



Evaluasi Keberlanjutan Perikanan Tuna Sirip Kuning Di WPP-715, Maluku Utara: Pendekatan Pemodelan Bioekonomi

(Evaluating the Sustainability of Yellowfin Tuna Fishery in WPP-715, North Maluku: A Bioeconomic Modeling Approach)

Irwan Abdul Kadir¹, Faizal Rumagia¹, Tri Laela Wulandari¹✉

¹ Program Studi Pemanfaatan Suberdaya Perikanan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Khairun. Indonesia

Email: irwanabdulkadir.1976@gmail.com, trilaela@unkhair.ac.id, faizal.rumagia@unkhair.ac.id.

Article Info :

Recived : 11 November 2025

Accepted : 30 November 2025

Online : 30 November 2025

Article type

	Review Article
	Commin Serv. Articel
✓	Research Article

Keyword :

Yellowfin tuna, WPP-715, Fisheries management, Overfishing; Bioeconomic

Corresponding Author :

Tri Laela Wulandari

Program Studi Pemanfaatan Suberdaya Perikanan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Khairun. Indonesia

Email:

trilaela@unkhair.ac.id

Abstract

Yellowfin tuna is a fisheries resource of high economic value in Fisheries Management Area (FMA) 715, North Maluku Province, Indonesia, playing a crucial role in the local economy as well as the global tuna market. However, increasing fishing pressure and unsustainable exploitation practices pose a serious threat to the long-term sustainability of this resource. This study aims to assess the current level of exploitation of the yellowfin tuna fishery and to formulate appropriate management strategies based on a bioeconomic approach. The analysis employed four surplus production models, namely Clarke-Yoshimoto-Pooley (CYP), Walter-Hilborn (W-H), Schnute, and Fox, to estimate key biological parameters, including the intrinsic growth rate (r), environmental carrying capacity (K), and catchability coefficient (q). Based on statistical criteria, the CYP model demonstrated the highest goodness of fit (R -squared = 90.51%) and was subsequently applied in the bioeconomic analysis. The results indicate that under the Maximum Sustainable Yield (MSY) condition, biomass reaches 2,617,152 kg with a catch of 577,292 kg and a fishing effort of 20,353 trips. Meanwhile, under the Maximum Economic Yield (MEY) condition, biomass increases to 3,226,476 kg with a catch of 546,000 kg and a reduced fishing effort of 15,614 trips, generating a maximum economic profit of IDR 18,008,031,386. These findings suggest that the current status of the yellowfin tuna fishery in FMA 715 has experienced overfishing, exceeding both biologically and economically optimal levels. Therefore, the implementation of sustainable fisheries management strategies is essential to prevent further stock depletion and future economic losses.



Copyright © 2025, Irwan Abdul Kadir, Faizal Rumagia, Tri Laela Wulandari

PENDAHULUAN

Subsektor perikanan tuna merupakan salah satu komoditas strategis yang berkontribusi signifikan terhadap perekonomian Indonesia dan pasar perikanan global. Pada tahun 2016, Indonesia menyumbang sekitar 7,19% dari total produksi tangkapan dunia atau setara dengan 6,54 juta ton (FAO, 2018). Tuna termasuk dalam famili Scombridae dan tergolong sebagai ikan pelagis besar dengan karakteristik highly migratory species, yang memiliki dinamika stok kompleks akibat pergerakan lintas wilayah pengelolaan, variasi rekrutmen, dan pengaruh kondisi oseanografi. Studi terbaru berbasis penandaan satelit menunjukkan bahwa tuna pelagis besar memiliki pola migrasi tahunan, fidelitas habitat, serta penggunaan ruang

Indexed :



vertikal yang kompleks, sehingga stok tuna sering kali melintasi batas-batas wilayah pengelolaan perikanan dan menimbulkan tantangan dalam penilaian stok berbasis wilayah administratif (Horton et al., 2023; Fujioka et al., 2025). Jenis tuna utama yang banyak ditangkap di perairan Indonesia meliputi tuna sirip kuning (*Thunnus albacares*), tuna mata besar (*Thunnus obesus*), dan tuna sirip biru selatan (*Thunnus maccoyii*) (Agustina et al., 2019).

Perikanan tuna sirip kuning di Wilayah Pengelolaan Perikanan (WPP) 715, Provinsi Maluku Utara, memiliki peranan penting baik pada skala lokal maupun nasional (Wulandari et al., 2024a; Wulandari et al., 2024b). Rata-rata produksi tuna sirip kuning selama periode 2018–2021 mencapai 44.052 ton, dengan dominasi penggunaan alat tangkap pancing ulur (hand line) yang berskala kecil hingga menengah (DKP Maluku Utara; Wulandari et al., 2024c). Karakteristik ekologis wilayah Maluku Utara, seperti arus musiman yang kuat, pertemuan massa air, serta keragaman habitat laut, menjadikan kawasan ini sebagai daerah penangkapan yang produktif bagi tuna sirip kuning (Allen, 2000; Mukhaiyar et al., 2024).

Namun demikian, dalam beberapa tahun terakhir perikanan tuna sirip kuning di wilayah ini menghadapi tekanan yang semakin meningkat. Peningkatan permintaan global, kemajuan teknologi penangkapan, serta lemahnya implementasi pengelolaan perikanan telah mendorong intensifikasi upaya penangkapan (Firdaus, 2018; Triyanti et al., 2021; Sangadji et al., 2024; Tawari et al., 2024). Kondisi ini diperparah oleh tingginya proporsi tuna sirip kuning yang tertangkap dalam ukuran belum matang gonad, yang dilaporkan mencapai sekitar 61% dari total tangkapan di Maluku Utara (Wulandari et al., 2024c), sehingga berpotensi mengganggu proses rekrutmen alami dan keberlanjutan stok dalam jangka panjang.

Pada konteks perikanan dengan spesies bermigrasi tinggi seperti tuna, penilaian keberlanjutan menjadi lebih kompleks karena stok ikan tidak hanya dipengaruhi oleh tingkat eksploitasi lokal, tetapi juga oleh dinamika migrasi, fluktuasi rekrutmen, serta variasi lingkungan laut. Selain itu, penggunaan catch per unit effort (CPUE) sebagai indikator kelimpahan stok memerlukan kehati-hatian, karena CPUE dapat mengalami bias akibat perubahan teknologi penangkapan, perilaku nelayan, dan efisiensi alat tangkap. Praktik terbaik terbaru dalam penilaian stok menekankan pentingnya standarisasi CPUE untuk meningkatkan validitasnya sebagai proksi kelimpahan stok, khususnya pada perikanan dengan struktur armada dan alat tangkap yang heterogen (Hoyle et al., 2024).

