \frac{TP}{(TP + FP)}$$

$$Precision = \frac{18}{(18 + 1)}$$

$$Precision = \frac{18}{19}$$

$$= 0.947$$

$$Recall = \frac{TP}{(TP + FN)}$$

$$Recall = \frac{18}{(18 + 0)}$$

$$Recall = \frac{18}{18}$$

$$= 1.00$$

$$F1\ Score = 2 \times \frac{(Precision \times Recall)}{(Precision + Recall)}$$

$$F1\ Score = 2 \times \frac{(0.947 \times 1.00)}{(0.947 + 1.00)}$$

$$F1\ Score = 2 \times \frac{(0.947)}{(1.947)}$$

$$= 0.972$$

d. Kelas Liberika

TP = 22

FP = 0

FN = 0

$$Precision = \frac{TP}{(TP + FP)}$$

$$Precision = \frac{22}{(22 + 0)}$$

$$Precision = \frac{22}{22}$$

$$= 1.00$$

$$Recall = \frac{TP}{(TP + FN)}$$

$$Recall = \frac{22}{(22 + 0)}$$

$$Recall = \frac{22}{22}$$

$$= 1.00$$

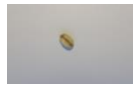
$$F1\ Score = 2 \times \frac{(Precision \times Recall)}{(Precision + Recall)}$$

$$F1\ Score = 2 \times \frac{(1.00 \times 1.00)}{(1.00 + 1.00)}$$

$$F1\ Score = 2 \times \frac{1.00}{2.00}$$

$$= 1.00$$

Tabel 8. Hasil Prediksi Model Terhadap Data Uji

Citra Input	Label Asli	Hasil Prediksi	Confidence	Keterangan
	Arabika	Arabika	99.76%	Benar
	Arabika	Robusta	77.10%	Salah
	Arabika	Arabika	94.11%	Benar
	Liberika	Liberika	93.95%	Benar
	Liberika	Liberika	82.11%	Benar
	Liberika	Arabika	99.67%	Salah
	Robusta	Liberika	58.19%	Salah
	Robusta	Robusta	88.77%	Benar
	Robusta	Robusta	86.17%	Benar

Berdasarkan Tabel 8, model mampu mengklasifikasikan sebagian besar citra biji kopi dengan benar sesuai label aslinya. Hal ini ditunjukkan oleh kesesuaian hasil prediksi dan nilai confidence yang relatif tinggi. Namun, masih terdapat beberapa kesalahan klasifikasi, yang menunjukkan bahwa model belum sepenuhnya sempurna dalam membedakan karakteristik antar jenis biji kopi. Selain itu, nilai confidence yang tinggi tidak selalu menjamin hasil prediksi yang benar. Tabel ini hanya menampilkan sebagian sampel, yaitu 9 citra dari total 60 data uji yang digunakan dalam evaluasi model. Secara

keseluruhan, hasil ini menunjukkan bahwa model memiliki kinerja yang baik dan konsisten dengan rata-rata akurasi sebesar 90,67%.

11. Analisis Hasil

Berdasarkan pengujian menggunakan metode *5-Fold Cross Validation*, model CNN dengan arsitektur *InceptionV3* menunjukkan performa yang sangat baik dalam mengklasifikasikan biji kopi Arabika, Robusta, dan Liberika dengan rata-rata akurasi sebesar 96,6%. Pada Fold 5, model mencapai akurasi sebesar 98,3% (59 dari 60 data benar). Nilai *precision*, *recall*, dan *F1-score* pada setiap kelas juga tinggi. Kelas Arabika memiliki *precision* 1.00 dan *recall* 0.95, kelas Robusta memiliki *precision* 0.95 dan *recall* 1.00, sedangkan kelas Liberika mencapai nilai sempurna 1.00 pada semua metrik.

