



## Analisis Dinamik Model *Predator-Prey* pada Penyebaran *Grass Carp Fish* sebagai Biokontrol Populasi Eceng Gondok di Perairan Rawapening

Dwi Fahmi Ilmiawan<sup>1</sup>✉, Carnawi<sup>2</sup>, Duwanda Anwaristiawan<sup>2</sup>, Novanda Varantika<sup>2</sup>, Rifki Dwi Anisa<sup>3</sup>, Muhammad Kharis<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Jurusan Matematika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Semarang, Indonesia

<sup>2</sup>Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Semarang, Indonesia

<sup>3</sup>Jurusan IPA Terpadu, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Semarang, Indonesia

### Info Artikel

*Sejarah Artikel:*

Diterima February 2016

Disetujui Maret 2016

Dipublikasikan April 2016

*Keywords:*

*eceng gondok, grass carp fish, model predator prey, Rawapening*

### Abstrak

Eceng gondok merupakan tanaman invasif yang perlu dikontrol populasinya. Pengontrolan populasi eceng gondok dapat dilakukan dengan biokontrol *grass carp fish* dan pemanenan. Interaksi pada pengontrolan tersebut dinamakan model *predator-prey*. Pada penelitian ini, dibahas sistem dinamik model *predator-prey* dan pengaruh penyebaran biokontrol populasi eceng gondok di Rawapening. Model yang dikonstruksi dengan fungsi logistik dan respon Holling tipe III, karena sesuai dengan tipe ikan *grass carp* yang cenderung mencari mangsa lain ketika eceng gondok mulai berkurang. Keseimbangan kedua populasi terjadi pada titik  $E_0, E_1, E_2$ , dan  $E_3$  dengan beberapa syarat batas. Keempat titik keseimbangan berada dalam kondisi stabil dengan syarat tertentu pula. Pengaruh yang muncul di lapangan memberikan hasil yang positif. Di mana keberadaan ikan *grass carp* mampu menghambat pertumbuhan eceng gondok, meskipun belum terlihat secara signifikan. Nilai parameter yang diperoleh kemudian disimulasikan melalui program Maple. Hasil simulasi numerik menunjukkan kedua populasi akan mencapai keseimbangan lestari dalam jangka waktu sekitar 600 hari. Ketika kehadiran burung *predator* turut diikutsertakan, model berubah cukup drastis.

© 2016 Universitas Negeri Semarang

✉ Alamat korespondensi:

Gedung D7 Lantai 1, Sekaran, Semarang, 50229, Indonesia

E-mail: [ilmiawanfahmidwi@students.unnes.ac.id](mailto:ilmiawanfahmidwi@students.unnes.ac.id)

p-ISSN 2502-1958

## PENDAHULUAN

Eceng gondok (*Eichhornia crassipes*) merupakan spesies invasif di berbagai wilayah dunia (Penfound & Earle, 1948), tidak terkecuali di perairan Rawapening, Kab. Semarang. Pada tahun 2013, invasi eceng gondok mencapai 45% dari 2.035 ha luas permukaan Rawapening (Trisakti, *et al.*, 2014). Invasi ini terjadi sebagai akibat dari tingkat pertumbuhan eceng gondok yang begitu tinggi. Gutiérrez *et al.* (2001) menyebutkan bahwa satu batang eceng gondok mampu menghasilkan tumbuhan baru seluas 1 m<sup>2</sup> dalam waktu 52 hari. Menurut Dinas Peternakan dan Perikanan Kabupaten Semarang sebagaimana dikutip oleh Soeprbowati (2012), laju pertumbuhan eceng gondok sebesar 7,1% per tahun sehingga pertumbuhannya dapat mencapai 37,6 kali dalam 1 tahun.

Permasalahan yang muncul akibat invasi eceng gondok diantaranya terjadi pada aspek kesehatan, produksi pangan, navigasi, skema pembangkit listrik tenaga air, skema irigasi dan rekreasi (Gopal, 1987). Namun demikian, keberadaan eceng gondok juga dapat dimanfaatkan untuk menyerap zat organik, anorganik serta logam berat lain (Hasan *et al.*, 2010). Melihat masalah dan manfaat dari eceng gondok, maka pengontrolan eceng gondok perlu dilakukan agar populasi eceng gondok tidak terlalu berlebihan.

