

# PENGARUH INTERAKSI MANGSA DAN PEMANGSA PERTAMA YANG BERADA DALAM SATU LINGKUNGAN PADA MODEL SATU MANGSA DUA PEMANGSA

A. Kusnanto<sup>1</sup>, SF. Imni<sup>2</sup>, P. Sianturi<sup>1</sup>, B. Suharjo<sup>1</sup>, NKK. Ardana<sup>1</sup>, dan MT. Julianto<sup>1</sup>

<sup>1</sup>)Departemen Matematika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Pertanian Bogor, Jl. Meranti, Kampus IPB Dramaga Bogor.

[ali\\_mat@apps.ipb.ac.id](mailto:ali_mat@apps.ipb.ac.id) \*corresponding author,  
[psianturi@apps.ipb.ac.id](mailto:psianturi@apps.ipb.ac.id), [bsuharjo@apps.ipb.ac.id](mailto:bsuharjo@apps.ipb.ac.id), [kutha@apps.ipb.ac.id](mailto:kutha@apps.ipb.ac.id),  
[mtjulianto@apps.ipb.ac.id](mailto:mtjulianto@apps.ipb.ac.id)

<sup>2</sup>) Program Studi S-1 Matematika, Departemen Matematika, FMIPA, Institut Pertanian Bogor, Jl. Meranti, Kampus IPB Dramaga Bogor.

[salsabilafitriimni@apps.ipb.ac.id](mailto:salsabilafitriimni@apps.ipb.ac.id)

## Abstrak

Dalam tulisan ini dianalisis model satu mangsa dua pemangsa dimana mangsa dan pemangsa berada dalam lingkungan yang sama. Pemangsa kedua berada di lingkungan berbeda dan memakan mangsa dan pemangsa pertama. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh interaksi antara mangsa dan pemangsa pertama dalam dinamika ketiga populasi yang terjadi. Proses yang digunakan untuk analisis adalah mencari kestabilan titik tetap dan melakukan simulasi numerik. Diperoleh enam titik tetap yang kestabilannya bergantung pada nilai parameter yang dipilih. Untuk mencapai ekosistem yang seimbang antara populasi mangsa dan pemangsa, dalam penelitian ini dilakukan dengan mengendalikan populasi pemangsa pertama. Dalam penelitian ini diperoleh bahwa semakin menaikkan interaksi yang dilakukan antara mangsa dengan pemangsa pertama mengakibatkan populasi mangsa menurun dan pemangsa pertama naik. Tetapi jika tingkat interaksi ini terus dilakukan maka pemangsa kedua akan menurun ke arah kepunahan. Untuk menanggulangi ini maka tingkat pemangsaan antara pemangsa pertama oleh pemangsa kedua perlu ditingkatkan, walaupun peningkatan ini jika terlalu besar akan membuat pemangsa pertama punah.

**Kata kunci:** Holling-Tanner tipe II, interaksi mangsa-pemangsa, titik tetap, kestabilan.

## 1 Pendahuluan

Pertanian merupakan sektor penting dalam perekonomian banyak negara, termasuk Indonesia, di mana padi menjadi salah satu komoditas utama. Namun, salah satu tantangan terbesar dalam pertanian padi adalah serangan hama, termasuk tikus sawah (*Rattus argentiventer*), yang dapat merusak hasil panen secara signifikan [8]. Hama tikus secara signifikan mengurangi hasil panen secara global setiap tahun, sehingga memerlukan program pengelolaan hama tikus yang efisien. Di negara-negara penghasil padi, hama tikus ini dapat menyebabkan kerawanan pangan, sehingga strategi pengelolaan hama tikus berbasis sains sangat penting [5].

2020 Mathematics Subject Classification: 37N25, 92D50.

Diajukan:10/12/2024, diterima: 31/12/2024. DOI: <https://doi.org/10.29244/milang.20.2.101-109>

MILANG Journal of Mathematics and Its Applications, Vol.20, No.2, pp.101-109

ISSN: 2963-5233

Salah satu alternatif pengendalian yang semakin mendapat perhatian adalah pemanfaatan predator alami untuk mengendalikan populasi hama. Ular sawah (*Naja spp.*) dikenal sebagai predator alami yang efektif dalam mengontrol populasi tikus di ekosistem pertanian. Populasi ular menghadapi berbagai tantangan ekologi di dunia modern, termasuk hilangnya habitat, fragmentasi, perubahan iklim, dan dampak langsung dan tidak langsung dari aktivitas manusia [1].

