

**ANALISIS DISTRIBUSI DAN DENSITAS IKAN DI LAUT BANGGAI MENGGUNAKAN METODE HIDROAKUSTIK DAN VISUALISASI GIS-DASHBOARD**

**ANALYZING FISH DISTRIBUTION AND DENSITY IN BANGGAI SEA USING HYDROACOUSTIC METHOD AND GIS-DASHBOARD VISUALIZATION**

**Alivio Windra<sup>1</sup>, Henry Munandar Manik<sup>2\*</sup>, dan Lili Somantri<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Program Studi Sains Informasi Geografi, FPIPS, Universitas Pendidikan Indonesia, Bandung  
Jl. Dr. Setiabudi No.229, Isola, Kec. Sukasari, Kota Bandung, Jawa Barat 40154

<sup>2</sup>Departemen Ilmu dan Teknologi Kelautan, FPIK, Institut Pertanian Bogor, Bogor  
Jl. Raya Dramaga, Babakan, Kec. Dramaga, Kabupaten Bogor, Jawa Barat 16680

Teregistrasi I tanggal: 18 Juli 2023; Diterima setelah perbaikan tanggal: 26 Maret 2024;  
Disetujui terbit tanggal: 26 Mei 2024

**ABSTRAK**

Estimasi stok ikan berupa distribusi dan densitasnya, sangat penting untuk manajemen perikanan tangkap suatu kawasan perairan. Teknologi hidroakustik umumnya digunakan untuk mengestimasi stok ikan secara *real time*. Pada tahun 2022, BRIN dan IPB melakukan pengukuran data akustik di Laut Banggai sebagai bagian dari “*Banggai Upwelling Dynamics Exploration and Experiment*” untuk mengestimasi stok ikan. Hasil analisis hidroakustik menunjukkan, total densitas ikan di Laut Banggai adalah 527.914 ikan km<sup>-2</sup>. Ikan berukuran sangat kecil (< 12 cm) memiliki densitas tertinggi yakni 292.471 ikan km<sup>-2</sup>, sedangkan ikan berukuran kecil (12 cm - 28 cm) dan berukuran besar (28 cm - 58 cm) masing-masing memiliki densitas 98.472 ikan km<sup>-2</sup> dan 124.519 ikan km<sup>-2</sup>. Ikan berukuran sangat besar (> 58 cm) hanya memiliki densitas 12.452 ikan km<sup>-2</sup>. Ikan lebih banyak ditemukan di perairan timur Pulau Banggai dan perairan utara Pulau Taliabu. Lapisan epipelagik (0 hingga -200 meter) memiliki potensi terbesar, dengan densitas ikan tertinggi pada kategori ikan berukuran sangat kecil, diikuti oleh ikan berukuran besar dan berukuran kecil. Untuk meringkas hasil analisis distribusi dan densitas ikan, data dan informasi divisualisasikan lewat GIS-Dashboard. Dashboard dapat mengintegrasikan tampilan peta serta grafik, dan menyajikan informasi dengan lebih menarik dan lebih mudah dipahami. Dashboard memberikan gambaran menyeluruh tentang informasi distribusi spasial ikan di Laut Banggai, sehingga penggunaan GIS-Dashboard sangat bermanfaat dalam kegiatan manajemen perikanan.

**Kata Kunci: Banggai; densitas ikan; GIS-dashboard; hidroakustik**

**ABSTRACT**

*Estimating fish stocks, including their distribution and density, plays a vital role in the management of capture fisheries. Hydroacoustic technology is widely utilized for fish stock estimation in real time. In 2022, BRIN and IPB University conducted hydroacoustic data measurement in the Banggai Sea as part of the “Banggai Upwelling Dynamics Exploration and Experiment” to estimate fish stocks. According to the analysis, the total fish density in the Banggai Sea is 527.914 fish km<sup>-2</sup>. Very small fish (<12 cm) is estimated to have the highest density at 292.471 fish km<sup>-2</sup>, while small (12 to 28 cm) and large fish (28 to 58 cm) have densities of 98.472 fish km<sup>-2</sup> and 124.519 fish km<sup>-2</sup>, respectively. Very large fish (>58 cm) have a density of only 12.452 fish km<sup>-2</sup>. The spatial distribution of fish predominantly occurs in the eastern waters of Banggai Island and the northern waters of Taliabu Island. The most significant potential is the epipelagic layer (0 to -200 meters), with very small-sized fish having the highest density, followed by large-sized and small-sized fish. To summarize the analysis results of fish distribution and density, a GIS-Dashboard is utilized. This online platform integrates various maps and charts, offering an engaging and easily understandable visualization of the information. The GIS-Dashboard provides a comprehensive overview of the spatial distribution of fish in the Banggai Sea, serving as a valuable tool for fisheries management.*

**Keywords: Banggai; fish density; GIS-dashboard; hydroacoustic**

## Pendahuluan

Kawasan Laut Banggai termasuk ke dalam Wilayah Pengelolaan Perikanan Nasional Republik Indonesia 715 (WPP NRI 715) yang meliputi perairan Teluk Tomini, Laut Maluku, Laut Halmahera, Laut Seram dan Teluk Berau. Kawasan ini berada di Laut Maluku sebelah timur wilayah Provinsi Sulawesi Tengah dan berbatasan dengan Kabupaten Banggai, Banggai Laut, dan Banggai Kepulauan. Merujuk kepada Keputusan Menteri Kelautan dan Perikanan Nomor 82/KEPMEN-KP/2016 Tahun 2016 Tentang Rencana Pengelolaan Perikanan Wilayah Pengelolaan Perikanan Negara Republik Indonesia 715, jenis ikan dominan yang ditemukan di WPP NRI 715 adalah Cakalang (*Katsuwonus pelamis*), Layang (*Decapterus* spp.), Madidihang (*Thunnus albacares*), Teri (*Stolephorus* spp.) dan Selar (*Selaroides* spp.). Potensi perikanan tangkap di WPP NRI 715 sendiri mencapai 1,2 juta ton serta hasil perikanan tangkap di Provinsi Sulawesi Tengah Mencapai 165.403,77 ton di tahun 2021 (KKP, 2023).

Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN) dan IPB University mengadakan survei kelautan "Banggai Upwelling Dynamics Exploration and Experiment 2022". Survei ini diadakan untuk melacak jejak fenomena upwelling di Laut Banggai dan merekam data hidroakustik perikanan untuk estimasi stok ikan. Fenomena upwelling merupakan salah satu fenomena alam yang mempengaruhi hasil tangkap di laut (Doko Raditya et al., 2013). Fenomena upwelling ditandai dengan suhu yang rendah, salinitas yang tinggi, dan densitas klorofil yang tinggi (Ma'mun et al., 2018). Secara sederhana fenomena ini membawa air yang lebih dingin dan lebih kaya nutrien yang merupakan makanan ikan ke permukaan laut, sehingga sumber daya ikan akan terkonsentrasi di sana dan jika estimasi stok ikan dilakukan akan semakin baik hasilnya.

Estimasi stok ikan atau kelimpahan ikan dapat dilakukan dengan menggunakan metode hidroakustik, ini telah dilakukan pada banyak penelitian terdahulu (Achmadi et al., 2014; Dwigothammy, 2022; Hidayat et al., 2019; Ma'mun et al., 2021; Manik et al., 2018; Panggabean & Rauzatul Nazzla, 2022). Namun saat ini belum ada kajian estimasi stok ikan yang dilakukan di kawasan Laut Banggai secara spesifik dengan metode hidroakustik. Analisis estimasi stok ikan berdasarkan metode hidroakustik dilakukan dengan menganalisis nilai Area Backscattering Coefficient (Sa) yang menghasilkan densitas organisme per luasan area (Dwigothammy, 2022; Ma'mun et al., 2021). Selain itu, dengan data hidroakustik lokasi sebaran individu ikan yang terekam dapat divisualisasikan distribusi spasial dan densitasnya berdasarkan ukuran ikan, waktu, serta kedalaman (Farhan et al., 2023; Ma'mun et al., 2021; Manik et al., 2018; Panggabean & Rauzatul Nazzla, 2022).

Dalam perhitungan densitas ikan secara akustik, dibutuhkan proses echo integration yang dilakukan pada nilai Volume Scattering Strength (SV) agar bisa memperoleh nilai densitas ikan. Nilai Area Backscattering Coefficient

(Sa) merupakan turunan dari nilai SV hasil echo integration yang digunakan untuk memperoleh nilai densitas ikan. SV diperoleh dari pengolahan nilai Target Strength (TS) hasil pengukuran alat Split Beam Echosounder. TS merupakan nilai pantulan balik objek secara tunggal (single target) ikan dan SV merupakan nilai pantulan balik dari sekelompok ikan. Baik SV ataupun TS merupakan nilai logaritmik dengan satuan desibel (dB), sehingga untuk melakukan perhitungan perlu dilakukan konversi ke bentuk linearnya terlebih dahulu. Nilai densitas ikan yang dihasilkan dapat berupa ikan per meter persegi (ikan  $m^{-2}$ ) ataupun ikan per kilometer persegi (ikan  $km^{-2}$ ). Hasil dari perhitungan distribusi dan densitas ikan biasanya divisualisasikan dalam bentuk tabel, grafik, dan peta.