Pengontrolan eceng gondok dapat dilakukan dengan herbivora maupun pemanenan secara langsung. Herbivora berfungsi sebagai biokontrol sedangkan pemanenan berfungsi untuk mengoptimalkan manfaat eceng gondok. Herbivora yang digunakan adalah ikan *grass carp*, dimana ikan ini telah terbukti mampu menurunkan 2/3 penutupan eceng gondok di danau Kerinci menjadi 5% hanya dalam waktu dua tahun (Pekab. Kerinci, 2011). Menurut Soeprbowati (2012), ikan *grass carp* mampu mengkonsumsi eceng gondok hingga 1,5 kali berat tubuhnya.

Pengontrolan eceng gondok yang dilakukan mengakibatkan terjadinya dinamika populasi yang senantiasa berubah terhadap

waktu. Interaksi pengontrolan secara matematis dapat dimodelkan dengan persamaan differensial, yakni model *predator-prey*, yang dapat digunakan untuk mengontrol populasi spesies dimasa mendatang. Pemodelan eceng gondok dilakukan Guiterez *et al.* (2001) untuk mensimulasikan pertumbuhan eceng gondok dengan acuan pemanenan minimal. Hal serupa dilakukan Wilson *et al.* (2001) dengan membuat model dinamika biomassa eceng gondok dengan menggunakan biokontrol kumbang penggerek. Parameter pengontrolan dengan biokontrol ikan *grass carp* yang terjadi di perairan Rawapening dapat digunakan sebagai acuan dalam mengontrol dan meramalkan populasi eceng gondok di masa mendatang.

Ikan *grass carp* dikenal sebagai ikan yang rakus. Akibatnya, ikan ini banyak digunakan sebagai biokontrol gulma perairan, tidak terkecuali gulma eceng gondok. Pekab. Kerinci (2011) menggunakan ikan *grass carp* pada tahun 1995-1996 untuk menurunkan angka penutupan eceng gondok di danau Kerinci dari 2/3 penutupan hingga tersisa 5% saja. Menurut Pipalova sebagaimana dikutip oleh Soeprbowati (2012), efektifitas ikan *grass carp* sebagai biokontrol dipengaruhi oleh kerapatan, umur/ukuran, durasi *stocking* dan temperatur. Pada kondisi yang optimal, ikan *grass carp* dapat mengkonsumsi eceng gondok hingga mencapai 1,5 kali bobot tubuh ikan *grass carp* (Soeprbowati, 2012).

Model *predator-prey* merupakan model interaksi antar makhluk hidup dalam suatu ekosistem tertentu. Interaksi yang terjadi yakni proses makan dan dimakan yang mengakibatkan populasi *predator-prey* mengalami dinamika. Model *predator-prey* diberikan oleh Barnes & Fulford (2002) melalui Sistem 2.1.

$$\begin{aligned}\frac{dP}{dt} &= rP \left(1 - \frac{r}{c}\right) - bPX, \\ \frac{dX}{dt} &= bPX - aX,\end{aligned}$$

dengan P populasi *predator* dan X populasi *prey*. Diasumsikan  $r, C, b, a > 0$ , mengingat setiap populasi berpotensi untuk berkembang biak. Laju interaksi model

predator-prey ( $b$ ) dapat bersifat garis lurus, kurva maupun sigmoid. Sifat tersebut dipengaruhi oleh tipe *predator* dalam memangsa *prey*. Ketiga sifat tersebut dikenal sebagai fungsi respon Holling tipe I, II, dan III. Pemodelan eceng gondok telah dilakukan oleh Gutierrez *et al* (2001) dan Wilson *et al* (2001) dengan variabel eceng gondok berupa biomassa.

## METODE

Penelitian ini dilakukan di Lab. Matematika, Unnes, untuk membangun dan menganalisis model *predator-prey* eceng gondok dan ikan *grass carp*. Selain itu, penelitian dilakukan di perairan Rawapening untuk memperoleh parameter model di lapangan, dengan analisis kimia dilakukan di Lab.Kimia, Unnes.