Walaupun berbagai upaya sudah banyak dilakukan dalam menanggulangi serangan serangga hama pertanian, penggunaan potensi bioekologinya belum dilakukan secara intensif. Masalah tersebut dapat ditanggulangi secara terpadu dengan mengendahkan populasi serangga hama melalui kehadiran pemangsanya, misal : burung [6]. Selain itu, burung bangau (*Ciconia ciconia*) juga merupakan predator oportunistik yang dapat memanfaatkan tikus sawah dan ular sawah sebagai sumber makanannya. Interaksi antara predator dan mangsa dalam ekosistem ini menciptakan dinamika yang kompleks yang perlu dipahami lebih lanjut untuk mengoptimalkan pengendalian hama secara alami dan berkelanjutan.

Dalam ekosistem sawah, terdapat beberapa tingkat interaksi antara spesies yang perlu diperhatikan. Pertama, bagaimana populasi tikus sawah dipengaruhi oleh predator utama mereka, yakni ular sawah. Kedua, bagaimana peran burung bangau dalam pengendalian populasi tikus dan ular di habitat pertanian ini? Ketiga, apakah terdapat kompetisi atau interaksi antar predator, seperti antara ular dan burung bangau, yang dapat memengaruhi keseimbangan ekosistem.

Mengingat keterkaitan antar spesies yang terlibat, penelitian ini berfokus untuk memahami interaksi antara tikus sawah, ular sawah, dan burung bangau dalam konteks pengendalian hama alami. Penelitian ini juga akan mengeksplorasi dampak dinamika mangsa-pemangsa terhadap keberlanjutan ekosistem pertanian padi.

Penelitian ini menggunakan model satu mangsa dua pemangsa yang dikembangkan menggunakan fungsi Holling tipe II [2]. Fungsi respon yang digunakan untuk penelitian ini yaitu fungsi Holling tipe II dengan asumsi bahwa semakin bertambahnya populasi maka tingkat konsumsi akan melambat karena keterbatasan mencari dan mengelola makan [7]. Untuk fungsi respon ini terjadi pada pemangsa aktif dengan pemangsa menghabiskan waktu saat berburu dan berinteraksi dengan mangsanya, akan tetapi pemangsa memiliki kemampuan berburu yang terbatas. Tingkat pemangsa akan meningkat seiring dengan meningkatnya kepadatan mangsa dan akan stabil pada tahap *half saturation* (kejenuhan) [4].

Model yang dikembangkan ini mangsanya adalah tikus sawah, pemangsa pertamanya adalah ular dan pemangsa kedua adalah bangau. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis peran ular dalam mengontrol populasi tikus di ekosistem pertanian, menilai kontribusi burung bangau dalam mengatur populasi tikus dan ular di sawah dan mengidentifikasi potensi interaksi antar predator (*intraguild predation*) antara ular dan burung bangau yang dapat memengaruhi struktur populasi predator dan mangsa.

Studi tentang interaksi antara populasi tikus sawah, ular sawah, dan burung bangau penting untuk memahami peran predator dalam menjaga keseimbangan ekosistem pertanian. Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi yang berguna untuk pengelolaan hama secara alami, yang lebih ramah lingkungan dan berkelanjutan dibandingkan dengan penggunaan pestisida kimia. Dengan memanfaatkan predator alami, seperti ular dan burung bangau, diharapkan dapat mengurangi ketergantungan pada bahan

kimia berbahaya, serta meningkatkan keberagaman hayati di lahan pertanian. Selain itu, penelitian ini juga diharapkan dapat memberikan wawasan tentang bagaimana interaksi antar predator dapat mempengaruhi ketahanan ekosistem dan produktivitas pertanian secara keseluruhan.

