

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Indonesia telah lama dikenal sebagai negara yang kaya akan sumber daya alam. Potensi ini menjadi fondasi perekonomian bangsa, termasuk di bidang kehutanan. Kayu gaharu (*Aquilaria spp.*) merupakan salah satu komoditas bernilai tinggi yang dijuluki 'emas hijau' karena memiliki nilai ekonomi yang besar, bahkan di pasar internasional. [1]. Sejak era Kerajaan Sriwijaya, gaharu telah diekspor ke negeri Arab dan Tiongkok, memberikan kontribusi besar bagi perekonomian [1].

Permintaan pasar internasional, seperti Arab Saudi, Uni Emirat Arab, Tiongkok, dan Jepang, terus meningkat. Pada tahun 2023, Kementerian Perdagangan mencatat nilai ekspor gaharu mencapai 40 juta USD atau sekitar 600 miliar rupiah, dengan produksi mencapai 15.000 ton [1]. Produk gaharu dimanfaatkan di berbagai industri, mulai dari bahan baku parfum, dupa untuk ritual keagamaan, teh herbal, kerajinan tangan, hingga minyak wangi [2]. Selain itu, ekstrak daun gaharu juga digunakan sebagai obat tradisional untuk kanker dan hipertensi [3]. Hal ini menunjukkan tingginya nilai ekonomis dan manfaat gaharu secara menyeluruh.

Namun, pengembangan industri gaharu menghadapi tantangan besar. Salah satu kendala utama adalah ketidakakuratan dalam penilaian kualitas dan *grade* gaharu, yang masih bergantung pada evaluasi subjektif [4]. Penilaian ini didasarkan pada faktor visual dan indra penciuman, yang dapat berbeda antar individu. Selain itu, indra penciuman manusia memiliki keterbatasan dan dapat mengalami kelelahan ketika harus mencium banyak sampel dalam waktu lama [5]. Akibatnya, harga sering kali tidak stabil, kurang transparan, dan menimbulkan ketidakjelasan dalam transaksi, yang berdampak pada daya saing produk gaharu Indonesia di pasar lokal maupun internasional.

Penilaian kualitas yang lebih objektif memerlukan biaya tinggi karena melibatkan analisis laboratorium canggih, seperti uji komposisi kimia dan senyawa-senyawa tertentu yang memengaruhi kualitas gaharu [6]. Sayangnya, tidak semua

pelaku ekonomi, terutama petani lokal, memiliki akses atau kemampuan finansial untuk melakukan uji laboratorium yang mahal dan kompleks. Kurangnya pemahaman mengenai klasifikasi dan kualitas gaharu membuat petani kesulitan menentukan harga yang sesuai. Di sisi lain, konsumen juga sering ragu membeli produk dengan harga yang dianggap terlalu tinggi. Ketidakjelasan ini menghambat pertumbuhan industri gaharu yang sebenarnya memiliki potensi besar.

Solusi yang dapat diupayakan adalah pengembangan sistem otomatis untuk mengklasifikasikan gaharu secara efisien, akurat, dan terjangkau. Dengan perkembangan teknologi *machine learning*, sektor lain telah merasakan manfaatnya, seperti klasifikasi obat secara otomatis yang meningkatkan efisiensi manajemen stok dan mengurangi tingkat kesalahan [7]. Teknologi serupa dapat diterapkan dalam klasifikasi gaharu untuk menghasilkan penilaian yang lebih objektif dan efisien.

Sistem klasifikasi yang memanfaatkan data citra dan parameter fisik gaharu dapat memberikan penilaian kualitas yang lebih transparan, akurat, dan terjangkau. Inovasi ini akan mengurangi ketergantungan pada penilaian subjektif manusia, meningkatkan transparansi dan kemudahan transaksi, dan mendorong terciptanya pasar yang lebih kompetitif. Selain itu, teknologi ini juga memungkinkan penilaian kualitas gaharu yang lebih menyeluruh dibandingkan metode tradisional.

