

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Ekosistem pesisir, khususnya padang lamun dan alga, memegang peran penting dalam menjaga keseimbangan ekologis laut tropis. Lamun dan alga merupakan produsen primer yang menyediakan habitat, tempat berlindung, serta sumber energi bagi berbagai jenis biota laut (Lisdayanti et al. 2024; Jalaluddin et al. 2020; Azkab, 2000). Selain itu, keduanya juga memiliki peran ekologis dalam proses siklus karbon, penstabilan sedimen, hingga penyaring kualitas air. Dalam konteks global, pemantauan terhadap vegetasi laut seperti lamun dan alga kian berkembang dengan bantuan teknologi penginderaan jauh, mengingat keunggulannya dalam mencakup wilayah yang luas secara efisien.

Salah satu metode yang kini banyak digunakan untuk mendukung pemetaan vegetasi laut adalah spektroradiometri bawah air. Teknik ini memungkinkan pengukuran langsung karakteristik pantulan spektral dari berbagai objek di bawah permukaan air, termasuk berbagai spesies lamun dan alga. Spektroradiometri bekerja dengan merekam interaksi cahaya terhadap objek, sehingga menghasilkan data spektral yang merepresentasikan ciri khas pantulan tiap jenis tumbuhan laut (O'Neill et al., 2011). Data reflektansi spektral ini sangat penting dalam klasifikasi vegetasi dan pemetaan dinamika ekosistem laut melalui citra satelit (Johnson & Wooton, 2011).

Reflektansi spektral pada dasarnya menyimpan informasi unik mengenai panjang gelombang yang dipantulkan oleh suatu objek, sehingga dapat digunakan untuk membedakan jenis vegetasi berdasarkan pigmen dan struktur anatomi daun. Kendati bentuk kurva reflektansi antar spesies lamun tampak serupa, nilai absolut pantulan pada panjang gelombang tertentu dapat berbeda secara signifikan. Inilah yang menjadi dasar kuat dalam pendekatan analisis spektral untuk keperluan klasifikasi vegetasi laut secara lebih akurat.

Sejumlah kajian terdahulu menunjukkan bahwa pengukuran spektral secara *in situ* (langsung di lapangan) memberikan data yang lebih akurat dibanding pengukuran dari citra satelit, karena tidak terpengaruh oleh gangguan atmosfer dan kolom air (Fyfe, 2003; Tamondong et al., 2013; Pu et al., 2012; Nurdin et al. 2014). Penggunaan alat spektrometer pada jarak sangat dekat dengan objek ($\pm 2\text{--}10$ cm) mampu merekam pantulan cahaya elektromagnetik dari permukaan daun lamun maupun alga. Sebaliknya, reflektansi dari citra satelit biasanya dipengaruhi oleh banyak faktor eksternal, seperti gangguan optik air dan pencampuran spektral dari berbagai objek dalam satu piksel (Lyons et al., 2011; Helmi et al., 2012).

Spektroradiometri bawah air juga berfungsi membangun pustaka spektral yang dibutuhkan untuk klasifikasi jenis vegetasi. Variasi reflektansi antar spesies lamun dipengaruhi oleh keberadaan pigmen (klorofil, karotenoid) dan struktur anatomi daun (Durako, 2007). Oleh karena itu, perekaman spektral secara langsung menjadi langkah penting dalam mengembangkan basis data yang akurat dan representatif, terutama dalam mendeteksi vegetasi hingga pada tingkat spesies.

Pulau Barrang Lompo, yang terletak di gugusan Kepulauan Spermonde, Sulawesi Selatan, merupakan salah satu kawasan pesisir yang kaya akan keanekaragaman lamun. Namun, berdasarkan hasil penelitian Noer Hadi et al. (2022), telah terjadi penurunan tutupan lamun sebesar $\pm 29,95$ hektar antara tahun 2013 hingga 2021. Kondisi ini menunjukkan adanya tekanan ekologis dan kerentanan pada sistem lamun di kawasan tersebut, sehingga perlu dilakukan upaya pemantauan dan identifikasi vegetasi laut yang lebih efektif dan berkelanjutan. Metode spektroradiometri bawah air diyakini dapat memperkaya data lapangan serta menjadi acuan dalam kalibrasi dan validasi citra multispektral atau hiperspektral dari satelit.

