

DINAMIKA STOK IKAN SEBAGAI PERTIMBANGAN IMPLEMENTASI KEBIJAKAN PENANGKAPAN IKAN TERUKUR

Consideration of Fish Stock Dynamics for the Implementation of Fishing Precision Policy

Oleh:

Muhammad Fedi Alfiadi Sondita^{1*}, Darmawan¹, Ari Purbayanto¹,
Zulkarnain¹, Domu Simbolon¹, Ronny Irawan Wahju¹

¹Departemen Pemanfaatan Sumberdaya Perikanan, Fakultas
Perikanan dan Ilmu Kelautan – IPB University, Kampus IPB
Darmaga, Bogor 16680 - INDONESIA

*Korespondensi penulis: mfasondita@apps.ipb.ac.id

ABSTRAK

Pemerintah Indonesia tengah menerapkan kebijakan Penangkapan Ikan Terukur untuk memastikan keberlanjutan pemanfaatan sumber daya ikan. Namun, 88% stok ikan saat ini berada dalam kondisi *fully fished* (35%) dan *overfished* (53%), yang belum mendukung tercapainya potensi lestari maksimum (MSY). Penelitian ini bertujuan mengkaji pengaruh biomassa awal stok ikan (B_0) dan laju penangkapan tahunan (Y_t) terhadap keberlanjutan produksi (Y_t) dan biomassa tersisa (B_t) melalui simulasi model *logistic differential equation* (LDE). Simulasi dilakukan terhadap sembilan model kombinasi tiga level B_0 dan tiga level Y_t , dengan asumsi daya dukung lingkungan (K) = 1.000 ton dan biomassa ikan hipotetik yang memiliki laju pertumbuhan intrinsik (r) = 0,05. Hasil menunjukkan bahwa rasio Y_t terhadap potensi lestari tahunan terkini (SY_t) merupakan determinan utama kelestarian stok dan kelangsungan perikanan, terlepas dari besar kecilnya B_0 . Temuan ini mengindikasikan bahwa penetapan jumlah tangkapan yang dibolehkan (JTB) sebaiknya tidak berbasis MSY, melainkan disesuaikan dengan SY_t , serta mempertimbangkan prinsip kehati-hatian dan strategi pemulihan stok. Pendekatan ini dinilai lebih adaptif terhadap kondisi aktual stok dan mendukung keberlanjutan perikanan tangkap.

Kata kunci:JTB, model biomassa, penangkapan ikan terukur, potensi lestari, stok ikan

ABSTRACT

The Government of Indonesia is implementing a Measured Fishing policy to ensure the sustainable utilization of fishery resources. However, 88% of fish stocks are currently in fully fished (35%) or overfished (53%) condition, which hinders the attainment of maximum sustainable yield (MSY). This study aims to examine the influence of initial biomass (B_0) and annual harvest rate (Y_t) on the sustainability of annual catch (C_t) and remaining biomass (B_t) using a logistic differential equation (LDE) model. Simulations were conducted across nine fishery models, combining three levels of B_0 and three levels of Y_t , under assumptions of carrying capacity (K) of 1000 tons and a hypothetical fish biomass with intrinsic growth rate (r) of 0.05. Results indicate that the ratio of Y_t to the current sustainable yield (SY_t) is the primary determinant of stock sustainability and fishery longevity, regardless of B_0 . This finding suggests that total allowable catch (TAC) should not be based solely on MSY, but rather adjusted according to SY_t , while also incorporating precautionary principles and stock recovery strategies. This approach offers a more adaptive and realistic policy framework aligned with current stock conditions and supports the long-term sustainability of capture fisheries.

Key words:biomass models, fish stocks, precision fishing, sustainable potency, TAC

PENDAHULUAN

Kementerian Kelautan dan Perikanan (KKP) saat ini menerapkan kebijakan perikanan terukur sebagai upaya untuk memastikan pemanfaatan sumber daya ikan secara berkelanjutan sekaligus memberikan manfaat sosial-ekonomi yang optimal (KKP 2023; Presiden RI 2023). Namun, pencapaian tujuan kebijakan ini menghadapi tantangan signifikan berupa permasalahan kronis yang telah diidentifikasi sejak tahun 2015, yakni banyaknya stok ikan yang berada dalam status *fully fished* atau bahkan *overfished* (Suman *et al.* 2014; KKP 2016; Suman *et al.* 2016; KKP 2017; Suman *et al.* 2018; KKP 2022). Pada tahun 2022, dari 99 stok ikan yang tersebar di 11 Wilayah Pengelolaan Perikanan Negara Republik Indonesia (WPPNRI), sebanyak 35 stok dikategorikan *over-exploited*, sementara 53 lainnya berada dalam kondisi *fully exploited* (KKP 2022; Suhana 2022). Walaupun proses menuju tercapainya tujuan kebijakan ini telah menjadi perhatian luas, aspek penting berupa persyaratan biologis untuk mendukung target produksi yang tinggi masih kurang mendapatkan sorotan. Salah satu persyaratan utama tersebut adalah terciptanya biomassa ikan yang memungkinkan produktivitas maksimum. Mengingat banyak stok ikan saat ini belum memenuhi kondisi tersebut, maka prioritas kebijakan perlu difokuskan pada perumusan dan implementasi strategi pemulihan stok ikan (Oremus *et al.* 2014; Froese *et al.* 2018; Mota & Nichols 2023).

Strategi untuk mewujudkan pemanfaatan sumber daya ikan yang berkelanjutan oleh Kementerian Kelautan dan Perikanan (KKP) serta para pemangku kepentingan sangat bergantung pada kondisi awal stok ikan. Kondisi ini bersifat bervariasi antar wilayah dan jenis stok ikan, sehingga tidak dapat disamaratakan. Pemahaman terhadap kondisi awal stok sangat krusial, mengingat setiap gagasan kebijakan baru, termasuk yang bertujuan memperbaiki tata kelola perikanan, harus mempertimbangkan keberadaan stok sebagai faktor dasar untuk mencapai manfaat (*outcome*) bagi masyarakat, pelaku usaha, dan pemangku kepentingan lainnya. Salah satu contoh kebijakan yang membutuhkan pendekatan demikian adalah Program Kawasan Minapolitan untuk perikanan tangkap (KKP 2012).

Pelaksanaan kebijakan baru kerap dihadapkan pada realitas bahwa stok ikan yang tersedia tidak dalam kondisi ideal, yakni tidak melimpah atau tidak mampu memberikan produksi surplus maksimum. Jika stok telah mengalami *overfishing*, maka kemampuan stok tersebut untuk menghasilkan biomassa baru secara optimal akan menurun. Perbedaan status pemanfaatan antar stok di berbagai WPPNRI menegaskan bahwa permasalahan stok ikan tidak seragam dan memerlukan pendekatan pengelolaan yang adaptif.

