Classification of Bean Leaf Lesions Using Modified EfficientNetV2 for Implementation in TensorFlow Lite

Muhammad Abiya Makruf, Falah Asyraf Darmawan Putra, Akif Rachmat Hidayah

Telkom University
Bandung, Indonesia

Latar Belakang

Camera View

- Pentingnya Tanaman Kacang:
  - Sumber serat dan kalori penting, terutama di Afrika Timur dan Selatan.
  - Sebagian besar produksi berasal dari petani kecil.
- Tantangan Utama:
  - Angular Leaf Spot dan Bean Rust adalah penyakit utama yang mengancam hasil panen.
  - Kehilangan hasil panen akibat penyakit ini berdampak signifikan pada ketahanan pangan global.
- Kebutuhan Teknologi:
  - Metode deteksi penyakit yang akurat dan efisien sangat diperlukan untuk mendukung produksi berkelanjutan.

Related Work

Peneliti	Model yang Digunakan	Dataset	Hasil Akurasi	Poin Utama
Singh et al. [7]	MobileNetV2, EfficientNetB6, NasNet	Tidak disebutkan	91.74% (EfficientNetB6)	Menunjukkan efektivitas model CNN pre-trained dan teknik optimasi dalam meningkatkan akurasi klasifikasi.
Tiwari dan Kumar [4]	Ensemble (MobileNetV2, ResNet50, EfficientNetB2, DenseNet121, VGG16)	Tidak disebutkan	92.12%	Menggunakan pendekatan majority voting dengan ensemble untuk klasifikasi lesi daun kacang.
Elfatimi et al. [5]	MobileNet	Dataset publik (Healthy, Angular Leaf Spot, Bean Rust)	92.97%	Efisien secara komputasi, cocok untuk deployment.
Serttaş dan Deniz [8]	VGG16, ResNet50, MobileNetV2	1,295 gambar (Healthy, Angular Leaf Spot, Bean Rust)	98.33% (ResNet50)	Transfer learning menunjukkan efektivitas tinggi dalam aplikasi pertanian.
Kaur et al. [9]	Ensemble (GoogleNet, CNN)	Tidak disebutkan	98.93%	Menggunakan GoogleNet dan CNN untuk performa superior di klasifikasi lesi daun kacang.

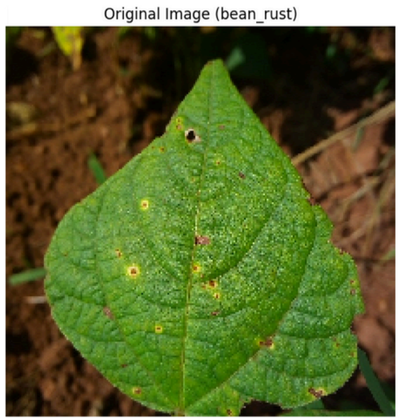
Camera View

Tujuan Penelitian

Camera View

- Tujuan Penelitian:
  - Mengembangkan model ringan dan akurat untuk klasifikasi penyakit daun kacang.
  - Mengoptimalkan model agar cocok untuk perangkat berbasis sumber daya terbatas seperti mobile devices.
- Kekurangan Penelitian Sebelumnya:
  - Banyak studi menggunakan metode ensemble yang kompleks, seperti EnDeeL, yang meningkatkan akurasi tetapi memerlukan komputasi tinggi dan tidak efisien untuk perangkat mobile.
  - Beberapa studi menunjukkan akurasi tinggi (hingga 98.93%), tetapi belum mempertimbangkan aspek penting seperti waktu inferensi dan ukuran model.
- Kontribusi Penelitian Ini:
  - Fokus pada penggunaan EfficientNetV2, yang dirancang untuk efisiensi komputasi tanpa mengorbankan akurasi.
  - Menambahkan evaluasi metrik praktis seperti waktu inferensi dan ukuran model TensorFlow Lite untuk memastikan kompatibilitas dengan perangkat berbasis sumber daya terbatas.
  - Menggunakan Grad-CAM untuk meningkatkan interpretabilitas hasil klasifikasi.

