

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1. Latar Belakang**

Industri kopi merupakan salah satu sektor agroindustri yang memiliki nilai ekonomi tinggi, sehingga kualitas produk menjadi faktor utama dalam menjaga daya saing dan nilai jualnya [15], [17]. Salah satu tahapan penting dalam pengolahan kopi adalah proses sortasi biji, karena tahap ini menentukan keseragaman mutu, karakteristik cita rasa, serta kualitas produk akhir yang akan dipasarkan. Sortasi dilakukan dengan memisahkan biji kopi berdasarkan atribut visual, seperti warna, tekstur, ukuran, dan tingkat roasting. Namun, pada praktiknya banyak pelaku industri masih mengandalkan inspeksi visual oleh operator. Metode tersebut cenderung menghasilkan penilaian yang subjektif, tidak konsisten, rentan terhadap kesalahan manusia, serta sulit mempertahankan kecepatan dan kualitas ketika volume produksi meningkat. Akibatnya, pendekatan manual menjadi kurang efektif untuk memenuhi tuntutan efisiensi dan standarisasi pada industri kopi modern.

Kemajuan Artificial Intelligence (AI), khususnya pada bidang computer vision berbasis deep learning, menghadirkan alternatif yang lebih objektif dalam proses klasifikasi visual [57], [63], [69]. Berbeda dengan metode konvensional yang membutuhkan perancangan fitur secara manual, deep learning mampu membangun representasi fitur secara otomatis melalui proses pembelajaran langsung dari data citra. Dalam klasifikasi gambar, Convolutional Neural Network (CNN) telah banyak digunakan karena kemampuannya mengenali pola lokal melalui operasi konvolusi. Meskipun demikian, kemampuan CNN dalam menangkap keterkaitan antarbagian citra yang bersifat global masih memiliki keterbatasan.

Perkembangan terbaru menghadirkan Vision Transformer (ViT) sebagai arsitektur alternatif yang memanfaatkan mekanisme self-attention untuk mempelajari hubungan antarpatch citra secara menyeluruh [57]. Karakteristik tersebut menjadi relevan pada klasifikasi tingkat roasting biji kopi karena perbedaan antar kelas tidak hanya ditentukan oleh satu area tertentu, tetapi tercermin pada distribusi warna dan tekstur di seluruh permukaan biji. Oleh sebab

itu, penelitian ini memanfaatkan Vision Transformer sebagai model utama, sementara CNN digunakan sebagai model pembanding (baseline) untuk mengevaluasi perbedaan performa kedua pendekatan tersebut.

Di sisi lain, perkembangan Internet of Things (IoT) mendorong lahirnya konsep Artificial Intelligence of Things (AIoT), yaitu integrasi antara kecerdasan buatan dan perangkat fisik yang saling terhubung [6], [31], [52], [68]. Dalam konsep ini, hasil inferensi model tidak berhenti pada tahap analisis, tetapi dimanfaatkan sebagai dasar untuk mengendalikan perangkat secara otomatis. Integrasi tersebut memungkinkan terbentuknya sistem yang mampu melakukan pengambilan keputusan sekaligus menjalankan aksi fisik secara real-time tanpa intervensi manusia secara terus-menerus.

Meskipun berbagai penelitian terkait klasifikasi citra biji kopi telah menunjukkan hasil yang menjanjikan, sebagian besar masih berorientasi pada evaluasi performa model menggunakan metrik seperti accuracy, precision, recall, dan F1-score [22], [24], [43]. Implementasi hasil klasifikasi ke dalam sistem otomasi fisik secara menyeluruh masih relatif terbatas. Demikian pula, penerapan IoT pada bidang pertanian umumnya lebih difokuskan pada fungsi pemantauan dibandingkan pengembangan sistem otomasi cerdas. Selain itu, pemanfaatan Vision Transformer pada perangkat bergerak maupun sistem tertanam masih belum banyak dilakukan karena tuntutan komputasi yang cukup tinggi. Kondisi tersebut menunjukkan adanya peluang penelitian untuk mengintegrasikan computer vision, mobile AI, sinkronisasi cloud, komunikasi IoT, dan otomasi berbasis cyber-physical system dalam satu kesatuan sistem yang utuh.

