

NILAI HAMBUR BALIK AKUSTIK TERHADAP TINGKAT TUTUPAN DAN TINGGI KANOPI YANG DI DOMINASI JENIS LAMUN *E. acoroides* DI PERAIRAN PULAU MANTANG

Intan Suraya, Asep Ma'mun, dan Aditya Hikmat Nugraha
Program Studi Ilmu Kelautan, Universitas Maritim Raja Ali Haji
Jl. Raya Dompok Telp. (0771) 4500089, Fax. (0771) 4500090 PO. BOX 155 Tanjungpinang 29111
E-mail: 2002010007@student.umrah.ac.id

ABSTRAK

Penelitian ini dilakukan di Perairan Pulau Mantang pada bulan Juli 2024 dengan tujuan untuk mengukur tutupan lamun, tinggi kanopi, serta menentukan nilai hambur balik akustik *surface backscattering strength* (SS) terhadap tingkat tutupan dan tinggi kanopi yang berbeda. Lamun merupakan ekosistem pesisir yang penting karena berperan sebagai habitat biota laut, penyerap karbon, dan penahan sedimen sehingga informasi terkait kondisi tutupan dan strukturnya sangat diperlukan untuk mendukung pengelolaan ekosistem pesisir. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah hidroakustik dengan instrumen *single beam echosounder* SIMRAD EK-15 berfrekuensi 200 kHz. Pengumpulan data diawali dengan survei lokasi yang memiliki hamparan lamun, kemudian dilakukan perekaman data akustik secara *purposive sampling* pada kondisi kapal diam dengan durasi 5 menit di setiap titik. Pengukuran tutupan lamun dilakukan menggunakan transek kuadran berukuran 50 × 50 cm yang dikategorikan menjadi tutupan jarang, sedang, dan padat. Selain itu, dokumentasi foto menggunakan kamera bawah air juga dilakukan untuk mendukung validasi hasil. Jumlah titik sampel yang diperoleh sebanyak 31 titik. Data akustik selanjutnya diolah dengan perangkat lunak ESP3 untuk mendapatkan nilai *volume backscattering strength* (Sv) dan *surface backscattering strength* (SS). Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai SS terhadap tutupan lamun yang berbeda berkisar antara -40 dB hingga -20 dB. Analisis regresi linear sederhana antara nilai tutupan lamun dan SS menghasilkan persamaan $y = 7,4728(\ln(x)) - 62,135$ dengan nilai koefisien determinasi (R^2) sebesar 62,22%. Hal ini menunjukkan adanya hubungan yang cukup kuat antara tingkat tutupan lamun dengan nilai hambur balik akustik. Sebaliknya, uji regresi linear sederhana antara tinggi kanopi dan SS memperlihatkan hubungan yang sangat lemah dengan nilai $R^2 = 0,0061$ sehingga dapat disimpulkan bahwa tinggi kanopi tidak berpengaruh nyata terhadap variasi nilai hambur balik. Penelitian ini menegaskan bahwa parameter tutupan lamun memiliki pengaruh signifikan terhadap respon akustik, sedangkan tinggi kanopi tidak memberikan kontribusi yang berarti. Temuan ini dapat menjadi acuan bagi penelitian lanjutan dalam pemanfaatan teknologi akustik untuk pemetaan lamun secara non-destruktif dan efisien di wilayah pesisir.

Kata kunci: ekosistem pesisir; hidroakustik; kerapatan lamun; perairan pulau mantang; reflektifitas akustik

ACOUSTIC BACKSCATTER VALUE ON THE SEAGRASS COVER LEVEL AND CANOPY HEIGHT DOMINATED BY *E. ACOROIDES* IN MANTANG ISLAND WATERS

ABSTRACT

This study was carried out in the waters of Mantang Island in July 2024 with the aim of measuring seagrass cover, canopy height, and determining the acoustic backscattering response, namely the *surface backscattering strength* (SS), under different levels of seagrass cover and canopy height. Seagrass meadows are an important coastal ecosystem, functioning as habitat for marine organisms, a carbon sink, and a natural sediment stabilizer. Therefore, information on their spatial distribution and structural characteristics is essential for supporting sustainable coastal ecosystem management. The method applied in this study was a hydroacoustic survey using a *single-beam echosounder* SIMRAD EK-15 operating at a frequency of 200 kHz. Data collection began with site surveys in areas containing seagrass meadows, followed by *purposive sampling* acoustic recordings with the vessel kept stationary for five minutes at each sampling point. Seagrass cover was measured using a 50 × 50 cm quadrat transect and classified into sparse, medium, and dense categories. Underwater photographs were also taken to validate the field observations. A total of 31 sampling stations were established. Acoustic data were processed using ESP3 software to extract values of *volume backscattering strength* (Sv) and *surface backscattering strength* (SS). The results showed that SS values across different levels of seagrass cover ranged between -40 dB and -20 dB. A simple linear regression analysis between seagrass cover and SS produced the equation $y = 7.4728(\ln(x)) - 62.135$ with a coefficient of determination (R^2) of 62.22%, indicating a relatively strong relationship between seagrass cover and acoustic backscattering strength. In contrast, regression analysis between canopy height and SS demonstrated a very weak relationship, with an R^2 value of 0.0061, suggesting that canopy height has no significant influence on backscattering variation. These findings highlight that seagrass cover plays a significant role in influencing acoustic backscatter, while canopy height does not contribute

substantially. The outcomes of this research provide a valuable reference for future studies and support the application of hydroacoustic technology as an effective and non-destructive tool for seagrass mapping in coastal waters.

Keywords: *seagrass ecosystem; hydroacoustics: seagrass density; mantang island waters; acoustic reflectivity*

PENDAHULUAN

Lamun (*seagrass*) merupakan tumbuhan tingkat tinggi yang hidup di perairan laut dangkal dan terendam pasang surut. Bentang lamun dapat berupa monospesifik maupun komunitas campuran, dengan tutupan yang bervariasi mulai dari jarang hingga sangat padat. Ekosistem ini esensial secara ekologis (menyediakan habitat dan penyangga struktur pantai), biologis (menopang keanekaragaman hayati laut), dan ekonomis (mendukung sumber daya ikan dan pariwisata). Secara global, luas ekosistem lamun telah menurun sekitar 29% sejak tahun 1879, dengan tingkat penurunan yang semakin cepat dari sekitar 0,9% per tahun sebelum tahun 1940 menjadi sekitar 7% per tahun sejak dekade 1990-an. Hasil kajian ekologi pesisir menunjukkan bahwa kawasan Asia Tenggara mengalami penurunan luas tutupan lamun sekitar 5% per tahun pada periode 2000–2020, disebabkan oleh tekanan antropogenik seperti pembangunan pesisir yang tidak terkendali, kegiatan pariwisata, dan praktik perikanan destruktif (Waycott et al., 2009; Yaakub et al., 2014; Unsworth et al., 2018). Di Indonesia sendiri, sejak era 1960-an, tutupan lamun diperkirakan menyusut antara 30%–40%, yang berakibat pada hilangnya karbon biru (*blue carbon*) dalam jumlah besar hingga lebih dari dua kali rata-rata global. Berbagai aktifitas manusia yang berkontribusi pada kerusakan ekosistem lamun, salah satu nya penyebab utama adalah reklamasi dan pembangunan wilayah pesisir, penangkapan ikan yang merusak seperti penggunaan jaring pukat dasar dan bom ikan, dapat menyebabkan kerusakan fisik langsung pada akar dan daun lamun. Selain aktivitas manusia, terdapat berbagai faktor lain yang berkontribusi terhadap kerusakan ekosistem lamun. Salah satunya adalah pencemaran perairan, seperti limbah industri, pertanian, dan domestik, yang menyebabkan eutrofikasi dan menurunkan kualitas habitat lamun (Orth et al., 2006). Pencemaran dan peningkatan beban nutrisi seperti nitrogen dan fosfor dari aktivitas pertanian, pemukiman, atau akuakultur menyebabkan eutrofikasi. Hal ini merangsang pertumbuhan alga dan epifit yang memblokir penetrasi cahaya bagi lamun, serta menciptakan kondisi hipoksia yang kritis untuk pertumbuhan lamun.

Ekosistem lamun berperan penting dalam menjaga keseimbangan ekosistem pesisir, baik sebagai penyerap karbon, penahan erosi, maupun habitat bagi biota laut. Namun, sebagian besar penelitian lebih difokuskan pada kawasan intertidal, sedangkan informasi tentang lamun di daerah subtidal masih sangat terbatas. Padahal, lamun subtidal yang selalu terendam air memiliki peranan ekologis yang signifikan dalam produktivitas primer dan penyimpanan karbon biru, tetapi sulit diamati secara langsung akibat keterbatasan cahaya, kondisi perairan yang sering keruh, serta kebutuhan akan peralatan survei khusus seperti SCUBA maupun kamera bawah air (Unsworth et al., 2011; Smaradottir et al., 2022). Minimnya data tersebut menghambat pemahaman menyeluruh terhadap dinamika ekosistem lamun di wilayah pesisir. Salah satu pendekatan yang dapat digunakan untuk mengatasi kendala ini adalah metode akustik, khususnya dengan memanfaatkan parameter *surface backscattering strength* (SS), yang memungkinkan pendeteksian dan analisis kondisi lamun tanpa harus melakukan pengamatan langsung. Dengan demikian, kajian mengenai hubungan antara nilai hambur balik akustik dengan tutupan lamun dan tinggi kanopi di daerah subtidal menjadi penting untuk mendukung upaya pemantauan dan pengelolaan ekosistem lamun secara lebih efektif.