Tabel 9. Hasil Evaluasi Model

Kelas	<i>Precision</i>	<i>Recall</i>	<i>F1-Score</i>	<i>Support</i>
Arabika	1.00	0.95	0.97	20
Robusta	0.95	1.00	0.97	18
Liberika	1.00	1.00	1.00	22
<i>Accuracy</i>			0.98	60
<i>Macro Average</i>	0.98	0.98	0.98	60
<i>Weighted Average</i>	0.98	0.98	0.98	60

Berdasarkan Tabel 9, dapat dilihat bahwa model CNN dengan arsitektur *InceptionV3* mampu mengklasifikasikan tiga jenis biji kopi dengan performa yang sangat baik. Hal ini ditunjukkan oleh nilai *precision*, *recall*, dan *F1-score* yang tinggi pada setiap kelas.

Pada kelas Arabika, model memperoleh nilai *precision* sebesar 1.00 dan *recall* sebesar 0.95, yang menunjukkan bahwa seluruh prediksi Arabika yang dihasilkan model adalah benar, meskipun masih terdapat sedikit data Arabika yang salah diklasifikasikan ke kelas lain. Pada kelas Robusta, diperoleh nilai *precision* sebesar 0.95 dan *recall* sebesar 1.00. Hal ini menunjukkan bahwa model mampu mengenali seluruh data Robusta dengan baik, meskipun terdapat sedikit kesalahan prediksi dari kelas lain yang masuk ke dalam kelas

Robusta. Sementara itu, pada kelas Liberika, model menunjukkan performa terbaik dengan nilai *precision*, *recall*, dan *F1-score* masing-masing sebesar 1.00, yang berarti seluruh data Liberika berhasil diklasifikasikan dengan sempurna tanpa kesalahan. Secara keseluruhan, model menghasilkan nilai *accuracy* sebesar 0.98 atau 98%, yang menunjukkan bahwa model mampu mengklasifikasikan citra biji kopi dengan tingkat ketepatan yang sangat tinggi. Selain itu, nilai *macro average* dan *weighted average* yang sama-sama sebesar 0.98 menunjukkan bahwa performa model stabil dan seimbang pada seluruh kelas, tanpa adanya bias yang signifikan terhadap kelas tertentu.

12. Implementasi Web

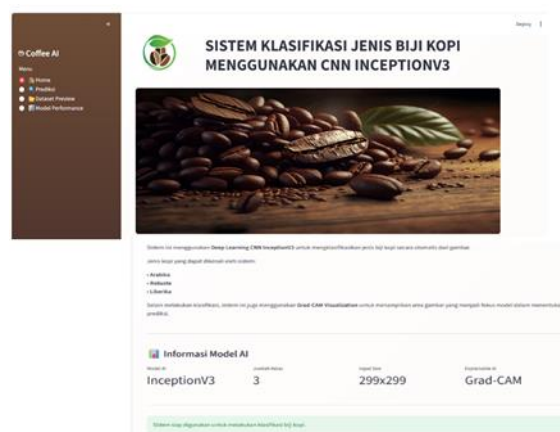
Model yang telah dilatih menggunakan algoritma *Convolutional Neural Network* (CNN) dengan arsitektur *InceptionV3* kemudian diimplementasikan ke dalam sebuah aplikasi berbasis web. Implementasi ini bertujuan untuk memudahkan pengguna dalam melakukan klasifikasi jenis biji kopi secara otomatis dan *real-time*. Pengembangan aplikasi web dilakukan menggunakan bahasa pemrograman *Python* dengan bantuan *Visual Studio Code* sebagai *code editor*, serta *framework Streamlit* untuk membangun antarmuka pengguna berbasis *Graphical User Interface* (GUI) yang interaktif. Dengan adanya GUI, pengguna dapat berinteraksi dengan sistem secara visual tanpa perlu memahami kode program. Model yang telah dilatih sebelumnya disimpan dalam format *.keras* dan *.h5*, kemudian dipanggil ke dalam aplikasi web untuk digunakan dalam proses prediksi. Sistem dirancang agar dapat membaca kedua format model tersebut sebagai bentuk fleksibilitas dalam implementasi. Model yang digunakan merupakan model terbaik berdasarkan hasil evaluasi dengan tingkat akurasi sekitar 98.3%. Aplikasi web dijalankan melalui *command prompt* atau terminal dengan perintah: *streamlit run app.py*. Setelah perintah dijalankan, sistem akan secara otomatis membuka aplikasi pada *browser* lokal sehingga dapat langsung digunakan oleh pengguna. Dalam aplikasi ini, pengguna dapat mengunggah gambar biji kopi, kemudian sistem akan melakukan proses prediksi menggunakan model CNN *InceptionV3*. Hasil yang ditampilkan meliputi jenis kopi, nilai *confidence*, serta grafik probabilitas. Selain itu, sistem juga dilengkapi dengan fitur visualisasi *Grad-CAM* yang berfungsi untuk menampilkan area citra yang menjadi fokus model dalam menentukan hasil klasifikasi, sehingga meningkatkan transparansi dan interpretasi model (*Explainable AI*).

