

## Klasifikasi Warna Biji Kopi menggunakan Algoritma EfficientNet

Aldho Leonardi<sup>1</sup>, Vincent Wijaya<sup>2</sup>, Rafael Evaldo<sup>3</sup>

Dimas Pratama M<sup>4</sup>, Achmad Najamudin<sup>5</sup>

<sup>1,2,3,4,5</sup>Universitas Tarumanagara

aldho.535220096@stu.untar.ac.id<sup>1</sup>, vincent.535220064@stu.untar.ac.id<sup>2</sup>,

rafael.535220086@stu.untar.ac.id<sup>3</sup>, dimas.825220155@stu.untar.ac.id<sup>4</sup>,

achmad.535190047@stu.untar.ac.id<sup>5</sup>

### ABSTRACT

*Determining the roasting level of coffee beans is generally done manually by roast masters, making it subjective and prone to inconsistencies. To address this issue, this study developed a Convolutional Neural Network (CNN)-based automatic classification system using the EfficientNet B0–B5 architecture to identify four roasting levels: green, light, medium, and dark. The dataset used consisted of 1,600 evenly distributed coffee bean images and was processed through preprocessing, normalization, and light augmentation stages. All EfficientNet models were trained using ImageNet pretrained weights to maximize the ability to extract visual features such as color, texture, and surface gloss of coffee beans. The test results showed that EfficientNet-B1, B2, B4, and B5 achieved the highest accuracy of 100%, while variants B0 and B3 achieved 99%. EfficientNet-B1 was considered the optimal model because it provided the highest accuracy with a relatively more efficient training time compared to B2, B4, and B5. These findings demonstrate that CNN methods, particularly EfficientNet, are capable of detecting visual differences between roasting levels with high accuracy and have the potential to be used as an automation system for roasting quality standards in the coffee industry.*

**Keywords :** *EfficientNet, image classification, coffee roasting, deep learning, computer vision.*

### ABSTRAK

*Penentuan tingkat pemanggangan biji kopi umumnya dilakukan secara manual oleh roast master, sehingga bersifat subjektif dan rentan terhadap inkonsistensi. Untuk mengatasi permasalahan ini, penelitian ini mengembangkan sistem klasifikasi otomatis berbasis Convolutional Neural Network (CNN) menggunakan arsitektur EfficientNet B0–B5 untuk mengidentifikasi empat tingkat roasting: green, light, medium, dan dark. Dataset yang digunakan terdiri dari 1.600 citra biji kopi yang terdistribusi seimbang dan diproses melalui tahapan preprocessing, normalisasi, serta augmentasi ringan. Seluruh model EfficientNet dilatih menggunakan bobot pra-latih ImageNet untuk memaksimalkan kemampuan ekstraksi fitur visual seperti warna, tekstur, dan kilap permukaan biji kopi. Hasil pengujian menunjukkan bahwa EfficientNet-B1, B2, B4, dan B5 memperoleh akurasi tertinggi, yaitu 100%, sementara varian B0 dan B3 mencapai 99%. EfficientNet-B1 dinilai sebagai model optimal karena memberikan akurasi tertinggi dengan waktu pelatihan yang relatif lebih efisien dibanding dengan B2, B4, dan B5. Temuan ini membuktikan bahwa metode CNN, khususnya EfficientNet, mampu mendeteksi perbedaan visual antar tingkat roasting secara sangat akurat dan berpotensi digunakan sebagai sistem otomatisasi untuk standar kualitas roasting di industri kopi.*

**Kata kunci :** *EfficientNet, klasifikasi citra, roasting kopi, deep learning, computer vision.*

## PENDAHULUAN

Proses penentuan tingkat pemanggangan biji kopi memiliki peran penting terhadap kualitas akhir kopi, termasuk cita rasa, aroma, serta warna visual yang menjadi indikator utama tingkat pemanggangan [1][2]. Metode visual manual yang dilakukan oleh roast master cenderung bersifat subjektif dan kurang konsisten, sehingga dibutuhkan sistem otomatis berbasis computer vision untuk meningkatkan akurasi dan efisiensi proses identifikasi [3][4][5]. Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan performa beberapa varian EfficientNet (B0–B5) dalam mengklasifikasikan tingkat pemanggangan biji kopi, yaitu green, light, medium, dan dark [6].

