

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Penelitian

Budidaya rumput laut di Kabupaten Takalar, khususnya di Kecamatan Sanrobone Desa Lagaruda dan Biring Kassi, menunjukkan potensi yang sangat besar. sejak awal tahun 2000-an, ketika program pengenalan bibit unggul dari Balai Penelitian dan Pengembangan Budidaya Laut (BPBL) Maros mulai diterapkan untuk mendukung budidaya komersial secara intensif (Anggraeni et al., 2018). Jenis rumput laut yang dominan di kedua desa adalah *Kappaphycus alvarezii* (sering disebut sebagai *Eucheuma cottonii*), yang menghasilkan karagenan jenis kappa untuk industri pengental makanan dan farmasi, serta *Gracilaria* sp. yang dimanfaatkan untuk produksi agar-agar dalam sektor medis dan kosmetik (Neves et al., 2015).

Kecamatan Sanrobone dikenal kaya akan sumber daya laut, di mana budidaya rumput laut tidak hanya menjadi sumber pangan lokal tetapi juga komoditas ekonomi penting yang mendukung mata pencaharian ribuan petani pesisir, dengan produksi tahunan mencapai ribuan ton yang diekspor ke pasar nasional dan internasional. Namun, banyak petani rumput laut di daerah ini masih menghadapi tantangan dalam meningkatkan hasil produksi mereka. Salah satu masalah utama yang dihadapi adalah kurangnya estimasi yang akurat mengenai potensi produksi rumput laut di Kecamatan Sanrobone. Banyak petani yang bergantung pada metode tradisional dalam budidaya, tanpa dukungan data yang memadai untuk memandu praktik pertanian mereka. Ketidakpastian ini menciptakan tantangan tersendiri, dimana hasil yang diperoleh tidak dapat diprediksi dan sering kali tidak mencukupi kebutuhan ekonomi masyarakat. Oleh karena itu, penelitian ini penting untuk dilakukan, karena estimasi yang lebih tepat mengenai potensi produksi dapat membantu meningkatkan produktivitas dan, pada akhirnya meningkatkan kesejahteraan masyarakat yang bergantung pada sektor ini (Ariny, 2016).

Penelitian ini penting dilakukan mengingat ketergantungan masyarakat terhadap rumput laut sebagai sumber mata pencaharian. Jika potensi produksi tidak dimanfaatkan, dampaknya tidak hanya akan merugikan pendapatan masyarakat, tetapi juga dapat mengancam ekosistem laut. Penelitian ini untuk memberikan dasar yang kuat bagi pengambilan keputusan yang lebih baik dan pengelolaan sumber daya laut yang berkelanjutan. Dengan meningkatnya permintaan global terhadap rumput laut, penting bagi daerah ini untuk memanfaatkan potensi yang ada secara optimal. Meskipun beberapa penelitian sebelumnya telah membahas potensi produksi rumput laut, banyak di antaranya yang belum memanfaatkan teknologi citra satelit secara mendalam. Sebagian besar penelitian besar cenderung terfokus pada aspek agronomi atau ekonomi tanpa mempertimbangkan faktor lingkungan secara holistik. Oleh karena itu, penelitian ini mengambil pendekatan yang berbeda dengan memanfaatkan citra Sentinel-2 untuk menghasilkan estimasi potensi produksi yang lebih komprehensif (Darmawan, 2022).

Penelitian ini akan menganalisis potensi produksi rumput laut di Kecamatan Sanrobone dengan pendekatan berbasis citra satelit. Penelitian ini akan memberikan kontribusi signifikan terhadap pengembangan budidaya rumput laut yang berkelanjutan serta memberikan rekomendasi praktis bagi masyarakat dan pemangku kepentingan dalam pengelolaan sumber daya laut. Dengan mengintegrasikan teknologi modern dan metode analisis yang komprehensif, diharapkan penelitian ini tidak hanya memberikan manfaat akademis, tetapi juga meningkatkan kualitas kehidupan masyarakat setempat

dan memastikan sumber daya laut. Selain itu, penelitian ini akan mengeksplorasi hubungan antara kondisi lingkungan, seperti suhu, salinitas, dan kekeruhan, dengan hasil produksi rumput laut. Hasilnya diharapkan dapat menghasilkan informasi yang akurat untuk memprediksi potensi produksi di masa depan. Pendekatan ini akan memberikan wawasan mendalam mengenai faktor-faktor yang mempengaruhi produktivitas rumput laut dan menjadi dasar bagi kebijakan pengembangan yang lebih efektif dalam pengelolaan sumber daya laut. Dengan demikian, penelitian ini dapat mendorong penerapan praktik budidaya yang berkelanjutan dan ramah lingkungan, memberikan manfaat jangka panjang bagi masyarakat ekosistem laut di Kecamatan Sanrobone.

