

Studi Kuantitatif Hubungan Nilai Hambur Balik Akustik dan Persentase Tutupan Karang *Encrusting* di Pulau Ajab Bintang Timur

Susi Sulian Dia*, Try Febrianto, Asep Ma'mun

Program Studi Ilmu Kelautan, Fakultas Ilmu Kelautan Dan Perikanan, Universitas Maritim Raja Ali Haji
Jl. Politeknik Senggarang, Kota Tanjungpinang, Kepulauan Riau, 29111, Indonesia
Email : ssulandia@gmail.com

Abstract

Quantitative Study of the Relationship between Acoustic Scattering Values and the Percentage of Encrusting Coral Cover on Ajab Island East Bintan

Indonesia's coral reef ecosystems play an important role in maintaining marine biodiversity and protecting coastal areas. Encrusting corals have a vital function as structural anchors and indicators of ecosystem health. The decline in coral cover and the limitations of conventional monitoring methods have prompted the need to apply non-invasive technologies such as hydroacoustics in the conservation area of Ajab Island, East Bintan. This study aims to analyze the acoustic backscatter characteristics of encrusting corals and the quantitative relationship between Surface Backscattering Strength (SS) and coral cover percentage as a basis for developing an acoustic-based reef monitoring model. The study uses a descriptive quantitative survey design with purposive sampling. Measurements were taken using a Simrad EK-15 single beam echosounder (200 kHz) and 50 × 50 cm underwater images for coverage analysis with PhotoQuad. The relationship between SS values and coral coverage was tested using simple linear regression with homogeneity and ANOVA tests in SPSS. The results show that the Volume Backscattering Strength (SV) values ranged from -40.99 dB to -23.20 dB and SS from -40.82 dB to -17.23 dB, with encrusting coral cover percentages of 52–85%. A significant positive relationship was found between SS and coral cover ($p = 0.000$) with the equation $y = 0,2819x - 51,546$ and $R^2 = 95\%$. It was concluded that acoustic backscattering values can be used as an indicator of encrusting coral condition. The Simrad EK-15 hydroacoustic method has the potential to be an efficient, fast, and non-invasive coral reef monitoring tool.

Keywords: Backscattering strength, Hydroacoustics, Encrusting coral, SIMRAD EK-15 echosounder, Ajab Island

Abstrak

Ekosistem terumbu karang Indonesia berperan penting dalam menjaga keanekaragaman hayati laut dan melindungi kawasan pesisir. Karang encrusting memiliki fungsi vital sebagai perekat struktural dan indikator kesehatan ekosistem. Penurunan tutupan karang serta keterbatasan metode pemantauan konvensional mendorong perlunya penerapan teknologi non-invasif seperti hidroakustik di kawasan konservasi Pulau Ajab, Bintan Timur. Penelitian ini bertujuan menganalisis karakteristik hambur balik akustik karang encrusting dan hubungan kuantitatif antara Surface Backscattering Strength (SS) dan persentase tutupan karang sebagai dasar pengembangan model pemantauan terumbu berbasis akustik. Penelitian menggunakan desain survei kuantitatif deskriptif dengan purposive sampling. Pengukuran dilakukan menggunakan single beam echosounder Simrad EK-15 (200 kHz) dan citra bawah air berukuran 50 × 50 cm untuk analisis tutupan dengan PhotoQuad. Hubungan nilai SS dan tutupan karang diuji menggunakan regresi linear sederhana dengan uji homogenitas dan ANOVA pada SPSS. Hasil menunjukkan nilai Volume Backscattering Strength (SV) berkisar -40,99 dB hingga -23,20 dB dan SS antara -40,82 dB hingga -17,23 dB, dengan persentase tutupan karang encrusting 52–85%. Hubungan positif signifikan ditemukan antara SS dan tutupan karang ($p = 0,000$) dengan persamaan $y = 0,2819x - 51,546$ dan $R^2 = 95\%$. Disimpulkan bahwa nilai hambur balik akustik dapat digunakan sebagai indikator kondisi karang encrusting. Metode hidroakustik Simrad EK-15 berpotensi menjadi alat pemantauan terumbu karang yang efisien, cepat, dan non-invasif.

Kata kunci : Backscattering strength, Hidroakustik, Karang Encrusting, Echosounder SIMRAD EK-15, Pulau Ajab

PENDAHULUAN

Ekosistem terumbu karang di Indonesia memiliki peran vital dalam menjaga keanekaragaman hayati laut, melindungi garis pantai dari erosi, serta menunjang ekonomi masyarakat pesisir melalui perikanan dan pariwisata. Namun, kondisi terumbu karang saat ini mengalami penurunan yang mengkhawatirkan, di mana lebih dari 60% wilayah karang berada dalam kondisi sedang hingga buruk akibat kombinasi faktor alam seperti badai dan penyakit, serta tekanan aktivitas manusia

seperti sedimentasi, polusi, dan praktik penangkapan ikan yang merusak (Hadi *et al.*, 2020). Upaya rehabilitasi yang telah dilakukan selama tiga dekade terakhir memang menunjukkan peningkatan tutupan karang sebesar 5% (Subhan *et al.*, 2023), tetapi pemantauan berkelanjutan yang efektif masih sangat dibutuhkan untuk mendukung pengelolaan ekosistem ini secara optimal.

