

## **SINTESA KAJIAN STOK IKAN PELAGIS KECIL DI LAUT JAWA A SYNTHESIS ON SMALL PELAGIC FISHERIES ASSESSMENT IN THE JAVA SEA**

**Bambang Sadhotomo dan Suherman Banon Atmaja**

Balai Penelitian Perikanan Laut, Muara Baru-Jakarta

Teregistrasi I tanggal: 5 Juni 2012; Diterima setelah perbaikan tanggal: 4 Desember 2012;

Disetujui terbit tanggal: 5 Desember 2012

*E-mail: b.sadhotomo@gmail.com*

### **ABSTRAK:**

Sintesa status dan tren perikanan pukat cincin pelagis kecil di perairan Jawa Laut dan sekitarnya yang dilakukan berdasarkan kumpulan sejumlah hasil penelitian yang tersedia. Beberapa kajian dinamika populasi pada ikan pelagis kecil menunjukkan bahwa spesies ikan mempunyai laju pertumbuhan cepat dan mortalitas alami tinggi. Dari analisis kohor diperoleh estimasi total biomassa yang cenderung lebih rendah dari hasil tangkapan yang dihasilkan oleh aktivitas perikanan pukat cincin, dan memberikan indikasi tidak adanya hubungan langsung antara struktur biomassa dan kelimpahan hasil tangkapan pada perikanan pelagis kecil. Perkiraan besarnya biomassa yang lebih rendah dari hasil tangkapan menunjukkan hasil yang tidak realistis, terutama pada kelompok ukuran ikan yang telah memasuki perikanan (recruitment). Sementara, perhitungan surplus produksi dapat dilakukan setelah produksi mencapai kestabilan jangka panjang, dimana tren penurunan CPUE dibarengi oleh penurunan produksi secara bertahap dan terjadinya lebih tangkap atau telah melebihi tingkat MSY serta telah berlangsung selama beberapa tahun. Pendekatan interaksi upaya penangkapan dengan biomassa menunjukkan selama periode pemulihan stok ikan, banyak nelayan telah keluar dari perikanan tersebut.

**KATA KUNCI: Evaluasi, kajian, stok ikan, pelagis kecil, Laut Jawa**

### **ABSTRACT:**

*A synthesis on small pelagic purse seine fisheries in the Java Sea and its adjacent waters based on several previous research results has been conducted. Study on population dynamics of small pelagic fish species indicated that the small pelagic species has a rapid growth and high natural mortality rates. Cohort analysis indicated that estimation on total biomass tend to indicate a lower value than the landing data of small pelagic fishery, with no indication on clear relationship between the structure of biomass and abundance in catches. The abundance estimation based on surplus production applied when production has reached a long-term stability, and downward trend in CPUE followed by a gradual decline in production and MSY level have taken place since years. The interaction of fishing effort and fish biomass approach showed that during periods of fish biomass recovery, numbers of fishers have left out from the fisheries.*

**KEYWORDS: Evaluation, assessment, fish stock, small pelagic, Java Sea**

### **PENDAHULUAN**

Pembangunan ekonomi yang pesat selama tahun 80-an hingga awal tahun 90-an, memberikan kesempatan pengembangan jumlah armada pukat cincin yang cenderung tidak terkendali dan berdampak pada status pemanfaatan yang berada pada tekanan penangkapan yang luar biasa sebagai akibat dari beberapa faktor yang berkontribusi terhadap ketidak-berlanjutan pemanfaatan sumber daya ikan pelagis kecil. Perkembangan eksploitasi sumber daya ikan pelagis kecil di Laut Jawa sangat erat kaitannya dengan perkembangan alat tangkap pukat cincin, terutama setelah pasca pelarangan pukat harimau tahun 1980, dimana berdasarkan kriteria teknologi dan sistem penangkapannya dapat

dikategorikan dalam kelompok semi industri. Perkembangan teknologi armada pukat cincin digambarkan oleh peningkatan ukuran kapal, perluasan daerah penangkapan dan modernisasi teknologi peralatan bantu penangkapan seperti radio komunikasi, lampu sorot sebagai alat bantu pengumpul ikan menggantikan peranan rumpon, sistem penentu posisi (GPS) dan pelacak ikan (*fish finder*). Sejak tahun 1997, sebagian besar pukat cincin mini di Rembang telah mengubah taktik penangkapan dari penggunaan lampu tekan ke lampu sorot, dengan jumlah 7-22 buah. Upaya peningkatan efisiensi penangkapan cenderung mengikuti investasi dan berlangsung hingga pada situasi tanpa kendali atau tidak efektifnya/tidak dilaksanakannya kebijakan pengelolaan perikanan pelagis kecil. Hal ini sejalan

*Korespondensi penulis:*

*Balai Penelitian Perikanan Laut Jakarta*

*Jl. Muara Baru Ujung, Komplek Pelabuhan Perikanan Samudera Nizam Zachman, Jakarta Utara*

dengan perkembangan perikanan dunia pada dekade terakhir, yang memberikan indikasi peningkatan baik jumlah maupun ukuran kapal, serta alat bantu penangkapan menjadi lebih canggih dan efisien. Sebaliknya sistem pengelolaan perikanan tidak setara dengan perubahan tersebut, sehingga terjadi pembiaran aktivitas penangkapan yang melebihi kemampuan pulih sumberdaya ikan tersebut.

Sejauh ini, kajian stok ikan pelagis kecil di Indonesia, khususnya di Laut Jawa menggunakan tiga pendekatan, yakni: (1) Model produksi surplus, model ini sangat dikenal karena hanya membutuhkan "catch-effort" dan dengan asumsi kondisi keseimbangan (*steady-state equilibrium assumption*). (2) Model Analitik, *Yield per recruit* atau Y/R (Beverton and Holt, 1957) memodelkan perubahan populasi dengan waktu dalam deterministik atau persamaan matematik. Analisis kohor berdasarkan "catch at length data" untuk menentukan jumlah individu di laut dan menggambarkan struktur biomassa. (3) Model simulasi menggunakan variasi dari model surplus produksi, yakni: dinamika biomassa. Model simulasi digunakan untuk prediksi perikanan dengan menggabungkan aspek biologi dan ekonomi (biaya dan tingkat keuntungan bagi kebijakan pengelolaan perikanan). Dinamika biomassa adalah variasi dari model surplus produksi untuk menggambarkan interaksi biomassa dengan upaya penangkapan.

Makalah ini merupakan sintesa dari kegiatan penelitian yang telah dilakukan di Laut Jawa dan sekitarnya, yang ditujukan untuk memetakan proses dan hasil analisis kuantitatif untuk menggambarkan kompleksitas pendekatan yang telah dilakukan selama ini. Temuan yang dihasilkan diharapkan dapat dijadikan salah satu upaya kajian stok ikan untuk menggambarkan status dan tren pemanfaatan sumberdaya ikan pelagis kecil yang sedang berjalan di perairan laut Jawa dan sekitarnya.

## BAHAN DAN METODE

Data dasar yang digunakan dalam tulisan ini diperoleh dari hasil tangkapan perikanan pukat cincin komersial yang berpangkalan di Pekalongan dan Juwana sebagai sentra produksi ikan di Jawa Tengah. Sumber data yang dihimpun secara runtun waktu, terdiri dari :

1. Data hasil tangkapan dan upaya penangkapan dari TPI Pekalongan dan Juwana selama periode 1976-2004. Data selanjutnya diolah dengan menggunakan model produksi surplus dan model

simulasi menggunakan variasi dari model surplus produksi, yakni: dinamika biomassa.