## 2 Teori Pendukung

### 2.1 Kestabilan Titik Tetap

Misalkan  $A$  merupakan suatu matriks berordo  $n \times n$  dan sistem persamaan diferensial biasa homogen  $\dot{x} = Ax, x(0) = x_0, x \in R^n$ , dengan vektor tak nol  $x$  di dalam  $R^n$  disebut vektor eigen dari  $A$  jika berlaku suatu skalar  $\lambda$ :

$$Ax = \lambda x. \quad (1)$$

Untuk mencari nilai  $\lambda$  dari  $A$ , maka dari sistem persamaan (1) dapat ditulis:

$$(A - \lambda I)x = 0 \quad (2)$$

dengan  $I$  adalah matriks identitas. Sistem persamaan (2) memiliki solusi tak nol jika dan hanya jika

$$P(\lambda) = |A - \lambda I| = 0. \quad (3)$$

persamaan (3) merupakan persamaan karakteristik matriks  $A$  [2].

Kestabilan titik tetap merupakan informasi untuk menggambarkan perilaku sistem, dapat ditentukan dengan memperhatikan nilai eigen yang diperoleh dari persamaan karakteristik, yaitu  $\lambda_i$  dengan  $i = 1, 2, \dots, n$ . Secara umum kestabilan titik tetap memiliki perilaku sebagai berikut:

$$\begin{array}{ll} \text{stabil,} & \text{jika } \lambda_i < 0 \text{ untuk semua } i, \\ \text{tidak stabil,} & \text{jika } \lambda_i > 0 \text{ untuk suatu } i, \\ \text{sadel,} & \text{jika } \lambda_i \lambda_j > 0 \text{ untuk suatu } i \text{ dan } j. \end{array} \quad (4)$$

[9], [10]

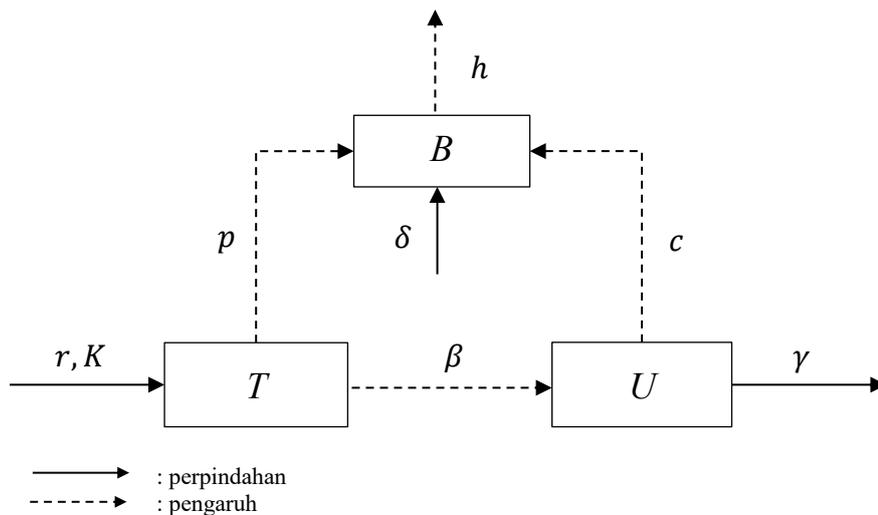
### 2.2 Formulasi Model

Model matematika yang digunakan dalam penelitian ini seperti model yang disusun oleh Charles *et al.* (2022) menggunakan model mangsa-pemangsa Holling Tanner tipe II. Kompartemen  $T$  merupakan kompartemen populasi mangsa yaitu tikus sawah (selanjutnya disebut tikus), kompartemen  $U$  merupakan kompartemen populasi pemangsa pertama yaitu ular sawah (selanjutnya disebut ular), dan kompartemen  $B$  merupakan kompartemen populasi pemangsa kedua yaitu burung bangau (selanjutnya disebut bangau).

Populasi tikus akan memiliki laju pertumbuhan  $r$  dengan fungsi pertumbuhan berbentuk fungsi logistik dan daya dukung lingkungan  $K$ . Karena tikus berada dalam satu lingkungan dengan ular maka fungsi logistik ini dipengaruhi juga oleh populasi ular. Populasi tikus berinteraksi dengan ular dengan tingkat interaksi  $\beta$ , selain itu juga terjadi interaksi antara tikus dengan bangau yang juga menggunakan fungsi respon Holling Tanner tipe II yaitu tingkat pemangsaan sebesar  $p$  yang dibatasi dengan adanya kejenuhan pemangsaan bangau  $m$ .

