

Tersedia online di: <http://ejournal-balitbang.kkp.go.id/index.php/jppi>

e-mail: jppi.puslitbangkan@gmail.com

JURNAL PENELITIAN PERIKANAN INDONESIA

Volume 25 Nomor 3 September 2019

p-ISSN: 0853-5884

e-ISSN: 2502-6542

Nomor Akreditasi RISTEKDIKTI: 21/E/KPT/2018



POLA PEMULIHAN BIOMASSA IKAN PELAGIS KECIL DI LAUT JAWA

RECOVERY PATTERN OF SMALL PELAGICS FISH BIOMASS IN THE JAVA SEA

Suherman Banon Atmaja^{*1} dan Duto Nugroho²

¹Balai Riset Perikanan Laut. Jl. Raya Jakarta Bogor KM. 47. Nanggewer, Mekar, Cibinong, Jawa Barat-16912, Indonesia

²Pusat Riset Perikanan. Gedung BRSDMKP-II. Jl. Pasir Putih II, Ancol Timur. Jakarta Utara-14430. Indonesia

Teregistrasi I tanggal: 08 Februari 2019; Diterima setelah perbaikan tanggal: 11 Oktober 2019;

Disetujui terbit tanggal: 20 Januari 2020

ABSTRAK

Pemanfaatan sumber daya ikan pelagis kecil di Laut Jawa diketahui telah berlangsung setidaknya lebih dari lima dekade dengan berbagai perubahan teknologi alat bantu dan pergeseran daerah penangkapan yang semakin kompetitif. Tulisan ini bertujuan untuk mendeskripsikan pergeseran biomassa ikan pelagis kecil (dengan rujukan ikan layang *Decapterus* spp.) sebagai salah satu sumberdaya ikan yang berperan nyata sebagai pembangkit ekonomi masyarakat perikanan pesisir di pantai Utara Jawa. Pengamatan dilakukan sejalan dengan tren penurunan aktivitas penangkapan armada pukat cincin yang berpangkalan di Pekalongan Jawa Tengah. Analisis dilakukan melalui pendekatan surplus produksi non-ekuilibrium dengan bantuan perangkat aplikasi ASPIC 7 untuk memetakan pergeseran status tahunan biomassa ikan pada kurun waktu 1976-2015. Hasil penelitian menunjukkan bahwa status sumberdaya setelah 2003 terjadi penurunan intensitas penangkapan dan kelimpahan biomassa diduga telah berada pada tingkat ambang batas kemampuan pulihnya (B_t mendekati $0.2 B_{msy}$), kemudian setelah 2010 terjadi pergeseran pola eksploitasi sehingga berangsur terjadi pemulihan biomassa (B_t mendekati B_{msy}). Penurunan tekanan penangkapan diindikasikan oleh penurunan jumlah pukat cincin dan aktivitasnya berperan nyata pada pemulihan biomas menuju tingkat optimum (B_{msy}). Pergerakan status biomassa dan mortalitas penangkapan ikan pelagis kecil secara tahunan yang ditampilkan melalui penggunaan *Kobe plot* memberikan indikasi bahwa kondisi stok ikan setelah tahun 2015 mengarah pada status yang cenderung baik. Pengendalian terhadap mortalitas penangkapan akan memperbaiki kesehatan biomassa dalam jangka panjang.

Kata Kunci: Pemulihan; stok; pelagis kecil; Laut Jawa

ABSTRACT

*Harvesting small pelagic fish resources in the Java Sea was recorded at least for five decades. Various technological creeps for auxiliary devices and shifting fishing grounds increased the competitiveness of purse seine fishery. The main objective of this paper is to describe the dynamic on status and trend of small pelagic fish biomass (with reference to scads *Decapterus* spp.) as a significant driver of economics of coastal community on the north coast of Java. This research corresponds to the direct impact on declining purse seine fishing activities for the last five decades. Data available were analyzed by applying a non-equilibrium surplus production model incorporate covariance of ASPIC 7. The results showed that fishing intensity in the Java Sea tends to decrease from 2003 to 2005 but biomass dropped to a threshold level to recover (B_t close to $0.2 B_{msy}$), then after 2010, there was a shift in exploitation patterns so that biomass recovery gradually (B_t approached B_{msy}). This drastic decline of fishing pressures represented by numbers of purse seine fleet and their activity within the last decade plays a significant role in stock recovery to optimum biomass level (B_{msy}). Applying simple Kobe plots indicates the status and trend of small pelagic fish biomass in 2015 relatively in rebuilding conditions. Regular monitoring of the dynamic of fishing mortality should be implemented to improve the healthiness of small pelagic fish biomass in the Java Sea.*

Keywords: Recovery; stock; small pelagic; Java Sea

Korespondensi penulis:
sba.bppi@gmail.com

DOI: <http://dx.doi.org/10.15578/jppi.25.3.2019.179-189>

PENDAHULUAN

Tingkat hasil tangkapan lestari (*Maximum Sustainable Yield*, C_{MSY}) adalah hasil tangkapan terbesar, yang secara teoritis diartikan sebagai besarnya volume ikan, yang dapat diambil dari persediaan stok selama periode yang tidak terbatas dalam kondisi lingkungan yang tetap. Sementara, potensi produksi atau jumlah tangkapan yang dibolehkan (JTB ~ 80% dari C_{MSY}) dalam satu tahun bagi seluruh armada penangkapan merupakan landasan pengelolaan sumberdaya di Wilayah Pengelolaan Perikanan Negara Republik Indonesia (WPP-NRI).

Perikanan beroperasi dalam sistem yang kompleks, kombinasi faktor-faktor lingkungan dan tekanan penangkapan telah diidentifikasi sebagai penyebab keprihatinan terhadap status beberapa stok ikan di dunia saat ini (Hutchinson, 2008; Syed *et al.*, 2018). Meskipun faktor pendorong pemulihan masih belum diketahui dengan pasti, karena peran parameter lingkungan belum sepenuhnya dipahami, maka paling tidak, upaya pengendalian untuk mengurangi tekanan penangkapan merupakan tindakan yang dapat dilakukan dan secara teknis lebih rasional.

Pengendalian *input* pada kelimpahan stok ikan yang rendah diharapkan dapat mengurangi tekanan penangkapan sehingga memberi kesempatan untuk pemulihan populasinya. Pada kasus perikanan pukat cincin semi-industri di Laut Jawa, sejak pelarangan pukat harimau tahun 1980, terjadi perubahan nyata terhadap pemanfaatan sumberdaya ikan yang didominasi oleh perikanan pukat cincin.

Aspek legalitas dari perizinan memfasilitasi agresivitas pengusaha untuk mengeksploitasi sumberdaya secara berlebihan hingga tahun 2005 yang dilakukan melalui perubahan teknologi penangkapan (*technological creeps*) dengan koefisien yang mendekati maksimum (Atmaja & Nugroho 2011). Tingginya permintaan pasokan bahan baku menyebabkan sebagian armada yang berbasis di Pekalongan melakukan pergeseran aktivitas perikanan ke luar perairan Laut Jawa. Sejalan dengan waktu, terjadi intensitas pemanfaatan yang tinggi namun terjadi penurunan total hasil tangkapan didaratkan di Pelabuhan Perikanan Nusantara Pekalongan. Pemantauan terhadap catatan pendaratan selama penelitian telah dilakukan pemisahan berdasarkan validasi daerah penangkapan.