13. Fitur Sistem

Aplikasi web yang dibangun memiliki beberapa fitur utama, yaitu:

1) Halaman *Home*

Merupakan halaman utama yang pertama kali ditampilkan ketika aplikasi dijalankan. Halaman ini berisi informasi umum mengenai sistem, tujuan penelitian, serta teknologi yang digunakan, yaitu *Convolutional Neural Network (CNN)* dengan arsitektur *InceptionV3* dan metode *Grad-CAM*. Fitur ini bertujuan untuk memberikan pemahaman awal kepada pengguna mengenai fungsi dan cara kerja sistem sebelum melakukan proses prediksi.



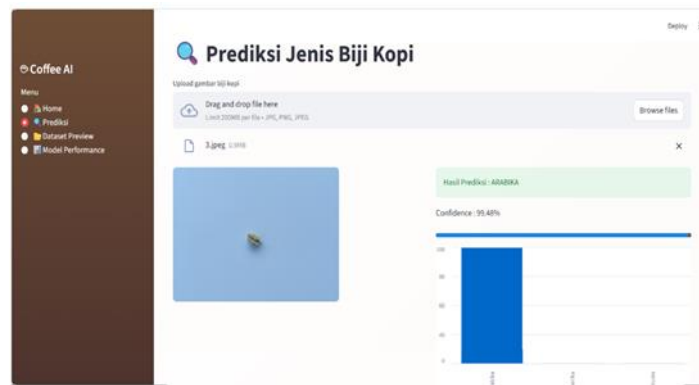
Gambar 12. Tampilan Halaman *Home*

2) Fitur Prediksi

Merupakan fitur utama dalam sistem yang digunakan untuk melakukan klasifikasi jenis biji kopi berdasarkan citra yang diunggah oleh pengguna. Pengguna dapat mengunggah gambar dalam format .jpg, .png, atau .jpeg. Setelah gambar diunggah, sistem akan melakukan proses preprocessing dan klasifikasi menggunakan model CNN *InceptionV3*. Hasil yang ditampilkan meliputi:

- a. Hasil klasifikasi jenis kopi (Arabika, Robusta, atau Liberika)
- b. Nilai *confidence* dalam bentuk persentase
- c. Grafik probabilitas masing-masing kelas

Fitur ini bertujuan untuk memberikan hasil prediksi secara cepat dan informatif kepada pengguna.



Gambar 13. Tampilan Halaman Prediksi

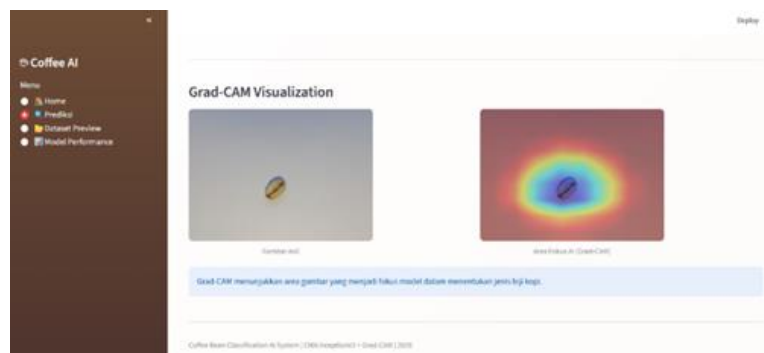
3) Visualisasi *Grad-CAM*

Fitur Visualisasi *Grad-CAM* (*Gradient-weighted Class Activation Mapping*) digunakan untuk menampilkan bagian citra yang menjadi fokus model dalam menentukan hasil prediksi. Visualisasi ditampilkan dalam bentuk heatmap yang dioverlay pada gambar asli.

