



DINAMIKA POPULASI KEPITING BAKAU (*Scylla serrata*) DENGAN MEMPERTIMBANGKAN SIFAT KANIBALISME DAN PENYUSUTAN LUAS HUTAN MANGROVE

ELOMITA MADINA¹, NURWAN^{2*}, AGUSYARIF REZKA NUHA³, EMLI RAHMI⁴, NOVIANITA ACHMAD⁵, LA ODE NASHAR⁶

^{1 2 3 4 5 6}Program Studi Matematika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam,
Universitas Negeri Gorontalo

* Penulis korespondensi: nurwan@ung.ac.id

Abstrak

Artikel ini membahas model struktur usia pada kepiting bakau (*Scylla serrata*) dengan mempertimbangkan sifat kanibalisme dan penyusutan luas hutan mangrove. Dengan menggunakan model populasi struktur usia dapat ditunjukkan bagaimana perbedaan usia pada populasi dapat mempengaruhi kemampuan hidup atau bertahan dari populasi tertentu. Dalam artikel ini, sistem dianalisis dengan menentukan titik kesetimbangan dan kestabilan lokal dari masing-masing solusi. Ada empat titik kesetimbangan, yakni kepunahan seluruh populasi $E_0(0, 0, 0)$, kepunahan dua populasi kepiting bakau $E_1(0, 0, \frac{L(s-p)}{s})$, kepunahan daya dukung lingkungan $E_2(C_J^*, C_A^*, 0)$, dan titik eksistensi dari semua populasi $E_3(C_J^*, C_A^*, \frac{L(s-p)}{s})$, dimana setiap titik kesetimbangan memiliki syarat kestabilannya. Selanjutnya pada bagian simulasi numerik, dari sisi dinamika diperoleh bahwa dengan mengambil besaran nilai untuk setiap parameter berdasarkan syarat stabil di setiap titik kesetimbangan hasil yang didapat adalah solusi akan menuju ke titik kesetimbangannya. Selain dinamika, pada simulasi numerik juga dilakukan variasi parameter kanibalisme dan penyusutan yang hasil perhitungannya menunjukkan bahwa semakin besar nilai parameter kanibalisme, populasi kepiting bakau muda akan semakin menurun. Sedangkan untuk variasi parameter penyusutan, menunjukkan bahwa, semakin besar nilai parameter penyusutan, populasi daya dukung lingkungannya akan mengalami kepunahan.

Kata kunci: Model Matematika, Kepiting Bakau, Struktur Usia, Kanibalisme, Penyusutan.

Abstract

*This article discusses the age structure model in mangrove crabs (*Scylla serrata*) by considering the nature of cannibalism and shrinkage of mangrove forest area. By using an age-structure population model, it can be shown how age differences in the population can affect the survivability of a particular population. In this article, the system is analyzed by determining the equilibrium points and local stability of each solution. There are four equilibrium points, namely the extinction of the entire population $E_0(0, 0, 0)$, the extinction of two mangrove crab populations $E_1(0, 0, \frac{L(s-p)}{s})$,*

the extinction of the environmental carrying capacity $E_2(C_J^*, C_A^*, 0)$, and the existence point of all populations $E_3\left(C_J^*, C_A^*, \frac{L(s-p)}{s}\right)$, where each equilibrium point has its stability conditions. Furthermore, in the numerical simulation section, in terms of dynamics, it is found that by taking the value for each parameter based on the stable conditions at each equilibrium point, the solution will go to its equilibrium point. In addition to the dynamics, the numerical simulation also varies the cannibalism and shrinkage parameters, the results of which show that the greater the value of the cannibalism parameter, the young mangrove crab population will decrease. As for the variation of the shrinkage parameter, it shows that, the greater the value of the shrinkage parameter, the population of its environmental carrying capacity will experience extinction.

Keywords: Mathematical Model, Mud Crab, Age Structure, Cannibalism, Shrinkage.

1 Pendahuluan

Kepiting bakau (*Scylla serrata*) adalah sumber perikanan potensial di wilayah mangrove. Dikutip dari [1], ekspor kepiting bakau pulih setelah pandemi COVID-19, dengan tiga perusahaan berhasil mengeksport 18,2 ton ke Singapura dan Hongkong dari Maret hingga Juni 2020. [2] menyatakan permintaan kepiting bakau sangat tinggi karena rasanya yang lezat dan banyak manfaatnya. Hal ini didukung dengan pernyataan [3] bahwa kepiting bakau memiliki kandungan gizi yang tinggi karena terdiri dari 18 asam amino esensial yang penting untuk kesehatan tubuh manusia. Selain itu, menurut [4], setiap 100 gram kepiting bakau segar mengandung 18,06 gram protein, 1,08 gram lemak, 89 gram kalsium, dan 61,1 gram air. Oleh karena itu, penting untuk melestarikan hutan mangrove sebagai habitat kepiting bakau. Hutan mangrove sendiri memiliki manfaat tinggi bagi ekosistem karena produktivitasnya yang besar [5]. Mangrove tersebar di 118 negara, mencakup sekitar 137.760 km^2 atau 0,7% dari total hutan tropis dunia [6], dan memberikan perlindungan pesisir serta menjaga keanekaragaman hayati. Indonesia memiliki 61 jenis pohon mangrove dengan luas 3,22 juta hektar atau 22,4% dari total global [7], meski luasnya diperkirakan mencapai 4,25 juta ha [8]. Sayangnya, hutan mangrove di Indonesia telah menurun sekitar 40% dalam tiga dekade terakhir atau 1,33% per tahun [9], dengan pengurangan 567.845 hektar dari tahun 1990 hingga 2019 [10].

