

Dinamika Stok Ikan Tongkol (*Auxis rochei*) di Laut Banda

Friesland Tuapetel^{1*}, Imanuel VT. Soukotta², Junita Supusepa²

¹Departemen Pemanfaatan Sumberdaya Perikanan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Pattimura

²Departemen Ilmu Kelautan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Pattimura

Jl. Ir. M. Putuhena, Poka Ambon 97233 Indonesia

Email: friesland.tuapetel@lecturer.unpatti.ac.id

Abstrak

Ikan tongkol (*Auxis rochei*) merupakan komoditas perikanan bernilai ekonomi tinggi, namun peningkatan tekanan penangkapan berpotensi menurunkan keberlanjutan stok. Penelitian ini bertujuan mengkaji kondisi stok melalui analisis Catch per Unit Effort (CPUE), Maximum Sustainable Yield (MSY), Maximum Economic Yield (MEY), upaya penangkapan optimum (E_{opt}), serta kelayakan ekonomi dengan menggunakan Model Fox dan Schaefer. Data penelitian dikumpulkan selama tahun 2023 dari Dinas Kelautan dan Perikanan Provinsi Maluku dan Pelabuhan Perikanan Nusantara Ambon. Analisis dilakukan melalui perhitungan CPUE berdasarkan data hasil tangkapan dan penerapan regresi linier. Hasil penelitian menunjukkan adanya hubungan negatif yang kuat antara CPUE dan effort, dengan nilai koefisien determinasi berkisar antara 0,87–0,97. Estimasi MSY berdasarkan Model Fox dan Schaefer masing-masing mencapai 70.087 ton dan 158.027 ton dengan E_{opt} sebesar 13 dan 45 trip. Tingkat pemanfaatan stok saat ini masih berada pada kategori *underfished*, ditunjukkan oleh nilai jumlah tangkapan yang diperbolehkan (JTB) yang tinggi dibandingkan tangkapan aktual. Analisis MEY pada Model Fox menunjukkan efisiensi usaha tertinggi terjadi pada bulan Juni. Fluktuasi hasil tangkapan dipengaruhi oleh variasi musim dan dinamika oseanografi. Oleh karena itu, strategi pengelolaan perikanan tongkol di Laut Banda perlu difokuskan pada pengendalian upaya dan pengaturan musim penangkapan.

Kata kunci : CPUE, E_{opt} , MSY, MEY, JTB

Abstract

*The Stock Dynamics of Skipjack Tuna (*Auxis rochei*) in the Banda Sea*

Skipjack tuna (*Auxis rochei*) is an economically valuable pelagic fishery resource, yet increasing fishing intensity may pressure long-term stock sustainability. This study aimed to evaluate skipjack tuna stock status through analyses of Catch per Unit Effort (CPUE), Maximum Sustainable Yield (MSY), Maximum Economic Yield (MEY), and optimal fishing effort (E_{opt}) using the Fox and Schaefer surplus production models. Data were collected throughout 2023 from the Maluku Provincial Marine and Fisheries Office and the Ambon Nusantara Fishing Port. Stock assessment was conducted by estimating CPUE from landing data and applying linear regression to examine relationships between fishing effort and stock indicators. The results showed a strong negative relationship between CPUE and fishing effort, with coefficients of determination ranging from 0.87 to 0.97. MSY estimates from the Fox and Schaefer models were 70,087 tons and 158,027 tons, corresponding to optimal fishing efforts of 13 and 45 trips. The current exploitation level was classified as *underfished*, as actual catches remained below the Total Allowable Catch. Therefore, management of skipjack tuna fisheries in the Banda Sea should emphasize fishing effort regulation and seasonal controls to support ecological sustainability and long-term economic benefits for fisheries.

Keywords : CPUE, E_{opt} , MSY, MEY, TAC

PENDAHULUAN

Ikan tongkol (*Auxis rochei*) merupakan salah satu sumber daya perikanan pelagis yang bernilai ekonomi tinggi dan berperan penting dalam sektor perikanan di Laut Banda (Wijaya *et al.*, 2018). Data produksi perikanan Maluku

menunjukkan bahwa hasil tangkapan ikan tongkol di Laut Banda meningkat sebesar 15% dalam lima tahun (2019-2023), dengan rata-rata produksi tahunan mencapai 12.000 ton (DKP Maluku, 2023). Sebagai bagian dari kelompok tuna, spesies ini memiliki laju pertumbuhan yang cepat, terutama

*Corresponding author

DOI:10.14710/buloma.v15i1.72048

<http://ejournal.undip.ac.id/index.php/buloma>

Diterima/Received : 24-03-2025

Disetujui/Accepted : 20-01-2026

jika kondisi lingkungan mendukung (Hoshino *et al.*, 2020; Romero *et al.*, 2021; Nagi *et al.*, 2023; Sujarta *et al.*, 2025). Namun, peningkatan intensitas penangkapan yang tidak terkendali dapat memicu terjadinya *overfishing*, yang ditandai dengan penurunan hasil tangkapan per satuan upaya (CPUE), meningkatnya tekanan penangkapan terhadap ikan berukuran kecil atau belum matang gonad, serta ketidakseimbangan antara tingkat pemanfaatan dan kemampuan pemulihan stok. Kondisi ini pada akhirnya berisiko mengancam keberlanjutan stok ikan tongkol dalam jangka panjang.

Indikasi tekanan berlebih terhadap stok ikan tongkol tercermin dari peningkatan jumlah kapal ikan sebesar 25%, dari 87 unit menjadi 109 unit, sementara CPUE mengalami penurunan sebesar 12% (DKP Maluku, 2023). Hal ini menunjukkan bahwa peningkatan effort tidak selalu sebanding dengan hasil tangkapan, sebagaimana yang dilaporkan dalam berbagai penelitian terdahulu (Leroy *et al.*, 2020; Sari & Nurainun, 2022; Pereira *et al.*, 2023; Tummon *et al.*, 2024). Bahkan, peningkatan effort yang berlebihan dapat menyebabkan penurunan hasil tangkapan akibat tingginya tekanan terhadap stok ikan (Abrahamsz *et al.*, 2022; Tidd *et al.*, 2023; Guillotreau *et al.*, 2024; Soukotta & Tuapetel, 2024; Tuapetel & Rahman, 2025; Salampessy *et al.*, 2025). Oleh karena itu, diperlukan pendekatan pengelolaan berbasis ilmiah untuk menjaga keseimbangan antara produktivitas perikanan dan keberlanjutan ekosistem (Perez *et al.*, 2023; Hehanussa *et al.*, 2024; Rodriguez- Derhy *et al.*, 2024). Meskipun ikan tongkol merupakan salah satu komoditas utama di Laut Banda, informasi mengenai dinamika stoknya masih terbatas, terutama terkait hubungan antara upaya penangkapan (effort) dan produksi. Catch per unit effort (CPUE) menjadi indikator utama dalam mengukur efisiensi tangkapan. Analisis CPUE berbasis data historis menunjukkan tren penurunan sebesar 12% dalam lima tahun terakhir, yang mengindikasikan potensi eksploitasi (DKP Maluku, 2023). Untuk itu, evaluasi keberlanjutan stok ikan tongkol perlu dilakukan guna menentukan tingkat effort yang optimal dalam pengelolaan perikanan di wilayah ini.

Model pengelolaan perikanan seperti Algoritma Fox dan Gordon Schaefer banyak diterapkan untuk memperkirakan Maximum Sustainable Yield (MSY) dan menentukan tingkat effort optimal bagi perikanan pelagis (Pradini *et al.*, 2021; Jean & Mouysset, 2022; Dupaix *et al.*, 2024).

Estimasi dari model ini sangat penting untuk menilai apakah pemanfaatan ikan tongkol di Laut Banda masih dalam kategori *underfishing* atau telah mengalami *overfishing*. Laporan DKP Maluku (2023) mengindikasikan bahwa rasio tangkapan terhadap MSY telah mencapai 85%, sementara tren produksi tahunan menunjukkan penurunan meskipun effort penangkapan terus meningkat. Kondisi ini menegaskan urgensi penelitian untuk mengevaluasi keberlanjutan stok dan merumuskan strategi pengelolaan yang tepat guna mencegah dampak negatif terhadap sumber daya perikanan. Sejumlah penelitian menekankan pentingnya pendekatan kehati-hatian dalam pengelolaan perikanan ikan tongkol (Pentz & Klenk, 2022). Sinan *et al.* (2022) menunjukkan bahwa meskipun spesies ini memiliki potensi pemulihan yang tinggi, eksploitasi yang tidak terkendali dapat menyebabkan penurunan stok yang signifikan. Haryanto *et al.* (2025) menggunakan Model Gordon Schaefer untuk menentukan MSY dan effort optimal, menegaskan perlunya penyesuaian effort sesuai daya dukung lingkungan. Sementara itu, Froese *et al.* (2023) merekomendasikan agar jumlah tangkapan tidak melebihi 80% dari MSY guna menjaga keseimbangan ekosistem perikanan dalam jangka panjang. Model Fox dipilih karena mampu menggambarkan hubungan nonlinier antara upaya penangkapan (effort) dan hasil tangkapan, sementara itu Model Gordon Schaefer digunakan untuk mengestimasi Maximum Sustainable Yield (MSY) dengan mempertimbangkan pengaruh effort terhadap biomassa stok ikan. Oleh karena itu, kombinasi kedua model tersebut memberikan pendekatan yang lebih komprehensif dalam mengevaluasi status pemanfaatan sumber daya ikan tongkol di Laut Banda. Dengan memahami kondisi terkini, upaya penangkapan dapat dikontrol secara lebih efektif guna memastikan kelestarian stok sumber daya (Tuapetel *et al.*, 2024; Melmambessy *et al.*, 2025) dan menjaga keberlanjutan perikanan di Laut Banda (Pattikawa *et al.*, 2023; La Ima *et al.*, 2023). Namun demikian, hingga saat ini kajian stok ikan tongkol di Laut Banda masih didominasi oleh analisis deskriptif produksi dan CPUE, sementara evaluasi komprehensif yang mengintegrasikan aspek biologis dan ekonomi melalui pendekatan model surplus produksi, khususnya Model Fox dan Gordon Schaefer secara simultan, masih terbatas. Selain itu, informasi mengenai tingkat pemanfaatan stok berdasarkan perbandingan antara