Tidak terkendalinya peningkatan mortalitas penangkapan menyebabkan hasil tangkapan

cenderung menurun sejalan dengan sediaan biomassa ikan pelagis kecil yang menurun drastis mencapai 25% - 33% dari biomassa awal (Atmaja, 2008). Hal ini didukung oleh temuan penelitian yang menunjukkan bahwa sejak awal tahun 1990 semua analisis stok ikan pelagis kecil di Laut Jawa cenderung menurun dan estimasi biomassa ikan bentong, banyar dan sardin sampai dengan tahun 2007 diduga hanya berada pada kisaran antara 3% dan 19% dari nilai maksimum yang diamati, sedangkan estimasi biomassa layang dan siro terletak diantara 18% dan 34% dari biomassa pada saat rendah pemanfaatan (Cardinale *et al.*, 2009).

Belum tersedianya rujukan teknis pemanfaatan sumberdaya yang disepakati, maka untuk mempertahankan usahanya, pengusaha/nelayan bertindak secara rasional, beradaptasi mengikuti perubahan-perubahan yang terjadi pada kelimpahan sumberdaya ikan dan faktor eksternal lainnya. Pada kondisi sumber daya ikan yang semakin terbatas, para pelaku usaha melakukan pengendalian upaya penangkapan berdasarkan rasio biaya operasional terhadap pendapatan nilai jual hasil tangkapan (tingkat keuntungan). Penurunan nilai hasil tangkapan yang disertai dengan meningkatnya biaya eksploitasi dan beban biaya kerja yang harus ditanggung, menyebabkan beberapa pengusaha akan keluar dari usaha penangkapan atau menjadi tidak aktif, apabila bagi hasil tidak memadai maka ABK akan beralih pada jenis mata pencaharian lainnya. Pengamatan perubahan perilaku sebagian masyarakat perikanan pukat cincin tersebut hanya berdasarkan observasi terbatas secara kualitatif belum diamati secara mendalam, namun demikian beberapa indikasi pergeseran pola eksploitasi telah dibuktikan dengan terjadinya proses pergeseran tipologi perikanan pelagis kecil dari laut Jawa ke perikanan pelagis besar untuk mempertahankan usahanya ke samudra Hindia (Atmaja *et al.*, 2011; 2014).

Sebagai kelanjutan dari penelitian sebelumnya (Atmaja *et al.*, 2017), kajian ini menjelaskan dan membahas dampak penurunan aktivitas penangkapan perikanan pukat cincin terhadap pemulihan stok ikan pelagis kecil di Laut Jawa. Analisis dilakukan dengan menerapkan model non-ekuilibrium surplus produksi pada aplikasi *Aspic 7* serta *Kobe plot* untuk memetakan perubahan arah biomassa ikan terkini terhadap biomassa MSY (B_t/B_{msy}). Temuan penelitian akan memetakan perkembangan status tahunan perikanan (F_t/F_{msy}) dan arah pengelolaan yang harus dilakukan untuk mempertahankan status biomassa pada kondisi yang tetap sehat dalam jangka panjang.

BAHAN DAN METODE

Pengambilan Data

Sumber data berasal dari data tahunan tentang upaya penangkapan dan produksi ikan kapal pukat cincin komersial yang berpangkalan di Pekalongan pada kurun waktu 1976-2015. Produksi tahunan ikan layang di Laut Jawa diperoleh dari data statistik perikanan tangkap Indonesia selama kurun waktu 1976-2015 terkait lima kategori species utama (ikan layang (*Decapterus spp.*), bentong (*Selar crumenophthalmus*), banyar (*Rastrelliger kanagurta*), siro (*Amblygaster sirm*). Data tersebut dikelompokkan sebagai perikanan stok sistem unit tunggal, yang diwakili oleh layang dan perikanan “multi-species” dengan anggapan bahwa stok sebagai sistem unit tunggal yang terdiri dari lima kategori spesies utama berdasarkan data perikanan pukat cincin dari Pelabuhan Perikanan Nusantara Pekalongan (PPNP).

Estimasi hasil tangkapan menurut unit upaya (CPUE) pada perikanan pukat cincin yang berpangkalan di Pekalongan digunakan sebagai CPUE baku. Analisis dilakukan terhadap data runtun CPUE observasi setelah produksi tertinggi kemudian terjadi penurunan secara bertahap karena terjadi perbedaan kemampuan tangkap (*catchability*) yang sulit diukur pada periode perikanan tersebut.

Analisis Data

Pendekatan model produksi yang diperkenalkan Schaefer, (1954; 1957) telah banyak dan umum digunakan pada rezim perikanan yang mengalami perubahan upaya penangkapan dan laju pemanenannya berdasarkan runtun waktu pendataan tahunan yang relatif panjang. Analisis dilakukan dengan menggunakan asumsi pertumbuhan populasi mengikuti pola logistik, dan perubahan biomassa stok dari waktu ke waktu (dB/dt) mengikuti fungsi kuadrat dari biomassa. Penerapan pemodelan disusun mengikuti persamaan:

$$\frac{dB}{dt} = rB_t - \left(\frac{r}{K}\right)B_t^2 \dots\dots\dots (1)$$

konstanta r merupakan prediksi tingkat pertumbuhan populasi intrinsik, parameter K adalah besaran daya dukung lingkungan pada perikanan yang sedang berjalan.

Hasil tangkapan yang diekstrak dari populasi ikan di alam (C) akan berpengaruh terhadap biomassa yang tertinggal dan dapat diprediksi dengan mengikuti persamaan:

$$\frac{dB_t}{dt} = \left(rB_t - \left(\frac{r}{K}\right)B_t^2 \right) - C \dots\dots\dots (2)$$

Model surplus produksi non-ekuilibrium merupakan model yang menggabungkan nilai kovariat upaya dan CPUE berdasarkan pada asumsi stok pada kondisi non-ekuilibrium, kemudian dilakukan proses penggabungan nilai kovariat dari parameter terhitung. Model surplus produksi yang diadopsi adalah versi waktu kontinu dari model Graham-Schaefer (Prager, 1994). Hasil tangkapan (persamaan 2) berasumsi bahwa nilai CPUE sebanding dengan kelimpahan stok ($CPUE = qB$) atau $C=qEB$ atau $C=FB$, maka model produksi versi waktu kontinu dari model Graham-Schaefer tersebut menjadi:

$$\frac{dB}{dt} = (r - F_t)B_t - \frac{r}{K}B_t^2 \dots\dots\dots (3)$$

di mana;

- C = hasil tangkapan
- q = koefisien kemampuan tangkap,
- E = upaya penangkapan
- B = biomassa
- F = mortalitas penangkapan
- r = laju pertumbuhan intrinsik
- K = daya dukung lingkungan

Pendekatan non-ekuilibrium surplus produksi dengan menggabungkan kovarian diterapkan terhadap data hasil tangkapan tahunan dan CPUE dari perikanan pukat cincin di Laut Jawa, dengan asumsi bahwa CPUE sebanding dengan kelimpahan. Langkah pertama adalah analisis data CPUE dan hasil tangkapan pada periode 1976-2015 dengan rentang waktu yang lebih lebar dibandingkan penelitian sebelumnya (Atmaja *et al.*, 2017). Menggunakan pendekatan “*trial & error*” terhadap parameter awal rasio biomassa terhadap besarnya biomassa awal (B_t/K), dapat dilakukan estimasi produksi maksimum (MSY), tingkat upaya pada produksi maksimum (F_{MSY}) dan q (koefisien daya tangkap) sehingga dapat diperoleh kombinasi MSY , F_{MSY} , q dan K , yang mewakili tren data terkumpul. Keluaran model adalah estimasi CPUE, mortalitas penangkapan (F) dan biomassa (B), biomassa relatif (B/B_{MSY}) dan mortalitas penangkapan relatif (F/F_{MSY}).