2. Telaah terhadap hasil dan temuan penelitian (Potier, 1998 & Sadhotomo, 1998) dari hasil model analitik, *Yield per recruit* atau Y/R (Beverton and Holt, 1957) dan *cohort analysis* berdasarkan "catch at length data".
3. Data produksi ikan layang dikumpulkan dari hasil tangkapan pukat cincin komersial yang berpangkalan di Pekalongan dan Juwana, dan total produksi ikan layang seluruh Laut Jawa berdasarkan data statistik perikanan tangkap kurun waktu tahun 1996-2009.
4. Data aktivitas kapal (jumlah trip/kapal) selama kurun waktu 1986-2010 dan jumlah kapal aktif di Pekalongan pada tahun 2009.

## HASIL DAN BAHASAN

### HASIL

#### Model Produksi Surplus

Konsep surplus produksi didasarkan pada anggapan bahwa stok sebagai sistem unit tunggal tanpa memperhatikan struktur populasi, tanpa mempertimbangkan terjadinya interaksi dan proses biologi pada perikanan tersebut, seperti halnya karakteristik biologi dari spesies ikan diasumsikan tidak berbedanya dan tidak ada hubungan pemangsa-mangsa. Karakteristik biologi dari enam spesies hasil tangkapan utama pukat cincin, terutama nilai koefisien laju pertumbuhan berdasarkan persamaan von Bertalanffy ( $r$ ) relatif sama dan ditentukan berdasarkan indeks empiris ' $\Phi$ ' (Pauly & Munro, 1984) memberikan hasil seperti diperlihatkan pada Tabel 1.

Model dasar produksi surplus adalah persamaan logistik dari dinamika populasi, dengan asumsi suatu pertumbuhan alami populasi ikan mengikuti fungsi pertumbuhan logistik:  $F(B) = \alpha B/t = r*B(1-B/B_{\infty})$ . Persamaan tersebut menggambarkan pertumbuhan biomassa ikan sebelum adanya penangkapan.

Apabila penangkapan dilakukan, maka perubahan stok ikan menurut waktu adalah selisih antara pertumbuhan biomassa ikan dikurangi dengan hasil tangkapan, dimana hasil tangkapan diasumsikan berbanding lurus dengan biomassa dan upaya penangkapan ( $C = q*B*E$ ), yakni  $\alpha B/t = r*B(1-B/B_{\infty}) - q*B*E$ .

Tabel 1. Parameter populasi dari lima spesies ikan pelagis kecil  
 Table 1. Population parameters of the five species of small pelagic fish

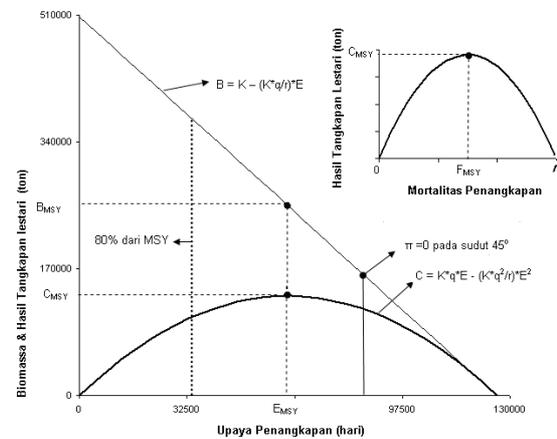
Spesies	$\Phi'$	$r$ (tahun <sup>-1</sup> )	$L_{\infty}$ (cm)
<i>D. russellii</i>	2,8037	0,96	26,67
<i>D. macrosoma</i>	2,7775	0,92	26,24
<i>R. kanagurta</i>	2,8899	1,18	28,67
<i>A. sirm</i>	2,8075	0,94	23,90
<i>S. crumenophthalmus</i>	2,9119	1,20	26.15

Sumber: Atmaja (2002)

Pada kondisi pertumbuhan biomassa ikan sama dengan hasil tangkapan, persamaan tersebut mengekspresikan hubungan linier antara upaya penangkapan dengan biomassa ( $B=B_{\infty}-(B_{\infty} \cdot q/r) \cdot E$ ), pada  $B=0$  maka nilai upaya penangkapan ( $E$ ) sebesar  $r/q$ , sedangkan pada  $E=0$  maka nilai biomassa sebesar  $B_{\infty}$ . Dimana  $B_{\infty}$  = *enviromental carrying capacity*,  $q$ =koefisien kemampuan tangkap,  $r$ =laju pertumbuhan intrinsik,  $B$ =biomassa,  $E$ =upaya penangkapan, dan  $Y$ =yield). Nilai upaya penangkapan (*effort*) yang menghasilkan tangkapan MSY dan dampaknya terhadap biomassa seperti ilustrasi pada Gambar 1. Kaitannya dengan model yang dikembangkan oleh Schaefer, yakni meregresikan secara linier CPUE dengan upaya penangkapan ( $C/E = a - b \cdot E$ ), substitusi persamaan  $B = B_{\infty} - (B_{\infty} \cdot q/r) \cdot E$  ke persamaan  $C = q \cdot B \cdot E$ , diperoleh persamaan  $C = q \cdot B_{\infty} \cdot E - (B_{\infty} \cdot q^2/r) \cdot E^2$  atau  $CPUE = q \cdot B_{\infty} - (B_{\infty} \cdot q^2/r) \cdot E$ . Secara teoritis menerangkan kenaikan upaya penangkapan akan menyebabkan penurunan kelimpahan stok ikan (biomassa) yang ditunjukkan oleh penurunan CPUE. Kaitannya dengan persamaan empiris dari Gulland ( $P_y = 0,5 \cdot M \cdot B_0$ ), yaitu mortalitas penangkapan adalah sebanding dengan upaya penangkapan ( $F = qE$ ), substitusikan ke  $E = r/q$  maka diperoleh  $F = r$  dan  $F_{MSY} = 0,5r$ ; pada tingkat MSY menunjukkan jumlah ikan mati secara alami sama dengan jumlah ikan yang tertangkap atau  $M = F_{MSY}$ , ini mengandung arti bahwa mortalitas alami adalah setengah dari laju pertumbuhan intrinsik.

Dari data hasil tangkapan dan upaya penangkapan runtun waktu 1975-1979, yang dihitung dengan model Schaefer dan Gulland-Fox diperoleh nilai potensi ikan pelagis sebesar 290-391 ribu ton per tahun (Bailey, et al., 1987). Dari sumber data hasil tangkapan dan upaya penangkapan runtun waktu 1975-1981, dengan produksi tertinggi terjadi pada tahun 1981, yaitu sebesar 227,7 ribu ton. Hasil perhitungan dengan model yang sama diperoleh kisaran nilai MSY sebesar 261-312 ribu ton (Dwiponggo, 1983). Kemudian hasil kajian stok tahun 2000, diperoleh nilai dugaan potensi pelagis di Laut Jawa dan Selat Sunda, yaitu sebesar 340 ribu ton (Sumadiharga, 2000). Dari kajian tersebut tercermin bahwa stok ikan bersifat konstan dan tidak

terlihat nyata dampak dinamika perikanan, seperti perubahan kapasitas penangkapan (ukuran kapal dan termasuk kekuatan mesinnya), maupun ekspansi daerah penangkapan dan peningkatan efisiensi penangkapan melalui penggunaan cahaya.