Ular memiliki laju pertumbuhan  $\beta$  karena berinteraksi dengan tikus dan mengalami penurunan populasi akibat berinteraksi dengan bangau dengan tingkat pemangsaan sebesar  $c$  yang dibatasi dengan adanya kejenuhan pemangsaan bangau  $m$  dan kematian  $\gamma$ . Dalam model ini diasumsikan faktor pertumbuhan ular sangat kecil sehingga ular hanya berkembang karena memakan tikus. Populasi bangau akan bertambah seiring dengan meningkatnya kelahiran  $\delta$  dan mengalami penurunan ketika persaingan antara bangau  $h$  yang semakin meningkat.

Berdasarkan penjelasan tersebut dapat disusun diagram kompartemen model mangsa-pemangsa yang ditunjukkan pada Gambar 1, sebagai berikut.



Gambar 1 Diagram kompartemen model satu mangsa ( $T$ ) dan dua pemangsa ( $U, B$ )

Pada Gambar 1, maka dapat diperoleh model persamaan mangsa-pemangsa sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \frac{dT}{dt} &= rT \left( 1 - \frac{T+U}{K} \right) - \beta TU - \frac{pBT}{mB+T}, \\ \frac{dU}{dt} &= \beta TU - \frac{cBU}{mB+U} - \gamma U, \\ \frac{dB}{dt} &= \delta B \left( 1 - \frac{hB}{T+U} \right). \end{aligned} \quad (5)$$

Keterangan atau deskripsi parameter yang digunakan pada persamaan (5) dijelaskan pada Tabel 1.

Tabel 1 Variabel dan parameter model

Variabel	Keterangan	Parameter	Keterangan
$T$	banyaknya populasi tikus	$r$	laju pertumbuhan tikus
$U$	banyaknya populasi ular	$\gamma$	laju kematian ular
$B$	banyaknya populasi bangau	$K$	daya dukung lingkungan
		$\delta$	laju kelahiran ular
		$\beta$	tingkat interaksi tikus dan ular
		$p$	tingkat interaksi tikus dan bangau
		$c$	tingkat interaksi ular dan bangau
		$m$	tingkat kejenuhan pemngsaan
		$h$	tingkat persaingan antara bangau

Catatan: semua parameter bernilai positif.

Berdasarkan Tabel 1 dijelaskan terkait keterangan dari setiap parameter dengan diasumsikan pada setiap parameter di atas adalah parameter yang bernilai positif. Pertumbuhan mangsa merupakan pertumbuhan logistik dengan menggunakan fungsi respon Holling Tanner tipe II.

### 3 Hasil Pembahasan

#### Penentuan Titik Tetap Model

Titik tetap dalam koordinat  $(T, U, B)$  adalah sebagai berikut. Titik tetap  $E_1 = (0, \frac{rK}{r+\beta K}, 0)$ ,  $E_2 = (0, \frac{K(p-rm)}{m(-r-\beta K)}, \frac{K(p-rm)}{hm(-r-\beta K)})$ ,  $E_3 = (\frac{\gamma}{\beta}, \frac{r(K\beta-\gamma)}{\beta(K\beta+r)}, 0)$ ,  $E_4 = (\frac{K(-p+hr+mr)}{(h+m)r}, 0, \frac{K(-p+hr+mr)}{h(h+m)r})$ , dan titik koeksistensi  $E_5$  yang nilainya diperoleh pada saat simulasi.

#### Kestabilan Titik Tetap

Kestabilan titik tetap dilakukan dengan mencari nilai eigen dari Matriks Jacobi ( $J$ ) sistem persamaan (5) pada setiap titik tetap. Selanjutnya dianalisis kestabilannya berdasarkan dari nilai eigennya. Matriks Jacobi-nya sebagai berikut

$$\begin{pmatrix} -\frac{rT}{K} + r \left(1 - \frac{T+U}{K}\right) + \frac{pTU}{(mB+T)^2} - \frac{pB}{mB+T} - \beta UI & -\frac{rT}{K} - \beta T & \frac{m p T B}{(mB+T)^2} - \frac{p T}{mB+T} \\ \beta U & \frac{cUB}{(mB+U)^2} - \frac{cB}{mB+U} - \gamma + \beta S & \frac{m c U B}{(mB+U)^2} - \frac{c U}{mB+U} \\ \frac{h B^2 \delta}{(U+T)^2} & \frac{h B^2 \delta}{(U+T)^2} & -\frac{h B \delta}{(U+T)} + \delta \left(1 - \frac{h B}{U+T}\right) \end{pmatrix} \quad (6)$$