HASIL DAN BAHASAN

Hasil

Dengan input parameter awal B_{MSY}/K , MSY , F_{MSY} , q yang berbeda diperoleh nilai parameter produksi surplus dari model logistik (F_{MSY} , K , q , C_{MSY} , B_{MSY} dan

r) untuk ikan layang berdasarkan data statistik perikanan tangkap, lima kategori spesies utama dan statistik pendaratan perikanan pukat cincin yang berpangkalan Pekalongan (Tabel 1). Hasil penting lainnya adalah *Kobe plot* memetakan perubahan arah status stok yang berkaitan langsung dengan perjalanan perkembangan perikanan. Pada sumbu X,

plot mewakili biomassa (atau biomassa pemijahan) yang dinyatakan relatif terhadap B_{MSY} . Pada sumbu Y, mewakili mortalitas penangkapan yang dibandingkan dengan F_{MSY} , status pemanfaatan dibagi menjadi empat kuadran dengan kriteria umum mengikuti Restrepo, (2011).

Tabel 1. Parameter model logistik surplus produksi 1976-2014

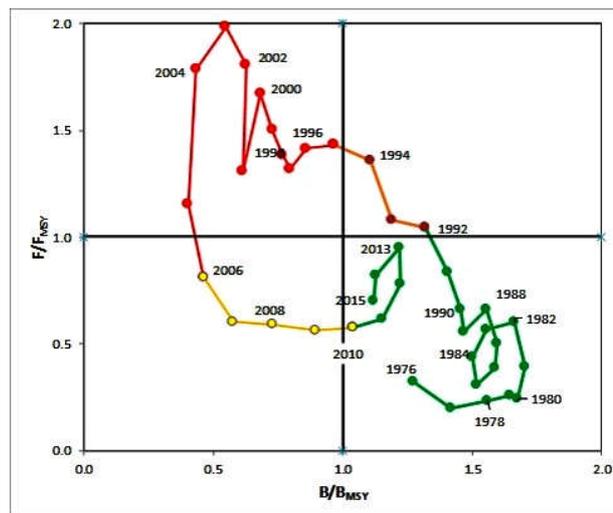
Table 1. Parameters of surplus production based on logistic model 1976-2014.

Parameter	Ikan layang (<i>Decapterus</i> spp. (statistik perikanan tangkap)	lima kategori spesies utama (statistik perikanan tangkap)	Perikanan pukat cincin Pekalongan (semua species)
F_{MSY}	0,33	0,116	0,755
K (ton)	662.300	4.173.000	173.900
q	1,85E-06	5,584E-07	1,905E-05
C_{MSY} (ton)	109.300	242.500	65.640
B_{MSY} (ton)	331.100	208.700	86.950
r	0,66	0,232	1,55
R^2 CPUE	0,621	0,870	0,351

Keterangan/Remarks: $C_{MSY} = K/4$, $B_{MSY} = K/2$, $F_{MSY} = r/2$

Hasil analisis *Kobe plot* (Gambar 1) ikan layang dilakukan dimana stok dianggap sebagai sistem unit tunggal yang memperlihatkan bahwa pemanfaatan pada kurun waktu 1976 – 1992 berada dalam tahapan berkembang, kemudian terus meningkat melalui perubahan teknologi secara bertahap sehingga situasi perikanan mulai cenderung berada pada tingkat jenuh (1992-1995). Fenomena tersebut terus berlangsung dengan intensitas yang semakin tinggi yang diikuti dengan penurunan peluang keberhasilan usaha penangkapan yang antara lain dicirikan oleh berpindahnya daerah penangkapan ke Selat Makassar dan Laut Natuna.

Sebagian besar armada pukat cincin tetap beroperasi di laut Jawa sehingga pergerakan mortalitas penangkapan terus melebihi F_{MSY} dengan hari layar yang lebih lama yang diartikan sebagai upaya pemenuhan hasil tangkapan membutuhkan waktu yang lebih atau indeks biomassa (B) telah berada dibawah B_{MSY} (kuadran 2 & 3). Fenomena ini didukung informasi bahwa sebagian diantaranya berpindah dengan sasaran kelompok jenis ikan pelagis besar di Samudra Hindia dan Kawasan Timur Indonesia (Atmaja *et al.*, 2011; 2014; Atmaja & Nugroho, 2005).

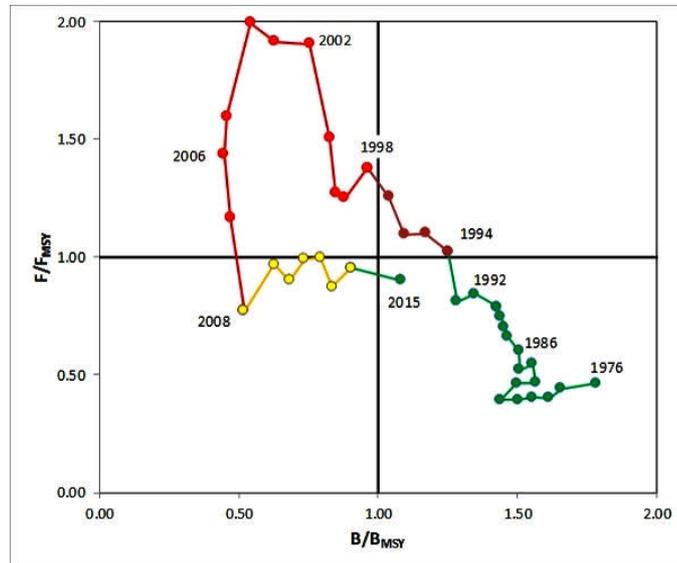


Gambar 1. *Kobe plot* relatif biomassa (B/B_{MSY}) dan mortalitas penangkapan (F/F_{MSY}) ikan layang (*Decapterus* spp) di Laut Jawa.

Figure 1. *Kobe plot* of relative biomass (B/B_{MSY}) and relative fishing mortality (F/F_{MSY}) of scads (*Decapterus* spp.) in the Java Sea.

Pergeseran biomassa berdasarkan gabungan lima spesies kategori utama berdasarkan data statistik perikanan tangkap nasional (Gambar 2) secara umum memperlihatkan pola yang mirip dengan ikan layang sebagai rujukan species, namun status mortalitas penangkapan berlebihan dan kondisi stok

telah menurun (telah *overfishing* dan *overfished*) terjadi sedikit lebih lambat (1998) dibandingkan dengan rujukan ikan layang (1995). Sedangkan periode pemulihan berdasarkan lima species utama terjadi lebih lambat (2015) dibandingkan menggunakan ikan layang sebagai indikator (2010).