Selama ini, pengelolaan perikanan di Indonesia mengacu pada biomassa yang mampu menghasilkan surplus maksimum berkelanjutan (*Maximum Sustainable Yield*, MSY) sebagai target referensi. Berdasarkan pendekatan MSY, Pemerintah menetapkan jumlah tangkapan yang diperbolehkan (JTB) atau *total allowable catch* (TAC) untuk menjadi acuan dalam pengaturan kegiatan penangkapan ikan (KKP 2016; KKP 2017; KKP 2022). Namun, dalam konteks stok yang telah mengalami *overfished*, penggunaan MSY sebagai dasar dalam menyampaikan potensi sumber daya ikan maupun peluang investasi dapat bersifat menyesatkan. Hal ini disebabkan karena keputusan pengelolaan yang hanya berlandaskan JTB dari MSY berisiko mendorong tingkat tangkapan yang melebihi potensi lestari terkini (*sustainable yield*, SY)—yang secara faktual berada dibawah nilai MSY.

Penelitian ini bertujuan untuk menyajikan kajian teoritis mengenai pengaruh kondisi awal biomassa ikan (B_0) dan laju penangkapan tahunan (Y_t) terhadap keberlanjutan kegiatan penangkapan ditinjau dari biomassa ikan tersisa (B_t) dan produksi ikan setelah kegiatan penangkapan berlangsung. Pengaruh dari variabel B_0 dan Y_t dianalisis melalui pendekatan simulasi berbasis model *logistic differential equation* (LDE) untuk dinamika biomassa ikan, dengan memasukkan kombinasi input nilai B_0 dan Y_t pada berbagai tingkat. Melalui hasil simulasi ini, diharapkan dapat diidentifikasi fenomena-fenomena kunci yang relevan bagi pengambil kebijakan dan para pemangku kepentingan dalam pengembangan perikanan tangkap yang berkelanjutan..

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menerapkan model surplus produksi yang popular diterapkan sebagai pendekatan untuk menduga potensi lestari (*sustainable yield*, SY) dan potensi lestari maksimum (*Maximum Sustainable Yield*, MSY) yang menggunakan data produksi, *yield* (Y) atau *catch* (C), dan upaya penangkapan ikan (*fishing effort*, f atau E). Model produksi ini diturunkan dari model *logistic differential equation* (LDE) yang diperkenalkan oleh Pierre Verhulst pada tahun 1845 (Pitcher & Hart 1982; Hilborn & Walters 1992). Pada model biomassa ikan, laju perubahan atau pertambahan biomassa ikan ($\frac{dB}{dt}$) ditentukan oleh laju pertumbuhan biomassa ikan (r), pembatas berupa kapasitas lingkungan untuk mendukung biomassa ikan (K) lingkungan yang menjadi pembatas dan biomassa ikan (B).

$$\frac{dB}{dt} = rK(1 - \frac{B}{K}) \quad (1)$$

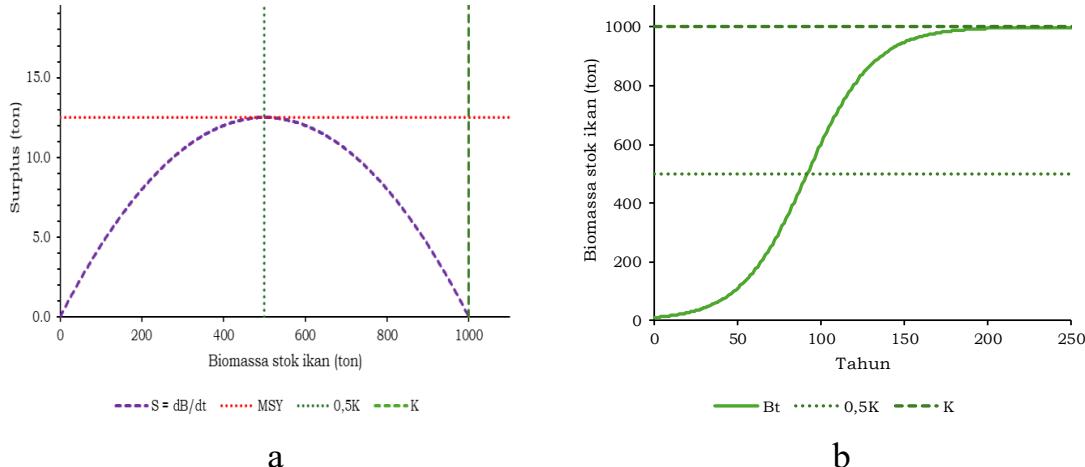
Di mana B = biomassa ikan, K = biomassa ikan maksimum yang dapat didukung oleh lingkungan dan r = koefisien pertumbuhan biomassa ikan.

Menurut model tersebut, biomassa ikan tumbuh dengan pola sigmoid, yaitu biomassa ikan bertambah dengan laju yang semakin tinggi mulai dari $B = 0$ hingga $B = 0,5K$ kemudian laju melambat mulai dari $B = 0,5K$ hingga $B = K$ (Gambar 1.a). Penambahan biomassa ikan terjadi karena biomassa ikan menghasilkan surplus. Laju pertumbuhan ketika $B = 0,5K$ adalah maksimum dengan nilai.

$$\frac{dB}{dt} = 0,25 r \cdot K \quad (2)$$

Dalam penelitian ini, biomassa ikan pada setiap saat (B_t) digambarkan sebagai sebuah kurva sigmoid yang menunjukkan bahwa biomassa stok ikan maksimum pada nilai K sesuai dengan daya dukung lingkungan (Gambar 1.b). Sebagaimana ditulis oleh (Strang dan Herman 2025) persamaan kurva sigmoid tersebut adalah:

$$B_t = \frac{B_0 \cdot K \cdot e^{r \cdot t}}{(K - B_0) + B_0 \cdot e^{r \cdot t}} \quad (3)$$



Gambar 1 (a) Kurva surplus *biomass* menurut biomassa stok ikan; (b) Kurva biomassa stok ikan menurut waktu

Jika ada kegiatan penangkapan ikan maka biomassa stok ikan akan mengalami pengurangan sebanyak biomassa hasil tangkapan (*yield*, Y) sehingga:

$$B_t = B_0 + S_t - Y_t \quad (4)$$

Keterangan:

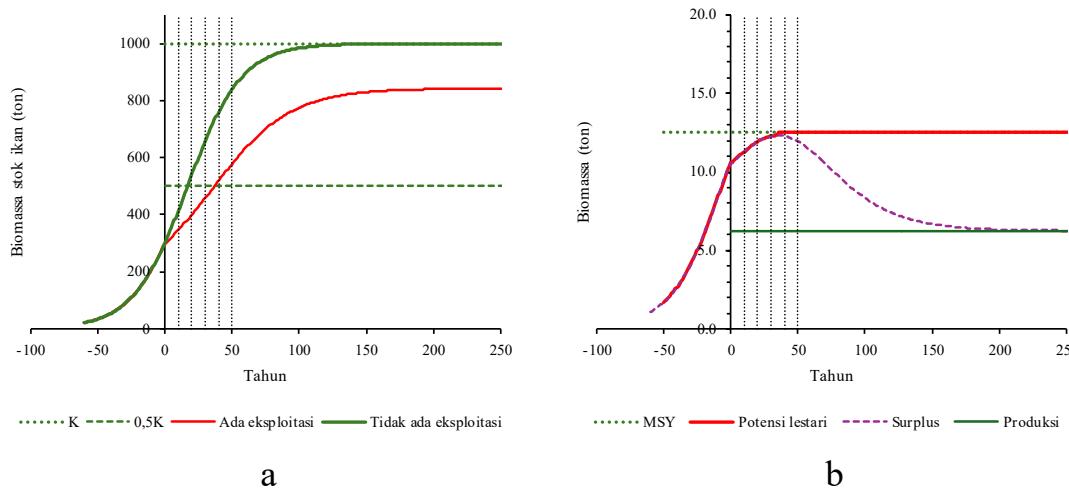
B_t = biomassa ikan pada waktu t

B_{t-1} = biomassa ikan pada waktu $t - 1$

S = biomassa baru yang dihasilkan ikan atau surplus

Y = biomassa ikan yang ditangkap atau yield

Model dinamika biomassa ikan dengan persamaan 1 (Gambar 1) ini diasumsikan berlaku untuk stok ikan yang mengalami penangkapan ikan dengan volume yang konstan per tahun. Jika penangkapan ikan dimulai pada tahun 0 dan biomassa stok ikan pada tahun 0 tersebut adalah B_0 (yaitu titik potong pada sumbu tegak), maka biomassa stok ikan setiap tahun seperti kurva pada Gambar 2.a. Pada stok ikan tersebut, surplus biomassa (S) adalah titik poong pada sumbu tegak dari kurva pada Gambar 2.b. Potensi lestari (*sustainable yield*, SY) adalah jumlah tangkapan maksimum yang dapat diambil tanpa mengurangi biomassa ikan terkini, atau $B_{t+1} \geq B_t$. Jika kegiatan penangkapan ikan menghasilkan produksi (Y) dengan volume $< SY$ maka biomassa stok ikan akan bertambah $B_t > B_{t-1}$ atau (Gambar 2.a); sebaliknya jika $Y > SY$ maka biomassa stok ikan akan berkurang atau $B_t < B_{t-1}$. Ketika $B_t < 0.5K$ dan $(S_t - Y_t) > 0$ maka B_t akan bertambah menuju $0.5K$; potensi lestari $SY_t = S_t - Y_t$. ketika $B_t > 0.5K$ dan $(S_t - Y_t) > 0$ maka B_t akan meningkat menuju K dan potensi lestari $SY = MSY = 0.25.r.K$ meskipun surplus S_t berkurang (Gambar 2.b).



Gambar 2 (a) Kurva surplus *biomass* menurut biomassa stok ikan pada kondisi ada kegiatan eksplorasi dan tidak ada eksplorasi; (b) Kurva biomassa stok ikan menurut waktu jika ada kegiatan eksplorasi

Simulasi dilakukan untuk menilai dampak eksplorasi dengan volume produksi tahunan (Y_t) yang konstan yang berbeda (20,0, 12,5 dan 5,0 ton per tahun) terhadap biomassa stok ikan yang tersisa (B_t) untuk kondisi *biomass* awal (B_0) yang berbeda-beda, yaitu 100, 400 dan 800 ton (Tabel 1). Kombinasi (B_0) dan (Y_t) merupakan menghasilkan 9 model perikanan yang dimulai pada tahun ke 10 dan masing-masing mengeksplorasi biomassa ikan hipotetik dengan karakteristik yang sama, yaitu laju pertumbuhan $r = 0,05$. Biomassa hipotetik ikan tersebut berada pada lingkungan yang memiliki daya dukung $K = 1000$ ton.

Tabel 1. Simulasi pengaruh biomassa awal dan volume produksi konstan tahunan terhadap biomassa ikan tahunan, produksi yang diperoleh tahunan, surplus tahunan dan potensi lestari tahunan

Perihal	Keterangan
Biomassa awal (B_0)	100, 400 dan 800 ton
Produksi tahunan (Y_t)	20,0, 12,5 dan 5,0 ton per tahun
Biomassa ikan tahunan (B_t)	tahun ke 10, 20, 30, 40 dan 50
Surplus tahunan (S_t)	tahun ke 10, 20, 30, 40 dan 50
Potensi lestari tahunan (SY_t)	tahun ke 10, 20, 30, 40 dan 50

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Simulasi

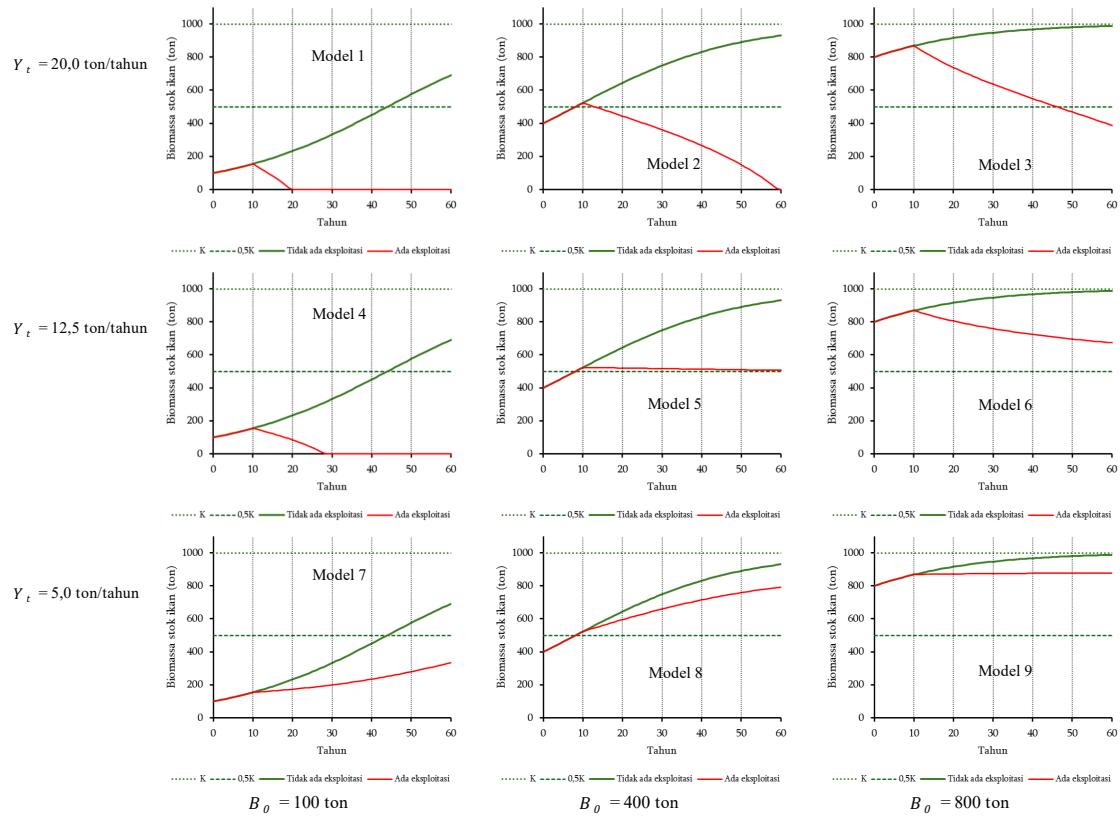
Kondisi biomassa awal stok ikan (B_0) secara langsung menentukan daya tahan keberlanjutan perikanan; semakin besar nilai B_0 , maka semakin panjang umur kelestarian perikanan (Gambar 3). Simulasi menunjukkan bahwa ketika B_0 sangat rendah, seperti pada Model 1 dan 4, kegiatan perikanan hanya mampu bertahan selama masing-masing 10 dan 17 tahun. Sebaliknya, jika B_0 cukup besar dan mendekati daya dukung maksimum (*carrying capacity*, K) seperti yang tergambar pada Model 3, 6, dan 9, maka perikanan mampu bertahan lebih dari 50 tahun. Kondisi keberlanjutan yang serupa juga ditunjukkan oleh Model 5 dan 6, dengan nilai B_0 sebesar 400 ton.