Selain lamun, alga juga berperan sebagai komponen penting dalam ekosistem laut tropis. Sebagai organisme *autotrof*, alga mengandung berbagai pigmen seperti klorofil, fukoksantin, dan fikobilin yang memengaruhi respons spektralnya (Vahtmäe et al., 2006). Setiap jenis alga baik alga hijau, cokelat, maupun merah memiliki ciri spektral yang khas. Alga hijau umumnya memiliki puncak reflektansi di sekitar 562 nm, alga merah di sekitar 552 nm, dan alga cokelat menunjukkan nilai tertinggi pada rentang 600–650 nm (Thorhaug et al., 2007). Karena karakteristik spektral yang berbeda ini, alga dapat dibedakan dari lamun maupun substrat dasar laut, dan menjadi komponen penting dalam penelitian spektral vegetasi laut. Namun, akurasi identifikasi vegetasi laut sangat bergantung pada kondisi perairan. Faktor seperti kekeruhan, kedalaman, dan densitas partikel tersuspensi di air laut dapat mengurangi kekuatan sinyal pantulan dari objek yang diukur. Dalam kondisi demikian, penggunaan spektroradiometer bawah air menjadi sangat krusial, karena dapat meminimalkan efek gangguan dari kolom air dan memberikan data reflektansi yang lebih representatif (Roelfsema et al., 2016). Data tersebut sangat berguna untuk membangun pustaka spektral lokal yang menjadi dasar klasifikasi vegetasi di lokasi penelitian seperti Barrang Lompo.

Terdapat beberapa kajian lokal pengukuran variasi reflektansi objek dasar perairan menggunakan spektroradiometer di Pulau Barrang Lompo (Nurdin dan Rani 2009; Nurdin et al. 2012; Nurdin et al. 2014). Namun yang secara khusus merekam dan membandingkan karakter spektral lamun dan alga masih terbatas. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk mengisi kekosongan data tersebut, sekaligus memberikan kontribusi dalam pengembangan metode identifikasi vegetasi laut yang akurat, efisien, dan berbasis teknologi.

Dengan mempertimbangkan kondisi lokal, pentingnya data akurat, dan urgensi pemantauan ekosistem pesisir, penelitian mengenai karakteristik reflektansi spektral lamun dan alga menggunakan spektroradiometer bawah air menjadi sangat relevan. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memperkaya pengetahuan tentang karakter spektral vegetasi laut, serta menjadi dasar ilmiah bagi pengembangan metode penginderaan jauh untuk keperluan konservasi dan pengelolaan ekosistem lamun di wilayah pesisir Sulawesi Selatan.

1.2 Tujuan dan Kegunaan

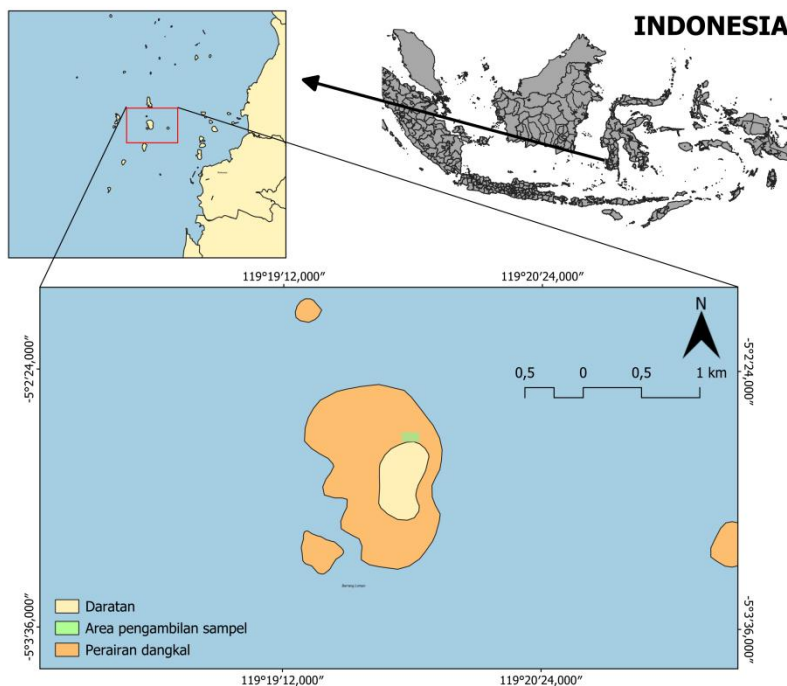
Tujuan dari penelitian ini yaitu untuk mengkarakterisasi pola reflektansi spektral beberapa jenis lamun dan alga menggunakan spektroradiometer bawah air dan mengidentifikasi perbedaan karakteristik spektral antar jenis lamun dan alga.