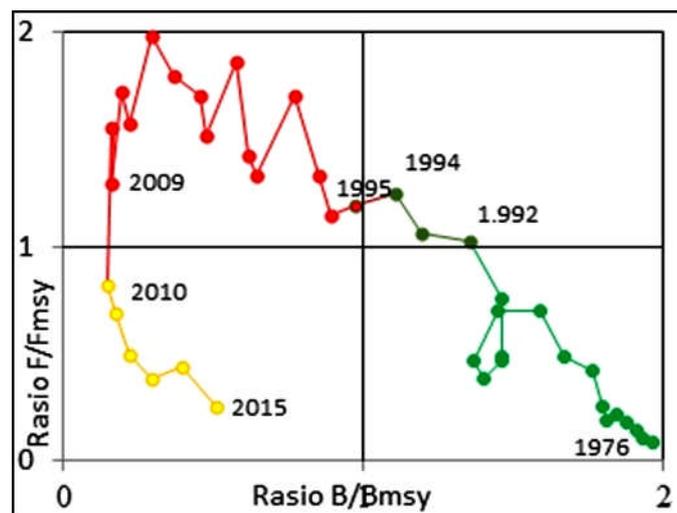


Gambar 2. Kobe plot relatif biomassa (B/B_{MSY}) dan mortalitas penangkapan (F/F_{MSY}) lima kategori spesies utama di Laut Jawa.

Figure 2. Kobe plot of relative biomass (B/B_{MSY}) and relative fishing mortality (F/F_{MSY}) of five categories species in the Java Sea.

Analisis terhadap pendaratan pukat cincin di Pekalongan menunjukkan bahwa estimasi Biomassa teoritis terus menurun pada periode 1975 – 2009 pada tingkat 8% dibandingkan 1975, kemudian meningkat setelah 2010 menjadi 37% pada 2015 (Gambar 3). Estimasi pemulihan terlihat lebih lambat dibandingkan

kedua sumber data diatas, namun demikian pola ini lebih memperlihatkan keadaan yang terjadi sampai dengan tahun 2015 dimana hasil observasi langsung terhadap volume produksi bulanan di PPNP Pekalongan sangat sulit mencapai volume maksimum yang diperoleh pada periode sebelum 1995.



Gambar 3. Kobe plot relatif biomassa (B/B_{MSY}) dan mortalitas penangkapan (F/F_{MSY}) perikanan pukat cincin berdasarkan data TPI Pekalongan.

Figure 3. Kobe plot of relative biomass (B/B_{MSY}) and relative fishing mortality (F/F_{MSY}) of purse seiners fisheries based on data from Pekalongan landing place.

Ketiga gambar tersebut menunjukkan fenomena perubahan arah pemulihan stok relatif berbeda, namun secara umum memperlihatkan penurunan drastis aktivitas penangkapan perikanan pukat cincin semi industri hampir dua dekade, terindikasi telah berada pada tahapan pemulihan dan perlu diikuti secara bertanggung jawab.

Bahasan

Perbedaan ini menggambarkan bahwa penggunaan ikan layang sebagai rujukan akan lebih mudah diamati secara teknis dan cukup mewakili status biomassa ikan pelagis kecil. Hal ini diharapkan dapat dijadikan landasan bagi pengelolaan perikanan pukat cincin di laut Jawa melalui perbaikan sistem pendataan yang tetap dilakukan dan dipublikasikan secara tahunan yang saat ini terhenti dan tidak dapat diakses secara publik. Terjadinya perubahan sistem pengumpulan data sejak tahun 2017 menyebabkan kesulitan dalam melakukan pemantauan status sumberdaya ikan pelagis kecil pada sistem perikanan pukat cincin yang telah diamati secara berkala sejak tahun 1980an. Alih pengetahuan antar petugas enumerator diduga tidak berjalan sesuai dengan kebutuhan dasar penelitian dan perubahan tata kelola sistem pendataan yang masih perlu waktu dalam perbaikannya.

Kebijakan pemanfaatan sumber daya ikan di perairan Indonesia, sejauh ini dilakukan dengan pendekatan bahwa stok ikan dikelola dengan menetapkan batasan penangkapan tahunan (jumlah tangkapan yang dibolehkan, JTB atau potensi produksi) tahunan. Sebagian besar JTB berdasarkan atas pendugaan stok ikan diturunkan dari model surplus produksi mengikuti jejak Schaefer, yang menerapkan model surplus produksi dari serial waktu hasil tangkapan dan standarisasi upaya penangkapan. Upaya terus dilakukan untuk mempertahankan stok ikan pada tingkat hasil tangkapan lestari (C_{MSY}), dan untuk membangun kembali stok ikan yang tereksplorasi secara berlebihan. Worm *et al.* (2009) mendefinisikan runtuhnya stok ikan ketika biomassa tersisa sebesar kurang dari 20% dari biomassa yang diperlukan untuk mendukung pemanfaatan berkelanjutan (B_{MSY}).

Pola konvensional yang digunakan untuk mengatur jumlah tangkapan, secara operasional diturunkan melalui langkah-langkah konseptual teknis seperti halnya pembatasan alat tangkap, peraturan ukuran mata jaring, daya lampu dan jalur penangkapan. Pendekatan ini didasari pada kondisi lingkungan yang tidak berubah, namun diikuti oleh bukti tentang mayoritas stok ikan dipengaruhi oleh perubahan rezim produktivitas yang banyak digunakan

di berbagai negara (Hilborn, *et al.*, 2014). Penipisan stok ikan di seluruh dunia pada dekade akhir (Freitas *et al.*, 2008; FAO, 2016) telah menyebabkan para pengelola perikanan semakin khawatir terhadap upaya pembangunan kembali dan merencanakan pemulihan sumber daya ikan terkait dengan tema keberlanjutannya (Murawski, 2010).

Thorson *et al.* (2012) mengemukakan bahwa sediaan ikan sebesar 26%-46% dari ukuran biomassa awal sebagai upaya mempertahankan stok ikan pada tingkat hasil tangkapan yang lestari (C_{MSY}). Saat ini, otoritas perikanan tangkap di Indonesia berupaya terus mempertahankan stok ikan pada tingkat hasil tangkapan lestari (C_{MSY}) namun kesenjangan data selalu menyebabkan terjadinya jeda waktu dalam pelaksanaannya. Dinamika pelaku usaha pukat cincin di laut Jawa memiliki kemampuan adaptasi terhadap perubahan biomassa melalui pergeseran teknologi alat bantu yang berkorelasi dengan perubahan koefisien daya tangkap (q) juga tidak mudah dipetakan.