#### Analisis Kestabilan Titik Tetap Model

Nilai eigen Matriks Jacobi (6) untuk  $E_1$  adalah  $\lambda_1 = 0$ ,  $\lambda_2 = -\gamma$ ,  $\lambda_3 = \delta$  yang bedasarkan (4), titik ini bersifat sadel. Nilai eigen Matriks Jacobi  $E_2$  adalah sebagai berikut  $\lambda_1 = 0$ ,  $\lambda_2 = -\frac{c m + A}{2(h+m)^2}$ , dan  $\lambda_3 = -\frac{c m - A}{2(h+m)^2}$ . dengan

$$A = (h+m)^2(\gamma + \delta) + \sqrt{-4(h+m)^3(c + (h+m)\gamma)\delta + (c m + (h+m)^2(\gamma + \delta))^2}$$

Dengan kondisi ini, berdasarkan (4) titik tetap  $E_2$  ditentukan oleh kondisi berikut yaitu jika  $A > cm$  maka  $E_3$  sadel, sedangkan jika  $A < cm$  maka  $E_2$  bersifat simpul stabil.

Nilai eigen Matriks Jacobi pada  $E_3$  adalah  $\lambda_1 = \frac{-r\gamma - V}{2K\beta}$ ,  $\lambda_2 = \frac{-r\gamma + V}{2K\beta}$ , dan  $\lambda_3 = \delta$  dengan  $V = \sqrt{-4K^2r\beta^2\gamma + r^2\gamma^2 + 4Kr\beta\gamma^2}$ . Dari hasil ini dapat diperoleh bahwa berdasarkan (4), titik tetap  $E_3$  adalah sadel. Nilai eigen Matriks Jacobi  $E_4$  adalah  $\lambda_1 = -\frac{c}{m} + K\left(\beta - \frac{p\beta}{(h+m)r}\right) - \gamma$ ,  $\lambda_2 = \frac{P-Q}{2h^2(1+m)^2(h+m)^2}$ , dan  $\lambda_3 = \frac{P+Q}{2h^2(1+m)^2(h+m)^2}$ , dengan

$$P = \sqrt{(h^4(1+m)^4((2h+m)p - (h+m)^2r)^2 - 2h^2(1+m)^2(h+m)^2(m(-4hm - 2m^2 + h^2(-1+m(2+m)))p + h^2(1+m)^2(h+m)^2r)\delta + h^4(1+m)^4(h+m)^4\delta^2)},$$

$$Q = h^2(1+m)^2(-h^2(r+\delta) + 2h(p - m(r+\delta)) + m(p - m(r+\delta))).$$

Kestabilan di sekitar titik tetap  $E_4$  belum dapat ditentukan dari nilai eigen yang diperoleh, sehingga kestabilan ditentukan dari hasil simulasi yang akan dilakukan. Hal yang sama akan dilakukan untuk titik tetap  $E_5$ .

