

MODEL LOTKA-VOLTERRA YANG MEMPERTIMBANGKAN EFEK KETAKUTAN PADA PREY DENGAN FUNGSI RESPON HOLLING TIPE II

Ruli Rahmawati

Program Studi Matematika, FMIPA, Universitas Negeri Surabaya

e-mail : ruli.19016@mhs.unesa.ac.id

Dian Savitri

Program Studi Matematika, FMIPA, Universitas Negeri Surabaya

Penulis Korespondensi : diansavitri@unesa.ac.id

Abstrak

Interaksi antar populasi pada ekosistem sawah antara burung hantu (*Tyto alba*) dengan tikus sawah (*Rattus argentiventer*) direpresentasikan sebagai model predator-prey yang mempertimbangkan efek ketakutan. Interaksi dua populasi ini menggunakan fungsi respon Holling tipe II. Model predator-prey ini dikonstruksi berdasarkan asumsi perilaku prey yaitu tikus sawah yang memiliki efek ketakutan terhadap predator burung hantu. Berdasarkan beberapa jurnal rujukan yang dikembangkan dengan pola pemangsa menggunakan fungsi respon Holling tipe II. Analisis perhitungan pada penelitian ini dilakukan dengan mencari titik kesetimbangan dan analisis kestabilan. Hasil analisis didapatkan titik kesetimbangan $E_0 = (0,0)$, $E_1 = (\frac{\alpha}{s}, 0)$, $E_2 = (\frac{\mu m}{g-\mu}, \frac{-B+\sqrt{B^2-4AC}}{2A})$ dan $E_3 = (\frac{\mu m}{g-\mu}, \frac{-B-\sqrt{B^2-4AC}}{2A})$ dengan $A = bfg^2 - 2bfg\mu + bf\mu^2 > 0$, $B = fgm^2\mu s + bg^2 - 2bg\mu + b\mu^2$, $C = m^2s\mu g - ag^2m + a\mu mg$. Hasil analisis kestabilan didapatkan titik $E_0 = (0,0)$ tidak stabil, $E_1 = (\frac{\alpha}{s}, 0)$ stabil dengan syarat $g > \frac{\mu}{\alpha}(a + ms)$ artinya kepunahan populasi predator terjadi saat konversi biomassa prey ke predator lebih besar dari kompetisi intra spesies prey, titik E_2 dan E_3 stabil dengan syarat $g > \mu$ artinya populasi prey dan predator tetap ada saat konversi biomassa prey ke predator lebih dari kematian alami predator. Simulasi numerik dilakukan untuk mengetahui kesesuaian hasil analisis dengan menggunakan aplikasi *Phyton*. Hasil simulasi numerik terhadap solusi sistem didapatkan konversi biomassa prey ke predator dengan berpengaruh pada kestabilan kedua populasi.

Kata Kunci: Lotka-Volterra, efek ketakutan, Holling II.

Abstract

The predator-prey interaction in the paddy field ecosystem between the owl (*Tyto alba*) and the field rat (*Rattus argentiventer*) is represented as a predator-prey model that takes the effect of fear into account. The interaction of these two populations uses a type II Holling response function. This predator-prey model is constructed based on the assumption of prey behavior, namely field mice which have a fear effect on owl predators. Based on several reference journals that were developed with a predation pattern using the type II Holling response function. Calculation analysis in this study was carried out by finding the equilibrium point and stability analysis. The results of the analysis show that the equilibrium point $E_0 = (0,0)$, $E_1 = (\frac{\alpha}{s}, 0)$, $E_2 = (\frac{\mu m}{g-\mu}, \frac{-B+\sqrt{B^2-4AC}}{2A})$ and $E_3 = (\frac{\mu m}{g-\mu}, \frac{-B-\sqrt{B^2-4AC}}{2A})$ with $A = bfg^2 - 2bfg\mu + bf\mu^2 > 0$, $B = fgm^2\mu s + bg^2 - 2bg\mu + b\mu^2$, $C = m^2s\mu g - ag^2m + a\mu mg$. The results of the stability analysis at the equilibrium point show that $E_0 = (0,0)$ unstable, $E_1 = (\frac{\alpha}{s}, 0)$ is stable provided $g > \frac{\mu}{\alpha}(a + ms)$ means that prey populations exist and predator populations become extinct when the conversion of prey biomass to predators is greater than intra-prey competition, the points E_2 dan E_3 is stable provided $g > \mu$ means that the prey and predator populations remain when the conversion of prey biomass to predators is greater than the natural death of predators. Numerical simulations were carried out to determine the suitability of the results of the analysis using the *Python* application. The results of numerical simulations of the system solution show that the conversion of prey to predator biomass with the parameter g affects the stability of both populations.