Pendekatan pemodelan bioekonomi digunakan dalam penelitian ini untuk mengevaluasi keberlanjutan perikanan tuna sirip kuning di WPP-715. Pendekatan ini mengintegrasikan aspek biologis, ekonomi, dan perilaku nelayan dalam satu kerangka analisis, sehingga mampu menggambarkan hubungan antara dinamika stok ikan, tingkat eksploitasi, dan manfaat ekonomi yang dihasilkan (Seijo et al., 1998; Haapasaari et al., 2012). Dalam perkembangan terbaru, konsep bioekonomi modern menekankan perlunya integrasi yang lebih kuat antara dinamika biologis stok, ketidakpastian lingkungan, serta tujuan keberlanjutan ekonomi dan sosial dalam perumusan kebijakan perikanan (Doyen, 2025). Pemodelan bioekonomi berbasis model surplus produksi tetap relevan untuk perikanan dengan keterbatasan data biologis rinci, seperti perikanan tuna di negara berkembang, selama pemilihan model didasarkan pada validitas statistik, stabilitas parameter biologis, serta kemampuan model dalam merepresentasikan hubungan antara upaya penangkapan dan hasil tangkapan dengan CPUE sebagai proksi kelimpahan stok (Rasdam & Mustaqim, 2019; Utami et al., 2020; Anderson & Juan, 2010).

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi tingkat keberlanjutan perikanan tuna sirip kuning di WPP-715, Provinsi Maluku Utara, melalui pendekatan pemodelan bioekonomi yang komprehensif. Hasil penelitian diharapkan dapat memberikan dasar ilmiah yang kuat bagi pengembangan kebijakan pengelolaan perikanan yang adaptif, berbasis data, serta

mampu menyeimbangkan tujuan konservasi sumber daya dengan kepentingan ekonomi nelayan dan daerah.

MATERI DAN METODE

Lokasi, Waktu, dan Pengumpulan Data

Penelitian ini dilaksanakan di tiga (3) wilayah penangkapan tuna di Provinsi Maluku Utara (WPP 715), yaitu Kabupaten Pulau Morotai, Kabupaten Kepulauan Sula, dan Kota Ternate, pada bulan September–Oktober 2023. Penelitian ini menggunakan data primer dan data sekunder. Data primer meliputi informasi ekonomi dan operasional perikanan tuna sirip kuning, yang mencakup harga ikan hasil tangkapan, jumlah produksi per trip, serta biaya operasional penangkapan. Pengumpulan data primer dilakukan melalui survei lapangan dan wawancara langsung dengan nelayan tuna pengguna alat tangkap pancing ulur (*hand line*). Penentuan responden dilakukan dengan metode *purposive sampling*, yaitu memilih nelayan yang aktif melakukan penangkapan tuna sirip kuning dan secara rutin mendaratkan hasil tangkapan di tiga wilayah lokasi penelitian. Kriteria responden meliputi nelayan yang memiliki pengalaman melaut minimal satu tahun serta terlibat langsung dalam kegiatan operasional penangkapan. Data sekunder yang digunakan berupa jumlah armada, jenis alat tangkap, total produksi tuna yang didaratkan, serta data upaya penangkapan dikumpulkan dari berbagai sumber, antara lain laporan statistik perikanan daerah, publikasi resmi instansi kelautan dan perikanan, serta data dari Yayasan Masyarakat dan Perikanan Indonesia (MDPI). Data kuantitatif yang dikumpulkan, baik dari sumber primer maupun sekunder, digunakan untuk menganalisis hubungan antara hasil tangkapan, upaya penangkapan, dan dinamika stok tuna sirip kuning dalam kurun waktu tertentu. Untuk menjamin keandalan data, dilakukan pemeriksaan konsistensi dan triangulasi sumber, dengan membandingkan hasil survei lapangan, wawancara nelayan, dan data sekunder dari instansi terkait sebelum data digunakan dalam analisis biologis dan bioekonomi.

Analisis Data

Penelitian ini menggunakan empat model, yaitu Clarke-Yoshimoto-Pooley (CYP), Walter-Hilborn (W-H), dan Schnute-Fox, untuk mengestimasi parameter r (laju pertumbuhan intrinsik), K (daya dukung lingkungan/*carrying capacity*), dan q (koefisien penangkapan) bagi populasi tuna sirip kuning di Provinsi Maluku Utara. Parameter biologis yang diperoleh kemudian dibandingkan dengan model bioekonomi perikanan tuna sirip kuning di wilayah yang sama untuk menentukan model yang paling sesuai.

Formulasi matematis dari keempat model tersebut disajikan pada Tabel 1 (Tinungki, 2005),

Tabel 1. Rumus Model CYP, W-H, Schnute, dan Fox

Model	Rumus	Deskripsi
Clarke Yoshimoto Pooley (CYP)	$\ln(U_{t+1}) = a \ln(qK) + b \ln(U_t) - c(E_t + E_{t+1})$ $\ln(U_{t+1}) = a \ln(qK) + b \ln(U_t) - c(E_t + E_{t+1})$ $\ln(U_t) = a \ln(qK) + b \ln(U_t) - c(E_t + E_{t+1})$	$a = \frac{2r}{2+r}$, $b = \frac{2-r}{2+r}$, $c = \frac{q}{2+r}$ dan $U_t = \frac{C_t}{E_t}$ E_t adalah upaya penangkapan
Walter dan Hilborn (W-H)	$X_{t+1} = X_t + rX_t \left(1 - \frac{X_t}{K}\right) - C_t$ $\frac{U_{t+1}}{q} = \frac{U_t}{q} + \frac{rU_t}{q} \left(1 - \frac{U_t}{Kq}\right) - U_t E_t$ $\frac{U_{t+1}}{U_t} - 1 = r - \frac{r}{Kq} U_t - qE_t$	$C_t = qX_t E_t$, if $X_t = \frac{U_t}{q}$ $U_t = \frac{C_t}{E_t}$ adalah CPUE $a = r$ dan $b = r/qK$
Schnute	$\frac{dX}{dt} = rX_t \left(1 - \frac{X_t}{K}\right) - C_t$	$C_t = qX_t E_t$ $a = r$, $b = \frac{r}{qK}$, dan $c = q$