Karang *encrusting* merupakan salah satu bentuk pertumbuhan karang yang memiliki fungsi penting dalam menjaga stabilitas struktur terumbu dan menjadi indikator utama kesehatan terumbu karang. Pemantauan terhadap karang ini masih umumnya dilakukan dengan metode survei visual yang memerlukan biaya besar dan waktu lama, sehingga kurang efisien untuk pemantauan jangka panjang. Untuk itu, pengembangan teknologi non-invasif seperti metode hidroakustik menjadi solusi yang potensial karena mampu mengukur hamburan balik gelombang suara dari dasar laut yang sensitif terhadap tekstur dan kekasaran substrat, termasuk permukaan karang.

Penelitian terdahulu oleh Hasbi *et al.* (2022) dan Manik *et al.* (2006) menunjukkan bahwa metode hidroakustik dapat membedakan habitat karang dari substrat lunak di wilayah perairan Indonesia. Namun, hingga kini belum ada model kuantitatif yang menjelaskan hubungan antara nilai hamburan balik akustik dengan persentase tutupan karang *encrusting*. Keterbatasan ini membatasi penerapan hidroakustik untuk pemantauan karang secara detail, terutama pada skala lokal seperti di perairan Pulau Ajab.

Pulau Ajab yang termasuk dalam Kawasan Konservasi Laut Daerah (KKLD) Bintang Timur memiliki kondisi terumbu karang yang bervariasi dan dinamis, namun data akustik kuantitatif tentang karang *encrusting* di wilayah ini masih minim (DKP Provinsi Kepri, 2020; Lumbantoruan *et al.*, 2023). Penelitian dilakukan dengan tujuan untuk menganalisis karakteristik nilai hamburan balik akustik pada karang *encrusting* dan hubungan nilai tersebut dengan persentase tutupan karang *encrusting* di perairan Pulau Ajab. Hasil penelitian diharapkan dapat memberikan dasar ilmiah bagi pengembangan metode pemantauan berbasis hidroakustik serta mendukung konservasi terumbu karang yang berkelanjutan.

MATERI DAN METODE

Penelitian dilakukan di Pulau Ajab perairan Sei Enam, Kecamatan Bintang Timur, Kabupaten Bintang pada bulan Mei 2024 kemudian dilanjutkan dengan analisis parameter perairan di *Laboratorium Ocean Underwater and Remote Sensing*, Fakultas Ilmu Kelautan dan Perikanan, Universitas Maritim Raja Ali Haji Senggarang, Tanjungpinang Kota. Lokasi penelitian dapat dilihat pada gambar 1.

Penelitian ini menggunakan kapal untuk transportasi, Hand GPS untuk koordinat, kerangka besi, tali, isolasi hitam, dan kabel ties sebagai penyangga transduser. Instrumen utama meliputi Singlebeam echosounder SIMRAD EK15 untuk data akustik, CTD Valeport untuk suhu-salinitas, SCUBA, *underwater camera*, dan transek 50x50 cm untuk tutupan karang *encrusting*. Analisis data dilakukan dengan *software* MATLAB ESP3, PhotoQuad, Valeport Datalog, SPSS 26, Minitab 22, Excel 2010, ArcGIS 10.8, serta laptop dan Microsoft Word untuk pembuatan laporan.

Metode penelitian yang digunakan adalah metode survei dengan pendekatan kuantitatif dan deskriptif. Pengumpulan data dilakukan dengan metode *purposive sampling* yakni menentukan jenis karang *encrusting* yang dilakukan dengan cara pengamatan visual terhadap bentuk koloni dan struktur karang dengan menyesuaikan jenis dan ukuran sebesar ± 50 cm dengan bantuan alat penyelaman (*scuba diving*) (Hamuna *et al.*, 2014). Adapun pengumpulan data hambur balik dilakukan dengan menggunakan instrumen *scientific echosounder* SIMRAD EK-15. Tahapan perekaman data dapat dilihat pada gambar 2.

NF (*Near Field*) merupakan zona dekat transduser yang tidak digunakan dalam analisis karena sinyal akustik belum terbentuk sepenuhnya, sehingga dapat menyebabkan bias dalam pengukuran.