Keywords: Lotka-Volterra, effect of fear, Holling II.

PENDAHULUAN

Interaksi makhluk hidup yang terjadi pada ekosistem alam dapat saling mempengaruhi dan memberi efek satu sama lain. Saat berinteraksi,

terdapat hubungan timbal balik antara makhluk hidup dengan makhluk hidup dan makhluk hidup dengan lingkungannya. Ilmu yang mempelajari tentang interaksi makhluk hidup disebut ilmu ekologi (Miller dan Spoolman, 2010). Interaksi pada

ekologi yang paling signifikan dan mudah diamati yaitu interaksi predatorisme yang merupakan hubungan bersifat memangsa dan dimangsa. Efek interaksi predatorisme dibagi menjadi dua, efek secara langsung yakni termangsanya prey dan efek tidak langsung yakni efek ketakutan yang dapat mempengaruhi kondisi fisiologis prey sehingga bisa mengalami kerugian jangka panjang (Mondal dkk., 2021). Kerugian yang dialami prey dari efek ketakutan yaitu semakin banyak waktu dan energi yang dihabiskan dengan rasa takut maka akan semakin sedikit waktu dan energi yang digunakan untuk mencari makanan sehingga pertumbuhan prey terhambat. Efek ketakutan juga memaksa prey untuk meninggalkan habitat sementara, sehingga tingkat reproduksi dapat menurun dalam jangka panjang (Sasmal dan Takeuchi, 2019). Interaksi predator-prey terjadi pada ekosistem sawah antara burung hantu (*Tyto alba*) dengan tikus sawah (*Rattus argentiventer*). Suara burung hantu dapat meningkatkan kewaspadaan pada tikus sawah. Burung hantu membutuhkan waktu untuk mencari, memangsa, dan menghabiskan tikus sawah. Populasi burung hantu sebagai musuh alami tikus sawah dapat memberikan efek ketakutan yang tinggi (Savitri dan Jakfar, 2021). Efek ketakutan yang dialami tikus sawah akibat suara burung hantu yang terdengar dari jarak jauh. Tikus sawah berkelompok dan bersembunyi untuk menghindari serangan burung hantu (Caro, 2005). Interaksi predator-prey pada ekosistem sawah dapat dikaji sebagai pertimbangan dalam mengurangi serangan tikus sawah yang menyerang tanaman padi.

Beberapa penelitian terdahulu membahas model predator-prey dengan efek ketakutan, diantaranya Kundu dkk. (2018) mempertimbangkan efek ketakutan pada prey. Efek ketakutan juga mempengaruhi dinamika pada model hama dan predator (Savitri dan Jakfar, 2021). Variasi parameter pada efek ketakutan dapat mengubah dinamika sistem (Vinoth dkk, 2021). Srivastava dkk. (2022) juga mempertimbangkan efek ketakutan pada model kompetisi antar populasi. Perilaku efek ketakutan dapat dimodelkan dengan ilmu matematika. Artikel ini membahas secara matematis interaksi predator-prey pada ekosistem sawah antara burung hantu (*Tyto alba*) dengan tikus sawah (*Rattus argentiventer*). Interaksi antara burung hantu dengan tikus sawah menggunakan model Lotka-Volterra yang

mempertimbangkan efek ketakutan pada prey dengan fungsi respon Holling tipe II karena predator membutuhkan waktu untuk mencari, memangsa, dan menghabiskan prey. Penelitian ini dilakukan dengan mengkaji studi literatur, mengkonstruksi model predator-prey, menentukan titik kesetimbangan, melakukan analisis kestabilan, dan membuat simulasi numerik, serta menarik kesimpulan.