Metode konvensional seperti transek kuadrat atau penyelaman langsung memang sering digunakan, tetapi memiliki sejumlah kelemahan, antara lain keterbatasan cakupan area, ketergantungan pada kondisi visibilitas perairan, serta risiko menimbulkan gangguan terhadap vegetasi lamun. Untuk mengatasi hal tersebut, diperlukan pendekatan berbasis teknologi yang mampu memberikan data yang lebih akurat dan efisien. Salah satu metode yang kini banyak dikembangkan adalah hidroakustik. Metode ini terbukti mampu memetakan hamparan lamun pada area yang luas dengan waktu relatif singkat, tetap efektif meskipun perairan keruh atau minim cahaya, serta bersifat non-destruktif (Komatsu et al., 2003; Moura et al., 2019; Kalogeropoulou et al., 2020). Beberapa penelitian menunjukkan tingkat akurasi yang cukup tinggi, misalnya *single beam echosounder* yang mampu membedakan area berlamun dan tidak berlamun dengan akurasi 74–92% (Asriyana et al., 2020), serta klasifikasi berbasis algoritma *Random Forest* yang menghasilkan peta habitat lamun dengan akurasi 79,33% (Hidayat et al., 2021). Meskipun demikian, kesalahan klasifikasi masih dapat terjadi pada

habitat kompleks dengan tingkat error hingga 28%–50% (Brown et al., 2015) sehingga validasi lapangan tetap diperlukan. Dengan berbagai keunggulan tersebut, metode hidroakustik menjadi penting untuk dikembangkan dalam pemantauan ekosistem lamun, khususnya di wilayah subtidal yang sulit diamati secara langsung, serta dapat mendukung upaya konservasi dan pengelolaan berkelanjutan.

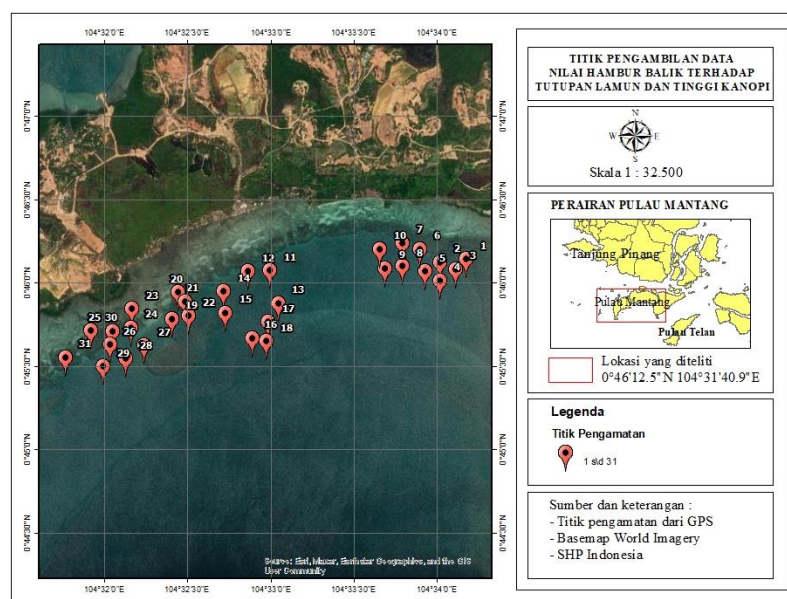
Menurut Komatsu et al. (2003), metode pemantauan lamun dipilih menjadi dua kategori utama pertama, metode langsung berupa observasi visual atau visual sensus yang dianggap kurang efisien karena memerlukan waktu dan tenaga besar serta hanya meliputi area yang terbatas; kedua, metode tidak langsung menggunakan alat penginderaan jauh seperti optik dan hidroakustik, dengan hidroakustik (*echosounder*, *side scan sonar*) menawarkan keuntungan signifikan dalam pemetaan ekologis karena tidak terbatas oleh kondisi air keruh dan memiliki cakupan wilayah yang lebih luas. Metode hidroakustik dapat dipilih sebagai metode modern yang mana memiliki kelebihan seperti cakupan yang cukup luas, efisien waktu, dan tidak mengganggu atau merusak habitat lamun tersebut dan dapat dilakukan penelitian jangka Panjang. Penelitian oleh Sabol et al. (2002) dan diuji kembali pada lingkungan danau dangkal oleh Sabol et al. (2007) menunjukkan bahwa penggunaan *echosounder* digital (420 kHz) dapat memberikan estimasi tutupan dan tinggi vegetasi air dengan tinggi korelasi ($R^2 = 0,848$) jika dibandingkan dengan observasi visual berbasis video bawah air. Selain itu, pada studi pemetaan lamun di perairan Bintan, *single beam echosounder* berhasil memisahkan area terbuka dan area lamun kontinu dengan akurasi hingga 92 % dan 74 %, dan studi lainnya melaporkan akurasi klasifikasi hingga 87%–90%. Dengan demikian, meskipun penelitian ini hanya menggunakan satu referensi utama (Komatsu et al., 2003), argumen tentang keunggulan metode hidroakustik sudah didukung oleh bukti empiris relevan dari studi lain.

Pulau Mantang di Kabupaten Bintan, Kepulauan Riau, memiliki perairan yang mendukung pertumbuhan lamun, baik di zona intertidal maupun subtidal. Namun, ekosistem ini kurang mendapat perhatian karena rendahnya kesadaran masyarakat terhadap peran lamun dalam menjaga keseimbangan lingkungan. Masyarakat lebih fokus pada kegiatan perikanan jangka pendek, sementara ancaman seperti penggunaan alat tangkap merusak dan pencemaran limbah semakin memperburuk kondisi lamun. Pulau Mantang menjadi lokasi strategis untuk penelitian dan edukasi tentang pentingnya lamun. Dengan pengelolaan yang lebih baik, ekosistem lamun dapat terjaga dan memberikan manfaat jangka panjang bagi lingkungan serta masyarakat setempat.

METODE

Waktu dan Tempat

Penelitian ini dilakukan pada tanggal 07-09 Juli 2024 yang berlokasi di Pulau Mantang, Kabupaten Bintan, Kepulauan Riau. Analisis dan Pengolahan data dilaksanakan di *Laboratorium Oceanography, Computation dan Modelling* (OCM) Fakultas Ilmu Kelautan dan Perikanan, Universitas Maritim Raja Ali Haji. Peta lokasi juga disajikan pada Gambar 1.



Gambar 1 Peta Lokasi Penelitian

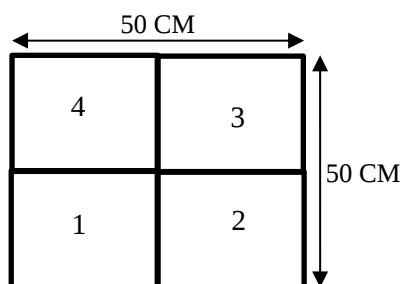
Alat yang digunakan

Penelitian ini menggunakan *single beam echosounder* SIMRAD EK-15 dengan frekuensi 200 kHz untuk memperoleh data akustik lamun. dan jangkauan pengukuran tipikal hingga 200 meter. Sistem transmisinya dapat dioperasikan secara simultan maupun berurutan dengan laju *ping* (*ping rate*) mencapai 40 Hz, serta durasi pulsa antara 80 hingga 1240 mikrodetik. Unit *transceiver* memiliki kecepatan data sebesar 1,6 Mbps dengan daya keluaran 45 W, dan dapat digunakan hingga 15 unit secara bersamaan. Penentuan koordinat lokasi penelitian dilakukan menggunakan GPS Garmin dengan tingkat akurasi horizontal sekitar $\pm 3\text{--}5$ m, bahkan dapat mencapai kurang dari 3 m apabila sistem WAAS diaktifkan. Untuk menghitung luasan tutupan lamun di lapangan digunakan transek kuadran berukuran 50×50 cm yang memiliki luas area $0,25 \text{ m}^2$ dengan ketelitian $\pm 0,01 \text{ m}^2$ sehingga dapat menggambarkan tutupan lamun pada skala kecil secara representatif. Dalam tahap pemetaan, penelitian ini memanfaatkan perangkat lunak ArcGIS yang mampu menampilkan data spasial dengan resolusi hingga sekitar 0,000000001 derajat atau setara dengan $\pm 0,11$ meter di permukaan bumi (Esri, n.d.) Data akustik yang diperoleh dari *echosounder* kemudian diolah menggunakan *software ESP3* yang mampu menampilkan hasil rekaman akustik dengan ketelitian hingga skala sentimeter sesuai dengan pengaturan frekuensi dan *ping rate* alat. Untuk mengukur parameter lingkungan, digunakan CTD tipe SST-115M (*Conductivity, Temperature, Depth sensor*) yang memiliki akurasi suhu $\pm 0,005$ °C dengan resolusi 0,0001 °C, akurasi salinitas sekitar $\pm 0,01$ psu, serta akurasi kedalaman $\pm 0,1\%$ dari *full scale* sehingga dapat memberikan data fisik perairan secara detail. Sedangkan untuk pengukuran pH dengan mengambil sampel air dan mengukur menggunakan pH meter.

Pengaturan instrumen SIMRAD EK-15 pada penelitian ini menggunakan transduser tipe *single beam* dengan frekuensi kerja 200 kHz. Alat ini dioperasikan dengan *ping rate* lebih dari 40 Hz, serta menggunakan durasi pulsa 80 μs dengan panjang pulsa 0,16 ms. Lebar *beam* yang digunakan adalah 26° dengan daya keluaran (*output power*) sebesar 45 W sehingga mampu merekam sinyal akustik dengan baik pada kondisi perairan penelitian.