Pengaruh laju penangkapan tahunan (Y_t) terhadap keberlanjutan stok ikan dapat diamati melalui perbandingan model dengan nilai B_0 yang sama. Pada skenario dengan $B_0 = 100$ ton, tingkat penangkapan sebesar 5 ton/tahun (Model 7) tidak mengancam kelestarian sumber daya, bahkan biomassa ikan menunjukkan tren peningkatan dari waktu ke waktu (Gambar 3). Namun, peningkatan Y_t menjadi 12,5 ton/tahun dan 20 ton/tahun secara signifikan memperpendek umur perikanan. Sebaliknya, pada model dengan $B_0 = 400$ ton, tingkat penangkapan 12,5 ton/tahun (Model 5 dan 8) masih dapat dipertahankan dengan aman selama lebih dari 50 tahun. Akan tetapi, jika Y_t meningkat menjadi 20 ton/tahun (Model 2), maka biomassa ikan terus menurun dan habis menjelang tahun ke-60.

Sementara itu, pada model dengan $B_0 = 800$ ton, baik tingkat penangkapan 5,0 ton/tahun maupun 12,5 ton/tahun tidak mengancam kelestarian stok, dan perikanan tetap beroperasi dengan keberlanjutan yang melampaui tahun ke-60. Meski demikian, seperti pada Model 2, Model 3 menunjukkan bahwa meskipun penurunan biomassa terjadi, stok ikan masih cukup untuk mempertahankan operasi perikanan dalam jangka panjang (Gambar 3).

Fenomena dampak biomassa awal (B_0) dan laju penangkapan tahunan (Y_t) terhadap kelestarian stok ikan dan perikanan dapat dijelaskan melalui perbandingan antara Y_t , potensi lestari (*sustainable yield*, SY_t), dan surplus biomassa (S) yang ditunjukkan pada Gambar 4. Pada Model 1, 2, 3, dan 4, biomassa ikan mengalami penurunan drastis hingga habis karena nilai $Y_t > SY_t$; semakin besar rasio Y_t/SY_t , maka semakin singkat waktu kelestarian stok ikan dapat bertahan. Misalnya, rasio Y_t/SY_t pada Model 1 lebih tinggi dibandingkan Model 4 (Gambar 4), sehingga masa kelestarian perikanan pada Model 1 lebih singkat dibandingkan Model 4 (Gambar 3).

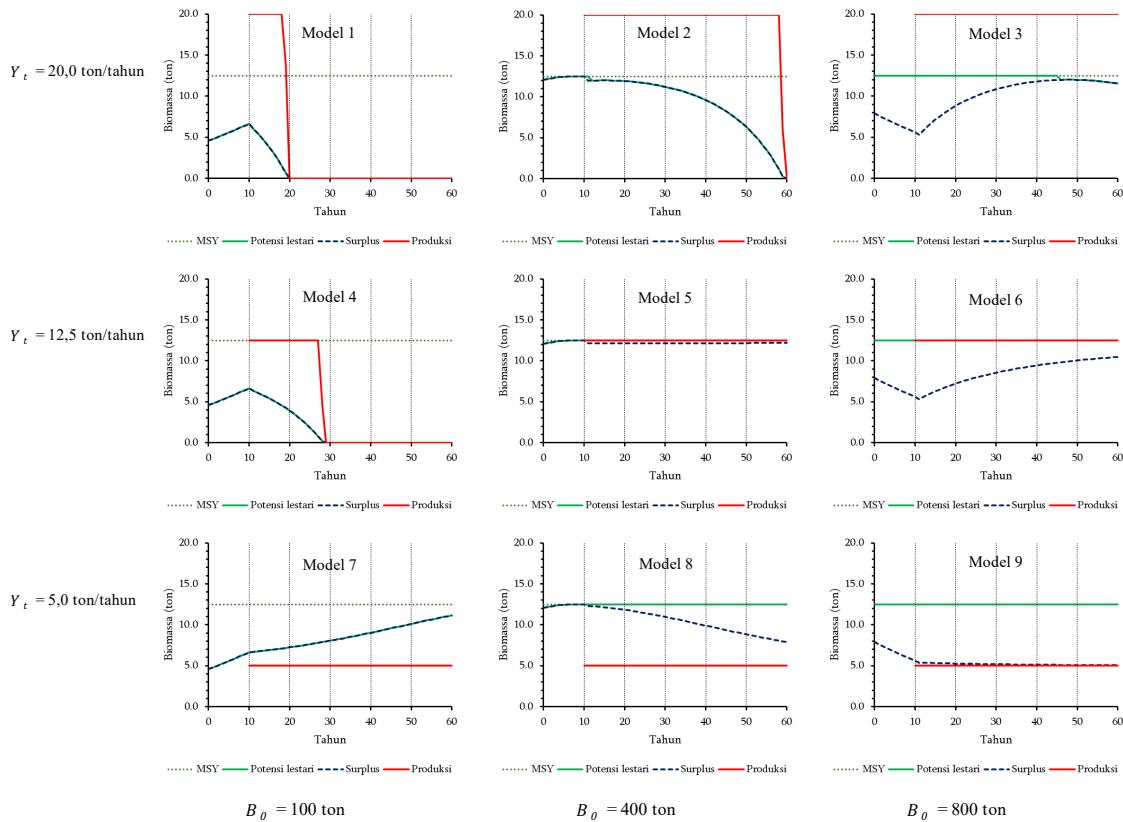
Sebaliknya, pada Model 7, rasio Y_t/SY_t sangat rendah (Gambar 4), sehingga biomassa stok ikan justru mengalami peningkatan dari waktu ke waktu (Gambar 3). Fenomena ini menggambarkan keberhasilan pengelolaan yang memprioritaskan pemulihan stok dengan menekan laju tangkapan. Sementara itu, Model 2 dan 3 menunjukkan penurunan biomassa meskipun memiliki B_0 yang lebih tinggi dibanding Model 1. Hal ini terjadi karena rasio Y_t/SY_t pada Model 2 dan 3 tetap melebihi 1, yang berarti penangkapan melebihi potensi lestari. Namun, kelestarian perikanan pada Model 3 tampak bertahan lebih lama dibanding Model 2 karena nilai B_0 pada Model 3 lebih besar, sehingga waktu untuk mencapai kehancuran stok lebih panjang.