1.2 Manfaat dan Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk mengestimasi potensi produksi rumput laut di Kecamatan Sanrobone Kabupaten Takalar dengan memanfaatkan citra Sentinel-2. Dengan pendekatan ini, diharapkan dapat dihasilkan estimasi potensi produksi yang akurat dan dapat diandalkan. Informasi ini diharapkan dapat membantu pemerintah daerah, pelaku industri, dan masyarakat dalam membuat keputusan yang tepat terkait pengelolaan dan pengembangan budidaya rumput laut.

1.3 Landasan Teori

1.3.1 Rumput Laut

Rumput laut merupakan sekelompok alga multiseluler yang hidup di lingkungan perairan laut yang memainkan peran krusial dalam ekosistem laut, budidaya perikanan, serta industri pangan dan farmasi. Secara morfologi dan klasifikasi, rumput laut dibagi menjadi tiga kelompok utama, yaitu *Rhodophyta* (rumput laut merah), *Phaeophyceae* (rumput laut coklat), dan *Chlorophyta* (rumput laut hijau), dengan bentuk yang bervariasi dari filamen sederhana hingga struktur lembaran daun yang bercabang (Dharmawan, 2020). Budidaya rumput laut di Indonesia telah berkembang pesat sejak 1980-an dengan teknologi penanaman yang terus disempurnakan untuk meningkatkan produktivitas dan kualitas panen (Rusaini, 2020). Kandungan nutrisi dan senyawa bioaktif rumput laut, termasuk polisakarida, antioksidan, antibakteri, dan antijamur, menjadikannya potensial untuk aplikasi di bidang farmasi, kosmetik, dan pangan fungsional (Busthanul et al., 2019). Pertumbuhan rumput laut sangat dipengaruhi oleh faktor lingkungan seperti suhu, salinitas, dan ketersediaan nutrisi di air laut, yang harus dijaga secara optimal untuk mendukung produksi berkelanjutan.

1.3.2 Spesifikasi Citra Sentinel-2 Level 2A

Citra Sentinel-2 Level 2A adalah produk data satelit penginderaan jauh yang telah diproses melalui koreksi atmosferik untuk menghasilkan nilai reflektansi permukaan bumi yang akurat, sehingga siap digunakan langsung dalam berbagai analisis tanpa memerlukan pemrosesan tambahan yang rumit. Citra satelit ini dilengkapi dengan 13 band spektral yang mencakup rentang panjang gelombang dari biru hingga inframerah gelombang pendek, dengan resolusi spasial yang bervariasi: empat band utama (seperti hijau, merah, dan inframerah dekat) memiliki resolusi 10m untuk detail halus pada tutupan lahan, enam band menengah beresolusi 20m yang berguna untuk pemantauan vegetasi dan perairan, serta tiga band tambahan beresolusi 60m untuk informasi awan

dan sirkulasi udara (Andini, et all., 2018). Produk Level 2A ini dihasilkan melalui algoritma Sen2Cor yang melakukan koreksi radiometrik dan atmosferik, sehingga mengurangi pengaruh kabut atau aerosol, dan meningkatkan akurasi data untuk studi seperti indeks vegetasi NDVI yang mengukur tingkat kehijauan dari perbedaan band inframerah dan merah. Secara keseluruhan, spesifikasi ini menjadikan Sentinel-2 Level 2A sebagai alat utama dalam penginderaan jauh modern, dengan data yang gratis dan mudah diakses melalui platform *Copernicus Open Access Hub* untuk mendukung penelitian berkelanjutan di bidang geospasial (Putri, et all., 2021).