Metodologi penelitian meliputi pengumpulan *dataset* citra biji kopi, tahap preprocessing (normalisasi, augmentasi, dan penyesuaian ukuran input), pelatihan model menggunakan bobot pra-latih ImageNet, serta evaluasi performa berdasarkan metrik recall, precision, f1-score, dan akurasi klasifikasi [7]. Selain itu, confusion matrix digunakan untuk memberikan representasi visual mengenai distribusi prediksi antar kelas sehingga dapat dianalisis lebih rinci pola kesalahan model, termasuk identifikasi kelas mana yang paling sering tertukar [8][9]. Selama proses pelatihan, model dioptimasi menggunakan loss function kategori categorical cross-entropy, yang umum digunakan untuk tugas klasifikasi multikelas karena mampu mengukur jarak antara distribusi prediksi model dengan label sebenarnya secara efektif [10].

Penelitian ini juga menyertakan visualisasi image classification, yaitu hasil prediksi model pada citra uji yang menunjukkan keberhasilan model dalam mengenali karakteristik visual masing-masing tingkat pemanggangan. Visualisasi ini berperan dalam memberikan interpretasi intuitif mengenai bagaimana model melakukan keputusan klasifikasi berdasarkan fitur citra [11].

Berbagai penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa EfficientNet memberikan performa tinggi pada berbagai tugas klasifikasi citra [12]. Dengan demikian, kontribusi utama makalah ini adalah menyajikan analisis komparatif terhadap enam varian EfficientNet untuk identifikasi tingkat pemanggangan biji kopi secara otomatis, sekaligus memberikan pemahaman lebih mendalam mengenai efektivitas masing-masing arsitektur ketika diterapkan pada domain industri pengolahan kopi.

## TINJAUAN LITERATUR

### Kopi

Biji kopi (green bean) adalah hasil pascapanen tanaman *Coffea* yang masih mentah dan memiliki warna hijau akibat kandungan klorofil. Secara fisik, biji ini keras, memiliki kadar air 10–12%, permukaan matte, serta mengandung senyawa prekursor aroma yang akan berubah selama proses roasting. Perbedaan varietas seperti Arabica, Robusta, dan Liberica memberi variasi bentuk, namun tidak sekompleks perubahan warna akibat pemanggangan [1]. Variasi warna green bean juga dapat dipengaruhi metode pascapanen, tetapi tetap lebih kecil dibandingkan

transformasi warna pada proses roasting. Karena itu, klasifikasi visual roasting lebih bergantung pada perubahan warna dan tekstur, menjadikannya relevan untuk dianalisis menggunakan model deep learning seperti EfficientNet [13].

## Tingkat Pematangan

Roasting adalah proses pemanasan biji kopi pada 180–240°C yang memicu reaksi Maillard, karamelisasi, dan pencoklatan non-enzimatik, sehingga mengubah warna, aroma, dan rasa biji secara signifikan. Perubahan visual terjadi karena pemaian sel, retakan, dan penguapan air. Tingkat roasting dibagi menjadi empat tahap: green bean (hijau dan keras), light roast (cokelat terang, acidity tinggi), medium roast (cokelat sedang, rasa seimbang), dan dark roast (cokelat gelap, berminyak, rasa bold) [14][15]. Perbedaan warna terutama pada medium dan dark roast yang tampak mirip menjadi dasar klasifikasi citra, sehingga dibutuhkan model deep learning seperti EfficientNet untuk mengekstraksi fitur halus dan meningkatkan akurasi [9].

### 3. EfficientNet

EfficientNet menggunakan pendekatan *compound scaling* untuk melakukan penskalaan yang seimbang pada kedalaman jaringan ( $d$ ), lebar layer ( $w$ ), dan resolusi input ( $r$ ). Ketiga komponen diskalakan menggunakan satu koefisien  $\phi$ :

$$\text{depth: } d = a\phi, \text{ width: } w = \beta\phi, \text{ resolution: } r = r\phi \#(1)$$