Memahami hubungan antara kepiting bakau (*Scylla serrata*) dan hutan mangrove sangat penting, karena keduanya memengaruhi keseimbangan ekosistem, di mana kepiting bakau sering bersembunyi di dalam lumpur selama makanan tersedia, mengonsumsi organisme laut kecil dan hewan invertebrata yang hidup di hutan mangrove, serta membantu mengurai sampah organik dan merangsang pertumbuhan tunas baru melalui tindakan mencakar dan mencampurkan tanah [2] [11] [12], sementara dari segi biologis, eksistensi kepiting bakau juga dipengaruhi oleh sifat kanibalisme yang mencolok, terutama selama masa moulting yang dapat menyebabkan penurunan populasi [3] [8] [13] [14].

Oleh karena itu, pemodelan matematika diperlukan untuk mempelajari kondisi ekologi dan sifat biologis kepiting karena kemampuannya dalam menyelesaikan masalah biologi termasuk memodelkan penyakit dan mendukung hasil analitik melalui simulasi [15], serta menjadi alat yang efektif untuk menyelidiki proses biologis seperti keberadaan organisme dan keseimbangan ekologi di alam [16] [17], dimana pendekatan deterministik yang menggunakan persamaan diferensial sebagai operatornya merupakan salah satu metode terbaik dalam pemodelan [18] [19]. Berdasarkan penjelasan tersebut, maka pada penelitian ini membahas mengenai dinamika populasi kepiting bakau (*Scylla serrata*) dengan mempertimbangkan sifat kanibalisme dan penyusutan luas hutan mangrove.

2 Model Matematika

Interaksi yang terjadi antara dua populasi mengikuti model struktur usia yang dibagi menjadi dua kelompok usia yakni kelompok muda (*Juvenile*) dan kelompok dewasa (*Adult*). Pada penelitian ini dua populasi tersebut adalah kepiting bakau muda yang disimbolkan dengan C_J dan kepiting bakau dewasa yang disimbolkan dengan C_A yakni sebagai berikut:

$$\begin{aligned}\frac{dC_J}{dt} &= rC_A - (\alpha + \mu)C_J \\ \frac{dC_A}{dt} &= \alpha C_J - \mu C_A\end{aligned}\quad (1)$$

Dengan r adalah laju pertumbuhan intrinsik, α sebagai laju perpindahan dari kepiting bakau muda ke kepiting bakau dewasa dan μ adalah laju kematian alami dari kedua populasi.

Selanjutnya diasumsikan bahwa terdapat sifat kanibalisme m pada kepiting bakau dewasa terhadap kepiting bakau muda yang selain mengakibatkan kematian pada kepiting bakau muda tetapi juga mengakibatkan kelahiran pada kepiting bakau muda yang disimbolkan dengan n , hal ini dikarenakan diperolehnya nutrisi oleh kepiting bakau dewasa dari aktifitas kanibalisme yang digunakannya sebagai proses perkembangbiakan, sehingga model menjadi:

$$\begin{aligned}\frac{dC_J}{dt} &= rC_A + (n - m)C_A C_J - (\alpha + \mu)C_J \\ \frac{dC_A}{dt} &= \alpha C_J - \mu C_A\end{aligned}\quad (2)$$

Diasumsikan terdapat daya dukung lingkungan berupa hutan mangrove yang dinotasikan dengan K yang tumbuh secara logistik dan adanya penyusutan luas hutan mangrove yang disimbolkan dengan p , sehingga model (2) menjadi:

$$\begin{aligned}\frac{dC_J}{dt} &= rC_A + (n - m)C_A C_J - (\alpha + \mu)C_J \\ \frac{dC_A}{dt} &= \alpha C_J - \mu C_A \\ \frac{dK}{dt} &= sK\left(1 - \frac{K}{L}\right) - pK\end{aligned}\quad (3)$$

Berikutnya diasumsikan terdapat persaingan yang disimbolkan dengan δ yang terjadi antara kepiting bakau muda dan kepiting bakau dewasa atau pun sebaliknya dan antara kepiting bakau muda atau dewasa dan sesamanya yang bergantung pada kapasitas daya dukung lingkungan, sehingga model menjadi:

$$\begin{aligned}\frac{dC_J}{dt} &= rC_A + (n - m)C_A C_J - (\alpha + \mu)C_J - \frac{\delta_1 C_J^2 + \delta_2 C_A C_J}{1 + bK} \\ \frac{dC_A}{dt} &= \alpha C_J - \mu C_A - \frac{\delta_3 C_A^2 + \delta_4 C_A C_J}{1 + bK} \\ \frac{dK}{dt} &= sK\left(1 - \frac{K}{L}\right) - pK\end{aligned}\quad (4)$$

3 Hasil dan Pembahasan

3.1 Analisis Model

3.1.1 Analisis Titik Keseimbangan

Titik keseimbangan dari model (4) didapatkan dengan cara $\frac{dC_J}{dt}, \frac{dC_A}{dt}, \frac{dK}{dt} = 0$, sehingga diperoleh titik keseimbangan sebagai berikut.