#### 4 Simulasi Numerik

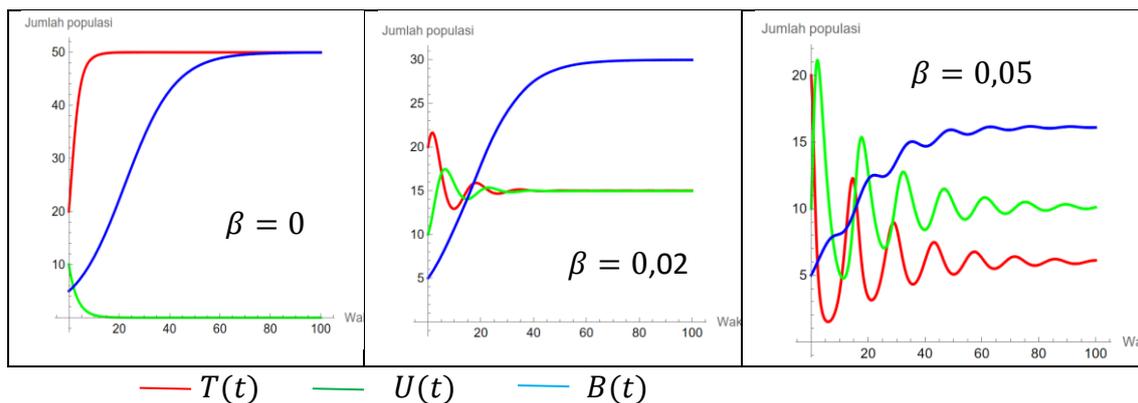
Dalam simulasi numerik ini, nilai parameter yang bernilai tetap untuk simulasi  $r = 0.5$ ,  $K = 50$  (ribu),  $p = 0.001$ ,  $m = 5$ ,  $c = 0.02$ ,  $\gamma = 0.3$ , dan  $\delta = 0.3$  dengan kondisi awal jumlah populasi mangsa-pemangsa yaitu adalah  $T(0) = 20$ ,  $U(0) = 10$ , dan  $B(0) = 5$  (dalam ribuan ekor). Selanjutnya, parameter yang akan diamati perubahannya adalah interaksi tikus dan ular  $\beta$  serta parameter interaksi ular dan bangau  $c$ . Nilai parameter untuk setiap simulasi disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2 Nilai parameter untuk setiap simulasi

Simulasi	Percobaan	Nilai $\beta$	Percobaan	Nilai $\beta$	$c$
I	1	0	4	0,1	
	2	0.02	5	0,2	
	3	0.05	6	0,35	
II	1				0,02
	2				0,1
	3				0,2

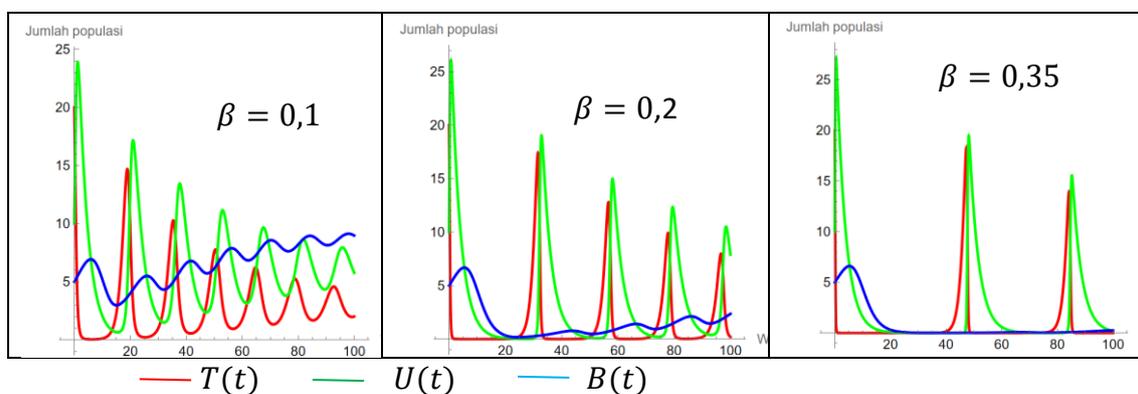
#### Dinamika Populasi Simulasi I

Dengan memilih  $\beta = 0$  maka titik tetap yang stabil adalah  $T_4 = (49,9; 0; 49,9)$ . Hal ini berakibat populasi ular akan menurun dan punah sedangkan populasi tikus dan burung menuju nilai 50 (ambang batas daya dukung lingkungan). Jika nilai  $\beta$  dinaikkan menjadi  $\beta = 0,02$  maka populasi ular akan naik dan populasi tikus akan turun sedangkan populasi bangau tidak terjadi penurunan. Dalam kasus ini titik tetap yang stabil adalah  $T_5 \approx (16,8; 14,2; 30,9)$ . Jika nilai  $\beta = 0,05$  maka populasi ular akan naik, populasi tikus dan bangau akan turun. Kestabilan terjadi di titik tetap  $T_5 \approx (6,6; 9,9; 16,6)$ . Pergerakan populasi ini dapat dilihat pada Gambar 2 berikut.



Gambar 2 Dinamika populasi tikus, ular dan bangau dengan nilai  $\beta = 0; 0,02; 0,05$ .