Gambar 1 Perkembangan biomassa ikan (B_t) dari tahun 10 – 50 ketika pada tahun ke 10 mulai mengalami penangkapan ikan konstan Y_t sebesar 5,0, 12,5 dan 20,0 ton per tahun jika biomassa awal B_0 sebesar 100, 400, dan 800 ton

Selain Model 1–4, sebagian besar model simulasi memiliki rasio $Y_t/MSY < 1$, yang berarti selalu terdapat surplus biomassa yang mampu menggantikan jumlah ikan yang ditangkap. Meskipun nilai B_0 rendah (misalnya $B_0 = 100$ ton), seperti pada Model 7, 8, dan 9, biomassa ikan tetap mengalami peningkatan. Pada Model 7, peningkatan biomassa menggambarkan hasil dari strategi pengelolaan perikanan yang ditujukan untuk memulihkan stok ikan, melalui pengendalian penangkapan agar rasio Y_t/MSY tetap jauh di bawah 1.

Sementara itu, Model 8 dan 9 mencerminkan praktik perikanan yang bersifat sub sistem namun berkelanjutan, dengan penangkapan minimal dan tanpa tekanan untuk meningkatkan produksi (Gambar 4). Dalam konteks berbeda, Model 5 dan 6 menggambarkan strategi pemanfaatan stok secara optimal, di mana produksi tahunan setara dengan MSY, dan biomassa dijaga stabil di sekitar 0,5K (Gambar 3). Secara khusus, Model 6 menunjukkan skenario perikanan yang dimulai dengan B_0 mendekati K dan tingkat tangkapan setara MSY; akibatnya, biomassa secara bertahap menurun hingga mencapai keseimbangan di sekitar 0,5K setelah lebih dari 50 tahun.



Gambar 4 Perkembangan potensi lestari (SY_t) dan surplus biomassa (S_t) ikan dari tahun 10 – 50 ketika pada tahun ke 10 mulai mengalami penangkapan konstan (Y_t) sebesar 5,0, 12,5, dan 20,0 ton per tahun jika biomassa awal (B_0) sebesar 100, 400 dan 800 ton

Refleksi Hasil Simulasi terhadap Pengembangan Perikanan Tangkap di Indonesia

Perubahan biomassa stok ikan, baik peningkatan maupun penurunan, saat terjadi penangkapan ikan ditentukan oleh potensi lestari stok terkini (SY_t), yang pada gilirannya sangat bergantung pada surplus (S_t) dan jumlah ikan yang ditangkap (Y_t).

Nilai surplus (S_t) merupakan fungsi dari biomassa ikan saat ini (B_t), sebagaimana ditunjukkan dalam Gambar 1.a. Ketika $B_t < 0,5K$, maka $SY_t = S_t$, sementara jika $B_t \geq 0,5K$, maka SY_t mencapai nilai maksimum atau *maximum sustainable yield* (MSY). Perbedaan antara SY_t dan Y_t , yang disebut P_t , menjadi indikator penting dalam menilai arah perubahan biomassa stok ikan dari waktu ke waktu. Nilai P_t dapat bersifat positif ($P_t > 0$), nol ($P_t = 0$), atau negatif ($P_t < 0$), yang masing-masing mencerminkan kecenderungan dinamika stok ikan. Jika $P_t > 0$, maka terdapat peluang peningkatan stok ($B_{t+1} > B_t$); jika $P_t = 0$, maka stok tetap stabil ($B_{t+1} = B_t$); dan jika $P_t < 0$, maka stok akan cenderung menurun ($B_{t+1} < B_t$).

Status terkini pemanfaatan stok ikan di Indonesia dapat diidentifikasi melalui indikator rasio produksi ikan terakhir (*catch*, C) dibandingkan dengan MSY. Menurut Kementerian Kelautan dan Perikanan (KKP 2017), stok ikan dikategorikan dalam tiga status pemanfaatan berdasarkan nilai rasio C/MSY, yakni:

- (1) *moderately utilized* (MU) jika $C/MSY < 50\%$,
- (2) *fully exploited* (FE) jika $50\% \leq C/MSY \leq 100\%$, dan
- (3) *over-exploited* (OE) jika $C/MSY > 100\%$.

Berdasarkan pendekatan ini, aturan pengendalian tangkapan (*harvest control rule*, HCR) dapat dirumuskan sebagai berikut: apabila stok ikan berstatus MU maka upaya penangkapan dapat

dingkatkan; jika berstatus FE maka upaya penangkapan perlu dipertahankan dengan pemantauan ketat; sedangkan jika berstatus OE maka upaya penangkapan harus dikurangi untuk menghindari degradasi sumber daya. Setelah nilai *maximum sustainable yield* (MSY) ditentukan, langkah selanjutnya adalah menetapkan jumlah tangkapan yang diperbolehkan (JTB) atau *total allowable catch* (TAC) sebagai dasar penetapan kuota hasil tangkapan. Nilai JTB umumnya ditetapkan lebih rendah dari MSY, dengan mempertimbangkan berbagai faktor ketidakpastian. Salah satu pertimbangan utama adalah bahwa MSY sendiri merupakan nilai estimasi yang diperoleh berdasarkan sejumlah asumsi model yang kerap dikritisi (Pitcher & Hart 1982; Hilborn & Walters 1992), serta keterbatasan data yang tersedia—termasuk data yang terdistorsi akibat praktik *illegal, unreported, and unregulated* (IUU) *fishing* (Nurhakim 2009).