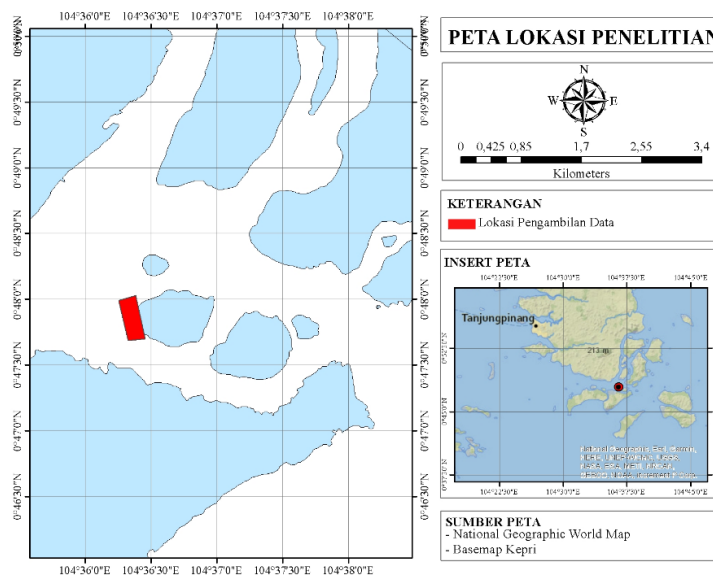
Pengolahan data hambur balik akustik diolah menggunakan software ESP3 ver 1.52 yakni dengan mencari nilai *Volume backscattering strength* (*SV*) dilakukan dengan menggunakan ambang batas (*threshold*) yang berfungsi untuk menghilangkan atau membatasi pantulan suara yang akan ditampilkan pada echogram. Pada penelitian ini *threshold* yang digunakan adalah -40 sd. 10 dB, dan data ditampilkan setiap 100 pings. Setelah itu, data yang diperoleh dikonversi menggunakan software *Microsoft excel*. Adapun rumus untuk menghitung nilai rata-rata *SV* dari karang *encrusting* dapat merujuk pada rumus yang disusulkan oleh Manik et al. (2006).

$$Sv = 10^{SV} / 10 \tag{1}$$

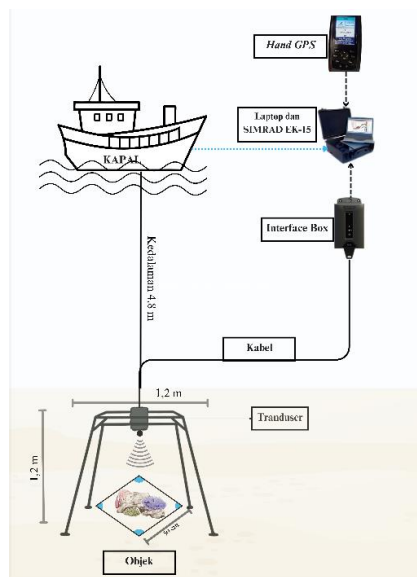
$$\overline{Sv} = \sum Sv / n \tag{2}$$

$$\overline{SV} = 10 \log \overline{Sv} \text{ (dB)} \tag{3}$$

Keterangan: *SV* = *Volume Backscattering Strength*; *Sv* = *Volume backscattering coefficient*; \overline{Sv} = *Scattering Volume linear rata-rata*; \overline{SV} = nilai rata-rata *Sv*; *n* = Jumlah sampel



Gambar 1. Peta lokasi penelitian



Gambar 2. Ilustrasi perekaman data

Selanjutnya untuk memperoleh nilai Surface Backscattering Strength (SS) dapat diketahui dengan menggunakan rumus:

$$Sv = \frac{Ss\phi}{\psi\left(\frac{c\tau}{2}\right)} \quad (4)$$

Karena pada *peak bottom* nilai $\Psi \approx \Phi$, maka persamaan (4) dapat berubah menjadi:

$$SS = \frac{c\tau}{2} Sv \quad (5)$$

$$SS [dB] = 10 \log Ss \quad (6)$$

Keterangan: SS = Surface backscattering strength (dB); Sv = Volume backscattering coefficient (in linier); Ss = Surface backscattering coefficient (in linier); ϕ = Instantaneous equivalent beam angle for surfacescattering; ψ = Equivalent beam angle for volume scattering; c = Kecepatan suara (m/s) τ : Pulse length

Pengolahan data tutupan karang menggunakan *PhotoQuad* merupakan metode yang efektif untuk menganalisis kondisi terumbu karang. *PhotoQuad* adalah teknik yang digunakan untuk mengukur persentase tutupan karang dengan cara membagi area pengamatan menjadi kuadran dan mengambil foto dari setiap kuadran tersebut dengan menggunakan *Underwater camera*.