Dari penelitian yang pernah ada, data-data hasil olahan (tabel, grafik, dan peta) sangat banyak dan kompleks (Dwigothammy, 2022; Ma'mun et al., 2021; Manik et al., 2018; Manik & Nurkomala, 2016; Panggabean & Rauzatul Nazzla, 2022) sehingga butuh visualisasi yang lebih baik dan dinamis untuk memudahkan penyampaian hasil analisis. Di antara output yang dihasilkan pada penelitian sebelumnya adalah tabel dan grafik hasil perhitungan estimasi distribusi dan densitas ikan per kedalaman, peta distribusi ikan berdasarkan kedalaman dan waktu, lalu peta densitas ikan berdasarkan kedalaman dan waktu. Kompleksitas ini dapat diakali dengan Sistem Informasi Geografis, yakni berupa GIS-Dashboard (Lata et al., 2022). Sistem Informasi Geografis (SIG) ialah sebuah sistem atau teknologi berbasis komputer yang dibangun dengan tujuan untuk mengumpulkan, menyimpan, mengolah, dan menganalisis serta menyajikan informasi dari suatu objek atau fenomena yang berkaitan dengan lokasinya di permukaan bumi (Somantri, 2022).

Dashboard merupakan metode visualisasi data yang populer dan memiliki kelebihan dalam hal manajemen data yang divisualisasikan (Lata et al., 2022). Dengan dashboard, presentasi visual dari data dilakukan lewat layanan internet, sehingga pengguna atau penonton dapat berinteraksi langsung dengan data yang divisualisasikan (Bobylev, 2023). GIS-Dashboard dapat menampilkan data-data spasial bersamaan dengan data non-spasial, sehingga dalam satu laman semua informasi hasil analisis dapat dimuat dan diakses oleh pengguna (Pelletier, 2023). Selain peta, data non-spasial lainnya dapat ditampilkan dengan diagram, plot, histogram dan grafik lainnya (Bobylev, 2023) sehingga lebih mudah untuk dipahami.

Penelitian ini bertujuan untuk mengestimasi densitas ikan di kawasan Laut Banggai menggunakan data hidroakustik hasil pengukuran echosounder oleh BRIN dan IPB University. Metode hidroakustik digunakan untuk mengestimasi nilai densitas ikan dan sebuah GIS-Dashboard juga dirancang untuk menampilkan hasil perhitungan estimasi densitas ikan. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi mengenai kelimpahan ikan di kawasan Laut Banggai sehingga dapat bermanfaat bagi pemangku kebijakan dalam merencanakan

kegiatan di sekitar Laut Banggai dan bermanfaat pula bagi pelaku ekonomi perikanan tangkap dan masyarakat luas. Integrasi antara metode Hidroakustik dan visualisasi GIS-Dashboard juga diharapkan memberikan wawasan baru bagi praktisi dibidang perikanan khususnya estimasi stok ikan di laut.

**Bahan dan Metode**

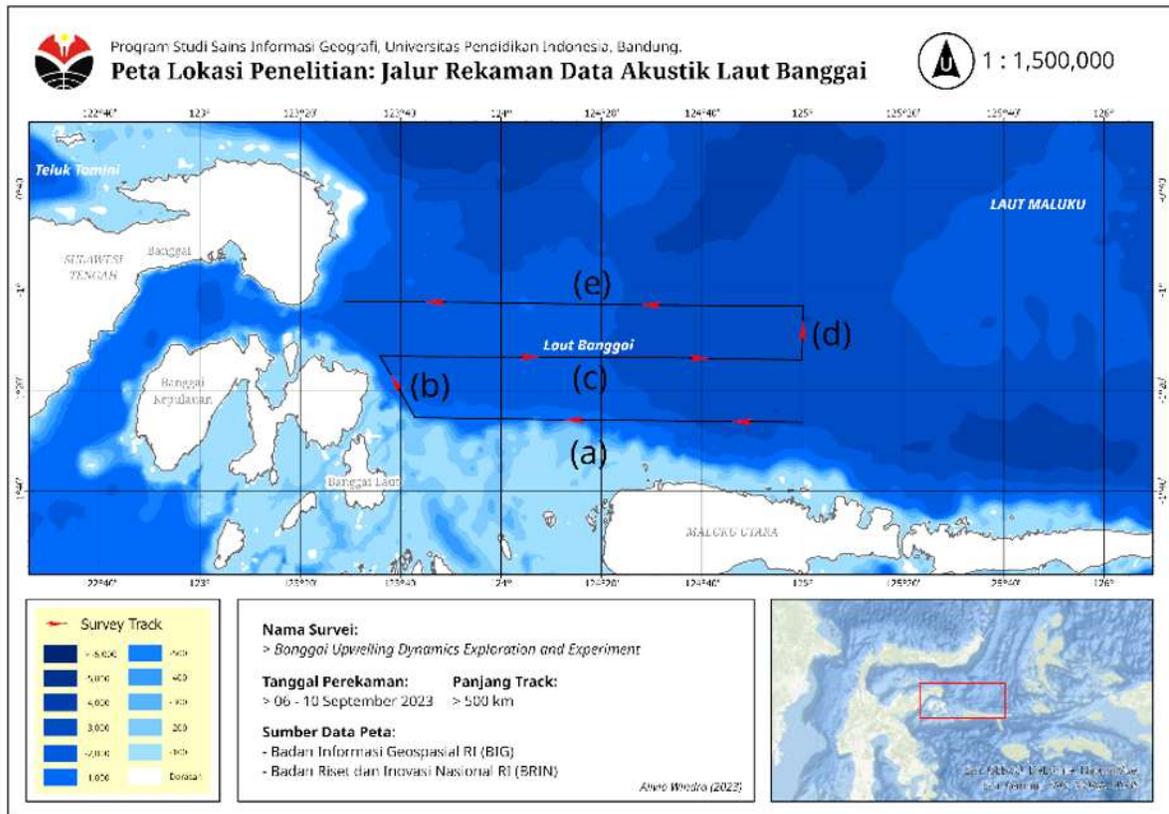
**Lokasi penelitian**

Lokasi dari penelitian ini adalah kawasan Laut Banggai. Laut Banggai merupakan perairan yang lebih kecil di Laut Maluku. Kawasan Laut Banggai berbatasan dengan Kabupaten Banggai, Banggai Laut, dan Banggai Kepulauan di Provinsi Sulawesi Tengah, serta berbatasan pula dengan Kabupaten Kepulauan Sula dan Pulau Taliabu di Provinsi Maluku Utara. Laut ini memiliki kedalaman hingga 4.000 m di bawah permukaan laut. Kawasan ini masuk ke dalam WPP NRI 715 yang mencakup enam provinsi yakni Sulawesi Tengah, Gorontalo, Sulawesi Utara, Maluku, Maluku Utara, Papua Barat, dan Papua Barat Daya. Track pelayaran yang dianalisis pada penelitian ini dibagi menjadi jalur (a), (b), (c), (d), dan (e) (Gambar 1). Pembagian segmen track diurutkan berdasarkan waktu dan arah jalur pelayaran kapal.

**Data dan alat penelitian**

Data utama yang digunakan untuk analisis dalam penelitian ini, yakni data hidroakustik, bersumber dari hasil dari pengukuran pada kegiatan Survei Banggai Upwelling Dynamics Exploration and Experiment (BUDEE) 2022 pada tanggal 4-18 September 2022 di Laut Banggai. Data hidroakustik ini direkam menggunakan instrumen SIMRAD-EK60 Scientific Echosounder bertipe Split-beam Windows (TM) yang dikhususkan untuk kegiatan fish stock assessment (Kongsberg, 2021). Hasil pengukuran sepanjang jalur survei berupa data akustik dengan format [.RAW] dengan frekuensi 120 kHz. Frekuensi ini dipilih karena memberikan resolusi yang lebih detail karena panjang gelombangnya yang pendek. Perekaman hidroakustik dilakukan terus menerus secara kontinu selama kapal berlayar mengikuti track/lintasan yang telah direncanakan tanpa perekaman stationary. Akibatnya data hidroakustik yang digunakan di setiap lokasi perekaman tidak memiliki waktu perekaman yang sama, pada beberapa tempat direkam saat siang hari dan pada beberapa tempat lainnya direkam saat malam hari.