Fitur ini bertujuan untuk:

- Meningkatkan transparansi model (*model transparency*)
- Membantu pengguna memahami cara kerja model
- Menunjukkan bahwa model melakukan prediksi berdasarkan area citra yang relevan.

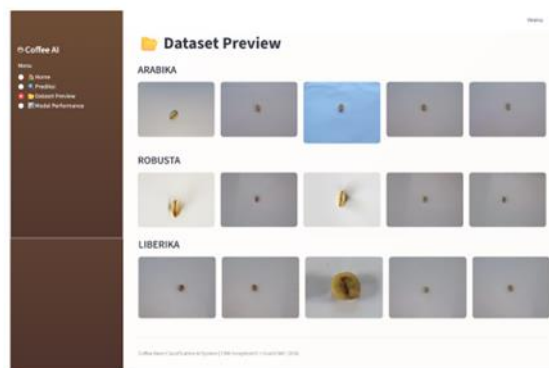
Dengan adanya fitur ini, sistem tidak hanya memberikan hasil prediksi, tetapi juga memberikan penjelasan visual sehingga termasuk dalam konsep *Explainable Artificial Intelligence* (XAI).



Gambar 14. Tampilan Halaman Visualisasi *Grad-CAM*

4) Dataset Preview

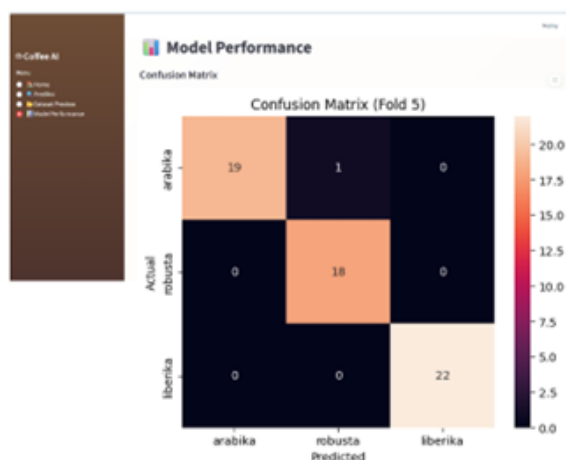
Fitur Dataset Preview digunakan untuk menampilkan beberapa contoh citra dari dataset yang digunakan dalam penelitian pada masing-masing kelas kopi, yaitu Arabika, Robusta, dan Liberika. Fitur ini bertujuan untuk memberikan gambaran kepada pengguna mengenai data yang digunakan dalam proses pelatihan model.



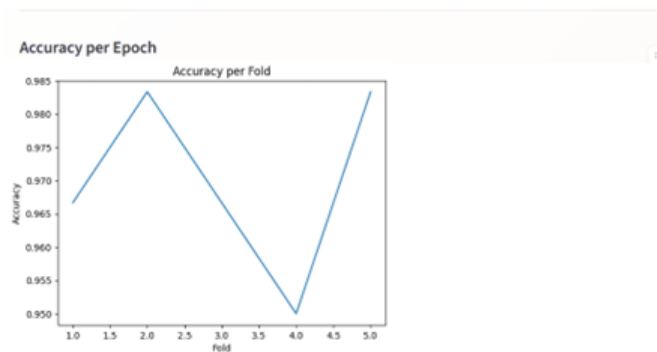
Gambar 15. Tampilan Halaman Dataset Preview