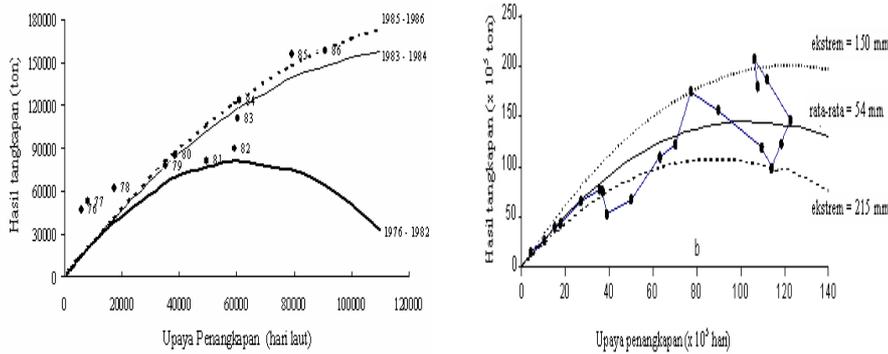
Gambar 1. Model hipotetik surplus produksi sebuah perikanan tangkap, bersama dengan kurva hasil tangkapan lestari dan trend biomassa dari upaya penangkapan yang berbeda (kiri bawah). Hubungan dengan rumus empiris Gulland (kanan atas)

Figure 1. Hypothetical model of a production surplus of fishing, along with sustainable yield curve and trend of biomass from a different fishing effort (lower left). Relations with the empirical formula Gulland (top right).

Sumber daya perikanan adalah sumber daya bersifat dinamis, berdasarkan statistik data tahun 1969-1976, hasil tangkapan lestari (MSY, *maximum sustainable yield*) sebesar 76.000 ton (Sudjastani, 1978). Perhitungan melalui model komposit pada daerah penangkapan tradisional Laut Jawa (luas area 91.000 km<sup>2</sup> pada tahun 1976-1982) memberikan besarnya nilai hasil tangkapan optimum sebesar 79.000–81.000 ton tahun<sup>-1</sup> dengan upaya hari laut pada nilai 62.000-84.000 tahun<sup>-1</sup>, pada tahun 1983-1984 (luas area 179.000 km<sup>2</sup>) nilai hasil tangkapan optimum sebesar 155.000–159.000 ton tahun<sup>-1</sup> dengan upaya

hari laut pada nilai 123.000–165.000 tahun<sup>-1</sup>, dan pada tahun 1985 – 1986 (luas 202.000 km<sup>2</sup>) nilai hasil tangkapan optimum sebesar 175.000–180.000 ton tahun<sup>-1</sup> dengan upaya hari laut pada nilai 138.000–187.000 hari tahun<sup>-1</sup> (Gambar 2) (Nurhakim *et al.*, 1995). Peningkatan luas daerah penangkapan sekitar 2 kali lipat diimbangi dengan peningkatan hasil tangkapan optimum yang relatif sama. Sementara

tingkat MSY menggunakan metode “CLIMPROD” diperoleh kisaran sebesar 108.000-200.000 ton dengan tingkat upaya penangkapan berkisar antara 95.000-120.000 hari (Gambar 2) (Potier, 1998). Dari kajian stok ikan di atas terlihat besaran stok ikan bersifat dinamis yang ditunjukkan oleh tingkat MSY yang meningkat berkisar 2,3–2,8 kali lipat.



Gambar 2. Model produksi dari sumber daya ikan pelagis kecil di Laut Jawa dari beberapa penangkapan di Laut Jawa (Nurhakim *et al.* 1995) (kiri) dan hasil dari model aditif linier produksi di mana perbedaan curah hujan mempengaruhi kelimpahan stok ikan pelagis kecil di Laut Jawa (kanan).

Figure 2. Production model of small pelagic resources for various fishing area in the Java Sea (Nurhakim *et al.* 1995) (left); Results of the linear additive model of production where the difference of rainfall affects the abundance of small pelagic stocks in the Java Sea. (right)

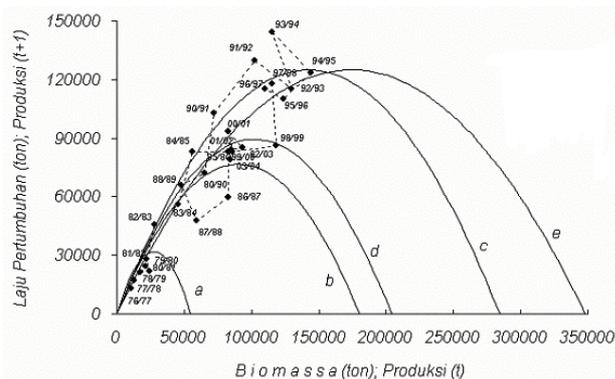
Berdasarkan analisis produksi surplus terhadap data perikanan pukat cincin semi industri dari Pekalongan dan Juwana memperjelas perubahan nilai MSY (*maximum sustainable yield*), diperoleh nilai K (*carrying capacity*) meningkat dari 55.000 ton (1976-1981) menjadi 180.000 ton (1984-1990) dan pada runtun waktu 1991-1998 menjadi 284.000 ton. Tingkat MSY periode 1991-1998 meningkat hampir 4 kali lipat dibandingkan pada runtun waktu 1976-1981, kemudian pada runtun waktu 1999-2004 menurun sebesar 30% (Tabel 2 dan Gambar 3). Kenaikan biomassa mencapai hampir 300% pada runtun waktu 1976-1981 dibandingkan dengan pada runtun waktu 1984-1990, terutama pada runtun waktu 1976-1981,

data yang digunakan hanya data dari Pekalongan, karena pada kurun waktu tersebut alat tangkap pukat cincin di Juwana belum berkembang. Sementara pada runtun waktu 1984-1990, data yang digunakan berasal dari Pekalongan dan Juwana. Selain itu ukuran kapal pukat cincin yang digunakan semakin besar. Peningkatan “*fishing capacity*” dan modernisasi teknologi alat bantu penangkapan telah menyebabkan semakin banyak ikan yang tertangkap dan berdampak pada semakin sedikitnya stok dasar yang tersisa, sehingga komunitas ikan pelagis mencapai keseimbangan pada tingkat kepadatan yang lebih rendah.

Tabel 2. Parameter fungsi produksi surplus model logistik  
Table 2. Surplus production function parameter logistic model

Runtun waktu	r	q (10 <sup>-5</sup> )	B <sub>∞</sub> (Ton)	C <sub>MSY</sub> (Ton)	Koefisien determinasi (R <sup>2</sup> )
1976 – 1981	2,344	1,41	55 000	32 000	0,79
1982 – 1990	1,703	1,09	180 000	77 000	0,49
1991 – 1998	1,760	1,10	284 000	125 000	0,65
1999 – 2004	1,756	0,90	204 000	89 500	0,84
1991 – 2004	1,438	1,08	348 000	125 000	0,90

Sumber: Atmaja (2008)



Gambar 3. Kurva pertumbuhan logistik ikan pelagis kecil berdasarkan perkembangan armada pukat cincin dan hasil tangkapan di Laut Jawa. (Keterangan: a = 1976-1981; b = 1984-1990; c = 1991-1998; d = 1999-2004 dan e = 1991-2004).

Figure 3. Logistic growth of small pelagic fish curve based on the development purse seiners fleet and the catch in the Java Sea. (Note: a = 1976 to 1981; b = 1984 to 1990; c = 1991 to 1998; d = - from 1999 to 2004 and e = - 1991 to 2004)

Pergeseran estimasi biomassa berdasarkan runtun waktu memperlihatkan bahwa pada runtun waktu 1976-1981, sebagian besar nelayan pukat cincin masih terkonsentrasi di daerah penangkapan tradisional. Beberapa peneliti telah menyimpulkan bahwa perikanan pelagis di daerah penangkapan tradisional telah mencapai tingkat eksploitasi yang mengarah lebih tangkap, untuk pengembangan selanjutnya dengan mengeksploitasi sumber daya ikan pelagis di lepas pantai (Sujastani, 1978; Dwiponggo, 1983 dan Nurhakim *et al.*, 1995).