Prosedur Penelitian

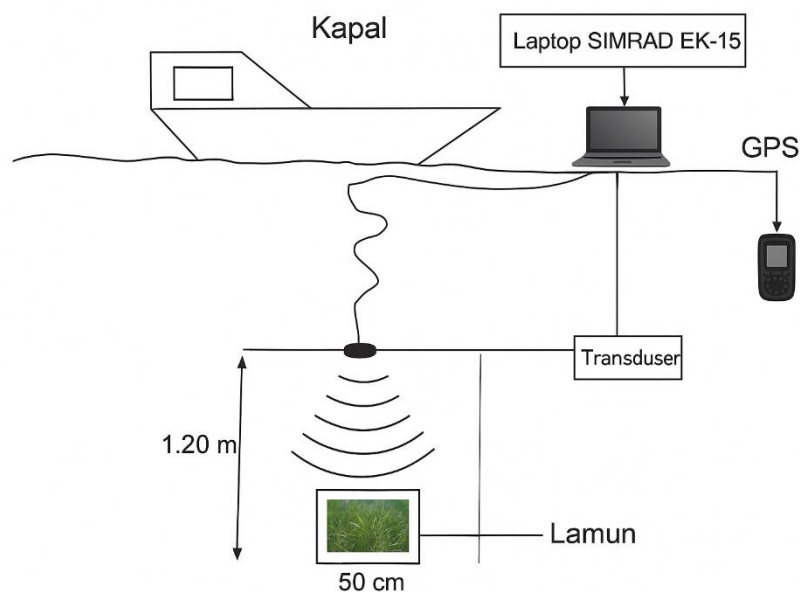
Metode survei melalui pendekatan kuantitatif dan deskriptif. Pengumpulan data hambur balik menggunakan instrument akustik *single beam echosounder* SIMRAD EK-15. Pengumpulan data tutupan lamun dilakukan dengan metode *purposive sampling*, yaitu dengan cara menyelam dan menempatkan kuadrat pada lokasi yang mewakili kondisi lamun. Dengan metode ini, pengambilan data difokuskan pada titik-titik yang secara visual menunjukkan variasi kerapatan lamun sehingga mampu menggambarkan kondisi ekosistem sesuai dengan tujuan penelitian. Pengumpulan data tutupan lamun dilakukan menggunakan kuadrat berukuran 50×50 cm yang dibagi menjadi empat kotak. Kuadrat tersebut diletakkan secara *purposive* pada area yang mewakili kondisi lamun. Estimasi tutupan lamun dihitung berdasarkan persentase luas sub-kotak yang tertutupi oleh daun lamun, kemudian nilai rata-rata dari keempat subkotak digunakan sebagai nilai tutupan pada satu kuadrat. Kategori tutupan ditentukan berdasarkan klasifikasi persentase, yaitu jarang ($<25\%$), sedang ($25\text{--}50\%$), dan padat ($>50\%$) (English et al., 1997; Komatsu et al., 2003). Pengukuran tinggi kanopi lamun dilakukan pada individu yang paling mendominasi dalam kuadrat. Caranya adalah dengan menggunakan mistar ukur, di mana tinggi diukur dari pangkal daun di substrat hingga ujung daun terpanjang. Pengukuran dilakukan pada 5–10 tegakan lamun dalam setiap kuadrat, kemudian dicatat nilai rata-ratanya sebagai tinggi kanopi dominan (Duarte & Kirkman, 2001; Short & Coles, 2001).



Gambar 2 Teknik pengambilan data

Teknik Pengumpulan Data

Pengumpulan data akustik menggunakan *single beam echosounder* SIMRAD EK-15 dengan memiliki frekuensi 200 kHz. Pengoperasian *single beam echosounder* SIMRAD EK-15 dengan frekuensi 200 kHz dalam penelitian ini menggunakan *power supply accu* sebagai sumber listrik. Penggunaan *accu* dipilih karena lebih praktis, portabel, dan mampu menyediakan tegangan yang stabil sesuai kebutuhan alat saat kegiatan dilakukan di perairan terbuka, di mana pasokan listrik lain tidak tersedia. Perbedaan sumber daya, baik menggunakan *accu*, genset, maupun listrik PLN, tidak memengaruhi kualitas maupun hasil perekaman data akustik selama tegangan dan arus yang disuplai sesuai dengan spesifikasi alat. Perbedaannya hanya terletak pada aspek teknis operasional, misalnya *accu* lebih mudah digunakan di lapangan meskipun kapasitas dayanya terbatas, genset memiliki daya lebih besar tetapi bising dan kurang praktis, sedangkan listrik PLN relatif stabil namun tidak dapat diakses di lokasi penelitian laut. Transduser pada alat akustik dirakit pada kerangka besi menggunakan kabel *ties* dan lakban untuk meminimalisir terjadinya *noise*. Langkah selanjutnya melakukan kalibrasi. Kalibrasi berfungsi untuk memastikan keakuratan pengukuran secara tetap dengan instrument yang lainnya serta menjamin jika semua konfigurasi sistemnya berfungsi dengan baik. Proses kalibrasi akustik dalam penelitian ini dilakukan menggunakan bola pejal berdiameter 35 mm yang diletakkan pada jalur pancaran transduser sebelum alat diturunkan ke dalam perairan. Perekaman dilakukan untuk memperoleh nilai *Target Strength* (TS) acuan sebesar -40 dB dengan durasi perekaman sekitar ± 4 menit. Metode ini merujuk pada standar kalibrasi akustik internasional yang dianjurkan oleh Foote et al. (1987) dalam *ICES Cooperative Research Report No. 144* serta Manual SIMRAD EK-15, di mana penggunaan bola standar dengan ukuran dan bahan tertentu bertujuan untuk memverifikasi akurasi pengukuran *echosounder*. Dengan demikian, penggunaan bola standar 35 mm dan pencatatan TS -40 dB menjadi acuan penting agar data akustik yang diperoleh dapat terstandar dan layak untuk dianalisis lebih lanjut.



Gambar 3 Pengambilan data akustik

Sebelum melakukan pengambilan data, peralatan akustik yang sudah terpasang dikalibrasi terlebih dahulu. Kalibrasi dilakukan dengan menggunakan bola pejal (*sphere ball*) dengan diameter 35 mm yang ditempatkan pada transduser. Kalibrasi dilakukan dengan teknik menurunkan *sphere ball* ke dalam perairan lalu dilakukan perekaman target *strength* dari *sphere ball*. Hasil yang didapat disesuaikan dengan nilai baku mutu TS (-40 dB). Kesesuaian antara nilai daya pantul akustik yang diperoleh dari *sphere ball* dengan nilai target *strength* (TS) *sphere ball* acuan menunjukkan bahwa instrumen Simrad EK15 telah terkalibrasi dengan baik.

Dari Gambar 3 dapat dilihat bahwa sistem pengambilan data adalah dimana transduser akan diletakkan ke dalam air yang akan merekam objek lamun, sedangkan laptop dan juga gps berada di atas kapal. Jadi, Jarak antara transduser dengan area kuadrat lamun diatur sejauh 1,20 m. Jarak ini dipilih agar pancaran gelombang akustik dapat mencakup seluruh area kuadrat 50×50 cm dan meminimalkan pengaruh pantulan dari dasar perairan sehingga data hambur balik yang diperoleh lebih representatif

terhadap tutupan lamun yang diamati. Transduser *single beam echosounder* dioperasikan dengan kondisi kapal dalam keadaan diam dan berada pada posisi yang statis pada titik lokasi yang telah ditentukan sebagai objek penelitian. Transduser pada bagian sisi kapal dengan kedalaman satu meter dari permukaan laut. Transduser diletakkan tegak lurus terhadap permukaan sehingga nantinya nilai hambur balik gelombangnya dapat memancar secara vertikal. Perekaman akan dilakukan berdasarkan titik-titik transek yang telah dilakukan. Selain itu juga dilakukan pengambilan data kualitas perairan diantaranya salinitas, suhu, pH. Dimana pengukuran suhu dan salinitas didapatkan menggunakan CTD (*Conductive Temperature Depth*) dengan menurunkan kedasar perairan secara perlahan, maka CTD akan otomatis merekam data dan data yang didapatkan akan diekstrak. Pengambilan data tutupan lamun dilakukan dengan menggunakan transek kuadran yang berukuran 50 x 50 cm. Persentase menjadikan dasar untuk pemetaan kondisi padang lamun. Penutupan lamun dengan cara menjumlah penutupan lamun setiap kuadran. Persentase tutupan lamun digunakan untuk menganalisis tutupan lamun dan digunakan sebagai dasar untuk menggambarkan kondisi lamun tersebut.

Analisis Data

Pengolahan data tutupan lamun

Cara menghitung tutupan lamun dalam perplot adalah menjumlah nilai tutupan lamun pada setiap kotak kecil dalam kuadran dan membaginya dengan jumlah kotak kecil, yaitu 4 (empat), sedangkan untuk mengukur tinggi kanopi yang diukur tinggi lamun yang mendominasi dialam satu plot kuadran 50 x 50 cm. Ilustrasi perhitungan dengan menggunakan *Microsoft Excel* dapat dilihat rumus dibawah ini.

$$\text{Tutupan Lamun\%} = \frac{\text{Jumlah Tutupan Lamun (4)}}{4}$$

Tingkat tutupan lamun menurut (Rahmawati et al., 2014) 0-25% dikatakan jarang, 26-50% digolongkan sedang, 51-75% digolongkan padat, dan 76-100% digolongkan sangat padat. Pada penelitian ini banyak titik yang diperoleh sebanyak 31 titik dengan kategori tutupan jarang, sedang, dan padat.