5) Model Performance

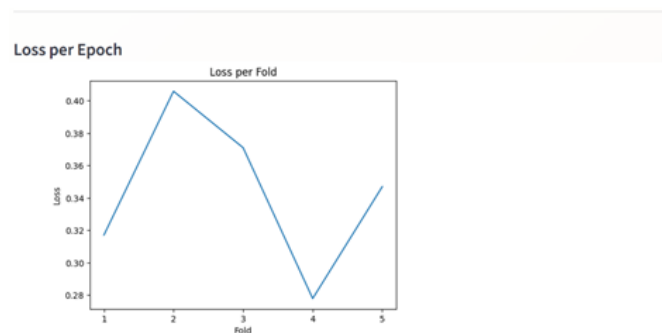
Fitur Model Performance digunakan untuk menampilkan hasil evaluasi model yang telah dilakukan sebelumnya. Informasi yang disajikan meliputi *Confusion matrix*, Grafik akurasi, Grafik *loss*, *Classification report*. Fitur ini bertujuan untuk menunjukkan tingkat kinerja model dalam melakukan klasifikasi serta memberikan informasi mengenai keakuratan dan konsistensi model.



Gambar 16. Tampilan Halaman Confusion Matrix Fold 5



Gambar 17. Tampilan Halaman *Accuracy per Fold*



Gambar 18. Tampilan Halaman *Loss per Fold*

Classification Report				
Classification Report:				
	precision	recall	f1-score	support
arabika	1.00	0.95	0.97	20
robusta	0.95	1.00	0.97	18
liberika	1.00	1.00	1.00	22
accuracy		0.98		60
macro avg	0.98	0.98	0.98	60
weighted avg	0.98	0.98	0.98	60

Coffee Bean Classification AI System | CNN InceptionV3 + Grad-CAM | 2026

Gambar 19. Tampilan Halaman *Classification Report*

D. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil penelitian klasifikasi jenis biji kopi menggunakan metode Convolutional Neural Network (CNN) dengan arsitektur InceptionV3, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Model CNN dengan arsitektur InceptionV3 mampu mengklasifikasikan jenis biji kopi arabika, robusta, dan liberika dengan baik berdasarkan citra yang digunakan.

2. Hasil pengujian menggunakan metode 5-Fold Cross Validation menunjukkan rata-rata akurasi sebesar 0.966 (96.6%), yang menandakan bahwa model memiliki performa yang tinggi serta konsisten dalam mengklasifikasikan jenis biji kopi pada setiap fold pengujian.
3. Evaluasi menggunakan Confusion Matrix pada fold ke-5 menghasilkan akurasi sebesar 98%, dengan nilai precision, recall, dan F1-score rata-rata sebesar 0.98, sehingga menunjukkan bahwa model memiliki performa yang sangat baik dalam mengklasifikasikan setiap kelas biji kopi secara akurat dan konsisten.

DAFTAR PUSTAKA

- Al’Fattah, B., Purnama, B., dan Kosala, G. 2025. Analisis Perbandingan CNN Model Xception dan InceptionV3 dalam Pengklasifikasian Rambu Lalu Lintas di Indonesia. *e-Proceeding of Engineering*. 12(3): 4347–4351. [internet].[Diakses 25 November 2025] tersedia pada: <https://doi.org/10.29303/jrpb.v11i2.542>
- Aryadi, M.I. 2021. *Literatur Review: Perbandingan Kadar Kafein dalam Kopi Arabika (Coffea arabica), Robusta (Coffea canephora), dan Liberika (Coffea liberica) dengan Metode Spektrofotometri UV-Vis* [Skripsi]. Banda Aceh (ID): Program Studi Kimia, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Ar-Raniry.[internet].[Diakses 20 November 2025]
- Dijaya, R. 2023. *Buku Ajar Pengolahan Citra Digital*. Sidoarjo (ID):UMSIDA Press.[internet].[Diakses 21 November 2025]
- Eriana, E.S., dan Zein, A. 2023. *Artificial Intelligence (AI)*. Purbalingga (ID): Eureka Media Aksara.[internet].[Diakses 21 November 2025]
- Nasution, N.F., Setianingsih, C., dan Saputra, R.E. 2024. Klasifikasi Biji Kopi Arabika Menggunakan Convolutional Neural Network. *e-Proceeding of Engineering*. 11(4): 3062–3069.[internet].[Diakses 25 November 2025] tersedia pada: <https://doi.org/10.29303/jrpb.v11i2.542>
- Hawari, F.H., Fadillah, F., dan Alviandi, M.R. 2022. Klasifikasi Penyakit Padi Menggunakan Algoritma CNN (Convolutional Neural Network). *Jurnal Responsif*. 4(2): 184–189. [internet].[Diakses 25 November 2025] tersedia pada:<https://scholar.archive.org/work/utr3htkrhfeszgedo6vp5aec4i/access/wayback/https://ejournal.ars.ac.id/index.php/jti/article/download/856/580>