Data akustik diolah menggunakan aplikasi dengan lisensi terbuka (open source) Echo Sounder Package generasi ketiga atau ESP3 (<https://sourceforge.net/>



Gambar 1. Peta Lokasi Penelitian  
Figure 1. Research Location Map

projects/esp3/). ESP3 merupakan aplikasi pengolah data akustik yang dikembangkan oleh lembaga National Institute of Water and Atmospheric Research (NIWA), Selandia Baru (Ladroit et al., 2020). Aplikasi ini dapat digunakan secara bebas untuk berbagai pengolahan data akustik seperti kajian mengenai bocoran gas dari patahan bawah air (Johnson et al., 2022; Turco et al., 2022), kelimpahan organisme laut (Bandara et al., 2022; Escobar-Flores et al., 2022; Xue et al., 2021), dan kajian lainnya dalam lingkup ilmu hidroakustik (Della Penna et al., 2022; Jessica Perelman et al., 2022; Perelman et al., 2023).

**Analisis data**

Informasi distribusi dan densitas ikan didapatkan dari hasil pengolahan data akustik berupa pengolahan echo integration. Pengolahan diawali dengan pre-processing pada data akustik berupa noise filtering, bad data detection, hingga bottom detection. Deteksi dilakukan pada kedalaman 0 hingga -500 m (dibawah referensi transducer sebesar -2 m). Proses ini dilakukan pada aplikasi ESP3. Densitas ikan didapatkan dari persamaan (1), sehingga tahapan perhitungan untuk mendapatkan estimasi densitas ikan menggunakan data survei akustik perikanan adalah sebagai berikut (McLennan & Simmonds, 2005, dalam Perangin-angin et al., 2017):

$$\rho A = \left( \frac{Sa}{\sigma_{bs}} \right) \times 10^6 \dots\dots\dots (1)$$

$\rho A$  = Estimasi Densitas Ikan (ikan km<sup>-2</sup>)  
 $Sa$  = Area Backscattering Coefficient (m<sup>2</sup> m<sup>-2</sup>)  
 $\sigma_{bs}$  = Rata-Rata Backscattering Cross Section (m<sup>2</sup>)

Nilai  $Sa$  diperoleh dari persamaan (2):

$$Sa = 10^{\left( \frac{SV}{10} \right)} \times \bar{T} \dots\dots\dots (2)$$

$Sa$  = Area Backscattering Coefficient (m<sup>2</sup> m<sup>-2</sup>)  
 $\bar{SV}$  = Rata-rata Volume Backscattering Coefficient (m<sup>-1</sup>)  
 $\bar{T}$  = Rata-Rata ketebalan kolom air (m)

Adapun nilai  $\sigma_{bs}$  dan  $\bar{SV}$  merupakan rata-rata dari  $SV$  dan  $\sigma_{bs}$  yang diperoleh dari persamaan (3) dan (4):

$$SV = 10^{\left( \frac{SV}{10} \right)} \dots\dots\dots (3)$$

$SV$  = Volume Backscattering Coefficient (m<sup>-1</sup>)  
 $SV$  = Volume Backscattering Strength (dB re 1 m<sup>-2</sup>)

$$\sigma_{bs} = 10^{\left( \frac{TS}{10} \right)} \dots\dots\dots (4)$$

$\sigma_{bs}$  = Rata-Rata Backscattering Cross Section (m<sup>2</sup>)  
 $\bar{TS}$  = Rata-Rata Target Strength (dB re 1 m<sup>2</sup>)

Nilai  $SV$  dan  $\bar{TS}$  merupakan nilai logaritmik (dB) yang didapatkan dari data hasil pengukuran. Setiap perhitungan data akustik harus dikonversi dan menggunakan bentuk linearnya. Pengolahan echo integration pada aplikasi ESP3

menghasilkan parameter  $\bar{TS}, \bar{SV}, \& Sa$  beserta parameter lainnya dengan keluaran file [.csv], sehingga perhitungan nilai  $\rho A$  dapat dilakukan pada aplikasi Microsoft Excel berdasarkan persamaan sebelumnya. Pengaturan threshold dari nilai  $SV$  saat proses echo integration diatur pada nilai -60 dB. Elementary Distance Sampling Unit (EDSU) atau ukuran acoustic survey horizontal bin diatur setiap panjang 500 m dan setiap kedalaman -10 m. Echo integration dilakukan pada kedalaman 0 hingga -500 m (dengan toleransi transducer sebesar -2 m). Dennerline et al. (2012) menjelaskan target strength dari ikan berkisar antara -70 dB hingga -20 dB sedangkan untuk plankton lebih rendah (Manik & Nurkomala, 2016), lalu jika merujuk Costa et al. (2014) maka nilai -50 dB akan mendeteksi ikan hingga panjang sekitar 6 cm.

Setelah distribusi dan densitas ikan didapatkan, data-data hasil pengolahan divisualisasikan dengan tabel, grafik, dan peta baik secara total ataupun berdasarkan ukuran ikan, waktu, dan kedalaman. Hasil perhitungan dikategorikan berdasarkan panjang cagak (forklength) ikan yakni kategori sangat kecil (< 12 cm), kecil (12 cm - 28 cm), besar (28 cm - 58 cm), sangat besar (> 58 cm). Klasifikasi ini dihasilkan dari hubungan antara nilai target strength dengan panjang ikan oleh Foote, (1987) dalam Panggabean & Rauzatul Nazzla (2022). Selain itu pada peta distribusi ikan nilai kelimpahan diklasifikasikan menjadi "ikan kecil" yakni densitas ikan dengan nilai  $\bar{TS} < -44$  dB dan "ikan besar" merupakan densitas ikan dengan nilai  $\bar{TS} > -44$  dB. Klasifikasi ini merujuk (Ma'mun et al., 2018) yang meneliti sebaran ikan pelagi di WPP NRI 715. Hasil akhir divisualisasikan dengan dashboard menggunakan layanan ArcGIS Online untuk publikasi peta online dan ArcGIS Dashboard untuk publikasi dashboard (ESRI, 2024), serta layanan Google Sheets untuk publikasi grafik (Google, 2024).

**Hasil dan Bahasan**  
**Hasil**

Peta densitas ikan hasil echo integration ditampilkan per strata kedalaman -100 m (Gambar 2). Terdapat 5 kelas densitas yakni [0 - 10 km<sup>-2</sup>], [10 - 100 km<sup>-2</sup>], [100 - 1.000 km<sup>-2</sup>], [1.000 - 10.000 km<sup>-2</sup>], dan [10.000 - 100.000 km<sup>-2</sup>] yang berwarna transparan. Pada peta, densitas tertinggi terdapat pada strata -100 m, terlihat sebaran spasialnya cenderung berada di utara Pulau Taliabu Maluku Utara dan timur Pulau Banggai, Sulawesi Tengah. Kelas densitas ikan yang muncul secara dominan pada strata -100 m adalah [1.000 - 10.000 km<sup>-2</sup>]. Delapan dari 10 kelas densitas tertinggi, yakni [10.000 - 100.000 km<sup>-2</sup>], muncul pada strata ini. Adapun dua lainnya muncul pada strata -200 m. Densitas ikan di strata -200 m jumlahnya menurun dibanding strata -100 namun kelas densitas yang mendominasi masih sama yakni kelas [1000 - 10.000 km<sup>-2</sup>]. Pada strata -300 m, -400 m, dan -500 m densitas ikan sangat sedikit sekali dibandingkan strata sebelumnya, strata ini didominasi oleh kelas densitas yang lebih kecil. Namun apabila ketiganya digabungkan

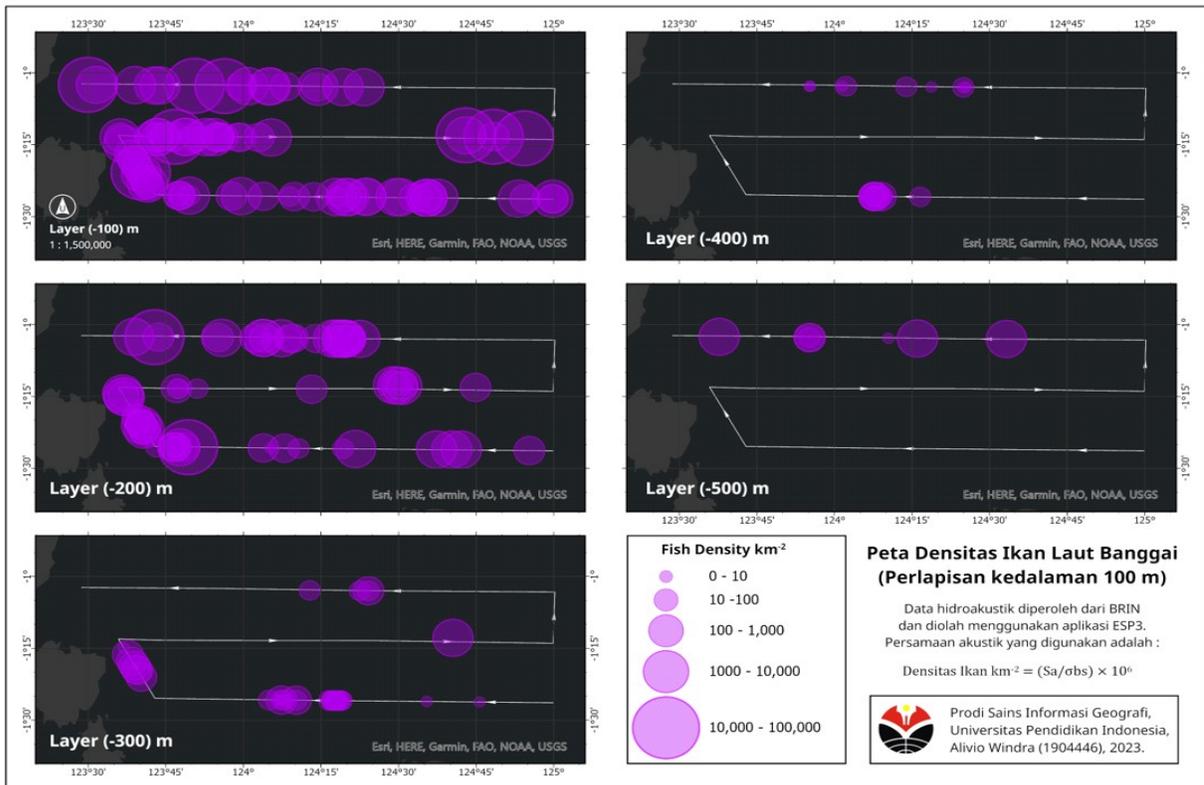
secara keseluruhan, setiap track pengukuran memiliki densitas ikan yang tinggi, kecuali pada jalur (d) dan awal jalur (e) yang sama sekali tidak ada hasil estimasi densitas ikan.