Kemudian dilanjutkan dengan melakukan analisis regresi linier sederhana untuk menguji hubungan *Surface backscattering strength (SS)* terhadap tutupan karang *encrusting*, dengan asumsi hipotesis: H0 menyatakan bahwa kekuatan *Surface backscattering strength (SS)* tidak memiliki pengaruh yang signifikan terhadap tutupan karang, sedangkan H1 menyatakan bahwa adanya pengaruh yang signifikan. Keputusan uji didasarkan pada nilai signifikansi (p-value): H0 ditolak dan H1 diterima apabila p-value <0,05 sedangkan jika p-value >0,05 maka H0 diterima. Dalam penelitian ini, sumbu (x) menunjukkan kekuatan hambur balik permukaan (*Surface Backscattering Strength*), sedangkan sumbu (y) menggambarkan tutupan karang. Analisis regresi linier sederhana dihitung menggunakan rumus (Sugiyono, 2023) adalah sebagai berikut:

$$Y = a + bX$$

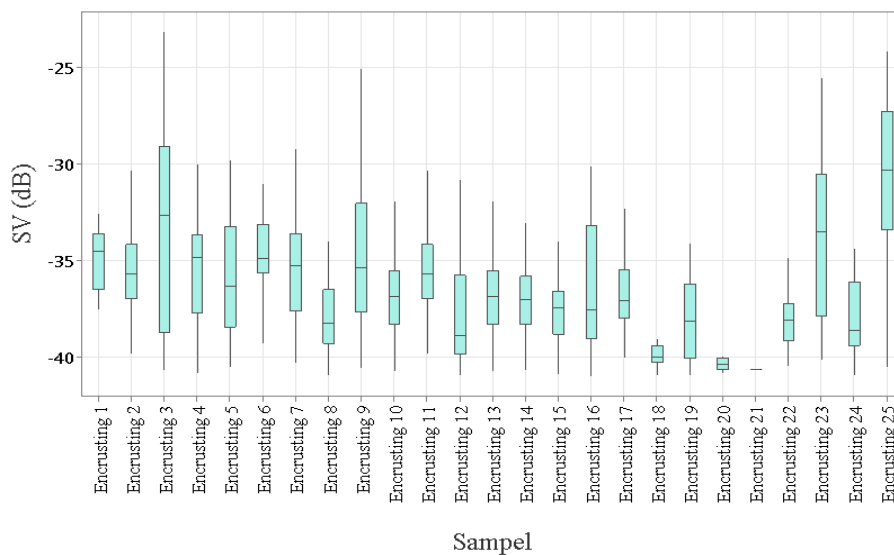
Keterangan: Y = Variabel dependen (terikat/respon); a = Konstanta; b = Koefisien regresi (slope); X = Variabel independent (bebas/prediktor)

HASIL DAN PEMBAHASAN

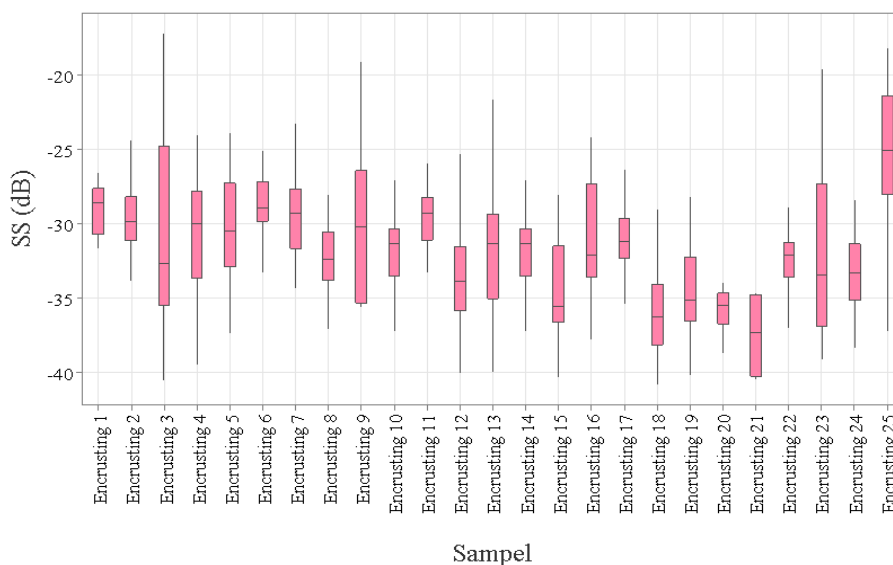
Penelitian ini menghasilkan temuan yang sangat signifikan dalam pengembangan metode hidroakustik untuk monitoring terumbu karang, khususnya karang *encrusting* di perairan Pulau Ajab, Bintang Timur. Berdasarkan hasil pengolahan data menggunakan *software ESP3*, distribusi nilai *Volume Backscattering Strength (SV)* karang *encrusting* menunjukkan rentang yang cukup luas, dengan nilai distribusi Q1 memiliki rentang nilai antara 35,61 hingga -37,60 dB, sedangkan Q2 berada pada nilai -36,02 dB dan distribusi nilai Q3 berada pada rentang nilai -36,25 hingga -40,13 dB. Dengan rata-rata nilai SV sebesar -36,18 dB, nilai maksimum sebesar -23,20 dB dan minimum dengan nilai sebesar -40,99 dB, menghasilkan selisih nilai antara nilai maksimum dan minimum sebesar -17,79 dB. Rentang ini mengindikasikan homogenitas yang signifikan dalam karakteristik akustik karang *encrusting* di lokasi penelitian, yang dapat dijelaskan oleh variasi dalam kompleksitas struktural koloni, densitas karang, kondisi kesehatan, dan persamaan komposisi spesies dalam bentuk pertumbuhan *encrusting* (Hamuna, 2015). Nilai SV yang lebih tinggi yakni -23,20 dB menunjukkan intensitas hambur balik yang lebih tinggi diduga berkaitan dengan kondisi fisik permukaan koloni dan tingkat tutupan karang, sedangkan nilai yang lebih rendah yakni -40,99 dB mengindikasikan karang dengan struktur lebih sederhana atau area dengan tutupan jarang (*sparse*) (Purnawan et al., 2025).

