

Pengaruh Ambang Batas Kepunahan dalam Penentuan Tingkat Eksploitasi Sumber Alam Regeneratif

Asep K. Supriatna^{*)} & Meiyane Lestari

Jurusan Matematika FMIPA Universitas Padjadjaran

Km 21 Jatinangor-Sumedang, fax: 022-4218676

*) Email: asupriat@unpad.ac.id

Abstrak

Kepentingan akan konservasi dan eksploitasi kadang-kadang muncul secara bersamaan. Hal ini terutama menyangkut makhluk hidup yang mempunyai nilai ekonomis. Beberapa teori yang menyangkut pemanfaatan sumber alam telah berhasil dikembangkan dengan mengacu kepada pemanfaatan yang berkelanjutan, misalnya konsep *maximum sustainable yield* (MSY). Di lain pihak dalam literatur dikenal batas kritis untuk beberapa species dimana jika jumlah populasi species tersebut di bawah ambang batas tertentu yang dikenal dengan *population viability threshold* (PVT) maka species tersebut akan terancam risiko kepunahan. Dalam paper ini dibahas mengenai pengaruh ambang batas tersebut dalam penentuan tingkat MSY.

Keywords: Model Bioekonomik, Eksploitasi, Konservasi, MSY, Ambang Batas Kepunahan

Abstract

Conservation and exploitation issues are often to occur simultaneously, especially in the utilization of commercial biological resources. Some theories regarding the exploitation of natural resources have been developed by considering the concept of sustainable utilization, such as the *maximum sustainable yield* (MSY). On the other hand many literatures showed that many species have a *population viability threshold* (PVT), in which below the threshold the population will decline and face the risk of extinction. In this paper we discuss the effect of this threshold on the level of MSY.

Keywords: Bioeconomic Model, Exploitation, Conservation, MSY, Population Viability Threshold

1 Pendahuluan

Asumsi yang dipakai dalam *harvesting theory* atau bioekonomi biasanya adalah pertumbuhan populasi atau sumber alam yang dieksploitasi mengikuti pertumbuhan logistik (Schaefer, 1954; Supriatna & Possingham, 1998, 1999). Namun dalam

kenyataan banyak species yang dibawah jumlah tertentu populasi species tersebut tidak dapat tumbuh seperti yang digambarkan model logistik, melainkan cenderung turun dan mempunyai risiko punah (Schaffer, 1981; Lindenmayer *et al.*, 1993). Hal ini mungkin disebabkan adanya unsur *environmental* dan *demographic stochasticity*. Contoh klasik

adalah punahnya populasi burung dara “*passenger*” di Amerika Serikat yang pada awalnya begitu melimpah, tetapi kemudian menyusut karena perburuan. Kemudian dengan jumlah yang sudah menyusut tersebut tidak dapat berkembang biak dengan baik sampai akhirnya punah. Hal ini disebabkan ambang batas kepunahan burung dara ini cukup tinggi (Austin, 1983).

Dalam paper ini akan dibahas pengaruh dari ambang batas kepunahan bagi suatu species yang punya nilai ekonomi, dalam penentuan tingkat eksploitasi terhadap populasi species tersebut. Hal ini sangat penting mengingat eksploitasi terhadap suatu species juga harus tetap dapat mempertahankan kelangsungan hidup species tersebut (lihat Tsur & Zemel, 1994).

2 Model Bioekonomi dengan Persamaan Logistik

Pada bagian ini akan diuraikan secara singkat model bioekonomi yang menggunakan asumsi pertumbuhan logistik. Model ini akan menjadi dasar untuk model logistik dengan ambang batas kepunahan yang akan dibahas pada bagian selanjutnya. Tingkat eksploitasi yang akan dibahas meliputi *maximum*

sustainable yield, MSY (Schaeffer, 1954) dan *maximum economic yield*, MEY (Gordon, 1954). Adapun *net present value*, NPV (Clark, 1976) tidak akan dibahas dalam paper ini.

2.1 Maximum Sustainable Yield

Misalkan populasi suatu species mengalami pertumbuhan alami dengan mengikuti persamaan logistik, dengan N menunjukkan banyaknya populasi, K menunjukkan *carrying capacity*, dan r adalah kapasitas pertumbuhan intrinsik populasi tersebut. Bentuk persamaan logistik diberikan oleh

$$\frac{dN}{dt} = F(N) = rN \left(1 - \frac{N}{K} \right). \quad (1)$$

Jika populasi tersebut mengalami tingkat eksploitasi dengan laju $h(E, N)$ yang merupakan fungsi dari ukuran populasi N dan tingkat usaha E , maka laju pertumbuhan populasi dengan adanya eksploitasi diberikan oleh

