

OPTIMASI JUMLAH KAPAL PENANGKAP IKAN BERBASIS POTENSI LESTARI SUMBER DAYA IKAN

— Studi Kasus Penangkapan Ikan Pelagis di Perairan Sumatera Barat —

*Optimization of Fishing Vessel's Number Based on Maximum Sustainable Yield.
Case Study of Pelagic Fishing in West Sumatra Waters*

Yusep Sugianto¹, I G N Sumanta Buana¹

¹Teknik Transportasi Laut ITS, Surabaya

Email: yusep.sugianto33@gmail.com

Diterima: 16 Maret 2018; Direvisi: 28 Juni 2018; Disetujui: 17 Juli 2018

Abstrak

Trend produksi ikan tahun 2016 di PPS Bungus yang terletak di Kota Padang Provinsi Sumatera Barat meningkat dalam kurun waktu 2007-2015. Hasil tangkapan tertinggi adalah di tahun 2015 sebanyak 5.025,59 ton. Akan tetapi kecenderungan peningkatan produksi tangkapan ini tidak menyebabkan peningkatan pada nilai tangkapannya. Nilai produksi per ton justru memperlihatkan *trend* penurunan. Pada tahun 2015, nilai produksi ikan per ton adalah Rp. 60.118.000. Nilai produksi ini sangat kecil jika dibandingkan dengan nilai produksi pada tahun 2012 sebesar Rp. 89.645.000 per ton dengan hasil tangkapan sebanyak 4.155,9 ton. Penurunan nilai produksi ini menunjukkan bahwa meskipun jumlah tangkapan meningkat namun mutu ikan yang dalam hal ini adalah ukuran ikan yang ditangkap justru semakin mengecil. Ini menandakan bahwa terdapat dugaan bahwa perairan Sumatera Barat tersebut telah terlalu banyak dieksploitasi sehingga menimbulkan kelangkaan sumber daya ikan tersebut. Untuk menghindari kelangkaan sumberdaya tersebut, maka perlu pengendalian jumlah kapal penangkap ikan. Untuk menentukan jumlah kapal ikan, langkah pertama adalah menentukan jumlah potensi lestari sumber daya ikan (*Maximum Sustainable Yield*). Potensi lestari sumber daya ikan dihitung dengan menggunakan metode surplus produksi. Jumlah kapal ikan dihitung dengan metode optimasi dengan kendala asli adalah jumlah tangkapan yang diperbolehkan, dan kendala sasaran adalah jumlah tangkapan masing-masing tipe kapal. Hasil penelitian menunjukkan bahwa telah terjadi *overfishing* di perairan Sumatera Barat sebanyak 2.011,27 ton dari jumlah yang seharusnya diperbolehkan yaitu 3.013,82 ton. Jumlah kapal ikan yang diperbolehkan adalah 31 unit kapal *longline* dan 146 unit kapal *purse seine*.

Kata kunci: *maximum sustainable yield*, metode optimasi, kelautan dan perikanan

Abstract

The trend of fish production in 2016 at Bungus fishery port increased in the period 2007-2015. The highest catch is in 2015 as much as 525,59 tons. However, this increased tendency does not lead to an increase in catch value. The production value per ton actually shows the decreasing trend. By 2015, the value of fish production per ton is Rp. 60,118,000. This production value is very smaller than the

production value in 2012 of Rp. 89,645,000 per ton with 4,155,9 tons of catch. This production values decrease trends indicates that although the number of catches increases but the quality of the fish, in this case, is the size of the fish being caught, is actually getting smaller. This indicates that there are allegations that the waters of West Sumatra have been too much exploited, causing the scarcity of fish resources. To avoid the scarcity of resources, it is necessary to control the number of fishing vessels. To determine the number of fishing vessels, the first step is to determine the maximum number of potential fish stock (Maximum Sustainable Yield). The maximum number of potential fish stock is calculated using the production surplus method. The number of fishing vessels is calculated by the optimization method with the original constraint is the number of catches allowed, and the target constraint is the number of catches of each type of vessel. The results showed that there have been overfishing in the waters of West Sumatra as much as 2,011.27 tons of the amount that should be allowed that is 3013.82 tons. The number of fishing boats allowed is 31 units of longline boats and 146 units of purse seine vessels.

Keywords: maximum sustainable yield, optimization method, ocean and fishery

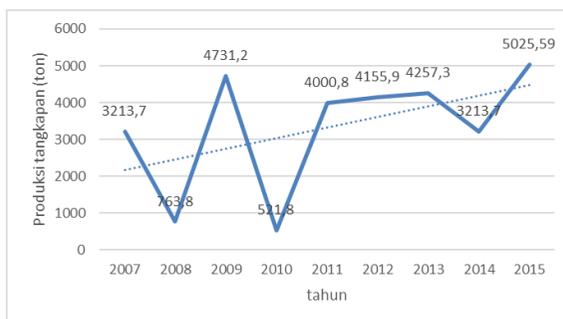
PENDAHULUAN

Undang-undang No. 45 Tahun 2009 tentang Perikanan menegaskan bahwa kebijakan pengelolaan perikanan harus mengacu kepada potensi sumber daya ikan di wilayah pengelolaan perikanan Negara Republik Indonesia. Dengan demikian, maka jumlah potensi ikan yang tersedia di suatu wilayah perairan menjadi dasar dalam penentuan kebijakan-kebijakan yang terkait dalam pemanfaatan potensi ikan tersebut. Salah satu kebijakan pengelolaan sumber daya ikan adalah penentuan jumlah kapal penangkap ikan yang diperbolehkan beroperasi di suatu wilayah perairan perikanan Indonesia. Jumlah kapal ikan yang beroperasi diatur agar total hasil tangkapan yang diperolehnya tidak menimbulkan kelangkaan sumber daya ikan di masa depan.