Untuk memudahkan analisis, hasil echo integration juga dibagi tiap -10 m kolom air pada 5 strata kedalaman dengan interval 100 m (Gambar 3). Kelima strata tersebut yakni [0 m hingga -100 m], [-100 m hingga -200 m], [-200 m hingga -300 m], [-300 m hingga -400 m], dan [-400 m hingga -500 m]. Strata kedalaman [0 m hingga -100 m] memiliki densitas tertinggi pada kolom 0 m hingga -10 m yakni sebesar 170.093 ikan km<sup>-2</sup> dan ini merupakan kolom dengan densitas tertinggi secara keseluruhan. Distribusi dominan strata ini terdapat pada jalur (a), (b), (c), dan (e) di dekat Pulau Banggai. Strata ini secara keseluruhan memiliki densitas ikan yang sangat tinggi dengan total estimasi densitas 327.368 ikan km<sup>-2</sup>. Pada strata selanjutnya, yakni dengan kedalaman [-100 m hingga -200 m], nilai densitas ikan tertinggi ditemukan pada kolom -190 m hingga -200 m dengan estimasi densitas 94.946 ikan km<sup>-2</sup>. Distribusi paling dominan strata ini berada pada akhir jalur (a), (b), serta tengah jalur (e). Total estimasi densitas pada strata ini adalah 190.041 ikan km<sup>-2</sup>.

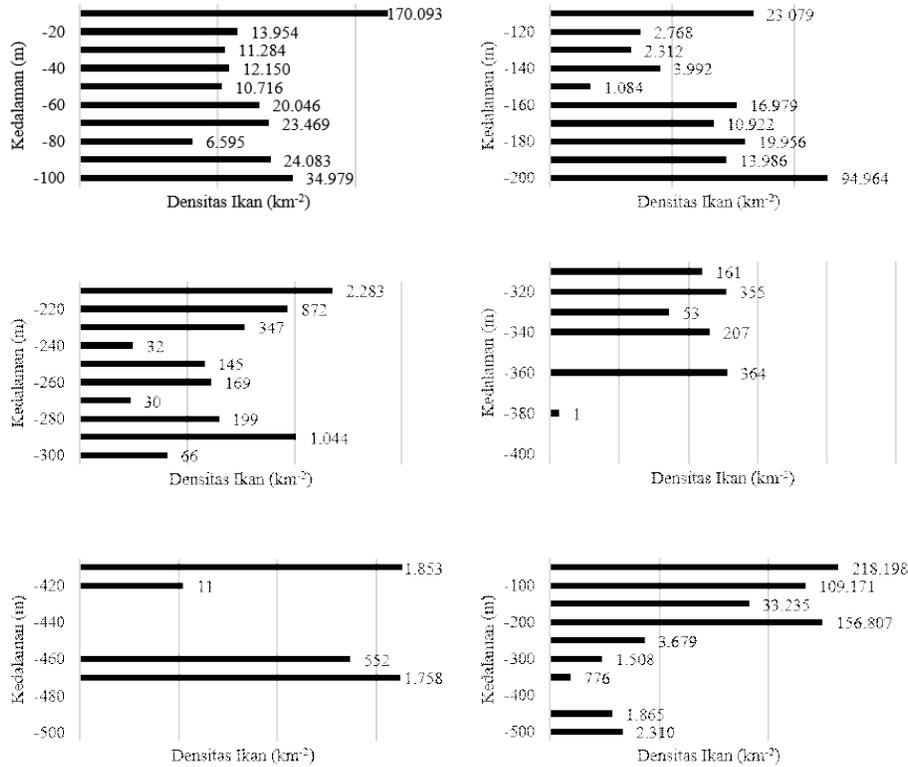
Pada strata kedalaman [-200 m hingga -300 m], [-300 m hingga -400 m], dan [-400 m hingga -500 m] densitas ikan menurun drastis, secara berurutan total estimasi densitas masing-masing strata adalah 5.187 ikan km<sup>-2</sup>, 1.141 ikan km<sup>-2</sup>, dan 4.175 ikan km<sup>-2</sup>. Pada strata [-200 m hingga -300

m] densitas ikan tertinggi berada pada kolom kedalaman -200 m hingga -210 m yang berjumlah 2.283 ikan km<sup>-2</sup>. Pada strata selanjutnya, yakni [-300 m hingga -400 m], nilai densitas tertinggi sebesar 364 ikan km<sup>-2</sup> berada pada kolom kedalaman -350 m hingga -360 m. Pada strata kedalaman [-400 m hingga -500 m] yang merupakan strata terakhir, nilai densitas ikan tertinggi berada pada kolom -400 m hingga -410 m dengan jumlah estimasi sebanyak 1.853 ikan km<sup>-2</sup>. Distribusi lokasi dari densitas ikan pada ketiga strata ini tidak banyak, hanya berada pada titik yang berada pada jalur (a), (b), dan (e) yang telah disebutkan sebelumnya (Gambar 1).

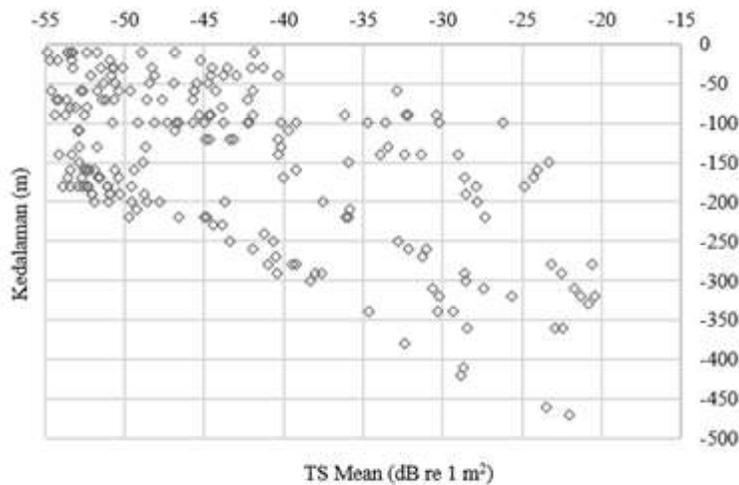
Pada scatter plot antara kedalaman dan nilai  $\overline{TS}$  untuk echo integration (Gambar 4) dapat dilihat bahwa rentangnya -55 dB hingga -40 dB cenderung berada pada kedalaman 0 m hingga -200 m. Adapun nilai  $\overline{TS}$  yang > -40 dB lebih cenderung terdeteksi pada kedalaman -100 m hingga -500 m. Nilai tertinggi estimasi densitas berdasarkan ukuran (Tabel 1) ada pada kategori ikan sangat kecil (<6 cm) dan kecil (6 cm hingga 20,89 cm) yang masing-masing diperkirakan berjumlah 313.645 ikan km<sup>-2</sup> dan 199.857 ikan km<sup>-2</sup>. Adapun pada kategori sedang (20,89 - 58,88 cm), cukup besar (58,88 - 117,48 cm), dan besar (117,48 - 234,4 cm) nilai densitas cukup rendah jika dibandingkan dua kategori sebelumnya yakni masing-masingnya diperkirakan hanya sebesar 5.942 km<sup>-2</sup>, 4.902 ikan km<sup>-2</sup>, dan 3.568 ikan km<sup>-2</sup>.