Dataset



Class	Training	Validation	Testing
Healthy	307	34	44
Angular Leaf Spot	311	34	44
Bean Rust	314	34	45
Total Images	**932**	**102**	**133**

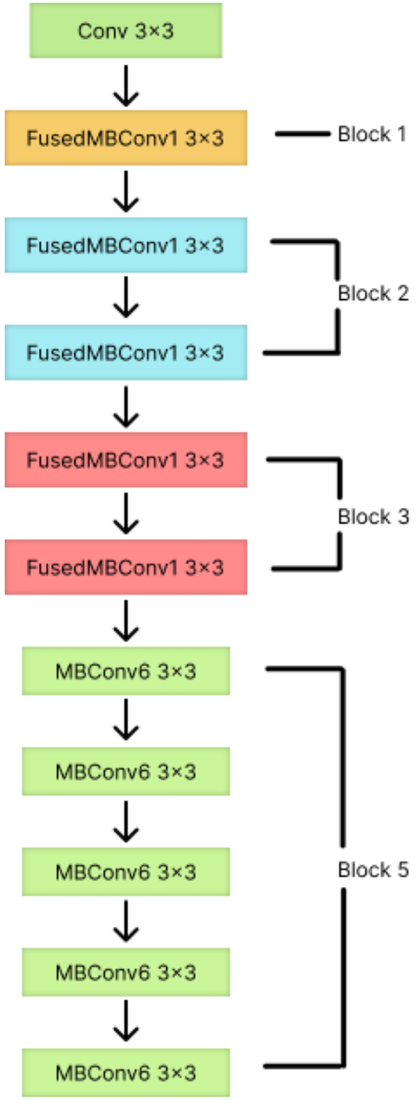
- Dataset terbagi menjadi 3 kelas berbeda yaitu: healthy, angular_leaf_spot, dan bean_rust
- Dari sumber data (kaggle), data sudah terbagi menjadi 2 set yaitu training dan testing
- Data validation diambil sebesar 10% dari training set

Camera View

Source: https://www.kaggle.com/datasets/marquis03/bean-leaf-lesions-classification

Arsitektur Model

- Arsitektur model yang digunakan adalah EfficientNetV2
- Dilakukan modifikasi EfficientNetV2 dengan menghapus block ke-4 dan ke-6
- Penghapusan block didasari oleh eksperimen dengan mempertimbangkan jumlah paramater



Camera View

Modifikasi Arsitektur

Block Removed	Train Acc	Val Acc	Test Acc	Total Parameter
Block 1	0.8294	0.8824	0.8881	6,275,363
Block 2	**0.8777**	0.9314	0.9627	6,208,851
Block 3	0.8648	0.9216	0.9257	6,140,627
Block 4	0.8380	0.9314	0.8582	6,017,815
Block 5	0.8519	0.8431	0.8507	5,308,555
Block 6	0.8261	0.9216	0.8651	1,901,735
Block 4&5	0.8326	0.8922	0.9328	5,041,231
Block 4&6	**0.8777**	**0.9412**	**0.9776**	1,639,019
Block 5&6	0.8487	0.9118	0.9179	**920,031**

- Penghapusan block ke-4 dan ke-6 memiliki kontribusi yang besar terhadap total parameter
- Penghapusan tersebut tetap mempertahankan nilai test akurasi yang tinggi

Camera View

Skema dan Setup Eksperimen

Skema Eksperimen

1. Original EfficientNetV2
   a. Semua layer *freeze* dan menggunakan *pre-trained weights*
   b. Semua layer *trainable* dan tanpa menggunakan *pre-trained weights*
2. Modifief EfficientNetV2

Hyperparameter

Hyperparameter	Value
Optimizer	Adam
Batch Size	32
Dropout Rate	0.2
Epoch	30

Setup Eksperimen

- Input size: mengikuti variasi efficientNetV2 yang dipilih dengan range 224x224 hingga 300x300
- NVIDIA RTX A40 (48GB VRAM)
- 50GB RAM
- TensorFlow 2.17.0
- Python 3.12.4

Camera View

Hasil Eksperimen: Model Asli

Original EfficientNetV2: Freeze All Layers with Pre-Trained Weights

Model	Train Acc	Val Acc	Test Acc	Total Parameter
EfficientNetV2B0	0.9861	**0.9949**	0.9549	**6,280,531**
EfficientNetV2B1	**0.9903**	0.9925	0.9625	7,292,343
EfficientNetV2B2	0.9764	0.9902	**0.9849**	9,163,361
EfficientNetV2B3	0.9775	**0.9949**	**0.9849**	13,357,377