Perhatikan pergerakan banyaknya populasi bangau jika nilainya terus dinaikkan, seperti terlihat dalam Gambar 3 berikut.

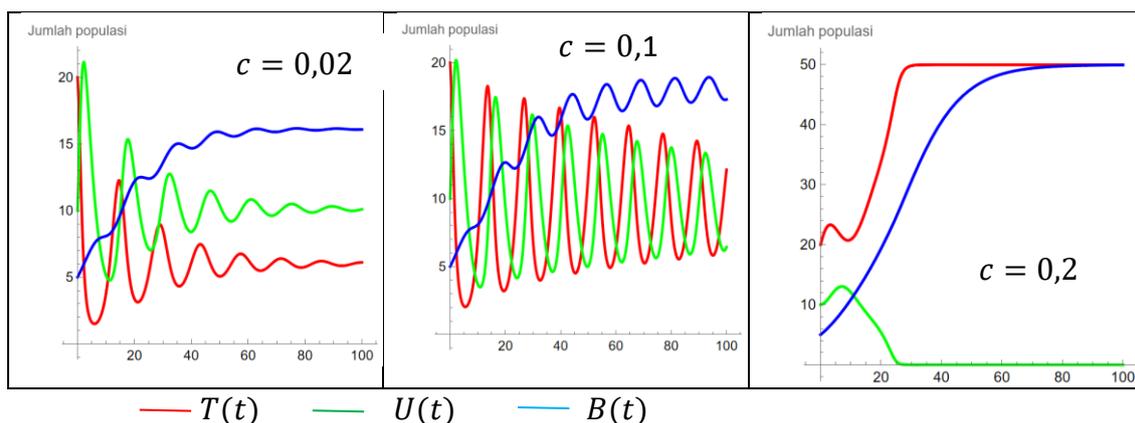


Gambar 3 Dinamika populasi tikus, ular dan bangau dengan nilai  $\beta = 0,1; 0,2; 0,35$ .

Dari Gambar 3 di atas, peningkatan nilai  $\beta$  akan mengakibatkan populasi ular akan meningkat diiringi populasi tikus. Sedangkan populasi bangau lama kelamaan akan mendekati kepunahan. Hal ini berarti meningkatkan interaksi antara tikus dan ular akan mengakibatkan populasi tikus menjadi mengecil, tetapi tidak bisa dilakukan terlalu besar karena akan mengakibatkan kepunahan populasi bangau.

## Dinamika Populasi Simulasi II

Untuk melihat pengaruh interaksi pemangsaan ular dan bangau, akan dilihat dari kondisi dimana nilai  $\beta = 0,05$ . Selanjutnya dinamika populasi tikur, ular dan bangau dapat dilihat pada Gambar 4 berikut.



Gambar 4 Dinamika populasi tikus, ular dan bangau dengan  $c = 0,02; 0,1; 0,2$ .

Dari Gambar 4, dengan menaikkan nilai  $c$  maka populasi tikus dan bangau akan meningkat sedangkan populasi ular akan mengecil. Bahkan dalam kondisi  $c$  tertentu (contoh  $c = 0,2$ ), populasi ular akan habis dan populasi tikus dan bangau menuju ambang daya dukung lingkungan.

Dari hasil yang diperoleh maka peningkatan nilai  $\beta$  (tingkat interaksi ular dan tikus) akan mengakibatkan populasi ular dan tikus akan beresilasi menuju titik tetapnya dengan banyaknya populasi ular relatif lebih besar dari populasi tikus (perhatikan pada saat  $\beta = 0,02; 0,05; 0,1$ ). Bila nilai  $\beta$  terus ditingkatkan ( $\beta = 0,2; 0,35$ ) maka populasi bangau akan mendekati kepunahan.

Untuk menghindari kepunahan bangau maka nilai parameter  $c$  (tingkat interaksi ular dan bangau) harus dinaikkan. Perhatikan hasil di atas, pada kondisi  $\beta = 0,05$  dan  $c = 0,02$  maka populasi tikus, ular dan bangau akan mendekati 6.600; 9.900 dan 16.600 ekor. Bilai  $c$  dinaikkan populasi bangau akan terus naik, tetapi populasi ular akan menuju kepunahan ( $c = 0,2$ ). Sehingga dengan nilai parameter yang telah ditetapkan sebelumnya, pilihan nilai  $\beta$  dan  $c$  yang sesuai agar ular atau bangau tidak punah adalah  $0,05 \leq \beta \leq 0,1$  dan  $0,02 \leq c \leq 0,2$ .

