

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Lamun (*Seagrass*) merupakan jenis tanaman berbunga (*Angiospermae*) yang tumbuh sepenuhnya di lingkungan laut di seluruh benua kecuali Antartika, dengan distribusi utama pada perairan lintang sub-arktik hingga tropis [1]. Padang lamun memegang peran krusial sebagai produsen primer, penyedia habitat bagi biota laut, hingga penyerap karbon [2]. Di antara fungsi-fungsi tersebut, padang lamun diperkirakan mampu menyimpan karbon hingga 19,9 Petagram secara global, menjadikannya salah satu ekosistem penyerap karbon biru yang signifikan [3]. Besarnya jasa ekosistem padang lamun tersebut mengindikasikan bahwa kerusakan padang lamun tidak hanya dapat memicu pemanasan global lebih cepat [4], tetapi juga mengancam keberlangsungan biota laut dan kesejahteraan masyarakat pesisir [1].

Kerusakan ekosistem padang lamun dapat disebabkan oleh banyak hal, dengan polusi minyak dari aktivitas pelayaran sebagai salah satu ancaman utama. Di wilayah pesisir Kepulauan Riau, khususnya Bintan, ekosistem ini secara nyata terdampak oleh pembuangan limbah tersebut. Skala ancaman ini terekam melalui observasi satelit Sentinel-1A pada rentang 2023 hingga 2024, di mana akumulasi luas cemaran minyak di perairan Bintan Utara terdeteksi mencapai 7.204 m² [5], [6]. Pemetaan penginderaan jauh menunjukkan bahwa padang lamun di Perairan Desa Pengudang, Bintan, telah mengalami degradasi luasan sebesar 1,43 hektare dalam kurun waktu 2018 hingga 2020 [7] kerusakan yang terus berlangsung ini menuntut adanya upaya pemantauan ekosistem padang lamun secara berkala untuk mengevaluasi kondisi dan dampaknya di lapangan.

Sebagai respon atas ancaman tersebut, Pemerintah Indonesia telah menetapkan wilayah Timur Pulau Bintan menjadi wilayah konservasi. Hal ini ditetapkan dalam Keputusan Menteri Kelautan dan Perikanan Nomor 18 Tahun 2022 tentang Kawasan Konservasi di Perairan di Wilayah Timur Pulau Bintan Provinsi Kepulauan Riau [8]. Penerapan wilayah konservasi ini menunjukkan perlunya pemantauan ekosistem secara berkala. Selama ini, upaya menjaga keberlangsungan ekosistem ini umumnya dilakukan melalui pemantauan *visual*

secara langsung oleh penyelam. Namun, metode identifikasi manual di bawah air sangat bergantung pada keahlian taksonomi pengamat, rentan terhadap *human error*, dan membutuhkan waktu pencatatan yang lama di kondisi lingkungan yang dinamis [9]. Keterbatasan tersebut mendorong kebutuhan akan solusi otomatis berbasis kecerdasan buatan yang dapat dioperasikan di lapangan. Oleh karena itu, pendekatan *Deep Learning* berbasis sistem deteksi otomatis dinilai relevan karena dapat membantu pengamat di lapangan dalam mendeteksi dan mengklasifikasikan jenis lamun melalui antarmuka berbasis *web*, sehingga proses pendataan menjadi jauh lebih cepat, konsisten, dan dapat diakses dari berbagai perangkat [10].

Pemanfaatan model pembelajaran mendalam menjanjikan otomatisasi yang efisien untuk mengatasi keterbatasan identifikasi manual tersebut. Namun, implementasi teknologi *computer vision* pada ekosistem bawah air dihadapkan pada tantangan ekstraksi fitur yang jauh lebih kompleks. Berbeda dengan citra di lingkungan darat, kualitas citra bawah air sering kali mengalami degradasi yang signifikan akibat penyerapan dan hamburan cahaya oleh partikel air [11]. Kondisi optik ini secara fundamental menghasilkan gambar dengan tingkat kekeruhan yang fluktuatif, kontras yang sangat rendah, serta dominasi spektrum warna hijau-biru yang menutupi tekstur asli objek [12]. Selain kendala distorsi lingkungan, proses pendeteksian juga dipersulit secara ekstrem oleh karakteristik morfologi lamun itu sendiri. Bentuk daun lamun yang melambai mengikuti arus laut menciptakan variasi geometri yang tidak terprediksi. Lebih jauh lagi, berbagai spesies lamun di habitat alaminya cenderung tumbuh secara komunal dan berhimpitan rapat [13]. Kerapatan ekosistem ini menghasilkan tingkat oklusi (tumpang tindih objek) yang sangat tinggi, di mana batas *visual* antar individu atau antar spesies menjadi sangat bias. Kombinasi antara degradasi *visual* dan kompleksitas oklusi morfologi ini menjadikan lokalisasi objek secara akurat menjadi tantangan komputasi, khususnya bagi arsitektur deteksi *anchor-based*.