- EfficientNetV2B0 dengan jumlah paramater paling sedikit memiliki test akurasi paling kecil
- EfficientNetV2B3 dengan jumlah paramater terbanyak memiliki validasi dan test akurasi tertinggi
- Hal tersebut menunjukan bahwa terdapat hubungan antara tingkat kompleksnya model dengan performansi

Camera View

Hasil Eksperimen: Model Asli

Original EfficientNetV2: All Layers Trainable No Pre-Trained Weights

Model	Train Acc	Val Acc	Test Acc	Total Parameter
EfficientNetV2B0	0.7682	0.8039	0.8120	**6,280,531**
EfficientNetV2B1	0.8101	0.8725	0.8571	7,292,343
EfficientNetV2B2	**0.8219**	**0.8824**	**0.8872**	9,163,361
EfficientNetV2B3	0.7393	0.7549	0.8271	13,357,377

- EfficientNetV2B2 memiliki training, validasi, dan testing tertinggi
- Berbeda dengan EfficientNetV2B3 yang memiliki jumlah paramater sangat besar namun performanya dibawah B2
- Hal tersebut menunjukan bahwa tidak selamanya model yang lebih kompleks memberikan hasil yang lebih baik

Camera View

Hasil Eksperimen: Model Modifikasi

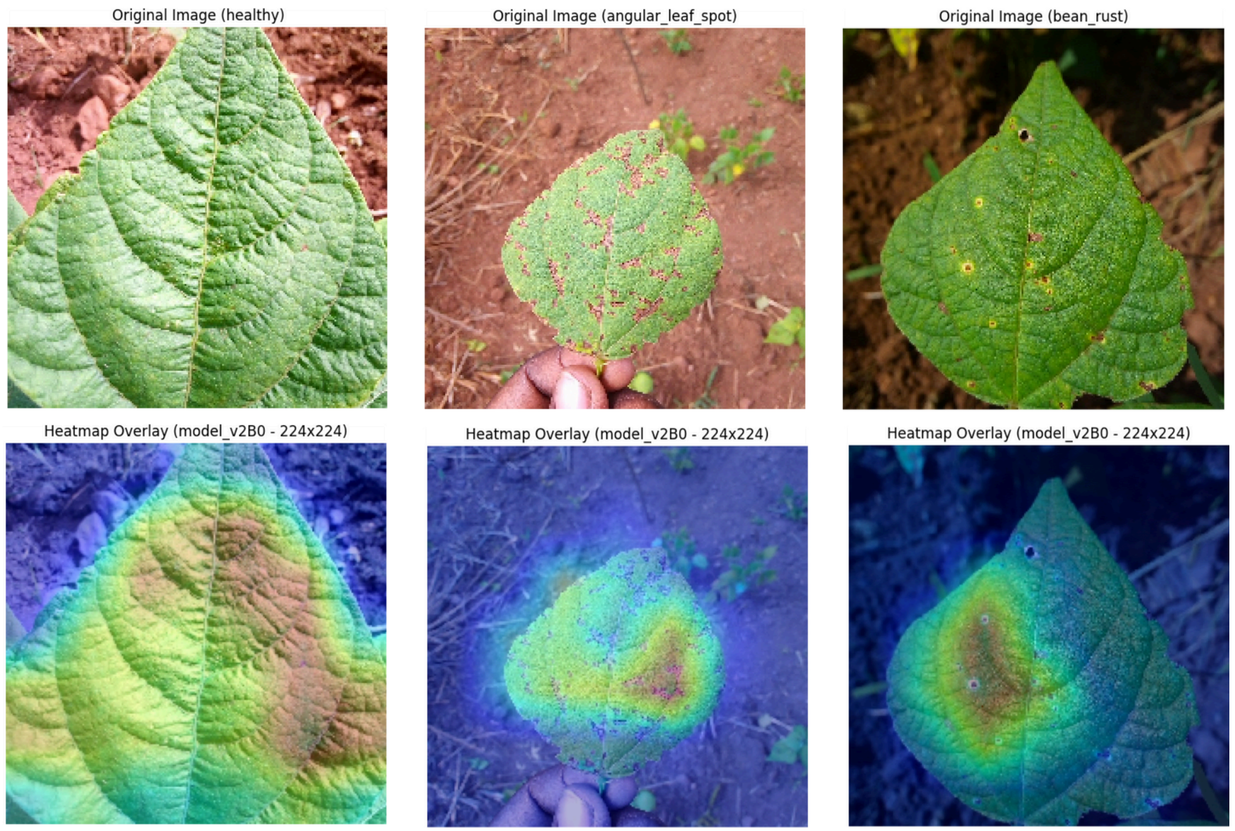
Modified EfficientNetV2: All Layers Trainable No Pre-Trained Weights