Pada runtun waktu 1982-1990, merupakan periode nelayan pukat cincin memperluas daerah operasi ke bagian timur Laut Jawa dan Selat Makassar dengan taktik penangkapannya masih menggunakan rumpon yang ditanam di laut, sebagian kapal mulai menggunakan lampu sorot halogen dan mercuri sebagai alat bantu utama menggantikan rumpon. Kenaikan hasil tangkapan pukat cincin setelah perluasan daerah penangkapan di bagian timur Laut Jawa dan Selat Makassar, karena tertangkapnya ikan layang jenis *D. macrosoma* (Atmaja, 1999). Runtun waktu 1991-2004 adalah periode dimana sebagian besar taktik penangkapan telah menggunakan lampu sorot. Pada runtun waktu ini dikelompokkan menjadi 2 runtun waktu, yaitu runtun waktu 1991-1998 dan runtun waktu 1999-2004.

Runtun waktu 1991-1998, Durand & Widodo, (1997) menyatakan bahwa stagnasi hasil tangkapan pada periode 1992-1995 mempunyai dua arti, yaitu: (1) menegaskan bahwa seluruh daerah penangkapan telah dieksploitasi dan hasil tangkapan telah mencapai keseimbangan (MSY), (2) usaha perlindungan, dimana tingkat kejenuhan eksploitasi tidak dapat menangkap pada semua spesies.

Runtun waktu 1999-2004, kondisi stok ikan akibat terlalu intensifnya pemanfaatan periode sebelumnya dan penangkapan yang sangat tidak seimbang dari beberapa stok ikan di dalam populasi keseluruhan, sehingga komunitas ikan pelagis mencapai keseimbangan pada tingkat kepadatan yang lebih rendah. Situasi periode ini merupakan fase masa-masa sulit bagi perikanan pukat cincin yang dirasakan oleh nelayan dengan semakin sulitnya menemukan gerombolan ikan. Gerombolan ikan tersebut berada di suatu daerah penangkapan hanya dalam waktu singkat, untuk memperoleh hasil yang memadai, mereka harus tinggal lebih lama, berkisar 50–80 hari.

#### Model Analitik dan Analisis Kohort Yield Per Recruit

Kajian perubahan populasi ikan pelagis kecil menggunakan model "dynamic pool" dan *Jone's length cohort analysis* telah dibahas oleh beberapa peneliti terdahulu, seperti halnya pada jenis ikan layang (*Decapterus spp.*) di Laut Jawa (Sadhotomo, *et al.*, 1983; Atmaja, 1988; Widodo, 1988; Potier, 1998 & Sadhotomo, 1998). Indeks laju eksploitasi untuk *D. macrosoma* dan *D. russellii* telah mengalami penangkapan yang berlebihan ( $E > 0,5$ ) (Sadhotomo, *et al.*, 1983; Atmaja, 1988). Widodo, (1988) menyimpulkan bahwa tingkat pengusahaan stok *D. russellii* masih di bawah tingkat optimal, sedangkan status eksploitasi untuk *D. macrosoma* telah melebihi tingkat  $E_{0,1}$  dan panjang ikan pertama kali tertangkap ( $L_c = 16,25$  cm) lebih besar dari panjang ikan pertama kali matang gonada ( $L_m = 15,5$  cm) (Widodo, 1991a; 1991b). Potier (1998) menyatakan bahwa nilai indeks laju eksploitasi untuk *D. macrosoma* dan *D. russellii* ( $E < 0,5$ ) dan  $E_{0,1}$  berkisar antara 0,41-0,42. Sadhotomo (1998) mengajukan pertanyaan tentang hasil yang berbeda tersebut "apakah kondisi tingkat eksploitasi kurun waktu 1993–1995 lebih rendah dari pada tahun-tahun sebelumnya (1981-1982 dan 1986-1987)", sedangkan perkembangan kapasitas kapal dan taktik penangkapan dimulai pada tahun 1986-1987. Pada tahun 1986, anomali curah hujan sangat positif, dimana terjadi penetrasi populasi oseanik (*D. macrosoma*) dari Timur ke Laut Jawa, penurunan biomassa telah menyebabkan tingkat eksploitasi yang tinggi. Ia menduga kondisi lingkungan yang

menguntungkan pada kurun waktu tahun 1991-1994, sehingga terjadi peningkatan biomassa yang signifikan dan mengurangi dampak eksploitasi.

Secara umum sebagian besar sumber daya ikan pelagis kecil yang termasuk kategori spesies berumur pendek (*D. russellii*, *D. macrosoma*, *R. kanagurta*, *A.sirm* dan *S. crumenophthalmus*) memberikan indikasi tidak rentan terhadap tekanan penangkapan. Sebagaimana diperlihatkan dari masukan nilai parameter populasi pada Tabel 1 dan kisaran nilai  $M = 0,6-1,8$  diperoleh kurva Y/R dan  $L_c$  berbeda

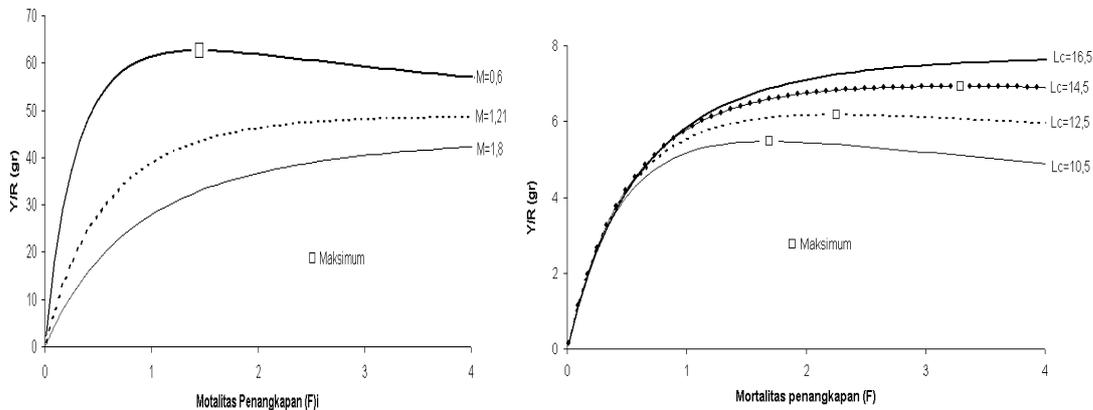
memperlihatkan kurva hubungan antara Y/R dengan kematian penangkapan (F). Pada nilai  $M=1,21$  dan  $M=1,8$  maksimum Y/R mendekati tak terhingga (asimptotik) dan  $F_{max}$  tidak dapat ditentukan (Gambar 5). Dengan nilai  $M=1,21$  dan nilai  $L_c$  berbeda diperoleh Y/R pada  $L_c$  semakin besar, sebaliknya pada  $L_c$  semakin kecil diperoleh nilai maksimum pada mortalitas penangkapan dan nilai Y/R lebih rendah atau apabila ukuran ikan  $L_c$  diturunkan dari 14,5 cm menjadi 12,5 cm akan menurunkan Y/R sekitar 24% (Gambar 4).

Tabel 3. Nilai tingkat eksploitasi dari tiga spesies yang diteliti dan dibandingkan dengan hasil yang diperoleh oleh Widodo (1988).