Perairan lepas pantai Sumatera Barat merupakan wilayah perairan yang menjadi bagian dari Samudera Hindia. Sesuai dengan UNCLOS 1982, Indonesia memiliki hak untuk mengelola sumber daya alam di

perairan yang berbatasan dengan laut lepas sejauh 200 mil dari daratan. Untuk melakukan pengelolaan, pengendalian, dan pengawasan sumber daya ikan di perairan tersebut, maka pemerintah Indonesia menyiapkan pelabuhan perikanan di Kota Padang Sumatera Barat, yaitu Pelabuhan Perikanan Samudera (PPS) Bungus. Selain melakukan pengawasan dan pengendalian sumber daya ikan, PPS Bungus bertugas untuk melayani dan mengatur perijinan bagi kapal-kapal penangkap ikan yang akan beroperasi di perairan Sumatera Barat. Oleh sebab itu, maka PPS Bungus memiliki wewenang dalam menentukan jumlah kapal yang akan beroperasi di perairan Sumatera Barat.

Data produksi tangkapan PPS Bungus tahun 2016 yang diperlihatkan oleh Gambar 1, menunjukkan bahwa *trend* produksi ikan PPS Bungus meningkat dalam kurun waktu 2007-2015. Grafik pada Gambar 1 dibuat berdasarkan data hasil tangkapan menurut *log book* penangkapan ikan yang



Gambar 1. Grafik produksi tangkapan PPS Bungus tahun 2007-2015



Gambar 2. Nilai produksi per ton ikan di PPS Bungus

diserahkan oleh tiap kapal penangkap ikan ke syahbandar Pelabuhan Perikanan Samudera (PPS) Bungus dalam kurun waktu 2007-2015. Hasil tangkapan tertinggi adalah di tahun 2015 sebanyak 5.025,59 ton. Akan tetapi kecenderungan peningkatan produksi tangkapan ini tidak menyebabkan peningkatan pada nilai tangkapannya. Nilai produksi per ton justru memperlihatkan *trend* penurunan seperti diperlihatkan oleh grafik pada Gambar 2. Grafik pada Gambar 2 diperoleh berdasarkan data hasil penjualan ikan di PPS Bungus dalam kurun waktu 2007-2015.

Pada tahun 2015, nilai produksi ikan per ton adalah Rp. 60.118.000. Nilai produksi ini sangat kecil jika dibandingkan dengan nilai produksi pada tahun 2012 sebesar Rp. 89.645.000 per ton dengan hasil tangkapan sebanyak 4.155,9 ton. Penurunan nilai produksi ini menunjukkan bahwa meskipun jumlah tangkapan meningkat namun mutu ikan yang dalam hal ini adalah ukuran ikan yang ditangkap justru semakin mengecil. Ini menandakan bahwa terdapat dugaan bahwa perairan tersebut telah mengalami kondisi *over fishing* sehingga terjadi kelangkaan ikan tangkapan. *Over fishing* adalah suatu kondisi dimana sumber daya ikan di suatu perairan telah terlalu banyak dieksploitasi sehingga menimbulkan kelangkaan sumber daya ikan tersebut

Menurut Zhang, dkk. (2016), peningkatan jumlah tangkapan disebabkan oleh peningkatan jumlah armada penangkapan ikan, dimana apabila terkonsentrasi di suatu tempat dan tidak dikendalikan maka akan menyebabkan kelangkaan ikan dan penurunan jumlah produksi ikan. Oleh sebab itu, cara untuk mengendalikan jumlah armada penangkapan ikan di Perairan Sumatera Barat adalah dengan cara menentukan jumlah armada penangkapan ikan yang beroperasi di perairan tersebut sehingga jumlah tangkapan yang diperolehnya tidak melebihi dari

jumlah tangkapan ikan yang diperbolehkan. Jumlah tangkapan ikan yang diperbolehkan adalah jumlah tangkapan per tahun yang boleh ditangkap oleh seluruh kapal ikan yang diijinkan oleh pengelola perairan tersebut, dalam hal ini adalah PPS Bungus. Jumlah tangkapan yang diperbolehkan ini menurut Peraturan Pemerintah (PP) Republik Indonesia Nomor 15 tahun 1984 tentang Pengelolaan Sumber Daya Alam Hayati di ZEE Indonesia adalah sebesar 80% dari potensi lestari sumber daya ikan (*Maximum Sustainable Yield*).