KAJIAN TEORI

MODEL PREDATOR-PREY

Model predator prey Lotka-Volterra dikenalkan oleh Alfred Lotka (1880-1949) dan Vito Volterra (1860-1940). Volterra memodelkan populasi prey tumbuh dan populasi predator berkurang. Lotka memodelkan laju pertumbuhan naik akibat konversi biomassa prey dan berkurang karena kematian alami (Knuuttila dan Loettgers, 2017). Model tersebut diasumsikan menggunakan sistem persamaan berikut.

$$\frac{dx}{dt} = ax - bxy, \quad (1)$$

$$\frac{dy}{dt} = gxy - \mu y. \quad (2)$$

Holling mengembangkan fungsi respon Holling tipe II dengan nama lain Michaelis-Menten terjadi pada predator yang berkarakteristik aktif dalam mencari prey dan memerlukan waktu untuk mencari, memangsa, dan menghabiskan prey. Fungsi respon Holling tipe II dinyatakan dengan (Panigoro, 2014).

$$F(x) = \frac{bx}{1+mx}. \quad (3)$$

MODEL PREDATOR-PREY DENGAN EFEK KETAKUTAN

(Kundu dkk, 2018) membahas model predator prey yang mengikuti model Lotka-Volterra, serta menggabungkan efek ketakutan pada prey. Model tersebut juga mempertimbangkan kompetisi intra-spesies prey. Parameter x menunjukkan populasi prey dan y menunjukkan populasi predator. Model predator-prey dengan efek ketakutan diasumsikan menggunakan sistem persamaan berikut.

$$\frac{dx}{dt} = \frac{ax}{(1+fy)} - cx - sx^2 - exy, \quad (4)$$

$$\frac{dy}{dt} = gxy - \mu y. \quad (5)$$

Parameter a, b, g, μ, m, f, c, s dan e pada persamaan (4) dan (5) menyatakan laju pertumbuhan prey, laju penangkapan maksimum prey oleh

predator, konversi biomassa prey ke predator kematian alami predator, waktu yang dibutuhkan predator untuk mencari mangsa dan menghabiskan prey, efek ketakutan prey terhadap predator, kematian alami prey, tingkat kompetisi intra-spesies prey, dan tingkat predasi. Semua parameter diasumsikan bernilai positif.

Berdasarkan model yang dibahas pada jurnal rujukan (Knuuttila dan Loettgers, 2017 & Panigoro, 2014 & Kundu dkk, 2018), tujuan dari penelitian ini untuk mengkonstruksi dan menganalisis model Lotka-Volterra yang mempertimbangkan efek ketakutan pada prey dengan fungsi respon Holling tipe II.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini merupakan jenis penelitian studi literatur dengan tahapan sebagai berikut: (1) melakukan studi literatur berdasarkan fenomena alam yang terjadi pada interaksi antara burung hantu dengan tikus sawah; (2) menentukan parameter berdasarkan perilaku alami burung hantu dengan tikus sawah; (3) mengkonstruksi model interaksi predator-prey menggunakan model Lotka-Volterra yang mempertimbangkan efek ketakutan pada prey dengan fungsi respon Holling Tipe II; (4) melakukan perhitungan untuk mencari titik kesetimbangan; (5) menganalisis kestabilan pada titik kesetimbangan dengan matriks Jacobi; (6) melakukan simulasi numerik menggunakan *software Python* untuk mengetahui kesesuaian antara hasil perhitungan dengan hasil simulasi; (7) Menarik kesimpulan berdasarkan hasil pada tahap sebelumnya.

HASIL DAN PEMBAHASAN

MODEL PREDATOR-PREY

Interaksi predator-prey dikonstruksi menggunakan asumsi berdasarkan perilaku alami dan penelitian terdahulu. Model interaksi predator-prey dikonstruksi sebagai berikut.