Table 3. The value of exploitation rate of the three species studied and compared with results obtained by Widodo (1988).

	<i>Decapterus macrosoma</i>	<i>Decapterus russellii</i>	<i>Amblygaster sirm</i>
$E_{0.1}$	0,41	0,42	0,47
E	0,32	0,34	0,23
Widodo 1988			
$E_{0.1}$	0,55	0,57	
E	0,70	0,41	

Keterangan:  $E_{0.1}$  = tingkat laju kematian penangkapan pada kenaikan laju eksploitasi sebesar 10 % dari awal usaha penangkapan terhadap suatu stok ikan



Gambar 4. Y/R *D. Russellii* dengan berbagai nilai M dan  $L_c$  tetap =15.5 cm (kiri);  $M=1.21$  dan berbagai  $L_c$  (kanan)

Figure 4. Y/R of *D. russellii* at various values of M and fix  $L_c = 15.5$  cm (left)  $M=1.21$  and various values of  $L_c$  (right)

Hasil simulasi pengaruh ukuran mata jaring 10 mm, 15 mm dan 20 mm terhadap ikan layang disimpulkan bahwa peningkatan ukuran mata jaring dari 15 mm menjadi 20 mm akan menurunkan hasil tangkapan, penurunan ukuran mata jaring dari 15 mm menjadi 10 mm selain akan meningkatkan hasil tangkapan, juga akan banyak ikan-ikan berukuran kecil dan ikan-ikan muda tertangkap (Widodo, 1989). Potier (1998) menyatakan dengan ukuran mata jaring saat ini, untuk meningkatkan Y/R harus meningkatkan mortalitas

penangkapan sekitar 50%. Pada masa transisi dari mata jaring 19,05 mm sampai 25,4 mm, peningkatan Y/R melalui intensifikasi mortalitas penangkapan untuk *D. russellii* sekitar 125% dan untuk *D. macrosoma* sekitar 75%.

Suatu fenomena umum, nelayan mencari dan mengarahkan kapal ke daerah penangkapan dengan spesies dan ukuran ikan tertentu, serta memilih pada kisaran sempit dari spesies dan ukuran ikan.

Sadhotomo, (1998) melaporkan bahwa umumnya ikan besar cenderung berasosiasi dengan sub area Matasiri dan Selat Makassar (Lumu-lumu) pada periode akhir musim timur (November-Desember) dan awal musim barat (Januari-Maret). Sementara itu, ikan berukuran kecil cenderung berada di sub area pantai Utara Jawa Tengah, Kep. Karimunjawa dan P. Bawean selama puncak musim Timur (Mei-Agustus).

### Analisis Kohort

Hasil analisis menunjukkan bahwa biomassa lebih rendah dari hasil tangkapan terjadi pada kelompok ukuran ikan telah memasuki perikanan, seperti kelompok kelas panjang ikan layang (*D. russellii* dan *D. macrosoma*) berukuran  $e''$  14,5 cm, *A. sirm* berukuran  $e''$  15,5 cm, dan *S. gibbossa* berukuran  $e''$  9,5 cm (Sadhotomo, 1998). Sebaliknya biomassa lebih besar dari hasil tangkapan terjadi pada kelompok ukuran ikan belum sepenuhnya memasuki perikanan, kelompok kelas panjang ikan layang (*D. russellii* dan *D. macrosoma* berukuran  $d''$  13,5 cm, *A. sirm* berukuran  $e''$  14,5 cm, dan *S. gibbossa* berukuran  $e''$  8,5 cm (Gambar 5). Jelas bahwa struktur populasi tidak dapat diwakili oleh struktur hasil tangkapan dan tidak ada nilai rasio yang dapat menunjukkan representasi dari populasi ikan di laut dari data hasil tangkapan. Secara umum, total biomassa cenderung lebih rendah dari hasil perikanan yang ditunjukkan oleh rasio biomassa-hasil tangkapan kurang dari satu. Hal ini akan mempengaruhi akurasi terhadap pendugaan stok pemijah (*spawning stock*).

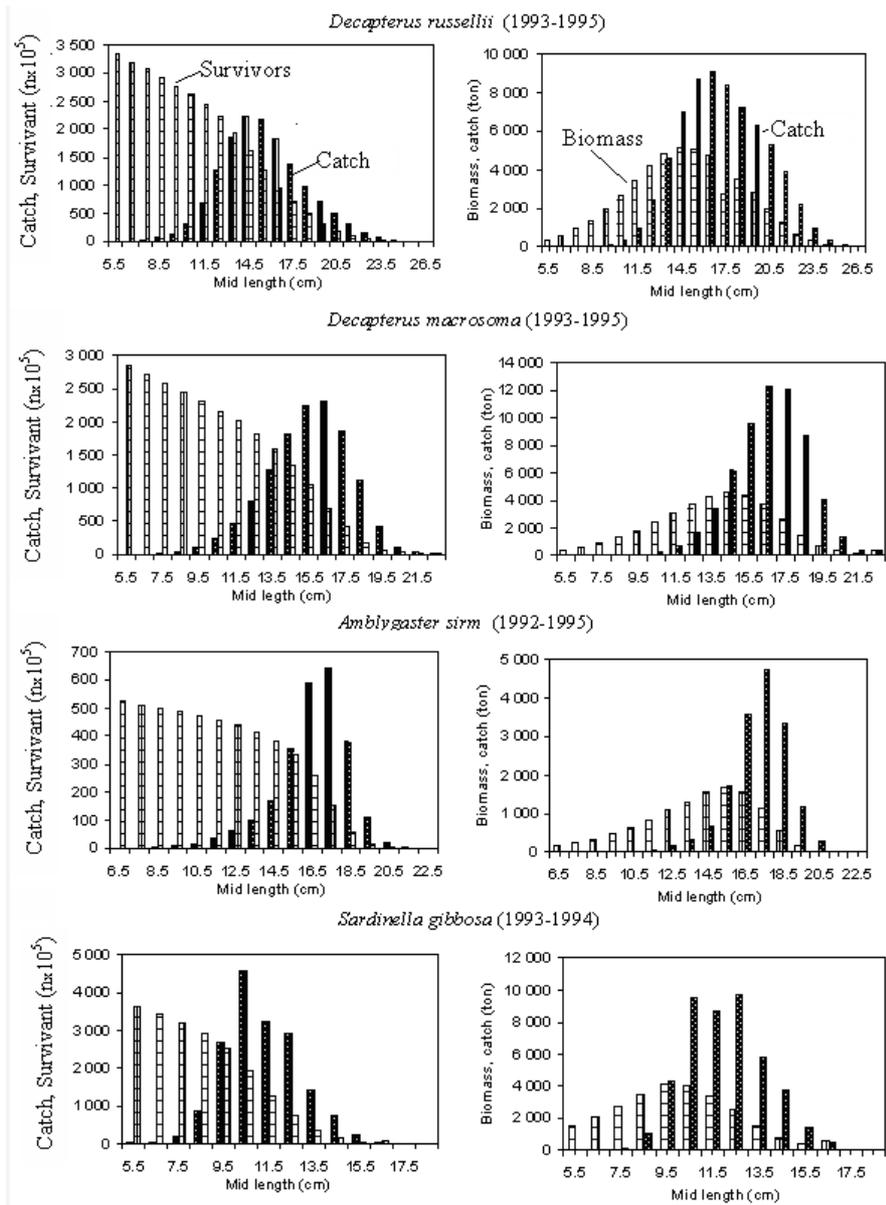
Biomassa lebih rendah dari hasil tangkapan menunjukkan tidak mengarah pada indikasi hubungan antara struktur biomassa dan kelimpahan hasil tangkapan pada perikanan. Notasi sederhana ( $Y=q \cdot B \cdot E$ ) secara eksplisit menerangkan bahwa mortalitas penangkapan berbanding lurus dengan upaya penangkapan ( $F=Y/B=q \cdot E$ ). Situasi ini diduga hanya mewakili konsentrasi ikan pada daerah penangkapan yang dieksploitasi. Selain itu analisis kohort berdasarkan pada sejumlah asumsi, seperti

halnya nilai mortalitas  $M$  dan perekrutan tetap dan mengabaikan imigrasi dan emigrasi. Dalam kajian stok ikan hanya dua sumber yang dapat mempengaruhi yakni, mortalitas alami dan penangkapan. Dalam perikanan yang diamati, fenomena migrasi tampaknya memainkan peranan penting setidaknya untuk beberapa spesies tertentu, terutama *D. macrosoma*.