Model	Rumus	Deskripsi
Fox	$\frac{dX}{dt} = rX_t \left(1 - \frac{X_t}{K}\right) - qX_t E_t$ $\frac{dX}{X} = \left\{ r - \frac{rX_t}{K} - qE_t \right\} dt$ $-\ln(X_t) = r - \frac{r}{K} \bar{X}t - q\bar{E}$ $\ln\left(\frac{U_{t+1}}{U_t}\right) = a - b\left(\frac{\bar{U}_t + \bar{U}_{t+1}}{2}\right) - c\left(\frac{\bar{E}_t + \bar{E}_{t+1}}{2}\right)$ $C_t = qKE_t \exp\left[\left(-\frac{q}{r}\right)E_t\right]$ $U_t = qKE_t \exp\left[\left(-\frac{q}{r}\right)E_t\right]$ $\ln U_t = a - bE_t$	- CPUE (U_t) = C_t/E_t, dimana E_t adalah upaya penangkapan, dan C_t adalah hasil tangkapan $a = \ln(qK)$ dan $b = \frac{q}{r}$

Analisis bioekonomi dilakukan dengan menggunakan parameter *Maximum Sustainable Yield* (MSY), *Maximum Economic Yield* (MEY), dan *Open Access* (OA). Persamaan untuk masing-masing parameter disajikan sebagai berikut, di mana x menunjukkan biomassa tuna sirip kuning, h menyatakan hasil tangkapan lestari (*sustainable yield*) tuna sirip kuning, E menggambarkan upaya penangkapan tuna sirip kuning, π merepresentasikan rente ekonomi tuna sirip kuning, r adalah laju pertumbuhan intrinsik, q merupakan koefisien kemampuan tangkap (*catchability coefficient*) tuna sirip kuning, dan K adalah daya dukung lingkungan (*carrying capacity*) (Copes, 1972; Fauzi, 2010; Utami et al., 2020; Sholehudin et al., 2025) (Tabel 2).

Tabel 2. Persamaan Analisis Model Bioekonomi

Management regime			
Parameter	Maximum Economic Yield (MEY)	Maximum Sustainable Yield (MSY)	Open Access (OA)
Biomass	$(x) = \frac{K}{2} \left(1 + \frac{C}{p \cdot q \cdot K}\right)$	$(x) = \frac{K}{2}$	$(x) = \frac{C}{p \cdot q}$
Tangkapan	$(h) = \frac{r \cdot K}{4} \left(1 + \frac{C}{p \cdot q \cdot K}\right) \left(1 - \frac{C}{p \cdot q \cdot K}\right)$	$(h) = \frac{r \cdot K}{4}$	$(h) = \frac{r \cdot C}{p \cdot q} \left(1 - \frac{C}{p \cdot q \cdot K}\right)$
Upaya tangkap	$(E) = \frac{r}{2q} \left(1 - \frac{C}{p \cdot q \cdot K}\right)$	$(E) = \frac{r}{2q}$	$(E) = \frac{r}{q} \left(1 - \frac{C}{p \cdot q \cdot K}\right)$
Rente	$(\pi) = \left(p - \frac{C}{qx}\right) r \cdot x \cdot \left(1 - \frac{x}{K}\right)$	$(\pi) = P \left(\frac{Kr}{4}\right) - \frac{rC}{2q}$	$(\pi) = p \cdot h - \frac{C \cdot h}{q \cdot x}$

HASIL DAN PEMBAHASAN

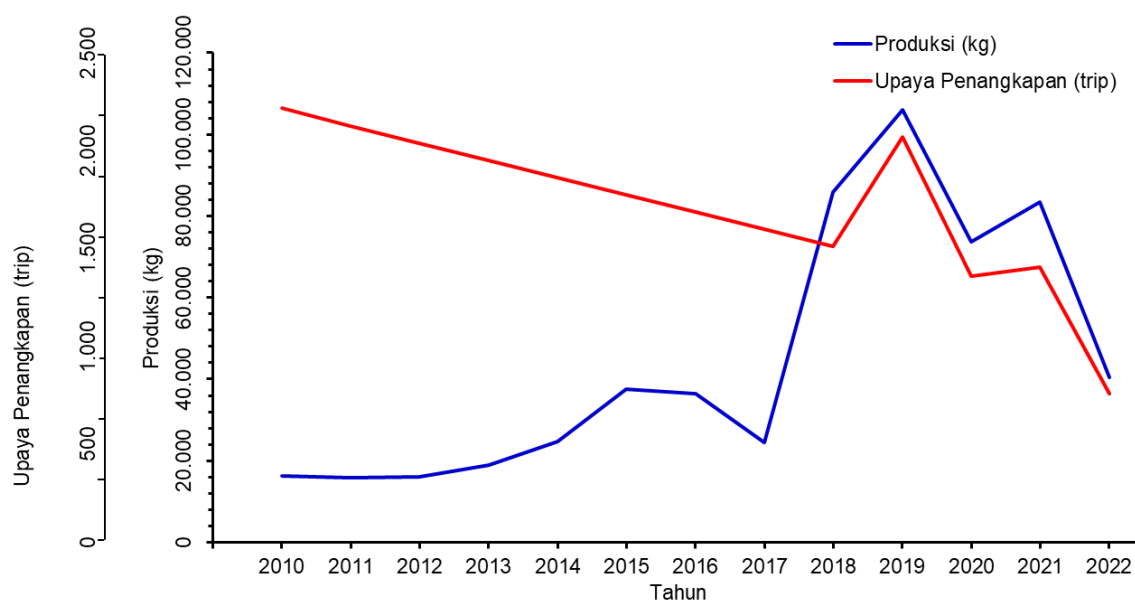
Produksi dan Trip Penangkapan Tuna Sirip Kuning di WPP-715, Provinsi Maluku Utara

Produksi tuna sirip kuning (*Thunnus albacares*) di wilayah penangkapan WPP-715, Provinsi Maluku Utara, berdasarkan data yang dikumpulkan selama periode 2010 hingga 2022 (Tabel 3 dan Gambar 1), menunjukkan rata-rata produksi tahunan sebesar 44.566,98 kg (44,57 ton) dengan penurunan rata-rata sebesar 1,00% per tahun. Selama periode tersebut, produksi tertinggi tuna sirip kuning di wilayah perairan WPP-715 Maluku Utara terjadi pada tahun 2019, yaitu mencapai 105.940,72 kg (105,95 ton), sedangkan produksi terendah tercatat pada tahun 2011 dengan jumlah hanya 15.777 kg (15,78 ton). Jumlah trip penangkapan tuna sirip kuning di wilayah perairan WPP-715 Maluku Utara selama periode 2010–2022 rata-rata mencapai 1.720 trip per tahun. Jumlah trip tertinggi tercatat pada tahun 2010 dengan 2.216 trip, sedangkan jumlah trip terendah terjadi pada tahun 2022 dengan hanya 759 trip.