Pengolahan data akustik

Data hambur balik akustik lamun diproses menggunakan *Software* ESP3 untuk menghasilkan nilai TS, yang memerlukan proses digitasi *on-screen* yaitu konversi data (Akmal et al., 2017). Nilai (TS) yang telah diperoleh digunakan untuk mendapatkan nilai *volume backscattering strength* (SV) dan *surface backscattering* (SS) berdasarkan persamaan yang menghubungkan Sv dan Ss (Manik et al., 2006) sebagaimana ditunjukkan dalam persamaan berikut:

$$\begin{aligned} S_v &= 10^{sv}/10 \\ s\bar{v} &= \sum sv/n \\ S\bar{V} &= 10 \log s\bar{v} \text{ (dB)} \end{aligned}$$

Keterangan :

n = jumlah sampel

Sv = *Scattering Volume linear* (dB)

s $\bar{v}$ = *Scattering Volume linear* rata-rata (dB)

S $\bar{V}$ = *Scattering Volume* rata-rata(dB)

Setelah mendapatkan nilai SV, maka nilai SV akan digunakan untuk mendapatkan nilai SS dengan persamaan berikut:

$$S_v = \frac{S_s \Phi}{\frac{c\tau}{\Psi^2}}$$

Keterangan :

Φ = *Instantaneous equivalent beam angle for surfacescattering* (sr)

Ψ = *Equivalent beam angle for volume scattering* (sr)

c = Kecepatan suara (m/s)

τ = *Pulse length* (s)

Pada puncak *echo* dasar perairan, nilai integrasi $\Psi \approx \Phi$ sehingga persamaan diatas menjadi (Manik et al., 2016):

$$S_s = \frac{c\tau}{2} S_V$$

Berdasarkan persamaan tersebut maka diperoleh nilai SS menggunakan persamaan berikut:

$$SS \text{ [dB]} = 10 \log S_s$$

Keterangan :

SS = *Surface backscattering strength* (dB)

Ss = *Surface backscattering coefficient (in linier)* (dB)

Sv = *Volume backscattering coefficient (in linier)* (dB)

c = Kecepatan suara (m/s)

τ = *Pulse length* (s)

Pada penelitian ini, analisis hubungan *surface backscattering strength* dilakukan terhadap tutupan lamun dan tinggi kanopi. Variabel independen sebagai tutupan lamun dan variabel dependen sebagai *surface backscattering strength* (SS). Analisis regresi linier sederhana dihitung dengan menggunakan rumus (Mulyono, 2018):

$$Y = \alpha + \beta x$$

Adapun untuk melihat hubungan nilai *surface backscattering strength* terhadap tutupan lamun melalui persamaan regresi logaritmit model dengan persamaan (Multo & Olguner., 2023).

$$Y = b \times \ln(X) - \alpha$$

Keterangan :

X = tutupan lamun (*variable dependent*)

Y = nilai hambur balik (*variable independent*)

α = *intercept* (nilai Y saat X = 0)

β = *Slope atau koefisien regresi* (menunjukkan besarnya perubahan Y)

Uji Anova dan Uji F

Kriteria signifikansi ditentukan berdasarkan nilai *sig*. Jika nilai $sig \leq 0,05$, maka hasilnya dianggap signifikan, artinya terdapat pengaruh yang nyata atau hubungan yang signifikan antara variabel yang diuji. Sebaliknya, jika *p-value* > 0,05, maka hasilnya tidak signifikan, yang berarti tidak terdapat pengaruh yang nyata antara variabel. Selain itu, nilai *F-hitung* dan *F-tabel* dapat digunakan untuk menguji signifikansi pengaruh. Apabila *F-hitung* > *F-tabel*, maka hasilnya signifikan dan variabel bebas dianggap berpengaruh terhadap variabel terikat. Namun, jika *F-hitung* $\leq$ *F-tabel*, maka hasilnya tidak signifikan. Uji F digunakan untuk menguji apakah variabel independen (tutupan lamun) berpengaruh terhadap variabel dependen (nilai Sv atau *backscatter strength*) Ghazali (2016).

HASIL DAN PEMBAHASAN

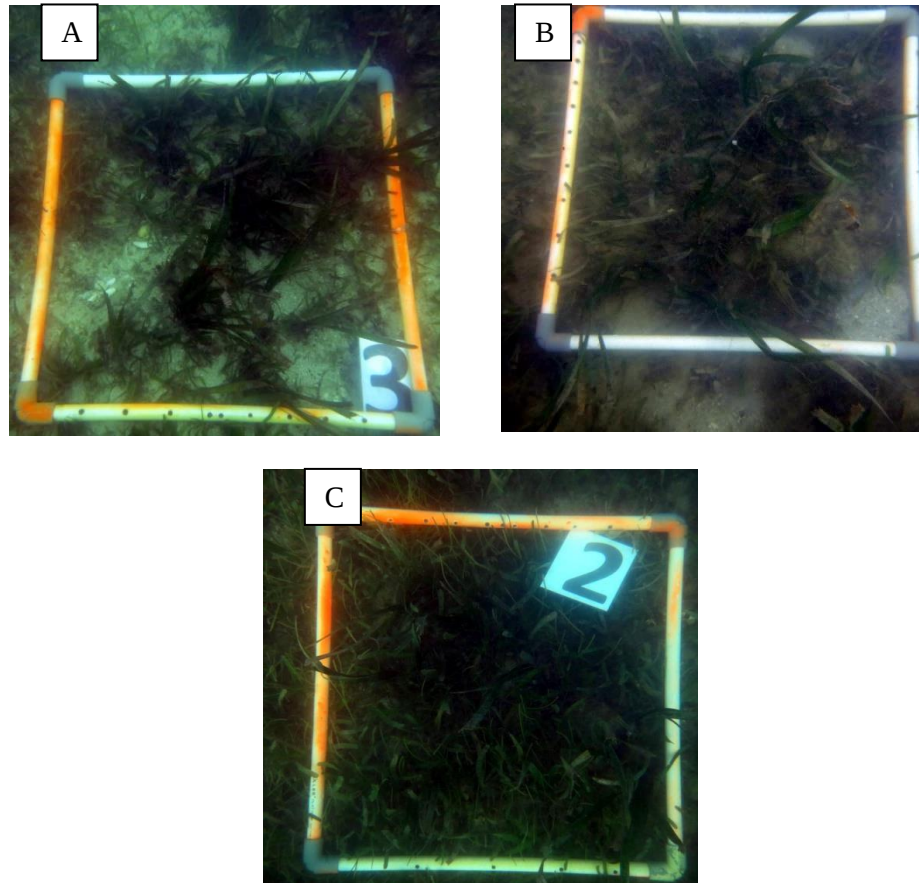
Kondisi Lingkungan Perairan

Parameter yang diamati dalam pengamatan kualitas perairan meliputi suhu, salinitas, dan pH. Hasil pengamatan terhadap parameter kualitas lingkungan dimana Menurut Nybakken (1992) kisaran suhu optimal bagi pertumbuhan lamun mencapai 28-30° C. Dari hasil pengukuran diperoleh suhu sebesar 28,10°C, salinitas di lokasi tersebut sebesar 29‰. Menurut Dahuri (2001), Lamun beradaptasi terhadap kadar salinitas air laut optimum sebesar 35‰. Pada penelitian ini menunjukkan bahwa salinitas yang didapat pada setiap stasiun hampir rata-rata mencapai 35‰. Penurunan salinitas akan menurunkan kemampuan fotosintesis spesies ekosistem lamun. Salah satu faktor yang menyebabkan kerusakan lamun adalah meningkatnya salinitas yang diakibatkan oleh kurangnya suplai air tawar dari sungai. pH perairan yaitu terlihat tidak terlalu bervariasi, tingkat keasaman yang di peroleh berkisar 6,81 – 8,06 dan

merupakan kisaran yang masih normal untuk mendukung kehidupan organisme dan pertumbuhan lamun.

Analisis data tutupan lamun dan tinggi kanopi

Dapat dilihat pada Gambar 4 yang dimana hasil dari pengambilan tutupan.

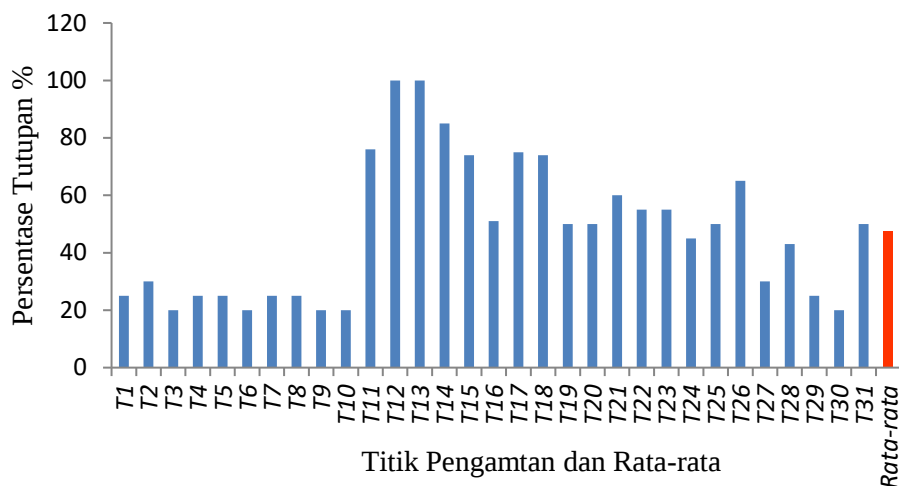


Gambar 4 Kategori tutupan lamun: A (Jarang), B (Sedang), C (Padat)

Hasil pengamatan menunjukkan bahwa kondisi tutupan lamun di lokasi penelitian terbagi menjadi tiga kategori, yaitu jarang, sedang, dan padat. Tutupan lamun kategori jarang dicirikan dengan sebaran rumpun lamun yang tidak merata, jumlah tegakan per satuan luas rendah, serta banyak ruang terbuka atau substrat dasar yang terlihat jelas. Pada kategori sedang, kerapatan lamun mulai lebih merata dengan jumlah tegakan yang cukup rapat sehingga substrat dasar masih terlihat namun sudah tertutup sebagian besar oleh kanopi lamun. Sementara itu, kategori padat menggambarkan kondisi lamun dengan tingkat kerapatan tinggi dan tutupan kanopi yang hampir menutupi seluruh substrat dasar. Pada kondisi ini, daun-daun lamun saling tumpang tindih dan membentuk hamparan padang lamun yang lebih homogen dan dominan.