Gambar 2. Peta densitas ikan (km<sup>-2</sup>) hasil echo integration  
 Figure 2. Fish density map (km<sup>-2</sup>) based on echo integration results



Gambar 3. Densitas ikan ( $\text{km}^{-2}$ ) hasil echo integration berdasarkan kedalaman  
 Figure 3. Fish density ( $\text{km}^{-2}$ ) by depth based on echo integration results



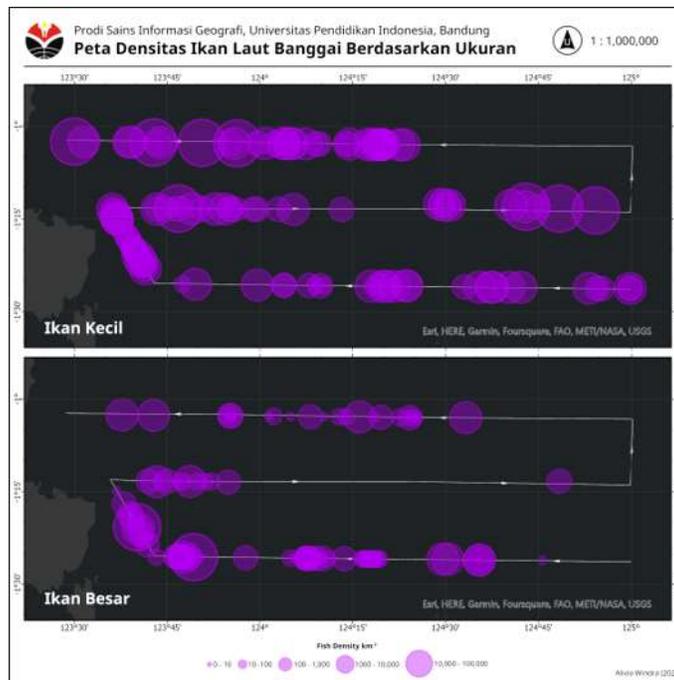
Gambar 4. Scatter Plot antara nilai  $\overline{TS}$  dan kedalaman  
 Figure 4. Scatter plot between  $\overline{TS}$  value and depth

Distribusi spasial densitas ikan berdasarkan ukurannya ditampilkan lewat peta densitas (Gambar 5) dengan kelas jumlah densitas yang sama seperti peta sebelumnya. Nilai estimasi dari densitas ikan dengan kategori ikan kecil adalah sejumlah 390.942 ikan  $\text{km}^{-2}$ . Pada kategori ikan kecil, kelas densitas yang muncul adalah [10 – 100 ikan  $\text{km}^{-2}$ ] hingga [10.000 – 100.000 ikan  $\text{km}^{-2}$ ] dan kelas dominan yang muncul adalah kelas [1.000 – 10.000 ikan  $\text{km}^{-2}$ ].

Kategori ikan kecil ini banyak ditemukan di perairan timur pulau Banggai dan sedikit di perairan utara Pulau Taliabu. Estimasi densitas ikan dengan kategori ikan besar berjumlah 136.970 ikan  $\text{km}^{-2}$ . Kelas densitas yang muncul pada kategori ikan besar adalah [0 - 10 ikan  $\text{km}^{-2}$ ] hingga [10.000 – 100.000 ikan  $\text{km}^{-2}$ ] dengan kelas dominan [10 – 100 ikan  $\text{km}^{-2}$ ]. Kategori ikan besar lebih cenderung ditemukan di perairan timur Pulau Banggai.

Tabel 1. Estimasi densitas ikan berdasarkan nilai TS dan ukuran ikan  
 Table 1. Fish density estimation by TS value and fish size

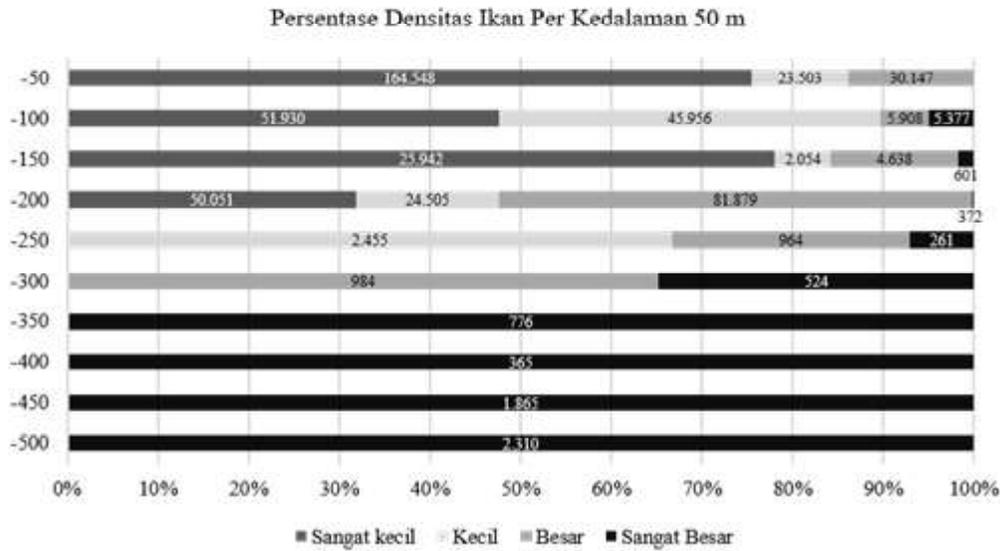
Nilai Mean TS (dB)	Panjang Ikan (cm)	Kategori Ikan	Densitas Ikan (km <sup>-2</sup> )	
<-50	< 6	Sangat Kecil	313.645	313.645
-50 sampai -47	6 sampai 10,47		54.634	
-47 sampai -44	10,47 sampai 14,79	Kecil	27.391	199.857
-44 sampai -41	14,79 sampai 20,89		117.832	
-41 sampai -38	20,89 sampai 29,52		1.889	
-38 sampai -35	29,52 sampai 41,68	Sedang	1.044	5.942
-35 sampai -32	41,68 sampai 58,88		3.009	
-32 sampai -29	58,88 sampai 93,17	Cukup Besar	2.402	4.902
-29 sampai -26	93,17 sampai 117,48		2.500	
-26 sampai -23	117,48 sampai 165,96	Besar	812	3.568
-23 sampai -20	165,96 sampai 234,40		2.756	
<b>Total</b>			<b>527.914</b>	



Gambar 5. Peta densitas ikan berdasarkan ukuran hasil echo integration (km<sup>-2</sup>)  
 Figure 5. Fish density map by size based on echo integration results (km<sup>-2</sup>)

Merujuk klasifikasi ukuran ikan yang dihubungkan dengan nilai TS oleh Ma'mun et al. (2018), maka dapat dihitung jumlah densitas ikan berdasarkan kategori ukuran berbeda (Gambar 6). Pada kategori ini, densitas ikan kategori sangat kecil ditemukan hingga kedalaman -200 m dengan estimasi densitas total 292.471 km<sup>-2</sup>. Kategori kecil memiliki estimasi densitas total 98.472 km<sup>-2</sup> dan terdapat hingga kedalaman -250 m. Lalu kategori besar memiliki

estimasi densitas total 124.519 km<sup>-2</sup> dan terdapat hingga kedalaman -300 m. Adapun kategori sangat besar memiliki estimasi densitas total 12.452 km<sup>-2</sup> dan terdapat di kedalaman -50 m hingga -500 m. Densitas ikan dengan kategori kecil dan sangat kecil mendominasi hingga kedalaman -250 m, sedangkan pada kedalaman yang lebih dalam didominasi oleh ikan dengan kategori besar dan sangat besar.



Gambar 6. Persentase densitas ikan berdasarkan ukuran ikan dan kedalamannya  
 Figure 6. Fish density percentage by size and depth

Pada laman utama dashboard ditampilkan enam panel konten yakni (a) summary, (b) peta, (c) legenda, (d) grafik densitas per kedalaman -10 m, (e) grafik densitas per kedalaman -50 m dan densitas berdasarkan ukuran ikan, (f) tabel rentang nilai  $\overline{TS}$  per kedalaman -10 m dan scatter plot hubungan  $\overline{TS}$  dengan kedalaman (Gambar 7). Terdapat pula bagian judul dan acknowledgement. Bagian summary merupakan ringkasan dari hasil analisis densitas ikan Laut Banggai yang terdiri dari panjang track survei, pengaturan nilai acoustic survey horizontal bin, densitas total, densitas ikan berukuran kecil (<21 cm), densitas ikan berukuran besar (>21 cm), urutan layer kedalaman (per 50 m) paling potensial beserta densitasnya, dan kategori ikan yang paling potensial beserta jenisnya. Pada tampilan peta, terdapat beberapa layer yang dapat diaktifkan, secara default layer awal yang ditampilkan adalah peta densitas ikan di Laut Banggai. Terdapat pula layer peta densitas ikan kecil, peta densitas ikan besar, dan peta densitas ikan per kedalaman -100 m. Penjelasan mengenai simbol pada peta akan dijelaskan pada panel legenda yang tampilannya akan menyesuaikan layer aktif.