Dengan penerapan teknologi ini, industri gaharu Indonesia berpotensi berkembang pesat. Hal ini tidak hanya memperkuat posisi Indonesia di pasar gaharu global, tetapi juga memberikan dampak positif bagi pertumbuhan ekonomi nasional yang lebih stabil dan kompetitif.

B. Rumusan Masalah

Berdasarkan permasalahan yang telah dipaparkan sebelumnya, rumusan masalah dalam penelitian ini adalah bagaimana cara mengembangkan model untuk sistem klasifikasi otomatis produk gaharu yang mampu mengevaluasi kualitas dan *grade* produk secara objektif, efisien, dan akurat dengan akurasi minimal 80%.

C. Tujuan Penelitian

Atas permasalahan yang ada, tujuan dari penelitian ini adalah mengembangkan model untuk sistem klasifikasi otomatis produk gaharu yang mampu mengevaluasi kualitas dan *grade* produk gaharu secara objektif, efisien, dan akurat dengan akurasi minimal 80%.

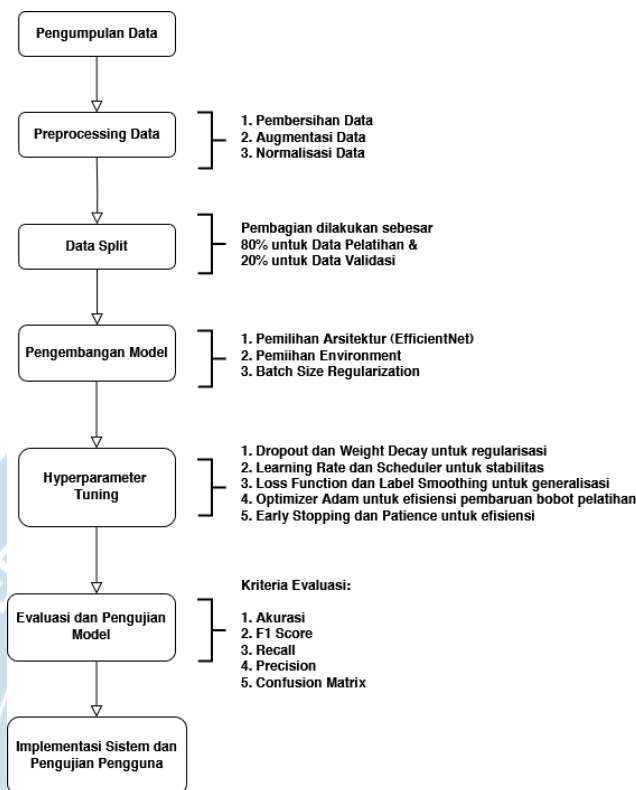
D. Batasan Masalah

Untuk penelitian ini, peneliti merumuskan beberapa batasan agar penelitian dapat lebih terarah dan maksimal. Beberapa batasan ini antara lain adalah:

1. Sistem akan dibangun dalam *platform* website saja.
2. Fokus evaluasi kualitas gaharu didasarkan pada ciri-ciri fisik gaharu, seperti warna, intensitas aroma, berat, hingga kepadatan kayu.
3. Standar evaluasi atau perbandingan yang digunakan menggunakan standar yang sudah terverifikasi oleh pakar gaharu berpengalaman dari Kalimantan Barat.
4. Proses analisis kualitas gaharu dengan citra hanya menggunakan citra dua dimensi saja.
5. Pengguna hanya dapat memasukkan bahan uji berupa kayu gaharu.
6. Kayu gaharu yang diuji hanya berasal dari jenis *Aquilaria spp.* saja.
7. Penelitian hanya berfokus pada implementasi model EfficientNet berbasis data citra.