Model dibangun berdasarkan pustaka acuan yang relevan, kemudian dianalisis sehingga solusinya dapat ditemukan. Langkah pencariannya yakni (1) menentukan titik kesetimbangan, dimana titik  $x_0 \in R^n$  titik kesetimbangan sistem  $\dot{x} = f_i(x)$  jika  $f_i(x_0) = 0$  (Perko, 1991), (2) menentukan matriks Jacobian

$$J(x, y) = \begin{bmatrix} \frac{\partial f_1(x,y)}{\partial x} & \frac{\partial f_1(x,y)}{\partial y} \\ \frac{\partial f_2(x,y)}{\partial x} & \frac{\partial f_2(x,y)}{\partial y} \end{bmatrix}$$

(Purnamasari *et al.*, 2006), (3) menentukan nilai eigen  $\lambda$ , dimana sistem  $\dot{x} = f_i(x)$  mempunyai solusi nontrivial jika dan hanya jika  $\det(\lambda I - J) = 0$  (Barnes & Fulford, 2002), dan (4) menentukan kestabilan titik kesetimbangan dari sifat nilai eigen. Misalkan  $\delta = \det J$  dan  $\tau = \text{trace} J$ , berlaku (a) jika  $\delta < 0$  maka sistem  $\dot{x} = f_i(x)$  mempunyai *saddle point*, (b) jika  $\delta > 0$  dan  $\tau^2 - 4\delta \geq 0$  maka sistem  $\dot{x} = f_i(x)$  mempunyai *node point*, dimana titik tersebut stabil jika  $\tau < 0$  dan tidak stabil jika  $\tau > 0$ , (c) jika  $\delta > 0$ ,  $\tau^2 - 4\delta < 0$ , dan  $\tau \neq 0$  maka sistem  $\dot{x} = f_i(x)$  mempunyai *spiral point*, dimana titik tersebut stabil jika  $\tau < 0$  dan tidak stabil jika  $\tau > 0$ , serta (d) jika  $\delta > 0$  dan  $\tau > 0$  maka sistem  $\dot{x} = f_i(x)$  mempunyai *center point* (Perko, 1991).

Nilai parameter model ditentukan berdasarkan studi lapangan yang dilakukan di

perairan Rawapening, dengan langkah-langkah sebagai berikut.

- 1) Kerambadigunakan untuk mempersempit ruang lingkup penelitian dengan ukuran  $4 \times 4 \text{ m}^2$ , yang terbagi menjadi 4 petak dengan perlakuan yang berbeda.
- 2) Pengukuran suhu air dilakukan secara langsung dengan thermometer, sedangkan pengukuran kualitas air dilakukan di laboratorium kimia.
- 3) Sebelum disebar di petak keramba, biomassaawal eceng gondok terlebih dahulu ditimbang. Selanjutnya, populasi eceng gondok diamati setiap dua minggu sebanyak tiga kali. Parameter eceng gondok yang di amati yakni laju pertumbuhan dan daya dukung lingkungan. Parameter yang tidak diukur adalah laju pemanenan eceng gondok, yang dalam pembangunan model nantinya akan diasumsikan berdasarkan data sekunder. Banyaknya eceng gondok yang disebar adalah sebanyak 2.000 gram pada setiap petak keramba.
- 4) Sebelum disebar di petak keramba, biomassa awal ikan *Grass carp* terlebih dahulu ditimbang. Selanjutnya, populasi ikan *Grass carp* diamati setiap dua minggu sebanyak tiga kali. Parameter ikan *Grass carp* yang di amati yakni laju pertumbuhan, laju kematian, serta laju pemangsaan dan kejenuhan terhadap eceng gondok. Parameter yang tidak diamati adalah laju pemanenan ikan *Grass carp*, yang dalam pembangunan model nantinya akan diasumsikan sesuai kebutuhan. Banyaknyaikan *Grass carp* yang disebar adalah sebanyak 250 gram, 500 gram, dan 750 gram pada setiap petak keramba.

Simulasi numerik dilakukan dengan memasukan nilai parameter yang diperoleh dari studi lapangan ke dalam model *predator-prey* yang dibangun sehingga dapat dilihat pola dinamika populasi eceng gondok akibat berinteraksi dengan ikan *grass carp* sebagai biokontrol pemangsa eceng gondok di perairan Rawapening. Simulasi numerik dilakukan dengan menggunakan program maple

