

## ANALISIS MODEL MIKRO (*INDIVIDUAL BASED MODEL*) PADA PERSAINGAN ANTARA DUA SPESIES (KELINCI-RUSA)

### *MICRO MODEL ANALYSIS (INDIVIDUAL BASED MODEL) ON TWO SPECIES COMPETITION (RABBITS-DEERS)*

La Ode Sabran<sup>1§</sup>, Hayatul Mahdia<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Jurusan Matematika UIN Imam Bonjol Padang, Indonesia [[laodesabran@uinib.ac.id](mailto:laodesabran@uinib.ac.id)]

<sup>2</sup>Jurusan Matematika UIN Imam Bonjol Padang, Indonesia [[hayatulmahdia882@gmail.com](mailto:hayatulmahdia882@gmail.com)]

<sup>§</sup>*Corresponding Author*

Received Mei 2021; Accepted Juni 2021; Published Juni 2021;

---

#### **Abstrak**

Kehidupan makhluk hidup tidak terlepas dari interaksi. Interaksi yang terjadi dapat berupa persaingan dalam memperebutkan makanan. Pengetahuan mengenai persaingan/kompetisi antar populasi sangat penting untuk diketahui sebagai gambaran prediksi ketersediaan suatu bahan makanan dan ketahanan spesies dalam ekosistem yang menjamin keseimbangan ekosistem itu sendiri. Dalam penelitian ini dipelajari perilaku persaingan memperebutkan makanan antara populasi kijang dan kelinci dalam suatu kawasan tertutup. Model yang dibangun adalah Model Mikro/*Individual Based Model* yang melibatkan model dinamik stokastik pada pertumbuhan populasi kelinci dan kijang. Hasil simulasi dan analisis sensitivitas model menunjukkan bahwa punah dan hidup eksisnya spesies sangat ditentukan oleh jumlah kondisi awal dari spesies serta nilai dari konstanta persaingan antar populasi.

**Kata Kunci:** *Persaingan, Populasi, Model Mikro, Punah, Eksis*

#### **Abstract**

*The life of living things is inseparable from interaction. Interaction can be competition for food. Knowledge of competition populations is very important to know about prediction of the availability of a foodstuff and the resistance of species in the ecosystem. The existence of species can ensure the balance of the ecosystem. In this research, we studied the behavior of competition for food between deer and rabbit populations in a closed area. The model built is a micro model/individual based model which involves a dynamic stochastic model of population growth in rabbits and deer. The simulation results and the sensitivity analysis of the model show that the extinction and survival of species is largely determined by the number of initial conditions of the species and the value of the constant competition between populations.*

**Keywords:** *Competition, Population, Micro Model, Extinct, Exists*

---

## 1. Pendahuluan

Kehidupan makhluk hidup tidak terlepas dengan adanya interaksi. Interaksi dapat terjadi antar sesama spesies makhluk hidup itu sendiri maupun antar dua spesies berbeda atau lebih. Interaksi atau hubungan yang terjadi dapat berupa hubungan mutualisme (saling menguntungkan) atau bahkan berupa kompetisi/persaingan dalam memperebutkan suatu sumber daya seperti makanan. Sebagaimana interaksi itu sendiri, persaingan ini dapat terjadi antar sesama spesies atau antar spesies makhluk hidup yang berbeda.

Fokus kajian pada penelitian ini adalah melihat persaingan yang terjadi antara kelinci dan rusa pada suatu habitat yang sama. Persaingan ini terjadi karena kelinci dan rusa memiliki jenis sumber makanan yang sama yaitu berupa rumput. Tidak ada hubungan saling mangsa memangsa antara rusa dan kelinci.

Ketersediaan logistik (rumput) sangat mempengaruhi bentuk persaingan dan pertumbuhan populasi dari setiap spesies rusa dan kelinci. Pengaruh logistik akan berdampak pada adanya spesies yang mengalami pertumbuhan yang lebih lambat dibanding spesies lainnya atau bahkan dapat menimbulkan kepunahan pada suatu spesies tertentu. Namun demikian, logistik yang memadai akan menjamin pertumbuhan populasi kedua spesies tanpa ada yang mengalami kepunahan.

McNaughton dan Wolf dalam Setiawan, E., dkk., [1] menyatakan spesies yang lebih dari satu

dengan *niche* serupa dalam satu daerah tempat tinggal atau habitat yang sama akan menimbulkan terjadinya satu kemungkinan diantara kemungkinan-kemungkinan berikut: (1) Spesies-spesies tersebut akan hidup eksis apabila sumber daya yang dibutuhkan tersedia secara melimpah, (2) Ada spesies yang lebih dominan sehingga spesies lain punah, dan (3) ada spesies yang mengubah *niche*.