Tindakan pengelolaan jarang sekali dilakukan pada stok yang masih *virgin* (belum dimanfaatkan atau dimanfaatkan tetapi pada tingkat yang sangat rendah), tetapi lebih sering pengelola dihadapkan pada kondisi perikanan yang ditandai oleh penurunan laju hasil tangkapan dan kelimpahan populasi, atau setelah produksi telah mencapai kestabilan jangka panjang, di mana tren penurunan CPUE dibarengi oleh penurunan produksi secara bertahap dan kejadian *overfishing* atau tingkat MSY telah berlangsung beberapa tahun yang lalu. Upaya pengelolaan selalu terlambat dan tidak ditanggapi, serta tingkat efektivitas implementasi yang rendah.

Pengendalian mortalitas penangkapan menjadi kunci untuk pemulihan stok, ketika tekanan penangkapan berkurang stok ikan selalu meningkatkan dalam kelimpahannya, namun, terdapat berbagai pendapat tentang jeda waktu yang dibutuhkan untuk pemulihan stok ikan. Safina *et al.* (2005) menyatakan bahwa banyak stok telah tereksplorasi secara berlebihan (sisa biomassa telah mencapai ambang minimum, $\frac{1}{4} B_{MSY}$), apabila diberlakukan moratorium penangkapan mampu membangun kembali dalam waktu 5 tahun, sedangkan apabila implementasi berbasis mortalitas penangkapan membangun kembali dalam waktu kurang dari satu dekade. Selebihnya ditegaskan bahwa membangun kembali stok perikanan yang telah tereksplorasi secara berlebihan ke tingkat hasil tangkapan yang berkelanjutan membutuhkan waktu beberapa tahun hingga beberapa dekade, tergantung pada produktivitas stok ikan akibat berubahnya kondisi

lingkungan dan biologis, sejarah dan tingkat penyusutan, dan laju mortalitas ikan dalam perikanan tersebut.

Berbagai pendapat tentang jeda waktu pemulihan telah mengalami perubahan sejalan dengan temuan penelitian dan permodelan yang dilakukan. Myers *et al.* (1994) yang menyatakan bahwa stok pemijahan rendah menyebabkan rekrutmen rendah telah diperbaiki oleh Gilbert (1997) dalam Vert-pre *et al.* (2013) dengan pendapat bahwa rekrutmen dalam stok ikan laut sebagian besar didukung oleh kondisi lingkungan yang terjadi baik pada keadaan yang baik atau buruk. Temuan tersebut juga menyarankan bahwa ketika kondisi lingkungan bergerak dari baik ke buruk, rekrutmen menurun, dan akibatnya keberhasilan pemijahan akan menurun, sehingga memberi kesan bahwa stok pemijahan yang rendah menyebabkan perekrutan yang lebih rendah. Namun demikian, ketika mekanisme penyebabnya adalah bahwa perekrutan yang lebih rendah akan mengarah pada stok pemijahan yang lebih rendah. Ketika lingkungan berubah dari buruk menjadi baik, rekrutmen meningkat, *spawning stock* akan meningkat dan keberadaan yang lebih besar akan mengarah pada pola peremajaan (*recruitment*) stok yang lebih baik.

Kesimpulan yang sangat berbeda oleh Hutchings & Reynolds (2004) yang menyatakan bahwa perubahan stokastik dalam produktivitas juga tampaknya memainkan peran besar dalam proses pemulihan. Beberapa informasi di kawasan sub tropis mengindikasikan bahwa peluang untuk pulih ke B_{MSY} dalam 10 tahun untuk stok yang sedikit menipis (40% dari B_{MSY}) hampir 50% bahkan pada tingkat kematian ikan hingga 1,5 kali F_{MSY} . Estimasi waktu pemulihan tersebut belum sepenuhnya dapat dijadikan rujukan di perikanan tropis yang sebagian besar kelompok jenis ikan pelagis kecil umumnya dikategorikan memiliki resiliensi yang menengah – tinggi (Froese & Pauly, 2019). Satu hal yang perlu dipertimbangkan bahwa meskipun stok yang dimanfaatkan pada tingkat ini diprediksi tidak akan tetap berada di atas B_{MSY} untuk waktu yang lama karena pengurangan tekanan penangkapan ikan, meskipun jelas diperlukan untuk pemulihan populasi, seringkali dalam pelaksanaannya tidak mencukupi sehingga meningkatnya kekhawatiran bahwa populasi terus tertekan ke tingkat yang lebih rendah hingga tingkat kelimpahan yang tidak mungkin pulih bahkan ketika tekanan penangkapan berkurang.

Hutchings *et al.* (2012) mengembangkan teori tentang "*life history parameter*" diduga berkorelasi dengan resiko kepunahan dan kegagalan pemuihan. Neubauer *et al.* (2013) menggunakan basis data yang

diperbarui dan menemukan bahwa stok memang pulih jika tekanan penangkapan berkurang dan bahwa begitu tingkat eksploitasi dikurangi ke tingkat yang akan menghasilkan hasil maksimum yang berkelanjutan jangka panjang (sering disebut F_{MSY}), pemulihan umumnya diharapkan dalam 20 tahun, meskipun populasi dengan tingkat intrinsik yang luar biasa rendah diperkirakan akan membutuhkan waktu lebih lama.

Pada kasus perikanan pukat cincin di Laut Jawa, usaha perikanan berkembang menjadi sektor yang sangat dinamis. Pada kondisi sisa biomassa stok ikan yang tersedia sudah tidak mampu lagi menopang jumlah armada perikanan yang terlanjur masuk ke dalam usaha perikanan, maka para pelaku usaha berupaya melakukan penyesuaian terhadap modus operasi penangkapan antara lain melalui lebih lama berada di laut, menggunakan palka dengan sistem pembekuan serta sistem titip hasil tangkapan, untuk tetap mempertimbangan efisiensi penangkapan yang paling menguntungkan pada setiap trip penangkapan. Apalagi dibarengi dengan kenaikan harga bahan bakar minyak (BBM) yang rata-rata melebihi 100% pada 1 Oktober 2005 telah memberikan dampak luas terhadap industri (usaha kecil, menengah dan besar) perikanan nasional dan menjadi mimpi buruk bagi pemilik kapal dan nelayan.

Selama 24 tahun aktivitas penangkapan kapal pukat cincin menurun tajam dari rata-rata trip/kapal sekitar 9,1 trip pada 1986 menjadi sekitar 2,3 trip/kapal pada 2010 . Pada 2009, jumlah kapal aktif di Pekalongan hanya tersisa sekitar 30% dibandingkan pada 2005, sedangkan bila dibandingkan jumlah tertinggi pada tahun 1995 berada pada kisaran 18-19% (Atmaja, *et al.*, 2012). Penurunan jumlah trip/tahun dan jumlah kapal aktif mengindikasikan bahwa untuk memperoleh hasil tangkapan minimum/trip pada 2009 diperlukan waktu yang lebih lama karena kelimpahan stok berada pada kondisi yang rendah atau pada kuadran 3. Pergeseran teoritis status biomassa ini terus berjalan dan mengarah ke kwadran 1 dengan kondisi mengarah pada status tidak *over fishing* dan tidak *over fished*.