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

Ikan *grass carp*,  $P$ , sebagai *predator* eceng gondok,  $K$ , (Soeprbowati, 2012) dapat memangsa tanaman lain, namun lebih memilih pakan yang diminatinya saja (Babo *et al.*, 2013). Berdasarkan fakta tersebut, interaksi kedua populasi diasumsikan mengikuti fungsi respon Holling tipe III dengan populasi eceng gondok mengikuti model pertumbuhan logistik. Selain interaksi kedua populasi, faktor yang mempengaruhi dinamika kedua populasi adalah pemanenan yang terjadi pada eceng gondok (Wibisono, 2014) dan ikan *grass carp* (Soeprbowati, 2012). Model *predator-prey* kemudian mengalami modifikasi ketika data di lapangan menunjukkan adanya burung *predator* bagi ikan *grass carp*,  $M$ . Hasil kontruksi model *predator-prey* diberikan oleh Sistem (1) dengan semua parameter bernilai positif, kecuali  $h$  dan  $\rho$  yang dapat bernilai nol ketika tidak ada pemanenan yang dilakukan.

$$\begin{aligned} \frac{dP}{dt} &= P \left[ r \left( 1 - \frac{P}{C} \right) - h - \frac{qPK}{a^2 + P^2} \right], \\ \frac{dK}{dt} &= K \left( \frac{nP^2}{a^2 + P^2} - \rho - \mu - yM \right), \\ \frac{dM}{dt} &= M(yK - \beta). \end{aligned} \tag{1}$$

Keseimbangan Sistem (1) terjadi pada empat titik, yakni  $E_0(0, 0, 0)$ ,  $E_1(P_1, 0, 0)$ ,  $E_2(P_2, K_2, 0)$  dan  $E_3(P_3, K_3, M_3)$  dengan

$$\begin{aligned} P_1 &= C \left[ 1 - \frac{h}{r} \right] > 0, P_2 = a \sqrt{\frac{\rho + \mu}{n - (\rho + \mu)}} > 0, \\ K_2 &= \frac{an}{q(\rho + \mu)} \sqrt{\frac{\rho + \mu}{n - (\rho + \mu)}} \left( r - h - \frac{ar}{c} \sqrt{\frac{\rho + \mu}{n - (\rho + \mu)}} \right) > 0, \\ K_3 &= \frac{\beta}{y} > 0, M_3 = \frac{1}{y} \left[ \frac{nP_3^2}{a^2 + P_3^2} - \rho - \mu \right] > 0, \end{aligned}$$

dan  $P_3$  merupakan akar-akar real positif dari polinomial  $P^3 - P^2C \left[ 1 - \frac{h}{r} \right] + P \left[ a^2 + \frac{qC\beta}{ry} \right] - Ca^2 \left[ 1 - \frac{h}{r} \right] = 0$ .

Kestabilan Sistem (1) terjadi pada  $E_0$  jika  $h > r$ , pada  $E_1$  jika  $a \sqrt{\frac{\rho + \mu}{n - (\rho + \mu)}} > C \left( 1 - \frac{h}{r} \right)$ , pada  $E_2$  jika  $F_1 > 0$  dan  $F_1^2 < F_1(\beta - F_3)$   
 $< \frac{F_2q(\rho + \mu)}{n} < \frac{(\beta - F_1 - F_3)(F_1F_3 + \frac{F_2q(\rho + \mu)}{n} - \beta F_1)}{\beta - F_3}$

dengan

$$\begin{aligned} F_1 &= \left[ r - h - \frac{ar}{c} \sqrt{\frac{\rho + \mu}{n - (\rho + \mu)}} \right] \left[ 1 - \frac{2}{n(n - \rho - \mu)} \right] - \\ &\quad \frac{ar}{c} \sqrt{\frac{\rho + \mu}{n - (\rho + \mu)}}, \\ F_2 &= \frac{2n^2a^4}{q(n - \rho - \mu)} \left[ r - h - \frac{ar}{c} \sqrt{\frac{\rho + \mu}{n - (\rho + \mu)}} \right] \text{ dan} \\ F_3 &= \frac{any}{q(\rho + \mu)} \sqrt{\frac{\rho + \mu}{n - (\rho + \mu)}} \left[ r - h - \right. \\ &\quad \left. \frac{ar}{c} \sqrt{\frac{\rho + \mu}{n - (\rho + \mu)}} \right], \end{aligned}$$