Berdasarkan permasalahan tersebut, penelitian ini mengusulkan pengembangan sistem klasifikasi dan penyortiran biji kopi secara real-time berbasis AIoT dengan memanfaatkan Vision Transformer sebagai model utama dan CNN sebagai baseline pembanding [36], [55], [59], [71]. Sistem dirancang menggunakan arsitektur Mobile–Cloud–Edge Computing yang mengombinasikan perangkat mobile untuk menjalankan inferensi AI, Firebase sebagai media sinkronisasi data secara real-time, serta ESP32 sebagai edge controller untuk mengendalikan aktuator mekanik. Melalui integrasi tersebut, proses akuisisi citra, klasifikasi berbasis AI, pertukaran data, hingga penyortiran fisik dapat dilakukan secara

otomatis dalam satu mekanisme Cyber-Physical System yang saling terhubung. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi terhadap pengembangan smart agriculture, khususnya dalam mewujudkan sistem penyortiran biji kopi yang lebih cerdas, efisien, konsisten, dan andal.

## **1.2. Rumusan Masalah**

Berdasarkan permasalahan yang telah diidentifikasi pada latar belakang penelitian, maka rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana mengembangkan sistem klasifikasi biji kopi berdasarkan tingkat roasting menggunakan Vision Transformer yang dapat dijalankan secara real-time pada perangkat bergerak (mobile device)?
2. Bagaimana hasil perbandingan performa antara Vision Transformer dan Convolutional Neural Network (CNN) dalam melakukan klasifikasi citra biji kopi?
3. Bagaimana penerapan integrasi Artificial Intelligence of Things (AIoT) melalui pendekatan Mobile–Cloud–Edge Computing dalam mendukung mekanisme penyortiran biji kopi otomatis secara terhubung dan real-time?

## **1.3. Tujuan Penelitian**

Penelitian ini bertujuan untuk :

1. Merancang dan mengimplementasikan sistem klasifikasi biji kopi berdasarkan tingkat roasting menggunakan metode Vision Transformer yang dapat bekerja secara real-time pada perangkat mobile.
2. Mengevaluasi performa Vision Transformer serta membandingkannya dengan Convolutional Neural Network (CNN) sebagai model pembanding (baseline) dalam klasifikasi citra biji kopi.
3. Menerapkan konsep Artificial Intelligence of Things (AIoT) berbasis arsitektur Mobile–Cloud–Edge Computing untuk mendukung sistem penyortiran biji kopi otomatis yang mampu bekerja secara terintegrasi dan real-time.

## **1.4. Manfaat Penelitian**

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut:

1. Penelitian ini diharapkan mampu memberikan kontribusi terhadap pengembangan metode klasifikasi citra biji kopi berdasarkan tingkat roasting dengan memanfaatkan Vision Transformer yang berjalan secara real-time pada perangkat mobile, serta memperluas penerapan deep learning dalam bidang computer vision dan pengolahan citra digital.
2. Penelitian ini diharapkan dapat menjadi sumber referensi ilmiah dalam analisis dan evaluasi perbandingan performa antara Vision Transformer dan Convolutional Neural Network (CNN) pada proses klasifikasi citra biji kopi, sehingga dapat memberikan informasi mengenai tingkat efektivitas, akurasi, dan efisiensi dari kedua metode tersebut dalam sistem berbasis kecerdasan buatan.
3. Penelitian ini diharapkan dapat mendukung pengembangan sistem sortasi biji kopi otomatis berbasis Artificial Intelligence of Things (AIoT) melalui pendekatan Mobile–Cloud–Edge Computing yang terintegrasi dan mampu bekerja secara real-time, sehingga dapat meningkatkan efisiensi proses penyortiran, meminimalkan human error, serta menjadi solusi teknologi untuk mendukung smart agriculture dan industri pengolahan kopi modern.

### **1.5. Ruang Lingkup**

Ruang lingkup yang digunakan dalam penelitian ini dibatasi oleh beberapa faktor agar fokus dan hasil yang diperoleh lebih terarah, meliputi :

1. Klasifikasi citra biji kopi berdasarkan tingkat roasting (green, light, medium, dan dark).
2. Penggunaan Vision Transformer sebagai model utama dan CNN sebagai baseline pembanding.
3. Implementasi inferensi AI pada perangkat mobile berbasis TensorFlow Lite.
4. Pengembangan sistem AIoT menggunakan arsitektur Mobile–Cloud–Edge dengan Firebase dan ESP32.
5. Penggunaan load cell dan servo motor untuk mendukung proses penyortiran otomatis.
6. Pengujian difokuskan pada akurasi klasifikasi, latensi inferensi, respons sistem, dan performa integrasi AIoT.

7. Penelitian tidak mencakup analisis bisnis, komersialisasi, dan produksi massal sistem