CPUE, MSY, MEY, dan effort optimal pada skala perairan Laut Banda belum banyak dilaporkan. Keterbatasan ini menyulitkan penentuan strategi pengelolaan yang berbasis daya dukung stok dan efisiensi ekonomi secara bersamaan.

Berdasarkan permasalahan tersebut, penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi tingkat pemanfaatan ikan tongkol di Laut Banda dengan mempertimbangkan aspek biologis dan ekonomi. Dengan menerapkan berbagai model estimasi seperti Model Fox dan Gordon Schaefer, penelitian ini berupaya menentukan effort optimal yang dapat menjaga keseimbangan antara keberlanjutan ekosistem dan produktivitas perikanan. Selain itu, penelitian ini diharapkan menghasilkan rekomendasi pengelolaan berbasis data ilmiah yang dapat digunakan sebagai dasar kebijakan perikanan ikan tongkol di Laut Banda, guna meminimalkan risiko *overfishing* dan memastikan keberlanjutan ekonomi bagi nelayan.

MATERI DAN METODE

Penelitian ini dilaksanakan di perairan Laut Banda sebagai daerah penangkapan (*fishing ground*), dengan Pelabuhan Perikanan Nusantara (PPN) Ambon berfungsi sebagai basis pendaratan ikan (*fishing base*). Jarak antara lokasi penangkapan dan pelabuhan pendaratan sekitar 90 km. Lokasi penelitian ditampilkan secara visual pada Gambar 1. Kegiatan penelitian berlangsung selama dua belas bulan, mulai Januari hingga Desember 2023. Selain itu, penelitian ini juga didukung oleh data historis hasil tangkapan ikan tongkol selama periode 2012–2017 yang berasal dari beberapa jenis alat tangkap, yaitu pancing tonda, pukat cincin, pole and line, dan pancing ulur. Data utama diperoleh dari PPN Ambon dan dipadukan dengan data hasil pendataan lapangan yang dikumpulkan oleh enumerator Dinas Kelautan dan Perikanan Provinsi Maluku.

Metode yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan metode Model Fox (1970) memiliki beberapa karakteristik yang berbeda dari model Schaefer, yaitu pertumbuhan biomassa mengikuti model pertumbuhan Gompertz (Zhang *et al.*, 2021; Wang & Guo, 2024). Penurunan CPUE terhadap upaya tangkap (E) mengikuti pola eksponensial negatif.

$$C_t = E_t \cdot \exp(a - b E_t)$$

Parameter yang digunakan dalam model meliputi: C_t sebagai hasil tangkapan pada periode

ke- t (ton); E_t sebagai upaya penangkapan pada periode ke- t (trip); serta a dan b sebagai parameter model yang diestimasi melalui analisis regresi, di mana a merepresentasikan konstanta dan b menunjukkan laju penurunan hasil tangkapan seiring peningkatan upaya penangkapan.

Parameter biologis yang dianalisis meliputi tingkat pertumbuhan intrinsik (r), Koefisien alat tangkap (q), dan daya dukung lingkungan (K). Nilai parameter tersebut diturunkan dari hubungan antara hasil tangkapan (C), dan upaya penangkapan (f) menggunakan pendekatan model produksi surplus (Sultana *et al.*, 2023). Koefisien alat tangkap (q) dihitung menggunakan persamaan:

$$q = C / f \times B$$

C adalah hasil tangkapan, f adalah upaya penangkapan, dan B adalah biomassa stok ikan.

Tingkat pertumbuhan intrinsik (r) ditentukan dari persamaan dinamika biomassa:

$$dB/dt = rB(1 - B/K) - qfB$$

Daya dukung lingkungan (K) diperoleh dari hubungan antara parameter r dan estimasi biomassa maksimum yang dihitung berdasarkan hasil regresi model Schaefer/Fox.

Upaya optimum diperoleh dengan menyamakan turunan pertama C_t terhadap E_t sama dengan nol:

$$E_{opt} = 1 / b$$

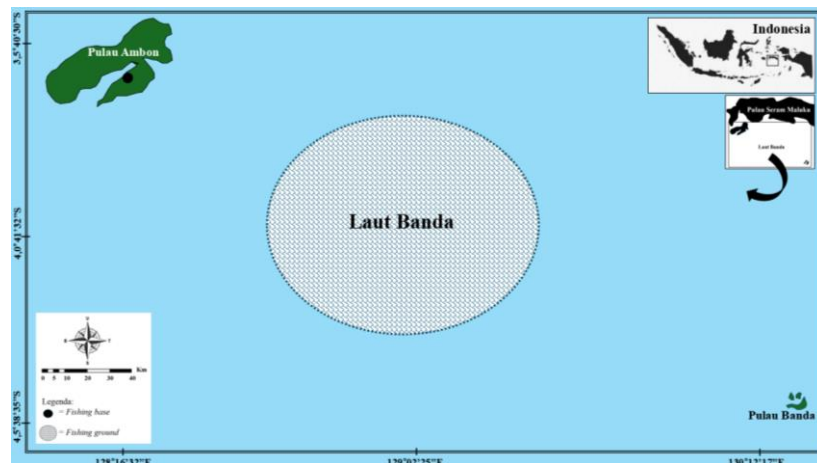
Hasil tangkapan maksimum lestari (C_{MSY}) didapat dengan memasukkan nilai upaya optimum dan diperoleh :

$$C_{MSY} = 1 / b e^{a-1}$$

MEY ditentukan dengan memasukkan fungsi hasil tangkapan ke dalam fungsi keuntungan perikanan, yang dinyatakan sebagai:

$$\pi = pC - cE$$

di mana π adalah keuntungan, p merupakan harga ikan per satuan berat, C adalah hasil tangkapan, c adalah biaya per unit upaya penangkapan, dan E adalah upaya penangkapan.



Gambar 1. Peta Lokasi Penelitian

Total Allowable Catch (TAC) digunakan sebagai landasan dalam menentukan seberapa besar tangkapan yang diperbolehkan. Dengan jumlah tangkapan yang diperbolehkan sebagai berikut (Puspita *et al.*, 2018; Kwon *et al.*, 2020; Barman *et al.*, 2022; Pasaribu *et al.*, 2024):

$$TAC = 80\% \times MSY$$

Keterangan: TAC = Jumlah tangkapan yang diperbolehkan (Ton/periode); MSY = Maximum Sustainable Yield (Ton).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil analisis regresi linier menghasilkan persamaan $y = -0,2172x + 3,2234$ dan $y = -0,0251x + 136,98$, yang menunjukkan hubungan negatif antara produksi dan effort. Konstanta $a = 3,2234$ dan $136,98$ mengindikasikan bahwa dalam kondisi tanpa effort, sumber daya ikan tongkol masih tersedia sebesar 3,2234 dan 136,98 ton per trip kapal. Sementara itu, koefisien regresi $b = -0,2172$ dan $-0,0251$ menunjukkan bahwa setiap pengurangan satu unit effort akan meningkatkan CPUE sebesar 0,2172 dan 0,0251 ton per trip kapal. Temuan ini sejalan dengan teori eksploitasi perikanan, yang menyatakan bahwa berkurangnya effort dapat meningkatkan hasil tangkapan per satuan upaya (Brochier *et al.*, 2018; Copes, 2019; Maunder *et al.*, 2020; Arkham *et al.*, 2021; Marinding *et al.*, 2023).