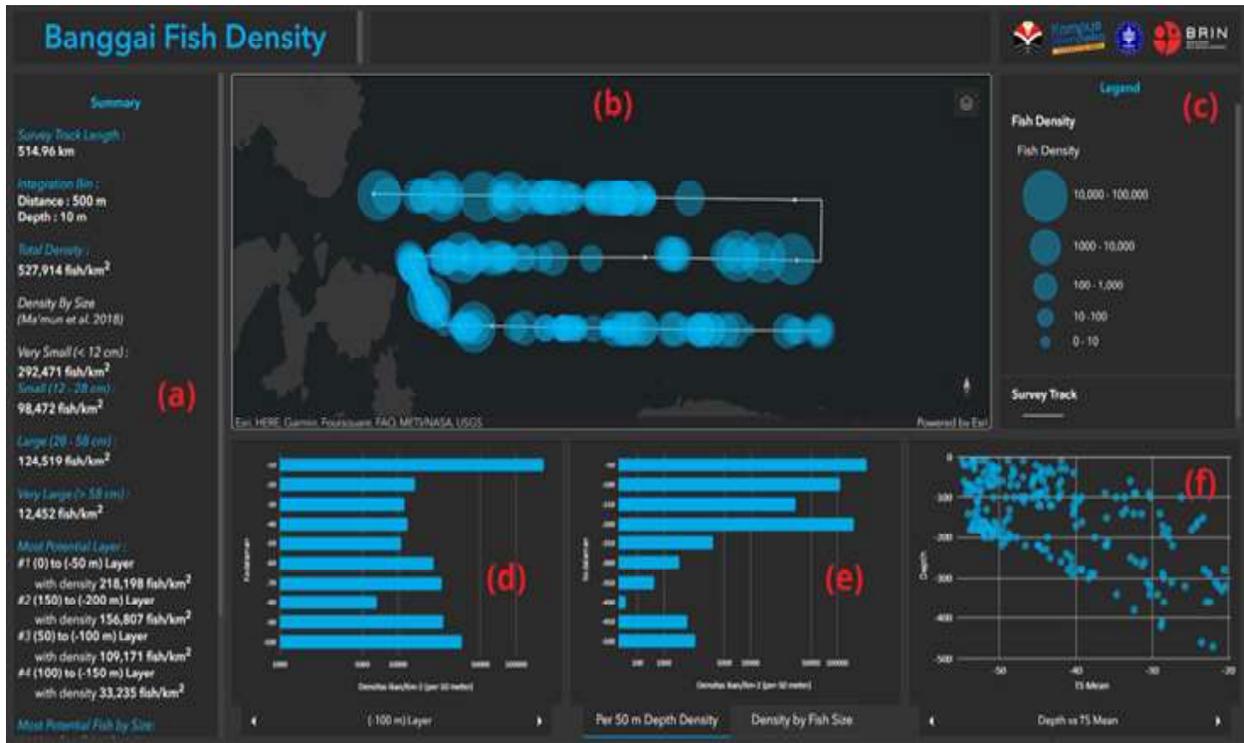
Pada tiga panel lainnya ditampilkan data-data berupa tabel dan grafik. Panel pertama menampilkan grafik batang total densitas ikan per -10 m. Untuk mengubah grafik yang satu menuju grafik yang lainnya dapat menggunakan tombol panah. Tiap grafik menampilkan strata kedalaman setiap -100 m dengan total lima grafik batang. Pada panel selanjutnya ditampilkan juga grafik batang densitas ikan namun dengan penyederhanaan menjadi per kedalaman -50 m dan ditampilkan dalam satu grafik saja. Adapun panel terakhir merupakan bagian yang menjelaskan tentang nilai TS. Hubungan antara nilai TS dengan kedalaman digambarkan dengan scatter plot. Lalu distribusi nilai TS maksimum dan minimum di tiap per -10 m kolom air

ditampilkan dengan tabel. Informasi-informasi yang ditampilkan pada laman dashboard ini merupakan informasi yang paling penting dalam keluaran analisis distribusi dan densitas ikan di suatu kawasan. Dashboard ini dipublikasi secara online dan aksesnya dibuka untuk umum.

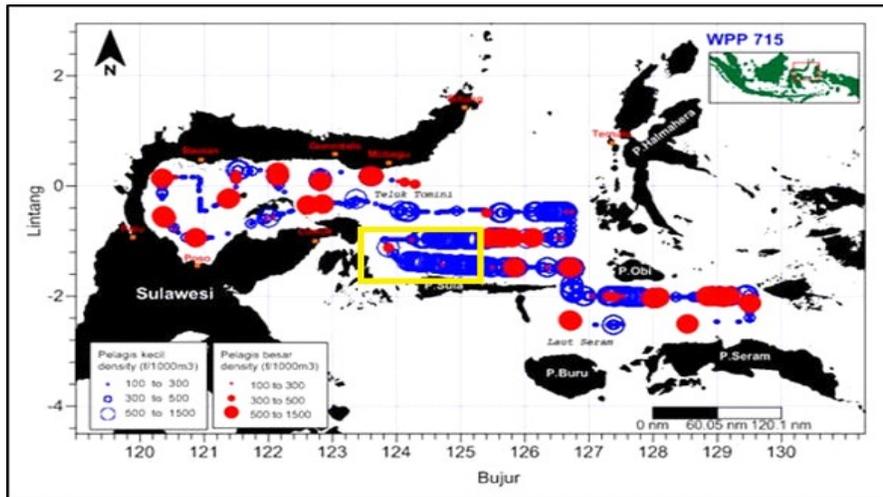
**Bahasan**

Perhitungan data akustik menunjukkan bahwa kawasan Laut Banggai memiliki densitas ikan sebesar 527.914 ikan km<sup>-2</sup>. Hasil penelitian ini menghasilkan densitas ikan dengan satuan individu per area, yakni ikan km<sup>-2</sup>. Namun apabila dilakukan penangkapan sampel dengan trawl selama survei, estimasi dapat dilakukan hingga satuan berat per-area, yakni kg km<sup>-2</sup>, sebagaimana yang dilakukan oleh Ma'mun et al. (2018). Densitas ikan tertinggi berada pada strata kedalaman [0 m hingga -100 m] dan [-100 m hingga -200 m] dengan total densitas masing-masingnya adalah 327.368 ikan km<sup>-2</sup> dan 190.041 ikan km<sup>-2</sup>. Nilai yang terdeteksi selama pengukuran di laut Banggai berkisar antara -54,84 dB hingga -20,42 dB. Densitas tertinggi ditemukan pada nilai <-50 dB dengan jumlah 313.645 ikan km<sup>-2</sup> lalu disusul oleh  $\overline{TS}$  pada rentang -44 dB hingga -41 dB sejumlah 117.382 ikan km<sup>-2</sup>. Dapat disimpulkan bahwa ikan di Laut Banggai ini didominasi oleh ikan kecil (<21 cm) yang diperkirakan memiliki densitas 513.502 ikan km<sup>-2</sup>. Hasil perhitungan ini didukung oleh penelitian sebaran ikan pelagis di WPP NRI 715 yang dilakukan oleh Ma'mun et al. (2018) yang menyatakan bahwa densitas tertinggi ikan pelagis kecil ditemukan di Laut Maluku, dengan densitas total WPP NRI 715 sebesar 2.756 kg km<sup>-2</sup> (Gambar 8).

Pada penelitian ini tidak dapat diidentifikasi jenis ikan yang ada pada kawasan Laut Banggai dikarenakan



Gambar 7. Tampilan dari GIS-Dashboard  
 Figure 7. The GIS-Dashboard preview



Gambar 8. Peta Densitas Ikan WPP NRI 715 oleh Ma'mun et al. (2018). Kotak kuning menunjukkan lokasi penelitian ini.  
 Figure 8. Fish Density Map of WPP NRI 715 by Ma'mun et al. (2018). Area of this study are shown by the yellow box.

tidak dilakukan pengambilan sampel selama survei. Namun informasi tentang hal ini dapat merujuk beberapa sumber lain. Jika merujuk penelitian sebaran ikan pelagis di WPP NRI 715, yang dilakukan oleh Ma'mun et al. (2018), ikan layang (*Decapterus Macrosoma*) merupakan ikan kecil dominan yang ditangkap serta ikan cakalang (*Katsuwonus Pelamis*) merupakan jenis ikan besar yang dominan ditangkap selama pelayaran di WPP NRI 715. Selain itu Kementerian Kelautan dan Perikanan menyatakan jenis ikan dominan yang ditemukan di WPP NRI 715 adalah Cakalang (*Katsuwonus pelamis*), Layang (*Decapterus spp.*), Madidihiang (*Thunnus albacares*), Teri (*Stolephorus*

*spp.*) dan Selar (*Selaroides spp.*).