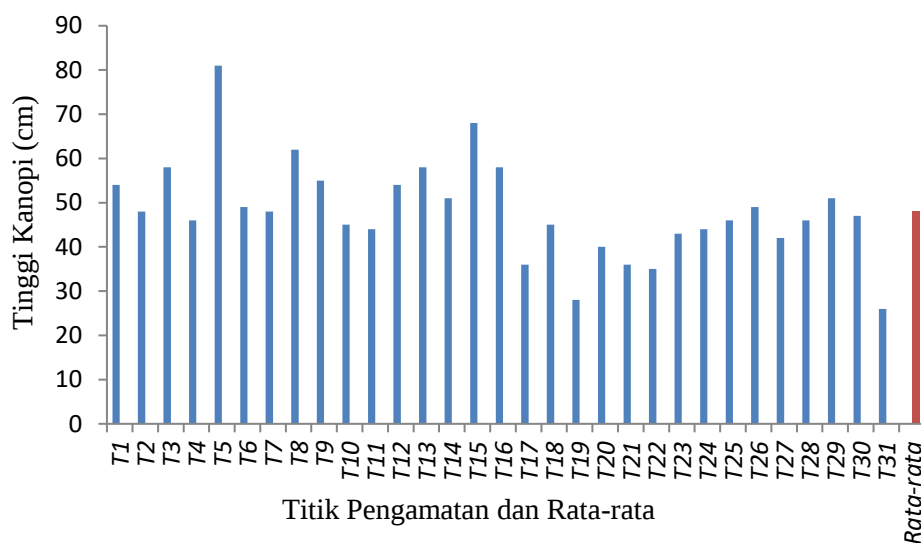
Hasil pengamatan tutupan lamun pada kuadran menunjukkan variasi tingkat kerapatan yang berbeda. Pada kuadran pertama (A), tutupan lamun terlihat masih rendah, dengan sebaran rumpun yang jarang dan sebagian besar substrat dasar masih tampak jelas. Estimasi tutupan berada pada kisaran 20%–30% sehingga dapat digolongkan ke dalam kategori jarang. Pada kuadran kedua (B) tutupan lamun berada pada kondisi sedang, dengan rumpun lamun yang cukup merata tetapi masih memperlihatkan sebagian substrat dasar yang kosong. Estimasi persentasenya berada pada kisaran 30%–40% sehingga dikategorikan sebagai sedang. Pada kuadran ketiga (C) tutupan lamun terlihat cukup rapat dengan daun lamun menutupi sebagian besar area kuadran, meskipun masih terdapat sedikit ruang terbuka. Persentase tutupan diperkirakan mencapai 70%–80% sehingga masuk dalam kategori padat.

Berikut Gambar 5 merupakan hasil pengukuran tutupan lamun dan tinggi kanopi dari 31 titik pengamatan, dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



Gambar 5 Hasil pengukuran nilai tutupan

Berdasarkan grafik Gambar 5 dapat dijelaskan bahwa nilai tutupan lamun menunjukkan variasi antar stasiun. Nilai minimum tutupan lamun tercatat sekitar 5%, sedangkan nilai maksimum mencapai sekitar 75%. Rata-rata tutupan lamun berada pada kisaran 30%–40%, yang menunjukkan kondisi umum berada dalam kategori sedang. Beberapa stasiun memperlihatkan nilai tutupan yang relatif rendah (<20%), sementara stasiun lainnya memiliki tutupan yang cukup tinggi (>60%). Secara keseluruhan, distribusi tutupan lamun bervariasi dengan kecenderungan sebagian besar titik pengamatan berada pada tingkat tutupan sedang hingga tinggi.



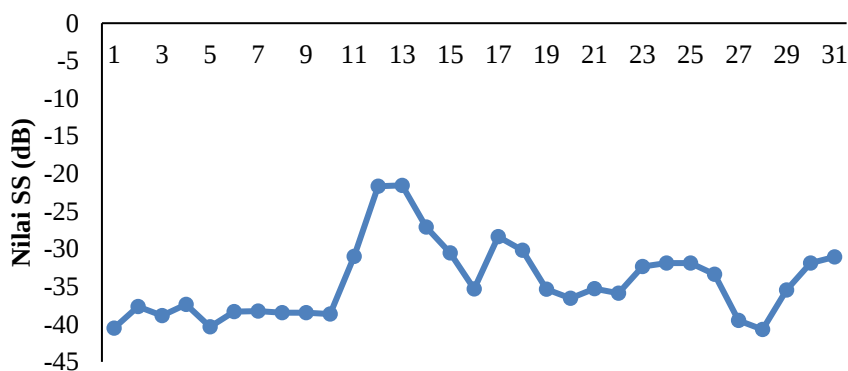
Gambar 6 Hasil pengukuran tinggi kanopi

Gambar 6 menjelaskan diagram batang diatas menampilkan variasi tinggi kanopi di 31 titik pegamatan beserta nilai rata-rata keseluruhannya. Hasil menunjukkan adanya perbedaan antara titik pengamatan, di mana tinggi kanopi tertinggi mencapai 81 cm, sedangkan yang terendah hanya 26 cm. Rata-rata keseluruhan sebesar 48 cm, yang ditandai dengan batang berwarna oren (jingga). Tutupan lamun dan tinggi kanopi menunjukkan pola fluktuasi yang beragam. Di beberapa titik, seperti titik 11, 12, dan 14 tutupan lamun mencapai nilai yang sangat tinggi, mendekati 100%. Sebaliknya itu tinggi kanopi tertinggi ditemukan di titik ke-5 dengan ukuran mendekat 100 cm, sedangkan titik lainnya menunjukkan tinggi kanopi yang bervariasi. Secara umum, hubungan antara tutupan lamun dan tinggi kanopi tidak selalu searah. Ada lokasi tertentu, seperti lokasi 11 dan 14, di mana tutupan lamun yang tinggi tidak selalu diiringi oleh tinggi kanopi yang signifikan.

Analisis Nilai Hambur Balik Lamun

Surface backscattering strength (SS) adalah rasio antara intensitas suara yang dipantulkan dengan intensitas suara yang mengenai permukaan dasar perairan. Nilai SS diperoleh dari puncak intensitas echo yang dipantulkan oleh permukaan dasar perairan. Berdasarkan hasil data dari perekaman akustik nilai nilai SS yang didapatkan mendapatkan kisaran nilai anatar -40 dB hingga -20 dB. Intensitas pantulan dapat dipengaruhi oleh morfologi tutupan lamun, yang menentukan jumlah pantulan yang dikembalikan (Pujiyanti et al., 2010). Rentang nilai ini mencerminkan variasi intensitas hamburan balik di permukaan yang dipengaruhi oleh perbedaan karakteristik reflektifitas akustik dari objek di dasar atau permukaan perairan, seperti substrat keras, sedimen, atau vegetasi bawah air seperti lamun. Nilai -40 dB, yang relatif rendah, menunjukkan hamburan balik dari permukaan dengan hambatan minimal atau material berstruktur halus, seperti substrat lunak atau area dengan vegetasi yang jarang. Sebaliknya, nilai mendekati -20 dB mencerminkan hamburan balik yang lebih tinggi, yang kemungkinan berasal dari area dengan kerapatan lebih tinggi, seperti lamun yang padat atau substrat keras, seperti pasir kasar, kerikil, atau batu, dapat dilihat pada grafik dibawah ini. Nilai SS pada setiap titik pengambilan data disajikan pada Gambar 7.

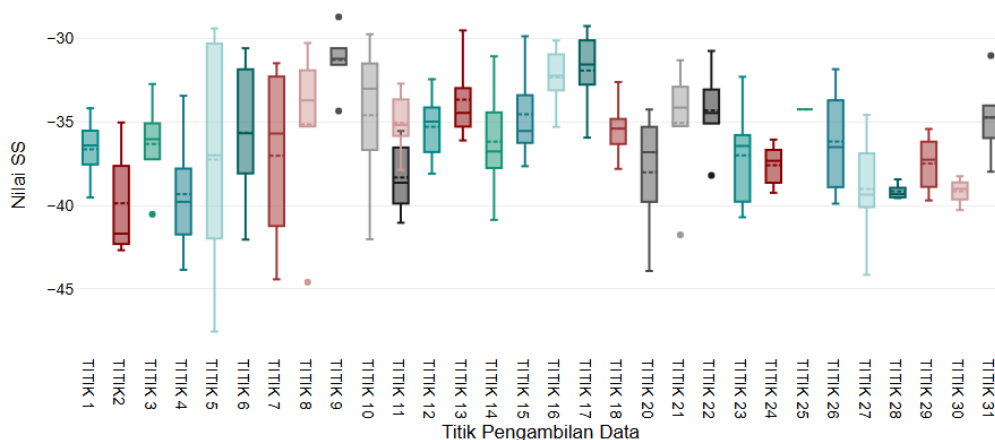
Titik pengambilan data



Gambar 7 Grafik nilai *Surface Backscattering Strength*

Distribusi Nilai *Surface Backscattering Strength* (SS)

Analisis data dilakukan menggunakan grafik *boxplot* untuk menggambarkan distribusi nilai *surface backscattering strength* (SS), yang mana titik sebanyak 31. Grafik *boxplot* digunakan karena mampu menunjukan ringkasan statistik penting, yaitu nilai minimum, kuartil pertama (Q1), median (Q2), kuartil ketiga (Q3), dan nilai maksimum Cleveland (1993). Secara garis besar nilai *surface backscattering strength* ditunjukkan pada Gambar 8.