E. Metode Penelitian

Dalam proses pembelajaran *machine learning*, harus melewati pemilihan, penerapan, dan evaluasi [7]. Diagram pada Gambar 1.1 merupakan alur penahapan proses penelitian yang akan dilakukan. Dengan perincian sebagai berikut:



Gambar 1.1 Diagram Metodologi Penelitian

1. Pengumpulan Data

Tahap pertama dalam penelitian ini adalah proses pengumpulan data. Proses ini bertujuan untuk mengumpulkan data gaharu dalam bentuk citra (gambar) khususnya produk gaharu dalam bentuk fisik. Data gaharu akan dikumpulkan secukupnya sesuai dengan parameter yang ditetapkan, misalnya warna, kepadatan, hingga beratnya. Pengambilan data citra gaharu dilakukan menggunakan kamera berkualitas tinggi dengan pencahayaan terkontrol untuk memastikan gambar yang jelas dan konsisten dalam analisis. Tahap pertama ini menghasilkan data gaharu yang objektif sebagai basis untuk klasifikasi. Dalam *machine learning*, diperlukan jumlah data yang signifikan, tetapi tetap bebas dari *noise* atau anomali agar model dapat bekerja secara optimal.

2. *Preprocessing* Data dan *Data Split*

Tahap *preprocessing* dilakukan untuk menyiapkan data citra agar sesuai dengan kebutuhan model dan dapat digunakan secara optimal oleh model tersebut. Beberapa langkah yang dilakukan pada tahap ini meliputi penyesuaian ukuran (*resizing*) dan peningkatan kontras guna menyeragamkan dimensi citra serta memperjelas fitur visual yang penting. Selanjutnya, dilakukan augmentasi data untuk menambah variasi citra melalui transformasi seperti rotasi, *flipping*, dan *zoom*, dengan tujuan meningkatkan kemampuan generalisasi model terhadap data yang belum pernah dilihat. Proses pembersihan data juga diterapkan, mencakup pengecekan format file agar sesuai dengan spesifikasi sistem serta identifikasi dan penghapusan duplikasi data guna mencegah terjadinya *bias* dan *overfitting*.

Setelah itu, dilakukan normalisasi nilai piksel citra ke dalam rentang tertentu umumnya 0 hingga 1, agar model dapat belajar secara lebih stabil dan efisien. Tahap akhir sebelum *modelling* adalah pembagian *dataset* menjadi dua bagian, yaitu 80% untuk data pelatihan dan 20% untuk data validasi, dengan tujuan agar model dapat dilatih secara maksimal sekaligus dievaluasi menggunakan data yang tidak pernah digunakan dalam proses pelatihan. Dengan rangkaian proses ini, data citra menjadi lebih bersih, seragam, dan siap digunakan dalam pelatihan model konvolusional seperti CNN.

3. Pengembangan Model

Tahap ini bertujuan untuk mengembangkan model yang dapat menganalisis data citra secara optimal. Salah satu model yang paling umum digunakan dalam pengolahan citra adalah *Convolutional Neural Network* (CNN). Model ini mampu mengenali pola visual seperti warna, tekstur, dan bentuk yang sangat relevan dalam analisis citra kayu gaharu. Keunggulan CNN terletak pada kemampuannya mengekstraksi fitur penting secara otomatis, sehingga sangat efektif untuk tugas klasifikasi dan identifikasi karakteristik visual pada citra gaharu.

Tahap pengembangan model dilakukan dalam lingkungan kerja yang mendukung komputasi intensif, khususnya untuk pelatihan model *deep learning* berbasis citra. Arsitektur utama yang digunakan adalah EfficientNet-B0, yang dipilih karena mampu memberikan keseimbangan antara akurasi tinggi dan efisiensi komputasi. Model ini sangat sesuai untuk tugas klasifikasi citra seperti pada kasus gaharu, karena mampu mengekstraksi fitur visual secara efektif. Selain itu, digunakan ukuran *batch* yang disesuaikan untuk menjaga kestabilan proses pembelajaran dan efisiensi komputasi selama pelatihan. Pemilihan *batch size* yang tepat penting untuk menghindari fluktuasi gradien yang terlalu besar atau pembaruan bobot yang terlalu lambat, sehingga dapat mempercepat konvergensi dan meningkatkan performa model secara keseluruhan. Pendekatan ini memastikan bahwa model dapat belajar dengan optimal dan memiliki kemampuan generalisasi yang baik terhadap data baru.

