

Abstrak

Industri kopi merupakan salah satu sektor komoditas global unggulan yang terus mengalami peningkatan konsumsi secara signifikan. Dalam menjaga mutu dan standar nilai jual kopi, penentuan jenis varietas serta tingkat sangrai (*roasting level*) menjadi faktor yang sangat krusial. Namun, proses pengawasan kualitas secara manual menggunakan indra penglihatan manusia sering kali bersifat subjektif, memakan waktu, dan rentan terhadap kesalahan. Oleh karena itu, pengembangan sistem pengenalan otomatis berbasis citra digital dan *deep learning* menjadi solusi mendesak untuk menjamin konsistensi kualitas kopi secara presisi. Meskipun demikian, tantangan utama dalam klasifikasi multikelas ini terletak pada tingginya kemiripan fitur visual antar-kelas (*inter-class similarity*), baik dari segi morfologi fisik varietas maupun gradasi warna hasil sangrai. Pendekatan konvensional *Flat Classification* sering kali mengalami penurunan performa karena dipaksa memprediksi seluruh 16 kombinasi kelas (4 jenis varietas $\times$ 4 tingkat sangrai) secara sekaligus dalam satu kali eksekusi. Penelitian ini mengajukan metode *Cascade Classification* berbasis arsitektur *Deep Learning EfficientNet-B0* untuk memecah kompleksitas tugas klasifikasi menjadi dua tahap sekuensial: tahap pertama mengidentifikasi jenis varietas biji kopi (Arabika, Robusta, Liberika, Ekselsa), dan tahap kedua menentukan tingkat sangrai (*Green, Light, Medium, Dark*). Prapemrosesan citra diterapkan dengan menggunakan *Gaussian Blur* untuk reduksi *noise*, CLAHE untuk penguatan kontras tekstur, serta penyeragaman dimensi citra. Hasil eksperimen menunjukkan bahwa pendekatan *Cascade Classification* terbukti lebih unggul dibandingkan *Flat Classification*. Model *Cascade Classification* berhasil mencapai akurasi global sebesar 94%, mengungguli model *Flat Classification* yang memperoleh akurasi sebesar 92%. Dekomposisi tugas pada arsitektur *Cascade* terbukti efektif dalam menekan ambiguitas visual antar-kelas, meminimalkan misklasifikasi pada varietas dengan kemiripan bentuk tinggi, serta memberikan stabilitas dan ketahanan prediktif yang lebih baik dalam mengklasifikasikan jenis dan tingkat sangrai biji kopi secara simultan.

Kata kunci: Cascade Classification; Flat Classification; EfficientNet-B0, Biji Kopi; Jenis Varietas; Tingkat Sangrai.

Abstract

The coffee industry represents one of the most prominent global commodity sectors, driven by rapidly growing consumer demand worldwide. Maintaining coffee quality and commercial value standards depends heavily on the accurate determination of bean varieties and roast levels. However, manual visual inspection methods are inherently subjective, time-consuming, and prone to human error, highlighting the necessity for precise automated quality control systems powered by digital image processing and deep learning. Nevertheless, the primary challenge in this multi-class classification task lies in the high inter-class visual similarity, regarding both the physical morphology of coffee varieties and the subtle color gradations resulting from roasting. Conventional Flat Classification approaches often suffer from degraded performance because they are forced to predict all 16 class combinations ($4 \text{ bean varieties} \times 4 \text{ roast levels}$) simultaneously in a single execution step. This study proposes a Cascade Classification method based on the EfficientNet-B0 deep learning architecture to decompose the complex classification task into two sequential stages: the first stage identifies the coffee bean variety (Arabica, Robusta, Liberica, Excelsa), and the second stage determines the roast level (Green, Light, Medium, Dark). Image preprocessing techniques are applied, including Gaussian Blur for noise reduction, Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization (CLAHE) for texture enhancement, and image dimension standardization. Experimental results demonstrate that the Cascade Classification approach significantly outperforms Flat Classification. The Cascade Classification model achieved a global accuracy of 94%, surpassing the Flat Classification model which attained an accuracy of 92%. The task decomposition inherent in the Cascade architecture effectively suppresses inter-class visual ambiguity, minimizes misclassification in varieties with strong physical resemblances, and yields superior predictive stability and robustness for simultaneously classifying coffee bean varieties and roast levels.

Keywords: Cascade Classification; Flat Classification; EfficientNet-B0, Coffee seeds; Variety type; Roast level.