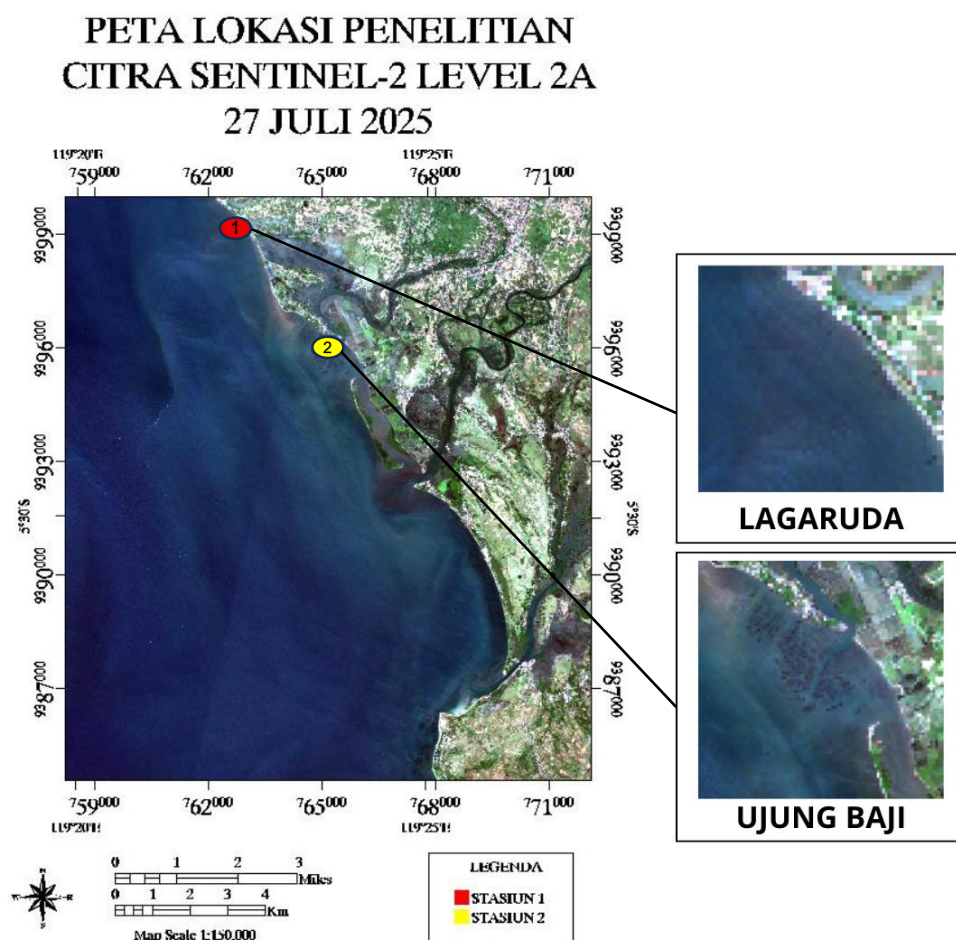
Citra Sentinel-2 Level 2A yang digunakan pada penelitian ini adalah band resolusi spasial 10 m (satu piksel mewakili 10 m × 10 m) yang ideal untuk pemantauan detail budidaya rumput laut di area pesisir seperti Desa Lagaruda dan Biring Kassi; Band 2 (Blue, 458–523 nm) menangkap cahaya biru untuk mendeteksi kekeruhan air dan digunakan sebagai kanal biru dalam komposit RGB, Band 3 (Green, 543–578 nm) merefleksikan vegetasi hijau sehat seperti rumput laut *Kappaphycus alvarezii* dan berfungsi sebagai kanal hijau untuk pemetaan tutupan akuatik, Band 4 (Red, 650–680 nm) sensitif terhadap penyerapan klorofil dan menjadi kanal merah untuk membedakan biomassa dari substrat, sementara Band 8 (*Near Infrared*/NIR, 785–865 nm) tidak memiliki warna visible tetapi ditampilkan sebagai merah cerah dalam *false-color* untuk menonjolkan reflektansi tinggi vegetasi (20–40%) sehingga keempat band ini memungkinkan estimasi potensi produksi rumput laut dengan akurasi tinggi di perairan dangkal Takalar (Li et al., 2019).

BAB II

METODOLOGI PENELITIAN

2.1 Tempat dan Waktu

Penelitian ini dilaksanakan pada Bulan 22 November 2024 – 6 November 2025 di Kawasan Budidaya rumput laut di Kecamatan Sanrobone Kabupaten Takalar. Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Penginderaan Jauh Kelautan, Fakultas Ilmu Kelautan dan Perikanan Universitas Hasanuddin dan di lapangan. Proses kerja di Laboratorium mulai dengan tahapan pengolahan citra dengan mendownload citra terlebih dahulu, lalu dilakukan koreksi geometri, pemotongan, landmasking, klasifikasi, dan *class combine*. Sedangkan di lapangan meliputi penentuan titik koordinat, pengukuran suhu, salinitas, dan mengambil sampel air di setiap stasiun untuk diukur kekeruhannya di laboratorium serta pembagian kuisioner dengan petani rumput laut.