Penetapan JTB yang setara dengan MSY berisiko tinggi, terutama jika nilai MSY yang digunakan ternyata merupakan *overestimate* dari potensi sebenarnya. Dalam kondisi seperti ini, upaya penangkapan berpotensi melampaui kapasitas lestari sumber daya ikan. Selain itu, meskipun JTB secara teoritis setara dengan MSY, praktik penangkapan di lapangan masih menghadapi ancaman dari praktik IUU *fishing*, sehingga realisasi tangkapan (*catch*, C) dapat melampaui MSY tanpa terkendali. Oleh karena itu, sangat disarankan untuk menerapkan prinsip kehati-hatian (*precautionary approach*) dalam menetapkan JTB. Pendekatan ini bertujuan untuk meminimalkan risiko kelebihan tangkap, serta memberikan ruang adaptasi bagi pengelola sumber daya dalam menghadapi ketidakpastian data dan dinamika ekosistem perikanan.

Pada tahun 2017, Menteri Kelautan dan Perikanan menetapkan bahwa jumlah tangkapan yang diperbolehkan (JTB) adalah sebesar 80% dari nilai potensi lestari (MSY) untuk setiap kategori stok ikan di masing-masing Wilayah Pengelolaan Perikanan Negara Republik Indonesia (WPPNRI) (KKP 2017). Penetapan porsi JTB sebesar 80% ini merupakan bentuk adopsi dari prinsip kehati-hatian (*precautionary approach*) sebagaimana direkomendasikan oleh FAO (2003). Nilai JTB sebesar 80% dari MSY ini juga digunakan sebagai acuan dalam berbagai penelitian dan kajian kebijakan, antara lain oleh Anas *et al.* (2016), Desiani *et al.* (2019), Sari & Nurainun (2022), Nabila & Totoda (2023), serta Sulistiani *et al.* (2024). Pendekatan ini bertujuan mengurangi risiko kelebihan tangkap akibat ketidakpastian data dan estimasi MSY yang tidak selalu akurat.

Namun demikian, status pemanfaatan sumber daya ikan yang diukur melalui rasio C/MSY tidak bersifat seragam antar kategori ikan dan wilayah pengelolaan. Artinya, status pemanfaatan berbeda-beda tergantung karakteristik dan tingkat tekanan terhadap stok di masing-masing WPPNRI. Sebagai respons terhadap dinamika tersebut, pada tahun 2022, Kementerian Kelautan dan Perikanan melakukan revisi kebijakan penetapan JTB, dengan menetapkan rentang nilai JTB yang lebih fleksibel, yakni antara 50% hingga 90% dari MSY, tergantung pada kondisi stok dan status pemanfaatannya (KKP 2022).

Dengan mempertimbangkan konsekuensi penangkapan ikan pada berbagai tingkat biomassa stok (sebagaimana diilustrasikan dalam Gambar 3 dan 4), kebijakan penetapan JTB secara seragam sebesar 80% dari MSY—yang berlaku sebelum tahun 2022—berpotensi menempatkan sebagian stok ikan pada risiko *over-exploited* (OE), terutama bila kondisi biomassa awal (B_0) sudah rendah. Oleh karena itu, formulasi perhitungan JTB perlu ditinjau ulang agar lebih adaptif terhadap kondisi stok yang dinamis dan tidak seragam antar wilayah maupun jenis ikan.

Stok ikan yang telah berada dalam status *over-exploited* ($C/MSY > 1$) memiliki kerentanan yang lebih tinggi jika penetapan JTB tetap mengacu langsung pada nilai MSY. Dalam kondisi seperti ini, pendekatan berbasis MSY justru dapat memperparah degradasi stok. Hasil simulasi yang telah disajikan sebelumnya menunjukkan bahwa untuk menjamin kelestarian stok ikan dan keberlanjutan perikanan, nilai JTB sebaiknya dihitung berdasarkan potensi lestari terkini (SY), bukan dari nilai MSY yang bersifat tetap dan teoritis.

Dengan demikian, rumus yang diusulkan untuk penetapan JTB menjadi sebagai berikut: di mana c adalah koefisien kebijakan (*precautionary coefficient*) yang nilainya dapat disesuaikan berdasarkan status pemanfaatan stok ikan, dan SY_{t-1} adalah estimasi potensi lestari terkini berdasarkan kondisi biomassa pada periode sebelumnya. Pendekatan ini lebih responsif terhadap kondisi riil stok, serta memungkinkan penyesuaian kebijakan pengendalian penangkapan secara dinamis.

Kehancuran biomassa ikan yang terjadi pada Model 1, 2, 3, dan 4 dapat dihindari apabila laju penangkapan (Y_t) disesuaikan dengan potensi lestari terkini (SY_t), yaitu dengan memastikan bahwa $Y_t < SY_t$. Ketika Y_t mendekati nilai SY_t , maka biomassa ikan tidak akan mengalami peningkatan, sehingga nilai SY_t akan tetap rendah pada periode-periode berikutnya. Dalam kondisi seperti ini, stok ikan hanya menghasilkan surplus yang rendah, yang berimplikasi pada rendahnya potensi lestari, serta kinerja perikanan yang tidak optimal.

Dengan kata lain, jika kondisi ini dibiarkan, maka perikanan akan gagal mencapai produksi maksimum lestari (MSY), yang merupakan prasyarat utama dalam kebijakan penangkapan ikan terukur. Oleh karena itu, penyesuaian dinamis antara Y_t dan SY_t menjadi krusial, tidak hanya untuk menjaga keberlanjutan stok ikan, tetapi juga untuk memastikan bahwa tujuan kebijakan nasional di sektor perikanan tangkap dapat tercapai secara efektif.

Untuk memberikan kepastian usaha bagi pelaku industri penangkapan ikan, informasi mengenai potensi sumber daya ikan (SDI) yang diumumkan sebaiknya tidak lagi berbasis pada potensi lestari maksimum (MSY) semata, melainkan pada potensi lestari terkini (SY_t) yang mencerminkan kondisi aktual stok ikan. Potensi ini kemudian dikalikan dengan suatu koefisien kebijakan yang mencerminkan prinsip kewaspadaan sekaligus strategi pemulihian stok.

Koefisien ini terdiri atas dua komponen: koefisien kewaspadaan (c) yang berfungsi untuk memitigasi risiko kelebihan tangkap akibat ketidakpastian, dan koefisien pemulihan stok (d) yang dirancang untuk mendorong pertumbuhan biomassa menuju kapasitas optimal yang mampu menghasilkan MSY. Oleh karena itu, JTB versi baru ini secara logis akan lebih rendah dibandingkan 80% dari MSY, yang selama ini menjadi acuan umum.

Rumus perhitungan JTB yang diusulkan adalah sebagai berikut:

$$JTB_t = (c + d)SY_{t-1} \quad (5)$$

Ketika biomassa ikan mengalami perbaikan, nilai JTB dapat ditingkatkan secara bertahap, tetapi dengan mempertimbangkan faktor c dan d sebagai kontrol atas risiko dan arah pemulihan. Pendekatan ini tidak hanya memberikan dasar ilmiah dan adaptif bagi pengelolaan kuota, tetapi juga memperkuat daya tarik investasi sektor perikanan secara berkelanjutan.