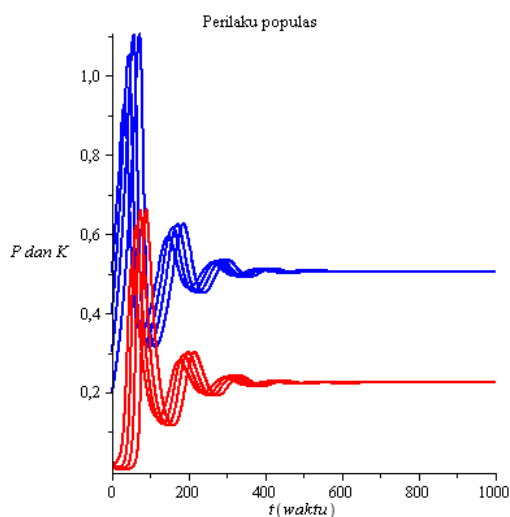
serta pada  $E_3$  jika  $r - h - \frac{2rP_3}{c} - \frac{2qa^2\beta P_3}{y(a^2 + P_3^2)^2} < 0$ .

Berdasarkan teorema keseimbangan, kondisi seimbang terjadi ketika ketiga populasi punah, hanya populasi eceng gondok yang bertahan, hanya populasi ikan *grass carp* yang punah, atau ketiga populasi bertahan. Kondisi keseimbangan dapat tercapai jika Sistem (1) berada dalam kondisi stabil. Artinya, dinamika yang terjadi pada ketiga populasi seluruhnya bergerak menuju titik keseimbangan atau disekitar titik keseimbangan seiring dengan peningkatan waktu,  $t$ . Sifat kestabilan yang muncul menggambarkan pola pergerakan populasi yang terjadi sebelum mencapai titik keseimbangan. Sifat kestabilan akan terlihat jelas ketika dilakukan simulasi numerik

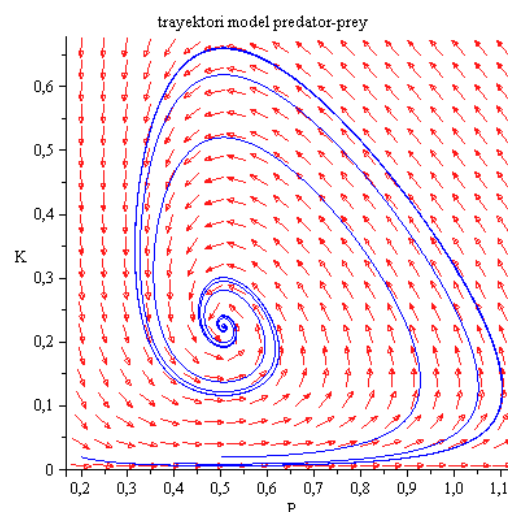
Pengaruh populasi ikan *grass carp* terhadap ekosistem di perairan Rawapening, khususnya populasi eceng gondok diberikan melalui nilai-nilai parameter model *predator-prey* pada Tabel 1. Salah satu kriteria untuk menentukan apakah perangkat layak digunakan yaitu apabila perangkat pembelajaran dimaksud telah divalidasi oleh para ahli dan simpulannya dalam kategori valid. Para ahli melakukan validasi isi perangkat yang dikembangkan pada tahap desain. Saran para ahli digunakan untuk menyempurnakan perangkat pembelajaran. Perangkat pembelajaran yang dikembangkan berupa BS, silabus, RPP, LKS, dan THB. Kelima komponen perangkat pembelajaran tersebut telah dinilai oleh lima validator. Hasil penilaian dan keterangan revisi yang dilakukan terhadap kelima perangkat pembelajaran tersebut dapat dilihat pada Tabel 1.

**Tabel 1.** Nilai parameter Model *Predator-Prey*

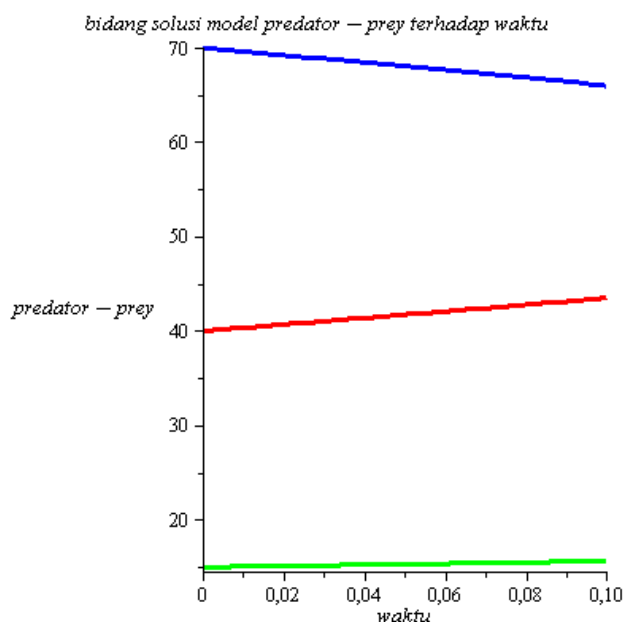
Parameter	$r$	$C$	$h$	$q$	$a$	$n$	$\mu$	$\rho$	$y$	$\beta$
Nilai	0,027	925	0,00038	1	2	1	0,04	0,02	0,01	0,0005