Transformasi nilai *Volume Backscattering Strength (SV)* menjadi *Surface Backscattering Strength (SS)* menggunakan persamaan yang mempertimbangkan kecepatan suara dan pulse

length menghasilkan distribusi nilai SS dengan range yang konsisten, dimana nilai maksimumnya adalah -17,23 dB dan minimum pada nilai sebesar -40,82 dB. Transformasi ini penting karena SS lebih merepresentasikan karakteristik permukaan substrat dasar perairan, yaitu permukaan koloni karang *encrusting*. Nilai SS tersebut sejalan dengan penelitian sebelumnya walaupun terdapat variasi kecil yang disebabkan oleh variasi life form karang, kondisi lingkungan perairan, dan spesifikasi instrumen yang digunakan (Hamuna, 2015). Karang *encrusting* memiliki morfologi yang menempel erat pada substrat dan cenderung lebih datar dibandingkan bentuk *life form* lain seperti *branching* atau *massive*, sehingga respons hambur balik akustiknya dapat berbeda. Secara teoritis, bentuk permukaan yang lebih kompleks akan menghasilkan pantulan gelombang suara yang lebih kuat dibandingkan permukaan yang lebih halus atau rendah. Selain itu, kondisi perairan seperti kedalaman, kekeruhan, sedimen tersuspensi, dan atenuasi suara juga dapat memengaruhi kekuatan sinyal akustik yang diterima. Faktor lain yang dapat memengaruhi hasil adalah spesifikasi instrumen, seperti frekuensi, sudut pancar, panjang pulsa, dan sensitivitas alat echosounder. Variasi parameter alat dapat menyebabkan perbedaan nilai *backscatter*, meskipun objek yang diukur sama.



Gambar 3. Boxplot nilai SV (dB) karang *encrusting*



Gambar 4. Boxplot nilai SS (dB) karang *encrusting*

Perbedaan karakteristik akustik ini dapat dijelaskan oleh beberapa faktor: pertama, life form karang yang berbeda memiliki karakteristik akustik yang distinct, dimana karang massive dan branching umumnya menghasilkan nilai SS lebih tinggi dibandingkan *encrusting* karena kompleksitas struktural tiga dimensi yang lebih tinggi (Hamuna et al., 2018). Kedua, karang *encrusting* memiliki profil yang lebih rendah dan menempel erat pada substrat, sehingga menghasilkan signature akustik yang berbeda dengan life form yang lebih tegak. Ketiga, kondisi lingkungan perairan seperti turbiditas, sedimentasi, dan kedalaman dapat mempengaruhi atenuasi sinyal akustik (Menandro et al., 2024; Moustafa et al., 2025).

Perbandingan dengan penelitian-penelitian terbaru di Indonesia menunjukkan konsistensi yang baik. Penelitian Lumbantoruan et al. (2023) dan Fitria Dona et al. (2018) tentang kondisi terumbu karang di Kepulauan Riau menunjukkan bahwa kondisi terumbu karang dapat bervariasi antarwilayah, yang dapat dilihat dari perbedaan tutupan dan struktur karang pada masing-masing lokasi. Penelitian Hadi et al. (2020) mengonfirmasi bahwa karang *encrusting* memiliki peran penting dalam maintaining reef structure di area dengan tekanan lingkungan tinggi, yang konsisten dengan temuan nilai backscatter yang bervariasi dalam penelitian ini. Purnawan et al. (2025) dalam penelitiannya menemukan bahwa kompleksitas habitat karang berbanding lurus dengan nilai refleksi akustik yang dihasilkan, mendukung interpretasi bahwa nilai SS yang lebih tinggi mengindikasikan struktur karang yang lebih kompleks.