Berdasarkan status pemanfaatan saat ini, sebagian besar stok ikan di berbagai WPPNRI berada dalam kondisi produksi surplus yang masih berada di bawah MSY. Dalam kondisi seperti ini, apabila JTB ditetapkan setara dengan potensi lestari terkini (SY), maka biomassa stok ikan tidak akan mengalami pertumbuhan, melainkan cenderung stagnan, karena seluruh surplus biomassa langsung dipanen melalui aktivitas penangkapan (Fauziyah *et al.* 2019, Akoit & Nalle 2018;) menyatakan bahwa keseimbangan antara laju penangkapan dengan laju rekrutmen dapat tercapai saat produksi tidak melebihi potensi lestari. Oleh karena itu, JTB harus kurang dari SY pada berbagai perikanan di tanah air agar stok ikan tumbuh.

Pada situasi ekstrem, ketika stok ikan berada pada ambang kehancuran atau mengalami penurunan drastis, maka moratorium penangkapan berjangka menjadi pilihan strategis yang efektif. Dalam masa moratorium, biomassa ikan memiliki peluang untuk tumbuh secara maksimal, mengikuti laju pertumbuhan intrinsik (r) sebagaimana dijelaskan dalam persamaan 1, dan dengan demikian dapat mencapai biomassa minimum yang diperlukan untuk keberlanjutan ($\geq 0,5K$) dalam waktu yang relatif singkat. Namun demikian, penerapan moratorium sering kali tidak populer di kalangan pelaku usaha

perikanan, karena dianggap berdampak langsung terhadap keberlangsungan ekonomi dan operasional mereka (Murawski 2010; Zhang *et al.* 2016).

Dengan memperhatikan pertimbangan tersebut, kompromi kebijakan perlu dirumuskan. Strategi kompromi ini harus didasarkan pada penetapan JTB yang masuk akal dan dapat diterima, tetapi tetap memuat unsur kehati-hatian (c) dan unsur pemulihan stok (d) agar keberlanjutan tetap menjadi prinsip utama. Tujuannya adalah agar pelaku usaha tetap memperoleh kuota tangkapan yang layak (*feasible*), tanpa mengorbankan pemulihan stok dalam jangka panjang.

Mengingat perhitungan JTB berbasis SY memerlukan data biomassa dan surplus yang akurat, maka pemantauan perikanan secara teratur dan terukur menjadi syarat mutlak. Indikator-indikator kunci perikanan seperti produksi, biomassa, dan upaya penangkapan harus dipantau dengan sistematis, agar setiap keputusan pengelolaan dapat dipertanggungjawabkan secara ilmiah dan legal (Punt 2023).

KESIMPULAN DAN SARAN

Jika stok ikan berada dalam status *fully fished* atau *overfished* maka stok ikan tidak mampu menghasilkan produksi surplus maksimum. Pada stok ikan dengan kondisi ini maka pengelola perikanan harus mencegah stok ikan tidak mengalami kerusakan yang semakin parah. Simulasi yang dilakukan dalam studi ini memberikan gambaran mengenai pengaruh kondisi awal biomassa stok ikan (B_0) dan laju penangkapan tahunan (Y_t) terhadap keberlanjutan dalam sembilan model perikanan, dengan asumsi daya dukung lingkungan (K) sebesar 1000 ton dan laju pertumbuhan intrinsik biomassa (r) sebesar 0,05. Hasil simulasi menunjukkan bahwa kelestarian stok dan perikanan sangat ditentukan oleh rasio antara hasil tangkapan tahunan dan potensi lestari tahunan terkini (Y_t/MSY_t). Semakin tinggi rasio tersebut, semakin besar kemungkinan stok ikan menurun dan perikanan menjadi tidak berkelanjutan.

Dalam konteks mengoptimalkan pemanfaatan sumber daya ikan, langkah utama yang perlu dilakukan adalah pemulihan stok ikan, agar produksi perikanan dapat mencapai kapasitas maksimum lestari (MSY). Namun, karena pengelolaan perikanan selalu berhadapan dengan ketidakpastian biologis dan data, maka penerapan prinsip kehati-hatian (*precautionary principle*) harus menjadi landasan utama, khususnya dalam penetapan Jumlah Tangkapan yang Dibolehkan (JTB).

Oleh karena itu, perhitungan JTB disarankan tidak lagi berbasis MSY, melainkan menggunakan pendekatan yang mempertimbangkan:

- (1) Potensi lestari terkini (SY_t) berdasarkan kondisi biomassa aktual,
- (2) Koefisien kewaspadaan (c) untuk menghindari risiko *overfishing*, dan
- (3) Koefisien pemulihan stok (d) sebagai insentif untuk mempercepat pemulihan stok menuju kondisi optimal.

Untuk menerapkan pendekatan ini secara kredibel dan akuntabel, diperlukan pemantauan sistematis terhadap indikator-indikator perikanan, seperti produksi, biomassa, dan upaya penangkapan, agar kebijakan yang diambil berbasis bukti (*evidence-based policy*) dan dapat dipertanggungjawabkan secara ilmiah maupun hukum.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih kepada *reviewer anonymous* atas saran koreksi yang diberikan sehingga manuskrip ini menjadi lebih baik.