TINJAUAN PUSTAKA

Sumber daya Ikan Pelagis

Ikan pelagis adalah ikan-ikan yang hidup di permukaan perairan hingga pertengahan perairan atau dapat dikatakan sebagai ikan yang hidup pada kolom suatu perairan. Biasanya ikan ini adalah ikan-ikan yang sering bermigrasi jarak jauh dan sering bergerombol. Ikan pelagis terbagi atas dua jenis yaitu pelagis besar dan pelagis kecil. Spesies ikan yang termasuk dalam pelagis besar biasanya adalah predator yang berada pada posisi teratas dalam rantai makanan seperti keluarga tuna, ikan marlin, cakalang, tenggiri besar, ikan hiu, dan lumba-lumba. Spesies ikan yang termasuk dalam ikan pelagis kecil adalah ikan teri, tongkol, kembung dan lain-lain yang pada rantai makanan bukan berada pada tingkat teratas. Untuk menangkap ikan pelagis di perairan laut dalam, alat tangkap yang paling umum digunakan adalah *purse seine* atau pukat cincin dan *longline* atau rawai (Ardidja, 2007b).

Tipe Kapal Penangkap Ikan

Terdapat dua tipe kapal penangkap ikan yang digunakan untuk menangkap ikan pelagis di perairan Sumatera Barat. Kedua tipe kapal penangkap ikan ini dibagi menurut alat tangkap ikan yang digunakannya,

yaitu alat tangkap *purse seine* dan *longline*.

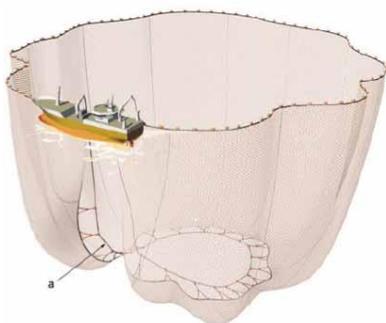
Purse seine atau jaring lingkaran merupakan satu jenis alat tangkap ikan dengan metode menutup jalan renang ikan baik horizontal maupun vertikal (pada jenis jaring lingkaran dengan kolor) sehingga ikan terperangkap dalam alat tangkap (Ardidja, 2007a).



Gambar 3. Kapal *purse seine*



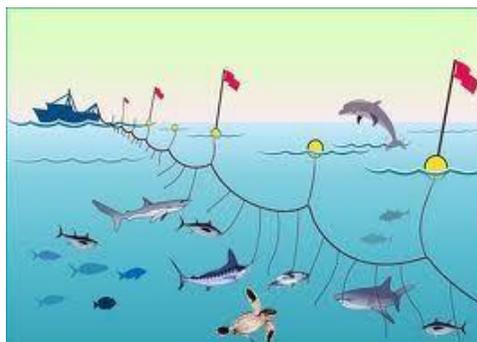
Gambar 4. Kapal *longline*



Gambar 4. Ilustrasi alat tangkap *purse seine* atau jaring lingkaran (Ardidja, 2007a)

Longline atau rawai merupakan alat tangkap ikan yang terbuat dari tali yang direntangkan dan diikatkan beberapa buah kail pancing. Dalam operasinya, rawai selalu menggunakan umpan untuk mengelabui target

ikan. Panjang umpan berkisar antara 15-20 cm, dengan berat 80-150 gram (Ardidja, 2007a). Kedua tipe kapal ikan tersebut ditunjukkan oleh Gambar 3 dan Gambar 4, sedangkan ilustrasi alat tangkap yang digunakannya ditunjukkan oleh Gambar 5 dan Gambar 6 diperoleh dari koleksi foto milik Pelabuhan Perikanan Samudera (PPS) Bungus.



Gambar 5. Ilustrasi alat tangkap *longline* atau rawai (Ardidja, 2007a)

Maximum Sustainable Yield (MSY)

Lubis (2012) menyatakan bahwa stok sumber daya ikan adalah total potensi lestari sumber daya ikan di wilayah perairan tertentu. Total potensi lestari sumber daya perikanan yang dimaksud dikenal dalam Bahasa Inggris sebagai *Maximum Sustainable Yield*. Maunder, (2008), mengemukakan MSY merupakan jumlah maksimum ikan yang dapat ditangkap di suatu populasi ikan pada periode tertentu dimana populasi tersebut masih bisa melakukan regenerasi. Perhitungan MSY pada bidang perikanan menggunakan model surplus produksi dari Schaefer, dimana model ini membandingkan antara jumlah tangkapan per satuan upaya (CPUE) dengan jumlah total upaya (*effort*). Nilai MSY akan tergantung dari jumlah upaya yang dilakukan oleh setiap metode penangkapan. Bappenas, (2014) menterjemahkan MSY sebagai produksi tangkapan lestari yang dihitung berdasarkan spesies ikan atau kelompok sumber daya ikan. PP Republik Indonesia Nomor 15 tahun 1984 menyebutkan bahwa jumlah tangkapan ikan yang diperbolehkan adalah sebesar 80% dari potensi lestari sumber daya ikan.

Data-data statistik yang diperlukan adalah produksi jenis, produksi jenis ikan per jenis alat tangkap, serta jumlah dan jenis alat tangkap (Badrudin, 2011). Data-data tersebut akan membentuk persamaan linier $Y = a + bX$ yang akan digunakan untuk menghitung potensi lestari sumber daya ikan

atau *maximum sustainable yield* (MSY). Nilai MSY dan upaya optimum dapat dihitung melalui rumus yang dikemukakan oleh Schaefer dalam (Spare dan Venema, 1999):

$$Q_{MSY} = 0,25 \frac{a^2}{b} \quad (1)$$

$$E_{MSY} = 0,5 \frac{a}{b} \quad (2)$$

dimana:

a = intersep dari persamaan linier

b = *slope*

Q_{MSY} adalah jumlah stok ikan yang boleh ditangkap dalam satuan ton, dan E_{MSY} atau upaya optimum adalah jumlah upaya penangkapan yang diperbolehkan oleh seluruh kapal penangkap ikan dalam satuan trip.