Secara spasial distribusi ikan berukuran kecil sangat banyak dan hampir tersebar merata di sepanjang track pengukuran dengan densitas yang tinggi. Keberadaan ikan kecil yang banyak di suatu kawasan menunjukkan terdapatnya fitoplankton yang merupakan makanan mereka di sana. Secara tidak langsung kondisi ini sebenarnya akan mengundang ikan-ikan besar karena ini terkait dengan rantai makanan (Ma'mun et al., 2018). Distribusi ikan kecil dan besar secara spasial apabila ditumpang-tindihkan juga menunjukkan hubungan yang kuat yakni ketika hasil estimasi densitas ikan kecil tinggi

di suatu area maka akan terdapat pula ikan besar di sana (Gambar 6). Distribusi spasial ikan ini sebenarnya merupakan hal yang dinamis dan bergantung kepada beberapa faktor seperti suhu perairan (Manik et al., 2018). Namun faktor utama yang mempengaruhi sebaran ikan secara spasial adalah faktor lingkungan seperti sumber makanan (plankton), suhu air laut, salinitas air laut, dan oksigen terlarut (Ma'mun et al., 2021; Panggabean & Rauzatul Nazza, 2022).

GIS-Dashboard yang berhasil dibuat menampilkan seluruh data dan informasi hasil analisis distribusi dan densitas ikan Laut Banggai. Pada dashboard yang dibuat, ditampilkan peta hasil analisis yang dapat dipilih berdasarkan tema, beserta beberapa grafik dan tabel yang merupakan informasi lebih detail dari hasil analisis distribusi dan densitas ikan, bahkan semuanya terdapat pada di satu laman saja. Selain menampilkan peta, GIS-Dashboard juga menampilkan data non-spasial dengan format diagram, plot, histogram dan grafik lainnya (Bobylev, 2023). Ini sejalan dengan penyampaian Pelletier (2023) bahwa GIS-Dashboard dapat menampilkan data-data spasial bersamaan dengan data non-spasial. Selain itu, terdapat pula bagian summary yang menjelaskan secara ringkas poin-poin utama hasil analisis sehingga informasi yang ditampilkan lebih mudah dipahami sebagaimana yang disampaikan oleh Elias & Bezerianos (2011). Diseminasi hasil analisis distribusi dan densitas ikan memang akan lebih menarik dan mudah dipahami apabila divisualisasikan dengan dashboard ketimbang dengan cara yang konvensional.

Informasi pada GIS-Dashboard ini dapat membantu pemangku kebijakan di sekitar Laut Banggai untuk melakukan perencanaan manajemen sumber daya perikanan. Dinas Perikanan Kabupaten Banggai di dalam Rencana Strategis Tahun 2021- 2026 menyatakan bahwa salah satu hambatan dalam pembangunan sektor kelautan dan perikanan adalah kurangnya data dan informasi potensi sumber daya alam di Kabupaten Banggai (Dinas Perikanan Kab. Banggai, 2021). Hambatan ini menjadi masalah besar ketika diketahui bahwa sektor perikanan memiliki peluang bagus untuk dilakukan pengembangan. Kabupaten Banggai memiliki peluang berupa permintaan pasar yang tinggi terhadap komoditas perikanan, minat konsumsi yang juga cukup tinggi, dan prospek ekspor yang bagus (Dinas Perikanan Kab. Banggai, 2021). Hasil analisis yang ditampilkan dalam GIS-Dashboard pada penelitian ini dapat menjadi solusi dari hambatan untuk perencanaan strategi pembangunan agar bisa memanfaatkan peluang besar tersebut.

Visualisasi dengan GIS sangat membantu dalam memahami distribusi spasial ikan di perairan. Data-data hasil analisis distribusi dan densitas ikan dengan metode hidroakustik merupakan baris dan kolom yang cukup banyak. Biasanya informasi ini akan divisualisasikan dengan tabel yang lebih sederhana ataupun berbagai macam grafik untuk merepresentasikan distribusi dan

densitas ikan. Namun visualisasi peta memberikan tampilan yang lebih kuat dalam memahami distribusi ikan secara spasial di perairan. Distribusi dan densitas dapat diwakili oleh beragam warna dan simbol yang menarik dan mudah untuk dipahami. Dengan metode interpolasi, titik-titik yang tidak diukur nilainya dapat diberikan nilai secara statistik (Sun et al., 2020).

Contoh interpolasi adalah visualisasi menggunakan metode inverse distance weighting atau "IDW" (Sun et al., 2020). Hasil dari IDW memberikan visualisasi secara spasial tentang distribusi dan densitas ikan dengan lebih baik dan menyeluruh untuk wilayah studi, namun hasilnya tidak bisa digunakan untuk memprediksi berapa nilai sebenarnya dari titik yang tidak diukur. Peran GIS juga masih bisa dikembangkan lebih jauh daripada hanya sebagai alat visualisasi dalam memahami hasil analisis. Dengan GIS dapat dilakukan pemetaan faktor-faktor lingkungan yang mempengaruhi distribusi dan densitas ikan. Nilai temperatur, salinitas, nilai oksigen terlarut, intensitas cahaya matahari dapat dipetakan dengan metode tertentu yang melibatkan GIS (Costa et al., 2014). Sehingga selain mengetahui distribusi dan densitas ikan secara spasial, faktor lingkungan yang mempengaruhinya juga dapat dipetakan.

Peta-peta faktor lingkungan ini dapat di overlay satu sama lain sehingga memberikan pemahaman visual yang lebih baik (Costa et al., 2014). Hubungan antar informasi pada masing-masing peta juga dapat dipahami dengan lebih baik. Bahkan dengan peta-peta tersebut dapat dilakukan analisis hubungan dengan metode geostatistik hingga pemodelan spasial untuk mengisi titik-titik yang tidak diukur nilainya. Pemodelan spasial dapat membantu prediksi distribusi dan densitas ikan tidak hanya pada titik yang tidak diukur, melainkan juga memprediksi distribusi dan densitas ikan di masa yang akan datang (Yin et al., 2023). Namun analisis seperti ini memerlukan resolusi temporal yang cukup tinggi dengan jumlah banyak. Sehingga kontinuitas pengukuran hidroakustik menjadi sangat penting untuk dikembangkan oleh pihak terkait.

## Kesimpulan

Total Estimasi densitas ikan Laut Banggai adalah 527.914 ikan km<sup>-2</sup>. Ikan berukuran sangat kecil diestimasi memiliki densitas total 292.471 km<sup>-2</sup> dan ikan berukuran kecil diestimasi memiliki densitas total 98.472 km<sup>-2</sup>. Adapun ikan berukuran besar diestimasi memiliki densitas total 124.519 km<sup>-2</sup> serta ikan berukuran sangat besar diestimasi memiliki densitas total 12.452 km<sup>-2</sup>. Sebaran spasial ikan cenderung berada di perairan timur Pulau Banggai serta perairan utara Pulau Taliabu. Ikan-ikan cenderung ditemukan di strata kedalaman 0 hingga -200 m. Potensi paling besar dari kawasan laut Banggai adalah pada lapisan epipelagis (0 sampai -200 m), serta berdasarkan ukuran potensi terbesar ada pada ikan-ikan berukuran sangat kecil, besar, dan kecil. Hasil analisis distribusi dan densitas ikan Laut Banggai diringkaskan ke dalam sebuah GIS-

Dashboard sehingga seluruh informasi peta dan grafik ditampilkan dalam satu laman yang dipublikasikan secara online untuk memberikan visualisasi yang lebih menarik dan lebih mudah dipahami.

### Persantunan

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Dr. Rina Zuraida (BRIN), Prof. Agus S. Atmadipoera (IPB University), dan Tim Ekspedisi BUDEE untuk pengambilan data lapangan. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada Alexander von Humboldt Cooperation Fellowship grant to Sri Yudawati Cahyarini Ref No 3.4 - IDN / 1158893. Penulis juga mengapresiasi atas bantuan dana penelitian selama penulisan dari Elemenesia Foundation lewat program "Elemenesia Research Scholarship 2023".