1. Titik kepunahan semua populasi $E_0(0, 0, 0)$ dimana titik E_0 akan selalu eksis.
2. Titik kepunahan populasi kepiting bakau muda dan kepiting bakau dewasa $E_1\left(0, 0, \frac{L(s-p)}{s}\right)$ dimana titik E_1 akan eksis ketika $s > p$.
3. Titik kepunahan populasi daya dukung lingkungannya yakni hutan mangrove $E_2(C_J^*, C_A^*, 0)$ dengan $C_J^* = \frac{C_A^*(\mu + \delta_3 C_A^*)}{\alpha - \delta_4 C_A^*}$ dan C_A^* adalah solusi positif dari persamaan polinomial $a_3(C_A)^3 + a_2(C_A)^2 + a_1 C_A + a_0 = 0$ dengan

$$\begin{aligned} a_3 &= \delta_3(-\delta_1\delta_3 - \delta_4((n-m) + \delta_2)) \\ a_2 &= (r\delta_4^2 - 2\delta_1\delta_3\mu + (\delta_2 + \delta_4)\delta_3\alpha - (\delta_2 - \delta_3)\delta_4\mu - (\delta_4\mu - \delta_3\alpha)(n-m)) \\ a_1 &= (-2r\delta_4\alpha - \delta_3\alpha^2 + \mu\alpha((n-m) + \delta_2 - \delta_3 + \delta_4) - (\delta_1 - \delta_4)\mu^2) \\ a_0 &= (\alpha(r\alpha - (\alpha + \mu)\mu)) \end{aligned} \quad (5)$$

Eksistensi dan bentuk eksplisit diperoleh dengan menggunakan metode Cardano seperti pada [20].

4. Titik eksistensi semua populasi $E_3\left(C_J^*, C_A^*, \frac{L(s-p)}{s}\right)$ dengan $C_J^* = \frac{C_A^*(s\mu + \mu bL(s-p) + \delta_3 s C_A^*)}{\alpha s + \alpha bL(s-p) - \delta_4 s C_A^*}$ dan C_A^* adalah solusi positif dari persamaan polinomial $a_3(C_A)^3 + a_2(C_A)^2 + a_1 C_A + a_0 = 0$ dengan

$$\begin{aligned} a_3 &= \delta_3(-\delta_1\delta_3 - \delta_4(s + bL(s-p)(n-m) + \delta_2)) \\ a_2 &= \left(\frac{s + bL(s-p)}{s}\right) \left(rs\delta_4^2 - 2\delta_1\delta_3s\mu + (\delta_2 + \delta_4)\delta_3s\alpha - (\delta_2 - \delta_3)\delta_4s\mu - \right. \\ &\quad \left. (\delta_4\mu - \delta_3\alpha)(s + bL(s-p))(n-m)\right) \\ a_1 &= \left(\frac{s + bL(s-p)}{s}\right)^2 \left(-2r\delta_4s\alpha - \delta_3s\alpha^2 + \mu\alpha((s + bL(s-p))(n-m) \right. \\ &\quad \left. + \delta_2s - \delta_3s + \delta_4s) - (\delta_1 - \delta_4)\mu^2s\right) \\ a_0 &= \left(\frac{s + bL(s-p)}{s}\right)^3 \left(\alpha(r\alpha - (\alpha + \mu)\mu)\right) \end{aligned} \quad (6)$$

Eksistensi dan bentuk eksplisit diperoleh dengan menggunakan metode Cardano seperti pada [20].

3.1.2 Analisis Kestabilan

Pada bagian ini, kita melihat kestabilan lokal dari semua titik keseimbangan. Nilai eigen matriks Jacobi pada titik ekuilibrium dihitung untuk memeriksa dinamika di sekitar titik ekuilibrium. Matriks Jacobinya sebagai berikut:

$$J(C_J, C_A, K) = \begin{bmatrix} j_{11} & j_{12} & j_{13} \\ j_{21} & j_{22} & j_{23} \\ 0 & 0 & j_{33} \end{bmatrix} \quad (7)$$

dimana

$$j_{11} = (n-m)C_A - (\alpha + \mu) - \frac{2\delta_1 C_J + \delta_2 C_A}{1+bK}; \quad j_{12} = r + (n-m)C_J - \frac{\delta_2 C_J}{1+bK}; \quad j_{13} = \frac{b(\delta_1 C_J^2 + \delta_2 C_A C_J)}{(1+bK)^2};$$

$$j_{21} = \alpha - \frac{\delta_4 C_A}{1+bK}; \quad j_{22} = -\mu - \frac{2\delta_3 C_A + \delta_4 C_J}{1+bK}; \quad j_{23} = \frac{b(\delta_3 C_A^2 + \delta_4 C_A C_J)}{(1+bK)^2}; \quad j_{33} = s - \frac{2Ks}{L} - p.$$

Dengan menghitung matriks Jacobi disetiap titik kesetimbangan, diperoleh kestabilan lokal dijelaskan dalam teorema berikut:

Teorema 3.1. Titik kesetimbangan $E_0(0, 0, 0)$ akan stabil asimtotik lokal jika $s < p$ dan $\alpha < \frac{\mu^2}{r-\mu}$

BUKTI. Dengan mengganti $J(C_J, C_A, K)$ pada persamaan (7) dengan nilai titik kesetimbangan $E_0(0, 0, 0)$ diperoleh matrik Jacobi

$$J_{E_0} = \begin{bmatrix} -(\alpha + \mu) & r & 0 \\ \alpha & -\mu & 0 \\ 0 & 0 & s - p \end{bmatrix}$$

dengan nilai eigen dari $J(E_0)$ adalah $\lambda_1 = s - p$, $\lambda_2 = \frac{-(2\mu+\alpha)+\sqrt{\alpha^2+4r\alpha}}{2}$, dan $\lambda_3 = \frac{-(2\mu+\alpha)-\sqrt{\alpha^2+4r\alpha}}{2}$. Dengan menghitung masing-masing nilai λ nya diperoleh $s < p$ dan $\alpha < \frac{\mu^2}{r-\mu}$.