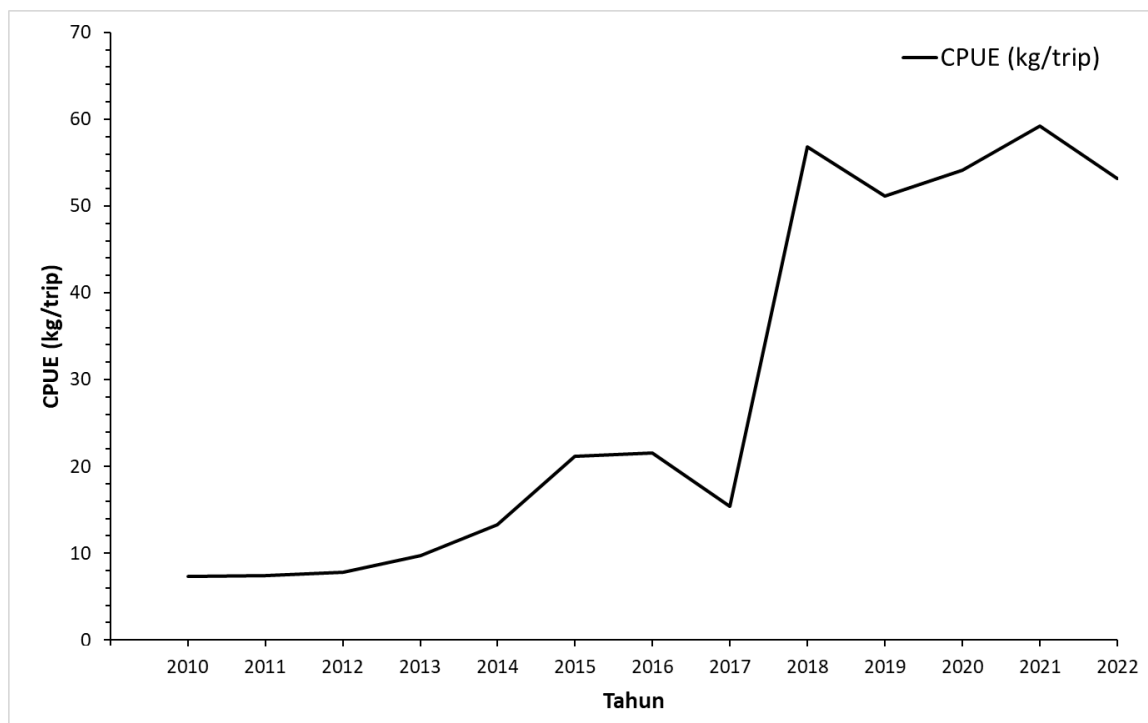
Tabel 3. Produksi, Upaya Penangkapan, dan CPUE Tuna Sirip Kuning di WPP-715, Provinsi Maluku Utara Selama Tahun 2010–2022

Tahun	Produksi (kg)	Upaya Penangkapan (trips)	CPUE (kg/trip)
2010	16,288.00	2,216	7.34
2011	15,777.00	2,127	7.42
2012	16,004.00	2,039	7.84
2013	18,925.00	1,951	9.7
2014	24,765.00	1,863	13.31
2015	37,516.00	1,775	21.13
2016	36,405.00	1,687	21.57
2017	24,559.74	1,599	15.36
2018	85,920.17	1,511	56.84
2019	105,940.72	2,072	51.14
2020	73,616.04	1,360	54.12
2021	83,320.35	1,407	59.22
2022	40,333.71	759	53.04

Sumber: Satu Data Indonesia (SDI) dan Yayasan Masyarakat dan Perikanan Indonesia (MDPI)

**Gambar 1.** Grafik produksi dan upaya penangkapan ikan tuna sirip kuning di WPP-715, Provinsi Maluku Utara, selama tahun 2010–2022

Perkembangan grafik nilai CPUE penangkapan ikan tuna sirip kuning di perairan WPP-715, Provinsi Maluku Utara, selama periode 2010–2022 disajikan pada Gambar 2. Nilai CPUE menunjukkan peningkatan yang signifikan dari sekitar 7,35 kg/trip pada tahun 2010 hingga mencapai puncaknya sebesar 59,22 kg/trip pada tahun 2021. Hal ini menunjukkan bahwa meskipun terjadi penurunan jumlah upaya penangkapan (jumlah trip yang lebih sedikit), hasil tangkapan per trip justru meningkat secara substansial. Kondisi ini dapat mengindikasikan adanya perubahan dalam efisiensi penangkapan, ketersediaan ikan, atau faktor lingkungan yang mendukung peningkatan hasil tangkapan. Peningkatan CPUE, terutama setelah tahun 2018, yang diikuti oleh penurunan tajam dalam total produksi, mengisyaratkan bahwa meskipun efisiensi penangkapan mungkin meningkat, stok ikan dapat mengalami penurunan akibat penangkapan berlebihan (*overfishing*). Namun, peningkatan CPUE tersebut tidak selalu mencerminkan kondisi stok ikan yang sehat. Pada perikanan pelagis besar seperti tuna, peningkatan CPUE yang terjadi bersamaan dengan penurunan produksi total dapat mengindikasikan fenomena hiperstabilitas (*hyperstability*), yaitu kondisi ketika nilai CPUE tetap tinggi atau bahkan meningkat meskipun biomassa stok sebenarnya mengalami penurunan (Nooteboom et al., 2023). Fenomena ini umumnya terjadi akibat pengelompokan ikan pada area tertentu, seperti di sekitar rumpon (fish aggregating devices/FADs) atau daerah penangkapan yang sangat produktif, sehingga hasil tangkapan per unit upaya tidak lagi proporsional terhadap ukuran stok sebenarnya (Harley et al., 2001; Maunder et al., 2006). Peningkatan intensitas penangkapan dapat menyebabkan penurunan populasi dan berdampak pada penurunan CPUE (Xu et al., 2018). Eksploitasi berlebihan terhadap stok ikan dapat mengakibatkan penurunan populasi dan perubahan dalam struktur umur, yang pada akhirnya menurunkan tingkat fekunditas serta memperlambat laju pertumbuhan populasi (Pecoraro et al., 2016; Sumaila & Tai, 2020). Selain itu, fluktuasi suhu permukaan laut, arus laut, dan ketersediaan mangsa juga dapat memengaruhi distribusi dan perilaku ikan tuna sirip kuning (Duffy et al., 2007; Lan et al., 2013; Lehodey et al., 2010; Hare et al., 2021).



