BAB I
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Sektor hortikultura, khususnya buah mangga (*Mangifera indica* L.), merupakan komoditas strategis Indonesia dengan total produksi mencapai 33 juta kuintal pada tahun 2024 (Badan Pusat Statistik, 2024). Namun demikian, industri mangga nasional menghadapi tantangan struktural yang serius berupa tingginya kerugian pascapanen yang mencapai 30-40% dari total hasil panen. Akar permasalahan tersebut terletak pada proses penyortiran manual yang bersifat subjektif, inkonsisten, dan tidak skalabel sebuah kendala yang berdampak langsung pada daya saing ekspor Indonesia di pasar global.

Dampak dari inefisiensi penyortiran manual tersebut sangat signifikan. Cacat visual seperti gejala awal antraknosa (*Colletotrichum gloeosporioides*) yang berupa bintik hitam laten, serta jejak ovipositor lalat buah (*Bactrocera dorsalis*) yang bersifat mikroskopis, sangat sulit dideteksi oleh tenaga manusia dalam kondisi kerja yang melelahkan. Kegagalan dalam mendeteksi cacat-cacat ini mengakibatkan penolakan kontainer penuh di pelabuhan pasar ekspor premium seperti Jepang, Australia, dan Uni Eropa, yang menerapkan standar *Sanitary and Phytosanitary Measures* (SPS) yang sangat ketat (Dofuor, Asante, & Oppong, 2023). Di sisi lain, petani dan UMKM pertanian skala menengah ke bawah tidak memiliki akses terhadap alat sortir otomatis yang umumnya memerlukan investasi sangat besar.

Sebagai solusi atas permasalahan tersebut, paradigma *Smart Agriculture* berbasis *Deep Learning*, khususnya *Convolutional Neural Networks* (CNN), telah terbukti efektif untuk tugas klasifikasi citra di bidang pertanian. CNN mampu mengekstraksi fitur visual secara otomatis dan hierarkis, sehingga menggantikan keterbatasan rekayasa fitur manual. Dua arsitektur yang relevan adalah ResNet50 berbasis *Residual Learning* dan MobileNetV2 berbasis *Depthwise Separable Convolution* yang ringan dan efisien untuk perangkat dengan sumber daya komputasi terbatas (Sandler, Howard, Zhu, Zhmoginov, & Chen, 2018).

Sejumlah penelitian terdahulu telah memanfaatkan CNN untuk klasifikasi mutu buah. Suhendar et al. (2022) menemukan ResNet50 lebih akurat (95,7% vs. 76,23%) namun tidak berfokus pada fitur patologis mangga spesifik. Zárate & Hernández (2024) membuktikan MobileNetV2 mampu mencapai akurasi tinggi untuk operasi skala kecil. Hermanto et al. (2024) membandingkan kedua model pada buah kurma. Penelitian-penelitian tersebut membuka peluang kajian lanjutan, namun belum menjawab pertanyaan spesifik mengenai kemampuan komparatif kedua model untuk mangga Indonesia.

Terdapat kesenjangan (*research gap*) yang jelas: belum terdapat studi komparatif antara ResNet50 dan MobileNetV2 yang secara spesifik mengevaluasi klasifikasi kelayakan buah mangga berdasarkan standar SNI 3164:2009, termasuk kemampuan mendeteksi fitur patologis halus pada dataset berlatar belakang bervariasi, sekaligus mengukur *trade-off* efisiensi komputasi untuk implementasi pada *resource-constrained devices* seperti *smartphone* milik petani dan UMKM. Berdasarkan kesenjangan tersebut, penelitian ini mengangkat judul "Analisis Komparatif Arsitektur CNN untuk Klasifikasi Kelayakan Buah Mangga: Studi Kinerja ResNet50 dan MobileNetV2" guna memberikan rekomendasi teknis yang valid dan berorientasi pada implementasi nyata.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan identifikasi dan uraian permasalahan yang telah dijabarkan, penelitian ini merumuskan tiga pertanyaan penelitian utama sebagai berikut:

1. Bagaimana perbandingan kinerja kuantitatif antara arsitektur ResNet50 dan MobileNetV2 dalam mengklasifikasikan tingkat kelayakan buah mangga, ditinjau dari metrik Akurasi, Presisi, *Recall*, dan *F1-Score* sesuai standar mutu SNI 3164:2009?
2. Sejauh mana MobileNetV2 mampu mendeteksi fitur cacat visual patologis yang halus seperti gejala awal antraknosa laten dan bekas serangan lalat buah (*Bactrocera dorsalis*) pada dataset dengan variabilitas latar belakang tinggi, dibandingkan dengan ResNet50?
3. Arsitektur manakah yang memberikan *trade-off* paling optimal antara akurasi klasifikasi dan efisiensi komputasi, sehingga layak untuk

diimplementasikan pada perangkat dengan spesifikasi terbatas (*resource-constrained devices*) milik petani mangga dan UMKM pertanian?