Pengetahuan mengenai interaksi persaingan antara dua spesies sangat penting diketahui sebagai gambaran prediksi ketersediaan suatu bahan makanan dan ketahanan spesies dalam ekosistem yang menjamin keseimbangan ekosistem itu sendiri. Penelitian yang membahas tentang interaksi antar spesies telah banyak dilakukan oleh para ahli. Diantaranya adalah penelitian yang dilakukan oleh Audria, P.N., dkk. membahas tentang model matematika persaingan dua spesies dengan adanya toksis dan pemanenan selektif. Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa persaingan dua spesies sangat dipengaruhi oleh adanya sumber makanan, toksis dan pemanenan. Dimana ketersediaan makanan dan perilaku pemanenan mempengaruhi pertumbuhan populasi dari kedua spesies [2].

Berbeda dengan penelitian yang dilakukan oleh Audria, P.N., dkk., yang menggunakan model deterministik, tim penulis dalam penelitian ini membangun model yang melibatkan pengaruh acak dari individu-individu spesies yang ada dalam populasi. Model ini penulis sebut dengan

model mikro karena mempertimbangkan keberadaan setiap spesies hingga skala yang lebih kecil berupa individu. Model ini juga lebih dikenal dengan sebutan *Individual Based Model* [IBM] yang menggunakan model stokastik dalam konstruksinya.

Model deterministik atau model kompartemen memandang populasi secara homogen dalam satu kompartemen. Sehingga model ini kurang cocok untuk menganalisis masalah dimana individu memberikan pengaruh dominan atau signifikan [3]. Untuk mengatasi hal tersebut, IBM ditawarkan sebagai model yang menunjukkan interaksi dan pengaruh stokastik antar individu dalam populasi. IBM sangat tepat diterapkan pada populasi hewan, karena IBM sangat cocok untuk menggabungkan lanskap spasial secara realistis dan mensimulasikan perilaku kompleks populasi [4].

Berdasarkan uraian pendahuluan di atas, permasalahan yang dibahas dalam penelitian ini adalah:

1. Bagaimanakah pertumbuhan populasi kelinci dan rusa yang berubah terhadap waktu sesuai dengan pertumbuhan logistik yang berdasarkan pada *Individual Based Model* (Model Dinamik Stokastik)?
2. Bagaimanakah eksistensi kedua spesies antara rusa dan kelinci?
3. Parameter apakah yang paling berpengaruh dalam menjaga eksistensi keberadaan populasi rusa dan kelinci agar tidak terjadi kepunahan?

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Mensimulasikan pertumbuhan populasi kelinci dan rusa yang berubah terhadap waktu sesuai dengan pertumbuhan logistik yang berdasarkan pada model dinamik stokastik.
2. Mengamati eksistensi kedua spesies antara rusa dan kelinci pada areal  $40 \times 40 m^2$ . Melihat kondisi/keadaan saat kedua spesies tetap eksis (menuju titik equilibrium yang menjamin keberadaan kedua spesies) dan keadaan saat salah satu spesies mengalami kepunahan.
3. Melakukan analisis sensitivitas untuk mengetahui parameter yang paling mempengaruhi eksistensi kehidupan populasi rusa dan kelinci.

## 2. Landasan Teori

### 2.1 Kompetisi Dua Spesies (Kelinci – Rusa)

Rusa merupakan hewan yang termasuk dalam kelas hewan mamalia dengan ordo berkuku genap *Artiodactyla*, famili *Cervidae*, sub familia *Ervidae* [5]. Ekosistem habitat rusa (rusa timor) adalah ekosistem berupa hutan *savanna* yaitu hutan rerumputan yang memiliki beberapa pohon. Rusa merupakan hewan herbivora dengan jenis makanannya berupa rerumputan (*graminoids*) [6]. Menurut Mustari, A. H., dkk., padang rumput merupakan habitat yang sangat penting untuk kelangsungan hidup rusa sambar dikarenakan padang rumput dapat menyediakan pakan yang mencukupi untuk kehidupan rusa [7].

Sebagai kompetitor rusa bila hidup dalam satu habitat, kelinci merupakan hewan yang juga menyukai rumput sebagai bahan makanan utama.