Gambar 1. Peta Lokasi Penelitian

2.2 Alat dan Bahan

2.2.1 Alat

Adapun alat yang akan digunakan dalam penelitian ini antara lain yaitu :

Tabel 1. Alat Penelitian

No	Alat	Fungsi
1	Laptop	Mengolah data citra yang diperoleh
2	Software Pengolahan Citra (ENVI)	Mengolah citra yang direkam oleh satelit
3	GPS	Menentukan titik koordinat
4	Alat Tulis Menulis	Mencatat data lapangan
5	Kamera	Mendokumentasikan kegiatan
6	Roll Meter	Mengukur panjang dan jarak antar ikatan pada bentangan rumput laut,
7	Termometer	Mengukur suhu perairan
8	<i>Turbidity Meter</i>	Mengukur kekeruhan perairan
9	<i>Refractometer</i>	Mengukur salinitas perairan

2.2.2 Bahan

Adapun bahan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi :

Tabel 2. Bahan Penelitian

No	Bahan	Fungsi
1	<i>Tissue</i>	Mengeringkan alat yang basah
2	Aquades	Mengalibrasi alat

2.3 Prosedur Kerja

Penelitian ini dilakukan di lapangan dan di laboratorium, dengan melalui beberapa tahap, sebagai berikut :

2.3.1 Identifikasi Lokasi Penelitian

Penentuan lokasi penelitian dilakukan berdasarkan pertimbangan keterwakilan Kawasan rumput laut, aksesibilitas lapangan, serta ketersediaan data referensi, sehingga titik-titik sampling mencerminkan variasi kondisi kedalaman, kekeruhan, dan pola budidaya di Kecamatan Sanrobone. Proses penentuan ini melibatkan survei awal melalui platform Google Earth untuk identifikasi lokasi potensial, diikuti oleh verifikasi langsung di lapangan guna mengonfirmasi kondisi aktual, serta konsultasi dengan informan lokal untuk memastikan bahwa lokasi sampling bersifat representatif dan dapat divalidasi secara empiris.

2.3.2 Perolehan Citra Sentinel-2 Level 2A

Citra Sentinel-2 diperoleh dengan mengunduh data melalui portal EO Browser di www.sentinel-hub.com. Citra yang diakses adalah Sentinel-2_L2A_(RAW) untuk periode akuisisi 27 Juli 2025. Data yang diunduh merupakan citra Level 2A, yang telah melalui pemrosesan untuk mengoreksi efek atmosfer, sehingga memberikan representasi yang lebih akurat tentang kondisi permukaan bumi. Meskipun citra ini sudah terbebas dari

kesalahan yang disebabkan oleh atmosfer, posisi citra di permukaan bumi masih mungkin mengalami pergeseran. Oleh karena itu, untuk memastikan akurasi spasial yang lebih tinggi, diperlukan langkah tambahan berupa koreksi geometrik.

2.3.3 Registrasi Citra

Setelah memperoleh citra pada portal EO Browser di www.sentinel-hub.com, dilakukan registrasi citra terlebih dahulu untuk mendapatkan titik koordinat lalu dilakukan pemotongan. Pemotongan citra dilakukan untuk membatasi daerah penelitian (*region of interest*) dengan tujuan agar pengolahan data yang lebih fokus dan lebih rinci pada daerah tersebut. Citra dipotong sesuai dengan batas wilayah perairan yaitu Kecamatan Sanrobone Kabupaten Takalar khususnya di Desa Lagaruda dan Ujung Baji.

2.3.4 Koreksi Geometrik

Koreksi geometrik adalah proses yang bertujuan untuk memperbaiki distorsi geometris yang mungkin timbul akibat faktor-faktor seperti sudut pengambilan sensor satelit, efek atmosfer, atau variasi topografi, sehingga citra dapat diintegrasikan secara akurat dengan data spasial lainnya dalam sistem koordinat geografis yang konsisten, memastikan akurasi posisional dan dimensi objek yang diukur untuk analisis yang andal dalam aplikasi pemetaan atau pemantauan lingkungan.