Program Linier

Menurut (Surachman dan Astuti, 2015), model program linier terdiri dari fungsi tujuan dan fungsi kendala yang berbentuk linier baik yang dinyatakan dalam bentuk persamaan maupun pertidaksamaan. Komponen utama dari masalah program linier adalah fungsi tujuan yang berupa kriteria maksimum dan minimum. Langkah-langkah dalam membuat formulasi model program linier adalah:

1. Menentukan tujuan yang ingin dicapai.
2. Menentukan variabel keputusan yang akan dicari.
3. Menentukan kendala yang membatasi variabel.

Model matematis dari optimasi linier adalah sebagai berikut:

$$\frac{\text{Maksimasi}}{\text{Minimasi}} Z = \sum_{i=1}^n a_{ij}x_i \quad (3)$$

dimana:

Z = tujuan optimasi

$a_{ij}x_j$ = merupakan persamaan penentu keputusan

Dengan mempertimbangkan persamaan atau fungsi kendala atau batasan atau pembatas (*subject to*):

$$\sum_{i=1}^n a_{ij}x_i \leq b_i \quad (4)$$

$$x_i \geq 0 \text{ (bilangan bulat non negatif)} \quad (5)$$

Goal programming adalah model program linier yang digunakan untuk menyelesaikan masalah linier dengan fungsi tujuan majemuk atau fungsi tujuan yang lebih dari satu secara bersamaan (Surachman dan Astuti, 2015).

Surachman dan Astuti (2015) juga menyatakan bahwa tujuan dari *goal programming* adalah meminimumkan total deviasi atau penyimpangan dari semua target yang diinginkan dengan mempertimbangkan semua kendala dari target serta kendala dari modelnya. Oleh karena itu, fungsi tujuan setiap target atau *goal* merupakan bagian dari fungsi tujuan masalah *goal programming* secara keseluruhan.

Pasangan variabel deviasi s_i^- dan s_i^+ akan dimunculkan pada ruas kiri persamaan kendala yang dirumuskan dari fungsi target. Jadi misalkan fungsi targetnya adalah:

$$F_i(x_i) \leq F_i \quad (6)$$

maka persamaan kendala yang berkaitan dengan target tersebut dirumuskan sebagai:

$$f_i(x_i) + s_i^- - s_i^+ = f_i \quad (7)$$

dimana:

s_i^- = besarnya deviasi di bawah target

s_i^+ = besarnya deviasi di atas target

$f_i(x_i)$ = fungsi penentu keputusan

f_i = fungsi kendala

METODE PENELITIAN

Menghitung Potensi Lestari Sumber daya Ikan (MSY)

Sebelum melakukan optimasi, langkah pertama yang dilakukan adalah menentukan potensi lestari sumber daya ikan. Pada penelitian ini, sumber daya ikan yang akan dihitung adalah sumber daya ikan yang termasuk pada kelompok ikan pelagis. Ikan pelagis dipilih karena ikan-ikan ini merupakan target tangkapan kapal ikan tipe *purse seine* dan *longline*. Data-data yang diperlukan dalam menghitung potensi lestari sumber daya ikan adalah jumlah tangkapan ikan tahunan kapal ikan, serta jumlah upaya penangkapan tahunan tiap tipe kapal ikan yaitu kapal *longline* dan kapal *purse seine*, secara runtun (*time series*) selama 8 tahun terakhir yaitu dari tahun 2008-2015. Data diperoleh dari publikasi dan dokumentasi dari instansi terkait yaitu Direktorat Perizinan dan Kenelayanan KKP, PPS Bungus, dan Bappeda Kota Padang.

Optimasi Jumlah Kapal

Setelah diketahui potensi lestari sumber daya ikan di perairan Sumatera Barat tersebut, langkah selanjutnya adalah melakukan optimasi. Ada dua langkah optimasi dalam rangka mencari jumlah kapal

yang akan digunakan untuk menangkap ikan. Optimasi pertama dilakukan dengan cara *linear programming* untuk mendapatkan hasil tangkapan maksimal pada masing-masing tipe kapal ikan. Optimasi kedua dengan cara *linear goal programming* dengan dua fungsi tujuan, yaitu memaksimalkan hasil tangkapan tiap tipe kapal ikan dan memaksimalkan pemanfaatan jumlah ikan yang boleh ditangkap.

Beberapa asumsi dipertimbangkan dalam rangka analisis optimasi ini. Asumsi-asumsi tersebut adalah:

1. Sumbangan hasil tangkapan dari kapal tipe lain tidak dimasukkan dalam perhitungan optimasi.
2. Hasil tangkapan ikan seluruhnya didaratkan di PPS Bungus.