Sementara, konsep "*buy back*" tidak dikenal di Indonesia, sedangkan kapal penangkap ikan tidak mudah dialokasikan untuk penggunaan di luar perikanan. Perikanan berkembang di luar dugaan skenario sebelumnya, perubahan perilaku adaptif masuk-keluar kapal meningkat secara dramatis. Pertimbangan sosial menjadi pilihan kebijakan regulasi perikanan tangkap melalui peralihan spesies target dan diversifikasi usaha penangkapan. Dengan relokasi usaha secara mandiri mendorong pengalihan

daerah penangkapan ke arah perairan Kawasan Timur Indonesia (KTI) dan Samudera Hindia untuk dua kelompok komunitas ikan pelagis besar, yaitu kelompok tuna tropis (Atmaja, 2009).

Pemulihan status stok ikan, biomassa menjadi aman harus ditafsirkan dengan kehati-hatian. Apakah kepastian pulihnya sungguh-sungguh terjadi atau hanya bersifat semu? Bagaimanapun produksi surplus didefinisikan sebagai perubahan bersih biomassa ditambah hasil tangkapan yang dapat dimodelkan menjadi $S_t = B_{t+1} - B_t + C_t$, dimana S_t = produksi surplus pada tahun t , B_{t+1} = biomassa total stok pada tahun $t+1$, B_t = biomassa total stok pada tahun t dan hasil tangkapan pada tahun t , dimana hasil tangkapan diasumsikan berbanding lurus dengan biomassa dan upaya penangkapan ($C = q \cdot B \cdot E$ atau $CPUE = B$). Hal penting lainnya masa pembangunan kembali berdasarkan atas model Graham-Schaefer diasumsikan kondisi produktivitas konstan. Pada kenyataannya, lingkungan Laut tidak konstan dan produktivitas stok dapat bersifat sporadis (Neubauer *et al.*, 2013; Patrick & Cope, 2014). Pertumbuhan organisme adalah hasil proses sangat kompleks yang berkaitan dengan faktor abiotik dan biotik lingkungan, interaksi spesies (pemangsa dan kompetisi), dan perubahan struktur komunitas (Krebs, 1985).

Teori klasik tentang penangkapan ikan mengisyaratkan pemulihan populasi yang cepat jika aktivitas penangkapan ikan dihentikan, namun pada praktiknya tingkat pemulihannya jauh lebih lambat dari yang diperkirakan, dan dalam beberapa kasus pemulihan yang diharapkan belum terjadi sama sekali (Hutchings 2000 dalam Enberg *et al.*, 2009). Apapun ragam tindakan yang akan dilakukan perlu mempertimbangkan adanya reformasi kelembagaan terkait hingga terdapat indikasi status dan trend kelimpahan yang meningkat (Pauly *et al.*, 2003; Costello *et al.*, 2016). Dampak perikanan tidak hanya menurunkan kelimpahan populasi dan biomassa, tetapi juga dibarengi perubahan yang mungkin mempengaruhi perlambatan proses pemulihan seperti: penangkapan ikan mengubah komposisi demografis stok menjadi dominasi ikan muda dan kecil, struktur umur dan ukuran yang didominasi ikan muda dan kecil mengurangi potensi reproduksi, mengubah lingkungan biotik, yang memicu perubahan sifat plastik fenotipikal individu.

Dampak perikanan dapat mengurangi persaingan intraspesifik, populasi yang dieksploitasi berpeluang beradaptasi secara evolusioner terhadap pola kematian yang baru, atau beberapa proses adaptasi yang berlangsung secara bertahap, sehingga pemanenan yang berjalan dapat menyebabkan

perubahan struktur ekosistem, yang berpotensi menyebabkan pergeseran rezim ekologis dan keadaan yang stabil semu (Enberg *et al.*, 2009). Zhou *et al.* (2014) menyatakan bahwa perubahan struktur ekosistem akibat pemanfaatan berlebih akan menyebabkan dampak pada spesies yang dimanfaatkan dan mengubah interaksi antar kelompok melalui penurunan tingkat kompetisi pada spesies pada tingkat trofik tinggi. Kegagalan beberapa stok untuk pulih kembali terkait dengan pergeseran jangka panjang dalam produktivitas populasi atau struktur ekosistem, sedangkan berfokus pada pendekatan berbasis mortalitas penangkapan tampaknya tidak konsisten.

Untuk evaluasi strategi pembangunan kembali dengan menggunakan model operasi spesies tunggal yang mensimulasikan pergeseran rezim pemanfaatan jangka panjang (Benson *et al.*, 2016), lebih dimaknai sebagai indikator status stok yang telah dimanfaatkan dan perlu ditindak lanjuti melalui prinsip-prinsip pengelolaan yang secara umum akan menjamin tersedianya biomassa ikan pelagis kecil berada diatas titik rujukan minimum.

Oleh karena itu, pemulihan stok tidak hanya mengandalkan model deterministik dan pengendalian mortalitas penangkapan ikan atau stok biomassa, tetapi perlu mendorong dengan menerapkan beragam perangkat pengelolaan lainnya, seperti penutupan musim atau penutupan spasial terbatas untuk kapal pukat cincin > 30 GT (tidak termasuk kawasan perlindungan Laut). Penutupan musim atau daerah penangkapan di beberapa pulau yang berada di bagian timur Laut Jawa (P. Matasiri, sebagian Pulau di Kep. Masalembu) dan Selat Makassar (P. Sumber gelap dan Lumu-lumu), akan meningkatkan peranan kawasan perlindungan laut, serta kawasan konservasi perairan yang telah ditetapkan, yang pengelolannya diberikan kepada pemerintah daerah, khususnya Kawasan Konservasi Laut Daerah (KKLD) sebagai perangkat konservasi sumberdaya ikan.

Pada kondisi pulihnya stok ikan mempunyai arti bahwa terjadinya peningkatan nilai CPUE sebagai konsekuensi kenaikan biomassa, sehingga kepadatan gerombolan ikan yang besar akan lebih mudah terbentuk dan ditemukan, serta peluang keberhasilan penangkapan semakin lebih tinggi. Untuk memastikannya hal tersebut perlu dukungan penelitian lanjut dan fokus pada penelusuran secara berkala melalui pencatatan data kapal tertentu (*core vessel*) dengan catatan terbaik. Pendekatan evaluasi strategi pengelolaan melalui observasi regular hasil tangkapan harian dapat menggambarkan estimasi besaran gelombolan ikan sampai status sumberdaya

semakin sehat dan mengarah pada tingkat pulihnya kelimpahan stok. Sementara upaya pengelolaan untuk peningkatan kapasitas armada penangkapan sangat diperlukan kehati-hatian, karena kemampuan tangkap (*catchability*) pada awal berkembang (tahun 1976) jauh lebih rendah dari pada saat ini sehingga perlu diketahui perangkat teknologi alat bantu yang akan digunakan.