Teorema 3.2. Titik kesetimbangan $E_1(0, 0, \frac{L(s-p)}{s})$ akan stabil asimtotik lokal jika $p < s$ dan $\alpha < \frac{\mu^2}{r-\mu}$

BUKTI. Substitusi nilai $E_1(0, 0, \frac{L(s-p)}{s})$ pada persamaan (7) diperoleh matriks Jacobi

$$J_{E_1} = \begin{bmatrix} -(\alpha + \mu) & r & 0 \\ \alpha & -\mu & 0 \\ 0 & 0 & -s + p \end{bmatrix}$$

dengan nilai eigen dari dengan nilai eigen dari $J(E_1)$ adalah $\lambda_1 = -s + p$, $\lambda_2 = \frac{-(2\mu+\alpha)+\sqrt{\alpha^2+4r\alpha}}{2}$, dan $\lambda_3 = \frac{-(2\mu+\alpha)-\sqrt{\alpha^2+4r\alpha}}{2}$. Dengan menghitung masing-masing nilai λ nya diperoleh $p < s$ dan $\alpha < \frac{\mu^2}{r-\mu}$.

Teorema 3.3. Titik kesetimbangan $E_2(C_J^*, C_A^*, 0)$ akan stabil asimtotik lokal jika $s < h$ dan $\omega_1 > 0$, $\omega_2 > 0$

BUKTI. Substitusi nilai $E_2(C_J^*, C_A^*, 0)$ pada persamaan (7) diperoleh matriks Jacobi

$$J_{E2} = \begin{bmatrix} c_{11} & c_{12} & c_{13} \\ c_{21} & c_{22} & c_{23} \\ 0 & 0 & s - p \end{bmatrix}$$

dengan

$$c_{11} = ((n - m)C_A^* - (\alpha + \mu) - 2\delta_1 C_J^* - \delta_2 C_A^*); \quad c_{12} = r + (n - m)C_J^* - \delta_2 C_J^*; \quad c_{13} = b(\delta_1 C_J^{*2} + \delta_2 C_A^* C_J^*);$$

$$c_{21} = \alpha - \delta_4 C_A^*; \quad c_{22} = -\mu - 2\delta_3 C_A^* - \delta_4 C_J^*; \quad c_{23} = b(\delta_3 C_A^{*2} + \delta_4 C_A^* C_J^*).$$

Dengan demikian diperoleh persamaan karakteristik dari E_2

$$\lambda^2 + \omega_1 \lambda + \omega_2 = 0 \quad (8)$$

dimana

$$\omega_1 = -(c_{11} + c_{22})$$

$$\omega_2 = c_{11}c_{22} - c_{12}c_{21} \quad (9)$$

Diperoleh nilai eigen dari $J(E_2)$ adalah $\lambda_1 = s - p$ dan nilai eigen lainnya diperoleh dengan menggunakan kriteria *Routh-Hurwitz* dari persamaan (8) yang akan stabil jika $\omega_1 > 0$ dan $\omega_2 > 0$.

Teorema 3.4. *Titik kesetimbangan $E_3(C_J^*, C_A^*, \frac{L(s-p)}{s})$ akan stabil asimtotik lokal jika $s < p$ dan $\beta_1 > 0, \beta_2 > 0$*

BUKTI. Substitusikan nilai $E_3(C_J^*, C_A^*, \frac{L(s-p)}{s})$ pada persamaan (7) diperoleh matriks Jacobi

$$J_{E3} = \begin{bmatrix} d_{11} & d_{12} & d_{13} \\ d_{21} & d_{22} & d_{23} \\ 0 & 0 & -s + p \end{bmatrix}$$

dengan

$$d_{11} = (n - m)C_A^* - (\alpha + \mu) - \frac{(2\delta_1 C_J^* + \delta_2 C_A^*)s}{s + bL(s - p)}; \quad d_{12} = r + (n - m)C_J^* - \frac{(\delta_2 C_J^*)s}{s + bL(s - p)};$$

$$d_{13} = \frac{bs^2(\delta_1 C_J^{*2} + \delta_2 C_A^* C_J^*)}{(s + bL(s - p))^2}; \quad d_{21} = \alpha - \frac{(\delta_4 C_A^*)s}{s + bL(s - p)}; \quad d_{22} = -\mu - \frac{(2\delta_3 C_A^* + \delta_4 C_J^*)s}{s + bL(s - p)};$$

$$d_{23} = \frac{bs^2(\delta_3 C_A^{*2} + \delta_4 C_A^* C_J^*)}{(s + bL(s - p))^2}.$$

Dengan demikian diperoleh persamaan karakteristik dari E_2

$$\lambda^2 + \beta_1 \lambda + \beta_2 = 0 \quad (10)$$

dimana

$$\beta_1 = -(d_{11} + d_{22})$$

$$\beta_2 = d_{11}d_{22} - d_{12}d_{21} \quad (11)$$

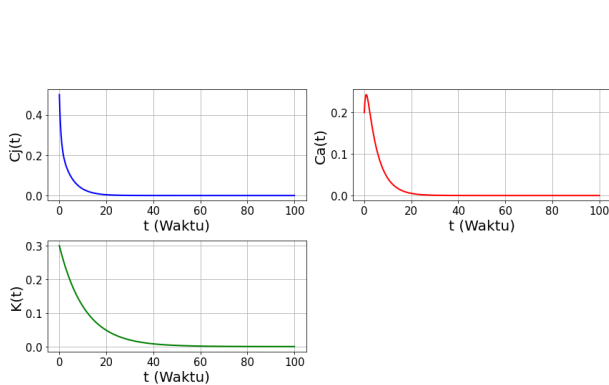
Diperoleh nilai eigen dari $J(E_3)$ adalah $\lambda_1 = -s + p$ dan nilai eigen lainnya diperoleh dengan menggunakan kriteria *Routh-Hurwitz* dari persamaan (10) yang akan stabil jika $\beta_1 > 0$ dan $\beta_2 > 0$.

