

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Ekosistem pesisir di Indonesia terdiri dari tiga komponen utama yang saling berinteraksi, yaitu mangrove, terumbu karang, dan padang lamun. Secara ekologis, padang lamun memegang peranan vital sebagai zona transisi yang berfungsi menstabilkan sedimen, mencegah abrasi, serta berkontribusi signifikan dalam mitigasi perubahan iklim melalui penyerapan karbon [1]. Selain fungsi fisik, ekosistem padang lamun juga menjadi habitat krusial bagi keberlangsungan hidup biota laut dilindungi seperti dugong, penyu, dan berbagai jenis ikan komersial, di mana tutupan lamun yang sehat menyediakan area mencari makan (*feeding ground*) dan tempat berlindung (*nursery ground*) dari ancaman predator [2].

Salah satu wilayah di Indonesia yang memiliki hamparan padang lamun dengan keanekaragaman hayati yang tinggi adalah Perairan Pulau Bintan, khususnya di wilayah pesisir Desa Pengudang yang telah ditetapkan sebagai wilayah konservasi [3]. Survei ekologis terbaru mengidentifikasi bahwa perairan ini ditumbuhi oleh ragam spesies lamun dominan yang membentuk padang lamun majemuk (*mixed beds*), yang di antaranya menjadi kunci ketersediaan pakan bagi populasi dugong [4]. Namun, ekosistem yang rentan ini terus menghadapi ancaman degradasi serius akibat peningkatan aktivitas pesisir, pencemaran laut, dan perubahan iklim yang ekstrem. Secara global, luasan ekosistem lamun dilaporkan mengalami penyusutan sebesar 2,82% per tahunnya, dan berimbas pada perairan Kepulauan Riau yang secara umum kini berada dalam kategori status tutupan 'miskin' yakni hanya sebesar 29,56% [4], Ancaman ini terkonfirmasi secara spesifik di lokasi penelitian, di mana berdasarkan pemetaan spasial citra satelit terbaru, luasan tutupan lamun di Perairan Desa Pengudang tercatat menyusut tajam dari 8,43 hektare menjadi 7,30 hektare, yang merepresentasikan tingkat degradasi mencapai 16,96% hanya dalam periode dua tahun pengamatan [5]. Tingginya laju kerusakan tersebut menjadikan sistem pemantauan kondisi lamun yang lebih cepat dan efisien menjadi sangat mendesak.

Permasalahan utama yang dihadapi dalam upaya konservasi dan pemantauan di lokasi ini adalah kompleksitas biodiversitas dan kendala teknis pada

metode pengamatan. Identifikasi dan klasifikasi taksonomi spesies lamun secara konvensional sering kali mengalami hambatan berat. Hal ini terutama diakibatkan oleh kemiripan morfologi fisik antarspesies yang sangat identik di lapangan, sebagai contoh nyata adalah spesies *Cymodocea rotundata* dan *Thalassia hemprichii* yang secara visual sama-sama memiliki helaian daun berbentuk pita memanjang (*strap-like*) dengan ujung yang membulat [6]. Kesulitan membedakan spesies secara manual ini semakin diperparah oleh keterbatasan visibilitas di bawah air yang dipicu oleh tingginya tingkat kekeruhan air dan distorsi warna [7]. Akibatnya, metode survei manual yang mengandalkan pengamatan langsung oleh manusia menjadi sangat padat karya, tidak efisien dari segi waktu dan biaya, serta rentan terhadap bias subjektivitas [8]. Oleh karena itu, diperlukan sebuah pendekatan otomatisasi yang cerdas, efisien, dan akurat untuk mendukung kegiatan pemantauan (*monitoring*) ekosistem lamun secara lebih luas.

Sebagai solusi atas permasalahan tersebut, teknologi pengolahan citra berbasis *Deep Learning* menawarkan pendekatan otomatisasi yang efektif untuk identifikasi objek di lingkungan laut. Mengingat kondisi ekosistem lamun di Perairan Desa Pengudang bersifat majemuk (*mixed beds*), di mana berbagai spesies tumbuh saling tumpang tindih dan bercampur dalam satu area yang sama [4], maka sangat dibutuhkan penerapan algoritma identifikasi multi-objek. Pendekatan ini memungkinkan sistem untuk mengenali, melokalisasi, dan membedakan banyak spesies lamun sekaligus hanya dalam satu bingkai (*frame*) citra bawah air secara instan [8]. Meskipun kemampuan pemrosesan instan telah dimungkinkan pada tingkat model, penerapannya sebagai sistem yang benar-benar beroperasi secara *real-time* di lingkungan bawah air masih menghadapi keterbatasan pada aspek transmisi data. Hal ini disebabkan sinyal nirkabel berbasis *radio frequency* yang digunakan pada teknologi seperti WiFi dan jaringan seluler mengalami peredaman yang signifikan di air laut serta sulit menembus batas antara udara dan air secara efisien [9]. Selain keterbatasan tersebut, penggunaan citra statis (foto) sebagai data utama pada penelitian ini juga didasarkan pada beberapa pertimbangan metodologis. Pertama, video bawah air lebih rentan mengalami *motion blur* akibat pergerakan kamera maupun arus laut sehingga memerlukan proses seleksi frame sebelum digunakan sebagai dataset. Kedua, *frame* yang berurutan pada video