**Gambar 1.** Perilaku populasi P dan K  
\*(M=0 tidak diikutsertakan).



**Gambar 2.** Trayektori populasi P dan K



**Gambar 3.** Perilaku populasi P, K, dan M

Gambar 1 menunjukkan dinamika populasi P dan K seiring dengan peningkatan waktu,  $t$ . Populasi eceng gondok,  $P$ , dilukiskan dengan garis berwarna biru sedangkan populasi ikan *grass carp*,  $K$ , dengan garis berwarna merah. Populasi P dan K meningkat secara

signifikan sebelum kemudian menurun secara signifikan pula. Peningkatan dan penurunan ini terus berlangsung dengan amplitudo yang semakin kecil (amplitudo mendekati nol ketika waktu mendekati tak terhingga). Pada kondisi tersebut, kedua populasi berada dalam kondisi

yang stabil, dengan populasi eceng gondok stabil pada garis konstan  $P = 0.5$  sedangkan populasi ikan *grass carp* stabil pada garis konstan  $K = 0.2$ .

Gambar 2 menunjukkan pola perilaku yang terjadi pada populasi  $P$  dan  $K$ . Pola perilaku tersebut diperlihatkan oleh pergerakan semua trayektoriyang menuju titik kesetimbangan  $E_2$  secara spiral sehingga  $E_2$  *stable spiral point*. Dengan demikian, kedua populasi dapat hidup secara bersamaan. Model ini memprediksi kedua populasi akan mencapai titik keseimbangan dalam waktu sekitar 600 hari. Prediksi berlaku terjadi jika semua parameter yang terlibat dapat dikondisikan agar memenuhi asumsi yang digunakan.

Gambar 3 menunjukkan dinamika populasi  $P$ ,  $K$ , dan  $M$  seiring dengan peningkatan waktu,  $t$ . Populasi burung top predator,  $M$ , dilukiskan dengan garis berwarna hijau. Populasi  $P$  mengalami penurunan sedangkan populasi  $K$  dan  $M$  mengalami peningkatan seiring bertambahnya waktu,  $t$ . Ketiga populasi akan berada dalam kondisi stabil pada garis konstan  $P = 910$ ,  $K = 0.05$ , dan  $M = 49.23$ .

Pengkondisian parameter dapat dilakukan dengan merevitalisasi semua faktor-faktor penyebab yang terlibat, diantaranya yaitu:

- 1) Memperbaiki kualitas air di Rawapening untuk memperkecil laju pertumbuhan eceng gondok dan daya dukung lingkungan eceng gondok. Selain itu, kualitas air yang buruk juga dapat mengganggu kelangsungan hidup ikan *grass carp*.
- 2) *Stocking* ikan *grass carp*. Keberadaan ikan *grass carp* yang cukup akan semakin memberikan dampak terhadap pengurangan populasi eceng gondok. Hal ini sesuai dengan Pipalova dalam Soeprbowati (2012) yang mengungkapkan bahwa keberhasilan biokontrol eceng gondok menggunakan ikan koan (red: ikan *grass carp*) tergantung pada kerapatan ikan,

umur/ukuran, durasi *stocking*, dan temperatur.

*Optimalisasi* pemanenan eceng gondok. Jika pemanenan eceng gondok dapat dioptimalisasi dengan baik, laju pengurangan penutupan eceng gondok dapat semakin cepat tercapai. Selain itu, hal tersebut juga akan menjadi sumber ekonomi yang kuat. Untuk itu, pemanfaatan eceng gondok dalam berbagai macam sektor perlu ditingkatkan, seperti kreativitas masyarakat dalam membuat kerajinan, pemanfaatan eceng gondok untuk membuat kertas, tisu, dan sebagainya.