3.2 Simulasi Numerik

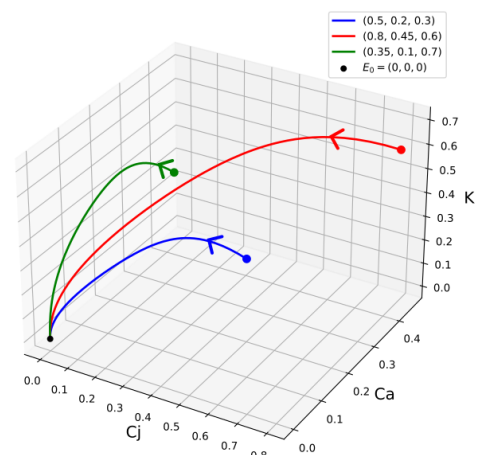
Pada tahap ini digunakan nilai-nilai parameter pada Tabel (1) untuk melakukan simulasi numerik pada setiap titik kesetimbangan. Pemilihan besaran nilai parameter pada Tabel (1) merupakan asumsi yang disesuaikan dengan syarat stabil pada setiap titik kesetimbangan.

Tabel 1: Nilai Parameter

Titik Kesetimbangan	α	μ	δ_1	δ_2	δ_3	δ_4	b	p	L	m	n	r	s
E_0	0.5	0.6	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	1.0	0.1	0.1	0.7	0.01
E_1	0.5	0.6	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.01	1.0	0.1	0.1	0.7	0.1
E_2	0.4	0.2	0.09	0.04	0.25	0.05	0.01	0.1	1.0	0.1	0.3	0.5	0.01
E_3	0.4	0.2	0.09	0.04	0.25	0.05	0.01	0.01	1.0	0.1	0.3	0.5	0.1



Gambar 1: Time Series E_0

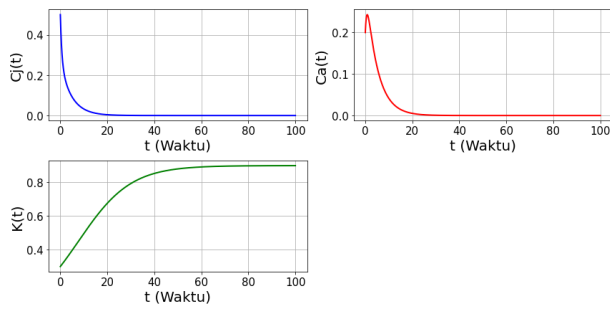
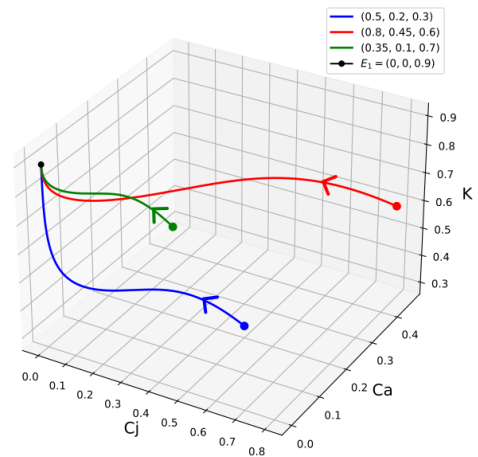
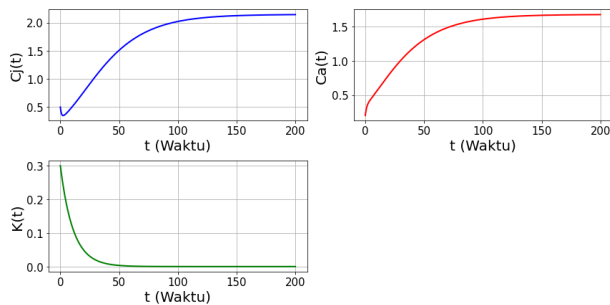
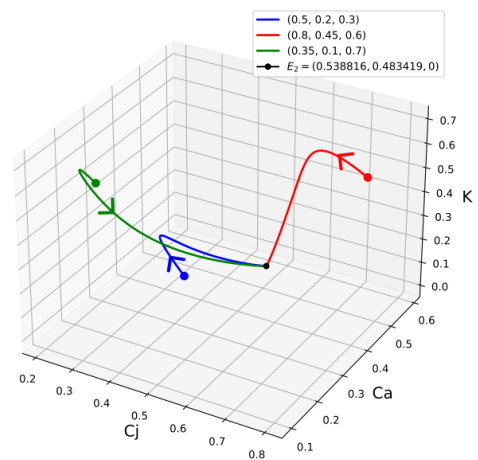


Gambar 2: Potret Fase E_0

Simulasi yang ditampilkan pada Gambar (1) menunjukkan hasil time series dari ketiga populasi. Untuk populasi C_J pada waktu $t = 0$ memiliki nilai yang tinggi akan tetapi mengalami penurunan disaat t mendekati 20 dan akan stabil disaat $t = 20$. Sedangkan untuk populasi C_A pada waktu $t = 0$ memiliki nilai $C_A = 0.2$ kemudian mengalami peningkatan sekaligus penurunan diwaktu yang sama dan kemudian akan stabil disaat $t = 20$. Untuk populasi K pada waktu $t = 0$ memiliki nilai $K = 0.3$ dan akan mengalami penurunan disaat t mendekati 20 kemudian stabil saat $t = 60$. Sementara itu, menggunakan nilai parameter yang ada pada Tabel (1) yang bersesuaian dengan syarat stabil E_0 yang ada pada **Teorema 3.1**, yaitu $s < p$ dan $\alpha < \frac{\mu^2}{r-\mu}$ dengan nilai $\frac{\mu^2}{r-\mu} = 3.6$, ditemukan bahwa solusi akan menuju ke titik kesetimbang E_0 , dimana berarti bahwa seluruh populasi akan mengalami kepunahan seperti yang ditunjukkan oleh Gambar (2).