Pertumbuhan populasi prey

Kepadatan populasi prey dinyatakan sebagai x pada waktu t . Pertumbuhan populasi prey diasumsikan jika populasi predator tidak ada, maka a laju pertumbuhan prey naik. Laju pertumbuhan prey terhambat oleh f efek ketakutan dan berkurang dengan s kompetisi intra-spesies prey. Saat populasi

prey dianggap tidak ada karena terjadi predasi, maka laju pertumbuhan prey menurun. Laju pemangsaan maksimum prey oleh predator b terhambat dengan fungsi respon predator m yakni waktu yang dibutuhkan predator untuk mencari, memangsa, dan menghabiskan prey. Laju pertumbuhan prey dapat ditulis sebagai berikut:

$$\frac{dx}{dt} = \frac{ax}{1+fy} - sx^2 - \frac{bxy}{m+x} \tag{6}$$

Pertumbuhan populasi predator

Kepadatan populasi predator dinyatakan sebagai y pada waktu t . Pertumbuhan populasi predator diasumsikan setiap terjadi predasi, predator tumbuh sebanyak g konversi biomassa prey ke predator. Laju pertumbuhan predator terhambat oleh m fungsi respon. Ketika tidak terjadi predasi, predator berkurang sebanyak μ kematian alami. Laju pertumbuhan predator dapat dimodelkan sebagai berikut:

$$\frac{dy}{dt} = \frac{gxy}{m+x} - \mu y \tag{7}$$

Konstruksi model predator-prey

Laju pertumbuhan populasi prey dan laju pertumbuhan populasi predator dimodelkan sebagai berikut:

$$\frac{dx}{dt} = \frac{ax}{1+fy} - sx^2 - \frac{bxy}{m+x} \tag{8}$$

$$\frac{dy}{dt} = \frac{gxy}{m+x} - \mu y \tag{9}$$

Pada persamaan (8), laju pertumbuhan prey dipengaruhi oleh a laju pertumbuhan populasi dan terhambat oleh f tingkat ketakutan pada prey. Populasi prey berkurang dengan adanya s kompetisi intra-spesies prey dan b laju pemangsaan maksimum prey oleh predator yang terhambat oleh m waktu yang dibutuhkan predator untuk mencari, memangsa, dan menghabiskan prey. Pada persamaan (9), laju pertumbuhan populasi predator menggunakan model Lotka-Volterra. Fungsi respon predator terhadap prey menggunakan fungsi respon Holling tipe II. Pertumbuhan populasi predator dipengaruhi g konversi biomassa prey ke predator dan oleh m waktu yang dibutuhkan predator untuk mencari, memangsa, dan menghabiskan prey. Populasi predator berkurang dengan adanya μ kematian alami. Semua parameter predator-prey bernilai positif. Berbeda dengan model (Kundu dkk, 2018) pada artikel ini tidak mempertimbangkan kematian alami prey.

TITIK KESETIMBANGAN

Titik kesetimbangan (E) pada persamaan (8) dan (9) diperoleh dengan menyelesaikan $\frac{dx}{dt} = 0, \frac{dy}{dt} = 0$.

$$\frac{ax}{1+fy} - sx^2 - \frac{bxy}{m+x} = 0, \tag{10}$$

$$x = 0 \text{ atau } \frac{a}{1+fy} - sx - \frac{by}{m+x} = 0.$$

$$\frac{dy}{dt} = \frac{gxy}{m+x} - \mu y, \tag{11}$$

$$y = 0 \text{ atau } \frac{gx}{m+x} - \mu = 0.$$

Sehingga diperoleh empat titik kesetimbangan sebagai berikut:

$E_0 = (0,0)$. Artinya populasi predator-prey punah.

$E_1 = (\frac{a}{s}, 0)$ Artinya populasi prey eksis dan populasi predator punah.

$$E_2 = \left(\frac{\mu m}{g-\mu}, \frac{-B+\sqrt{B^2-4AC}}{2A} \right),$$

$$E_3 = \left(\frac{\mu m}{g-\mu}, \frac{-B-\sqrt{B^2-4AC}}{2A} \right),$$

$$\text{dengan } A = bfg^2 - 2bfg\mu + bf\mu^2,$$

$$B = fgm^2\mu s + bg^2 - 2bg\mu + b\mu^2,$$

$$C = m^2s\mu g - ag^2m + a\mu mg. \text{ Artinya populasi predator-prey eksis.}$$

ANALISIS KESTABILAN

Analisis kestabilan diperoleh dengan melihat nilai eigen hasil dari linearisasi persamaan (8) dan (9) menggunakan matriks Jacobi sebagai berikut:

$$J = \begin{bmatrix} \frac{a}{1+fy} - 2sx - \frac{by}{m+x} + \frac{bxy}{(m+x)^2} & -\frac{axf}{(1+fy)^2} - \frac{bx}{m+x} \\ \frac{gy}{m+x} - \frac{gxy}{(m+x)^2} & \frac{gx}{m+x} - \mu \end{bmatrix}.$$

Kestabilan pada titik kesetimbangan $E_0 = (0, 0)$.