Hasil kajian ini yang dipetakan melalui teknik *Kobe plot* menggambarkan sejarah panjang dinamika eksploitasi perikanan pelagis kecil di Laut Jawa dan perubahan arah status stok ikan yang berkaitan langsung dengan perjalanan perkembangan perikanan selama hampir 5 dekade. Penggunaan *Kobe plot* merupakan pilihan untuk menyimpulkan status dan tren pemanfaatan sumber daya serta tingkat pemanfaatannya. Berdasarkan atas ambang batas pengelolaan dengan besaran keseimbangan F_{MSY} dan $B_{MSY}=1$ lebih kuat dan lebih objektif direkomendasikan dalam proses manajemen dari pada nilai absolut C_{MSY} . Bagaimanapun estimasi C_{MSY} sebagai titik rujukan yang diperoleh bersifat dinamis mengikuti perubahan perikanan yang terus beradaptasi terhadap ketersediaan sumber daya yang menjadi tujuan pemanfaatan dan mata pencariannya. Disamping itu, patut dipertimbangkan terbatasnya pengetahuan tentang sensitivitas biologi terhadap perubahan lingkungan yang berpengaruh terhadap laju pemulihan stok ikan pelagis kecil di Laut Jawa (Atmaja, 2008; Atmaja *et al.*, 2011; Atmaja *et al.*, 2014).

Status stok di beberapa negara maju, ketidakpastian penentuan titik rujukan pengelolaan perikanan masih tetap berlangsung dan upaya penelusuran melalui berbagai model dan asumsi yang digunakan telah dilakukan. Namun demikian, strategi pemanfaatan tetap berjalan dengan tingkat kepatuhan yang tinggi dan dilaporkan secara tahunan seperti halnya di Australia (Patterson *et al.*, 2018). Pendekatan alternatif, berbasis data, dengan mempertimbangkan prinsip pendekatan kehati-hatian masih bersifat teoritis dengan kecenderungan mengabaikan tujuan perikanan untuk menghasilkan manfaat sosial dan ekonomi bagi masyarakat yang sangat perlu dilindungi. Untuk itu, kunci keberhasilan pengelolaan perikanan tidak hanya pada ilmu yang lebih baik, titik rujukan yang lebih baik, atau lebih banyak pendekatan kehati-hatian, melainkan menerapkan sistem tata kelola perikanan yang memberikan insentif bagi masing-masing nelayan, ilmuwan, dan manajer untuk membuat keputusan demi kepentingan yang berkontribusi pada tujuan sosial (Hilborn, 2002). Seberapa jauh langkah-langkah tata kelola perikanan pukat cincin di Laut Jawa yang perlu disepakati dan dipatuhi bersama masih

merupakan sisi gelap dari harapan keberlanjutan pemanfaatan yang memerlukan dukungan penelitian dalam jangka panjang.

KESIMPULAN

Seiring dengan perkembangan pengetahuan dan dinamika perikanan, usaha perikanan telah berkembang menjadi sektor yang dinamis, masuk – keluarnya kapal (upaya penangkapan) bergerak mengikuti perubahan-perubahan yang terjadi pada kelimpahan sumber daya ikan dan faktor eksternal lainnya. Pada situasi tersebut, penggunaan *Kobe plot* mengisyaratkan pilihan yang cenderung sesuai dan cepat untuk menyimpulkan apakah status stok saat ini berada dalam kondisi baik atau buruk.

Status stok ikan pelagis kecil yang diwakili oleh ikan layang sebagai spesies utama telah terindikasi telah melalui tahapan lebih pungut dan terus bergerak ke arah pemulihan, namun demikian, diperlukan kehati-hatian dalam upaya pengelolaan aktivitas dan intensitas armada penangkapan pukat cincin karena kemampuan tangkap (*catchability*) pada awal berkembang (tahun 1976) jauh lebih rendah dari pada saat ini. Terbatasnya data tentang volume pendaratan menurut kelompok jenis setelah tahun 2016 merupakan salah satu faktor yang mempersulit proses evaluasi stok pada perikanan pukat cincin yang sedang berjalan saat ini. Keterbukaan akses terhadap sistem pencatatan hasil tangkapan berserta aspek teknisnya yang telah terkumpul akan mempercepat proses evaluasi perikanan yang sedang berjalan.

Berdasarkan hasil analisis, direkomendasikan bahwa untuk mengetahui apakah dalam kondisi pulih gerombolan ikan dibarengi dengan kepadatan biomassa yang besar dan lebih mudah ditemukan? Untuk menjawabnya, perlu dilakukan survei dan pengumpulan data perikanan independen. Data yang diperoleh kemudian dianalisis dapat mengetahui pemulihan biomassa melalui observasi besaran gelombolan ikan yang antara lain dapat dilakukan pada penggunaan perangkat pemerum gema ikan.

Rencana pembangunan kembali tidak hanya mengandalkan pengendalian mortalitas penangkapan ikan atau stok biomassa, tetapi didukung juga dengan menerapkan beragam perangkat pengelolaan lainnya, seperti halnya penutupan musim atau penutupan spasial terbatas untuk kapal pukat cincin >30GT. Perlindungan kawasan habitat sensitif melalui pengendalian penangkapan berbasis musim pemijahan atau daerah penangkapan di beberapa pulau yang berada di bagian timur Laut Jawa (P. Matasiri, sebagian Pulau di Kep. Masalemba) dan Selat Makassar (Pulau pulau Sumber gelap dan

Lumu-lumu). Pengendalian tersebut, jika diterapkan, akan berperan nyata bagi pemulihan stok ikan pelagis kecil di Laut Jawa dan sekitarnya sesuai dengan sebagian daur hidup ikan pelagis kecil berasosiasi dengan perairan karang.

PERSANTUNAN

Naskah ini merupakan kontribusi dari kegiatan hasil penelitian Dinamika Perikanan Pukat Cincin sebagai Indikator Perilaku antar Wilayah Pengelolaan Perikanan: Sejarah Pembelajaran dari Indonesia, Hibah Penelitian Kerjasama Diknas dan DKP T.A 2009 dan Kegiatan Penelitian Pelagis Kecil di Laut Jawa T.A 2016 & 2017 di Balai Penelitian Perikanan Laut. Muara Baru. Jakarta.

DAFTAR PUSTAKA

Atmaja, S.B. (2008). Sumberdaya ikan pelagis kecil: *dinamika perikanan pukat cincin di Laut Jawa dan Sekitarnya*. Balai Riset Perikanan Laut. 98 hal .

————— (2009). Dinamika perikanan pukat cincin sebagai indikator perilaku antar wilayah pengelolaan perikanan. *Seminar Hasil Pelaksanaan Penelitian bagi Peneliti dan Perekayasa Sesuai Prioritas Nasional Tahun 2009*. Jakarta. 15 – 16 Desember 2009.