umumnya memiliki kemiripan visual yang tinggi sehingga variasi informasi antarframe relatif terbatas dibandingkan citra yang dikumpulkan secara independen. Ketiga, penggunaan citra statis memudahkan proses anotasi serta pengendalian distribusi jumlah data pada setiap spesies lamun sehingga keseimbangan antar kelas dapat lebih terjaga selama proses pelatihan model. Berdasarkan pertimbangan tersebut, penelitian ini difokuskan pada identifikasi berbasis citra statis sebagai data utama karena lebih sesuai untuk proses pembentukan dataset, anotasi, dan evaluasi performa model secara terkontrol. Keunggulan utama arsitektur *deep learning* terletak pada kemampuannya mengekstraksi fitur visual secara otomatis sehingga mampu mereduksi *noise* dan mengatasi degradasi kualitas citra akibat penyerapan cahaya di bawah air [10]. Namun, tantangan berikutnya adalah menentukan arsitektur yang mampu memberikan keseimbangan antara akurasi identifikasi, kecepatan inferensi, dan efisiensi komputasi.

Dalam lanskap algoritma *Object Detection* modern, terdapat dua arsitektur *state-of-the-art* yang saat ini menjadi fokus evaluasi para peneliti karena menawarkan titik keseimbangan (*trade-off*) kinerja yang berbeda, yaitu YOLOv8 dan EfficientDet-D0. Algoritma YOLOv8 hadir dengan pendekatan *anchor-free* yang menawarkan keunggulan luar biasa dalam kelincahan kecepatan inferensi (*ms/image*), menjadikannya sangat andal untuk kebutuhan visi komputer yang menuntut pemrosesan yang sangat cepat [11]. Di sisi lain, EfficientDet-D0 menggunakan mekanisme fusi *Bi-directional Feature Pyramid Network* (BiFPN) yang diakui secara konsisten mampu memberikan keseimbangan yang sangat optimal antara beban komputasi yang ringan dengan tingkat akurasi identifikasi yang tinggi (*mean Average Precision / mAP*) [12].

Meskipun kedua algoritma tersebut memiliki reputasi yang sangat tinggi, perbandingan kinerjanya secara spesifik untuk identifikasi kelas multispesies lamun pada kondisi perairan tropis Indonesia yang keruh masih perlu dikaji lebih lanjut untuk mengisi kesenjangan riset (*research gap*). Berpijak pada urgensi tersebut, penelitian ini bertujuan untuk menerapkan dan membandingkan secara langsung (*head-to-head*) kinerja arsitektur EfficientDet-D0 dan YOLOv8. Perbandingan pada penelitian ini difokuskan pada varian *lightweight* dari masing-masing keluarga

arsitektur, yaitu EfficientDet-D0 dan YOLOv8n, karena keduanya dirancang untuk menghasilkan keseimbangan antara akurasi, kecepatan inferensi, dan efisiensi komputasi. Dengan demikian, penelitian ini tidak bertujuan membandingkan performa maksimum setiap keluarga model, melainkan mengevaluasi karakteristik kedua arsitektur tersebut pada tugas identifikasi spesies lamun di citra bawah air. Evaluasi komparatif ini akan diukur berdasarkan parameter keandalan akurasi (mAP), kecepatan inferensi (*ms/image*), serta efisiensi penggunaan sumber daya komputasi perangkat dalam mengidentifikasi enam jenis spesies lamun dominan pada citra bawah air di Perairan Desa Pengudang. Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat menentukan arsitektur sistem identifikasi terbaik yang mampu menyeimbangkan ketepatan klasifikasi, kecepatan pemrosesan, dan efisiensi sumber daya sebagai solusi cerdas pengawasan ekosistem laut.

B. Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan sebelumnya, rumusan masalah penelitian ini adalah “Bagaimana perbandingan kinerja arsitektur EfficientDet-D0 dan YOLOv8 dalam mengidentifikasi spesies lamun di Perairan Desa Pengudang ditinjau dari akurasi deteksi, kecepatan inferensi, dan efisiensi penggunaan sumber daya komputasi?”