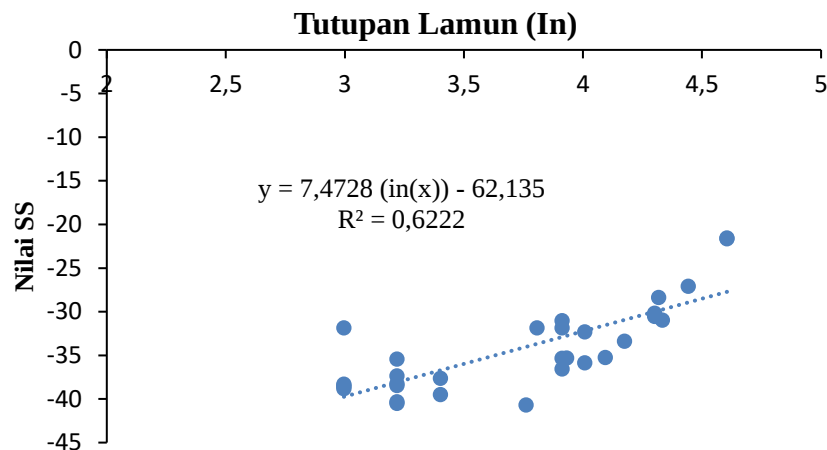
Gambar 8 Boxlot nilai *surface backscattering strength*

Berdasarkan hasil distribusi nilai *surface backscattering strength* (SS), diperoleh bahwa titik pengamatan ke-9 menunjukkan nilai distribusi SS paling tinggi dengan rentang kuartil Q1 = -31,60 dB hingga Q3 = -30,61 dB. Hal ini menggambarkan bahwa sebagian besar data hambur balik akustik pada

titik tersebut berada dalam kisaran yang relatif kuat sehingga kondisi lamun di titik ke-9 dapat dikategorikan sebagai tutupan padat karena daun lamun yang rapat mampu memantulkan energi akustik lebih besar. Sebaliknya, titik pengamatan ke-5 menunjukkan nilai distribusi SS paling rendah dengan $Q1 = -41,98$ dB hingga $Q3 = -30,33$ dB. Rentang kuartil yang lebih lebar dan nilai $Q1$ yang lebih rendah mengindikasikan adanya sebaran pantulan akustik yang lebih lemah sehingga kondisi lamun di titik ini termasuk kategori tutupan jarang dengan sebaran yang tidak merata. Dengan demikian, penggunaan statistik kuartil ($Q1$ - $Q3$) tidak hanya menunjukkan nilai tengah distribusi SS, tetapi juga memberikan gambaran yang lebih detail mengenai variasi tingkat tutupan lamun, mulai dari jarang hingga padat, pada masing-masing titik pengamatan.

Hubungan Nilai SS Terhadap Tutupan Lamun dan Tinggi Kanopi

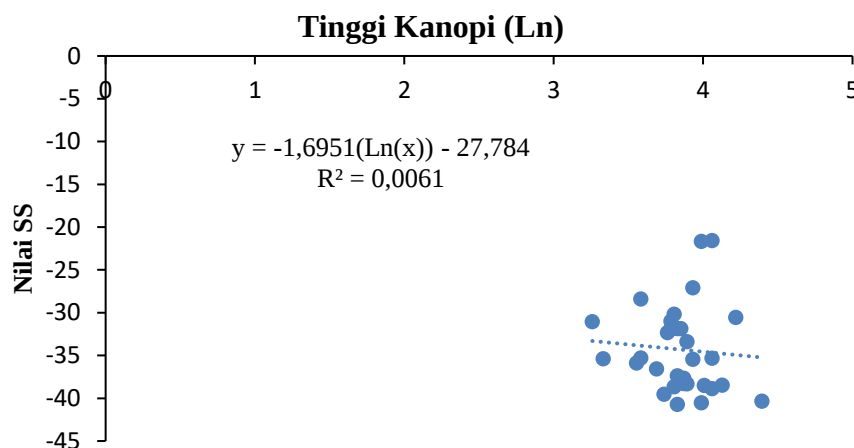
Uji regresi linear sederhana pada nilai tutupan lamun dan nilai SS sebesar 0,6222 mengacu pada koefisien determinasi (R^2) yang menggambarkan sejauh mana variabel independen (tutupan lamun) mampu menjelaskan variabilitas pada variabel dependen (hambur balik akustik). Dengan hal ini nilai $R^2 = 0,6222$ menunjukkan bahwa 62,22% variasi pada hambur balik akustik dapat diterangkan oleh tutupan lamun dan memiliki hubungan, sementara sisanya 37,78% disebabkan oleh faktor lain diluar model regresi yang digunakan. Faktor-faktor lain meliputi kandungan sedimen di perairan, kondisi substrat dasar, usia dan kondisi. Dari hasil analisis regresi sederhana diperoleh persamaan garis $y = 7,4728 \cdot \ln(x) - 62,135$, dimana y adalah nilai SS rata-rata dan x adalah nilai tutupan lamun. Hasil uji regresi dapat dilihat pada Gambar 9 dibawah ini.



Gambar 9 Uji regresi linear sederhana

Uji regresi linear sederhana pada nilai tutupan lamun dan nilai SS sebesar 0,6222 mengacu pada koefisien determinasi (R^2) yang menggambarkan sejauh mana variabel independen (tutupan lamun) mampu menjelaskan variabilitas pada variabel dependen (hambur balik akustik). Dengan hal ini nilai $R^2 = 0,6222$ menunjukkan bahwa 62,22% variasi pada hambur balik akustik dapat diterangkan oleh tutupan lamun dan memiliki hubungan, sementara sisanya 37,78% disebabkan oleh faktor lain diluar model regresi yang digunakan. Faktor-faktor lain meliputi kandungan sedimen di perairan, kondisi substrat dasar, dan usia dan kondisi. Dari hasil analisis regresi sederhana diperoleh persamaan garis $y = 7,4728 (\ln(x)) - 62,135$, dimana y adalah nilai SS rata-rata dan x adalah nilai tutupan lamun

Hubungan nilai *surface backscattering strength* (SS) terhadap tinggi kanopi mendapat kan hasil $R^2 = 0,0061$ (Gambar 10), yang artinya kedua variable ini memiliki hubungan yang sangat lemah atau hampir tidak ada hubungan sama sekali. Jadi nilai hambur balik akustik lebih memiliki hubungan dengan tutupan lamun dibandingkan dengan tinggi kanopi lamun, karena utupan lamun secara langsung mempengaruhi luas area permukaan yang memantulkan gelombang akustik. Ketika tutupan lamun lebih tinggi, gelombang akustik yang dipancarkan akan mengenai lebih banyak daun dan struktur lamun sehingga meningkatkan intensitas hamburan balik (*backscattering*). Sebaliknya, tinggi kanopi lamun lebih terkait dengan dimensi vertikal lamun, yang meskipun dapat memengaruhi hamburan, kontribusinya relatif kecil dibandingkan dengan densitas atau luas tutupan horizontal lamun. Hasil uji regresi linier dari tinggi kanopi dapat dilihat pada Gambar 10.



Gambar 10 Uji regresi linear nilai sederhana

Analisis Uji ANOVA dan Uji F

Tabel 1. Uji statistika Uji F nilai SS terhadap Tutupan

ANOVA ^a					
Model	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
<i>Regression</i>	477,150	1	572.730	47.767	<,001b
<i>Residual</i>	289,685	29	9,989		
Total	766,835	30			

Tabel 2. Uji statistika Uji F nilai SS terhadap Tinggi Kanopi

ANOVA ^a					
Model	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
<i>Regression</i>	4,689	1	4,689	0,178	<,676b
<i>Residual</i>	762,146	29	26,281		
Total	766,835	30			

Hasil uji ANOVA diatas yaitu nilai *surface backscattering strength* terhadap nilai tutupan lamun diperoleh nilai signifikan sebesar $0,001 < 0,05$, maka terdapat pengaruh hubungan yang signifikan antara variabel tutupan lamun dan *surface backscattering strength* (SS) atau H_0 diterima. Dan hasil uji F diperoleh bahwa F hitung sebesar $47.767 > F$ tabel sebesar 1.6991 maka H_1 diterima. Sedangkan pada tabel 11 hubungan *surface backscattering strength* terhadap tinggi kanopi tidak memiliki hubungan, yang dimana nilai signifikan sebesar $0,676 > 0,05$ maka H_0 ditolak. Dan uji F hitung diperoleh sebesar $0,178 < F$ tabel sebesar 1.6991 maka H_0 ditolak

Pembahasan

Persentase tutupan lamun menunjukkan luas area yang tertutupi oleh lamun di suatu perairan. Nilai persentase ini tidak hanya bergantung pada tutupan jenis lamun, tetapi juga pada lebar helaian daun lamun. Semakin lebar helaian daun, semakin besar kemampuannya untuk menutupi substrat dasar perairan (Fahrudin et al., 2017). Berdasarkan hasil perhitungan nilai yang diperoleh dari beberapa titik pengamatan di lokasi penelitian terdapat tingkat tutupan dan tinggi kanopi yang berbeda-beda. Variasi nilai tutupan lamun pada setiap titik pengamatan memang dipengaruhi oleh berbagai faktor lingkungan maupun biotik yang menentukan pertumbuhan serta distribusi lamun. Secara metodologis, dasar penentuan tutupan lamun dilakukan melalui pendekatan kuadran transek, yaitu dengan melihat secara visual seberapa besar proporsi area substrat yang tertutupi oleh tegakan lamun dalam suatu kuadran. Semakin banyak rumpun atau tegakan lamun yang mengisi area kuadran, maka semakin luas pula permukaan substrat yang tertutup oleh kanopi lamun sehingga nilai persentase tutupan yang diperoleh juga semakin tinggi. Prinsip ini sejalan dengan pendapat English et al. (1997) yang menyatakan bahwa

metode kuadran transek merupakan cara standar untuk mengestimasi tutupan vegetasi dengan menghitung substrat yang tertutup oleh organisme target. Selain itu, Azkab (2000) menegaskan bahwa parameter tutupan lamun dapat dijadikan indikator penting dalam menilai kondisi ekosistem, karena tingginya nilai tutupan mencerminkan tingkat kerapatan dan kesehatan padang lamun, sedangkan nilai tutupan yang rendah menunjukkan kondisi lamun yang jarang atau terfragmentasi. Dengan demikian, argumen bahwa semakin banyak tegakan lamun di dalam transek kuadran maka nilai persentase tutupan juga semakin tinggi memiliki dasar ilmiah yang kuat berdasarkan metode pengukuran ekologi yang baku.