Optimasi Tangkapan Maksimal Tiap Tipe Kapal dengan *Linear Programming*

Untuk memperoleh jumlah tangkapan maksimal tiap tipe kapal, maka dibuat model optimasi sebagai berikut:

1. Variabel keputusan

Variabel keputusan dalam rangka memperoleh jumlah tangkapan maksimum adalah berupa jumlah tangkapan tiap tipe kapal ikan yang digunakan untuk menangkap ikan.

2. Fungsi tujuan

Formulasi fungsi tujuan adalah sebagai berikut:

$$\text{Tangkapan maksimum} = \sum_{i=1}^2 C_i \quad (8)$$

$$E_1 \cdot c_1 = C_1 \quad (8.1)$$

$$E_2 \cdot c_2 = C_2 \quad (8.2)$$

dimana :

C_i = Hasil tangkapan seluruh kapal tipe- i (ton)

E_i = Total upaya tangkap kapal ikan tipe- i (trip)

c_i = tangkapan per trip kapal tipe- i (ton/trip)

$i = 1, \dots, 2$

3. Penetapan fungsi kendala

Kendala merupakan pembatas dalam upaya pencapaian tujuan. Formulasi fungsi kendala adalah sebagai berikut:

- a. Kendala upaya tangkap yang lestari (E_{MSY}) yang merupakan batas maksimum upaya penangkapan ikan. Berikut adalah model persamaannya:

$$\sum_{i=1}^2 E_i \leq E_{MSY} \quad (9)$$

dimana :

E_i = Total upaya penangkapan kapal tipe- i

E_{MSY} = Upaya penangkapan lestari

$i = 1, \dots, 2$

- b. Kendala jumlah tangkapan yang diperbolehkan. Jumlah tangkapan yang diperbolehkan adalah 80% dari potensi sumber daya ikan lestari (MSY) (Bappenas, 2014). Persamaannya adalah sebagai berikut:

$$\sum_{i=1}^2 C_i \leq Q_A \quad (10)$$

dimana:

C_i = hasil tangkapan yang diperoleh kapal tipe- i

Q_A = jumlah tangkapan yang diperbolehkan (ton)

- c. Kendala jumlah tangkapan pada tiap tipe kapal ikan harus lebih besar dari jumlah tangkapan minimal yang diperoleh masing-masing tipe kapal ikan tersebut. Jumlah minimal tangkapan ikan tiap tipe kapal adalah jumlah tangkapan tiap tipe kapal pada tahun terakhir data tangkapan. Persamaannya adalah sebagai berikut:

$$C_i \geq H_i \quad (11)$$

dimana:

c_i = jumlah tangkapan kapal ikan tipe- i
($i = 1, 2$)

H_i = jumlah tangkapan minimal kapal ikan tipe- i

- d. Angka bilangan bulat

E_1, E_2 = bilangan bulat non negatif

Optimasi Jumlah Kapal dengan *Linear Goal Programming*

Selanjutnya setelah didapatkan hasil optimal jumlah tangkapan pada masing-masing tipe kapal, maka langkah selanjutnya adalah menentukan jumlah masing-masing tipe kapal yang digunakan untuk menangkap ikan dengan teknik optimasi *linear goal programming* dengan tujuan yang ingin dicapai adalah hasil tangkapan maksimum tiap tipe kapal, dan pemanfaatan jumlah sumber daya ikan yang boleh ditangkap.

Formulasi *linear goal programming* untuk menentukan jumlah kapal penangkap ikan adalah sebagai berikut:

1. Memaksimalkan hasil tangkapan ikan pada masing-masing tipe kapal.

$$\sum_{i=1}^2 C_i + s_c^- - s_c^+ = \text{Max } Z \quad (12)$$

$$e_1 \cdot C_1 \cdot X_1 + s^- - s^+ = C_1 \quad (12.1)$$

$$e_2 \cdot C_2 \cdot X_2 + s^- - s^+ = C_2 \quad (12.2)$$

dimana:

e_i = upaya tangkap kapal tipe-i (trip) (i=1, 2)

c_i = tangkapan per trip kapal tipe-i (ton/trip)

s_c^- = tangkapan yang tidak mencapai target (ton)

s_c^+ = tangkapan yang melebihi target (ton)

C_i = target tangkapan kapal tipe i (kg)

$i = 1=longline; 2=purse seine$

2. Memaksimalkan pemanfaatan potensi ikan yang boleh ditangkap. Model persamaannya adalah sebagai berikut:

$$\sum_{i=1}^2 C_i + s_A^- - s_A^+ = Q_A \quad (13)$$

dimana:

s_A^- = jumlah tangkapan yang kurang dari jumlah ikan yang boleh ditangkap (ton)

s_A^+ = jumlah tangkapan yang melebihi jumlah ikan yang boleh ditangkap (ton)

Q_A = Jumlah ikan yang boleh ditangkap (ton)

3. Angka bilangan bulat

e_1, e_2, X_1, X_2 = bilangan bulat non negatif

HASIL DAN PEMBAHASAN

Potensi Lestari Sumber daya Ikan

Data hasil tangkapan yang digunakan untuk pendugaan potensi sumber daya ikan pelagis seluruhnya berasal dari kapal ikan tipe *longline* dan kapal *purse seine* yang terdaftar di PPS Bungus. Tabel 1 1, merupakan data tangkapan dan upaya penangkapan ikan pelagis di perairan Sumatera Barat yang disusun secara *time series* dari tahun 2008-2015.