### Model Simulasi: Dinamika Biomassa

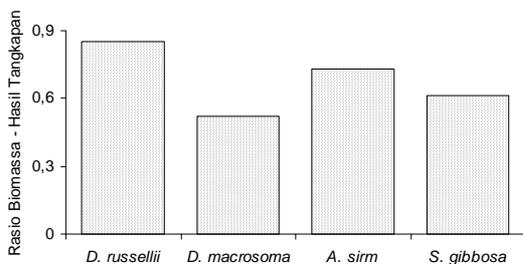
Pada dasarnya sumber daya perikanan adalah sumber daya yang dinamis, komunitas ikan mendiami suatu karakteristik ekosistem yang dikontrol oleh kaidah bio-fisik, dan berdampingan dengan pemangsa alami (*predator*) maupun mangsa (*prey*). Dalam perikanan "*multi-species*", nelayan sebetulnya adalah pemangsa jenis lain yang memasuki keseimbangan ekologis dari komunitas ikan. Hilborn & Walters (1992) menyatakan bahwa sesungguhnya nelayan dapat dianggap mirip sebagai predator alami, variasi model produksi surplus adalah dinamika biomassa untuk mengamati perilaku populasi terhadap eksploitasi.

Armada perikanan pukat cincin sebagai *mega predator* memasuki dan menempati ruang yang kompleks tersebut. Interaksi faktor ini kemudian memicu eksternalitas yang berakibat pada terjadi penangkapan ikan yang berlebihan yang kemudian menyebabkan menurunnya stok sumber daya. Dari interaksi upaya penangkapan dengan biomassa menjelaskan bahwa kondisi keseimbangan terjadi pada perpotongan dari hubungan biomassa dengan upaya penangkapan bersifat linear (" $B''t = 0$ ) dan garis " $E''t = 0$ ". Pada posisi tersebut tingkat keuntungan ( $\pi$ ) = 0 disebut sebagai *bioeconomic equilibrium of open access* dan tidak ada kapal masuk (*entry*) atau keluar (*exit*) dari usaha perikanan (Gordon dalam Fauzi, 2000). Lintasan dinamika bertemu pada titik ( $\pi = 0$ ) yang berbentuk spiral tertutup. Pergerakan dari variabel biomassa dan upaya penangkapan dibagi menjadi 4 kuadran (Gambar 6), yaitu:



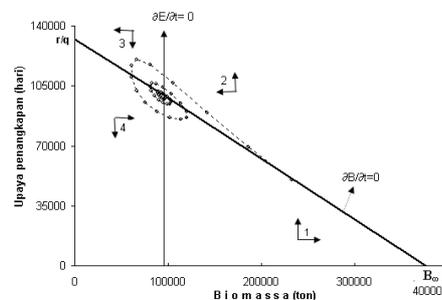
Gambar 5. Struktur populasi dan hasil tangkapan dari empat spesies pelagis berbagai periode sampling (Sadhotomo, 1998)

Figure 5. Structure of population and catch of four pelagic species at various periods of samplings (Sadhotomo, 1998)



Gambar 6. Rasio biomassa – hasil tangkapan (Sadhotomo, 1998)

Figure 6. The biomass–catch ratio (Sadhotomo, 1998)



Gambar 7. Linier dan non-linier chaotic dynamics biomassa vs upaya penangkapan

Figure 7. Linier dan non-linier chaotic dynamics of biomass vs effort

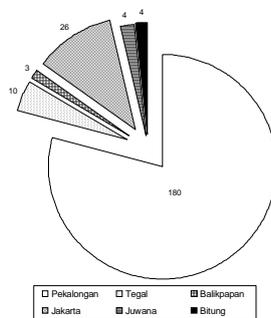
- a) Kuadran 1, kenaikan upaya penangkapan tidak akan menyebabkan menurunkan biomassa, karena pada kondisi hasil tangkapan di bawah laju pertumbuhan bersih (anak panah horizontal di bawah garis ( $B/t = 0$ ) bergerak ke sebelah kanan), atau tingkat produksi masih belum mencapai MEY (*Maximum economic yield*) karena jumlah kapal masih sedikit, sedangkan stok ikan masih sangat besar.
- b) Kuadran 2, perikanan telah dieksploitasi penuh, efisiensi penangkapan telah berkembang pesat dan apabila upaya penangkapan naik maka biomassa akan menurun (anak panah horizontal bergerak ke sebelah kiri). Pada situasi ini perikanan telah masuk tahapan kritis, dimana laju ekstraksi sumber daya ini telah melebihi kemampuan regenerasinya, hal ini akan terjadi perubahan ekosistem yang menyebabkan menurunnya kemampuan produksi di masa mendatang, jumlah upaya penangkapan telah mencapai atau melampaui angka optimal.
- c) Kuadran 3, masuk pada tahapan bangkrutnya industri perikanan. Apabila biomassa < biomasa pada titik potong ( $B/t=0$  dengan  $E/t=0$ ) dan upaya penangkapan > dari upaya penangkapan pada titik potong ( $B/t=0$  dengan  $E/t=0$ ) maka stok tidak menguntungkan untuk diusahakan. Penurunan upaya penangkapan (arah anak panah

vertikal turun dan anak panah horizontal masih bergerak ke sebelah kiri ( $E/t=0$ ). Pada kondisi stok ikan telah runtuh, eksploitasi penangkapan sudah tidak menguntungkan, penurunan upaya penangkapan tidak memulihkan stok. Selama 24 tahun aktivitas penangkapan cenderung memberikan fenomena yang menurun tajam dari rata-rata trip/kapal sekitar 9,1 trip ( $\pm 2,5$ ) pada tahun 1986 menjadi sekitar 2,3 trip ( $\pm 0,84$ ) pada tahun 2010 (Tabel 4). Pada tahun 2009, jumlah kapal aktif di Pekalongan hanya tersisa sekitar 30% dibandingkan pada tahun 2005, sedangkan bila dibandingkan jumlah tertinggi pada tahun 1995 berada pada kisaran 18-19%. Berdasarkan data kapal registrasi Pekalongan yang telah dipasang VMS menjelaskan adanya korelasi yang erat antara menurunnya jumlah armada kapal perikanan yang berpangkalan di PPN Pekalongan dan perpindahan daerah penangkapan di luar WPP 712 Laut Jawa, dimana pada umumnya mereka telah melakukan relokasi usaha penangkapan (Gambar 7). Situasi tersebut juga diperlihatkan oleh tren perkembangan produksi ikan layang yang menurun selama kurun waktu 1996–2009, terutama sejak tahun 2005 fluktuasi produksi ikan layang di laut Jawa dan produksi ikan layang di sentra pendaratan ikan Pekalongan dan Juwana (Gambar 8).