Dengan kendala:

$$a \cdot \beta \cdot r^2 \approx 2 \#(2)$$

**Persamaan 1** dengan kendala di **persamaan 2** untuk memastikan bahwa peningkatan kapasitas jaringan dilakukan secara proporsional, sehingga performa meningkat tanpa menaikkan kompleksitas komputasi secara drastis [9]. Pembesaran model secara proporsional pada kedalaman, lebar, dan resolusi menggunakan satu koefisien skala. Pendekatan ini membuat EfficientNet lebih efisien dan akurat dibanding metode scaling tradisional. Model ini memiliki varian B0–B7, di mana B0 menjadi baseline dan varian B1–B5 digunakan untuk *dataset* yang lebih kompleks. Dalam klasifikasi tingkat roasting biji kopi, EfficientNet sangat sesuai karena mampu mengekstraksi perubahan warna, tekstur, dan kilap secara efektif, terutama dengan bantuan SE block dan pretrained weights yang mempercepat pelatihan serta meningkatkan stabilitas [6][11][12].

## METODE PENELITIAN

### Dataset

*Dataset* penelitian terdiri dari 1.600 citra biji kopi yang diperoleh dari platform Kaggle. *Dataset* ini dibagi menjadi 1.200 citra untuk pelatihan dan 400 citra untuk pengujian. Empat kelas tingkat pemanggangan *green*, *light*, *medium*, dan *dark* dibagi secara seimbang, masing-masing terdiri dari 300 citra pada *train* set dan 100 citra pada *test* set, sebagaimana ditunjukkan pada **Gambar 1**. Struktur *dataset* menggunakan susunan folder per kelas dengan format citra JPEG dan resolusi

bervariasi, sehingga memerlukan proses *preprocessing* berupa *resize* ke ukuran *input* EfficientNet (224×224–456×456), normalisasi piksel, serta augmentasi ringan seperti *rotation*, *flip*, dan *brightness adjustment* untuk meningkatkan generalisasi model.

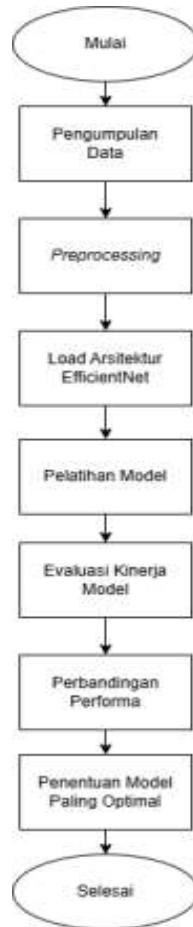


Gambar 1. Dataset Biji Kopi

Seluruh citra merupakan *close-up* biji kopi dengan pencahayaan yang relatif stabil, sehingga fitur visual seperti warna, tekstur permukaan, dan tingkat kilap dapat diekstraksi secara konsisten. Kejelasan perbedaan visual antar tingkat pemanggangan membuat *dataset* ini sangat sesuai untuk tugas klasifikasi gambar. Selain itu, keseimbangan jumlah citra pada setiap kelas mengurangi risiko *class imbalance*, yang dapat berdampak negatif terhadap performa model. Kualitas dataset yang baik dan struktur anotasi yang terorganisasi mendukung proses pelatihan enam varian EfficientNet (B0–B5) agar mampu mencapai performa yang akurat dan stabil pada proses identifikasi tingkat pemanggangan biji kopi.

## Alur

Alur penelitian dimulai dari pengumpulan *dataset* citra biji kopi pada empat tingkat roasting. *Dataset* kemudian diproses melalui tahap *preprocessing*, termasuk *resize* dan normalisasi sesuai kebutuhan EfficientNet. Selanjutnya, EfficientNet B0 hingga B5 dimuat menggunakan bobot pretrained ImageNet dan ditambahkan lapisan klasifikasi baru. Setiap model dilatih secara terpisah dengan parameter yang sama, sambil mencatat akurasi, loss, dan waktu pelatihan. Setelah pelatihan selesai, seluruh model dievaluasi berdasarkan akurasi validasi, nilai loss, serta efisiensi komputasi. Hasil evaluasi digunakan untuk menentukan varian EfficientNet paling optimal untuk klasifikasi tingkat pemanggangan biji kopi. Alur tersebut dapat dilihat seperti pada **Gambar 2**.



Gambar 2. Alur Pengerjaan

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada penelitian ini, keenam varian EfficientNet (B0–B5) diuji untuk mengklasifikasikan tingkat pemanggangan biji kopi yang terdiri dari empat kelas: green, light, medium, dan dark. Proses pelatihan dilakukan selama 12 epoch menggunakan ukuran citra sesuai standar masing-masing arsitektur. Hasil evaluasi menunjukkan adanya variasi performa yang cukup signifikan antara model dengan kompleksitas rendah dan tinggi.