Pada penelitian ini untuk melihat persentase tutupan lamun disetiap titik pengamatan menggunakan metode menurut McKenzie (2003). Metode ini merupakan pengukuran penutupan lamun hanya menyesuaikan hasil gambar lapangan dengan gambar persentase tutupan lamun atau *percent cover standards*. Berdasarkan rata-rata nilai tutupan lamun yang diperoleh sebesar 47% menunjukkan bahwa ekosistem lamun berada dalam kategori sedang. Menurut Bengen (2002), tutupan lamun dalam kisaran 40% - 60% menandakan bahwa ekosistem lamun masih berfungsi, namun telah mengalami tekanan lingkungan. Seagrass atau lamun memiliki peran penting dalam ekosistem pesisir, seperti menyediakan habitat bagi berbagai organisme laut, menjaga stabilitas sedimen, serta membantu meningkatkan kualitas air. Oleh karena itu, nilai tutupan yang tidak mencapai 50% dapat menjadi indikator adanya gangguan yang mempengaruhi pertumbuhan dan kelangsungan lamun. Penurunan tutupan lamun dapat dipengaruhi oleh berbagai faktor, termasuk aktivitas manusia, perubahan lingkungan alamiah, dan tekanan ekologis. Menurut Waycott et al., (2009), aktivitas manusia seperti reklamasi pantai, pembangunan infrastruktur di wilayah pesisir, dan penggunaan alat tangkap ikan yang tidak ramah lingkungan dapat mempercepat degradasi habitat lamun. Meskipun saat ini nilai tutupan lamun masih berada dalam kategori sedang, pemantauan yang berkelanjutan tetap diperlukan guna mencegah terjadinya penurunan lebih lanjut.

Secara umum, hubungan antara tutupan lamun dan tinggi kanopi tidak selalu searah. Ada lokasi, dimana tutupan lamun yang tinggi tidak selalu diiringi oleh tinggi kanopi yang signifikan. Hal ini menunjukkan bahwa berbagai faktor, seperti jenis lamun, kondisi lingkungan, atau tekanan ekologi mempengaruhi pertumbuhan lamun. Menurut Short et al., (2007) faktor-faktor seperti kualitas air, sedimentasi, dan aktifitas antropogenik dapat mempengaruhi distribusi dan kondisi lamun. Dari analisis ini dapat disimpulkan bahwa terdapat variasi kondisi tutupan dan tinggi kanopi lamun di berbagai lokasi. Hasil ini mencerminkan pentingnya faktor lingkungan dalam memengaruhi karakteristik lamun, yang memiliki peran penting dalam mendukung ekosistem pesisir sebagai habitat bagi berbagai biota laut. Variasi SV mencerminkan perbedaan tingkat refleksi akustik pada berbagai titik pengukuran. Pada titik pengamatan sekitar titik ke-11 hingga ke-16, terjadi peningkatan yang cukup signifikan pada nilai SS hingga mendekati -15 dB. Puncak ini dapat diindikasikan sebagai area dengan karakteristik permukaan yang lebih reflektif, kemungkinan dipengaruhi oleh perubahan jenis substrat, tingkat kekasaran, atau keberadaan objek akustik tertentu. Setelah mencapai puncak, grafik menunjukkan penurunan yang berlanjut hingga stabil pada rentang -30 dB hingga -40 dB di sebagian besar titik pengamatan. Faktor lingkungan, seperti jenis substrat, dinamika perairan, atau keberadaan biota laut, dapat memengaruhi nilai SS yang terukur. Misalnya, substrat berbatu atau berpasir biasanya menghasilkan nilai SS yang lebih tinggi dibandingkan substrat berlumpur (Urick, 1983). Keras atau lunaknya dasar perairan akan memberikan pengaruh terhadap intensitas pantulan yang dikembalikan, dimana dasar perairan yang keras memiliki pantulan yang lebih besar dari dasar perairan yang halus dan seterusnya (Siwabessy, 2001; Hamilton, 2001).

Berdasarkan grafik *boxplot* menggambarkan distribusi rentang nilai pada setiap titik memiliki perbedaan masing-masing, grafik menunjukkan bahwa distribusi nilai SS di berbagai titik pengambilan data sebanyak 31 titik. Secara umum, nilai SS sebagian besar berada pada rentang negatif yang mengindikasikan bahwa nilai ini cenderung lebih rendah. Variasi dalam grafik ini dapat dipengaruhi oleh berbagai faktor, seperti kondisi lingkungan tingkat sedimentasi, atau aktifitas manusia yang berada di setiap lokasi. Variasi rentang interkuartil (IQR) pada tiap *boxplot* mengindikasikan adanya perbedaan tingkat variabilitas di setiap titik pengambilan data, di mana beberapa titik, seperti Titik 2 dan Titik 5, memiliki outlier yang mencolok. Hasil ini dapat disebabkan oleh beberapa faktor. Pertama, variabilitas alami dari lingkungan di sekitar lokasi pengambilan data bisa menjadi penyebab utama. Menurut Montgomery (2020) dalam *Introduction to Statistical Quality Control*, grafik *boxplot* adalah alat yang efektif untuk mengidentifikasi *outlier* dan memahami pola variabilitas data. Selain itu, penelitian oleh

Helsel dan Hirsch (2002) menyatakan bahwa perbedaan lokasi pengambilan data sering menghasilkan distribusi data yang berbeda, terutama pada studi lingkungan.

Hasil regresi linear menunjukkan adanya hubungan antara tutupan lamun dan nilai *surface backscattering strength* (SS). Persamaan regresi yang diperoleh adalah $y = 7,4728 (\ln(x)) - 62,135$, nilai ini menunjukkan bahwa setiap peningkatan lamun sebesar 1% akan meningkatkan nilai SS sebesar 7,4728 dB. Hubungan ini menunjukkan bahwa area dengan tutupan lamun yang lebih tinggi memiliki nilai SS yang lebih baik. Koefisien determinasi (R^2) sebesar 0,6222 mengindikasikan bahwa 62,22% variasi nilai SS dapat dijelaskan oleh perubahan tutupan lamun. Sisanya, sebesar 37,78%, dipengaruhi oleh faktor lain, seperti kedalaman perairan, kualitas substrat dasar, atau aktivitas manusia. Nilai (R^2) yang cukup tinggi ini menunjukkan bahwa tutupan lamun memiliki pengaruh yang signifikan terhadap nilai SS dibandingkan dengan tinggi kanopi. Hubungan positif antara nilai tutupan lamun dan nilai *surface backscattering strength* dipengaruhi oleh beberapa faktor yang saling berkaitan. Sedangkan hasil regresi linear yang diperoleh antara nilai SS dan tinggi kanopi mendapatkan nilai yang sangat lemah mendapatkan nilai yang sebesar 0,0061% artinya kedua data tersebut tidak memiliki hubungan yang kuat. Berdasarkan hasil uji F yang ditunjukkan dalam tabel ANOVA, nilai F sebesar 47,767 > F tabel sebesar 1,6991 dengan nilai signifikan yang sangat kecil yaitu 0,001 menunjukkan bahwa model regresi yang digunakan signifikan secara statistik.

Hal ini mengindikasikan bahwa tutupan lamun sebagai variabel independen memiliki pengaruh yang kuat terhadap nilai hambur balik akustik sebagai variabel dependen. Sedangkan untuk nilai tinggi kanopi lamun terhadap nilai *surface backscattering strength* tidak memiliki hubungan yang dimana hasil menunjukkan nilai sebesar $0,676 > 0,05$ maka H_0 ditolak. Dan uji F hitung diperoleh sebesar $0,178 < F$ tabel sebesar 1,6991 maka H_0 juga ditolak. Dengan demikian, model regresi ini dapat diterima dan digunakan untuk menjelaskan variabilitas nilai hambur balik akustik yang dapat dipengaruhi oleh tutupan lamun. Karena nilai *p-value* yang lebih kecil dari 0,05, kita dapat menolak hipotesis nol yang menyatakan bahwa tidak ada hubungan antara kedua variabel tersebut, dan menyimpulkan bahwa ada hubungan yang signifikan antara tutupan lamun dan hambur balik akustik.

Penelitian mengenai nilai hambur balik *backscattering strength* pada lamun telah dilakukan untuk memahami karakteristik akustik berbagai spesies lamun, yang dimana penelitian oleh Ningtyas (2014) mendapatkan nilai hambur balik antara -49,70 dB hingga -53,70 dB. Selain itu penelitian oleh Siti Rusmayanti (2012) diperoleh lamun *Enhalus acoroides* yang berada di transek pengamatan dapat dideteksi keberadaannya melalui metode akustik. Antara substrat dasar perairan dan lamun dapat dibedakan melalui nilai hambur balik yang berbeda. Pada penelitian ini, sebaran lamun terlihat dari bentuk puncak kecil – kecil bernilai Sv antara -60 dB hingga -50 dB. Jadi, dapat disimpulkan bahwa perkeman nilai hambur balik untuk pendektasian objek bawah laut yaitu spesies lamun memiliki perbedaan dari nilai hambur balik itu sendiri.