2.3.4 Land Masking

Land masking merupakan proses yang dilakukan untuk memisahkan wilayah darat dan laut pada citra satelit. *Land masking* bertujuan untuk menyingkirkan area daratan yang tidak relevan agar analisis dapat difokuskan pada wilayah perairan, di mana rumput laut tumbuh. Pada tahap ini, teknik *masking* diterapkan untuk menyeleksi hanya area perairan, sehingga *noise* atau gangguan dari daratan dapat dikurangi. Proses *masking* dilakukan melalui pemrograman atau software pengolahan citran dalam hal ini *envi 5.1* yang mampu membedakan karakteristik spektral antara daratan dan perairan. Tahap ini penting untuk mengoptimalkan kualitas hasil analisis dan menjamin bahwa data yang dianalisis adalah data relevan terkait ekosistem laut.

2.3.5 Training Area

Training Area adalah proses yang dilakukan untuk memberikan contoh piksel yang mewakili setiap kelas objek pada citra seperti rumput laut, perairan dan lainnya sehingga algoritma klasifikasi dapat mengenali ciri spektral khas dari masing-masing kelas tersebut. *Training Area* berfungsi sebagai data pembelajaran bagi metode klasifikasi terbimbing, khususnya *Maximum Likelihood* untuk menghitung probabilitas kemunculan setiap kelas berdasarkan nilai reflektansi piksel.

2.3.6 Klasifikasi Citra

Citra yang diperoleh akan diolah dan diklasifikasikan menjadi beberapa kategori sesuai dengan keberadaan dan distribusi rumput laut di wilayah studi. Proses klasifikasi ini melibatkan analisis citra satelit menggunakan metode pengolahan citra digital seperti klasifikasi berbasis *Pixel* atau klasifikasi berbasis objek yang disesuaikan dengan tujuan penelitian. Algoritma tertentu, seperti algoritma klasifikasi terbimbing (*supervised classification*), digunakan untuk memisahkan area yang ditutupi oleh rumput laut dari area lain seperti perairan terbuka atau daratan. Melalui proses ini, peta distribusi rumput laut dapat dibuat secara terperinci, memberikan gambaran yang jelas mengenai

persebaran dan luasan habitat rumput laut di kawasan penelitian.

2.3.7 Uji Ketelitian

Pengujian akurasi dilaksanakan guna menilai derajat ketepatan antara output klasifikasi dan kondisi nyata di lapangan. Rumus yang digunakan sebagai berikut (Hidayat & Wardana, 2021):

$$K = \frac{\text{Jumlah Sampel Hasil Interpretasi yang Benar}}{\text{Jumlah Sampel yang Diuji}} \times 100\%$$

Keterangan:

- K: nilai akurasi atau proporsi kesepakatan dalam bentuk persentase.
- Jumlah Sampel Hasil Interpretasi yang Benar: total jumlah sampel yang telah diidentifikasi atau diklasifikasikan dengan tepat sesuai dengan kategori atau kelas yang benar.
- Jumlah Sampel yang Diuji: total jumlah sampel yang digunakan dalam analisis atau pengujian.

Kappa coefficient adalah ukuran statistik yang digunakan untuk mengevaluasi akurasi klasifikasi dalam analisis citra, terutama dalam konteks pemetaan dan pengelolaan sumber daya. Koefisien ini mengukur tingkat kesepakatan antara klasifikasi yang dihasilkan dan data referensi (ground truth) dengan mempertimbangkan kemungkinan kesepakatan yang terjadi secara kebetulan. Nilai *kappa Coefficient* mengukur kesesuaian antara dua penilaian, dengan rentang dari -1 hingga 1 (Li, et., al., 2023). Adapun nilai-nilai *Kappa coefficient* sebagai berikut :

- -1, berarti tidak ada kesesuaian,
- 0.01-0.20, berarti kesesuaian sangat rendah
- 0.21-0.40, berarti kesesuaian rendah atau cukup
- 0.41-0.60, berate kesesuaian sedang
- 0.61-0.80, berarti kesesuaian substansial atau baik
- 0.81-1.00, berarti kesesuaian hamper sempurna

Adapun rumus kappa dapat dihitung sebagai berikut:

$$\kappa = \frac{N \sum_{i=1}^k n_{ii} - \sum_{i=1}^k (n_{i+} \times n_{+i})}{N^2 - \sum_{i=1}^k (n_{i+} \times n_{+i})}$$

Keterangan:

- κ = Koefisien Kappa, yaitu ukuran tingkat kesesuaian antara hasil klasifikasi citra dan data referensi dengan memperhitungkan peluang kesesuaian yang terjadi secara acak.
- N = Jumlah total piksel atau sampel yang digunakan dalam uji akurasi.
- n_{ii} = Jumlah piksel yang terklasifikasi benar pada kelas ke-i (nilai diagonal utama pada confusion matrix).