Koefisien determinasi (R^2) sebesar 0,97 dan 0,87 menunjukkan bahwa variabilitas CPUE (*Catch Per Unit Effort*) sebagian besar dipengaruhi oleh effort, dengan kontribusi sebesar 97% dan 87%

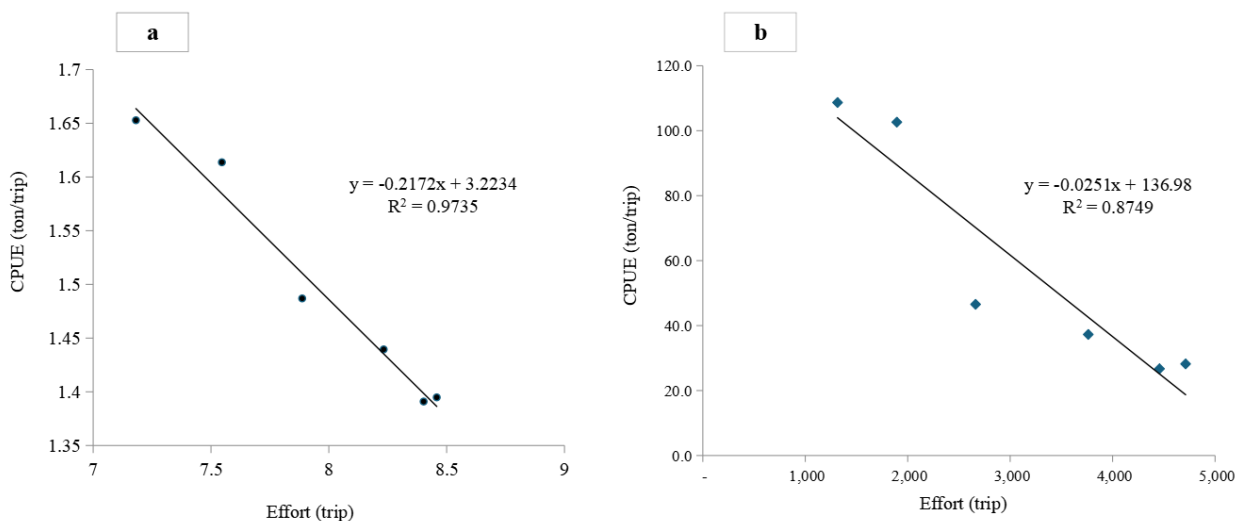
(Gambar 2). Koefisien determinasi (R^2) sebesar 0,97 dan 0,87 menunjukkan bahwa variasi nilai CPUE sangat kuat dijelaskan oleh perubahan upaya penangkapan (effort). Nilai R^2 yang mendekati satu mengindikasikan bahwa peningkatan effort memberikan pengaruh yang signifikan terhadap penurunan CPUE, sehingga hubungan antara kedua variabel tersebut bersifat sangat erat. Kondisi ini mencerminkan bahwa stok ikan tongkol sangat responsif terhadap perubahan tekanan penangkapan. Menurut Mulyani *et al.* (2024), hubungan negatif antara CPUE dan effort merupakan indikasi klasik dari meningkatnya tekanan eksploitasi terhadap stok ikan, di mana penambahan upaya penangkapan tidak lagi diikuti oleh peningkatan hasil tangkapan per unit usaha. Chamera *et al.*, (2025) menyatakan bahwa nilai R^2 yang tinggi pada model surplus produksi menunjukkan kesesuaian model yang baik dalam menggambarkan dinamika stok ikan, khususnya pada perikanan yang telah berkembang dan memiliki data time series yang memadai. Dalam konteks ini, nilai R^2 sebesar 0,97 menunjukkan bahwa hampir seluruh variasi CPUE dapat dijelaskan oleh effort, sementara nilai 0,87 masih tergolong sangat kuat dan dapat diterima secara statistik dalam analisis stok perikanan. Lebih lanjut, Hountchame & Simon, (2024) menjelaskan bahwa penurunan CPUE seiring meningkatnya effort sering kali menjadi indikator awal terjadinya *growth overfishing* atau *recruitment overfishing*, terutama apabila berlangsung

dalam periode yang panjang. Oleh karena itu, tingginya nilai koefisien determinasi dalam penelitian ini menegaskan bahwa pengendalian effort menjadi faktor kunci dalam pengelolaan perikanan tongkol.

Parameter biologis yang diperoleh meliputi tingkat pertumbuhan intrinsik (r) sebesar 11,6769 ton per tahun, koefisien alat tangkap (q) sebesar $6,299 \times 10^{14}$ ton per trip, serta daya dukung lingkungan (K) ikan tongkol sebesar $1,520 \times 10^{14}$ ton per tahun. Nilai-nilai tersebut mencerminkan kemampuan stok ikan tongkol di Laut Banda untuk pulih dengan relatif cepat, namun tetap sensitif terhadap peningkatan tekanan penangkapan. Tingginya nilai r mengindikasikan bahwa ikan tongkol sebagai spesies pelagis memiliki laju pertumbuhan populasi yang cepat, sebagaimana umum dijumpai pada kelompok ikan pelagis. Hasil ini sejalan dengan penelitian di Perairan Teluk Bone (Wahana *et al.*, 2021), Perairan Majene (Dahlan *et al.*, 2018) dan Perairan Mamuju (Nur *et al.*, 2023), mereka melaporkan nilai r relatif tinggi dan menunjukkan bahwa stok ikan tongkol merespons cepat terhadap perubahan effort, namun mudah mengalami penurunan apabila tekanan penangkapan meningkat secara terus-menerus. Temuan serupa juga dilaporkan oleh Harlyan *et al.* (2024) di Perairan Kranji, Lamongan, Jawa Timur, di mana hubungan antara effort dan hasil tangkapan ikan tongkol menunjukkan pola surplus produksi yang kuat dengan nilai koefisien penangkapan yang relatif tinggi, mencerminkan efisiensi alat tangkap sekaligus meningkatnya tekanan eksploitasi. Di perairan Selat Makassar,

Melmambessy (2010) melaporkan nilai daya dukung (K) yang lebih rendah dibandingkan penelitian ini, disertai kondisi stok yang telah mengalami *overfishing*. Perbedaan nilai K antarwilayah menunjukkan bahwa kapasitas lingkungan dalam mendukung stok ikan tongkol sangat dipengaruhi oleh karakteristik oseanografi, produktivitas perairan, serta intensitas penangkapan. Studi tersebut menunjukkan bahwa ketika effort meningkat melebihi daya dukung lingkungan, CPUE cenderung menurun (Forrestal *et al.*, 2019). Temuan ini juga sejalan dengan model Schaefer yang menggambarkan hubungan effort dengan produksi dalam konteks pengelolaan stok ikan. Korelasi yang tinggi antara CPUE dan effort ($R^2 = 0,97$) semakin memperkuat kesimpulan bahwa effort merupakan faktor utama yang menentukan fluktuasi stok ikan (Zhai *et al.*, 2020; Schijns & Pauly 2022). Koefisien determinasi yang sangat tinggi (97%) menunjukkan bahwa hampir seluruh variasi CPUE dapat dijelaskan oleh effort, yang mengindikasikan bahwa sistem perikanan ini sangat bergantung pada tingkat eksploitasi (Sanchirico & Wilen, 2020; Robinson *et al.*, 2022).

Nilai parameter biologis seperti tingkat pertumbuhan intrinsik ($r=11,6769$ ton/tahun) dan daya dukung lingkungan ($K=1,520 \times 1014$ ton/tahun) juga mencerminkan karakteristik populasi ikan tongkol yang memiliki kemampuan pertumbuhan cepat dengan kapasitas daya dukung yang besar. Hasil ini mendukung temuan dari penelitian perikanan pelagis yang menunjukkan bahwa spesies seperti tongkol memiliki potensi pemulihan yang relatif tinggi (Francis *et al.*, 2023).



Gambar 2. CPUE ikan tongkol, model Fox (a), dan model Schaefer (b).

tetapi tetap rentan terhadap eksploitasi berlebih jika effort tidak dikendalikan dengan baik (Griffiths *et al.*, 2020; Crespo *et al.*, 2024). Temuan ini menegaskan pentingnya pengelolaan effort untuk menjaga keberlanjutan sumber daya ikan tongkol (Merino *et al.*, 2020; Kawamoto, 2022; Waileruny *et al.*, 2024). Jika effort terus meningkat tanpa batas, CPUE akan terus menurun hingga mencapai titik di mana perikanan tidak lagi menguntungkan secara ekonomi maupun ekologis (Briton *et al.*, 2020; Dutta *et al.*, 2025). Oleh karena itu, pengelolaan berbasis kuota atau pembatasan effort perlu dipertimbangkan untuk menjaga keseimbangan ekosistem dan produktivitas perikanan dalam jangka panjang (Suman *et al.*, 2020; Sondita *et al.*, 2022; Trenggono, 2023; Tuapetel, 2024).