Tabel 4. Rata-rata trip per kapal  
 Table 4. The average trip per vessel

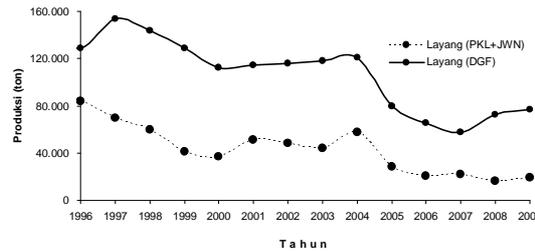
Tahun	Rata-rata trip/kapal	Simpangan baku	N (kapal)
1986	9,1	4,79	377
1991	8,7	6,14	369
1995	7,8	2,5	358
1998	8,7	4,46	434
2000	5,6	3,27	411
2002	5,2	5,21	401
2010	2,3	0,84	150

Sumber: PPN Pekalongan



Gambar 8. Jumlah kapal registrasi di Pekalongan yang telah dipasang VMS dan wilayah operasionalnya (sumber: Satuan Kerja Pengawasan SDKP Pekalongan, P2SDKP).

Figure 8. The number of ships registered in Pekalongan have VMS installed and operational areas (source: Surveillance Unit Pekalongan, P2SDKP)



Gambar 9. Tren perkembangan produksi ikan layang (*Decapterus spp*) di Laut Jawa dan sekitarnya, produksi ikan layang di tempat pendaratan Pekalongan & Juwana selama kurun waktu tahun 1996-2009  
 Figure 9. Trends in the development of scads production (*Decapterus spp*) in the Java Sea and surrounding areas, scads production in Pekalongan & Juwana landing sites during the period 1996 to 2009.

d) Kuadran 4 merupakan periode pemulihan stok ikan, banyak nelayan telah keluar dari perikanan, sehingga penurunan upaya penangkapan memungkinkan biomassa untuk meningkat kembali. Ekspansi upaya penangkapan setelah mencapai titik keseimbangan secara ekonomi akan terjadi kontraksi dari sumber daya ikan yang cenderung menurun. Selain itu, krisis perikanan akan terus berlanjut, karena ekosistem perairan telah banyak berubah oleh aktivitas manusia. Selain itu, rantai progresif pengelolaan perikanan dan akumulasi krisis habitat dalam waktu yang lama, diyakini menjadi penyebab runtuhnya kemampuan pulih sumber daya ikan. Perubahan iklim memperburuk situasi perikanan dengan meningkatkan kadar keasaman laut dan pemutihan terumbu karang, mengancam tempat ikan bertelur dan daerah asuhan (*nursery*), serta menggeser arus lautan berikut planktonnya dan ikan kecil dalam rantai makanan lautan (Jackson, *et al.*, 2001).

Dari kasus perikanan pukat cincin semi industri di Laut Jawa, respons pengusaha dan nelayan pada periode paska penurunan stok ikan pelagis kecil, dilakukan melalui diversifikasi usaha dengan mengalihkan sebagian kapal menjadi alat tangkap cumi-cumi dan jaring cantrang, juga merelokasi usahanya dan rumponisasi perikanan laut lepas di Samudera Hindia dan Pasifik. Akhir-akhir ini armada kapal tersebut meningkat kemampuan tangkap dengan investasi tambahan input melalui penerapan metode pembekuan cepat dan penambahan daya lampu. Pada tahun 2011, kapal jenis ini telah menggunakan paling sedikitnya 40000–70000 watt, dan dengan menambah jumlah lampu pijar dengan daya 2000 watt sebanyak 20 buah.

**BAHASAN**

Pada sumber daya ikan yang telah dieksploitasi, biomassa (CPUE) akan menurun secara bertahap. Pada posisi sebelum tingkat MSY tren penurunan

CPUE masih diikuti dengan produksi terus meningkat, sebaliknya setelah tingkat MSY tren penurunan CPUE dibarengi oleh penurunan produksi secara bertahap. Pada posisi 80% dari nilai MSY secara teoritis merupakan tingkat keuntungan ekonomi maksimum atau merupakan tingkat manfaat yang optimal dan berkelanjutan. Titik perpotongan titik keseimbangan antara kurva “sustainable revenue” (TR) dengan biaya total pada sudut 45° atau tingkat keuntungan ( $\pi$ ) = 0 pada sisa biomassa sebesar sepertiga dari biomassa awal. Pada posisi ini disebut sebagai *bioeconomic equilibrium of open access* dan tidak ada kapal masuk (*entry*) atau keluar dan (*exit*) dari usaha perikanan (Gordon dalam Fauzi, 2000). Ketika biomassa stok ikan sudah mencapai ukuran setengah dari kondisi alami ( $B_{MSY}$ ), jumlah total armada perikanan harus dipertahankan konstan dengan cara menutup izin usaha perikanan tangkap. Pada kondisi hasil tangkapan di bawah laju pertumbuhan bersih, apabila upaya penangkapan dipertahankan konstan, hasil tangkapan dan populasi spesies yang dieksploitasi juga akan tetap konstan.

Perhitungan surplus produksi pada situasi produksi masih terus meningkat merupakan “a false summit” dari dugaan besaran hasil tangkapan lestari. Interpretasi pemerintah terhadap situasi ini digunakan untuk menghasilkan rekomendasi pengelolaan perikanan tangkap, sebagai tanda adanya ruang bagi perluasan atau peningkatan armada penangkapan ikan. Sebaliknya, perhitungan surplus produksi setelah produksi telah mencapai kestabilan jangka panjang atau tren penurunan CPUE dibarengi oleh penurunan produksi secara bertahap. Populasi ikan telah mencapai keseimbangan baru pada tingkat kepadatan yang lebih rendah. Meskipun terjadi peningkatan investasi dan kapasitas penangkapan akan diperoleh produksi yang cenderung stagnasi dan terus menurun dan beberapa kapal masih dapat beroperasi pada keseimbangan bio-ekonomi rendah karena didukung oleh satu atau lebih minor spesies yang memberikan keuntungan secara ekonomi.

Perkembangan usaha perikanan melalui peningkatan armada penangkapan, maka konsep Hasil Maksimum Lestari (MSY) menjadi kurang relevan untuk dapat digunakan. Hilborn & Walters (1992) menyarankan bahwa MSY sebagai titik sasaran acuan pengelolaan hanya dapat digunakan dalam jangka pendek. Jika diberlakukan untuk jangka panjang tanpa mempertimbangkan dinamika perikanan akan menghasilkan "a false summit" dari dugaan besaran hasil tangkapan lestari. Garcia (1986) mengungkapkan bahwa menggunakan serial data yang lama, tidak melibatkan perilaku nelayan dan dinamika kecepatan penangkapan akan menjadi sumber bias.