- $\sum n_{ii}$ = Jumlah seluruh piksel yang terklasifikasi benar (jumlah seluruh nilai diagonal confusion matrix).
- n_{i+} = Jumlah total piksel hasil klasifikasi pada kelas ke-i (jumlah baris ke-i pada confusion matrix).
- n_{+i} = Jumlah total piksel referensi pada kelas ke-i (jumlah kolom ke-i pada confusion matrix).
- $\sum(n_{i+} \times n_{+i})$ = Jumlah hasil perkalian antara total baris dan total kolom untuk setiap kelas, yang merepresentasikan peluang kesesuaian yang terjadi secara acak.

2.3.8 Class Combine

Class combine merupakan tahap pasca-klasifikasi yang bertujuan untuk menggabungkan kelas-kelas tematik hasil klasifikasi *supervised* (seperti *Maximum Likelihood*) yang memiliki kemiripan spektral atau luas *Pixel* kecil, sehingga menyederhanakan peta tutupan lahan dan mengurangi noise. Proses ini dilakukan setelah *preprocessing* citra (atmosferik dan geometrik koreksi) dan klasifikasi awal untuk mengidentifikasi area rumput laut di mana kelas minor seperti variasi vegetasi laut atau artefak digabungkan ke kelas utama rumput laut berdasarkan *threshold* luas atau nilai spektral menghasilkan peta yang lebih akurat untuk perhitungan luas budidaya, biomassa, dan potensi produksi tahunan dengan akurasi keseluruhan mencapai 90-100% setelah validasi lapangan.

2.3.9 Perhitungan Luasan

Perhitungan luas wilayah dapat dilaksanakan setelah penyelesaian tahap klasifikasi. Luas kawasan budidaya rumput laut ditetapkan sebagai (A) (Hidayat & Wardana, 2021):

$$A = (\text{Jumlah Sampel Kelas BRL}) \times (10 \times 10) \text{ m}^2$$

Keterangan:

- A: luas area budidaya rumput laut yang dihitung dalam satuan meter persegi (m^2).
- Jumlah *Pixel* Kelas BRL: total jumlah piksel yang terklasifikasi sebagai kelas Bentangan Rumput Laut dalam citra satelit.
- m^2 : ukuran area yang diwakili oleh satu piksel dalam citra, yang dalam hal ini adalah 100 m^2 (10 meter x 10 meter).

Kelas bentangan rumput laut (BRL) adalah tutupan lahan yang mengidentifikasi area budidaya rumput laut (*seaweed farming*), di mana piksel-piksel tersebut diklasifikasikan berdasarkan spektrum warna atau indeks vegetasi seperti nilai reflektansi tinggi pada pita inframerah dekat yang menunjukkan kehadiran rumput laut (Darmawan, 2022).

2.4 Pelaksanaan Penelitian

Survei Lapangan menjadi langkah kunci dalam verifikasi dan validasi data yang dihasilkan dari analisis citra satelit. Survei lapangan dilakukan dengan serangkaian prosedur untuk mengumpulkan data fisik di lokasi yang terpilih sebagai representasi dari keseluruhan area penelitian.

2.4.1 Penentuan Lokasi Stasiun

Penentuan Lokasi Stasiun yaitu pemilihan titik-titik pengamatan yang memiliki kawasan budidaya rumput laut. Titik-titik stasiun ini ditentukan berdasarkan analisis awal peta citra satelit serta kondisi lingkungan yang diidentifikasi memiliki keberadaan rumput laut. Lokasi-lokasi tersebut harus memenuhi kriteria yaitu adanya kegiatan budidaya rumput laut untuk memberikan data lapangan yang valid.

2.4.2 Pengukuran Titik Koordinat

Pengukuran ini menggunakan perangkat GPS (*Global Positioning System*) untuk mencatat koordinat yang akurat di setiap titik pengamatan. Data koordinat ini penting sebagai acuan dalam membandingkan hasil pengamatan lapangan dengan data citra satelit serta memetakan distribusi rumput laut secara presisi.

2.4.3 Pengumpulan Data Lapangan

1) Pembagian Kuisisioner

Pembagian kuisisioner sangat penting untuk memperoleh data primer terkait budidaya rumput laut di Kecamatan Sanrobone. Setiap stasiun akan diwakili oleh 10 orang responden dengan memberikan pertanyaan seputar budidaya rumput laut melalui metode secara langsung oleh peneliti kepada responden (Lampiran 1). Tujuan dari pendekatan ini adalah untuk memastikan bahwa data yang diperoleh dapat dipahami secara langsung oleh peneliti, sekaligus memperkuat analisis secara holistik dengan peta citra yang telah disusun sebelumnya.