Gambar 2. Grafik tren nilai CPUE ikan tuna sirip kuning di WPP-715, Provinsi Maluku Utara, dari tahun 2010 hingga 2022

Estimasi Parameter Biologis Populasi Ikan Tuna Sirip Kuning di Perairan WPP-715, Provinsi Maluku Utara

Selanjutnya, nilai CPUE digunakan sebagai *variabel dependen* dalam proses regresi *linear* maupun *non-linear* untuk menduga parameter biologis melalui model Fox, Schnute, dan CYP. Nilai koefisien determinasi (*R-squared*) pada model Fox, WH, dan Schnute masing-masing sebesar 81,81%, 13,57%, dan 16,21%, dengan nilai *adjusted R-squared* yang seluruhnya bernilai positif. Perbedaan tingkat kesesuaian antar model tersebut menunjukkan variasi kemampuan dalam menjelaskan hubungan antara upaya penangkapan dan hasil tangkapan. Berdasarkan kriteria statistik tersebut, model biologis CYP dipilih sebagai model yang paling representatif untuk digunakan dalam analisis bioekonomi perikanan tuna sirip kuning di perairan WPP-715, Provinsi Maluku Utara. Hasil estimasi parameter biologis menggunakan model CYP menunjukkan nilai laju pertumbuhan intrinsik (*r*) sebesar 0,44% per tahun, koefisien penangkapan (*q*) sebesar 0,000010838 per unit trip, serta daya dukung lingkungan (*K*) sebesar 5.234.303,96 kg per tahun. Ringkasan estimasi parameter biologis tuna sirip kuning berdasarkan keempat model yang diuji disajikan pada Tabel 4.

Tabel 4. Estimasi parameter biologis populasi ikan tuna sirip kuning di perairan WPP-715, Provinsi Maluku Utara

Model Estimasi	Parameter Biologi		
	<i>r</i> (% per tahun)	<i>q</i> (1/ unit upaya penangkapan)	<i>K</i> (Kg per tahun)
CYP	0,44	0,00001084	5.234.303,96
W-H	2,49	0,00117458	1.804.401,58
Schnute	0,98	0,00004022	37.400.715,59
Fox	6,69	0,00010793	61.954,78

Sumber: Data Analisis 2023

Estimasi Bioekonomi Ikan Tuna Sirip Kuning di WPP-715, Provinsi Maluku Utara

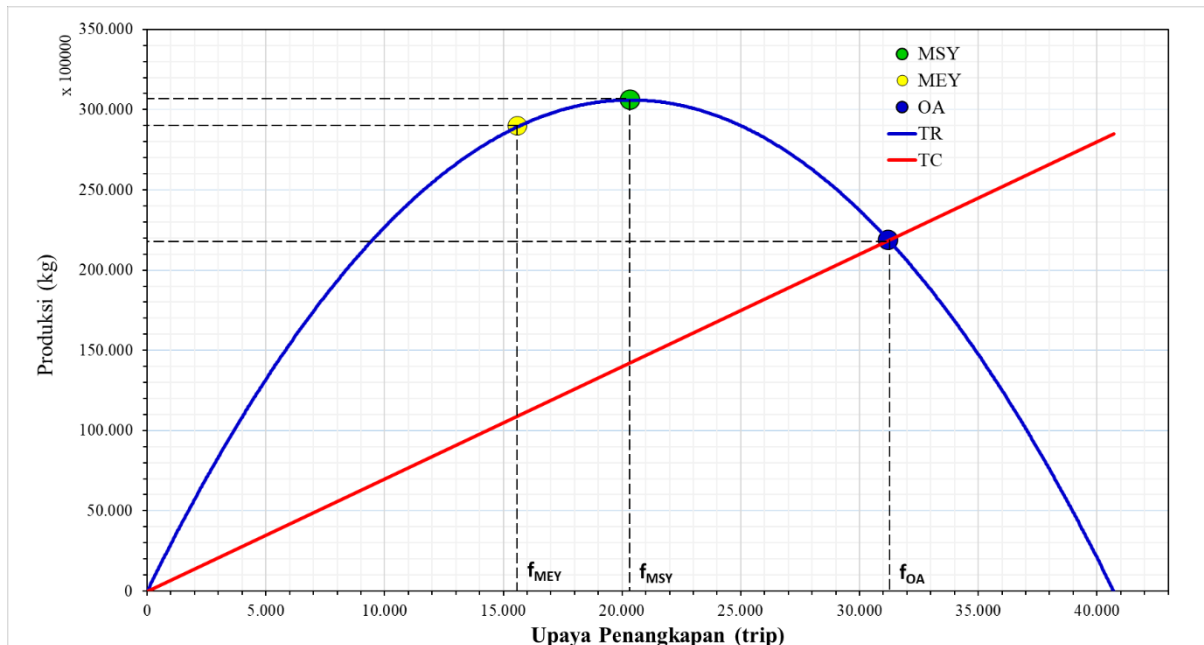
Berdasarkan hasil estimasi bioekonomi menggunakan empat model, yaitu CYP, Fox, Schnute, dan Fox–Wetherall (WH), diperoleh bahwa model CYP memiliki tingkat kesesuaian tertinggi dalam menjelaskan hubungan antara upaya penangkapan dan hasil tangkapan, dengan nilai *R-squared* sebesar 90,51%. Tingginya nilai tersebut menunjukkan bahwa variasi jumlah trip penangkapan (*E*) mampu menjelaskan sebagian besar variasi total tangkapan, sehingga model ini dinilai lebih andal dalam menggambarkan dinamika bioekonomi perikanan tuna sirip kuning. Temuan ini sejalan dengan penelitian Dewantara *et al.*, (2020), yang menyatakan bahwa model CYP menghasilkan estimasi MSY dan MEY yang lebih realistis dan operasional dalam mendukung pengambilan keputusan pengelolaan perikanan tuna di Indonesia. Selanjutnya, analisis bioekonomi perikanan tuna sirip kuning di perairan WPP-715, Provinsi Maluku Utara, dilakukan berdasarkan tiga skenario keseimbangan, yaitu *Open Access* (OA), *Maximum Sustainable Yield* (MSY), dan *Maximum Economic Yield* (MEY), sebagaimana disajikan pada Tabel 5 dan Gambar 3.