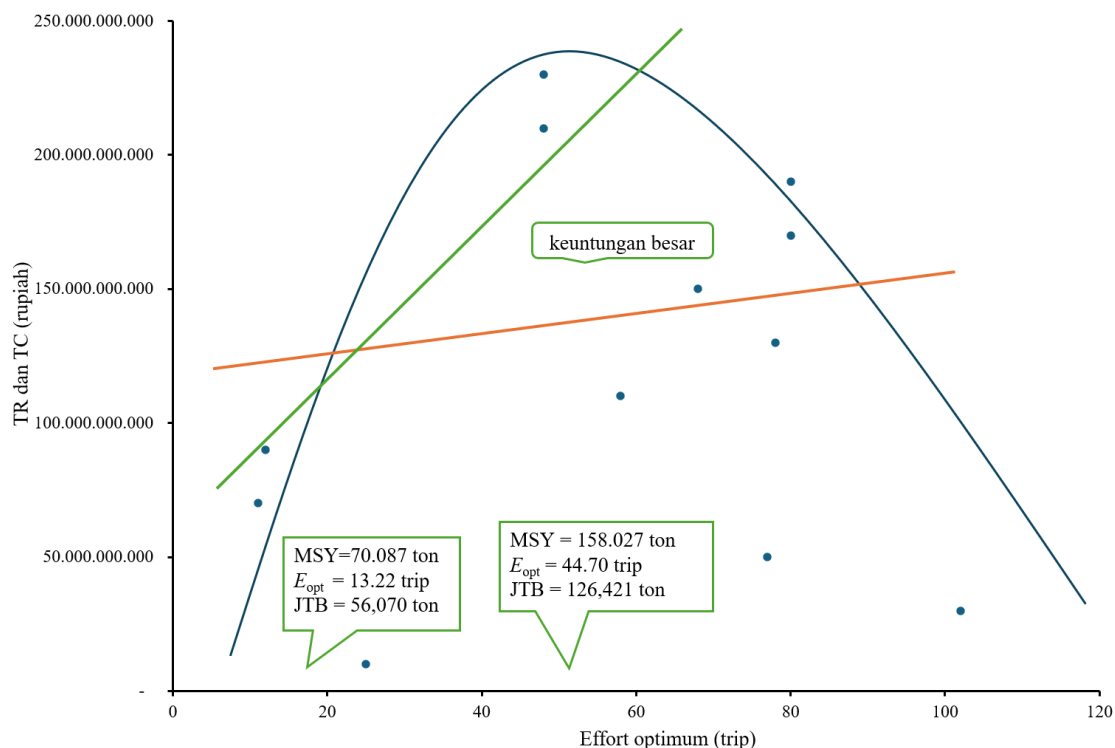
Hasil penelitian menunjukkan bahwa penerapan Model Algoritma Fox dan Schaefer menghasilkan estimasi MSY ikan tongkol yang berbeda. Berdasarkan analisis hingga Desember 2023, Model Fox menghasilkan nilai MSY sebesar 70.087 ton dengan upaya penangkapan optimum (E_{opt}) sebanyak 13 trip kapal, sedangkan Model Schaefer menunjukkan nilai MSY yang lebih tinggi, yaitu 158.027 ton dengan E_{opt} sebesar 45 trip kapal (Tabel 1, Gambar 3). Perbedaan hasil tersebut mencerminkan karakteristik masing-masing model dalam menggambarkan hubungan antara hasil tangkapan dan upaya penangkapan. Selain itu, berdasarkan perhitungan MSY dan upaya optimum pada periode 2017–2022 diperoleh nilai MSY sebesar 1.211,56 ton per tahun dengan

effort optimum 1.943,78 trip, yang menunjukkan batas maksimum tangkapan ikan tongkol yang masih dapat dimanfaatkan secara lestari.

Hasil penelitian ini relatif lebih rendah dibandingkan penelitian Harlyan *et al.* (2024) yang menggunakan Model Algoritma Fox di perairan Kranji, Lamongan, Jawa Timur. Penelitian tersebut melaporkan nilai tangkapan maksimum lestari ikan tongkol yang jauh lebih tinggi, yaitu sebesar 1.061.992 ton dengan upaya penangkapan optimum mencapai 2.185 trip. Perbedaan nilai MSY dan E_{opt} antarwilayah diduga dipengaruhi oleh perbedaan potensi sumber daya, intensitas eksploitasi, serta karakteristik perairan dan data yang digunakan. Sementara itu, Gemaputri (2013) melaporkan kondisi eksploitasi yang berbeda di perairan Jember. Berdasarkan analisis CPUE menggunakan Model Fox, tingkat pemanfaatan sumber daya ikan tongkol pada tahun 2018 mencapai 128 persen, sehingga dikategorikan dalam kondisi *overexploited*, dengan nilai koefisien determinasi (R^2) sebesar 29 persen. Penelitian Sianturi *et al.* (2023) juga menunjukkan dinamika hasil tangkapan, di mana nilai CPUE tertinggi tercatat pada tahun 2020 sebesar 1.785 ton per trip. Penelitian Melmambessy (2010) di Selat Makassar, Sulawesi Selatan, menemukan nilai MSY ikan tongkol sebesar 4.069,75 ton per tahun dengan upaya penangkapan optimum sekitar 1.666.666,67 trip per tahun. Namun, pada tahun 2007 hasil tangkapan telah melampaui nilai MSY, sehingga perikanan tongkol di wilayah tersebut mengalami kondisi *overfishing*.

Tabel 1. Pendugaan Nilai MSY dan E_{opt} Ikan Tongkol selama 2023

Pukat Cincin	Tongkol		Ln Effort	Ln Yield	CPUE = Ln (ton/trip)	Model Fox		Model Schaefer	
	Upaya (trip)	Produksi (ton)				MSY (ton/tahun)	E_{opt} (trip)	MSY (ton/tahun)	E_{opt} (trip)
Januari	25	17.930	3,22	9,79	3,04				
Februari	102	18.177	4,62	9,81	2,12				
Maret	77	18.319	4,34	9,82	2,26				
April	11	16.222	2,40	9,69	4,04				
Mei	12	17.562	2,48	9,77	3,93				
Juni	58	22.096	4,06	10,00	2,46				
Juli	78	19.598	4,36	9,88	2,27				
Agustus	68	17.912	4,22	9,79	2,32				
September	80	24.634	4,38	10,11	2,31				
Oktober	80	18.339	4,38	9,82	2,24	70.087	13,22	158.027	44,70
November	48	23.654	3,87	10,07	2,60				
Desember	48	18.666	3,87	9,83	2,54				



Gambar 3. Kurva Keseimbangan Stok (MSY) ikan tongkol

Hasil penelitian (Bintoro *et al.*, 2023) dengan menggunakan model Gordon Schaefer menemukan bahwa nilai E_{opt} dan MSY masing-masing adalah 3.314 ton per tahun dan 3.503 trip per tahun. Nilai MSY perikanan ikan tongkol jumlah tangkapan diperbolehkan = $0,8 \times 70.087$ dengan hasil sebesar 56.069 ton masih jauh dibawah nilai MSY. Kemudian $C_{aktual} = 233.109$ dibagi nilai JTB 56.069 ton menghasilkan 4,15 atau 4,15 % . Jika JTB 56.069 ton/339,3 (total ton aktual/total effort aktual) maka satu unit kapal pukat cincin dalam menangkap ikan tongkol sebanyak 165,24 ton per tahun. Dengan kondisi sumberdaya ikan tongkol yang ada di Laut Banda dengan hasil analisis jumlah tangkapan yang diperbolehkan masih under fished. Selanjutnya, berdasarkan nilai upaya penangkapan optimal (E_{opt}) yang diperoleh dari metode CMSY (Catch-MSY), tingkat upaya penangkapan dan tingkat pemanfaatan ikan tongkol selama tahun 2023 dapat dihitung dengan membandingkan upaya penangkapan aktual (E_{2023}) terhadap E_{opt} , sehingga menghasilkan persentase sebesar 51%.