Model	Train Acc	Val Acc	Test Acc	Total Parameter
EfficientNetV2B0	0.8777	0.9412	0.9776	1,639,019
EfficientNetV2B1	0.8691	0.9118	0.8797	1,976,839
EfficientNetV2B2	0.8691	0.9216	0.8947	2,270,707
EfficientNetV2B3	0.8670	0.8824	0.9023	3,049,123
MobileNetV3Small	0.9839	0.8725	0.7594	**1,120,115**
MobileNetV3Large	**0.9979**	**0.9902**	**0.9925**	3,275,651

- Modified EfficientNetV2B0 memberikan nilai test akurasi yang tinggi diantara variasi lainnya
- MobileNetV3Small memberikan nilai training yang tinggi namun hanya memberikan nilai testing sebesar 0.7594
- MobileNetV3Large memberikan nilai testing yang sangat tinggi namun terdapat total paramater yang sangat besar
- Hal tersebut menunjukan bahwa modified EfficientNetV2B0 memberikan keseimbangan yang bagus antara akurasi dan total parameter

Camera View

Grad-CAM Analysis



- Visualisasi Grad-Cam yang dihasilkan oleh Modified EfficientNetV2B0
- Tiga gambar pada baris pertama menunjukan gambar asli
- Tiga gambar pada baris kedua menunjukan visualisasi grad-cam
- Analisis Grad-CAM membuktikan bahwa model secara tepat berfokus pada wilayah yang relevan secara biologis, sehingga memvalidasi kesesuaiannya untuk aplikasi praktis dalam deteksi penyakit

Camera View

Optimasi untuk Deployment

Model Name		B0	B1	B2	B3
Model Size (MB)	Original	19,08	23,05	26,4	35.32
	TFLite	6,18	7,46	8,57	11.51
Inference Time (s)	Original	2.125	2.557	2.9793	3.0687
	TFLite	0.0594	0.0517	0.0706	0.1218
Test Accuracy	Original	0.9776	0.8797	0.8947	0.9023
	TFLite	0.9776	0.8797	0.8947	0.9023

- Konversi menjadi TFLite dapat mengurangi size model kurang lebih 67%
- TFLite juga dapat mempercepat proses inference hingga 97%
- Luaran ini sesuai dengan objektif penelitian yaitu membuat model yang ringan, efficient, dan siap digunakan untuk mobile devices