Kegunaan penelitian ini, diharapkan dapat diperoleh pemahaman yang lebih baik mengenai karakteristik pantulan spektral dari berbagai jenis lamun dan alga di wilayah tersebut. Hasilnya dapat menjadi dasar dalam pengembangan metode identifikasi dan pemantauan vegetasi laut berbasis penginderaan jauh.

BAB II METODE PENELITIAN

2.1. Waktu dan Tempat

Penelitian ini berlangsung pada bulan Mei-Juli 2025, pengukuran reflektansi dilakukan pada 17 Mei 2025 berlokasi di perairan bagian utara Pulau Barrang Lompo, yang secara administratif berada dalam wilayah Kecamatan Sangkarrang, Kota Makassar, Provinsi Sulawesi Selatan. Pulau Barrang Lompo merupakan bagian dari gugusan Kepulauan Spermonde dan dikenal sebagai salah satu wilayah yang memiliki tutupan ekosistem lamun dan alga yang cukup melimpah. Titik pengukuran sampel dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Lokasi penelitian di Pulau Barrang Lompo, Kecamatan Sangkarrang, Makassar, Sulawesi Selatan

2.2. Alat

Alat yang digunakan beserta fungsinya pada penelitian ini disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Alat dan Spesifikasi

No.	Alat dan Spesifikasi	Kegunaan
1.	Spektroradiometer LOT-2 <i>Spectra Corp</i>	Pengukur reflektansi spektral dari objek dengan rentang spektral 350-1500 (nm), resolusi optik 3 nm, dilengkapi aksesoris fiber-optik, sensor probe, kabel, <i>software</i> , dan box
2.	Alat Dasar Selam (ADS)	Alat bantu menyelam
3.	Kamera Underwater Olympus Tough TG-7	Pengambilan dokumentasi sampel kegiatan penelitian di lapangan dan geotaging sampel
4.	<i>Software</i> R Studio 2025.05.00+496 Posit Software, PBC	Pengolahan dan analisis data
5.	<i>Software</i> Excel	Pengolahan data

2.3. Prosedur Penelitian

Beberapa tahapan yang dilakukan penulis dalam penelitian ini diantaranya adalah tahap persiapan, pengukuran reflektansi lamun dan alga, dan analisis data.

2.3.1. Tahap Persiapan

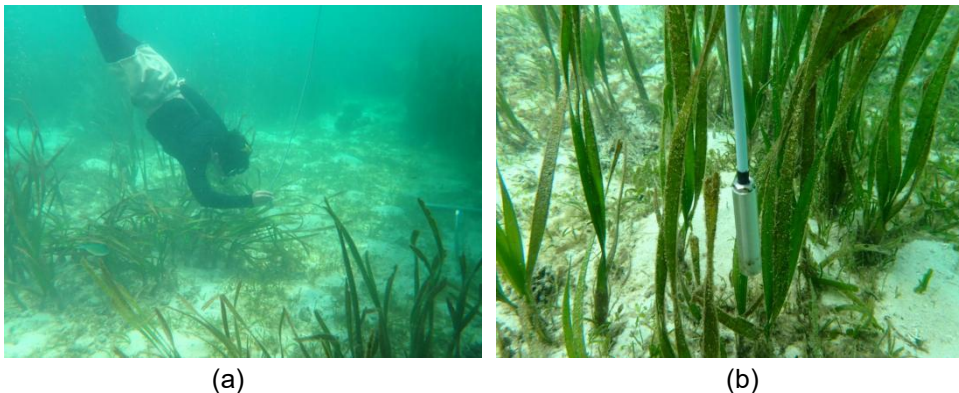
Tahap persiapan dilakukan sebelum pelaksanaan pengukuran lapangan, meliputi studi literatur, peninjauan lokasi, dan persiapan alat. Studi literatur bertujuan untuk memahami karakteristik spektral vegetasi laut dan teknik pengukuran yang relevan. Persiapan alat dilakukan terhadap spektroradiometer bawah air guna memastikan akurasi pengukuran reflektansi di bawah air. Selain itu, dilakukan juga penyusunan format data, penentuan klasifikasi taksonomi lamun dan alga, serta identifikasi kondisi cuaca agar pengambilan data dilakukan dalam waktu yang optimal, yaitu saat air relatif tenang dan pencahayaan yang cukup.