$$\frac{dN}{dt} = rN \left(1 - \frac{N}{K} \right) - h(E, N). \quad (2)$$

Agar populasi tidak mengalami kepunahan dengan adanya eksploitasi, maka pertumbuhan populasi pada persamaan (2) haruslah nol, sehingga tingkat eksploitasi diberikan oleh

$$h(E, N) = rN \left(1 - \frac{N}{K} \right) \quad (3)$$

Persamaan (3) adalah tingkat eksploitasi maksimal yang dapat diambil dengan tetap mempertahankan sebagian populasi untuk keperluan regenerasi. Besaran ini dinamakan *maximum sustainable yield*, disingkat MSY. Selanjutnya akan dilihat dua kasus eksploitasi, yaitu $h(E,N)$ konstan dan tidak konstan.

Pertama misalkan tingkat panen konstan, $h(E,N) = h = \text{konstan}$, sehingga

$$h = F(N) = rN \left(1 - \frac{N}{K} \right). \quad (4)$$

Dalam hal ini MSY diperoleh ketika ukuran populasi N memberikan nilai h maksimum. Ukuran populasi optimum ini diberi simbol N^* , yang diperoleh dengan mempersamakan turunan pertama dari $F(N)$ terhadap N pada persamaan (4) dengan nol, yang dalam hal ini diperoleh

$$N^* = \frac{K}{2}. \quad (5)$$

Kemudian MSY diperoleh dengan memasukan nilai N^* ke dalam persamaan (4), sehingga diperoleh

$$h = h^* = \frac{rK}{4}. \quad (6)$$

Selanjutnya, jika tingkat eksploitasi tidak konstan tetapi merupakan fungsi dari tingkat usaha E , yang berbentuk

$$h(E, N) = qEN, \quad (7)$$

dengan q adalah koefisien penangkapan, yang selanjutnya kita asumsikan $q=1$, maka persamaan (2) menjadi

$$\frac{dN}{dt} = rN \left(1 - \frac{N}{K} \right) - EN. \quad (8)$$

Tingkat populasi pada saat kesetimbangan didapat dari $dN/dt=0$, yang dalam hal ini adalah

$$N^* = K \left(1 - \frac{E}{r} \right), \quad (9)$$

dengan tingkat usaha

$$E^* = r \left(1 - \frac{N}{K} \right). \quad (10)$$

Lebih jauh lagi apabila $r > E^*$, tingkat eksploitasi pada titik equilibrium diberikan oleh

$$h = E^* N^* = E^* K \left(1 - \frac{E^*}{r} \right), \quad (11)$$

yang biasa dinamakan *sustainable yield* dan grafiknya dinamakan *yield-effort curve*.

Berdasarkan uraian di atas, dapat disimpulkan bahwa tingkat eksploitasi maksimum diberikan oleh $MSY = \max$

$F(N) = \frac{rK}{4}$, yang diperoleh pada saat

populasi berjumlah $N_{MSY} = \frac{K}{2}$, dengan

usaha yang dikeluarkan sebesar

$$E_{MSY} = \frac{r}{2}.$$

3.2 Maximum Economic Yield (MEY)

MSY yang diperoleh pada bagian sebelumnya tidak mempertimbangkan aspek ekonomi. Pada bagian ini tingkat eksploitasi akan dicari dengan melibatkan aspek ekonomi dari proses eksploitasi. Asumsikan harga per unit hasil eksploitasi (panen, tangkapan) adalah konstan sebesar p , dan biaya eksploitasi porposional dengan besarnya usaha yang dikeluarkan, sehingga pendapatan (*revenue*) adalah $R = ph(E) = pEN$ dan biaya (*cost*) yang dikeluarkan adalah $C = cE$.

Maximum economic yield (MEY) atau hasil maksimum ekonomis, diperoleh dengan memaksimumkan selisih antara pendapatan dan biaya. Untuk mendapatkan nilai E_{MEY} , maksimumkan $R(E) - C(E)$ yang dapat diperoleh apabila $\frac{\partial(R(E) - C(E))}{\partial E} = 0$.