C. Batasan Penelitian

Batasan penelitian dalam penelitian ini meliputi:

1. Dataset utama yang digunakan dibatasi sebanyak 6.000 citra statis (*in situ*) bawah air dari Perairan Desa Pengudang, Pulau Bintan, yang diambil pada kondisi pencahayaan alami (*daylight*). Fokus penelitian berada pada identifikasi berbasis citra statis, sedangkan pengujian pada citra dinamis (video) hanya dilakukan sebagai validasi tambahan terhadap kemampuan model dan tidak menjadi bagian dari evaluasi utama penelitian.
2. Selain dataset *in-situ*, pengujian performa identifikasi model juga akan dievaluasi secara khusus menggunakan data tambahan berupa gambar-gambar spesies lamun terverifikasi yang dikumpulkan dari sumber daring yang telah terverifikasi.

3. Objek Identifikasi Penelitian ini dibatasi pada identifikasi enam jenis lamun dominan, yaitu *Thalassia hemprichii*, *Enhalus acoroides*, *Halodule uninervis*, *Syringodium isoetifolium*, *Cymodocea rotundata*, dan *Halophila ovalis*. Objek lain di luar spesies tersebut tidak diklasifikasikan.
4. Kinerja model dievaluasi secara komprehensif pada pemrosesan citra statis berdasarkan tingkat keandalan akurasi menggunakan *mean Average Precision* (mAP), kecepatan inferensi menggunakan metrik latensi (ms/citra), dan tingkat efisiensi penggunaan sumber daya komputasi berdasarkan penggunaan memori GPU (Peak VRAM), serta tidak mencakup analisis kesehatan biologi lamun.
5. Kualitas visibilitas citra yang digunakan hanya difokuskan pada objek lamun yang dapat diidentifikasi secara visual. Mengacu pada tahapan pra-pemrosesan, citra yang memiliki tingkat kekeruhan air ekstrem, intensitas cahaya yang sangat rendah, maupun terhalang sedimen parah (*blur*) tidak akan diikutsertakan ke dalam proses pelatihan model.

D. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah menerapkan arsitektur *Deep Learning* EfficientDet-D0 dan YOLOv8 untuk mengidentifikasi jenis lamun pada dataset citra bawah air di Perairan Desa Pengudang, serta membandingkan kinerja kedua model berdasarkan akurasi deteksi (*mean Average Precision*), kecepatan inferensi (ms/citra), dan efisiensi penggunaan sumber daya komputasi untuk menentukan model yang paling optimal dalam mengidentifikasi spesies lamun pada citra bawah air.

E. Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dari pelaksanaan penelitian ini mencakup kontribusi di bidang keilmuan dan teknologi (akademis), pelestarian lingkungan laut, serta dampak positif bagi khalayak umum. Berikut adalah rincian kajian manfaat yang dihasilkan dari penelitian ini:

1. Manfaat bagi Peneliti

- a. Memberikan pemahaman mendalam mengenai perbandingan kinerja algoritma

Deep Learning (EfficientDet-D0 dan YOLOv8) dalam mengidentifikasi spesies lamun secara visual pada kondisi citra bawah air yang dinamis dan minim cahaya.

- b. Menjadi literatur dan referensi tambahan bagi penelitian selanjutnya di bidang *Computer Vision* dan *Deep Learning*, khususnya dalam pengujian efisiensi arsitektur model klasifikasi secara komparatif.

2. Manfaat bagi Pengelola Konservasi Lamun

- a. Menjadi alternatif alat bantu berbasis perangkat lunak untuk membantu proses identifikasi spesies lamun pada citra bawah air di kawasan konservasi Perairan Desa Pengudang.
- b. Memberikan dukungan informasi berbasis analisis citra yang dapat digunakan sebagai referensi tambahan bagi pengelola kawasan, akademisi, dan instansi terkait dalam kegiatan identifikasi spesies lamun berdasarkan data visual hasil survei lapangan.

3. Manfaat bagi Masyarakat

- a. Membantu meningkatkan kesadaran masyarakat pesisir mengenai kekayaan spesies lamun di daerahnya yang berperan vital sebagai habitat biota laut dilindungi (seperti dugong dan penyu) serta sebagai pelindung pantai alami.
- b. Mendukung pelestarian ekosistem padang lamun yang berkelanjutan, yang secara tidak langsung akan berdampak positif pada peningkatan hasil tangkapan nelayan tradisional dan potensi ekowisata pesisir bagi ekonomi masyarakat setempat.