## SIMPULAN

Model *predator-prey* pada penyebaran *grass carp fish* sebagai biokontrol populasi eceng gondok di perairan Rawapening yakni

$$\begin{aligned}\frac{dP}{dt} &= P \left[ r \left( 1 - \frac{P}{C} \right) - h - \frac{qPK}{a^2 + P^2} \right], \\ \frac{dK}{dt} &= K \left( \frac{nP^2}{a^2 + P^2} - \rho - \mu - yM \right), \\ \frac{dM}{dt} &= M(yK - \beta),\end{aligned}$$

dengan  $P, K, M$  berturut-turut merupakan populasi eceng gondok, ikan *grass carp*, dan burung top predator. Keseimbangan sistem terjadi dengan stabil ketika ketiga populasi punah, hanya populasi  $P$  yang bertahan, hanya populasi  $M$  yang punah, atau ketiga populasi bertahan. Pengaruh penyebaran *grass carp fish* sebagai biokontrol populasi eceng gondok di perairan Rawapening ditunjukkan melalui nilai parameter model, terutama parameter  $q, n$ , dan  $a$  yang berturut-turut 1, 1, 2. Jika burung top predator diabaikan,  $P$  stabil di garis  $P = 0.5$  dan  $K$  stabil di garis  $K = 0.2$  yang diprediksi terjadi dalam waktu sekitar 600 hari dengan kondisi awal  $(P, K) = (0.5, 0.02)$ . Jika burung top predator tidak diabaikan, ketiga populasi stabil pada garis konstan  $P = 34.499$ ,  $K = 0.05$ , dan  $M = 49.23$  dengan kondisi awal  $(P, K, M) = (70, 40, 15)$ .

## DAFTAR PUSTAKA

- Babo, D., J. Sampekalo, & H. Pangkey. 2013. Pengaruh Beberapa Jenis Pakan Hijauan terhadap Pertumbuhan Ikan *Grass carp Stenopharyngodon Idella*. *Budidaya Perairan*, 1(3): 1-6.
- Barnes, B & G.R. Fulford. 2002. *Mathematical Modelling with Case Studies (a Differential Equation Approach using Maple)*. London: Taylor & Francis.
- Gopal, B. 1987. *Water Hyacinth*. Elsevier, Amsterdam.
- Gutiérrez, E.L., E.F. Ruiz, E.G. Uribe & J.M. Martínez. 2001. Biomass and Productivity of Water Hyacinth and Their Application in Control Programs. *ACIAR Proceeding 102*.
- Hasan, S.H., D. Ranjan, & M. Talat. 2010. Water Hyacinth Biomass (WHB) for the Biosorption of Hexavalent Chromium: Optimization of Process Parameters. *BioResources*, 5(2): 563-575.
- Pemerintah Kabupaten Kerinci. 2011. *Upaya Penanganan Eceng Gondok di PUD Danau Kerinci*. Dipresentasikan pada Konferensi Nasional Danau Indonesia II, Semarang.
- Penfound, W.T. & T.T. Earle. 1948. Biology of the Water Hyacinth. *Ecological Monographs*. 18: 447-472.
- Perko, L. 1991. *Differential Equation and Dynamical System*. New York: Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Purnamasari, D., Faisal, & A.J. Noor. 2009. Kestabilan Sistem Predator-Prey Leslie. *Jurnal Matematika Murni dan Terapan*, 3(2): 51-59.
- Soeprbowati, T.R. 2012. Mitigasi Danau Eutrofik: Studi Kasus Danau Rawapening. *Prosiding Seminar Nasional Limnologi IV*.
- Trisakti, B., N. Suwargana, & J.S. Cahyono. 2014. Pemanfaatan Data Penginderaan Jauh untuk Memantau Parameter Status Ekosistem Perairan Danau (Studi Kasus: Danau Rawa Pening). *Seminar Nasional Penginderaan Jauh*.
- Wibisono, R., B.H. Armadi, & B. Feriyanto. 2014. Eceng Gondok, Masalah menjadi Manfaat. *SNTMUT*, 978-602-70012-0-6.
- Wilson, J.R., M. Rees, N. Holst, M.B. Thomas, & G. Hill. 2001. Water Hyacinth Population Dynamics. *ACIAR Proceeding 102*, 96-104.