SIMPULAN

Penelitian ini mengukur tutupan lamun dan tinggi kanopi di Perairan Pulau Mantang dan menentukan nilai hambur balik akustik *surface backscattering strength* (SS) dengan kedua parameter tersebut. Hasilnya menunjukkan bahwa rata-rata tutupan lamun sebesar 47%, yang tergolong dalam kategori sedang. Variasi tutupan lamun dipengaruhi oleh faktor lingkungan seperti kedalaman, substrat, arus, serta tekanan biotik dan antropogenik. Hasil analisis hidroakustik menunjukkan bahwa nilai *surface backscattering strength* (SS) memiliki rentang sekitar -40 dB hingga -15 dB. Nilai SS cenderung lebih tinggi pada area dengan tutupan lamun yang lebih besar, yang menunjukkan bahwa luas area lamun berpengaruh signifikan terhadap intensitas hambur balik akustik. Analisis regresi linear menunjukkan adanya hubungan yang signifikan antara tutupan lamun dan nilai SS, dengan koefisien determinasi (R^2) sebesar 0,6222. Hal ini menunjukkan bahwa sekitar 62,22% variasi nilai SS dapat dijelaskan oleh perubahan tutupan lamun. Sebaliknya, hubungan antara tinggi kanopi dan nilai SS sangat lemah, dengan nilai R^2 yang sangat kecil, menunjukkan bahwa tinggi kanopi tidak berpengaruh signifikan terhadap hambur balik akustik. karena pantulan akustik lebih dipengaruhi oleh luas tutupan lamun daripada ketinggian kanopi. Uji ANOVA juga mengonfirmasi adanya hubungan signifikan antara tutupan lamun dan nilai SS, sedangkan tinggi kanopi tidak memiliki pengaruh yang signifikan terhadap nilai SS.

DAFTAR PUSTAKA

- Akmal, S. A., Siregar, V. P., Nababan, B., & Prasetyo, L. B. (2017). Acoustic characterization of seagrass beds using single beam echosounder in Pari Island, Indonesia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 54: 012081.
- Arkham, M. N., Adrianto, L., & Wardiatno, Y. (2015). Studi keterkaitan ekosistem lamun dan perikanan skala kecil (studi kasus: Desa Malang Rapat dan Berakit, Kabupaten Bintan, Kepulauan Riau). *Jurnal Sosial Ekonomi Kelautan dan Perikanan*, 10(2), 137-148.
- Asriyana, A., Jompa, J., Rahmat, R., & Baderan, D. W. K. (2020). Mapping of seagrass ecosystems using single beam echosounder in coastal waters of Toronipa, Southeast Sulawesi, Indonesia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 429: 012014.
- Azkab, M. H. (2000). *Panduan Monitoring Padang Lamun*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Oseanologi – LIPI, Jakarta.
- Bengen, D. G. (2002). *Sinopsis Ekosistem dan Sumberdaya Alam Pesisir: Panduan Pengelolaan Secara Terpadu*. Pusat Kajian Sumberdaya Pesisir dan Lautan, IPB, Bogor.
- Brown, C. J. (2015). *Benthic habitat mapping using acoustic techniques*. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 92(3): 502–520.
- English, S., Wilkinson, C., & Baker, V. (1997). *Survey Manual for Tropical Marine Resources*. Australian Institute of Marine Science, Townsville.
- Esri. (n.d.). *Feature class basics* [ArcGIS Help]. Environmental Systems Research Institute.
- Dahuri, R. (2001). *Keanekaragaman Hayati Laut: Aset Pembangunan Berkelanjutan*. PT Gramedia Pustaka Utama.
- Fahrudin, A., Sani, A., & Sani, A. (2017). Struktur Komunitas Lamun di Perairan Pulau Barranglompo, Kota Makassar. *Jurnal Ilmu Alam dan Lingkungan*, 8(1), 1-10.
- Foote, K. G. (1987). *Calibration of acoustic instruments for fish density estimation: a practical guide*. ICES Cooperative Research Report, 144: 1–57.
- Hamuna, B., Pujiyati, S., & Hestirianoto, T. (2014). Karakterisasi pantulan akustik karang menggunakan echosounder single beam. *Jurnal Integrasi*, 6(2), 129- 133.
- Hernawan, U.E., Rahmawati, S., Ambo-Rappe, R., Sjafrie, N.D.M., Hadiyanto, H., Yusup, D.S., Nugraha, A.H., La Nafie, Y.A., Adi, W., Prayudha, B., Irawan, A., Rahayu, Y.P., Ningsih, E., Ritniasih, I., Supriadi, I.H., & McMahon, K., (2021). The First Nation-Weed Assessment Identifies Valuable Blue-Carbon Seagrass Habitat In Indonesia Is In Moderate Condition. *Science of The Total Environment*, 634:279-86. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2021.146818.
- Hidayat, R., Siregar, V. P., Nababan, B., & Prasetyo, L. B. (2021). *Seagrass habitat mapping using Random Forest algorithm on Sentinel-2 imagery in Banten Bay, Indonesia*. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 744: 012104.
- Kawaroe M, Indrajaya, Happy SI. (2005). Pemetaan bioekologi padang lamun (seagrass) di Kepulauan Seribu, Jakarta Utara. *Pesisir & Lautan* 6: 31-41.
- Helsel, D. R., & Hirsch, R. M. (2002). *Statistical Methods in Water Resources* (Techniques of Water-Resources Investigations, Book 4, Chapter A3). U.S. Geological Survey.
- Komatsu, T., Igarashi, C., Tatsukawa, K., Sultana, S., Matsuoka, Y., & Harada, S. (2003). Use of multi-beam sonar to map seagrass beds in Otsuchi Bay on the Sanriku Coast of Japan. *Aquatic Living Resources*, 16(3), 223-230. [https://doi.org/10.1016/S0990-7440\(03\)00045-7](https://doi.org/10.1016/S0990-7440(03)00045-7)
- Kurniawan, D., Jompa, J. & Haris, A. (2017). Pertumbuhan Tahunan Karang *Goniopora stokesi* di Perairan Kota Makassar Hubungannya dengan Faktor Cuaca. *Jurnal Akuatiklestari*, 1(1) : 8-15.
- MacLennan, D. N dan Simmonds, E. J. (2005). *Fisheries Acoustic*. Chapman and Hall. Oxford: Blackwell Science
- Manik, H. M., Apdillah, D., Dwinovantyo, A., & Solikin, S. (2017). Development of Quantitative Single Beam Echosounder for Measuring Fish Backscattering. Dalam A. Zak (Ed.), *Advances in Underwater Acoustics* (hlm. 1-17). InTech.
- Manik, H. M., Furusawa, M., & Amakasu, K. (2006). Quantifying sea bottom surface backscattering strength and identifying bottom fish habitat by quantitative echo sounder. *Japanese Journal of Applied Physics*, 45(6S), 4865.
- Manik, H. M., & Apdillah, D. (2020). Remote Sensing of Seagrass and Seabed using Acoustic Technology in Bintan Seawater, Indonesia. *Pertanika Journal of Science & Technology*, 28(2), 421-439.

- McKenzie, L. J., Campbell, S. J., & Roder, C. A. (2003). *Seagrass-Watch: Manual for Mapping & Monitoring Seagrass Resources*, 2nd Edition. Queensland Fisheries Service, Northern Fisheries Centre, Cairns.
- Montgomery, D. C. (2020). *Introduction to Statistical Quality Control* (8th ed.). Wiley.
- Ningtyas, A. D. (2014). *Karakteristik hambur balik akustik (backscattering strength) pada padang lamun di Perairan Pulau Pari, Kepulauan Seribu*. Skripsi. Departemen Ilmu dan Teknologi Kelautan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Institut Pertanian Bogor.
- Nugraha, A. H., & Kurniawan, D. (2021). Rekrutmen karang keras (Scleractinia) berdasarkan zona geomorfologi di Perairan Pulau Bintan, Kepulauan Riau. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis*, 13(2): 269-281.
- Nugraha A H, Srimariana E S, Jaya I, Kawaroe M. (2019). Struktur ekosistem lamun di Desa Teluk Bakau, Pesisir Bintan Timur-Indonesia. *Jurnal Ilmu-Ilmu Perairan, Pesisir dan Perikanan*. 8(2):87-9
- Nurmasari, R., Putri, A. H. A., Rosmaida, S., Nurkhalifah, U., & Ramadhan, F. (2023). Identifikasi Tutupan Dan Kondisi Perairan Pada Ekosistem Lamun Di Pulau Tidung Kecil. *Jurnal Teknologi Perikanan Dan Kelautan*, 14(1), 25-32.
- Nybakken JW. (1992). *Biologi Laut Suatu Pendekatan Ekologis*. Penerbit PT. Gramedia. Jakarta.
- Orth, R. J. (2006). *A Global Crisis for Seagrass Ecosystems*. *BioScience*, 56(12): 987–996.
- Pujiyati, S. (2008). Pendekatan metode hidroakustik untuk analisis keterkaitan antara tipe substrat dasar perairan dengan komunitas ikan demersal [Thesis]. Bogor (ID): Institut Pertanian Bogor, pp 1-185.
- Rusmayanti, S. H. (2012). *Acoustic backscatter measurements of value Enhalus acoroides Pari Island, Thousand Islands, Jakarta*
- Sabol, B. M., Melton, R. E., Jr., Chamberlain, R., Doering, R. P., & Haunert, K. (2007). *Field validation of the acoustic mapping system in shallow lakes*. Vicksburg, MS: U.S. Army Engineer Research and Development Center.
- Short, F.T., Carruthers, W.D., & Waycott, M., (2007). Global Seagrass Distribution And Diversity: A Bioregional Model. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 350(1-2): 3-20. DOI: 10.1016/j.jembe.2007.06.012
- Siwabessy, P. J. W. (2001). An investigation of the relationship between seabed type and benthic and benthic-pelagic biota using acoustic techniques. The Curtin University of Technology, Australia
- Unsworth, R. K. F. (2011). *Seagrass meadows support global fisheries production*. *Conservation Letters*, 7(5): 1–8.
- Urlick, R. J. (1983) *Principles of Underwater Sound*, 3rd edn. McGraw- Hill, New York, p 423.
- Waycott, M., McKenzie, L.J., Mollers, J.E., Ellison, J.C., Sheaves, M.T., Collier, C., & Schwarz, A.M., (2011). Vulnerability of mangroves, seagrasses and intertidal flats in the tropical Pacific to climate change.
- Zurba, N. (2018). *Pengenalan Padang Lamun: Suatu Ekosistem Yang Terlupakan*. Unimal Press. Universitas Malikussaleh. Lhokseumawe.