

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Ekosistem *mangrove* Indonesia memegang peranan vital secara global. Indonesia memiliki luasan *mangrove* terluas di dunia, mencakup 23% dari total area *mangrove* di seluruh dunia [1]. Dengan total tutupan saat ini mencapai 3.440.464 hektar [2], ekosistem ini memiliki nilai yang sangat penting bukan hanya karena luasnya, tetapi juga karena keanekaragaman hayati yang dimilikinya. Indonesia menjadi rumah bagi 43 spesies *mangrove* tropis, atau sekitar 80% dari total spesies *mangrove* tropis di dunia [3]. Namun, ekosistem ini menghadapi ancaman degradasi yang signifikan, dengan 769.824 hektar lahan dikategorikan sebagai “potensi habitat *mangrove*” mengalami kerusakan dan membutuhkan pemulihan [2]. Tingkat kerusakan yang tinggi ini mendorong pelaksanaan rehabilitasi secara luas, di mana dalam lima tahun terakhir, yaitu antara 2020 hingga 2024, total luas lahan sebesar 84.722,26 hektar telah berhasil direhabilitasi secara nasional [4].

Provinsi Kepulauan Riau, sebagai wilayah penelitian, merupakan salah satu fokus utama upaya restorasi ini. Dengan luas hutan *mangrove* seluas 66.943 hektar [2]. Kepulauan Riau telah menjadi lokasi yang digunakan untuk program rehabilitasi *mangrove* secara intensif, dengan total luas *mangrove* yang berhasil dipulihkan mencapai 4.542,3 hektar dalam lima tahun terakhir, yaitu dari tahun 2020 hingga 2024 [4]. Upaya rehabilitasi secara besar-besaran ini menunjukkan betapa pentingnya mengembangkan teknologi pemantauan yang tepat, cepat, dan otomatis. Memastikan identifikasi spesies yang benar sangat penting agar program rehabilitasi berhasil dan pengelolaan terus berlangsung secara berkelanjutan [5], [6].

Dalam praktiknya, mengidentifikasi spesies *mangrove* di lapangan sangatlah sulit. Banyak spesies dalam genus yang sama, seperti *Avicennia* atau *Rhizophora*, memiliki tingkat kemiripan morfologi yang tinggi sehingga sulit dibedakan hanya dengan melihat satu ciri tertentu [5], [7]. Studi taksonomi terbaru menekankan bahwa untuk mengenali spesies *mangrove* dengan tepat, diperlukan pengamatan menyeluruh terhadap ciri-ciri morfologi, termasuk akar, batang, daun, bunga, dan buah [8]. Secara spesifik, struktur akar *mangrove* memiliki ciri

morfologi yang unik dan khas setiap spesiesnya sebagai bentuk adaptasi terhadap lingkungan; misalnya perbedaan visual yang mencolok antara akar tunjang (*stilt roots*) pada *Rhizophora* dan akar napas (*pneumatophores*) pada *Avicennia* dan *Sonneratia* [9]. Namun, sebagian besar *dataset* yang ada saat ini tidak memperhatikan fitur penting ini. Selain itu, kondisi hutan *mangrove* yang sangat padat secara visual memberikan tantangan besar, seperti oklusi dan kamuflase latar belakang [10], [11].

Untuk mengatasi masalah tersebut, penelitian modern mulai menggunakan teknologi *deep learning* [12]. Pendekatan *multi-organ* yang menganalisis beberapa bagian tanaman sekaligus terbukti lebih baik daripada hanya mengandalkan satu fitur saja [5], [6], [8]. Meskipun arsitektur *state-of-the-art* (SOTA) berbasis *Convolutional Neural Network* (CNN) [12], [13] dan arsitektur berbasis *Transformer* [10], [14] telah dikembangkan, studi menunjukkan bahwa masing-masing arsitektur memiliki keterbatasan [15]. CNN seperti EfficientDet baik dalam mengekstrak fitur lokal [12], [13], tetapi *Transformer* seperti RF-DETR jauh lebih kuat dalam menghadapi kondisi sulit seperti oklusi dan penutupan yang sering terjadi di hutan *mangrove* [10].

Hingga kini, penelitian sebelumnya umumnya hanya fokus pada perbaikan satu arsitektur saja [10], [13]. Celah penelitian (*research gap*) yang jelas terletak pada fakta bahwa belum ada penelitian yang menggabungkan kekuatan komplementer dari dua paradigma SOTA ini: kekuatan EfficientDet dalam ekstraksi fitur lokal [12], [13] dan kekuatan RF-DETR dalam pemahaman konteks global untuk mengatasi oklusi dan kamuflase [10]. Padahal, metodologi *ensemble* (penggabungan model) telah terbukti valid untuk meningkatkan kinerja deteksi [14], [16].

Oleh karena itu, untuk mengisi celah tersebut, penelitian ini perlu dilakukan. Keaslian penelitian ini terletak pada pengusulan arsitektur *ensemble* yang secara spesifik menggabungkan EfficientDet dan RF-DETR untuk identifikasi spesies *mangrove*. Penelitian ini menjadi salah satu yang pertama menerapkan pendekatan *multi-organ* [5], [6] pada arsitektur *ensemble* canggih ini, dengan maksud memanfaatkan kekuatan ekstraksi fitur lokal dan pemahaman konteks *global* secara bersamaan, serta memanfaatkan teknik fusi *Weighted Boxes Fusion* (WBF) yang

terbukti sangat efektif [17], sehingga menghasilkan model deteksi yang lebih kuat dan akurat dalam menghadapi tantangan identifikasi di lapangan.