Dari hasil perhitungan, ternyata upaya tangkap ikan tongkol di perairan Laut Banda pada tahun 2023 belum lebih tangkap. Hasil penelitian dari perairan Sibolga, Pematang Siantar (Sianturi

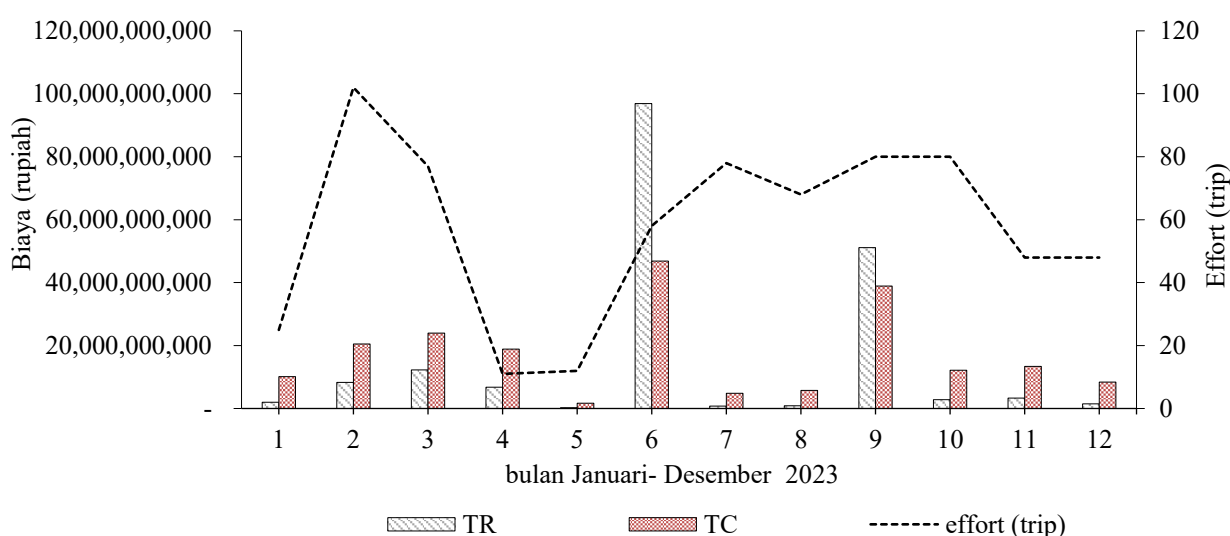
et al., 2023), jumlah tangkapan diperbolehkan ikan tongkol yaitu sebanyak 969,248 ton/tahun atau 80% dari tangkapan maksimum. Konsep ini sesuai dengan prinsip pengelolaan perikanan berbasis pendekatan kehati-hatian, di mana tangkapan yang diperbolehkan umumnya ditetapkan sebesar 80% dari MSY untuk menjaga keberlanjutan stok (Lauck *et al.*, 2020). Jika dibandingkan dengan perairan Laut Banda, angka tangkapan yang diperbolehkan di Sibolga menunjukkan bahwa stok ikan tongkol di wilayah tersebut telah dievaluasi secara kuantitatif dan berada dalam ambang batas eksploitasi yang dapat diterima. Hal ini menunjukkan pentingnya penghitungan parameter stok ikan lokal untuk menetapkan kebijakan pengelolaan yang berbasis pada kondisi spesifik perairan (Hilborn *et al.*, 2022; Cope *et al.*, 2023; Soukotta *et al.*, 2024).

Analisis MEY dan E_{MEY} dengan menggunakan model Fox pada suatu usaha penangkapan ikan tongkol di laut Banda menunjukan bahwa upaya optimal E_{MEY} yang tertinggi pada bulan Juni 96,3 trip per tahun dengan hasil tangkapan maksimal 7.690.835 ton per bulan dan upaya optimal E_{MEY} bulan September 87,8 trip per tahun dengan hasil tangkapan maksimal sebesar 4.058.315 ton per bulan pada Gambar 4.

Berdasarkan penelitian serupa di perairan tropis, seperti di Laut Jawa dan Selat Makassar, Fluktuasi upaya dan hasil tangkapan ikan pelagis, seperti tongkol, di perairan tropis sering dipengaruhi oleh faktor musim dan dinamika oseanografi, termasuk suhu permukaan laut, pola arus, dan ketersediaan pakan (Fofied *et al.*, 2024). Penelitian Kurman & Baskoro (2024) di perairan Sulawesi Selatan juga menunjukkan adanya perbedaan antara MEY dan E_{MEY} . Upaya penangkapan pada MEY lebih tinggi dibandingkan dengan E_{MEY} karena mempertimbangkan keuntungan ekonomi tanpa memperhatikan aspek ekologi. Temuan ini sejalan dengan kondisi di Laut Banda, di mana upaya optimal pada E_{MEY} lebih rendah dibandingkan MEY untuk menjaga keberlanjutan stok ikan.

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa upaya optimal E_{MEY} di Laut Banda lebih tinggi pada bulan Juni dibandingkan dengan September, yang kemungkinan besar diduga dipengaruhi oleh kondisi oseanografi (Tapilatu, 2016; Syahailatua & Wouthuyzen, 2023) dan ketersediaan pakan (Hesty *et al.*, 2023; Napitupulu *et al.*, 2025). Studi perbandingan dengan perairan lain di Indonesia menunjukkan pola serupa, di mana fluktuasi hasil tangkapan dan upaya penangkapan mengikuti perubahan musim dan faktor lingkungan (Purwanti *et al.*, 2024). Oleh karena itu, model Fox menjadi alat analisis yang relevan untuk menggambarkan hubungan antara upaya penangkapan, hasil tangkapan, dan keberlanjutan sumber daya ikan tongkol.

Total pendapatan (TR) dari kegiatan penangkapan ikan pada bulan Juni 2023 tercatat sebesar Rp. 96.904.525.389, dengan total biaya penangkapan (TC) sebesar Rp. 46.800.542.262. Sementara itu, pada bulan September 2023, total pendapatan mengalami penurunan signifikan menjadi Rp. 51.134.766.281, dengan biaya penangkapan yang juga menurun menjadi Rp. 38.938.141.366. Berdasarkan data tersebut, terlihat bahwa penurunan pendapatan dari bulan Juni ke September 2023 lebih besar dibandingkan dengan penurunan biaya operasional. Hal ini dapat mengindikasikan adanya pengurangan hasil tangkapan atau penurunan harga pasar ikan. Hasil penelitian Bintoro *et al.* (2023) menunjukkan bahwa nilai Maximum Economic Yield (MEY) dan Effort at Maximum Economic Yield (E_{MEY}) masing-masing sebesar 3.160 ton per tahun dan 2.750 trip per tahun, dengan potensi keuntungan maksimal sekitar 1,4 miliar dolar per tahun. Namun, status pemanfaatan ikan tongkol (*Auxis rochei*) yang telah mengalami eksploitasi berlebih mengindikasikan adanya tekanan yang tinggi terhadap stok ikan. Jika eksploitasi terus berlanjut tanpa pengelolaan yang ketat, stok ikan tongkol dapat mengalami penurunan yang lebih drastis, yang pada akhirnya dapat berdampak pada keberlanjutan industri perikanan. Oleh karena itu, diperlukan regulasi yang lebih ketat, seperti pengurangan upaya tangkap dan pengaturan musim penangkapan, guna menjaga keseimbangan ekologi serta keberlanjutan ekonomi sektor perikanan.



Gambar 4. Model Fox MEY, E_{MEY} , Total pendapatan (TR), biaya penangkapan (TC) ikan tongkol selama tahun 2023.

KESIMPULAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa tingkat pemanfaatan ikan tongkol (*Auxis rochei*) di Laut Banda masih berada pada kondisi *underfished*. Hubungan negatif antara Catch per Unit Effort dan upaya penangkapan mengindikasikan bahwa peningkatan effort tidak diikuti oleh peningkatan produktivitas, sehingga tekanan penangkapan perlu dikendalikan secara hati-hati. Pendugaan stok menggunakan Model Fox dan Schaefer menghasilkan nilai Maximum Sustainable Yield dan upaya penangkapan optimum yang berbeda, namun secara konsisten menunjukkan bahwa pemanfaatan stok saat ini masih berada di bawah batas lestari. Dari aspek biologis, stok ikan tongkol memiliki kemampuan pertumbuhan dan pemulihan yang relatif baik, tetapi tetap sensitif terhadap peningkatan upaya penangkapan. Secara ekonomi, analisis Maximum Economic Yield menunjukkan bahwa efisiensi usaha dicapai pada tingkat upaya yang lebih rendah dibandingkan dengan batas produksi maksimum. Oleh karena itu, pengelolaan perikanan ikan tongkol di Laut Banda perlu diarahkan pada pembatasan upaya penangkapan, penetapan jumlah tangkapan yang diperbolehkan, serta pengaturan musim penangkapan untuk menjamin keberlanjutan sumber daya dan manfaat ekonomi jangka panjang.