Pengembangan perikanan terus menerus didukung oleh hasil tangkapan tidak berasal dari suatu stok dalam kondisi keseimbangan, tetapi diduga berasal dari suatu stok yang telah mengalami penurunan. Namun demikian, bukan berarti runtuhnya stok pelagis akan sepenuhnya lenyap, tetapi secara teoritis dapat dikemukakan bahwa proses produksi yang terjadi bersifat *interdependent* dari individu nelayan, maka penyusutan stok ikan berlangsung secara serentak dan dirasakan juga oleh pelaku perikanan pelagis lainnya. Nelayan tradisional di Kalimantan Selatan dan Timur merasakan bahwa banyaknya kapal pendarat beroperasi menyebabkan hasil tangkapannya menurun drastis. Akhirnya kondisi tersebut telah memicu munculnya konflik antara perikanan pukat cincin dengan perikanan tradisional, seperti peristiwa konflik antara nelayan pukat cincin yang berasal dari Jawa Tengah dengan nelayan perikanan tradisional Kalimantan Selatan dan Timur pada awal tahun 2006, yaitu: pembakaran kapal Mutiara Sakti yang berasal dari Juwana di perairan Balikpapan dan kapal Dharma Samudra yang berasal dari Tegal di perairan selatan Kota Baru.

## KESIMPULAN

1. Dari beberapa kajian dinamika populasi tersebut pada ikan pelagis kecil menyimpulkan spesies ikan yang mempunyai pertumbuhan cepat dan mortalitas alami tinggi, model populasi yang dikembangkan oleh *Beverton & Holt* untuk pendugaan spesies tunggal sedikit nilai praktis bagi pengelolaan perikanan, dan hanya bertujuan untuk mengetahui karakteristik parameter populasi kaitannya dengan respon terhadap tekanan penangkapan.
2. Hasil analisis kohor dengan skema sampling yang komprehensif pada periode tahun 1991-1995 diperoleh total biomassa yang cenderung lebih rendah dari hasil tangkapan, hal ini memberikan indikasi tidak adanya hubungan antara struktur

biomassa dan kelimpahan hasil tangkapan perikanan pelagis kecil, terutama pada kelompok ukuran ikan telah memasuki perikanan.

3. Mengacu pada semakin lemahnya kemampuan pulih sumberdaya ikan pelagis kecil di perairan Laut Jawa maka tindakan penting yang disarankan untuk segera harus diambil untuk melindungi stok adalah dilakukannya pembatasan upaya penangkapan, baik pengurangan jumlah kapal maupun pengendalian terhadap kapasitas penangkapan dan taktik penangkapannya. Kemudian diikuti oleh pemantauan terhadap indeks kelimpahan berdasarkan rekaman data hasil tangkapan ikan pelagis kecil yang sedang berjalan.

## DAFTAR PUSTAKA

- Atmaja, S.B. 1988. Estimation of growth and mortality of round scad (*Decapterus macrosoma*) in the Java Sea in contribution to tropical fisheries biology: Paper by participant of FAO/Danida Follow up Training Course (Venema, S.; J.M. Christensen and D. Pauly (eds). *FAO Fish. Report* (389): 324 – 345.
- . 1999. Variasi geografis hasil tangkapan ikan layang (*Decapterus* spp.) di perairan bagian selatan Paparan Sunda. *Jur. Pen. Per. Ind. V* (3): 63 –71.
- . 2002. Dinamika perikanan purse seine di Laut Jawa dan sekitarnya. *Tesis*. Program Pascasarjana IPB. 63 p.
- . 2008. *Sumber daya ikan pelagis kecil dan Dinamika perikanan pukat cincin di Laut Jawa dan sekitarnya*. BRPL. PRPT. BRKP. 100 p.
- Bailey, C. A. Dwiponggo & F. Marahuddin, 1987. Indonesian marine capture fisheries. *ICLARM Studies and reviews*, 10. 196 p.
- Durand, J.R. & J. Widodo. 1997. *Final Report Java Sea Pelagic Fishery Assessment Project (ALA/INS/87/17)*. AARD-ORSTOM/EEC. Sci. and Tech. Doc. No. 26. 76 p.
- Dwiponggo, A. 1983. Pengkajian sumber daya perikanan laut di Laut Jawa. *Lap. Pen. Per. Laut*. No. 28: 13-33.
- Fauzi, A., 2000. *Teori ekonomi sumberdaya perikanan*. Paper dari bagian ekonomi sumberdaya alam. IPB.

- Hilborn, R. & C.J. Walters. 1992. Quantitative Fisheries Stock Assessment: Choice, Dynamics and Uncertainty. *Chapman and Hall*. New York, London. 570 p.
- Jackson, J. B. C., M. X. Kirby, W. H. Berger, K. A. Bjorndal, L. W. Botsford, B. J. Bourque, R. H. Bradbury, R. Cooke, J. Erlandson, J. A. Estes, T. P. Hughes, S. Kidwell, C. B. Lange, H. S. Lenihan, J. M. Pandolfi, C. H. Peterson, R. S. Steneck, M. J. Tegner, & R. R. Warner. 2001. Historical overfishing and the recent collapse of coastal ecosystems. *Science*. 293:629–638.
- Nurhakim, S., B. Sadhotomo & M. Potier. 1995. Composite model on small pelagic resources. *Di dalam: Potier and S. Nurhakim, editor: Biodynex. Seminar Biology, Dynamics and Exploitation of small pelagic in Java Sea*. Jakarta, 21 – 25 March 1994. *EEC/AARD/ORSTOM*. 145-153.
- Pauly, D. & J.L. Munro. 1984. Once more on the comparison of growth in fish and invertebrates. *Fishbyte* 2 (1):14-19.
- Potier, M., 1998. Pêcherie de layang et senneurs semi industriels Javanais: Perspective historique et approche système. *Phd Thesis*, Université de Montpellier II, 280 p.
- Potier, M. & B. Sadhotomo 1995. Exploitation of the large and medium seiners fisheries. *In: Potier and Nurhakim (eds): Biodynex. Seminar Biology, Dynamics and Exploitation of small pelagic in Java Sea*. AARD/EEC/ ORSTOM. 195 – 214.
- Sadhotomo, B. 1998. Bioécologie des principales espèces pélagiques exploitées en mer de Java. *Phd Thesis*, Université de Montpellier II, 364 p.
- Sadhotomo, B., S.B. Atmaja, S. Nurhakim. 1983. Pendugaan parameter pertumbuhan, indeks kematian dan yield per rekrut ikan layang, *Decapterus maruadsi* (Temminck Schlegel) di Laut Jawa. *Lap. Pen. Per. Laut*, 27: 1- 9 .
- Sujastani, T. 1978. Perhitungan besarnya stock sumber-sumber perikanan di Laut Jawa berdasarkan data statistik perikanan daerah. *Simposium Modernisasi Perikanan Rakyat*. Balai Penelitian Perikanan Laut, Jakarta 20 p.
- Sumadiharga, O.K. 2000. Potensi Sumber daya perikanan Laut Indonesia. *Prosiding Seminar Kelautan*. p. 142 – 157.
- Statistik Perikanan Indonesia (*Fisheries Statistics of Indonesia*) 1996-2001. Departemen Pertanian, Direktorat Jenderal Perikanan, Jakarta.
- Statistik Perikanan Tangkap Indonesia 2002-2009. Direktorat Jenderal Perikanan Tangkap, Departemen Perikanan dan Kelautan, Jakarta.
- Widodo. J. 1988. Population dynamics and management of “ikan layang”, scad mackerel, *Decapterus* spp. (Pisces Carangidae) in the Java Sea. *Ph.D. dissertation School of Fisheries*, University of Washington, Seattle. 150 p.
- 1989. Pendugaan prelinier pengaruh berbagai perubahan atas bawah ukuran ikan dan intensitas penangkapan terhadap perikanan pelagis kecil di Laut Jawa. *Jur. Pen. Per. Laut*. 51: 67 – 78.
- 1991. Konsep  $F_{0.1}$  sebagai strategi pengelolaan sumber daya ikan layang, *Decapterus* spp. dilaut Jawa. *Jour. Pen Per. Laut*. 64 : 1 –6.