Atmaja, S.B., & Nugroho, D. (2005). Geographical distribution and status of scads population in the waters of the southern part of the Sunda Shelf. *Ind. Fish. Res. J.* 11(1):1-8. <http://dx.doi.org/10.15578/ifrj.11.1.2005.1-8>

Atmaja, S.B., & Nugroho, D. (2011). Impact of the increasing catchability coefficient of the large purse seiner to the depletion of the small pelagic fish biomass in The Java Sea. *Ind. Fish. Res. J.* 17(1): 13-20. <http://dx.doi.org/10.15578/ifrj.17.1.2011.13-20>

Atmaja, S. B., Nugroho, D., & Natsir, M. (2011). Respons radikal kelebihan kapasitas penangkapan armada pukat cincin semi industri di Laut Jawa. *J. Lit. Perikan. Ind.* 17(2), 115-123. <http://dx.doi.org/10.15578/jppi.17.2.2011.115-123>

Atmaja S.B., Natsir, M. & Sadhotomo, B. (2012). Dinamika spasial perikanan pukat cincin di Laut Jawa dan Samudera Hindia. *J. Lit. Perikan. Ind.* 18 (2): 69-76. <http://dx.doi.org/10.15578/jppi.18.2.2012.69-76>

Atmaja S.B. Sadhotomo, B., & Nugroho., D. (2017). Aplikasi model surplus produksi non-ekuilibrium pada perikanan layang (*Decapterus macrosoma*) di Laut Jawa. *J. Lit. Perikan.Ind.* 23 (1): 57-66. <http://dx.doi.org/10.15578/jppi.23.1.2017.57-66>

Atmaja, S. B., Nugroho, D., & Suryanto. (2014). Adaptasi perikanan pukat cincin di Laut Jawa dan implikasinya terhadap pengelolaan. *J. Kebijak. Perikan. Ind.* 6(2), 105-111. <http://dx.doi.org/10.15578/jkpi.6.2.2014.105-111>

Benson, A.J., Cooper, A.B., & Carruthers, T.R.. (2016). An evaluation of rebuilding policies for U.S. Fisheries. [journals.plos.org/plosone/ article? https://doi.org/10.1371/journal.pone.0146278](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0146278)

Costello, C., Ovando, D. Clavellea, T. Strauss, C. K. Hilborn, R. Melnychuk, M. C. Branch, T. A. Gainesa, S. D. Szuwalskia, C.S. Cabral, R. B. Raderb, D. N., & Leland, A. (2016). Global fishery prospects under contrasting management regimes. *PNAS.* 113(18), 5125-5129. www.pnas.org/cgi/doi/10.1073/pnas.1520420113.

Direktorat Jenderal Perikanan (1976-2000). Statistik Perikanan Indonesia menurut Propinsi Departemen Pertanian, Direktorat Jenderal Perikanan, Jakarta.

Direktorat Jenderal Perikanan Tangkap (2001-2015). Statistik Perikanan Tangkap Indonesia menurut propinsi. Kementerian KeLautan dan Perikanan.

Enberg, K., Jørgensen, C. Dunlop, E.S. Heino, M., & Dieckmann, U. (2009). Implications of fisheries-induced evolution for stock rebuilding and recovery. *Evolutionary Applications* ISSN 1752-4571 <https://dx.doi.org/10.1111%2Fj.1752-4571.2009.00077.x>

Freitas, B., Delagran, L. Griffin, E. Miller, K.L., & Hirshfield, M. (2008). Too few fish: a regional assessment of the world's fisheries. *Oceana.* 30 p. <https://oceana.org/sites/default/files/reports/toofewfish41.pdf>

Froese, R., & Pauly, D. (2019). FishBase. World Wide Web electronic publication. www.fishbase.org, (08/2019)

Hilborn, R., Hively, D.J. Jensen O P., & Branch, T.A. (2014). The dynamics of fish populations at low abundance and prospects for rebuilding and recovery. *ICES Journal of Marine Science*, 71: 2141–2151. <https://doi.org/10.1093/icesjms/fsu035>

- Hilborn, R. (2002). The dark side of reference points. *Bull. of Mar. Sci.-Miami*, 70(2):403-408. <https://www.ingentaconnect.com/contentone/umrsmas/bullmar/2002/00000070/00000002/art00004>
- Hutchings, J.A., & Reynolds, J.D. (2004). Marine fish population collapses consequences for recovery and extinction risk. *Bioscience*, 54: 297–309. [https://doi.org/10.1641/0006-3568\(2004\)054\[0297:MFPCCF\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1641/0006-3568(2004)054[0297:MFPCCF]2.0.CO;2)
- Hutchinson, W. F. (2008). The dangers of ignoring stock complexity in fishery management: the case of the North Sea Cod. *Biol Lett.* 4(6): 693–695. <https://dx.doi.org/10.1098%2Frsbl.2008.0443>
- Krebs, C.J. (1985). *Ecology, the experimental analysis of distribution and abundance* (p. 800). Harper & Row, Publishers, New York.
- Myers, R. A., Rosenberg, A. A., Mace, P. M., Barrowman, N., & Restrepo, V. R. (1994). In search of thresholds for recruitment overfishing. *ICES Journal of Marine Science*, 51: 191–205. <https://doi.org/10.1006/jmsc.1994.1020>
- Murawski, S. A. (2010). Rebuilding depleted fish stocks: The Good, The Bad, and, Mostly, The Ugly. – *ICES Journal of Marine Science*, 67: 1830–1840. <https://doi.org/10.1093/icesjms/fsq125>
- Neubauer, P., Jensen, O. P., Hutchings, J. A., & Baum, J. K.. (2013). Resilience and recovery of overexploited marine populations. *Science*, 340: 347–349. DOI: 10.1126/science.1230441
- Pauly, D., Alder, J., Bennett, E., Christensen, V., Tyedmers P., Watson, R. (2003). The future for fisheries. *Science*. 302 (5649):1359-61.
- Patrick, W. S., & Cope, J. (2014). Examining the 10-Year Rebuilding Dilemma for U.S. Fish Stocks. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0112232>
- Patterson, H., Larcombe, J., Nicol, S., & Curtotti, R. (2018). *Fishery status reports 2018, Australian Bureau of Agricultural and Resource Economics and Sciences, Canberra*. CC BY 4.0. 549p.
- Prager, M.H. (1994). A suite of extension to a non-equilibrium surplus-production model. *Fishery Bulletin US*; 92, 374-389.
- Restrepo, V. (2011). Stock assessment 101: Current Practice for Tuna Stocks. <http://www.trimarinegroup.com/resources/papers/Stock20Assessments2010.pdf> diunduh 05 Februari 2019.
- Safina, C., Rosenberg, A. A. Myers, R. A. Quinn, T. J. II., & Collie, J. S. (2005). U.S. Ocean 531 fish recovery: staying the course. *Science*, 309: 707-708. <https://doi.org/10.1126/science.1113725>
- Syed, S., Borit, M. Spruit, M. (2018). Narrow lenses for capturing the complexity of fisheries: A topic analysis of fisheries science from 1990 to 2016. *Fish and Fisheries* 19(4): 643-661. <https://doi.org/10.1111/faf.12280>
- Thorson, J.T., Cope, J.M., Branch, T.A., & Jensen, O.P. (2012). Spawning biomass reference points for exploited marine fishes, incorporating taxonomic and body size information. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 69: 1556–1568. <https://doi.org/10.1139/f2012-077>
- Vert-pre, K. A., Amoroso, R. O., Jensen, O. P., & Hilborn, R. (2013). Frequency and intensity of productivity regime shift in marine fish stocks. *PNAS*. 110 (5): 1779-1784. <https://doi.org/10.1073/pnas.1214879110>
- Worm, B., Hilborn, R., Baum, J.K., Branch, T.A., Collie, J.S., Costello, C., & Fogarty, M.J. (2009). Rebuilding global fisheries. *Science*, 325: 578–585. DOI: 10.1126/science.1173146
- Zhou, S., Smith, A. D. M., & Knudsen, E. E. (2015). Ending overfishing while catching more fish. *Fish and Fisheries*. 16, 716-722. <https://doi.org/10.1111/faf.12077>