2.3.2. Penentuan Titik Pengukuran Reflektansi Spektral

Penentuan titik pengukuran dilakukan secara *purposive sampling* dengan mempertimbangkan keberadaan jenis lamun dan alga yang berbeda di sekitar perairan Pulau Barrang Lompo. Titik-titik tersebut dipilih untuk mewakili variasi jenis dan kepadatan vegetasi, substrat dasar, serta kedalaman perairan. Koordinat lokasi diambil menggunakan koordinat GPS dari kamera, setiap titik yang telah ditentukan kemudian dicatat serta di dokumentasikan.

2.3.3. Pengukuran Reflektansi Spektral

Pengukuran reflektansi dilakukan secara langsung di lapangan (*in situ*) menggunakan spektorradiometer bawah air, sebelum melakukan pengukuran alat di kalibrasi terlebih dahulu dengan cara kalibrasi reflektansi (*Reflectance Calibration*) menggunakan papan putih standar reflektansi (*white reference panel*), biasanya dari bahan *Spectralon* yang memiliki reflektansi >99% secara merata pada spektrum tampak hingga NIR, lakukan pengukuran reflektansi pada *white reference* terlebih dahulu untuk memastikan akurasi, setelah persiapan alat telah selesai dilakukan pengukuran pada objek lamun dan alga pada kolom perairan dengan posisi sensor diarahkan ke permukaan objek pada sudut kemiringan sekitar 45° dan jarak pengukuran kurang lebih 5 cm dari objek. Pendekatan ini dilakukan untuk menangkap pantulan spektral secara optimal, sambil tetap meminimalkan gangguan dari kolom air di sekitar objek. Untuk setiap jenis lamun dan alga, dilakukan 5-10 kali pembacaan reflektansi dengan interval panjang gelombang 3 nm guna memastikan konsistensi data dan memperoleh nilai rata-rata yang representatif. Data hasil pengukuran kemudian disimpan secara otomatis oleh perangkat untuk dianalisis lebih lanjut.



Gambar 2. a) Melakukan pengukuran objek lamun di kolom air, b) Ujung sensor atau probe di arahkan ke permukaan lamun

2.3.4. Analisis Data

Data reflektansi spektral yang telah dikumpulkan kemudian dianalisis menggunakan berbagai pendekatan statistik dan visualisasi data untuk mendukung pencapaian tujuan penelitian. Proses analisis ini tidak hanya bertujuan untuk memahami pola-pola pantulan spektral dari setiap jenis lamun dan alga, tetapi juga untuk menggali perbedaan dan hubungan antar jenis vegetasi laut secara lebih mendalam. Dalam pelaksanaannya, peneliti menggunakan perangkat lunak statistik Rstudio, yang memiliki beragam analisis data dan visualisasi grafik yang sesuai untuk pengolahan data spektral.

a.) Analisis Karakteristik pola reflektansi spektral

Analisis karakteristik pola spektral dilakukan untuk memahami bagaimana setiap jenis lamun dan alga memantulkan cahaya pada berbagai panjang gelombang, dalam penelitian ini, data reflektansi yang diperoleh dari pengukuran *in situ* menggunakan spektroradiometer LOT-2 *Spectra Corp* dianalisis untuk mengidentifikasi pola-pola khas pantulan spektral pada spektrum tampak (400–700 nm) dengan interval panjang gelombang 3 nm. Analisis ini bertujuan untuk mengenali nilai-nilai reflektansi tertinggi dan terendah dari masing-masing jenis vegetasi laut, serta lokasi puncak dan lembah pada kurva reflektansinya (Mishra et al., 2005; Hedley et al., 2012).