DAFTAR PUSTAKA

- Akoit, M.Y. & Nalle, M. 2018. Pengelolaan sumberdaya perikanan berkelanjutan di Kabupaten Timor Tengah Utara berbasis pendekatan bioekonomi. *Jurnal Agribisnis Indonesia*. 6(2): 85.
- Anas, P., Jubaedah, I., & Sudinno, D. 2016. Potensi Lestari Perikanan Tangkap sebagai Basis Pengelolaan Sumberdaya di Kabupaten Pangandaran. *Jurnal Penyuluhan Perikanan dan Kelautan*. 10(2): 88–99.
- Desiani, R., Susiana S., & Lestari F. 2019. Tingkat Pemanfaatan Ikan Delah (*Caesio teres*) pada Perairan Mapur yang Didaraskan di Desa Kelong, Kecamatan Bintan Pesisir, Kabupaten Bintan, Indonesia. *Jurnal Akuakultur, Pesisir dan Pulau-Pulau Kecil*. 3(2): 4955.
- Fauziyah, Ardani, Agustriani, F., Ermatita & Putra, A. 2019. Model-model Surplus Produksi untuk Fish Stock Assessment. Bogor: Halaman Moeka Publishing.
- FAO. 2003. *Fisheries Management: 2. The Ecosystem Approach to Fisheries*. FAO Technical Guidelines for Responsible Fisheries. No. 4, Suppl. 2. Rome, FAO. 2003. 112 p. Report No.: 4-Suppl. 2. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations. [diakses 2025 Mei 23]. <https://www.cbd.int/doc/meetings/mar/cbwsoi-seasi-01/other/cbwsoi-seasi-01-guidelines-on-the-eaf-en.pdf>.
- Froese, R., Winker, H., Coro, G., Demirel, N., Tsikliras, A. C., Dimarchopoulou, D., Scarcella G., Quaas, M., & Matz-Lück, N. 2018. Status and rebuilding of European fisheries. *Marine Policy*. 93: 159–170.
- Hilborn, R., & Walters, C.J. 1992. *Quantitative Fisheries Stock Assessment*. Chapman and Hall. London.
- KKP. 2012. Peraturan Menteri Kelautan dan Perikanan Republik Indonesia Nomor PER.18/MEN/2012 tentang Pedoman Penyusunan Rencana Induk Pengembangan Kawasan Minapolitan. Indonesia.
- KKP. 2016. Keputusan Menteri Kelautan dan Perikanan Republik Indonesia Nomor 47/KEPMEN-KP/2016 tentang Estimasi Potensi, Jumlah Tangkapan yang Diperbolehkan, dan Tingkat Pemanfaatan Sumber Daya Ikan di Wilayah Pengelolaan Perikanan Negara Republik Indonesia. Indonesia.
- KKP. 2017. Keputusan Menteri Kelautan dan Perikanan Republik Indonesia Nomor 50/KEPMEN-KP/2017 tentang Estimasi Potensi, Jumlah Tangkapan Yang Diperbolehkan, dan Tingkat Pemanfaatan Sumber Daya Ikan di Wilayah Pengelolaan Perikanan Negara Republik Indonesia. Indonesia.
- KKP. 2022. Keputusan Menteri Kelautan dan Perikanan Republik Indonesia Nomor 19 Tahun 2022 tentang Estimasi Potensi Sumber Daya Ikan, Jumlah Tangkapan Ikan yang Diperbolehkan, dan Tingkat Pemanfaatan Sumber Daya Ikan di Wilayah Pengelolaan Perikanan Negara Republik Indonesia. Indonesia.
- KKP. 2023. Peraturan Menteri Kelautan dan Perikanan Republik Indonesia Nomor 28 Tahun 2023 tentang Peraturan Pelaksanaan Peraturan Pemerintah Nomor 11 Tahun 2023 tentang Penangkapan Ikan Terukur. Indonesia.
- Mota, R.P., & Nichols, R. 2023. Habitat considerations in optimal fisheries recovery. *Ecological Economics*. 214. doi:10.1016/j.ecolecon.2023.107965.
- Murawski, S.A. 2010. Rebuilding Depleted Fish Stocks: The Good, the Bad, and, Mostly, the Ugly. *ICES Journal of Marine Science*. 67(9): 1830–1840.
- Nabila A. & Totoda, L. 2023. Analisis Potensi Sumberdaya Ikan Pelagis Kecil di Perairan Kota Ambon. *Jurnal Sosial Ekonomi Perikanan FPIK UHO*. 8(3): 151–156.

- Nurhakim S. 2009. Implikasi IUU Fishing dalam Pengelolaan Sumber Daya Ikan di Indonesia. *Jurnal Kebijakan Perikanan Indonesia*. 1(1): 61–76.
- Oremus, K. L., Suatoni L., & Sewell, B. 2014. The requirement to rebuild US fish stocks: Is it working? *Marine Policy*. 47: 71–75.
- Pitcher, T. J., & Hart, P. J. B. 1982. *Fisheries Ecology*. Croom Helm Ltd. London & Canberra.
- Presiden R I. 2023. Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 11 Tahun 2023 tentang Penangkapan Ikan Terukur. Indonesia: <https://peraturan.bpk.go.id/Details/244907/pp-no-11-tahun-2023.hml> 28.
- Punt, A. E. 2023. Those Who Fail to Learn from History are Condemned to Repeat It: A Perspective on Current Stock Assessment Good Practices and the Consequences of Not Following them. *Fish Res*. 261. doi:10.1016/j.fishres.2023.106642.
- Sari, C. P. M. S., & Nurainun. 2022. Analisis Bioekonomi dan Potensi Lestari Ikan Cakalang di Provinsi Aceh. *Jurnal Ekonomi Pertanian Unima*. 5:22–27. <http://ojs.unimal.ac.id/index.php/pertanian>.
- Strang, G. & Herman, E. “Jed.”. 2025 Mei. Calculus (OpenStax). [https://math.libretexts.org/Bookshelves/Calculus/Calculus_\(OpenStax\).](https://math.libretexts.org/Bookshelves/Calculus/Calculus_(OpenStax).) , siap terbit. https://math.libretexts.org/Bookshelves/Calculus/Calculus_.
- Suhana. 2022 Apr 8. Tingkat Pemanfaatan Ikan di WPPNRI Dominan fully dan over exploited. <https://suhana.web.id/2022/04/08/tingkat-pemanfaatan-ikan-di-wppnri-dominan-fully-dan-over-exploited/>, siap terbit. [diakses 2025 Mei 22].
- Sulistiani, Nur, A.I., & Pangerang, U.K. 2024. Analisis Penangkapan dan Potensi Maksimum Lestari Ikan Tuna Mata Besar di Pelabuhan Perikanan Samudera Kendari. *Jurnal Akuakultur, Teknologi dan Manajemen Perikanan Tangkap dan Ilmu Kelautan*. 7(2): 178–190.
- Suman, A., Irianto, H.E., Satria, F., & Amri, K. 2016. Potensi dan tingkat pemanfaatan sumber daya ikan di Wilayah Pengelolaan Perikanan Negara Republik Indonesia (WPP NRI) tahun 2015 serta opsi pengelolaannya. *Jurnal Kebijakan Perikanan Indonesia*. 8(2): 98–110.
- Suman, A., Satria, F., Nugraha, B., Priatna, A., Amri K., & Mahiswara, M. 2018. Status Stok Sumber Daya Ikan Tahun 2015 di Wilayah Pengelolaan Perikanan Negara Republik Indonesia (WPP NRI) dan Alternatif Pengelolaannya. *Jurnal Kebijakan Perikanan Indonesia*. 10(2): 107.
- Suman, A., Wudianto, Sumiono, B., Badrudin, Nugroho, D., Merta, G.S., Suwarso, Taufik, M., Amri, K., Kembaren, D., Priyatna, A., Setiaji, E., Prihantara, S., Prihatiningsih, Chodrijah, U., Fauzi, M., Ernawati, T., & Rahmat, E., 2014. Potensi dan Tingkat Pemanfaatan Sumberdaya Ikan di Wilayah Pengelolaan Perikanan Republik Indonesia (WPP RI). Ed ke-1. Suman Ali, Wudianto, Sumiono Bambang, Irianto Hari Eko, Badrudin, Amri Khairul, editor. Badan Penelitian dan Pengembangan Kelautan dan Perikanan. Jakarta.
- Zhang, C., Chen, Y., & Ren, Y. 2016. The efficacy of fisheries closure in rebuilding depleted stocks: Lessons from size-spectrum modeling. *Ecology Modelling*. 332: 59–66.