Persamaan karakteristik matriks diperoleh $(a - \lambda)(-\mu - \lambda) = 0$, sehingga didapatkan nilai eigen $\lambda_1 = a$ atau $\lambda_2 = -\mu$. Semua nilai parameter diasumsikan positif, sehingga $\lambda_1 > 0$ dan $\lambda_2 < 0$ artinya titik kesetimbangan pada $E_0 = (0,0)$ tidak stabil bersifat pelana.

Kestabilan pada titik kesetimbangan $E_1 = (\frac{a}{s}, 0)$.

Persamaan karakteristik matriks diperoleh $-(a + \lambda)s(-m\mu s - \lambda ms + ag - a\mu - a\lambda) = 0$, sehingga didapatkan nilai eigen $\lambda_1 = -a$ atau $\lambda_2 = \frac{-m\mu s + ag - a\mu}{ms + a}$. Semua nilai parameter diasumsikan positif, sehingga $\lambda_1 < 0$ dan $\lambda_2 < 0$ artinya titik kesetimbangan pada $E_1 = (\frac{a}{s}, 0)$ stabil dengan syarat $g > \frac{\mu}{a}(a + ms)$, populasi prey eksis dan populasi predator punah saat konversi biomassa prey ke predator lebih besar dari kompetisi intra-spesies prey.

Kestabilan pada titik kesetimbangan $E_2 =$

$$\left(\frac{\mu m}{g-\mu}, \frac{-B+\sqrt{B^2-4AC}}{2A} \right) \text{ dan } E_3 = \left(\frac{\mu m}{g-\mu}, \frac{-B-\sqrt{B^2-4AC}}{2A} \right).$$

$$\lambda^2 - \left(\frac{a}{1+fy^*} - 2sx^* - \frac{by^*}{m+x^*} + \frac{bx^*y^*}{(m+x^*)^2} + \frac{gx^*}{m+x^*} - \mu \right) \lambda + \frac{gx^*}{m+x^*} \left(\frac{a}{1+fy^*} - 2sx^* - \frac{by^*}{m+x^*} + \frac{bx^*y^*}{(m+x^*)^2} \right) - \mu \left(\frac{a}{1+fy^*} + 2sx^* - \frac{by^*}{m+x^*} - \frac{bx^*y^*}{(m+x^*)^2} \right) - \left(-\frac{ax^*f}{(1+fy^*)^2} - \frac{bx^*}{m+x^*} \right) \left(\frac{gy^*}{m+x^*} - \frac{gx^*y^*}{(m+x^*)^2} \right) = 0. \text{ Sehingga diperoleh:}$$

$$A = 1,$$

$$B = \frac{a}{1+fy^*} - 2sx^* - \frac{by^*}{m+x^*} + \frac{bx^*y^*}{(m+x^*)^2} + \frac{gx^*}{m+x^*} - \mu =$$

$$\text{trace}(A),$$

$$C = \frac{gx^*}{m+x^*} \left(\frac{a}{1+fy^*} - 2sx^* - \frac{by^*}{m+x^*} + \frac{bx^*y^*}{(m+x^*)^2} \right) - \mu \left(\frac{a}{1+fy^*} + 2sx^* - \frac{by^*}{m+x^*} - \frac{bx^*y^*}{(m+x^*)^2} \right) - \left(-\frac{ax^*f}{(1+fy^*)^2} - \frac{bx^*}{m+x^*} \right) \left(\frac{gy^*}{m+x^*} - \frac{gx^*y^*}{(m+x^*)^2} \right) = \det(A). \text{ Disederhanakan menjadi:}$$

$$\lambda^2 - (\text{trace}(A))\lambda + \det(A), \text{ sehingga nilai eigennya adalah } \lambda_{1,2} = \frac{\text{trace}(A) \pm \sqrt{D}}{2}, \text{ dengan } D = (\text{trace}(A))^2 - 4\det(A).$$