Analisis dilakukan dengan membandingkan bentuk kurva reflektansi antar spesies, serta menghitung nilai rata-rata dan standar deviasi (*Average ± Std*) untuk setiap panjang gelombang guna mengukur sebaran dan konsistensi nilai reflektansi. Dengan pendekatan ini, diperoleh gambaran yang lebih jelas mengenai perbedaan karakter optik antara jenis lamun dan alga, yang seringkali menunjukkan variasi spektral khas sebagai respons terhadap struktur seluler, pigmen dominan, dan morfologi daun (Kutser et al., 2006).

b.) Analisis pengelompokan spektral (*cluster analysis*)

Analisis pengelompokan digunakan untuk mengelompokkan jenis lamun dan alga berdasarkan kemiripan karakteristik dan respon spektralnya pada panjang gelombang yang diamati. Penentuan klaster dilakukan menggunakan algoritma *hierarchical agglomerative clustering* (HAC), dengan metode pengelompokan *Ward's minimum variance* yang diimplementasikan melalui opsi *method = "ward.D2"* dalam fungsi "*hclust*" di perangkat lunak RStudio. Metode *Ward* dipilih karena memiliki keunggulan dalam meminimalkan variansi dalam setiap tahap penggabungan klaster, sehingga menghasilkan kelompok yang relatif homogen dan kompak secara internal (Murtagh & Legendre, 2014).

Perhitungan kedekatan antar objek dilakukan berdasarkan jarak *Euclidean*, yang sesuai digunakan untuk data numerik kontinu seperti reflektansi spektral. Jarak *Euclidean* mengukur perbedaan absolut antara nilai-nilai reflektansi pada panjang gelombang tertentu, sehingga mampu menangkap variasi bentuk spektral antar jenis vegetasi secara sensitif.

c.) Analisis deskriminan (*discriminant analysis*)

Analisis diskriminan digunakan untuk mengidentifikasi panjang gelombang tertentu yang secara signifikan mampu membedakan karakteristik spektral antar spesies lamun dan alga. Teknik ini termasuk dalam kategori analisis dependensi, yaitu metode statistik yang digunakan ketika terdapat hubungan yang jelas antara variabel bebas (nilai reflektansi spektral) dan variabel terikat (jenis vegetasi). Dalam konteks penelitian ini, penulis menggunakan perangkat lunak RStudio untuk melakukan analisis deskriminan, *Linear Discriminant Analysis* (LDA) diterapkan untuk

membentuk fungsi deskriminan yang dapat mengelompokkan sampel ke dalam jenis vegetasi tertentu berdasarkan pola pantulan spektralnya.

Dengan demikian, analisis ini tidak hanya menguji signifikansi perbedaan antar kelompok dan jenis vegetasi, tetapi juga menghasilkan model klasifikasi yang berguna dalam identifikasi otomatis berbasis spektrum (Mattjik & Sumertajaya, 2011).

Input data yang digunakan pada analisis deskriminan adalah nilai reflektansi secara keseluruhan pada panjang gelombang 400-750 nm dengan interval 3 nm hasil pengukuran dari alat spektroradiometer LOT-2 *Spectra Corp* yang telah di filter terlebih dahulu untuk menghilangkan data dari *noise*/derau. Proses filterisasi dilakukan dengan perhitungan rata-rata yang dinamakan metode *moving average* menggunakan perangkat lunak excel (Mathews & Fink, 2004)

Analisis deskriminan akan menghasilkan fungsi deskriminan, Analisis ini menggunakan data spektral dari berbagai spektrum warna, pembagian spektrum warna di dasarkan pada sinar tampak dengan mengacu pada buku *Ocean Optics* 2007. Adapun spektrum warna yang digunakan untuk analisis adalah panjang gelombang ungu (400 - 450 nm), panjang gelombang biru langit (450 - 480 nm), panjang gelombang biru (480 - 510 nm), panjang gelombang hijau (510 - 550 nm), panjang gelombang hijau kuning (550 - 575 nm), panjang gelombang kuning (575 - 585 nm), panjang gelombang orange (585 - 620 nm), panjang gelombang merah (620 - 700 nm), panjang gelombang merah tepi (700 - 750 nm). Hasil analisis deskriminan menghasilkan fungsi deskriminan dari berbagai spektrum warna, persamaan fungsi deskriminan yang dihasilkan akan memberikan peramalan yang paling tepat untuk mengklasifikasikan suatu individu kedalam kelompok berdasarkan prediksi (Hartoni et al. 2022). Fungsi ini digunakan untuk mengklasifikasikan nilai reflektansi yang akan masuk ke dalam suatu kelompok spektrum sinar tampak.