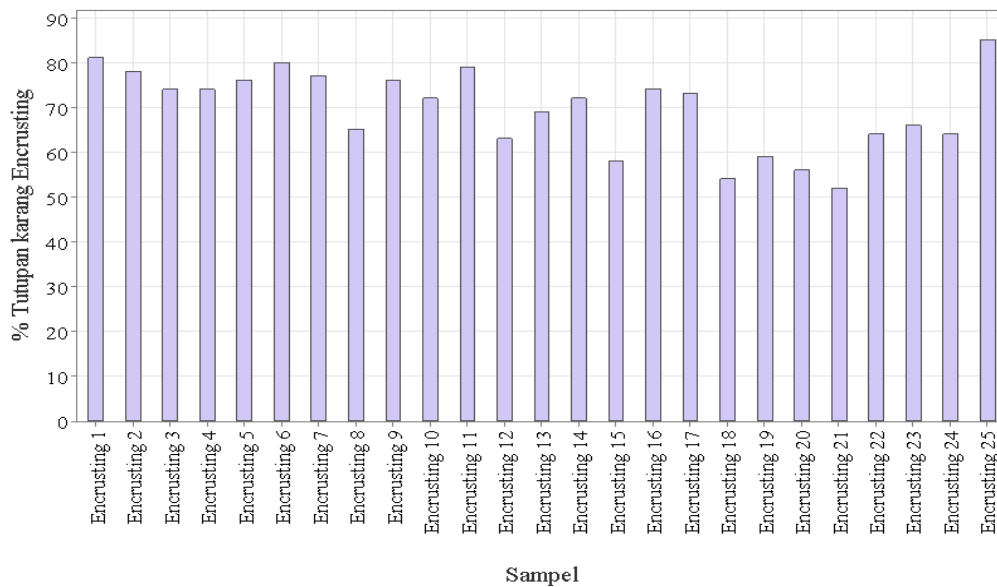
Analisis persentase tutupan karang *encrusting* menggunakan Photo Quad menghasilkan variasi yang sangat signifikan, dengan nilai tertinggi pada stasiun 25 sebesar 85% dan terendah pada stasiun 21 sebesar 52%, menghasilkan range 50%. Variasi yang luas ini mengindikasikan heterogenitas habitat yang tinggi dalam area studi, yang dapat disebabkan oleh beberapa faktor ekologi dan lingkungan (Giyanto, 2017). Stasiun dengan tutupan tinggi >70% kemungkinan merepresentasikan habitat yang optimal untuk pertumbuhan karang *encrusting*, dengan kondisi lingkungan yang stabil, substrat keras yang cocok, dan tekanan antropogenik yang minimal. Sebaliknya, stasiun dengan tutupan rendah <50% mungkin mengalami tekanan lingkungan seperti sedimentasi tinggi, kompetisi dengan alga, atau gangguan fisik dari aktivitas manusia (Hasbi et al., 2022).

Distribusi tutupan yang tidak merata ini juga mencerminkan pola patch dynamics yang khas dalam ekologi terumbu karang, dimana karang *encrusting* cenderung mendominasi area-area tertentu dengan kondisi microhabitat yang sesuai (Adalya & Mutaqin, 2022; Jöst et al., 2025). Penelitian Wulandari et al. (2022) menunjukkan bahwa distribusi spasial karang di perairan Indonesia sangat dipengaruhi oleh gradien lingkungan seperti kedalaman, gelombang, dan substrat. Giyanto (2014) menemukan bahwa karang *encrusting* mampu bertahan dan menyebar di area yang mengalami tingkat sedimentasi sedang dibandingkan dengan life form lainnya sehingga berpotensi menghasilkan pola penutupan karang yang lebih tinggi atau stabil.

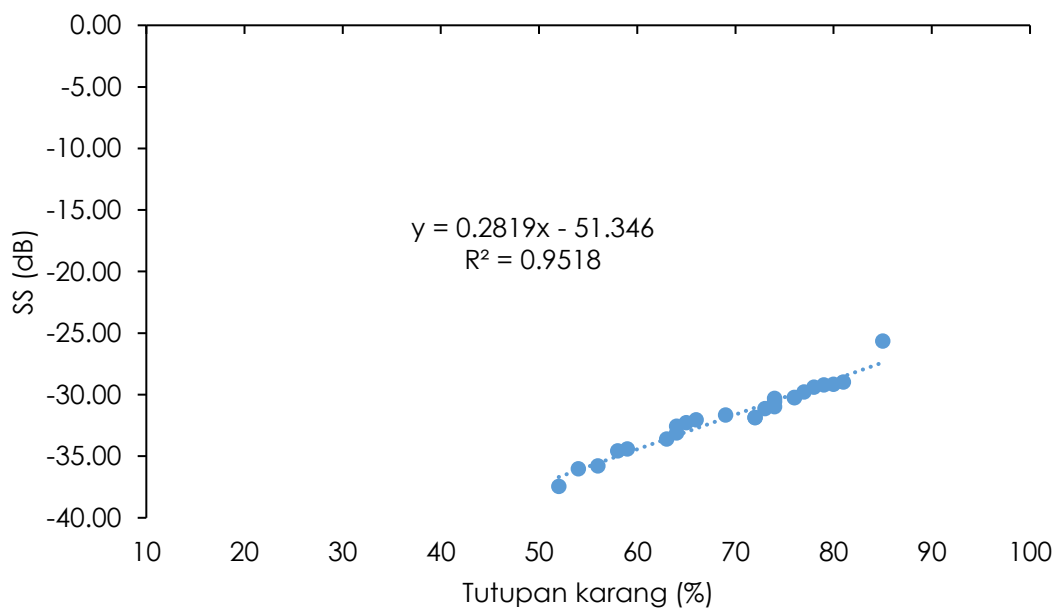
Sebelum analisis regresi dilakukan, data diuji homogenitas untuk memastikan keseragaman varians. Hasil uji Levene menunjukkan nilai signifikansi 0,125 ($p\text{-value} > 0,05$) sehingga data dinyatakan homogen dan memenuhi syarat dasar analisis regresi linear. Selanjutnya hasil analisis ANOVA menunjukkan nilai F hitung sebesar 475,103 > F tabel sebesar 4.28 dengan signifikansi 0,000 ($p\text{-value} < 0,05$), yang menegaskan bahwa model regresi signifikan secara statistik. Sehingga dapat disimpulkan bahwa nilai *Surface Backscattering Strength (SS)* berpengaruh secara signifikan terhadap tutupan karang *encrusting*.