4. *Hyperparameter tuning*

Tahap *hyperparameter tuning* dilakukan sebagai bagian dari proses penyempurnaan model, dengan tujuan utama untuk meningkatkan performa dan kemampuan generalisasi model terhadap data baru. Dalam konteks ini, berbagai parameter pelatihan seperti *dropout*, *weight decay*, *learning rate*, *optimizer*, dan mekanisme *early stopping* disesuaikan secara bertahap melalui eksperimen yang sistematis. Penyesuaian dilakukan agar model tidak hanya unggul saat dilatih dengan data yang tersedia, tetapi juga tetap akurat ketika menghadapi data yang belum pernah dilihat sebelumnya. Dengan kata lain, *tuning* ini ditujukan untuk menghindari masalah *overfitting* maupun *underfitting*, sekaligus mencapai keseimbangan antara akurasi, efisiensi pelatihan, dan kestabilan proses pembelajaran.

Beberapa komponen saling mendukung dalam upaya ini. *Dropout* dan *weight decay* digunakan sebagai teknik regularisasi untuk mencegah model terlalu menghafal data latih. *Learning rate* dan *scheduler* bekerja sama untuk

menjaga proses pelatihan tetap stabil dan konvergen secara bertahap. *Loss function* yang dikombinasikan dengan *label smoothing* membantu memperhalus proses prediksi dan mendorong model untuk tidak terlalu yakin pada satu kelas, yang penting dalam klasifikasi multi-kelas. *Optimizer Adam* dipilih karena kemampuannya mempercepat proses pembaruan bobot dengan efisien, sementara *early stopping* dengan pengaturan *patience* memastikan pelatihan berhenti pada waktu yang tepat, yaitu saat tidak ada lagi peningkatan berarti, sehingga menghemat waktu dan sumber daya. Seluruh kombinasi ini membentuk satu kesatuan strategi *tuning* yang bertujuan menghasilkan model yang tangguh, stabil, dan siap digunakan secara nyata.

5. Evaluasi dan Pengujian Model

Tahap ini bertujuan untuk menilai sejauh mana performa masing-masing model yang telah dikembangkan dalam mengklasifikasikan kualitas dan *grade* gaharu. Tolak ukur yang digunakan tidak hanya tingkat akurasi, yaitu seberapa tepat model dalam mengklasifikasikan gaharu sesuai dengan *grade* dan kualitas aslinya, tetapi juga metrik lain seperti *precision*, *recall*, dan *f1-score*. Ketiga metrik ini saling melengkapi dalam mengukur ketepatan model, memastikan prediksi yang akurat, serta identifikasi yang lebih komprehensif. Sebagai bagian dari evaluasi yang lebih mendalam, digunakan pula *confusion matrix* untuk menganalisis lebih lanjut performa model pada setiap kelas. *Confusion matrix* memungkinkan identifikasi terhadap pola kesalahan model, seperti kecenderungan model untuk mengklasifikasikan suatu *grade* tertentu ke *grade* lain, sehingga membantu dalam memahami kelemahan dan kekuatan model secara lebih detail. Analisis ini penting dalam konteks klasifikasi multi-kelas seperti pada gaharu, di mana setiap kesalahan klasifikasi dapat berdampak pada interpretasi hingga nilai ekonominya.

Pada tahap ini, model yang telah dibuat sebelumnya disempurnakan. Apabila model mengalami *overfitting*, artinya model terlalu fokus pada data *training* hingga sulit mengenali pola pada data baru atau data *test*. Kondisi ini

menyebabkan model terlalu spesifik saat pelatihan, sehingga performanya menurun saat diuji dengan data baru. Untuk mengatasinya maka model dapat disederhanakan atau menambah jumlah data *training*. Sebaliknya, jika model *underfitting*, artinya model terlalu sederhana sehingga gagal memahami pola data. Solusinya adalah dengan membuat model lebih kompleks, memperbaiki pengolahan data atau *preprocessing*, atau memperpanjang waktu pelatihan. Evaluasi juga selain melibatkan metrik seperti sebelumnya, juga melibatkan perbandingan dengan para pakar di lapangan, atau dalam kasus ini adalah pakar gaharu.