Dari Tabel 1, dapat diketahui produktifitas tangkapan setiap tahun. Produktifitas merupakan hasil bagi antara produksi dengan upaya. Produktifitas tiap tipe kapal ditunjukkan oleh Tabel 2.

Perbedaan karakter alat penangkap ikan yang dibawa oleh tiap tipe kapal menyebabkan produktifitas masing-masing alat tangkap menjadi berbeda, sehingga perlu dilakukan standarisasi produktifitas alat tangkap atau kapal ikan. Standarisasi alat tangkap diawali dengan menentukan nilai indeks tipe kapal satu dengan alat tangkap lainnya. Nilai indeks = 1 adalah kapal ikan yang memiliki produktifitas paling tinggi. Berdasarkan Tabel 2 diketahui bahwa kapal

longline memiliki produktifitas lebih tinggi dari kapal *purse seine*, sehingga kapal *longline* diberi nilai indeks=1. Tabel 3, menunjukkan nilai indeks masing-masing tipe kapal ikan.

Tabel 1. Produksi tangkapan ikan pelagis dan upaya penangkapan tahun 2008-2015 di perairan Sumatera Barat

Tahun	Produksi (ton)		Upaya (trip)	
	<i>Long Line</i>	<i>Purse Seine</i>	<i>Long line</i>	<i>Purse Seine</i>
2008	548,87	214,86	1425	690
2009	3493,04	1237,68	1495	790
2010	320,70	201,10	1525	795
2011	3555,51	444,89	1590	785
2012	3037,96	1117,52	1460	720
2013	334,20	3922,68	710	1185
2014	2492,87	720,51	605	840
2015	1090,05	3935,04	552	1408

Tabel 2. Produktifitas tiap tipe kapal ikan

Tahun	Produktifitas (ton/trip)	
	<i>Longline</i>	<i>Purse Seine</i>
2008	0,39	0,31
2009	2,34	1,57
2010	0,21	0,25
2011	2,24	0,57
2012	2,08	1,55
2013	0,47	3,31
2014	4,12	0,86
2015	1,97	2,79
Jumlah	13,81	11,21
Rata-rata	1,73	1,40

Tabel 3. Indeks alat tangkap ikan

	<i>Longline</i>	<i>Purse seine</i>
Produktifitas	13,81	11,21
Indeks alat tangkap	1,00	0,81

Setelah indeks alat tangkap diketahui, selanjutnya dilakukan standarisasi upaya penangkapan, yaitu dengan cara mengalikan nilai indeks tiap tipe kapal ikan dengan upaya pada Tabel 1Tabel 1. Hasil perhitungan standarisasi upaya penangkapan ditunjukkan oleh Tabel 4.

Langkah selanjutnya adalah menentukan nilai *Catch per Unit of Effort* (CPUE). Hasil perhitungan CPUE ditunjukkan oleh Tabel 5.

Tabel 4. Hasil standarisasi upaya penangkapan

Tahun	Longline	Purse seine	Total upaya standar
2008	1425	560	1985
2009	1495	641	2136
2010	1525	645	2170
2011	1590	637	2227
2012	1460	584	2044
2013	710	962	1672
2014	605	682	1287
2015	552	1143	1695

Tabel 5. Catch per unit of effort

Tahun	Produksi (ton)	Upaya standar (trip)	CPUE (ton/trip)
2008	763,80	1985	0,38
2009	4731,20	2136	2,21
2010	521,80	2170	0,24
2011	4000,80	2227	1,80
2012	4155,90	2044	2,03
2013	4257,30	1672	2,55
2014	3213,70	1287	2,50
2015	5025,59	1695	2,97

Hubungan antara CPUE dengan upaya standar akan membentuk suatu garis persamaan linier CPUE = -0.0017x + 5,0714, dengan nilai a (intercept) = 4.9543 dan nilai b (slope) = -0.0017. Sehingga diperoleh tangkapan lestari sebagai berikut:

$$Q_{MSY} = -0,25 * \left(\frac{5,07^2}{0,0017}\right) = 3.782,22 \text{ ton} \quad (14)$$

Dengan upaya tangkap lestari sebanyak:

$$E_{MSY} = -0,5 * \left(\frac{4,95}{0,0017}\right) = 1.492 \text{ trip} \quad (15)$$

Berdasarkan ketentuan, jumlah ikan yang boleh ditangkap adalah 80% dari potensi sumber daya ikan lestari (MSY), sehingga jumlah ikan pelagis yang boleh ditangkap di perairan Sumatera barat adalah 80% x 3.782,22 ton = 3.025,78 ton/tahun.