## 6 Simpulan

Dalam tulisan ini telah dianalisis interaksi model magsa pemangsa antara tikus sawah, ular sawah dan burung bangau yang berada dalam lingkungan persawahan. Dalam analisis diperoleh lima titik tetap yang kestabilannya bergantung pada nilai parameter yang dipilih. Titik tetap pertama sampai ke-tiga bersifat sadel, sedangkan titik tetap keempat dan ke-lima dapat bersifat stabil bergantung pada nilai parameter yang diperoleh.

Untuk mencapai ekosistem yang seimbang dapat dilakukan dengan mengendalikan populasi pemangsa pertama. Dalam penelitian ini diperoleh bahwa semakin menaikkan nilai  $\beta$ , yaitu interaksi antara mangsa (tikus) dengan pemangsa pertama (ular), mengakibatkan populasi mangsa dan pemangsa pertama turun naik beresilasi dengan populasi pemangsa pertama lebih banyak. Tetapi jika tingkat interaksi ini terus dilakukan maka pemangsa kedua (burung bangau) akan menurun ke arah kepunahan. Untuk menanggulangi ini maka tingkat pemangsaan antara pemangsa pertama oleh pemangsa kedua ( $c$ ) perlu ditingkatkan, walaupun peningkatan ini jika terlalu besar akan membuat pemangsa pertama punah.

Dengan nilai parameter yang telah ditetapkan, pilihan nilai  $\beta$  dan  $c$  yang sesuai agar ular atau bangau tidak punah adalah  $0,05 \leq \beta \leq 0,1$  dan  $0,02 \leq c \leq 0,2$ . Dengan nilai

awal populasi tikus 20.000, ular 10.000 dan bangau 5.000, dalam waktu 100 hari, populasinya akan berubah menjadi tikus 5.000an, ular 10.000an dan bangau 16.000an.

### Daftar Pustaka

- [1] Ahmed S. 2023. Ecotoxicological Impact and Challenges on Snakes Population: *A Review. Internasional Journal of Agriculture, Environment and Sustainability*. Volume 5, 6-12
- [2] Anton H, Rorres C, Kaul A. 2019. *Elementary Linear Algebra: Applications Version (12th Edition)*. United States of America (US): Wiley.
- [3] Charles R, Makinde OD, Kung'aro M. 2022. A review of the mathematical models for the impact of seasonal weather variation and infections on prey predator interactions in Serengeti Ecosystem. *Open Journal of Ecology*. 12(1): 718-732.
- [4] Fardinah, Hikmah, Apriyanto. 2023. Analisis model mangsa-pemangsa dengan fungsi respon holling tipe ii, infeksi pada pemangsa dan pemanenan pada mangsa. *Jurnal Sains Matematika dan Statistika*. 9(1): 78-90.
- [5] Noor HM, Burhanuddin M, Salim H, Asril NA, Jamian S, Azhar M. 2023. Pest Rodent's Responses to Rice Farming in Northern Peninsular Malaysia. *Agronomy*, 13(1),85. <http://doi.org/10.3390/agronomy/13010085>
- [6] Prawiradilaga DM. 1990. Potensi Burung dalam Pengendalian Populasi Serangan Hama. *Media Konservasi* Vol III: 1-7.
- [7] Ra'yan I, Toaha S, Kusuma J. 2022. Dynamics analysis of predator-prey model with double allee effects and holling type ii functional response. *Jurnal Matematika, Statistika & Komputasi*. 18(3): 434-446.
- [8] Siregar HM, Priyambodo S, Hindayana D. 2020. Preferensi Serangan Tikus Sawah (*Rattus argentiventer*) terhadap Tanaman Padi. *Agrovigor*, 13(1):16-21
- [9] Strogatz SH. 2018. *Nonlinear Dynamics and Chaos with Applications to Physics, Biology, Chemistry, and Engineering*. Ed ke-2. Boca Raton (FL): CRC Press.
- [10] Tu PNV. 1994. *Dynamical System An Introduction with Application in Economics and Biology*. Heidelberg (DE): Springer-Verlag.