Dengan cara ini diperoleh $MEY = \max(pN - c)E$ (12)

pada saat

$$E_{MEY} = \frac{r(Kp - c)}{2Kp} \quad (13)$$

dan

$$N_{MEY} = \frac{Kp + c}{2p}. \quad (14)$$

Nilai N_{MEY} ini berlaku untuk eksploitasi dengan sumber alam yang bersifat *sole-ownership*. Apabila eksploitasi bersifat *open-access*, maka tingkat pendapatan sama persis dengan biaya yang harus dikeluarkan untuk jangka waktu yang panjang, yaitu $R(E) - C(E) = 0$ (Gordon, 1954). Dalam hal ini muncul *bionomic equilibrium*

$$N_{\infty} = \frac{c}{p} \quad (15)$$

pada tingkat usaha

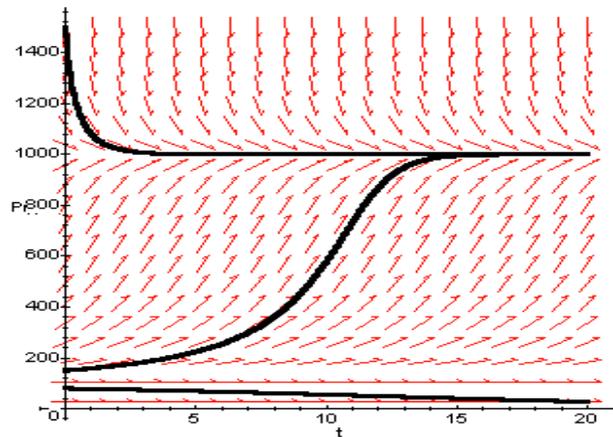
$$E_{\infty} = \frac{r(Kp - c)}{Kp}. \quad (16)$$

4 Model Bioekonomi untuk Persamaan Logistik dengan Ambang Batas Kepunahan

Pada bagian ini teori di atas akan diperluas untuk eksploitasi populasi yang tumbuh secara logistik apabila jumlah populasi berada di atas threshold tertentu, tetapi apabila jumlah populasi berada di bawah threshold tersebut maka populasi tersebut akan punah. Model pertumbuhan populasi dapat dibentuk sebagai modifikasi dari model pertumbuhan logistik yang mempunyai *carrying capacity* K dengan memberikan ambang batas kepunahan T

$$\frac{dN}{dt} = -r \left(1 - \frac{N}{T}\right) \left(1 - \frac{N}{K}\right) N, \quad (17)$$

dengan $r > 0$ dan $0 < T < K$. Jika nilai awal N kurang dari T maka $N(t)$ akan turun menuju kepunahan. Jika nilai awal N lebih dari T maka $N(t)$ akan mendekati *carrying capacity* K . Gambar berikut



memberikan ilustrasi tersebut di atas untuk nilai $K=1000$ dan $T=100$ dengan 3 buah nilai awal yang berbeda.

4.1 Maximum Sustainable Yield (MSY)

Jika populasi dengan pertumbuhan logistik yang mempunyai ambang batas kepunahan tersebut mengalami eksploitasi dengan tingkat

$h(E,N)$, maka laju pertumbuhan populasi menjadi

$$\frac{dN}{dt} = -rN \left(1 - \frac{N}{T}\right) \left(1 - \frac{N}{K}\right) - h(E,N). \quad (18)$$

Eksplotasi dikatakan berkelanjutan jika

$\frac{dN}{dt} = 0$, yang berarti

$$h(E,N) = -rN \left(1 - \frac{N}{T}\right) \left(1 - \frac{N}{K}\right). \quad (19)$$

Untuk mendapatkan MSY misalkan $h(E,N)$ konstan, yakni $h(E,N) = h$. MSY diperoleh setelah menyelesaikan persamaan $\frac{dh}{dN} = 0$, atau

$$TK - 2(T+K)N + 3N^2 = 0, \quad (20)$$

yang menghasilkan dua buah akar N_1^* dan N_2^* yang diberikan oleh

$$N_{1,2}^* = \frac{T+K \pm \sqrt{T^2 - TK + K^2}}{3}. \quad (21)$$

Selanjutnya dengan mensubstitusikan kedua nilai N^* ke dalam persamaan (19) diperoleh dua buah nilai h_1^* dan h_2^* , yaitu

$$h_{1,2}^* =$$

$$\frac{-r}{27TK} \left(-2T^3 + 3T^2K + 3TK^2 - 2K^3 \right) \pm \frac{r}{27TK} \left(2T^2 - 2TK + 2K^2 \right) C \quad (22)$$

dengan

$$C = \sqrt{T^2 - TK + K^2}.$$

Dalam hal ini $h_1^* > h_2^*$ maka h yang relevan sebagai MSY adalah h_1^* , yakni $MSY = h_1^*$ yang diberikan pada saat populasi berukuran $N_{MSY} = N_1^*$ pada persamaan (21). Selanjutnya E_{MSY} , MEY , N_{MEY} , E_{MEY} dan *bionomic equilibrium* dapat ditentukan dengan cara yang sama seperti pada bagian 3 (lihat Lestari (2001) untuk lengkapnya).