DAFTAR PUSTAKA

- Abrahamsz, J., Makailipessy, M.M., Ayai, F.W. & Tuapetel, F. 2022. Peningkatan kapasitas pengelola perikanan WPPNRI-718 terkait EAFM: Pembelajaran di Kabupaten Kepulauan Aru. *Balobe: Jurnal Pengabdian Masyarakat*, 1(2): 38–46. doi: 10.30598/balobe.1.2.38-46
- Arkham, M.N., Kelana, P.P., Pramesthy, T.D., Roza, S.Y. & Ikhsan, S.A. 2021. Status pemanfaatan sumberdaya ikan demersal di Dumai, Riau. *Albacore Jurnal Penelitian Perikanan Laut*, 5(3): 235–242. doi: 10.29244/core.5.3.235-242
- Barman, P.P., Shamsuzzaman, M.M., Schneider, P., Mozumder, M.M.H. & Liu, Q. 2022. Fisheries reference point and stock status of croaker fishery (Sciaenidae) exploited from the Bay of Bengal, Bangladesh. *Journal of Marine Science and Engineering*, 10(1): 63:1–12. doi: 10.3390/jmse10010063
- Bintoro, G., Sutjipto, D.O., Lelono, T.R.I.D. & Semedi, B. 2023. Sustainable economic analysis and length weight relationship of bullet tuna (*Auxis rochei*) fishery in east area of Bali Strait, Indonesia. *Biodiversitas*, 24(6): 3528–3535. doi: 10.13057/biodiv/d240651
- Briton, F., Macher, C., Merzeréaud, M., Le Grand, C., Fifas, S. & Thébaud, O. 2020. Providing integrated total catch advice for the management of mixed fisheries with an eco-viability approach. *Environmental Modeling & Assessment*, 25(3): 307–325. doi: 10.1007/s10666-019-09685-7
- Brochier, T., Auger, P., Thiao, D., Bah, A., Ly, S., Nguyen-Huu, T. & Brehmer, P. 2018. Can overexploited fisheries recover by self-organization? Reallocation of fishing effort as an emergent form of governance. *Marine Policy*, 95: 46–56. doi: 10.1016/j.marpol.2018.06.009
- Chamera, F., Kamndaya, M., Kadaleka, S., Phepa, P., Mwamtobe, P.M. & Soko, A. 2025. Fish stock assessment models for developing nations with emphasis on the use of the classic Gordon–Schaefer model: A review. *Fishes*, 10(9): 442:1–19. doi: 10.3390/fishes10090442
- Cope, J.M., Dowling, N.A., Hesp, S.A., Omori, K.L., Bessell-Browne, P., Castello, L., Chick, R., Dougherty, D., Holmes, S.J., McGarvey, R., Ovando, D., Nowlis, J. & Prince, J. 2023. The stock assessment theory of relativity: Deconstructing the term “data-limited” fisheries into components and guiding principles to support the science of fisheries management. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, 33(1): 241–263. doi: 10.1007/s11160-022-09748-1
- Copes, P. 2019. Factor rents, sole ownership and the optimum level of fisheries exploitation. In: *Fisheries Economics, Volume I*. Routledge, pp. 105–123. doi: 10.4324/9781315193182-7
- Crespo, G.O., Griffiths, S., Murua, H., Österblom, H. & Lopez, J. 2024. Adaptive spatiotemporal management to reduce shark bycatch in tuna fisheries. *Conservation Biology*, 38(4): e14324. doi: 10.1111/cobi.14324
- Dahlan, M.A., Yunus, B. & Umar, M.T. 2018. Nisbah kelamin dan tingkat kematangan gonad ikan tongkol lisong (*Auxis rochei*, Risso 1810) di perairan Majene Sulawesi Barat. *Jurnal Saintek Peternakan dan Perikanan*, 2(1): 15–21. doi: 10.31605/siganus.v1i1.488
- Derhy, G., Elkalay, K., Rincón, M.M. & Khalil, K. 2024. Stochastic surplus production and

- length-based assessment models to compare maximum sustainable yield advice for the Moroccan Atlantic chub mackerel. *Frontiers in Marine Science*, 11: 1386541. doi: 10.3389/fmars.2024.1386541
- DKP Provinsi Maluku. 2023. Laporan kinerja Kementerian Kelautan dan Perikanan Republik Indonesia tahun 2023. DKP Provinsi Maluku.
- Dupaix, A., Lengaigne, M., Andrello, M., Barrier, N., Dagorn, L., Gusmai, Q., Viennois, G. & Capello, M. 2024. Floating objects in the open ocean: Unveiling modifications of the pelagic habitat induced by forest cover change and climate variations. *Global Environmental Change*, 88: 102917. doi: 10.1016/j.gloenvcha.2024.102917
- Dutta, S., Al Harthy, M., Al Jufaili, S.M. & Al Abri, I. 2025. Multispecies fisheries management of the Sultanate of Oman using bioeconomic model. *Heliyon*, 11(2): e41751. doi: 10.1016/j.heliyon.2025.e41751
- Fofied, F.G., Hartoko, A. & Saputra, S.W. 2024. Analisis sebaran suhu permukaan laut, klorofil-a, dan zona potensial penangkapan ikan cakalang di perairan Jayapura. *Buletin Oseanografi Marina*, 13(3): 409–423.
- Forrestal, F.C., Schirripa, M., Goodyear, C.P., Arrizabalaga, H., Babcock, E.A., Coelho, R., Ingram, W., Lauretta, M., Ortiz, M., Sharma, R. & Walter, J. 2019. Testing robustness of CPUE standardization and inclusion of environmental variables with simulated longline catch datasets. *Fisheries Research*, 210: 1–13. doi: 10.1016/j.fishres.2018.09.025
- Fox, W.W. 1970. An exponential surplus yield model for optimizing exploited fish populations. *Transactions of the American Fisheries Society*, 99(1): 80–88. doi: 10.1577/1548-8659(1970)99<80:AESMFO>2.0.CO;2
- Francis, M.P., Lyon, W.S., Clarke, S.C., Finucci, B., Hutchinson, M.R., Campana, S.E., Musyl, M.K., Schaefer, K.M., Hoyle, S.D., Peatman, T., Bernal, D., Bigelow, K., Carlson, J., Coelho, R., Heberer, C., Itano, D., Jones, E., Leroy, B., Liu, K.M., Murua, H., Poisson, F., Rogers, P., Sanchez, C., Semba, Y., Sippel, T. & Smith, N. 2023. Post-release survival of shortfin mako (*Isurus oxyrinchus*) and silky (*Carcharhinus falciformis*) sharks released from pelagic tuna longlines in the Pacific Ocean. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 33(4): 366–378. doi: 10.1002/aqc.3920
- Froese, R., Winker, H., Coro, G., Palomares, M.L., Tsikliras, A.C., Dimarchopoulou, D., Touloumis, K., Demirel, N., Vianna, G.M.S., Scarcella, G., Schijns, R., Liang, C. & Pauly, D. 2023. New developments in the analysis of catch time series as the basis for fish stock assessments: The CMSY++ method. *Acta Ichthyologica et Piscatoria*, 53: 173–189. doi: 10.3897/aiep.53.105910
- Gemaputri, A.A. 2013. Tingkat pemanfaatan sumber daya ikan hasil tangkapan di perairan Jember. *Jurnal Perikanan Universitas Gadjah Mada*, 15(1): 35–41.
- Gleiber, M.R., Sponaugle, S. & Cowen, R.K. 2020. Some like it hot, hungry tunas do not! Implications of temperature and plankton food web dynamics on growth and diet of tropical tuna larvae. *ICES Journal of Marine Science*, 77(7–8): 3058–3073. doi: 10.1093/icesjms/fsaa201
- Griffiths, S.P., Leadbitter, D., Willette, D., Kaymaram, F. & Moazzam, M. 2020. Longtail tuna, *Thunnus tonggol* (Bleeker, 1851): A global review of population dynamics, ecology, fisheries, and considerations for future conservation and management. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, 30(1): 25–66. doi: 10.1007/s11160-019-09589-5
- Guillotreau, P., Salladarré, F., Capello, M., Dupaix, A., Floc'h, L., Tidd, A., Tolotti, M. & Dagorn, L. 2024. Is FAD fishing an economic trap? Effects of seasonal closures and other management measures on a purse-seine tuna fleet. *Fish and Fisheries*, 25(1): 151–167. doi: 10.1111/faf.12799
- Harlyan, L.I., Rahman, M.A., Saputri, R.R.L. & Rihmi, M.K. 2024. Status stok perikanan tongkol abu-abu (*Thunnus tonggol*) yang didaratkan di Perairan Kranji, Lamongan, Jawa Timur. *Jurnal Lemuru*, 6(1): 1–14.
- Haryanto, T., Rahmawati, Y., Kusumawardani, D., Martina, A., Ichsan, A.K.N., Erlando, A. & Ibrahim, K.H. 2025. Balancing economic returns and conservation: A bioeconomic assessment of *Sardinella lemuru* fisheries management in Muncar, Banyuwangi, Indonesia. *Social Sciences & Humanities Open*, 11: 101277. doi: 10.1016/j.ssaho.2025.101277