1.3 Batasan Masalah

Agar penelitian ini lebih terarah dan mendalam, ditetapkan batasan masalah sebagai berikut:

1. Objek Penelitian: Penelitian ini berfokus pada komoditas buah mangga (*Mangifera indica* L.), mencakup varietas Arumanis dan Gadung serta varietas internasional bermorfologi serupa.
2. Ruang Lingkup Klasifikasi: Klasifikasi biner 'Layak' (*Fresh/Good*) dan 'Tidak Layak' (*Rotten/Defective*), mengacu pada kriteria mutu SNI 3164:2009.
3. Data Input: Citra digital 2D dalam ruang warna RGB. Citra hiperspektral dan termal tidak termasuk.
4. Arsitektur Model: Dibatasi pada ResNet50 dan MobileNetV2 menggunakan teknik *Transfer Learning* dengan bobot *pretrained* ImageNet.
5. Evaluasi Kinerja: Menggunakan metrik statistik berbasis *Confusion Matrix* dan metrik efisiensi komputasi berupa waktu pelatihan dan inferensi.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin dicapai dari pelaksanaan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Membandingkan kinerja kuantitatif arsitektur ResNet50 dan MobileNetV2 berdasarkan metrik Akurasi, Presisi, *Recall*, dan *F1-Score* dalam mengklasifikasikan kelayakan buah mangga sesuai standar SNI 3164:2009.
2. Menganalisis kemampuan kedua arsitektur dalam mendeteksi fitur cacat patologis halus pada dataset dengan variabilitas latar belakang tinggi yang merepresentasikan kondisi penyortiran di lapangan.
3. Menentukan arsitektur dengan *trade-off* optimal antara akurasi dan efisiensi komputasi sebagai landasan teknis bagi pengembangan aplikasi klasifikasi kelayakan mangga berbasis *smartphone* yang terjangkau untuk petani

mangga skala menengah ke bawah, pengepul lokal, dan UMKM pertanian Indonesia.

1.5 Manfaat Penelitian

1. Manfaat Teoretis: Penelitian ini memberikan kontribusi empiris pada bidang *AgroInformatics*, khususnya mengenai efektivitas komparatif arsitektur ResNet50 dan MobileNetV2 dalam menangani klasifikasi produk hortikultura tropis yang memiliki fitur patologis kompleks dan variabilitas latar belakang tinggi.
2. Manfaat Praktis:
   a. Bagi Petani dan UMKM Pertanian: Hasil analisis *trade-off* ini menjadi landasan teknis bagi pengembangan aplikasi penyortiran berbasis *smartphone* yang dapat berjalan pada *resource-constrained devices* sehingga teknologi sortir cerdas dapat diakses di tingkat akar rumput.
   b. Bagi Industri dan Eksportir: Rekomendasi arsitektur model memberikan panduan teknis untuk pengembangan sistem penyortiran otomatis berskala industri yang memenuhi standar inspeksi fitosanitasi pasar ekspor.
   c. Bagi Akademisi: Menjadi data pembanding (*baseline*) yang valid bagi riset arsitektur model baru atau hibrida dalam domain klasifikasi buah.
   d. Bagi Penulis: Meningkatkan pemahaman mendalam dalam mengimplementasikan teknologi *Deep Learning* tingkat lanjut untuk menyelesaikan permasalahan nyata di sektor pertanian Indonesia.

1.6 Sistematika Penulisan

BAB I — PENDAHULUAN

Menguraikan latar belakang masalah, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, dan sistematika penulisan.

BAB II — TINJAUAN PUSTAKA

Membahas landasan teori yang mencakup botani dan patologi buah mangga, standar mutu SNI 3164:2009, konsep dasar *Deep Learning* dan CNN, serta detail

teknis arsitektur ResNet50 dan MobileNetV2 yang menjadi objek komparasi penelitian ini.

BAB III — METODOLOGI PENELITIAN

Menjelaskan seluruh tahapan penelitian yang telah dilaksanakan, mulai dari pengumpulan dataset, teknik prapemrosesan dan augmentasi data, perancangan arsitektur model, konfigurasi pelatihan beserta justifikasi teknis mendalam atas setiap *hyperparameter* kritis, hingga metode evaluasi komparatif yang diterapkan.

BAB IV — HASIL DAN PEMBAHASAN

Menyajikan hasil pengujian ketiga skenario model secara kuantitatif, analisis perbandingan komprehensif terhadap metrik klasifikasi dan efisiensi komputasi, serta pembahasan implikasi temuan penelitian.