### 1. Performansi Pelatihan Model

Hasil pelatihan menunjukkan bahwa hampir semua varian EfficientNet mampu mencapai akurasi yang sangat tinggi. Berdasarkan nilai akurasi validasi dan metrik evaluasi pada *test set*, akurasi tertinggi dicapai oleh EfficientNet-B1, B2, B4, dan B5 yang semuanya memperoleh nilai 1.00. Model B0 dan B3 sedikit lebih rendah dengan akurasi 0.99, namun tetap tergolong sangat baik.

Meskipun demikian, model dengan kompleksitas besar seperti B4 dan B5 tidak memberikan peningkatan signifikan jika dibandingkan model ringan seperti B1 dan B2. Dengan demikian, peningkatan jumlah parameter tidak selalu

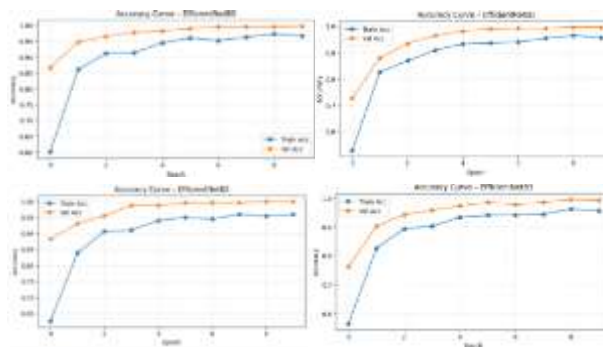
berbanding lurus dengan peningkatan akurasi, terutama ketika dataset memiliki ukuran sedang seperti pada penelitian ini.

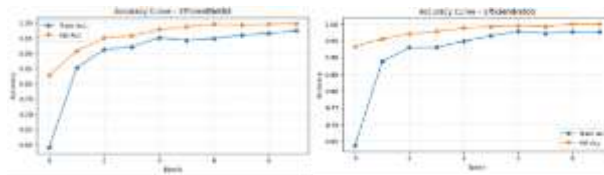
Tabel 1 Tabel Hasil Evaluasi

Mode l	Size	Presi si	Recal l	F1- Score	Akura si
B0	224	0.99	0.99	0.99	0.99
B1	240	1.00	1.00	1.00	1.00
B2	260	1.00	1.00	1.00	1.00
B3	300	0.99	0.99	0.99	0.99
B4	380	1.00	1.00	1.00	1.00
B5	456	1.00	1.00	1.00	1.00

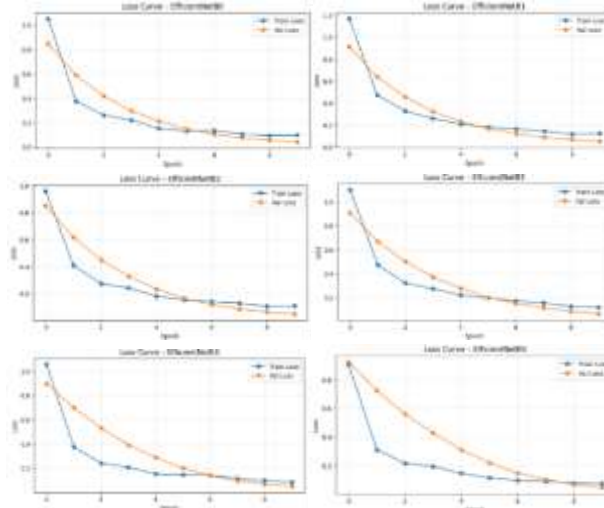
Tabel tersebut memperlihatkan bahwa peningkatan ukuran model dari B0 hingga B5 tidak selalu menghasilkan peningkatan kinerja yang berarti. Model B1, B2, B4, dan B5 memang mencapai akurasi sempurna, tetapi selisih performanya sangat kecil bila dibandingkan dengan model ringan seperti B0 dan B3. Oleh karena itu, model ringan yang lebih efisien sering kali menjadi pilihan praktis pada *dataset* berukuran sedang.