Selain pengujian menggunakan data validasi dari proses pelatihan, model juga diuji menggunakan citra gaharu baru yang tidak pernah dilibatkan dalam proses pelatihan maupun validasi (*unseen data*). Pengujian ini bertujuan untuk mengevaluasi kemampuan generalisasi model dalam menghadapi data nyata yang benar-benar baru. Dengan demikian, dapat diketahui sejauh mana model dapat diaplikasikan secara praktis di luar lingkungan pelatihan, serta mengukur kestabilan dan keandalannya dalam melakukan klasifikasi pada kondisi dunia nyata.

6. Implementasi Sistem dan Pengujian Pengguna

Tahap akhir dari penelitian ini adalah implementasi sistem. Pada tahap ini, model yang telah dioptimalkan akan diterapkan ke dalam sistem agar siap digunakan oleh pengguna. Penyesuaian juga dilakukan agar sistem dapat dioperasikan dengan mudah dan nyaman. Dengan implementasi ini, proses penelitian mencapai tujuannya, yaitu menghasilkan sistem yang fungsional dan dapat digunakan secara langsung untuk mengklasifikasikan data gaharu secara efektif.

Selain itu, terdapat juga tahapan uji pengguna sebagai bagian penting dari validasi sistem secara praktis. Setelah model diimplementasikan ke dalam sistem, pengguna akhir diberikan kesempatan untuk mencoba langsung sistem klasifikasi gaharu yang telah dikembangkan. Tujuan dari tahapan ini

adalah untuk mengevaluasi aspek *usability*, kenyamanan antarmuka, serta keandalan hasil klasifikasi dari sudut pandang pengguna non-teknis. Masukan yang diperoleh dari pengguna dapat menjadi dasar untuk perbaikan lebih lanjut, baik dari sisi teknis maupun pengalaman penggunaan. Dengan demikian, sistem tidak hanya optimal dari segi performa model, tetapi juga fungsional, mudah digunakan, dan sesuai dengan kebutuhan di lapangan.

F. Sistematika Penulisan

Penelitian ini disusun secara sistematis untuk memberikan pemahaman yang jelas mengenai pengembangan sistem klasifikasi otomatis produk gaharu. Untuk mempermudah dalam membaca dan memahami keseluruhan pembahasan dalam penelitian ini, diperlukan sistematika penulisan yang terstruktur. Sistematika penulisan ini mencakup beberapa bab utama, yaitu:

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini berisi latar belakang penelitian yang menjelaskan urgensi pengembangan sistem klasifikasi otomatis untuk produk gaharu, permasalahan yang dihadapi, serta penawaran solusi dari penelitian ini. Selain itu, bab ini juga memuat rumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, dan sistematika penulisan penelitian.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini membahas berbagai literatur dan studi terdahulu yang relevan dengan penelitian ini, mencakup kajian mengenai gaharu, kualitas serta karakter fisiknya, metode klasifikasi, hingga nilai komersial dari produk gaharu. Selain itu, dibahas pula penelitian-penelitian yang memanfaatkan kecerdasan buatan dalam mengidentifikasi kualitas gaharu, khususnya melalui analisis kandungan kimia dengan berbagai pendekatan.

Penelitian ini mengkaji, membandingkan, serta memanfaatkan temuan-temuan dari studi sebelumnya untuk memperdalam pemahaman mengenai

karakteristik gaharu. Lebih lanjut, penelitian ini juga mengeksplorasi penerapan teknologi kecerdasan buatan, khususnya dalam pengolahan citra dan klasifikasi visual, sebagai pendekatan alternatif yang lebih objektif dan efisien dalam menilai kualitas gaharu berdasarkan bentuk fisiknya.

BAB III LANDASAN TEORI

Bab ini membahas berbagai teori dan landasan konseptual yang mendukung penelitian ini. Teori-teori yang diangkat meliputi aspek-aspek terkait gaharu, termasuk definisi, proses produksi, nilai ekonomis, peranannya dalam pasar internasional, serta tantangan yang dihadapi dalam proses budidayanya. Selain itu, dibahas pula teori mengenai kecerdasan buatan (Artificial Intelligence/AI), khususnya dalam konteks klasifikasi dan pengolahan citra dengan pendekatan *deep learning*.