Dinamika yang terjadi pada Gambar (3) untuk populasi C_J dan C_A sama halnya seperti pada Gambar (1). Sedangkan untuk populasi K pada awal waktu $t = 0$ memiliki nilai mendekati 0.4 kemudian seiring berjalan waktu populasi K mengalami peningkatan dan akan stabil pada nilai tertentu disaat t mendekati 80. Pada Gambar (4) ditunjukkan bahwa dengan mengambil nilai parameter yang ada pada Tabel (1) yang bersesuaian dengan syarat stabil E_1 yang ada pada **Teorema 3.2**, yaitu $p < s$ dan $\alpha < \frac{\mu^2}{r-\mu}$ dengan nilai $\frac{\mu^2}{r-\mu} = 3.6$, solusi akan menuju titik kesetimbangan E_1 , yang merupakan titik kepunahan dua populasi kepiting bakau.

Gambar (5) dibawah, ditunjukkan bahwa populasi C_J pada awal waktu atau $t = 0$ nilai populasi $C_J = 0.5$ kemudian mengalami penurunan di awal waktu dan mengalami peningkatan yang cukup tinggi hingga waktu disekitar $t = 100$ dan setelahnya akan stabil disekitar nilai 2.0 pada

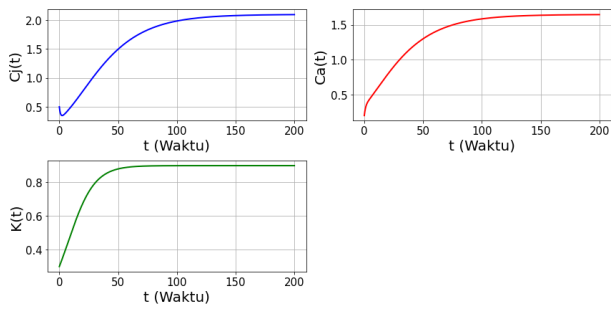
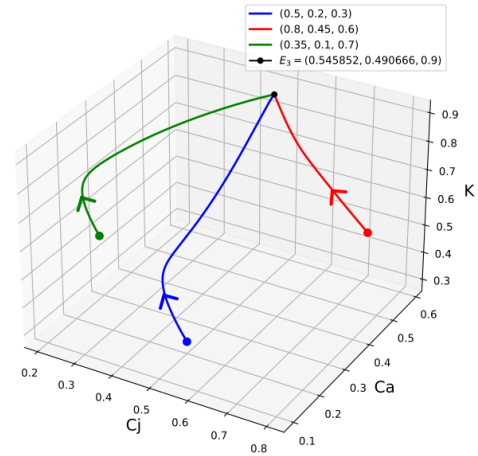
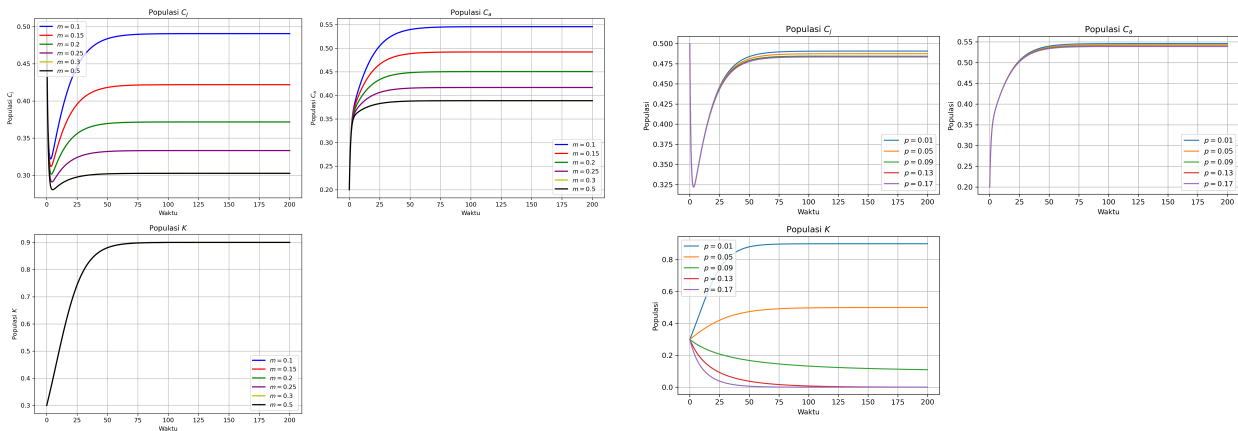
Gambar 3: Time Series E_1 Gambar 4: Potret Fase E_1 Gambar 5: Time Series E_2 Gambar 6: Potret Fase E_2

waktu $t = 150$. Seperti halnya populasi C_J , pada populasi C_A di awal waktu memiliki nilai mendekati 0.5 dan mengalami peningkatan cukup tinggi hingga waktu disekitar $t = 100$ dan akan stabil disekitar nilai 1.5 pada waktu $t = 150$. Sedangkan untuk populasi K di awal waktu memiliki nilai $K = 0.3$ kemudian mengalami penurunan hingga waktu disekitar t mendekati 50 dan akan mengalami stabil pada waktu $t = 50$. Sementara itu, untuk Gambar (6) menunjukkan bahwa dengan mengambil nilai parameter yang ada pada Tabel (1) yang bersesuaian dengan syarat stabil E_2 yang ada pada **Teorema 3.3** yakni $s < p$ dan $\omega_1 > 0$, $\omega_2 > 0$ dengan nilai $\omega_1 = 1.37$ dan $\omega_2 = 0.164$, solusi akan menuju ke titik kesetimbang E_2 yang berarti bahwa solusi akan menuju ke titik kepunahan populasi daya dukung lingkungannya.