Kurva akurasi pada **Gambar 3** dan loss pada **Gambar 4** juga menunjukkan pola konvergensi yang stabil. Varian B0-B3 memiliki gap yang kecil antara training loss dan validation loss, menandakan tidak terjadi overfitting. Sebaliknya, model besar seperti B4 dan B5 memperlihatkan sedikit fluktuasi pada kurva validasi, mengindikasikan bahwa kapasitas model yang terlalu besar kurang termanfaatkan secara optimal.





Gambar 3. Grafik Accuracy B0-B5



Gambar 4. Grafik Loss B0-B5

### Evaluasi Menggunakan Classification Report

Evaluasi lebih lengkap menggunakan classification report menunjukkan bahwa EfficientNet-B1, B2, B4, dan B5 mampu mencapai precision, recall, dan F1-score mendekati 1.00 untuk seluruh kelas. Sebagai contoh, EfficientNet-B1 menghasilkan:

- Precision (Green): 1.00
- Recall (Light): 1.00
- F1-score (Medium): 1.00
- Akurasi keseluruhan: 1.00

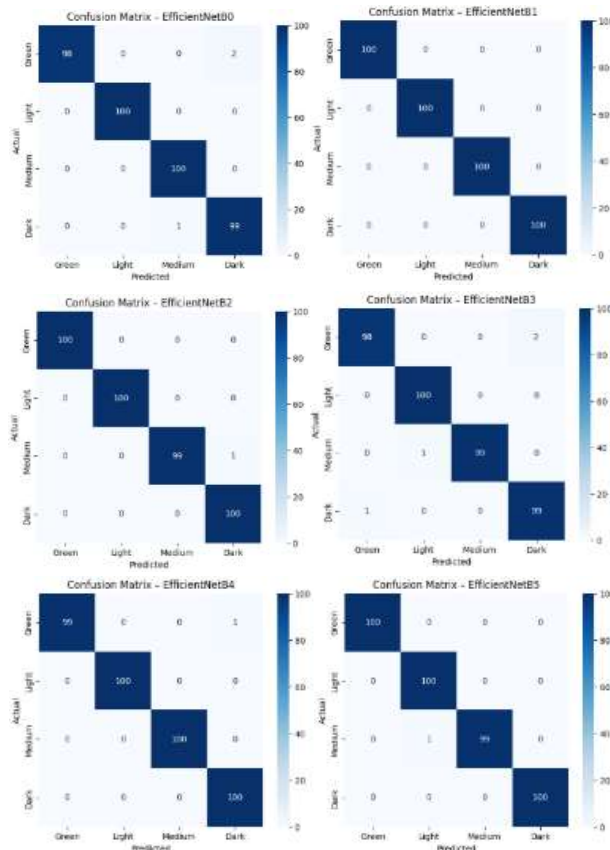
Hasil ini menunjukkan bahwa model mampu mengenali perbedaan visual antar-kelas pangan dengan sangat baik, terutama pada kelas Light dan Medium yang memiliki karakter warna cukup jelas.

### Analisis Confusion Matrix

Semua model EfficientNet (B0 hingga B5) menunjukkan kinerja klasifikasi yang sangat kuat dengan akurasi mendekati sempurna. Hal ini tercermin dari nilai prediksi yang konsisten tinggi pada diagonal utama *confusion matrix*, yang menandakan bahwa sebagian besar citra berhasil diklasifikasikan ke dalam kelas yang benar. Jumlah kesalahan klasifikasi juga sangat rendah pada seluruh model, memperlihatkan bahwa arsitektur EfficientNet mampu mengekstraksi fitur visual biji kopi termasuk perbedaan warna, tekstur, dan tingkat kegelapan secara efektif.

Di antara seluruh varian, EfficientNet-B1 menunjukkan performa paling optimal dengan hasil klasifikasi sempurna pada seluruh kelas tanpa adanya kesalahan. Varian lain seperti B2, B4, dan B5 juga menunjukkan performa hampir identik, namun masih menyisakan sedikit misklasifikasi pada beberapa model. Kesalahan yang terjadi umumnya berfokus pada kelas yang memiliki tingkat kemiripan visual paling tinggi, khususnya antara kelas *Medium* dan *Dark*, di mana perbedaan warna dan kilap sering kali lebih halus dibanding kelas lainnya.