Analisis Optimasi Jumlah Kapal Penangkap Ikan

Untuk memperoleh jumlah kapal penangkap ikan, maka digunakan dua metode optimasi, yaitu:

1. Metode *linear programming* untuk menentukan target tangkapan masing-masing tipe kapal.
 2. Metode *linear goal programming* untuk menentukan jumlah kapal penangkap ikan tiap tipe.
- Metode *linear programming* menentukan target tangkapan

Tujuan dari optimasi yang dilakukan adalah untuk memperoleh jumlah tangkapan maksimum yang ditangkap oleh seluruh kapal. Variabel penentu keputusan tersebut ditampilkan dalam Tabel 6 berikut:

Tabel 6. Variabel penentu keputusan jumlah tangkapan maksimal

Tipe Kapal	Upaya tangkap (trip)	Tangkapan per trip (ton)
Kapal <i>longline</i>	E ₁	1,97
Kapal <i>purse seine</i>	E ₂	2,79

Formulasi fungsi tujuan adalah sesuai dengan persamaan (8) sehingga formulasinya adalah sebagai berikut:

$$\text{Tangkapan max} = 1,97E_1 + 2,79E_2 \quad (16)$$

E₁ dan E₂ adalah jumlah total upaya penangkapan untuk masing-masing tipe kapal, yaitu total upaya penangkapan kapal *longline* (E₁) dan total upaya penangkapan kapal *purse seine* (E₂). Nilai 1,97 dan 2,79 adalah masing-masing jumlah tangkapan per upaya dari kapal *longline* dan kapal *purse seine*. Nilai ini merupakan produktivitas tangkapan atau *Catch per Unit of Effort* (CPUE) tahun terakhir pada data produktivitas penangkapan di Tabel 2.

Kendala untuk mencapai tujuan adalah sebagai berikut:

1. Kendala upaya tangkap yang lestari (E_{MSY}). Model persamaannya adalah sebagai berikut:

$$\sum_{i=1}^2 E_i \leq 1.492 \quad (17)$$

2. Kendala jumlah tangkapan yang diperbolehkan. Model persamaannya adalah sebagai berikut:

$$1,97E_1 + 2,79E_2 \leq 3.025,78 \quad (18)$$

3. Kendala jumlah tangkapan per upaya tiap kapal. Model persamaannya adalah sebagai berikut:

Optimasi Jumlah Kapal Penangkap Ikan Berbasis Potensi Lestari Sumber Daya Ikan
(Yusep Sugianto, I G N Sumanta Buana)

$$c_1 \geq 1,97 \quad (19)$$

$$c_2 \geq 2,79 \quad (20)$$

dengan c_1 dan c_2 masing-masing adalah jumlah tangkapan per upaya kapal *longline* dan kapal *purse seine*.

Optimasi dilakukan dengan menggunakan *add-ins solver* pada Microsoft Excel dengan hasil ditunjukkan oleh Tabel 7 berikut:

Tabel 7. Hasil optimasi jumlah tangkapan maksimum

Tipe Kapal	Jumlah tangkapan (ton)
Kapal <i>longline</i>	1004,7
Kapal <i>purse seine</i>	2019,96
Total (<i>Max Catch</i>)	3024,66

Total tangkapan maksimum dan jumlah tangkapan tiap tipe kapal dipergunakan sebagai batasan untuk menentukan jumlah kapal penangkap ikan yang akan digunakan.

• Optimasi Jumlah Kapal dengan *Linear Goal Programming*

Metode *linear goal programming* digunakan untuk menentukan jumlah kapal penangkap ikan. Tabel 8 menunjukkan variabel penentu keputusan tujuan tersebut:

Tabel 8. Variabel keputusan jumlah kapal penangkap ikan

Tipe Kapal	Upaya per tahun (trip)	Tangkapan per trip (ton)	Jumlah Kapal (unit)
Kapal <i>longline</i>	16	1,97	X_1
Kapal <i>purse seine</i>	5	2,79	X_2

Upaya per tahun merupakan jumlah operasi penangkapan yang dilakukan oleh tiap kapal ikan dalam jangka waktu satu tahun. Jumlah tangkapan minimum tiap kapal per trip ditentukan berdasarkan produktivitas tangkapan tahun terakhir di Tabel 2. Formulasi *linear goal programming* untuk menentukan jumlah kapal penangkap ikan dengan variabel penentu pada Tabel 8 adalah sebagai berikut:

Tujuan 1. Memperoleh hasil tangkapan maksimal tiap tipe kapal

$$((16)(1,97)(X_1) + s_1^- - s_1^+) + ((5)(2,79)(X_2) + s_2^- - s_2^+) = 3.024,66 \quad (21)$$

$$(31,52X_1 + s_1^- - s_1^+) + (13,95X_2 + s_2^- - s_2^+) = 3.024,66 \quad (21.1)$$

Tujuan 2. Memaksimalkan potensi ikan yang boleh ditangkap

$$31,52X_1 + 13,95X_2 + (s_A^- + s_A^+) = 3.025,78 \quad (22)$$

Hasil optimasi ditunjukkan oleh Tabel 9 sebagai berikut:

Tabel 9. Hasil optimasi jumlah kapal dengan *linear goal programming*

Tipe Kapal	Jumlah Kapal	Jumlah Tangkapan	Target tangkapan	Tangkap an yang diperbolehkan
<i>Long line</i>	31	977,12	1004,70	
<i>Purse seine</i>	146	2.036,70	2019,96	
Total	177	3.013,82		3.025,78

Berdasarkan Tabel 9 diketahui bahwa jumlah kapal tipe *longline* yang digunakan adalah 31 unit, sedangkan kapal tipe *purse seine* adalah 146 unit. Hasil perhitungan juga memperlihatkan bahwa jumlah tangkapan kapal tipe *longline* mencapai 977,12 ton per tahun sehingga tidak mencapai target tangkapan kapal tipe tersebut, sebesar 1.004,70 ton per tahun. Sedangkan tangkapan kapal tipe *purse seine* mengalami kelebihan tangkapan atas target tangkapan sebanyak 16,74 ton.