B. Perumusan Masalah

Apakah penggabungan model EfficientDet dan RF-DETR menggunakan teknik *Weighted Boxes Fusion* (WBF) mampu menghasilkan performa deteksi spesies *mangrove multi-organ* yang lebih tinggi dibandingkan kinerja masing-masing model tunggalnya?

C. Batasan Penelitian

Untuk memastikan penelitian ini tetap fokus dan mendalam dalam menjawab rumusan masalah, serta mempertimbangkan keterbatasan sumber daya dan data, maka ruang lingkup penelitian dibatasi sebagai berikut:

- a. Penelitian ini berfokus pada identifikasi 9 spesies *mangrove* spesifik, yaitu: *Avicennia lanata*, *Bruguiera cylindrica*, *Bruguiera gymnorhiza*, *Lumnitzera littorea*, *Rhizophora apiculata*, *Rhizophora mucronata*, *Scyphiphora hydrophyllacea*, *Sonneratia alba*, dan *Xylocarpus granatum*.
- b. Data masukan yang digunakan terbatas pada citra visual digital (RGB) *multi-organ*.
- c. Fokus pendekatan *multi-organ* dibatasi pada tiga organ utama (daun, bunga, dan akar).
- d. Data dikumpulkan secara langsung di Pulau Bintan, Provinsi Kepulauan Riau, yang meliputi wilayah Pengudang, Senggarang, dan Dompok.
- e. Dataset terdiri dari 900 citra untuk setiap spesies, dengan target distribusi masing-masing 300 citra daun, 300 citra bunga, dan 300 citra akar, sehingga total keseluruhan dataset berjumlah 8.100 citra.
- f. Ruang lingkup penelitian terbatas pada identifikasi spesies melalui deteksi objek, yang menghasilkan *bounding box* dan label kelas. Identifikasi dilakukan pada tingkat kombinasi spesies-organ sehingga $9 \text{ spesies} \times 3 \text{ organ}$ membentuk 27 kelas (contoh: *Avicennia_lanata_leaf*).
- g. Pengumpulan dataset citra di lapangan dilakukan menggunakan perangkat *smartphone* bersistem operasi *Android* dengan berbagai spesifikasi kamera

yang berbeda-beda (tidak terbatas pada satu jenis atau merek *smartphone* tertentu).

- h. Seluruh citra diambil dengan rasio aspek 1:1 (persegi) agar objek organ tumbuhan berada pada bingkai yang konsisten, sehingga memudahkan proses *resize* pada tahap prapemrosesan tanpa menimbulkan distorsi bentuk yang berarti pada citra masukan model.
- i. Pengambilan dataset mencakup variasi kondisi pencahayaan alami di lapangan, yang dibatasi pada kondisi cerah (pagi/siang hari) dan kondisi redup (sore hari).
- j. Luaran penelitian berupa model deteksi spesies *mangrove* yang diimplementasikan dalam website untuk kebutuhan identifikasi visual.

D. Tujuan Penelitian

Menguji dan menganalisis secara empiris efektivitas arsitektur *ensemble* berbasis WBF untuk identifikasi spesies *mangrove* multi-organ dan membandingkannya dengan model tunggal EfficientDet dan RF-DETR.

E. Manfaat Penelitian

Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut:

- a. Bagi Pengembangan Ilmu Pengetahuan dan Teknologi
 1. Menyajikan arsitektur *ensemble* baru yang secara spesifik menggabungkan kekuatan pemahaman konteks *global* dari arsitektur *Transformer* (RF-DETR) dengan efisiensi ekstraksi fitur lokal dari arsitektur CNN (EfficientDet).
 2. Menyediakan bukti empiris mengenai efektivitas teknik fusi *Weighted Boxes Fusion* (WBF) dalam menggabungkan prediksi dari dua model yang berbeda arsitektur (*Transformer* dan CNN) untuk identifikasi objek.
 3. Menjadi sumber acuan dan referensi ilmiah bagi peneliti *computer vision* di masa depan yang bekerja untuk mengatasi tantangan deteksi objek di lingkungan alami yang kompleks, khususnya masalah kemiripan morfologi tinggi, oklusi, dan kamuflase.

b. Bagi Pembangunan dan Pengambil Kebijakan

1. Menyediakan dasar ilmiah untuk pengembangan purwarupa sistem pemantauan otomatis untuk inventarisasi keanekaragaman hayati *mangrove*.
2. Membantu lembaga pemerintah terkait (seperti KLHK, BRGM) dan lembaga swadaya masyarakat (LSM) yang berfokus pada konservasi dalam memperoleh data sebaran spesies *mangrove* dengan lebih efisien, yang krusial untuk mendukung keberhasilan program rehabilitasi dan penyusunan kebijakan perlindungan wilayah pesisir.

c. Bagi Masyarakat dan Akademisi

1. Menambah khasanah pustaka dan referensi penelitian di lingkungan Universitas Maritim Raja Ali Haji (UMRAH), khususnya di Program Studi Teknik Informatika, mengenai penerapan *deep learning* (RF-DETR dan EfficientDet) untuk studi biodiversitas maritim.
2. Meningkatkan kesadaran publik dan komunitas akademik mengenai potensi pemanfaatan teknologi kecerdasan buatan (*Artificial Intelligence*) untuk mendukung pelestarian ekosistem *mangrove* di Indonesia, khususnya di Kepulauan Riau.