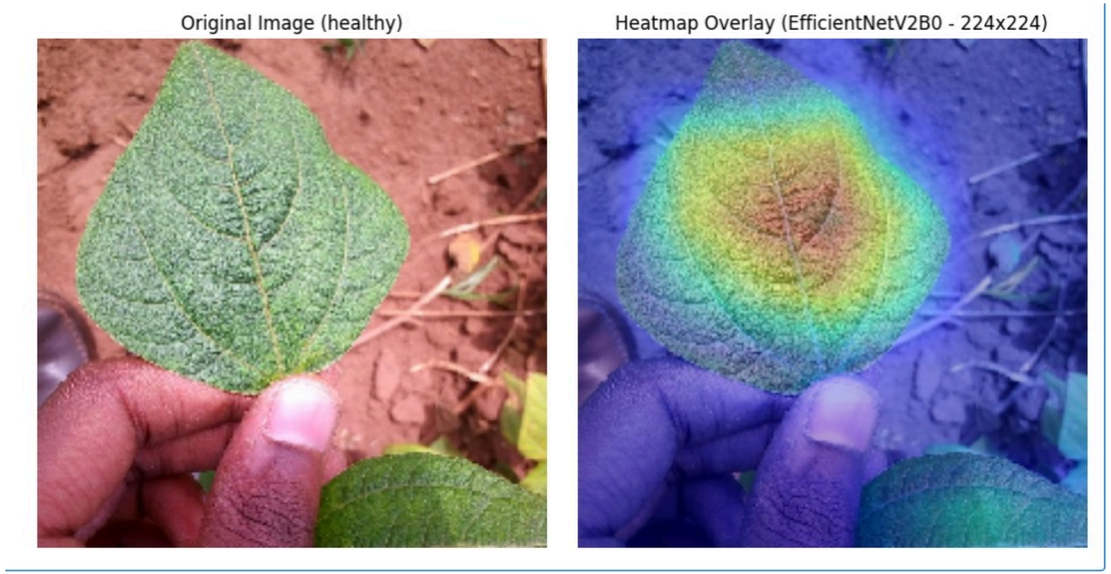
Camera View

Diskusi

- Untuk memastikan model hasil modifikasi dapat melakukan generalisasi dengan baik, penelitian selanjutnya dapat memanfaatkan K-Fold cross validation
- Penambahan proses segmentasi juga dapat dilakukan supaya model berfokus melakukan ekstrasi fitur daun dan tidak terganggu oleh area sekitarnya seperti tanah, rumput, dan lain lainnya.

Camera View

Kesimpulan



Camera View

- Evaluasi EfficientNetV2:
  - Arsitektur EfficientNetV2, termasuk modifikasi custom, dievaluasi untuk klasifikasi penyakit daun kacang.
  - Fokus pada metrik akurasi, waktu inferensi, dan ukuran model untuk memastikan kompatibilitas dengan perangkat berbasis sumber daya terbatas.
- Hasil Utama:
  - EfficientNetV2B3: Akurasi tertinggi (0.9849), tetapi membutuhkan sumber daya komputasi besar.
  - EfficientNetV2B0: Akurasi kompetitif (0.9549), dengan kompleksitas lebih rendah.
- Modifikasi EfficientNetV2B0:
  - Akurasi 0.9776 dengan parameter hanya 1,639,019.
  - Ukuran model TFLite: 6.18 MB.
  - Waktu inferensi: 0.0594 detik.
  - Solusi terbaik untuk aplikasi real-time di perangkat mobile.
- Keunggulan Model:
  - Interpretabilitas: Grad-CAM menunjukkan area relevan secara biologis pada gambar daun kacang.
  - Kesiapan Deployment: Efisiensi tinggi menjadikannya ideal untuk perangkat embedded dan mobile.

Referensi

[1] P. Pamela, D. Mawejje, and M. Ugen, “Severity of angular leaf spot and rust diseases on common beans in Central Uganda”.

[2] A. Farrow and R. Muthoni-Andriatsitohaina, Atlas of Common Bean Production in Africa: Second Edition. Nairobi, Kenya: Pan-Africa Bean Research Alliance (PABRA); International Center for Tropical Agriculture (CIAT), 2020, p. 242.

[3] “A review of angular leaf spot of common bean (Phaseolus vulgaris L),” vol. 3, no. 2, 1997.

[4] R. G. Tiwari and A. Kumar, "Bean Leaf Lesions Image Classification: A Robust Ensemble Deep Learning Approach," 2024 ASU International Conference in Emerging Technologies for Sustainability and Intelligent Systems (ICETSIS), Manama, Bahrain, 2024, pp. 986- 993, doi: 10.1109/ICETSIS61505.2024.10459697.

[5] E. Elfatimi, R. Eryigit, and L. Elfatimi, “Beans Leaf Diseases Classification Using MobileNet Models,” IEEE Access, vol. 10, pp. 9471–9482, 2022, doi: 10.1109/ACCESS.2022.3142817.

[6] M. Tan and Q. V. Le, “EfficientNetV2: Smaller Models and Faster Training,” Apr. 2021

[7] V. Singh, A. Chug, and A. P. Singh, “Classification of Beans Leaf Diseases using Fine Tuned CNN Model,” Procedia Computer Science, vol. 218, pp. 348–356, 2023, doi: 10.1016/j.procs.2023.01.017.

[8] S. Serttaş and E. DeniZ, “Disease detection in bean leaves using deep learning,” Communications Faculty of Sciences University of Ankara Series A2-A3 Physical Sciences and Engineering, vol. 65, no. 2, pp. 115–129, Dec. 2023, doi: 10.33769/aupse.1247233

[9] A. Kaur, V. Kukreja, D. Upadhyay, M. Aeri, and R. Sharma, "An Integrated GoogleNet with Convolutional Neural Networks Model for Multiclass Bean Leaf Lesion Detection," 2024 IEEE International Conference on Interdisciplinary Approaches in Technology and Management for Social Innovation (IATMSI), Gwalior, India, 2024, pp. 1-6, doi: 10.1109/IATMSI60426.2024.105025

Camera View

TERIMA KASIH

Camera View