Dengan diketahui jumlah kapal optimal dalam pemanfaatan potensi sumber daya ikan yang lestari, maka dapat diketahui perbandingan antara jumlah kapal aktual dengan jumlah kapal optimum berbasis MSY seperti yang ditunjukkan oleh Tabel 10.

Tabel 10 menunjukkan bahwa agar tujuan penangkapan ikan mencapai tahap pelestarian sumber daya, maka jumlah kapal ikan *longline* harus dikurangi sebesar 39,22% dari jumlah kapal *longline* aktual. Sebagai pengganti pengurangan kapal ikan tipe *longline* tersebut, maka kapal tipe *purse seine* dapat ditambah sebanyak 7,35% dari jumlah kapal *purse seine* yang telah ada. Jumlah kapal aktual adalah jumlah kapal yang sudah tersedia dan aktif melakukan operasi penangkapan. Jumlah kapal menurut MSY adalah jumlah kapal hasil optimasi berbasis MSY.

Tabel 10. Perbandingan jumlah kapal aktual dengan jumlah kapal berbasis MSY

Tipe kapal	Jumlah kapal aktual (unit)	Jumlah kapal menurut MSY (unit)	Selisih	%
<i>Long line</i>	51	31	-20	-39,22
<i>Purse seine</i>	136	146	10	7,35

Dengan adanya perbandingan jumlah kapal aktual, maka dapat pula diketahui perbandingan produksi tangkapan aktual dengan produksi tangkapan berbasis MSY. Perbandingan produksi tangkapan aktual dengan produksi tangkapan berbasis MSY ditunjukkan oleh Tabel 11 berikut:

Tabel 10. Perbandingan produksi tangkapan aktual dengan produksi tangkapan berbasis MSY

Tipe kapal	Produksi aktual (ton)	Produksi ikan MSY (ton)	Selisih
<i>Long line</i>	1.090	977	-113
<i>Purse seine</i>	3.935	2.037	-1.898
Total	5.025,09	3.013,82	-2.011,27

Produksi tangkapan aktual merupakan produksi tangkapan tahun terakhir yang telah didaratkan oleh kapal ikan aktual sebagaimana ditunjukkan oleh Tabel 1. Produksi tangkapan berbasis MSY merupakan jumlah tangkapan yang diperoleh oleh jumlah unit kapal berbasis MSY dengan asumsi jumlah upaya penangkapan sebanyak 16 trip per tahun untuk kapal *longline* dan 5 trip per tahun untuk kapal *purse seine* serta rata-rata tangkapan kapal adalah 1,97 ton per trip untuk kapal *longline*, dan 2,79 ton per trip untuk kapal *purse seine*. Tabel 11 menunjukkan bahwa jumlah tangkapan aktual telah melebihi jumlah tangkapan ikan yang diharapkan yaitu sebesar 2.011,27 ton atau 40,02%. Lebih tangkap terbesar diperoleh oleh kapal *purse seine* yaitu sebesar 48,24% dari produksi tangkapan berbasis MSY.

KESIMPULAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa telah terjadi *over fishing* di perairan Sumatera Barat sebanyak 2.011,27 ton dari jumlah yang seharusnya diperbolehkan yaitu 3.013,82 ton. Jumlah kapal ikan yang diperbolehkan adalah 31 unit kapal *longline* dan 146 unit kapal *purse seine*.

DAFTAR PUSTAKA

- Ardidja, S. (2007a). *Kapal Penangkap Ikan*. Jakarta: STP Press.
- Ardidja, S. (2007b). *Metode Penangkapan Ikan*. Jakarta: STP Press.
- Badrudin. (2011). *Analisis Data Catch And Effort Untuk Pendugaan MSY*. Jakarta: Indonesia Marine And Climate Support (IMACS) Project, USAID.
- Bappenas. (2014). *Kajian Strategi Pengelolaan Perikanan Berkelanjutan*. Jakarta: Badan Perencanaan Pembangunan Nasional.
- Lubis, E. (2012). *Pelabuhan Perikanan*. Edisi 2. Bogor: IPB Press.
- Maunder, M. N. (2008). Maximum Sustainable Yield. *Encyclopedia of Ecology*, 2292-2296.
- Peraturan Pemerintah RI Nomor 15 Tahun 1984 *Pengelolaan Sumber daya Alam Hayati di Zona Ekonomi Eksklusif Indonesia*. Lembaran Negara Republik Indonesia Tahun 1985 Nomor 15. Jakarta.
- Spare, P., dan Venema, S. (1999). *Introduksi Pengkajian Stok Ikan Tropis; Buku 1: Manual*. Jakarta: Diterbitkan atas kerjasama Pusat Penelitian dan Pengembangan Perikanan, Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian bekerjasama dengan FAO.
- Surachman dan Astuti, M. (2015). *Operations Research*. Edisi Kedua. Malang: Media Nusa.
- Zhang, C., Chen, Y., dan Ren, Y. (2016). An Evaluation of Implementing Long-term MSY in Ecosystem-based Fisheries Management: Incorporating Trophic Interaction Bycatch and Uncertainty. *Journal of Fisheries Research*, Vol. 174: 179-189.