- Hehanussa, K.G., Tuapetel, F. & Sanduan, R.H. 2024. Productivity of purse seine fishing tools operating in the waters of Outer Ambon Bay, Maluku. *Jurnal Perikanan Unram*, 14(3): 1244–1254. doi: 10.29303/jp.v14i3.9 62
- Hesty, R.K., Dwi, R., Purnama, R.R., Aulia, S.A., Abdul, R. & Roni, H. 2023. Mapping of sea surface temperature distribution, chlorophyll-a concentration and potential zone of large pelagic fishing in the East Monsoon in the Banda Sea, 2019. *Russian Journal of Agricultural and Socio-Economic Sciences*, 141(9): 24–33. doi: 10.18551/rjoas.2023-09. 04
- Hilborn, R., Agostini, V.N., Chaloupka, M., Garcia, S.M., Gerber, L.R., Gilman, E., Hanich, Q., Himes-Cornel, A., Hobday, A.J., Itano, D., Kaiser, M.J., Murua, H., Ovando, D., Pilling, G.M., Rice, J.C., Sharma, R., Schaefer, K.M., Sevenrance, C.J., Taylor, N.G. & Fitchett, M. 2022. Area-based management of blue water fisheries: Current knowledge and research needs. *Fish and Fisheries*, 23(2): 492–518. doi: 10.1111/faf. 12629
- Hoshino, E., Hillary, R., Davies, C., Satria, F., Sadiyah, L., Ernawati, T. & Proctor, C. 2020. Development of pilot empirical harvest strategies for tropical tuna in Indonesian archipelagic waters: Case studies of skipjack and yellowfin tuna. *Fisheries Research*, 227: 105539. doi: 10.1016/j.fishres.2020.105539
- Hountcheme, C. & Simon, A.M. 2024. Understanding overfishing: A literature review. *Asian Journal of Fisheries and Aquatic Research*, 26(1): 61–71. doi: 10.9734/ajfar/2024/v26i1727
- Jean, S. & Mouysset, L. 2022. Bioeconomic models for terrestrial social-ecological system management: A review. *International Review of Environmental and Resource Economics*, 16(1): 43–92. doi: 10.1561/101. 00000131
- Kawamoto, T. 2022. A challenge to estimate global canned tuna demand and its impact on future tuna resource management using the gamma model. *Marine Policy*, 139: 105016. doi: 10.1016/j.marpol.2022.105016
- Kurman, M. & Baskoro, M.S. 2024. Pemanfaatan perikanan pukat cincin di perairan Larantuka Kabupaten Flores Timur Provinsi Nusa Tenggara Timur. *Albacore Jurnal Penelitian Perikanan Laut*, 8(3): 289–302. doi: 10.29244/core.8.3.289-302
- Kwon, Y., Lee, E., Seo, Y., Kang, H. & Zhang, C.I. 2020. Evaluation of total allowable catch (TAC) based fishery resources management in Korea. *Journal of Environmental Biology*, 41: 1407–1423. doi: 10.22438/jeb/41/5(SI)/MS_ 35
- La Ima, T., Pattikawa, J.A. & Tuapetel, F. 2023. Manajemen perikanan tangkap ikan layang (*Decapterus macrosoma*) di perairan Banda berbasis aspek biologi. *Amanisal: Jurnal Teknologi dan Manajemen Perikanan Tangkap*, 12(1): 14–26. doi: 10.30598/ amanis alv12i1p14-26
- Lauck, T., Clark, C.W., Mangel, M. & Munro, G.R. 2020. Implementing the precautionary principle in fisheries management through marine reserves. In: *Fisheries Economics*, Vol. II: 143–149. Routledge. doi: 10.4324/9780429288500-12
- Leroy, J.L., Frongillo, E.A., Dewan, P., Black, M.M. & Waterland, R.A. 2020. Can children catch up from the consequences of undernourishment? Evidence from child linear growth, developmental epigenetics, and brain and neurocognitive development. *Advances in Nutrition*, 11(4): 1032–1041. doi: 10.1093/advances/nmaa020
- Marinding, J.C., Labaro, I.L. & Pamikiran, R.D.C. 2023. Catch per unit effort perikanan tuna handline dalam kurun waktu lima tahun di Pelabuhan Perikanan Samudera Bitung. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Perikanan Tangkap*, 8(2): 59–67. doi: 10.35800/jitpt.8. 2.2023.48477
- Maunder, M.N., Thorson, J.T., Xu, H., Oliveros-Ramos, R., Hoyle, S.D., Tremblay-Boyer, L., Hua, L.H., Mikiyiko, K., Shui-Kai, C. & Piner, K.R. 2020. The need for spatio-temporal modeling to determine catch-per-unit-effort based indices of abundance and associated composition data for inclusion in stock assessment models. *Fisheries Research*, 229: 105594. doi: 10.1016/j.fishres.2020.10 5594
- Melmambessy, E.H. 2010. Pendugaan stok ikan tongkol di Selat Makassar Sulawesi Selatan. *Agrikan: Jurnal Agribisnis Perikanan*, 3(1): 53–61. doi: 10.29239/j.agrikan.3.1.53-61
- Melmambessy, E.H., Saputra, S.W., Hartoko, A. & Mudzakir, A.K. 2025. Penentuan ukuran mata jaring untuk keberlanjutan udang *Penaeus merguensis* di perairan Papua Selatan. *Buletin Oseanografi Marina*, 14(1): 37–48. doi: 10.14710/buloma.v14i1.61672

- Merino, G., Murua, H., Santiago, J., Arrizabalaga, H. & Restrepo, V. 2020. Characterization, communication, and management of uncertainty in tuna fisheries. *Sustainability*, 12(19): 8245. doi: 10.3390/su12198245
- Mulyani, N., Rahim, A., Hastuti, D.R.D. & Kamaruddin, C.A. 2024. Determinants of catch and catch per unit effort of motorboat and outboard motorboat fishers in Bulukumba Regency. *Demeter: Journal of Farming and Agriculture*, 2(1): 111–119. doi: 10.58905/demeter.v2i1.229
- Nagi, A., Napitupulu, G., Radjawane, I.M., Nurdjaman, S., Supriadi, D. & Nurhayati, D. 2023. Pemetaan zona potensial penangkapan ikan tongkol di perairan Teluk Banten. *Buletin Oseanografi Marina*, 12(3): 379–394. doi: 10.14710/buloma.v12i3.50374
- Napitupulu, G., Fekranie, N.A., Millina, A.V., Putri, M.R., Kartadikaria, A.R., Setiawan, A. & Fajary, F.R. 2025. Seasonal variability of surface heat transport in the Banda Sea. *Thalassas: An International Journal of Marine Sciences*, 41(2): 105. doi: 10.1007/s41208-025-00840-4
- Nur, M., Tenriware, T. & Nasyrah, A.F.A. 2023. Length-weight relationship and condition factor of bullet tuna (*Auxis rochei*) in the waters of Mamuju District, West Sulawesi Province, Indonesia. *Biodiversitas Journal of Biological Diversity*, 24(10). doi: 10.13057/biodiv/d241005
- Pasaribu, D.D., Retno, R., Rumondang, A. & Handoco, E. 2024. Pendugaan stok ikan kembung (*Rastrelliger* sp.) yang didaratkan di Pelabuhan Perikanan Nusantara Sibolga Provinsi Sumatera Utara. *Jurnal Minfo Polgan*, 13(2): 1658–1667. doi: 10.33395/jmp.v13i2.14193
- Pattikawa, J.A., Tuapetel, F. & La Ima, T. 2023. Size distribution and growth pattern of shortfin scad (*Decapterus macrosoma*) from Banda Islands, Indonesia. *Aquaculture, Aquarium, Conservation & Legislation*, 16(1): 572–578.
- Pentz, B. & Klenk, N. 2022. Why do fisheries management institutions circumvent precautionary guidelines? *Journal of Environmental Management*, 311: 114851. doi: 10.1016/j.jenvman.2022.114851
- Pereira, D.V., Arantes, C.C., Sousa, K.N.S. & Freitas, C.E.D.C. 2023. Relationships between fishery catch rates and land cover along a longitudinal gradient in floodplains of the Amazon River. *Fisheries Research*, 258: 106521. doi: 10.1016/j.fishres.2022.106521
- Pradini, U.R., Dewi, N. & Restuhadi, F. 2021. Analisis bioekonomi sumberdaya ikan baung di perairan umum Kabupaten Kampar Provinsi Riau. *Jurnal Agribisnis*, 10(2): 104–111. doi: 10.32520/agribisnis.v10i2.1800
- Purwanti, Pudji., Sofiati, D., Intyas, C.A., Fattah, Mochammad., Qurrata, V.A. & Saputra, Jumadil. 2024. Assessment of the resources sustainability using resource utilisation and catch projection approach: Case of Prigi Gulf Indonesia. *Journal of Sustainability Science and Management*, 19(7): 57–69. doi: 10.46754/jssm.2024.07. 004
- Puspita, R., Boer, M. & Yonvitner, Y. 2018. Tingkat kerentanan ikan tembang (*Sardinella fimbriata*, Valenciennes 1847) dari kegiatan penangkapan dan potensi keberlanjutan di Perairan Selat Sunda. *Journal of Tropical Fisheries Management*, 1(1): 17–23. doi: 10.29244/jppt.v1i1.20149
- Robinson, J.P., Nash, K.L., Blanchard, J.L., Jacobsen, N.S., Maire, E., Graham, N.A., MacNeil, M.A., Zamborain-Mason, J., Allison, E.H. & Hicks, C.C. 2022. Managing fisheries for maximum nutrient yield. *Fish and Fisheries*, 23(4): 800–811. doi: 10.1111/faf.12649
- Rodriguez-Perez, A., Tsikliras, A.C., Gal, G., Steenbeek, J., Falk-Andersson, J. & Heymans, J.J. 2023. Using ecosystem models to inform ecosystem-based fisheries management in Europe: A review of the policy landscape and related stakeholder needs. *Frontiers in Marine Science*, 10: 1196329. doi: 10.3389/fmars.2023.1196329
- Romero, J., Catry, P., Hermida, M., Neves, V., Cavaleiro, B., Gouveia, L. & Granadeiro, J.P. 2021. Tunas off northwest Africa: The epipelagic diet of the bigeye and skipjack tunas. *Fisheries Research*, 238: 105914. doi: 10.1016/j.fishres.2021.105914
- Russo, S., Torri, M., Patti, B., Musco, M., Masullo, T., Di Natale, M.V., Sara, G. & Cuttitta, A. 2022. Environmental conditions along tuna larval dispersion: Insights on the spawning habitat and impact on their development stages. *Water*, 14(10): 1568. doi: 10.3390/w14101568
- Salampeasy, E., Tetelepta, J.M., Pattikawa, J.A., Natan, Y. & Tuapetel, F. 2025. Biological