### Daftar Pustaka

- Achmadi, A., Hestirianoto, T., & Manik, H. M. (2014). Deteksi Schooling Ikan Pelagis Dengan Metode Hidroakustik Di Perairan Teluk Palu, Sulawesi Tengah. *Jurnal Teknologi Perikanan Dan Kelautan*, 5(2), 131-139. <https://repository.ipb.ac.id/handle/123456789/81995>
- Bandara, K., Basedow, S. L., Pedersen, G., & Tverberg, V. (2022). Mid-summer Vertical Behavior of a High-latitude Oceanic Zooplankton Community. *Journal of Marine Systems*, 230. <https://doi.org/10.1016/j.jmarsys.2022.103733>
- Bobylev, T. (2023). Dashboard for data-driven decision support in small and medium enterprises: a web-based approach [Luleå University of Technology]. <https://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:ltu:diva-98671>
- Costa, B., Taylor, J. C., Kracker, L., Battista, T., & Pittman, S. (2014). Mapping Reef Fish and the Seascape: Using Acoustics and Apatial Modeling to Guide Coastal Management. *PLoS ONE*, 9(1). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0085555>
- Della Penna, A., Llorca, J., Moreau, S., Patel, R., Kloser, R., Gaube, P., Strutton, P., & Boyd, P. W. (2022). The Impact of a Southern Ocean Cyclonic Eddy on Mesopelagic Micronekton. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 127(11). <https://doi.org/10.1029/2022JC018893>
- Doko Raditya, F., Haryo Ismunarti, D., & Handoyo, G. (2013). Analisis Prakiraan Luasan Daerah Upwelling di Perairan Selatan Jawa Timur Hingga Selatan Lombok Kaitannya Dengan Hasil Perikanan Tangkap. *Jurnal Oseanografi*, 2(1), 111-127. <http://ejournal-s1.undip.ac.id/index.php/jose>
- Dwigothammy, R. (2022). Estimasi Densitas Ikan Secara Hidroakustik di Perairan Taman Nasional Sembilang, Sumatera Selatan [Skripsi, Universitas Sriwijaya]. <https://repository.unsri.ac.id/82246/>
- Escobar-Flores, P. C., Décima, M., O'Driscoll, R. L., Ladroit, Y., & Roberts, J. (2022). Multiple sampling methods to develop indices of mid-trophic levels abundance in open ocean ecosystems. *Limnology and Oceanography: Methods*, 20(12), 789-810. <https://doi.org/10.1002/lom3.10522>
- ESRI. (2024). Arcgis Online Overview. <https://www.esri.com/en-us/arcgis/products/arcgis-online/overview#share-maps-and-apps>
- Farhan, M., Manik, H. M., & Hestirianoto, T. (2023). Pengukuran Nilai Tartget Strength dan Acoustic Fish Density di Perairan Pulau Tidung, Kepulauan Seribu. *Jurnal Teknologi Perikanan Dan Kelautan*, 13(2), 175-186. <https://doi.org/10.24319/jtpk.13.175-186>
- Google. (2024). Google Sheets Overview. <https://www.google.com/sheets/about/>
- Hidayat, E. F., Pujiyati, S., Suman, A., & Hestirianoto, T. (2019). Estimating Potential Zones of Pelagic Fish in WPPNRI 711 (Study Case of Natuna Sea). *Jurnal Pengelolaan Sumberdaya Alam Dan Lingkungan (Journal of Natural Resources and Environmental Management)*, 9(1), 92-96. <https://doi.org/10.29244/jpsl.9.1.92-96>
- Jessica Perelman, B. N., Drazen, J. C., & Eric Firing Benjamin Jones Craig R Smith Amy Moran, C. A. (2022). Oceanographic Influences on Pelagic Community Ecology Across The Eastern Pacific Ocean: Insight From Acoustics And Combined Sampling Approaches [University of Hawai'i at Mānoa]. <https://hdl.handle.net/10125/104616>
- Johnson, H. P., Merle, S. G., Bjorklund, T. A., Hautala, S. L., Baumberger, T., Walker, S. L., Liu, J., Ward, N. D., & Wang, C. (2022). Methane Plume Emissions Associated with Puget Sound Faults in the Cascadia Forearc. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 23(1). <https://doi.org/10.1029/2021GC010211>
- Keputusan Menteri Kelautan Dan Perikanan Nomor 82/KEPMEN-KP/2016 Tahun 2016 Tentang Rencana Pengelolaan Perikanan Wilayah Pengelolaan Perikanan Negara Republik Indonesia 715, Pub. L. No. 82/KEPMEN-KP/2016 (2016).
- KKP. (2023). Statistik Kementerian Kelautan dan Perikanan. <https://statistik.kkp.go.id/>
- Kongsberg. (2021, June 10). Simrad EK60 Context Sensitive Online Help. [https://www.simrad.online/ek60/ref\\_en/default.htm](https://www.simrad.online/ek60/ref_en/default.htm)
- Ladroit, Y., Escobar-Flores, P. C., Schimel, A. C. G., & O'Driscoll, R. L. (2020). ESP3: An open-source software for the quantitative processing of hydro-acoustic data. *SoftwareX*, 12, 100581. <https://doi.org/10.1016/j.softx.2020.100581>
- Lata, K., Sood, A., Kaur, K., Benipal, A. K., & Pateriya, B. (2022). Web-GIS based Dashboard for Real-Time Data Visualization & Analysis using Open-Source Technologies. *Journal of Geomatics*, 16(2), 134-146. <https://doi.org/10.58825/jog.2022.16.2.42>
- Ma'mun, A., Priatna, A., & Herlisman. (2018). Pola Sebaran Ikan Pelagis Dan Kondisi Oseanografi Di Wilayah Pengelolaan Perikanan Negara Republik Indonesia 715 (WPP NRI 715) Pada Musim Peralihan Barat. *Jurnal*

- Penelitian Perikanan Indonesia, 24(3), 197-208. <http://ejournal-balitbang.kkp.go.id/index.php/jppi>
- Ma'mun, A., Priatna, A., Natsir, M., Hufiadi, & Baihaqi. (2021). Sebaran Spasial Dan Temporal Ikan Sebelum Dan Setelah Moratorium Di Laut Arafura Berdasarkan Studi Survei Akustik. *Jurnal Penelitian Perikanan Indonesia*, 27(4), 187-201. <https://doi.org/10.15578/jppi.27.4.2021.187-201>
- Manik, H. M., & Nurkomala, I. (2016). Pengukuran Target Strength dan Stok Ikan di Perairan Pulau Pari Menggunakan Metode Single Echo Detector. *Marine Fisheries: Journal of Marine Fisheries Technology and Management*, 7(1), 69-81. <https://doi.org/10.29244/jmf.7.1.69-81>
- Manik, H. M., Sujatmiko, T. N., Ma'mun, A., & Priatna, A. (2018). Application of Hydroacoustic Technology to Measure Spatial and Temporal Distribution of Small Pelagic Density in Banda Sea. *Marine Fisheries: Journal of Marine Fisheries Technology and Management*, 9(1), 41-53. <https://doi.org/10.29244/jmf.9.1.39-52>
- Panggabean, D., & Rauzatul Nazzla, dan. (2022). Distribusi Dan Kelimpahan Ikan Pelagis di Laut Flores Bagian Barat. *Jurnal Penelitian Perikanan Indonesia*, 28(2), 61-75. <https://doi.org/10.15578/jppi.28.2.2022.61-75>
- Pelletier, Z. (2023). Operations Dashboard for ArcGIS. ESRI. <http://gis.dfwinfo.com/presentations/OperationsDashboardArcGIS.pdf>
- Perangin-angin, R., Sulistiono, S., Kurnia, R., Fahrudin, A., & Suman, A. (2017). KEPADATAN DAN STRATIFIKASI KOMPOSISI SUMBER DAYA IKAN DEMERSAL DI LAUT CINA SELATAN (WPP - NRI 711). *Jurnal Penelitian Perikanan Indonesia*, 22(3), 161. <https://doi.org/10.15578/jppi.22.3.2016.161-172>
- Perelman, J. N., Ladroit, Y., Escobar-Flores, P., Firing, E., & Drazen, J. C. (2023). Eddies and fronts influence pelagic communities across the eastern Pacific Ocean. *Progress in Oceanography*, 211, 102967. <https://doi.org/10.1016/j.pocean.2023.102967>
- Somantri, L. (2022). Metode Penelitian Sains Informasi Geografi (N. Putri, Ed.; Cetakan Pertama). CV. Jendela Hasanah.
- Sun, M., Cai, Y., Zhang, K., Zhao, X., & Chen, Z. (2020). A method to analyze the sensitivity ranking of various abiotic factors to acoustic densities of fishery resources in the surface mixed layer and bottom cold-water layer of the coastal area of low latitude: a case study in the northern South China Sea. *Scientific Reports*, 10(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-020-67387-7>
- Turco, F., Ladroit, Y., Watson, S. J., Seabrook, S., Law, C. S., Crutchley, G. J., Mountjoy, J., Pecher, I. A., Hillman, J. I. T., Woelz, S., & Gorman, A. R. (2022). Estimates of Methane Release from Gas Seeps at the Southern Hikurangi Margin, New Zealand. *Frontiers in Earth Science*, 10. <https://doi.org/10.3389/feart.2022.834047>
- Xue, M., Tong, J., Tian, S., & Wang, X. (2021). Broadband Characteristics of Zooplankton Sound Scattering Layer in the Kuroshio-Oyashio Confluence Region of the Northwest Pacific Ocean in Summer of 2019. *Journal of Marine Science and Engineering*, 9(9), 938. <https://doi.org/10.3390/jmse9090938>
- Yin, X., Yang, D., Zhao, L., Zhong, R., & Du, R. (2023). Fishery Resource Evaluation with Hydroacoustic and Remote Sensing in Yangjiang Coastal Waters in Summer. *Remote Sensing*, 15(3), 543. <https://doi.org/10.3390/rs15030543>