2) Pengukuran Parameter Lingkungan

Pengukuran Parameter lingkungan sangat penting dalam budidaya rumput laut karena faktor-faktor lingkungan langsung memengaruhi pertumbuhan dan produktivitas rumput laut. Berikut ini beberapa Parameter yang diukur antara lain sebagai berikut:

a) Suhu

Pengukuran suhu perairan dilakukan menggunakan termometer sesuai dengan prosedur standar. Tahapan pengukuran diawali dengan memastikan termometer berada dalam kondisi bersih serta berfungsi dengan baik. Selanjutnya, dilakukan kalibrasi awal dengan menempatkan termometer pada suhu udara selama kurang lebih dua menit. Setelah itu, termometer diselupkan ke dalam air laut pada titik pengukuran yang telah ditentukan dan dibiarkan hingga menunjukkan nilai suhu yang stabil. Nilai suhu yang terbaca kemudian dicatat secara teliti dalam satuan derajat Celsius ($^{\circ}\text{C}$).

b) Salinitas

Pengukuran salinitas perairan dilakukan menggunakan refraktometer sesuai dengan standar operasional yang berlaku. Prosedur pengukuran diawali dengan menyiapkan refraktometer dalam kondisi bersih dan telah dikalibrasi. Kalibrasi dilakukan menggunakan air distilasi atau larutan standar apabila diperlukan untuk memastikan akurasi alat. Selanjutnya, sampel air laut diambil dan ditempatkan dalam wadah yang bersih, kemudian beberapa tetes sampel diteteskan pada prisma refraktometer. Prisma ditutup menggunakan penutupnya untuk memastikan tidak terdapat gelembung udara

yang dapat memengaruhi hasil pengukuran. Setelah menunggu beberapa saat hingga nilai yang ditunjukkan stabil, hasil pengukuran dibaca pada skala refraktometer dan dicatat dalam satuan part per thousand (ppt).

c) Kekeruhan

Pengukuran kekeruhan perairan dilakukan menggunakan turbidimeter sesuai dengan standar operasional prosedur (SOP) alat. Tahapan pengukuran diawali dengan menyiapkan turbidimeter dalam kondisi bersih dan siap digunakan, kemudian mengaktifkan alat dengan menekan tombol daya (power/on). Selanjutnya, dilakukan proses kalibrasi dengan mengisi kuvet menggunakan akuades, kemudian kuvet ditutup dengan penutup kaca (plunger) secara hati-hati tanpa meninggalkan gelembung udara. Kuvet tersebut ditempatkan ke dalam ruang pengukuran turbidimeter dan tombol *read* ditekan untuk melakukan kalibrasi. Setelah proses kalibrasi selesai, kuvet lain diisi dengan sampel air laut dan dipastikan tidak terdapat gelembung udara yang dapat memengaruhi hasil pengukuran. Kuvet berisi sampel kemudian dimasukkan ke dalam turbidimeter, dan tombol *read* ditekan untuk memperoleh nilai kekeruhan. Hasil pengukuran selanjutnya dicatat dalam satuan Nephelometric Turbidity Unit (NTU).

c) Pengukuran Panjang dan Jarak Antar Bentangan

Pengukuran panjang dan jarak antar bentangan rumput laut dilakukan menggunakan rol meter sesuai dengan prosedur pengukuran lapangan yang baku. Tahap awal pengukuran diawali dengan menyiapkan rol meter dalam kondisi baik serta memastikan seluruh bagian alat tidak terlipat, aus, atau mengalami kerusakan yang dapat memengaruhi ketelitian hasil pengukuran. Selanjutnya, ditentukan titik awal pengukuran yang jelas, bersifat tetap, dan mudah diidentifikasi di lapangan, kemudian diikuti dengan penentuan serta pemberian tanda pada titik akhir sebagai batas pengukuran jarak. Ujung rol meter ditempatkan tepat pada titik awal pengukuran, lalu rol ditarik secara perlahan hingga mencapai titik akhir dengan memastikan posisi rol tetap lurus, tegang, dan berada pada permukaan yang relatif datar guna meminimalkan kesalahan pembacaan. Nilai jarak kemudian dibaca pada skala rol meter di titik akhir pengukuran dengan memperhatikan kemungkinan perbedaan skala atau kebutuhan kalibrasi alat ukur. Hasil pengukuran selanjutnya dicatat secara sistematis dan konsisten dalam satuan meter. Untuk meningkatkan tingkat keakuratan (*accuracy*) dan konsistensi (*precision*) data, proses pengukuran dapat diulangi sesuai kebutuhan.