- aspect of redbtail scad (*Decapterus kurroides*) in the waters of Tulehu, Central Maluku Regency, Maluku Province, Indonesia. *Fish*, 13(5): 3165. doi: 10.22271/fish.2025.v13.i5c.3165
- Sanchirico, J.N. & Wilen, J.E. 2020. Bioeconomics of spatial exploitation in a patchy environment. In *Fisheries Economics, Volume II*, 177–198. Routledge. doi: 10.4324/9780429288500-16
- Sari, C.P.M. & Nurainun, N. 2022. Analisis bioekonomi dan potensi lestari ikan cakalang di Provinsi Aceh. *Jurnal Ekonomi Pertanian Unimal*, 5(1): 22–27. doi: 10.29103/jepu.v7i1.17708
- Schijns, R. & Pauly, D. 2022. Management implications of shifting baselines in fish stock assessments. *Fisheries Management and Ecology*, 29(2): 183–195. doi: 10.1111/fme.12511
- Sianturi, P.J., Handoco, E. & Siburian, T.E. 2023. Pendugaan stok ikan tongkol (*Euthynnus affinis*) yang didaratkan di Pelabuhan Perikanan Nusantara Sibolga. *Triton: Jurnal Manajemen Sumberdaya Perairan*, 19(2): 132–141. doi: 10.30598/TRITONvol19issue2page132-141
- Sinan, H., Bailey, M., Hanich, Q. & Azmi, K. 2022. Common but differentiated rights and responsibilities in tuna fisheries management. *Fish and Fisheries*, 23(1): 202–212. doi: 10.1111/faf.12610
- Soukotta, I.V., Moniharapon, D.L., Supusepa, J. & Tuapetel, F. 2024. Biologi populasi ikan layang putih (*Decapterus macrosoma*) yang didaratkan di Desa Waai, Maluku Tengah. *Triton: Jurnal Manajemen Sumberdaya Perairan*, 20(2): 88–97. doi: 10.30598/TRITONvol20issue2page88-97
- Soukotta, I.V. & Tuapetel, F. 2024. Dinamika populasi ikan cakalang (*Katsuwonus pelamis*) di Laut Seram. *Amanisal: Jurnal Teknologi dan Manajemen Perikanan Tangkap*, 13(2): 69–78. doi: 10.30598/amanisal.v13i2.15000
- Sondita, M.F.A., Ramdhani, N.M. & Nurani, T.W. 2022. Strategi pengembangan pemantauan kuota penangkapan ikan untuk suatu wilayah pengelolaan perikanan di Indonesia. *Marine Fisheries: Journal of Marine Fisheries Technology and Management*, 13(1): 15–29. doi: 10.29244/jmf.v13i1.36354
- Sultana, R., Liu, Q., Al-Mamun, M.A., Barman, P.P., Shamsuzzaman, M.M. & Barua, S. 2023. Estimating stock status and biological reference points of the sardine fishery using the surplus production model from the Bay of Bengal, Bangladesh. *Journal of Marine Science and Engineering*, 11(5): 944. doi: 10.3390/jmse11050944
- Suman, A., Kembaren, D.D., Pane, A.R.P. & Taufik, M. 2020. Status stok udang jerbung (*Penaeus merguensis*) di perairan Bengkalis dan sekitarnya serta kemungkinan pengelolaannya secara berkelanjutan. *Jurnal Kebijakan Perikanan Indonesia*, 12(1): 11–22. doi: 10.15578/jkpi.12.1.2020.11-22
- Sujarta, P., Ohee, H.L., Zainuri, M., Misbach, I. & Ramandey, E.R. 2025. Pengaruh pemberian pupuk organik cair limbah ikan cakalang (*Katsuwonus* sp.) terhadap pertumbuhan dan kandungan klorofil-a pada *Chlorella* sp. *Buletin Oseanografi Marina*, 14(1): 13–24. doi: 10.14710/buloma.v14i1.53092
- Syahailatua, A. & Wouthuyzen, S. 2023. Implikasi upwelling terhadap produktivitas perikanan laut di Indonesia dan upaya konservasinya. In Amri, K., Latuconsina, H. & Triyanti, R. (eds). *Pengelolaan Sumber Daya Perikanan Laut Berkelanjutan*, 221–266. Penerbit BRIN Indonesia. doi: 10.55981/brin.908.c758
- Tidd, A.N., Floc'h, L., Imzilen, T., Tolotti, M., Dagorn, L., Capello, M. & Guillotreau, P. 2023. How technical change has boosted fish aggregation device productivity in the Indian Ocean tuna fishery. *Scientific Reports*, 13(1): 17834. doi: 10.1038/s41598-023-45112-4
- Tapilatu, Y.H. 2016. Profil oseanografi biologi Laut Banda: Sebuah tinjauan kritis. *Omni-Akuatika*, 12(2): 58–66. doi: 10.20884/1.oa.2016.12.2.100
- Trenggono, S.W. 2023. Penangkapan ikan terukur berbasis kuota untuk keberlanjutan sumber daya perikanan di Indonesia. *Jurnal Kelautan dan Perikanan Terapan*, 1(1): 1–8. doi: 10.15578/jkpt.v1i0.12057
- Tuapetel, F. 2024. Sosialisasi peraturan perundang-undangan pemanfaatan sumberdaya ikan terbang di Maluku Tenggara. *Balobe: Jurnal Pengabdian Masyarakat*, 3(1): 9–19. doi: 10.30598/balobe.3.1.9-19
- Tuapetel, F., Kadarusman, K., Syahailatua, A., Boli, P., Indrayani, I. & Wujdi, A. 2024. Stock structure of flying fish (*Cypselurus poecilopterus*) in the Eastern Indonesia water based on morphometric and meristic

- variation. *Bawal Widya Riset Perikanan Tangkap*, 15(3): 109–119. doi: 10.15578/bawal.15.3.2023.109-119
- Tuapetel, F. & Rahman, R. 2025. Utilization of fish resources and conservation efforts in Ambon Bay, Indonesia. *Egyptian Journal of Aquatic Biology and Fisheries*, 29(1): 1425–1435. doi: 10.21608/ejabf.2025.410760
- Tummon Flynn, P., Poirier, L.A., Beaulieu, G., Barrett, T.J., Cairns, D.K. & Quijón, P.A. 2024. On the rebound: removal programs yield local-scale benefits but do not sustainably suppress populations of invasive European green crabs (*Carcinus maenas*). *Biological Invasions*, 26(2): 451–469. doi: 10.1007/s10530-023-03183-4
- Waileruny, W., Saidi, R. & Matrutty, D.D. 2024. Potensi lestari dan status pemanfaatan ikan tongkol (*Auxis thazard*) di Perairan Maluku Tengah. *Marine Fisheries: Journal of Marine Fisheries Technology and Management*, 15(1): 15–24. doi: 10.29244/jmf.v15i1.48341
- Wang, J. & Guo, X. 2024. The Gompertz model and its applications in microbial growth and bioproduction kinetics: Past, present and future. *Biotechnology Advances*, 108335. doi: 10.1016/j.biotechadv.2024.108335
- Wahana, S., Nur, M. & Nasyrah, A.F.A. 2021. Hubungan panjang bobot dan beberapa aspek reproduksi ikan tongkol lisong (*Auxis rochei* Risso, 1810) di Perairan Teluk Bone. *Jurnal Airaha*, 10(2): 241–247. doi: 10.15578/ja.v10i02.271
- Wijaya, A., Priyono, B. & Mahdalena, N.C. 2018. Karakteristik spasial temporal kondisi oseanografi Laut Banda dan hubungannya dengan potensi sumberdaya perikanan. *JFMR-Journal of Fisheries and Marine Research*, 2(2): 75–85. doi: 10.21776/ub.jfmr.2018.002.02.4
- Zhai, L., Liang, C. & Pauly, D. 2020. Assessments of 16 exploited fish stocks in Chinese waters using the CMSY and BSM methods. *Frontiers in Marine Science*, 7: 483993. doi: 10.3389/fmars.2020.483993
- Zhang, Q., Liu, Q. & Han, Y.N. 2021. Assessing the fishery resource status of China's coastal waters using surplus production models. *Journal of Ocean University of China*, 20: 1236–1244. doi: 10.1007/s11802-021-4736-x