Hasil substitusi $E_{2,3} = (x^*, y^*)$ menunjukkan $\text{trace}(A) < 0, \det(A) < 0, \lambda_1\lambda_2 < 0$ maka titik kesetimbangan di E_2 dan E_3 bersifat stabil dengan syarat $g > \mu$ artinya predator-prey eksis saat konversi biomassa prey ke predator lebih besar dari kematian alami predator.

SIMULASI NUMERIK

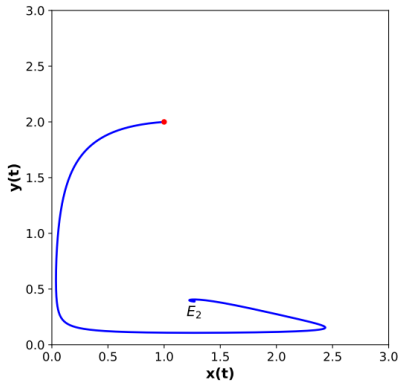
Simulasi numerik bertujuan untuk mengetahui kesesuaian hasil perhitungan secara numerik dengan analisis untuk menggambarkan kestabilan dan titik kesetimbangan pada nilai parameter yang berbeda. Nilai parameter berasal dari rujukan dan asumsi seperti pada Tabel 1 berikut:

Tabel 1. Nilai Parameter

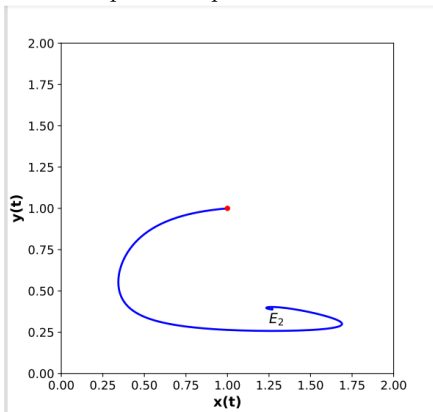
Parameter	Keterangan	Nilai	Referensi
a	Laju pertumbuhan prey	0.7	Asumsi
f	Efek ketakutan prey terhadap predator	2.2	Asumsi
s	Kompetisi intra-spesies prey	0.2	Kundu dkk., 2018
b	Laju penangkapan maksimum prey oleh predator	1	Vinoth dkk., 2021
m	Waktu yang dibutuhkan predator dalam mencari, memangsa, dan menghabiskan prey	1.9	Asumsi
g	Konversi biomassa	0.5	Kundu dkk.,

	prey ke biomassa predator		2018
μ	Tingkat kematian alami predator	0.2	Kundu dkk., 2018

Simulasi numerik dilakukan untuk menganalisis kesesuaian perhitungan dengan hasil simulasi pada *software python*. Penulis melakukan simulasi numerik dengan cara mengurangi nilai parameter g konversi biomassa prey ke predator yang bertujuan untuk mengetahui kestabilan solusi sistem pada nilai konversi biomassa prey ke predator yang berbeda.

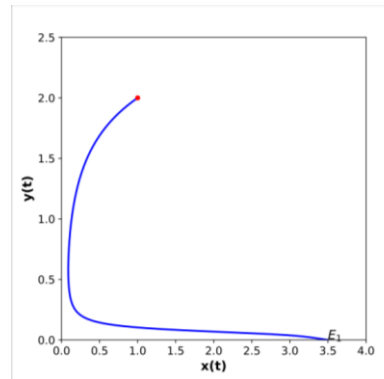


Gambar 1. Potret fase dari persamaan (8) dan (9) dengan nilai parameter pada Tabel 1 dan nilai awal (1,2).