d) Perhitungan Luas 1 Bentangan dan Jumlah bentangan

Perhitungan luas per bentangan dilakukan untuk memperoleh total jumlah bentangan dalam wilayah budidaya. Luas area budidaya dihitung berdasarkan jumlah piksel yang termasuk dalam kelas Bentangan Rumput Laut (BRL). Data yang diperoleh dari survei lapangan mencakup luas satu bentangan serta total jumlah bentangan secara keseluruhan. Rumus untuk menghitung luas satu bentangan adalah sebagai berikut (Hidayat & Wardana, 2021):

$$\text{Luas 1 Bentangan} = \text{Rata-Rata Panjang} \times \text{Rata-Rata Jarak Antar Bentangan}$$

Keterangan:

- Luas 1 Bentangan: total luas dari satu bentangan rumput laut yang dihitung dalam satuan meter persegi (m²).

- Rata-Rata Panjang: panjang rata-rata dari bentangan rumput laut.
- Rata-Rata Jarak Antar Bentangan: jarak rata-rata antara bentangan-bentangan rumput laut yang ada.

$$\text{Jumlah Keseluruhan Bentangan} = \frac{\text{Luas Kawasan Budidaya (m}^2\text{)}}{\text{Luas 1 Bentangan}}$$

Keterangan:

- Jumlah Keseluruhan Bentangan: total jumlah bentangan rumput laut yang terdapat dalam suatu kawasan budidaya.
- Luas Kawasan Budidaya (m²): total luas area yang digunakan untuk budidaya rumput laut, diukur dalam satuan meter persegi (m²).
- Luas 1 Bentangan: luas dari satu bentangan rumput laut, yang telah dihitung sebelumnya.

e) Estimasi Produksi 1 siklus tanam

Perhitungan estimasi produksi dalam satu siklus tanam (panen) sangat penting untuk memahami potensi hasil budidaya rumput laut. Dengan mengetahui jumlah keseluruhan bentangan yang ada di area budidaya dan rata-rata produksi per bentangan, kita dapat menghitung total produksi yang diperoleh dengan menggunakan rumus sebagai berikut (Hidayat & Wardana, 2021):

Produksi 1 siklus tanam = Jumlah Keseluruhan Bentangan X Rata-Rata Produksi 1 Bentangan

Keterangan :

- Produksi 1 siklus tanam: total jumlah rumput laut yang diproduksi dalam satu siklus tanam atau panen.
- Jumlah Keseluruhan Bentangan: total jumlah bentangan rumput laut yang ada dalam kawasan budidaya.
- Rata-Rata Produksi 1 Bentangan: rata-rata jumlah rumput laut yang dihasilkan dari satu bentangan dalam satu siklus panen.

f) Estimasi Produksi Per Tahun

Estimasi produksi rumput laut per tahun di Kecamatan Sanrobone diperoleh dengan cara menggabungkan rata-rata produksi rumput laut berdasarkan analisis citra Sentinel-2 dikalikan dengan frekuensi jumlah panen per tahun, dan hasil rumput laut basah dikonversi menjadi setara dengan rumput laut yang dikeringkan (Hidayat & Wardana, 2021). Rumus untuk mendapatkan estimasi produksi per tahun yaitu :

Produksi 1 Tahun = Rata-Rata Produksi Rumput Laut x Frekuensi Jumlah Panen Per Tahun

Keterangan:

- Produksi 1 tahun adalah jumlah produksi yang dihasilkan selama 1 tahun.
- Rata-rata produksi rumput laut adalah jumlah rata-rata rumput laut yang dihasilkan dalam satu siklus panen.

- Frekuensi jumlah panen per tahun menunjukkan berapa kali panen dapat dilakukan dalam satu tahun.

2.5 Analisis Data

Analisis data dilakukan pada dua aspek, yaitu tahapan penelitian dan hasil penelitian. Analisis tahapan penelitian mencakup proses klasifikasi citra yang menghasilkan luas area budidaya rumput laut, termasuk daerah yang ditanami rumput laut. Sementara itu, analisis terhadap hasil penelitian bertujuan untuk memperoleh estimasi potensi produksi rumput laut dalam satu tahun pada 2 stasiun di Kecamatan Sanrobone.