Tabel 5. Estimasi parameter bioekonomi ikan tuna sirip kuning menggunakan model CYP

Parameter	Unit	MSY	MEY	OA
Biomasa (<i>x</i>)	Kg	2.617.151,98	3.226.476,00	1.218.648,04
Hasil Tangkapan (<i>h</i>)	Kg	577.291,63	545.999,58	412.450,81
Upaya Penangkapan (<i>E</i>)	Trip	20.353	15.614	31.228

Parameter	Unit	MSY	MEY	OA
Rente Ekonomi (π)	IDR	16.349.552.895,26	18.008.031.386,29	0

Sumber: Data Analisis 2023



Gambar 3. Grafik estimasi bioekonomi ikan tuna sirip kuning di perairan WPP-715, Provinsi Maluku Utara

Hasil penelitian menunjukkan bahwa skenario *Maximum Economic Yield* (MEY) memberikan manfaat ekonomi yang lebih optimal dibandingkan skenario *Maximum Sustainable Yield* (MSY) maupun rezim *open access*. Dalam konteks perikanan berkelanjutan, MEY memungkinkan tercapainya keseimbangan antara peningkatan manfaat ekonomi dan pelestarian stok ikan, karena dicapai pada tingkat upaya penangkapan yang lebih rendah dengan biomassa stok yang lebih tinggi. Jumlah tangkapan tuna sirip kuning yang direkomendasikan untuk mendukung pemanfaatan sumber daya secara berkelanjutan di WPP-715 adalah tidak melebihi 545.999,58 kg per tahun, yaitu tingkat hasil tangkapan pada kondisi MEY. Pada tingkat ini, perikanan mampu menghasilkan rente ekonomi maksimum sebesar Rp18.008.031.386,29, sekaligus mempertahankan biomassa stok pada tingkat yang relatif lebih aman dibandingkan skenario MSY. Upaya penangkapan yang direkomendasikan pada kondisi MEY adalah sebesar 15.614 trip per tahun.

Pengendalian upaya penangkapan menuju titik menjadi krusial untuk menghindari kondisi *open access*, yang dalam penelitian ini ditunjukkan oleh tingkat upaya penangkapan sebesar 31.228 trip per tahun. Pada kondisi *open access*, persaingan penangkapan yang tidak terkendali menyebabkan peningkatan biaya operasional, hilangnya seluruh rente ekonomi, serta penurunan biomassa stok hingga mendekati tingkat kritis. Pola ini sejalan dengan teori bioekonomi perikanan klasik, yang menyatakan bahwa rezim *open access* cenderung menghasilkan upaya berlebih dan rente ekonomi nol, sementara rezim MEY menghasilkan keuntungan ekonomi tertinggi dengan tingkat eksploitasi yang lebih terkendali (Gordon, 1954; Hardin, 1968; Clark, 1990). Temuan penelitian ini konsisten dengan hasil studi bioekonomi perikanan tuna di berbagai wilayah, seperti analisis bioekonomi perikanan tuna sirip kuning di Pelabuhan Benoa, Bali, menunjukkan bahwa kondisi MEY menghasilkan tingkat upaya penangkapan yang lebih efisien serta rente ekonomi yang lebih tinggi dibandingkan MSY dan *open access* (Najib et al., 2022). Studi lain pada perikanan tuna skala kecil di

Indonesia juga menegaskan bahwa pengelolaan berbasis MEY mampu menekan eksploitasi berlebihan dan meningkatkan keberlanjutan ekonomi perikanan (Bintoro et al., 2023).

Sebaliknya, meskipun skenario MSY menghasilkan tingkat tangkapan yang lebih tinggi, skenario ini memerlukan upaya penangkapan yang lebih besar dan memberikan keuntungan ekonomi yang lebih rendah dibandingkan MEY. Kondisi tersebut mendukung pandangan Clark (1990) yang menyatakan bahwa MEY umumnya lebih menguntungkan dan berkelanjutan dalam jangka panjang. Sementara itu, rezim *open access* menimbulkan risiko serius terhadap keberlanjutan sumber daya, karena akses yang tidak terkendali mendorong eksploitasi berlebihan dan penurunan biomassa stok secara signifikan. Fenomena ini sejalan dengan konsep *tragedy of the commons* yang dikemukakan oleh Hardin (1968). Oleh karena itu, penetapan Jumlah Tangkapan yang Diperbolehkan (JTB) atau *Total Allowable Catch* (TAC) yang tidak melebihi tingkat hasil tangkapan pada kondisi MEY, disertai dengan pengendalian upaya penangkapan menuju , merupakan pendekatan pengelolaan yang didukung secara empiris dan teoretis untuk menjamin keberlanjutan stok tuna sirip kuning sekaligus memaksimalkan manfaat ekonomi jangka panjang. Agar kebijakan TAC berjalan efektif, implementasinya perlu diintegrasikan dengan penutupan area dan musim penangkapan (*time–area closures*), khususnya pada jalur migrasi dan daerah pemijahan tuna (Fonteneau & Hallier, 2015; Muawanah et al., 2018). Perlindungan terhadap area-area kunci tersebut dapat meningkatkan rekrutmen stok dan menopang keberlanjutan sumber daya di masa depan. Selain itu, pengelolaan berbasis hasil tangkapan perlu dilengkapi dengan pembatasan alat tangkap, terutama pengendalian jumlah dan penggunaan rumpon (*Fish Aggregating Devices/FADs*), guna menekan penangkapan ikan berukuran kecil (*juvenile*) serta menurunkan kemampuan tangkap yang berlebihan (Dagorn et al., 2013).