Analisis regresi linear sederhana menghasilkan persamaan $y = 0,2819x - 51,346$ dengan koefisien determinasi (R^2) sebesar 0,9518 atau 95%. Persamaan ini menunjukkan hubungan positif antara tutupan karang *encrusting* (x) dan nilai SS (y), yang berarti setiap peningkatan satu satuan persentase tutupan karang *encrusting* akan meningkatkan nilai SS sebesar 0,2819%. Slope positif ini konsisten dengan teori akustik yang menyatakan bahwa semakin tinggi densitas dan kompleksitas struktur target, semakin tinggi pula intensitas backscatter yang dihasilkan (Manik et al., 2006). Memiliki nilai determinasi sebesar 95%, dapat dinyatakan bahwa hubungan ini signifikan dan konsisten

dengan teori bahwa kompleksitas struktur karang encrusting meningkatkan intensitas backscatter. Variasi sisanya dipengaruhi oleh faktor lain seperti jenis substrat, topografi, dan kondisi biotik (Kurniawan et al., 2021). Nilai R² yang moderat menggambarkan kompleksitas ekosistem terumbu karang, di mana banyak faktor berinteraksi memengaruhi respons akustik (Ma'mun et al., 2017). Faktor seperti komposisi spesies, umur dan kesehatan koloni, serta tipe substrat memberi kontribusi terhadap variasi sinyal (Hasbi et al., 2022). Penelitian sebelumnya menegaskan bahwa perubahan pada parameter fisik, kimia, dan biologis karang dapat mengubah reflektansi akustik, yang tidak sepenuhnya tercermin melalui pengukuran tutupan visual semata (Hamuna et al., 2015).



Gambar 5. Persentase tutupan karang encrusting di Pulau Ajab



Gambar 6. Hasil analisis regresi linear sederhana

KESIMPULAN

Metode hidroakustik Simrad EK-15 efektif untuk mengidentifikasi karakteristik akustik karang *encrusting* di Pulau Ajab. Nilai SS berpengaruh secara signifikan terhadap persentase tutupan karang *encrusting* dengan model regresi $y = 0,2819x - 51,546$ dan koefisien determinasi 95%. Hasil ini menegaskan bahwa hambur balik akustik berpotensi digunakan sebagai indikator kuantitatif dalam pemantauan terumbu karang secara non-invasif. Penelitian selanjutnya disarankan dapat menambah jumlah stasiun pengamatan, melakukan kalibrasi instrumen secara ketat, serta mengintegrasikan data akustik dengan parameter lingkungan untuk meningkatkan ketepatan model hubungan antara SS dan tutupan karang *encrusting*.