- Ilhamsyah, I., Rahman, A.Y., dan Istiadi, I. 2021. Klasifikasi Kualitas Biji Kopi Menggunakan Multilayer Perceptron Berbasis Fitur Warna LCH. *Jurnal RESTI (Rekayasa Sistem dan Teknologi Informasi)*. 5(6): 1009–1017. [internet]. [Diakses 25 November 2025] tersedia pada: <https://doi.org/10.29303/jrpb.v11i2.542>
- Komariyah, A.N., Rohmatulloh, B., dan Hendrawan, Y. 2023. Klasifikasi Kualitas Teh Hitam Menggunakan Metode Convolutional Neural Network (CNN) Berbasis Citra Digital. *Jurnal Ilmiah Rekayasa Pertanian dan Biosistem*. 11(2): 221–231. DOI: 10.29303/jrpb.v11i2.542. [internet]. [Diakses 21 November 2025]
- Maharani, P.A., dan Akbar, M. 2024. Implementasi Convolutional Neural Network dalam Klasifikasi Jenis Kopi Temanggung. *JATI (Jurnal Mahasiswa Teknik Informatika)*. 8(3): 3030-3037. [internet]. [Diakses 25 November 2025] tersedia pada: <https://mail.ejournal.itn.ac.id/index.php/jati/article/view/9582>
- Marpaung, F., Arnita, A., Aulia, F., Suryani, N., dan Nabila, R.C. 2022. *Computer Vision dan Pengolahan Citra Digital*. Surabaya (ID): Pustaka Aksara. [internet]. [Diakses 21 November 2025]
- Murinto, M., Rosyda, M., dan Melany, M. 2023. Klasifikasi Jenis Biji Kopi Menggunakan Convolutional Neural Network dan Transfer Learning pada Model VGG16 dan MobileNetV2. *Jurnal Riset Sains dan Teknologi*. 7(2): 189–195. DOI: 10.30595/jrst.v7i2.16788. [internet]. [Diakses 28 September 2025]
- Murti, S.T.C., Kamarudin, A.P., Murrine, E.D., Faidha.R., Pangala, D.B., Anis,U., Muzaifa, M., & Mutis, A. 2024. *Buku Kopi Dari Hulu Ke Hilir*. Padang. (ID):CV Hei Publishing Indonesia. [internet]. [Diakses 20 November 2025]
- Oza, P., Sharma, P., dan Patel, S. 2022. Image Augmentation Techniques for Mammogram Analysis. *J. Imaging*. 8(5): 141. DOI: 10.3390/jimaging8050141 [internet]. [Diakses 23 November 2025]
- Pratama, G.A., Puspaningrum, E.Y., dan Maulana, H. 2024. Convolutional Neural Network dan Faster Region Convolutional Neural Network untuk Klasifikasi Kualitas Biji Kopi Arabika. *JITET (Jurnal Informatika dan Teknik Elektro Terapan)*. 12(3): 2776-2785. DOI: 10.23960/jitet.v12i3.4887. [internet]. [Diakses 28 September 2025]
- Ungkawa, U., dan Al Hakim, G. 2023. Klasifikasi Warna pada Kematangan Buah Kopi Kuning Menggunakan Metode CNN Inception V3. *ELKOMIKA: Jurnal Teknik*

Energi Elektrik, Teknik Telekomunikasi, & Teknik Elektronika. 11(3): 731–743. DOI:10.26760/elkomika.v11i3.731. [internet]. [Diakses 25 November 2025]

Wibowo, A.T., dan Allaam, M.R.R. 2021 Klasifikasi Genus Tanaman Anggrek Menggunakan Metode Convolutional Neural Network (CNN). e-Proceeding of Engineering. 8(2): 1153–1159. [internet]. [Diakses 25 November 2025] tersedia pada: <https://doi.org/10.29303/jrpb.v11i2.542>.