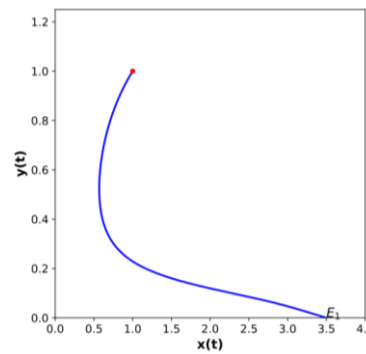


Gambar 2. Potret fase dari persamaan (8) dan (9) dengan nilai parameter pada Tabel 1 dan nilai awal (1,1).

Pada Gambar 1 dan 2 potret fase menuju titik kesetimbangan $E_2(1.3,0.4)$ dengan nilai eigen $\lambda_1 = -0.10201$ dan $\lambda_2 = -0.10201$. Potret fase dengan nilai awal (1,2) dan (1,1) tetap menuju titik kesetimbangan $E_2(1.3,0.4)$ artinya dengan nilai parameter yang sama dan nilai awal yang berbeda tetap stabil di titik kesetimbangan $E_2(1.3,0.4)$. Kestabilan di titik kesetimbangan $E_2(1.3,0.4)$ yang ditunjukkan pada potret fase tersebut artinya populasi predator-prey tetap ada. Hal ini sesuai dengan perhitungan analisis dan memenuhi syarat $g = 0.5 > \mu = 0.2$.



Gambar 3. Potret fase dari persamaan (8) dan (9) dengan nilai parameter $g = 0.1$ dan nilai awal (1,2).



Gambar 4. Potret fase dari persamaan (8) dan (9) dengan nilai parameter $g = 0.1$ dan nilai awal (1,1).

Pada Gambar 3 dan 4 potret fase menuju titik kesetimbangan $E_1(3.5,0)$ dengan nilai eigen $\lambda_1 = -0.7$ dan $\lambda_2 = -0.135$. Potret fase dengan nilai awal (1,2) dan (1,1) tetap menuju titik kesetimbangan $E_1(3.5,0)$ artinya dengan nilai parameter yang sama dan nilai awal yang berbeda tetap stabil di titik kesetimbangan $E_1(3.5,0)$. Kestabilan di titik kesetimbangan $E_1(3.5,0)$ yang ditunjukkan pada potret fase tersebut artinya populasi prey tetap ada dan populasi predator punah. Hal ini sesuai dengan perhitungan analisis karena $g = 0.1 < \mu = 0.2$ tidak memenuhi syarat $g > \mu$.

Hasil simulasi potret fase menunjukkan bahwa nilai parameter konversi biomassa prey ke predator berpengaruh dan nilai awal tidak berpengaruh terhadap kestabilan solusi sistem. Ketika nilai parameter seperti Tabel 1 dengan nilai awal (1,2) dan (1,1) hasil potret fase menunjukkan tetap stabil di titik $E_2(1.3,0.4)$, artinya populasi predator dan prey eksis. Pada saat nilai parameter diturunkan menjadi $g = 0.1 < \mu = 0.2$ dengan nilai awal (1,2) dan (1,1) hasil potret fase menunjukkan tetap stabil di titik $E_1(3.5,0)$, artinya saat konversi biomassa prey ke predator berkurang maka populasi predator punah dan populasi prey eksis. Konversi biomassa prey ke

predator dipengaruhi oleh laju pertumbuhan prey, efek ketakutan prey, laju pemangsaan maksimum prey oleh predator, waktu yang dibutuhkan predator dalam mencari, memangsa, dan menghabiskan prey. Apabila parameter kematian alami predator kurang dari konversi biomassa prey ke predator maka kedua populasi eksis. Apabila konversi biomassa prey ke predator kurang dari kematian alami predator maka populasi predator punah dan populasi prey eksis.