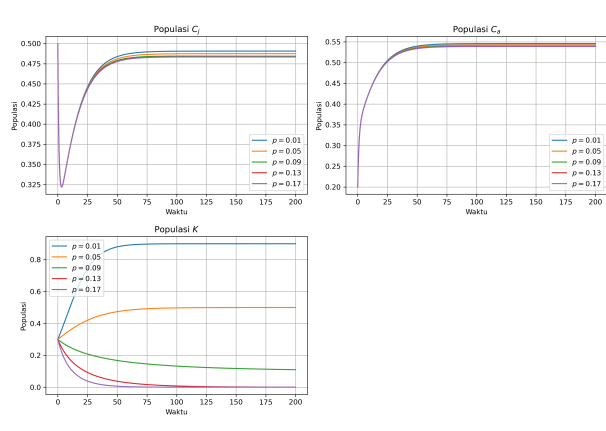
Simulasi yang ditunjukkan pada Gambar (7) menunjukkan bahwa pada populasi C_J dan C_A hasil simulasinya sama seperti pada Gambar (5), sedangkan untuk populasi K di awal waktu $t = 0$ memiliki nilai mendekati 0.4 kemudian seiring berjalan waktu populasi K mengalami peningkatan yang tinggi hingga waktu disekitar t mendekati 50 dan akan stabil pada nilai tertentu disaat $t = 50$. Pada Gambar (8) menunjukkan bahwa dengan mengambil nilai parameter yang ada pada Tabel (1) yang bersesuaian dengan syarat stabil E_3 yang ada pada **Teorema 3.4** yakni $p < s$ dan $\beta_1 > 0$, $\beta_2 > 0$ dengan nilai $\beta_1 = 1.363132$ dan $\beta_2 = 0.1589955386$, solusinya akan menuju ke titik kesetimbangan E_3 yakni titik eksistensi semua populasi.

Berikutnya dilakukannya simulasi numerik untuk bagian variasi pada parameter kanibalisme dan penyusutan dengan hasil sebagai berikut

Pada Gambar (9) dibawah, menunjukkan pengaruh adanya perubahan nilai parameter kani-

Gambar 7: Time Series E_3 Gambar 8: Potret Fase E_3 

Gambar 9: Variasi Parameter Kanibalisme



Gambar 10: Variasi Parameter Penyusutan

balisme pada setiap populasi. Pada populasi C_j diawal nilai C_j pada setiap nilai m mengalami penurunan hingga nilai C_j berada disekitaran 0.3. Seiring berjalannya waktu populasi C_j akan mengalami peningkatan dan akan stabil pada saat waktu $t = 50$ dimana nilai stabil dari C_j bergantung pada nilai m . Untuk populasi C_A pada awal waktu $t = 0$ nilai populasinya relatif rendah, akan tetapi akan meningkat hingga waktu disekitar t mendekati 50 dan akan stabil pada saat $t = 50$. Sementara itu untuk populasi K terlihat bahwa untuk nilai $m = 0.5$ laju pertumbuhan populasi K akan meningkat dan semakin cepat mendekati nilai stabil. Gambar (10) menunjukkan pengaruh variasi parameter penyusutan terhadap ketiga populasi. Pada populasi C_j pada waktu t mendekati 0 terdapat penurunan secara tajam terutama pada saat $p = 0.17$. Setelah penurunan awal tersebut, populasi C_j kembali meningkat dan akan stabil mendekati nilai 0.5 untuk semua kondisi nilai p . Sedangkan untuk populasi C_A pada awal waktu mengalami peningkatan tajam, akan tetapi seiring waktu populasi C_A akan stabil di sekitar nilai 0.5 untuk semua kondisi nilai p . Untuk populasi K terlihat pada $p = 0.01$ K meningkat dan akan stabil pada saat ketika $t = 75$ dengan nilai disekitar 0.8. Sedangkan ketika $p = 0.17$ populasi K menurun tajam dan akan mengalami kepunahan disaat $t = 50$.

4 Kesimpulan

Model ini menghasilkan empat titik kesetimbangan, yakni titik kepunahan seluruh populasi $E_0(0, 0, 0)$, titik kepunahan populasi kepiting bakau muda dan kepiting bakau dewasa $E_1(0, 0, \frac{L(s-h)}{s})$,

titik kepunahan populasi daya dukung lingkungannya $E_2(C_J^*, C_A^*, 0)$, dan titik eksistensi semua populasi $E_3(C_J^*, C_A^*, \frac{L(s-h)}{s})$ yang masing-masing titiknya memiliki syarat kestabilan. Simulasi numerik dilakukan dalam dua tahap. Pertama, simulasi di sekitar titik kesetimbangan, yang menunjukkan bahwa solusi akan menuju titik kesetimbangan masing-masing jika mengambil nilai parameter yang ada. Selanjutnya, variasi dilakukan pada dua parameter, yakni kanibalisme dan penyusutan. Untuk parameter kanibalisme, hasilnya menunjukkan bahwa populasi kepiting bakau muda akan meningkat jika nilai parameter kanibalismenya lebih kecil, sebaliknya populasi kepiting bakau dewasa akan meningkat jika nilai parameter kanibalismenya lebih besar. Selain itu, untuk parameter penyusutan, ditemukan bahwa populasi daya dukung lingkungannya akan mengalami kepunahan ketika nilai parameter p meningkat, sedangkan untuk populasi kepiting bakau akan meningkat dengan nilai parameter penyusutan yang ada.