Mengatasi kompleksitas oklusi dan deformasi *visual* di bawah air tersebut, berbagai penelitian terdahulu telah mengimplementasikan algoritma deteksi objek berbasis *Deep Learning*. Mayoritas pendekatan standar yang digunakan merujuk pada arsitektur berbasis jangkar (*anchor-based detectors*) seperti *Faster R-CNN* dan *YOLO* generasi terdahulu [14]. Secara empiris, metode-metode ini terbukti

mampu mendeteksi biota laut dengan presisi yang baik pada kondisi *visual* yang ideal. Akan tetapi, ketergantungan fundamental pada *pre-defined anchor boxes* (kotak referensi berukuran tetap) memunculkan batasan teknis yang signifikan ketika dihadapkan pada morfologi lamun. Daun lamun yang melambai dan saling menumpuk secara ekstrem seringkali memaksa algoritma *anchor-based* untuk menghasilkan ratusan prediksi kotak yang tumpang tindih. Akibatnya, proses penyaringan pasca-prediksi menggunakan mekanisme *Non-Maximum Suppression* (NMS) rentan mengalami kegagalan, di mana lamun yang tumbuh berhimpitan justru terhapus oleh sistem karena dianggap sebagai satu objek yang sama [15]. Selain isu pelokalan spasial, arsitektur seperti *Faster R-CNN* memiliki beban parameter dan komputasi yang sangat masif. Kompleksitas ini menghasilkan latensi waktu inferensi yang tinggi, sehingga menjadikannya tidak layak (suboptimal) untuk dioperasikan secara pada perangkat *mobile* yang memiliki keterbatasan daya komputasi [16]. Oleh karena itu, dibutuhkan sebuah paradigma deteksi baru yang terbebas dari mekanisme *anchor* kaku serta efisien secara komputasi untuk mengakomodasi kebutuhan di lapangan.

Menjawab urgensi akan kebutuhan algoritma yang efisien dan adaptif terhadap kondisi bawah air, penelitian ini mengusulkan implementasi arsitektur *CenterNet* sebagai solusi identifikasi jenis lamun. Berbeda dengan pendekatan deteksi objek tradisional, *CenterNet* memperkenalkan paradigma *anchor-free* yang secara fundamental merepresentasikan sebuah objek murni sebagai titik pusat (*objects as points*). Pendekatan inovatif ini mengeliminasi pencarian kandidat kotak (*bounding boxes*) secara paksa, dan menggantinya dengan prediksi titik panas (*heatmap peaks*) pada pusat spasial objek, yang kemudian dikombinasikan dengan regresi ukuran untuk menentukan dimensi akhir [17]. Selain keunggulan spasial tersebut, ketiadaan pengaturan *anchor* dan ditiadakannya proses *Non-Maximum Suppression* (NMS) secara drastis memangkas kompleksitas jaringan. Reduksi beban komputasi ini menghasilkan efisiensi inferensi yang sangat tinggi, sehingga membuka kelayakan penuh untuk memproses data melalui *platform* berbasis *web* yang dapat diakses lintas perangkat tanpa instalasi aplikasi tanpa mengorbankan akurasi secara signifikan [14].

B. Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, rumusan masalah utama dalam penelitian ini adalah: "Bagaimana kinerja arsitektur *CenterNet* dalam mendeteksi dan mengklasifikasikan enam spesies lamun pada citra bawah air perairan Desa Pengudang ditinjau dari nilai *mean Average Precision* (mAP), *precision*, *recall* ?".

C. Batasan Penelitian

Mengingat luasnya cakupan keilmuan mengenai ekosistem pesisir dan visi komputer (*computer vision*), serta adanya keterbatasan waktu, data, dan sumber daya komputasi, maka penelitian ini membatasi ruang lingkupnya pada parameter-parameter berikut:

1. Pengambilan *dataset* citra bawah air secara eksklusif dilakukan di perairan Desa Pengudang, Pulau Bintan, Provinsi Kepulauan Riau.
2. Penelitian ini hanya berfokus pada deteksi dan klasifikasi 6 (enam) kelas/spesies lamun di lokasi studi, yaitu: *Cymodocea rotundata*, *Enhalus acoroides*, *Halodule uninervis*, *Halophila Ovalis*, *Syringodium isoetifolium*, dan *Thalassia hemprichii*.
3. Jumlah *dataset* yang digunakan sebanyak 6000 data citra, diambil dari total 6 spesies lamun dengan masing-masing spesies sebanyak 1000 data.
4. Luaran penelitian berupa model deteksi dan klasifikasi spesies lamun yang diimplementasikan dalam aplikasi berbasis *web* untuk membantu proses identifikasi spesies lamun.

D. Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengevaluasi dan menganalisis secara kuantitatif tingkat kinerja arsitektur *anchor-free CenterNet* dalam mendeteksi serta mengklasifikasikan enam spesies lamun pada citra bawah air di perairan Desa Pengudang, dengan parameter keberhasilan yang diukur secara spesifik melalui metrik *mean Average Precision* (mAP), *precision*, *recall*.

E. Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan dampak positif dan kegunaan yang terukur, baik secara akademis maupun aplikatif. Adapun manfaat dari penelitian ini dijabarkan sebagai berikut:

1. Bagi peneliti, penelitian ini memberikan pengalaman praktis sekaligus memperkaya khasanah keilmuan di bidang *Computer Vision*, khususnya dalam mengimplementasikan arsitektur deteksi objek berbasis *anchor-free* (*CenterNet*) untuk mengatasi tantangan oklusi *visual* dan degradasi optik pada domain citra bawah air.
2. Bagi masyarakat, penelitian ini menyediakan akses teknologi identifikasi spesies lamun yang inklusif melalui antarmuka berbasis *web*, sehingga dapat digunakan dari berbagai perangkat tanpa instalasi aplikasi tambahan dan membuka peluang partisipasi masyarakat pesisir dalam kegiatan pemantauan ekosistem secara mandiri.
3. Bagi wilayah tempat konservasi, penelitian ini mendukung efektivitas pengelolaan Kawasan Konservasi Perairan Timur Pulau Bintan dengan menyediakan alternatif teknologi pendataan spesies lamun yang lebih cepat, konsisten, dan dapat dijadikan dasar pengambilan keputusan pengelolaan kawasan oleh pihak berwenang.