PENUTUP

SIMPULAN

Konstruksi model interaksi predator-prey menggunakan model Lotka-Volterra yang mempertimbangkan efek ketakutan pada prey dengan fungsi respon Holling Tipe II sebagai berikut:

$$\frac{dx}{dt} = \frac{ax}{1+fy} - sx^2 - \frac{bxy}{m+x}$$

$$\frac{dy}{dt} = \frac{gxy}{m+x} - \mu y.$$

Berdasarkan hasil penelitian terdapat empat titik kesetimbangan yakni $E_0 = (0,0)$ artinya populasi predator-prey punah, $E_1 = \left(\frac{a}{s}, 0\right)$ artinya populasi prey eksis dan populasi predator punah, $E_2 = \left(\frac{\mu m}{g-\mu}, \frac{-B+\sqrt{B^2-4AC}}{2A}\right)$ dan $E_3 = \left(\frac{\mu m}{g-\mu}, \frac{-B-\sqrt{B^2-4AC}}{2A}\right)$ artinya populasi predator-prey eksis. Analisis kestabilan pada titik kesetimbangan menunjukkan titik $E_1 = \left(\frac{a}{s}, 0\right)$ stabil dengan syarat $g > \frac{\mu}{a}(a + ms)$, titik E_2 dan E_3 bersifat stabil dengan syarat $g > \mu$. Hasil simulasi numerik didapatkan nilai parameter g konversi biomassa prey ke predator berpengaruh terhadap solusi sistem. Saat nilai parameter $g = 0.5 > \mu = 0.2$ stabil di titik $E_2 = (1.3, 0.4)$, artinya populasi predator dan prey eksis. Saat nilai parameter g diturunkan menjadi $g = 0.1 < \mu = 0.2$ stabil di titik $E_1 = (3.5, 0)$, artinya populasi predator punah dan populasi prey eksis. Apabila parameter kematian alami predator kurang dari konversi biomassa prey ke predator maka kedua populasi eksis. Apabila konversi biomassa prey ke predator kurang dari kematian alami predator maka populasi predator punah dan populasi prey eksis.

SARAN

Penulis berharap penelitian ini dapat bermanfaat untuk penelitian selanjutnya pada pemodelan predator prey dan dapat bermanfaat bagi keseimbangan ekosistem.

DAFTAR PUSTAKA

- Ali, N. (2022). On the food chain model with prey refuge and fear effect. *Int. J. Nonlinear Anal. Appl. In Press*, 2008-6822.
<http://dx>.
- Caro, Tim. (2005). Antipredator Defenses in Birds and Mammals. *The University of Chicago Press*.
- Chen, H., dan Zhang, C. (2022). Dynamic analysis of a Leslie-Gower-type predator-prey system wiith the fear effect and ratio-dependent Holling III functional response. *Nonlinear Analysis: Modelling and Control*, 27, 904-926.
- Firdiansyah, A. L., dan Nurhidayati, N. (2021). Dynamics in two competing predators-one prey system with two types of Holling and fear effect. *Jambura Journal of Biomathematics*, 2, 2, 58-67.
- Knuuttila, T., dan Loettgers, A. (2017). Modelling as Indirect Representation? The Lotka-Volterra Model Revisited. *British Journal for the Philosophy of Science*, 68, 1007-1036.
- Kundu, K., Pal, S., Samanta, S., Sen, A., dan Pal, N. (2018). Impact of Fear Effect In A Discrete-Time Predator-Prey System. *Bull.*
<https://www.researchgate.net/publication/326581042>
- Miller, G. T., dan Spoolman, S. E. (2010). Living in The Enviroonment. Brooks Cole.
- Mondal, S., Samanta, G. P., dan Nieto, J. J. (2021). Dynamics of a predator-prey population in the presence of resource subsidy under the influence of nonlinear prey refuge and fear effect. *Compexity*, 2021.
- Panigoro, H. S. (2014). Analisis Dinamik Sistem Predator-Prey Model.
- Sasmal, S. K., dan Takeuchi, Y. (2019). Dynamics of a predator-prey system with fear and grou defense. *Journal of Mathematical Analysis and Applications*, 481.
- Savitri, D., dan Jakfar, M. (2021). The Dynamics of Modified Leslie-Gower the Pest-Predator System with Additional Food and Fear Effect.
- Srivastava, V., Takyi, E. M., Parshad, R. D. (2022). The Effect of "Fear" on Two Species Competition.
<http://arxiv.org/abs/2210.10280>
- Vinoth, S., Sivasamy, R., Sathiyathan, K, Unyong, B., Rajchakit, G., Vadivel, R., dan Gunasekaran, N. (2021). The Dynamics of a Leslie Type Predator-Prey Model with Fear and Allee Effect. *Advances in Difference Equations*, 2021.