KESIMPULAN

Analisis pemodelan bioekonomi perikanan tuna sirip kuning di WPP-715, Maluku Utara menunjukkan kebutuhan mendesak untuk menerapkan pengelolaan berkelanjutan. Berdasarkan tiga skenario (MSY, MEY, dan *open access*), skenario MEY memberikan keseimbangan paling optimal antara manfaat ekonomi dan keberlanjutan stok ikan. Jumlah tangkapan yang direkomendasikan adalah kurang dari 545.999,58 kg per tahun dengan upaya penangkapan 15.614 trip, untuk memaksimalkan rente ekonomi sekaligus menjaga biomassa stok pada tingkat aman. Sebaliknya, skenario *open access* menimbulkan risiko eksploitasi berlebih dan keruntuhan ekonomi. Penerapan TAC berbasis MEY, dilengkapi pengendalian alat tangkap serta penutupan area dan musim tangkap, efektif menjaga populasi ikan yang sehat dan meningkatkan manfaat ekonomi bagi nelayan serta daerah.

UCAPAN TERIMA KASIH

Para penulis mengucapkan terima kasih kepada Badan Penelitian dan Pengembangan (BALITBANGDA) Provinsi Maluku Utara atas dukungan pendanaan yang diberikan untuk penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Agustina, M., Setyadji, B., & Tampubolon, P. A. R. P. (2019). Perikanan tuna sirip kuning (*Thunnus albacares* Bonnaterre, 1788) pada armada tonda di Samudera Hindia Selatan Jawa. *BAWAL*, 11(3), 161-173. <http://dx.doi.org/10.15578/bawal.11.3.2019.161-173>
- Anderson, L. G., & Juan, C. S. (2010). *Bioeconomics of fisheries management*. Singapore: Wiley-Blackwell Publication. 297 pp.
- Allen, G. R. (2000). Indo-Pacific coral-reef fishes as indicators of conservation hotspots, dalam *Prosiding of the 9th International Coral Reef Symposium*, Bali, Indonesia 23-27 October 2000.
- Bintoro, G., Sutjipto, D. O., Lelono, T. D., Semedi, B., Sartimbul, A., & Wahyuni, M. T. (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.
- Clark, C. W. (1990). *Mathematical bioeconomics: The optimal management of renewable resources* (2nd ed.). New York: A Wiley-Interscience Publication John Wiley & Sons.
- Copes, P. (1972). Factor rents, sole ownership and the optimum level of fisheries exploitation. *The Manchester School*, 40(2), 145–163.
- Dewantara, E. C., Fahrudin, A., & Wahyudin, Y. (2020). Analisis bioekonomi sumberdaya perikanan teri di Kawasan Konservasi Perairan Karang Jeruk, Kabupaten Tegal, Jawa Tengah. *ECSoFiM: Journal of Economic and Social of Fisheries and Marine*, 08(01): 54-67.
- Gordon, H. S. (1954). The economic theory of a common-property resource: The fishery. *Journal of Political Economy*, 62(2), 124–142.
- [DKP] Dinas Kelautan dan Perikanan Provinsi Maluku Utara. (2018). Statistik perikanan tangkap Provinsi Maluku Utara 2018. Pemerintah Provinsi Maluku Utara.
- Doyen, L. (2025). Mathematical bio-economics 2.0 for sustainable fisheries. *Natural Resource Modeling*.
- Duffy, J. E., Cardinale, B. J., France, K. E., McIntyre, P. B., Thébault, E., & Loreau, M. (2007). The functional role of biodiversity in ecosystems: Incorporating trophic complexity. *Ecology Letters*, 10, 522–538.
- FAO (Food and Agriculture Organization). (2018). *Fishery and aquaculture statistics*. Rome: FAO.
- Fauzi, A. (2010). *Ekonomi perikanan: Teori, kebijakan, dan pengelolaan*. Jakarta: Gramedia.
- Firdaus, M. (2018). Profil perikanan tuna dan cakalang di Indonesia. *Buletin Ilmiah Marina Sosial Ekonomi Kelautan dan Perikanan*, 4(1), 23–32.
- Fonteneau, A., & Hallier, J. P. (2015). Fifty years of darting fish aggregating devices (FADs) in the Indian Ocean. *ICES Journal of Marine Science*, 72(2), 441–457. <https://doi.org/10.1016/j.fishres.2015.09.021>
- Fujioka, K., Hiraoka, Y., Kuwahara, T., Tsukahara, Y., & Fukuda, H. (2025). Post-spawning migration and habitat use of adult Pacific bluefin tuna in the western North Pacific. *Marine Biology*, 172, 34. <https://doi.org/10.1007/s00227-025-04596-6>
- Haapasaari, P., Kulmala, S., & Kuikka, S. (2012). Growing into interdisciplinarity: How to converge biology, economics, and social science in fisheries research. *Ecology and Society*, 17(1). <https://www.jstor.org/stable/26268993>
- Hare, S. R., Williams, P. G., Castillo Jordán, C., Hamer, P. A., Hampton, W. J., Scott, R. D., & Pilling, G. M. (2021). The western and central Pacific tuna fishery: 2020 overview and status of stocks. *Tuna Fisheries Assessment Report No. 21*. Noumea: Pacific Community, New Caledonia.
- Hardin, G. (1968). The tragedy of the commons. *Science*, 162, 1243–1248.
- Harley, S. J., Myers, R. A., & Dunn, A. (2001). Is catch-per-unit-effort proportional to abundance?. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 58(9), 1760–1772. <https://doi.org/10.1139/f01-112>
- Horton, T. W., Binney, F. C. T., Birch, S., Block, B. A., Exeter, O. M., Garzon, F., Plaster, A., Righton, D., van der Kooij, J., Witt, M. J., & Hawkes, L. A. (2023). Tuna and billfish migration patterns reveal connectivity across ocean basins. *Nature Communications*, 14, 730. <https://doi.org/10.1139/F10-033>
- Hoyle, S. D., Campbell, R. A., Ducharme-Barth, N. D., Grüss, A., Moore, B. R., Thorson, J. T., Tremblay-Boyer, L., Winker, H., Zhou, S., & Maunder, M. N. (2024). Catch per unit effort modelling for stock assessment: A summary of good practices. *Fisheries Research*, 269, 106860. <https://doi.org/10.1016/j.fishres.2023.106860>
- Lan, K. W., Evans, K., & Lee, M. A. (2013). Effects of climate variability on the distribution and fishing conditions of yellowfin tuna (*Thunnus albacares*) in the western Indian Ocean. *Climatic Change*, 119, 63–77. <https://doi.org/10.1007/s10584-012-0637-8>
- Lehodey, P., Senina, I., Sibert, J., Bopp, L., Calmettes, B., Hampton, J., & Murtugudde, R. (2010). Preliminary forecasts of population trends for Pacific bigeye tuna under the A2 IPCC scenario. *Progress in Oceanography*, 86, 302–315.
- Maunder, M. N., Sibert, J. R., Fonteneau, A., Hampton, J., Kleiber, P., & Harley, S. J. (2006). Interpreting catch per unit effort data to assess the status of individual stocks and communities. *ICES Journal of Marine Science*, 63(8), 1373–1385.