Temuan ini memperkuat bahwa meskipun perbedaan antar tingkat pemanggangan terkadang sangat tipis secara visual, EfficientNet mampu menangkap pola-pola penting dengan akurasi tinggi. **Gambar 5** menyajikan *confusion matrix* lengkap untuk seluruh model, yang menggambarkan distribusi prediksi dan menunjukkan konsistensi performa antar varian EfficientNet.



Gambar 5. Confusion Matrix B0-B5

### KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil melakukan klasifikasi tingkat pemanggangan biji kopi menggunakan enam varian EfficientNet (B0–B5) pada dataset citra berukuran sedang yang terdiri dari empat kelas: green, light, medium, dan dark. Berdasarkan hasil pengujian, seluruh model menunjukkan performa yang sangat baik dengan akurasi berada pada rentang 0.99 hingga 1.00. Varian B1, B2, B4, dan B5 mencapai

akurasi sempurna, sementara B0 dan B3 memiliki performa yang hanya sedikit lebih rendah.

Meskipun model berukuran besar seperti B4 dan B5 memiliki jumlah parameter yang lebih tinggi, peningkatan kompleksitas tidak memberikan peningkatan akurasi yang signifikan dibandingkan model yang lebih ringan. Analisis classification report dan confusion matrix menunjukkan bahwa seluruh model mampu mengenali perbedaan visual antar kelas dengan sangat baik, dengan misklasifikasi yang sangat minim. Selain itu, model berukuran kecil hingga menengah B1 dan B2 menunjukkan efisiensi pelatihan yang lebih baik dan stabil tanpa indikasi overfitting.

Secara keseluruhan, penelitian ini menunjukkan bahwa EfficientNet, khususnya varian B1, sangat efektif dan efisien dalam melakukan klasifikasi tingkat pemanggangan biji kopi pada dataset terbatas. Dengan performa tinggi dan kebutuhan komputasi yang lebih rendah, model-model tersebut direkomendasikan untuk implementasi praktis pada sistem klasifikasi berbasis citra di bidang industri kopi maupun aplikasi terkait kualitas pangan berbasis visi komputer.

## DAFTAR PUSTAKA

- A. Dananjaya *et al.*, "Coffee Roast Image Classification Using CNN," in *Proc. IEEE Conf. Image Processing*, Kuala Lumpur, 2021.
- A. Mikolajczyk and M. Grochowski, "Data Augmentation for Improving Deep Learning in Image Classification," *Journal of Image Processing Research*, Warsaw, 2019.
- DeepLearning.AI Team, "Understanding Loss Functions and Model Accuracy," *DeepLearning.AI Publications*, California, 2022.
- G. Fernandes, "How to Read a Confusion Matrix for Classification," *Towards Data Science*, New York, 2021.
- International Coffee Organization, *Coffee Market Report 2023*, London, 2023.
- Keras Team, "EfficientNet Application Models," *Keras Documentation*, Google AI, California, 2023.
- Keras Team, "Losses and Metrics Documentation," *Keras API Reference*, Google AI, California, 2023.
- M. Tan and Q. V. Le, "EfficientNet: Rethinking Model Scaling for Convolutional Neural Networks," in *Proc. ICML*, Long Beach, CA, 2020.
- National Coffee Association USA, *National Coffee Data Trends Report*, New York, 2023.
- Perfect Daily Grind, "Understanding Coffee Roasting Levels," London, 2022.
- Perfect Daily Grind, "What Are Green Coffee Beans?," London, 2021.
- S. Albawi and T. Mohammed, "Understanding of Image Pre-processing in Deep Learning," in *Proc. IEEE Int. Conf. Engineering Technologies*, Baghdad, 2020.
- Scikit-Learn Developers, "Confusion Matrix Documentation," *Scikit-learn.org*, California, 2023.
- Specialty Coffee Association, *Roasting Fundamentals*, California, 2020.

# *Dawatuna: Journal of Communication and Islamic Broadcasting*

**Volume 6 Nomor 3 (2026) 210 – 219 E-ISSN 2798-6683 P-ISSN 2798-690X  
DOI: 10.47467/dawatuna.v6i3.12344**

- X. Zhang *et al.*, “A Comprehensive Survey on EfficientNet Models,” *Artificial Intelligence Review*, Elsevier, Amsterdam, 2022.