5 Penutup

Jika MSY suatu populasi dapat ditentukan secara tepat, maka eksploitasi pada level MSY ini tidak akan mengubah ukuran populasi, karena pertumbuhan mengalami apa yang dinamakan *zero growth rate* apabila populasi berada pada kesetimbangan ($N^*=K/2$ untuk kasus logistik dan N_1^* pada persamaan (21) untuk kasus logistik dengan ambang batas kepunahan).

Jika populasi berada di atas kesetimbangan, maka pada akhirnya eksploitasi akan membawa populasi kepada kesetimbangan. Sedangkan jika populasi sedikit saja berada di bawah kesetimbangan maka populasi pada akhirnya akan menuju ke kepunahan. Dalam hal ini MSY disebut semi-stabil (tidak stabil)

Secara teoritis eksploitasi pada tingkat MSY ini adalah strategi terbaik. Tetapi karena sulitnya menentukan nilainya yang eksak (misalnya dalam kasus perikanan laut, kita tidak pernah tahu berapa jumlah ikan sebenarnya, berapa besarnya nilai r dan K sebenarnya), maka strategi ini mempunyai resiko yang cukup besar, yaitu kepunahan species yang dieksploitasi (Larkin, 1977). Resiko ini diperparah lagi apabila ternyata populasi

yang dieksploitasi mempunyai ambang batas kepunahan T .

Andaikan kita tahu dengan tepat berapa nilai MSY suatu populasi maka eksploitasi pada tingkat MSY ini aman dan menguntungkan jika kita dapat menyisakan populasi tersebut sebanyak setengah dari carrying capacity ($N^*=K/2$). Akan tetapi kalau kita tidak menyadari bahwa sebenarnya ada threshold kepunahan T maka MSY (tepatnya *ignorant MSY*) menjamin punahnya populasi tersebut. Perhatikan persamaan (21), betapapun kecilnya T , misal $T \rightarrow 0$, maka jumlah populasi sisa eksploitasi harus minimal dua per tiga dari carrying capacity. Lebih jauh lagi jika $T \rightarrow K$ (bisa terjadi karena penurunan kualitas habitat) maka dalam hal ini rekomendasi dari persamaan (21) adalah konservasi total, yakni sama sekali tidak diperkenankan ada eksploitasi. Hal tersebut di atas mengindikasikan tentang pentingnya memasukan *viability threshold* dalam setiap perhitungan yang berkaitan dengan praktek eksploitasi sumber alam yang regeneratif atau pencarian konsep lain tentang objektif dalam manajemen sumber alam (Cunningham, 1981; Husniah, 1999).

Referensi:

- Austin, O.L. (1983). *Birds of the world*, Golden Press, New York, pp. 143-145.
- Clark, C.W. (1976). *Mathematical Bioeconomics: the Optimal Management of Renewable Resources*, John Wiley, New-York.
- Cunningham, S. (1981). The evolution of the objectives of fisheries management during the 1970's. *Ocean Management* 6: 251-278.
- Gordon, H.S. (1954). The economic theory of a common-property resource: the fishery. *Journal of Political Economy* 62: 124-142.
- Husniah, H. (1999). Confronting economy with nature: an action that could be done in interpreting the concept of sustainable development. *Jurnal Ilmiah Ilmu Pengetahuan dan Teknologi* 2: 28-30.
- Larkin, P.A. (1977). An epitaph for the concept of maximum sustainable yield. *Transaction of the American Fisheries Society* 106: 1-11.
- Lestari, M. (2001). Model bioekonomi untuk populasi dengan pertumbuhan logistik yang melibatkan ambang batas

- kepunahan. *Skripsi S-1*, Jurusan Matematika Unpad.
- Lindenmayer, D.B., Lacy, R.C., Thomas, V.C. & Clark, T.W. (1993). Predictions of the impacts of changes in population size and environmental variability on Leadbeater's possum, *Gymnobelideus leadbeateri* McCoy (Marsupialia: Petauridae) using population viability analysis: an application of the computer program VORTEX. *Wild. Res.* 20: 67-86.
- Schaefer, M.B. (1954). Some aspects of the dynamics of populations important to the management of the commercial marine fisheries. *Bulletin of the Inter-American Tropical Tuna Commission* 1: 27-56.

- Schaffer, M.L. (1981). Minimum population sizes for species conservation. *Bioscience* 31: 131-134.
- Supriatna, A.K. dan Possingham, H.P. (1998). Optimal harvesting for a predator-prey metapopulation. *Bulletin of Mathematical Biology.* 60: 49-65.
- Supriatna, A.K. dan Possingham, H.P. (1999). Harvesting a two-patch predator-prey metapopulation. *Natural Resource Modeling.* 12: 481-498.
- Tsur, Y. dan Zemel, A. (1994). Endanger species and natural resource exploitation: extinction vs. coexistence. *Natural Resource Modeling.* 8: 384-413.