BAB V — KESIMPULAN DAN SARAN

Menyimpulkan jawaban atas seluruh rumusan masalah berdasarkan hasil dan analisis yang telah dilakukan, serta menyampaikan saran untuk penelitian lanjutan.

1.7 Penelitian Terkait

Penelitian mengenai klasifikasi mutu buah menggunakan teknik *Deep Learning* telah mengalami perkembangan yang sangat pesat. Kajian terhadap penelitian terkait ini dilakukan untuk menentukan posisi serta kebaruan (*novelty*) dari penelitian yang telah dilaksanakan. Tabel 1.1 merangkum sepuluh penelitian terdahulu yang relevan beserta identifikasi kesenjangannya:

Tabel 1.1 Penelitian Terkait

Penulis & Tahun	Judul Penelitian	Hasil/Pencapaian	Keterbatasan/Kesenjangan
Suhendar, Efelina, & Ziveria (2022)	Fruit Quality Classification using CNN	ResNet50 akurasi 95,7% mengungguli MobileNetV2 (76,23%). Kedalaman model krusial	Fokus buah umum, belum spesifik pada fitur patologis mangga Indonesia.

		untuk ekstraksi fitur.	
Santoso et al. (2024)	Comparative Analysis of CNN and DenseNet121 Transfer Learning in Agriculture	MobileNetV2 (90,84%) mengungguli ResNet50 (68,08%) pada penyakit daun tomat.	Objek berbeda (daun vs buah pascapanen). Perlunya studi domain-spesifik.
Jayanthi & Kumar (2024)	Comparison of CNN Architectures for Mango Leaf Classification	ResNet50 akurasi 98,56%, mengungguli VGG16. Menegaskan keunggulan Residual Learning.	Fokus penyakit daun, bukan cacat fisik buah. Trade-off efisiensi tidak dievaluasi.
Bilal et al. (2024)	Automated Mango Classification using CNN	Sistem klasifikasi varietas mangga dengan CNN kustom.	Belum membandingkan efisiensi dengan arsitektur Transfer Learning standar.
Zarate & Hernandez (2024)	Simplified Deep Learning for Accessible Fruit Quality Assessment	MobileNetV2 konvergensi cepat untuk operasi pertanian skala kecil.	Validasi pada dataset variabilitas tinggi belum memadai.
Hermanto et al. (2024)	Comparison of MobileNetV2 and ResNet50	Perbandingan kedua arsitektur pada buah kurma.	Belum ada studi serupa untuk mangga Indonesia dengan standar SNI.

	for Date Fruit Classification		
Doan & Thi (2023)	A Novel Mango Grading System Based on Image Processing	Sistem grading mangga berbasis CNN, akurasi 94,2%.	CNN arsitektur kustom. Evaluasi efisiensi tidak disertakan.
Bana et al. (2023)	Mango Anthracnose and Powdery Mildew Detection Using CNN and ANN	CNN mendeteksi antraknosa mangga lebih baik dari ANN.	Hanya satu arsitektur CNN. Tidak ada perbandingan model berat vs ringan.
Gulzar (2023)	Fruit Image Classification Model Based on MobileNetV2 with Deep Transfer Learning Technique	TLMobileNetV2 akurasi 99% pada 40 jenis buah; arsitektur ringan cocok untuk aplikasi mobile.	Tidak membandingkan dengan model berat. Deteksi fitur patologis tidak dilakukan.
Miah et al. (2021)	An Advanced Method of Identification of Fresh and Rotten Fruits Using Different CNNs	Beberapa arsitektur CNN dibandingkan untuk klasifikasi buah segar vs. busuk pada dataset multibuah.	Dataset tidak merepresentasikan kondisi lapangan Indonesia.

Berdasarkan sintesis tabel di atas, terdapat tiga poin kesenjangan utama yang menjadi fondasi penelitian ini:

1. Sebagian besar studi berfokus pada klasifikasi penyakit daun atau kesegaran buah umum, dan belum ada yang secara spesifik mengevaluasi klasifikasi kelayakan buah mangga pascapanen sesuai standar baku mutu SNI 3164:2009.
2. Studi yang membandingkan ResNet50 dan MobileNetV2 secara langsung tidak dilakukan pada komoditas mangga Indonesia dengan kondisi dataset yang merepresentasikan tantangan nyata di lapangan (*cluttered background* dan fitur patologis halus).
3. Belum terdapat studi yang secara eksplisit dan sistematis mengevaluasi *trade-off* antara akurasi dan efisiensi komputasi kedua arsitektur dengan orientasi implementasi pada *resource-constrained devices* untuk petani dan UMKM pertanian skala menengah ke bawah di Indonesia.