- <https://doi.org/10.1016/j.icesjms.2006.05.008>
- Mukhaiyar, U., Sari, F. P., Suherlan, B. C., & Eldhyawati, S. Y. (2024). Pemetaan spasial hasil tangkapan tuna untuk mendorong program pemerintah tepat sasaran (studi kasus: Maluku Utara). *Jurnal Kebijakan Sosial Ekonomi Kelautan dan Perikanan*, 14(2), 111-123.
- Muawanah, U., Pomeroy, R., & Marlessy, C. (2018). Revisiting the fishery closure policy in Indonesia: The case of tuna fisheries. *Marine Policy*, 93, 73-80.
- Najib, N., Susanjaya, I. G. A., Negara, I. N. S. C., Safitri, D. A., & Negara, I. K. W. (2022). Analisis Bioekonomi Perikanan Tuna Sirip Kuning (*Thunnus albacares*) di Pelabuhan Benoa, Bali. *Journal of Marine Research and Technology*.
- Nooteboom, P. D., Phillips, J. S., Senina, I., van Sebille, E., & Nicol, S. (2023). Individual-based model simulations indicate a non-linear catch equation of drifting Fish Aggregating Device-associated tuna. *ICES Journal of Marine Science*, 80(6), 1746-1757. <https://zenodo.org/record/8024741>.
- Pecoraro, C. I., Zudaire, N., Bodin, H., Murua, P., Taconet, P., Díaz-Jaimes, A., Cariani, F., Tinti, E., & Chassot. (2016). Putting all the pieces together: Integrating current knowledge of biology, ecology, fisheries status, stock structure and management of yellowfin tuna (*Thunnus albacares*). *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, 27, 1573-1584. <https://doi.org/10.1007/s11160-016-9460-z>
- Rasdam, R., & Mustasim, M. (2019). Analisis bioekonomi ikan cakalang dalam upaya pengelolaan berkelanjutan sumberdaya perikanan. *Jurnal Airaha*, 8(2), 84-95. <https://doi.org/10.15578/ja.v8i02.116>
- Triyanti, R., Huda, H. M., Wijaya, R. A., & Zamroni, A. (2021). Prospek dan tantangan pengembangan bisnis inklusif perikanan tuna skala kecil di Pulau Morotai. *Jurnal Kebijakan Sosial Ekonomi Kelautan dan Perikanan*, 11(2), 155-167. <http://dx.doi.org/10.15578/jksekp.v11i2.10225>
- Sangadji, I. M., Wisudo, S. H., Wijono, E. S., Iskandar, B. H., & Taurusman, A. A. (2024). Improving the sustainability status of small-scale tuna fisheries in Central Halmahera Regency, North Maluku Province, Indonesia. *AACL Bioflux*, 17(1), 264-271.
- Sholehudin, M., Yektiningsih, E., & Setiawan, R. F. (2025). Analisis bioekonomi Gordon-Schaefer cumi-cumi di Ppn Brondong Kabupaten Lamongan. *J.Kebijak.Perikan.Ind*, 17(1), 23-34. <http://dx.doi.org/10.15578/jkpi.17.1.2025.23-34>
- Seijo, J. C., Defeo, O., & Salas, S. (1998). Fisheries bioeconomics: theory, modelling and management. Italy: FAO Fisheries.
- Sumaila, U. R., & Tai, T. C. (2020). End overfishing and increase the resilience of the ocean to climate change. *Frontiers in Marine Science*, 7, 523. <https://doi.org/10.3389/fmars.2020.00523>
- Tawari, R. H. S., Paillin, J. B., Tikno, I., Salma, S., & Tuapetel, F. (2024). Analisis Alur Pemasaran Ikan Tuna Madidihang di Pasar Arumbae Kota Ambon. *Amanisal: Jurnal Teknologi dan Manajemen Perikanan Tangkap*, 13(1), 55-63. <https://doi.org/10.30598/amanisalv13i1p55-63>
- Tinungki, G. M. (2005). Penilaian model produksi untuk estimasi hasil lestari maksimum dalam mendukung strategi pengelolaan perikanan lemuru di Selat Bali. Disertasi: IPB University.
- Utami, P. B., Kusumastanto, T., Zulbainarni, N., & Ayunda, N. (2020). Analisis bioekonomi perikanan tuna sirip kuning di Lantuka, Kabupaten Flores Timur, Indonesia. *Jurnal Marine and Fisheries Socio-Economic Policy*, 10(1), 1-10. <http://dx.doi.org/10.15578/jksekp.v10i1.7766>
- Wulandari, T. L., Fatmawati, R., Kodiran, T., Nurhijayat, A., Fuah, R. W., Darsan, I. M., & Sugiharsono. (2024a). Comparison of Handline Tuna Catches in North Maluku. *Nova Science Publisher, Inc.*
- Wulandari, T. L., Fatmawati, R., Kodiran, T., Nurhijayat, A., Fuah, R. W., Darsan, I. M., Sugiharsono, & Aziz, M. A. (2024b). Analisis potensi ekonomi produk sampingan ikan tuna: Studi kasus Pulau Morotai, Maluku Utara. *Agrikan: Jurnal Agribisnis Perikanan*, 17(1), 335-339.
- Wulandari, T. L., Fatmawati, R., Kodiran, T., Nurhijayat, A., Fuah, R. W., Darsan, I. M., Sugiharsono, & Aziz. (2024c). Economic Analysis of Tuna Fisheries in Morotai Island, North Maluku. *Proceeding Book of Tuna Talks Seminar*, 133-137.
- Xu, H. K., Maunder, M. N., Lennert-Cody, C. E., & Román, M. H. (2018). Stock status indicators

for bigeye tuna in the eastern Pacific Ocean. *IATTC Stock Assessment Report*, 3, 33–37.