Daftar Pustaka

- [1] Bea Cukai, “Bea Cukai Kenalkan Kepiting Bakau, Primadona Baru Ekspor Merauke,” 2021.
- [2] M. Saputri and Muammar, “Karakteristik Habitat Kepiting Bakau (*Scylla* sp.) Di Ekosistem Mangrove Silang Cadek Kecamatan Baitussalam Kabupaten Aceh Besar, Provinsi Aceh,” *Jurnal Biotik*, vol. 6, no. 1, pp. 75–80, 2018.
- [3] C. Tulangow, P. Santoso, and A. Y. H. Lukas, “Pengaruh Frekuensi Pemberian Pakan Ikan Rucah terhadap Pertumbuhan Kepiting Bakau (*Scylla serrata*) dengan Menggunakan Sistem Baterai,” *Jurnal Aquatik*, vol. 2, no. 2, pp. 50–61, 2019.
- [4] N. E. Herliany and Zamdial, “Hubungan Lebar Karapas dan Berat Kepiting Bakau (*Scylla* spp.) Hasil Tangkapan di Desa Kahyapu Pulau Enggano Provinsi Bengkulu,” *Jurnal Kelautan*, vol. 8, no. 2, pp. 89–94, 2015.
- [5] A. J. Ely, L. Tuhumena, J. Sopaheluwakan, and Y. Pattinaja, “Strategi Pengelolaan Ekosistem Hutan Mangrove Di Negeri Amahai,” *TRITON: Jurnal Manajemen Sumberdaya Perairan*, vol. 17, no. 1, pp. 57–67, 2021.
- [6] D. Wang, B. Wan, J. Liu, Y. Su, Q. Guo, P. Qiu, and X. Wu, “Estimating aboveground biomass of the mangrove forests on northeast Hainan Island in China using an upscaling method from field plots, UAV-LiDAR data and Sentinel-2 imagery,” *Int J Appl Earth Obs Geoinformation*, vol. 85, 2020.
- [7] L. Indriyani, S. Bana, A. Yasin, L. B. Sudia, Kahirun, L. O. Midi, and Hardin, “The Potential of Blue Carbon Stocks and Carbon Dioxide Absorption in Mangrove Forests to Support Low Carbon Emission Development in Southeast Sulawesi Province, Indonesia,” *International Journal on Advanced Science, Engineering and Information Technology*, vol. 10, no. 6, pp. 2526–2535, 2020.
- [8] Y. Koniyo, *Teknologi Bidudaya Kepiting Bakau (Scylla Serrata Forsskal) Melalui Optimalisasi Lingkungan dan Pakan*, vol. 2. CV. AA. RIZKY, 2019.
- [9] CIFOR (Center For International Forestry Research), “Mengapa Kita Perlu Mempertahankan Hutan Mangrove,” 2015.

- [10] I. S. Nurhati and D. Murdiyarso, *Strategi Nasional Pengelolaan Ekosistem Mangrove: Sebagai Rujukan Konservasi dan Rehabilitasi Kawasan Berkelanjutan dan Pembangunan Rendah Karbon*. 2022.
- [11] E. Kristensen, "Mangrove crabs as ecosystem engineers; with emphasis on sediment processes," *Journal of Sea Research*, vol. 59, no. 1-2, pp. 30–43, 2008.
- [12] S.Y. Lee, "Ecological role of grapsid crabs in mangrove ecosystems: a review," *Marine and Freshwater Research*, vol. 49, no. 4, pp. 335–343, 1998.
- [13] Mark V. Tran, "The scent of cannibalism: The olfactory basis of cannibalism in hermit crabs," *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, vol. 457, pp. 8–14, 2014.
- [14] S. Marshall, K. Warburton, B. Paterson, and D. Mann, "Cannibalism in juvenile blue-swimmer crabs *Portunus pelagicus* (Linnaeus, 1766): effects of body size, moult stage and refuge availability," *Applied Animal Behaviour Science*, vol. 90, no. 1, pp. 65–82, 2005.
- [15] E. Bonyah, P. H.S, F. F, R. E, and J. M.L, "Fractional stochastic modelling of monkeypox dynamics," *Results in Control and Optimization*, vol. 12, 2023.
- [16] N. Anggriani, H. S. Panigoro, E. Rahmi, O. J. Peter, and S. A. Jose, "A predator–prey model with additive Allee effect and intraspecific competition on predator involving Atangana–Baleanu–Caputo derivative," *ELSEVIER: Results in Physics*, vol. 49, 2023.
- [17] H. S. Panigoro, A. Suryanto, W. M. Kusumawinahyu, and I. Darti, "Global stability of a fractional-order gause-type predator-prey model with threshold harvesting policy in predator," *Communications in Mathematical Biology and Neuroscience*, vol. 2021, 2021.
- [18] H. S. Panigoro and E. Rahmi, "Global stability of a fractional-order logistic growth model with infectious disease," *Jambura Journal of Biomathematics (JJBM)*, vol. 1, no. 2, pp. 49–56, 2020.
- [19] H. Panigoro, R. Resamawan, E. Rahmi, M. A. Beta, and A. T. R. Sidik, "The Existence of a Limit-Cycle of a Discrete-Time Lotka-Volterra Model with Fear Effect and Linear Harvesting," *International Conference on Sciences, Mathematics, and Education (ICoSMEd 2022)*, vol. 400, no. E3S Web Conf., 2023.
- [20] Y. Ilham Nurtaniyahya, Nilamsari Kusumastuti, "Analisis Akar-Akar Persamaan Kubik Berdasarkan Koefisien Persamaan Cardano," vol. 12, no. 6, pp. 553–560, 2023.