Penelitian ini secara khusus memanfaatkan teori dan studi tentang arsitektur Convolutional Neural Network (CNN), dengan penekanan pada EfficientNet sebagai model utama yang digunakan dalam proses klasifikasi. EfficientNet dipilih karena kemampuannya dalam mencapai akurasi tinggi dengan kompleksitas model yang relatif efisien, menjadikannya cocok untuk tugas klasifikasi citra dengan sumber daya komputasi terbatas.

Dalam mendukung visualisasi hasil dan interaksi pengguna, penelitian ini juga mengacu pada studi mengenai *Streamlit*, yaitu sebuah kerangka kerja Python berbasis web yang memungkinkan pengembangan antarmuka aplikasi data secara cepat dan interaktif. Streamlit dimanfaatkan untuk menyusun sistem klasifikasi gaharu yang dapat menampilkan hasil prediksi secara instan dalam format yang mudah dipahami oleh pengguna akhir.

Adapun metrik evaluasi yang digunakan dalam penelitian ini mencakup akurasi, presisi, *recall*, *F1-score*, hingga *confusion matrix* yang masing-masing memberikan gambaran komprehensif tentang kinerja model dalam mengklasifikasikan kualitas gaharu. Dengan menggabungkan teori-teori

tersebut, penelitian ini bertujuan untuk menghadirkan pendekatan yang objektif, efisien, dan aplikatif dalam proses klasifikasi produk gaharu berbasis pengolahan citra.

BAB IV DATASET DAN PENGEMBANGAN MODEL

Bab ini membahas pemanfaatan *dataset* dan proses pengembangan model untuk klasifikasi produk gaharu. Tahapan yang dilakukan mencakup pengumpulan serta analisis data, *preprocessing*, hingga pengembangan dan evaluasi model guna meningkatkan keakuratan klasifikasi. Data yang digunakan diperoleh dari berbagai sumber, kemudian diproses agar siap untuk pelatihan model. Langkah-langkah pengolahan data meliputi pembersihan, normalisasi, hingga augmentasi citra. Selain itu, eksplorasi data dilakukan guna memahami pola dan karakteristik yang berpengaruh terhadap hasil klasifikasi. *Preprocessing* bertujuan untuk menjaga kualitas dan konsistensi data sehingga model dapat bekerja secara optimal.

Model dikembangkan menggunakan berbagai metodologi pelatihan untuk kemudian dievaluasi berdasarkan metrik performa tertentu. Pengujian dilakukan guna menilai sejauh mana model dapat mengklasifikasikan produk gaharu dengan akurasi tinggi. Apabila diperlukan, model dapat disempurnakan melalui optimasi parameter serta teknik validasi. Penelitian ini diharapkan dapat berkontribusi dalam otomatisasi proses klasifikasi produk gaharu secara lebih efisien, sehingga memberikan manfaat bagi industri terkait dalam meningkatkan kualitas serta nilai jual produk.

BAB V IMPLEMENTASI MODEL DAN PENGUJIAN SISTEM

Bab ini membahas implementasi model yang telah dikembangkan ke dalam sistem. Pembahasan dimulai dengan proses integrasi model ke dalam sistem atau Web Service yang dipilih. Selanjutnya, dikaji bagaimana implementasi tersebut dapat dikembangkan lebih lanjut agar model yang telah terhubung dengan Web Service dapat digunakan secara efektif untuk

memprediksi kualitas produk gaharu. Selain itu, penulis juga mengevaluasi seluruh fungsionalitas dalam sistem guna memastikan bahwa setiap komponen bekerja sesuai dengan tujuan penelitian serta mengidentifikasi apakah masih diperlukan perbaikan atau optimasi lebih lanjut.

BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini membahas mengenai kesimpulan dan saran dari hasil penelitian ini. Kesimpulan ditarik dari hasil penelitian yang diperoleh dan diselaraskan dengan rumusan masalah serta tujuan penelitian sebelumnya. Saran turut diberikan untuk pengembangan lebih lanjut agar penelitian ini memberi manfaat dan terus berkembang ke arah yang lebih baik.