DAFTAR PUSTAKA

- Adalya, N. M., & Mutaqin, B. W. (2022). Modeling of hydro-oceanographic parameters and its possible impact on coral reef cover in Derawan Island waters, East Kalimantan, Indonesia. *Modeling Earth Systems and Environment*, 8(3), 4191–4203. doi: 10.1007/s40808-022-01355-0
- Dinas Kelautan dan Perikanan Kabupaten Bintan. (2020). *Rencana strategis*. Dinas Kelautan dan Perikanan Kabupaten Bintan.
- Giyanto. (2014). *Panduan monitoring kesehatan terumbu karang: Terumbu karang, ikan karang, megabenthos, dan penulisan laporan*. Pusat Penelitian Oseanografi LIPI.
- Giyanto, Muhammad, A., Hadi, T. A., Budiyo, A., Hafizt, M., Salatalohy, A., & Iswari, M. Y. (2017). *Status terumbu karang Indonesia 2017* (Suharsono, Ed.). Pusat Penelitian Oseanografi LIPI.
- Hadi, T. A., Abrar, M., Giyanto, Prayudha, B., Johan, O., Budiyo, A., Alifatri, L. O., Sulha, S., & Suharsono. (2020). *The status of Indonesian coral reefs 2019*. Research Center for Oceanography (RCO) & Coral Reef Rehabilitation and Management Program–Coral Triangle Initiative (COREMAP–CTI).
- Hamuna, B., Pujiyati, S., & Hestirianoto, T. (2014). Karakterisasi pantulan akustik karang menggunakan echosounder single beam. *Jurnal Integrasi*, 6(2), 129–133.
- Hamuna, B., Pujiyati, S., Hestirianoto, T., & Dimara, L. (2018). Analisis hambur balik akustik untuk klasifikasi dan pemetaan substrat dasar perairan di Teluk Yos Sudarso, Kota Jayapura. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis*, 10(2), 291–300. doi: 10.29244/jitkt.v10i2.24045
- Hamuna, B., Pujiyati, S., & Hestirianoto, T. (2015). Hambur balik akustik beberapa tipe karang menggunakan echosounder single beam. *The Journal of Fisheries Development*, 2(3).
- Hasbi, M., Alajuri, S., Manik, H. M., & Pujiyati, S. (2022). Pengukuran dan analisis nilai volume backscattering strength perairan Pulau Tidung menggunakan single beam echosounder. *Jurnal Kelautan Nasional*, 17(1), 59–70. doi: 10.15578/jkn.v17i1.10693
- Jöst, A. B., Perrois, G., Pons, L., Choi, S. K., Go, S., & Kim, T. (2025). Peculiar morphology of *Montipora millepora* reveals interspecific competition for space among two other major foundation species in Jeju waters, South Korea. *Diversity*, 17(6), 398. doi: 10.3390/d17060398
- Kurniawan, D., Febrianto, T., & Putra, R. D. (2021). The coral reef health index in Teluk Sebung, Bintan Island. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 763(1), 012066. doi: 10.1088/1755-1315/763/1/012066
- Lumbantoruan, L. H., Noviyanti, R., & Gigentika, S. (2023). Kondisi pengelolaan kawasan konservasi perairan Bintan Provinsi Kepulauan Riau. *Jurnal Akuatiklestari*, 7(1), 8–22. doi: 10.31629/akuatiklestari.v7i1.6212
- Ma'mun, A., Manik, H. M., & Hestirianoto, T. (2017). Rancang bangun algoritma dan aplikasinya pada akustik single beam untuk pendeteksian bawah air. *Jurnal Teknologi Perikanan dan Kelautan*, 4(2), 173–183. doi: 10.24319/jtpk.4.173-183
- Manik, H. M., Furusawa, M., & Amakasu, K. (2006). Measurement of sea bottom surface backscattering strength by quantitative echo sounder. *Fisheries Science*, 72(3), 503–512. doi: 10.1111/j.1444-2906.2006.01178.x
- Menandro, P. S., Vieira, F. V., Bastos, A. C., & Brown, C. J. (2024). Exploring the multispectral acoustic response of reef habitats. *Frontiers in Remote Sensing*, 5. doi: 10.3389/frsen.2024.1490741

- Moustafa, M., El-Gharabawy, S., Hamouda, A., El Maghraby, M., & Abdel-Fattah, T. (2025). Monitoring coral reefs by remote sensing techniques and acoustic data as a ground truth reference in Hurghada, Red Sea, Egypt. *Egyptian Journal of Aquatic Research*, 51(3), 352–359. doi: 10.1016/j.ejar.2025.05.008
- Purnawan, S., Manik, H. M., Hestirianoto, T., Amri, K., & Kang, M. (2025). Seabed classification of coral reef environments using 200 kHz single-beam echosounder and machine learning techniques. *Egyptian Journal of Aquatic Research*, 51(3), 341–351. <https://doi.org/10.1016/j.ejar.2025.06.001>
- Subhan, B., Arafat, D., Sari, P. F. P., Khairudi, D., & Aisyah, S. Z. (2023). Upaya meningkatkan keberhasilan rehabilitasi terumbu karang yang berkelanjutan di kawasan konservasi laut. *Policy Brief Pertanian, Kelautan, dan Biosains Tropika*, 5(3). doi: 10.29244/agro-maritim.050308
- Sugiyono. (2023). *Metode penelitian kuantitatif, kualitatif, dan R&D*. Alfabeta.
- Wulandari, S., Nursyahrani, N., Hidayani, M. T., & Nurwina, N. (2022). Kondisi tutupan karang perairan Kepulauan Tanakeke Kabupaten Takalar. *Lutjanus*, 27(1), 15–20. doi: 10.51978/jlpp.v27i1.449