Kelinci lebih menyukai rerumputan dari pada dedaunan [8]. Menurut Damron, M. [9] kelinci adalah hewan yang masuk ke dalam kelas *mamalia* dengan famili *leporidae*. Berdasarkan bobot badannya, kelinci dapat digolongkan menjadi: (1) kelinci kecil yaitu kelinci dengan berat 0,9 – 2 Kg dengan usia siap kawin 4 – 6 bulan, seperti ras *Dutch* dan *Siamese*; (2) kelinci tipe sedang dengan berat 2 – 4 Kg, dengan usia siap kawin 7 – 8 bulan, seperti varietas *New Zealand*; dan (3) kelinci tipe besar dengan berat 4 – 7 Kg, dengan usia siap kawin 10 – 12 bulan, seperti ras *Chekeres Giant* [10]. Lama hidup kelinci lokal Indonesia berkisar antara 5 -10 tahun dengan masa produksi ekonomis 1 – 3 tahun dan lama bunting 10 – 35 hari [11].

Berbeda dengan kelinci, rusa memiliki bobot yang lebih besar. Menurut Anderson dalam [12] dijelaskan bahwa Indonesia mempunyai empat jenis rusa yaitu *Cervus unicolor* (rusa sambar) dengan bobot badan terbesar sekitar 160 – 200 kg/ekor, *Cervus timorensis* (rusa timor) yang berbobot badan sekitar 45 – 155 kg/ekor, *Axis kuhlii* (rusa bawean) dengan bobot badan 30 – 45 kg/ekor dan *Muntiacus muncak* (muncak) rusa terkecil dengan bobot 25 kg/ekor.

Muncak atau lebih dikenal dengan sebutan kijang memiliki usia siap untuk kawin adalah sekitar 15 – 18 bulan atau secara umum pematangan seksual dari famili *cervidae* ada pada usia di atas satu tahun [13].

## 2.2 Individual Based Model (IBM)

IBM adalah metode komputasi yang memungkinkan percobaan simulasi dengan

mempertimbangkan perilaku setiap individu dan interaksi diantara individu-individu tersebut. IBM memungkinkan para peneliti untuk menyelidiki sistem yang muncul karena pengaruh perilaku adaptif dari individu serta bagaimana sebaliknya sistem mempengaruhi individu [3].

Berdasarkan definisinya IBM berfokus pada skala individu yaitu model dasar yang mengamati individu yang berinteraksi dengan cara sederhana seperti automata seluler hingga situasi yang sangat kompleks dimana individu dapat berinteraksi dengan individu lain secara langsung dan/atau melalui modifikasi lingkungan mereka. Hal ini lebih memungkinkan untuk mempelajari aspek yang diabaikan pada model jenis lain.

Ada lima konsep desain yang digunakan dalam IBM [3], seperti dijelaskan berikut:

1. *Emergency* yaitu dinamika populasi lahir dari perilaku individu seperti kelahiran, kematian, recoveri, dan infeksi yang ditentukan dengan probabilitas;
2. *Sensing* yaitu kerangka kerja yang disajikan mencakup penginderaan spasial, suhu, usia, jenis kelamin, atau karakter individu lainnya;
3. *Interaction* yaitu interaksi antar individu yang saling mempengaruhi; dan
4. *Stochasticity* yaitu parameter yang terlibat dalam model diinterpretasikan sebagai probabilitas; dan
5. *Observation* yaitu pengamatan output dari model terkait punah dan eksisnya populasi karena interaksi antar spesies.

## 2.3 Model Dinamik Stokastik dan Analisis Sensitivitas

Model stokastik adalah suatu model matematika yang memiliki ciri adanya unsur acak atau distribusi peluang di dalamnya, sehingga penaksiran yang dihasilkan tidak hanya secara definitif akan tetapi disertai dengan deviasi. Hal ini sesuai dengan kondisi di lapangan, dimana sistem yang ada memiliki fluktuasi yang tidak terduga dan tidak dapat direproduksi. Untuk memahami fluktuasi tersebut beserta akibatnya diperlukan model stokastik. Model ini memandang sistem sebagai kumpulan partikel yang saling berinteraksi dengan laju hasil interaksi sangat ditentukan oleh teori probabilitas. Salah satu pendekatan yang digunakan adalah melihat sistem sebagai varian waktu yang didiskritisasi dengan melibatkan proses stokastik [14].

Model yang dibangun dalam suatu sistem akan melibatkan parameter-parameter tertentu yang bertujuan untuk menggambarkan sistem interaksi yang terjadi. Memahami parameter yang benar-benar berpengaruh dalam sistem memerlukan suatu analisis yang dikenal dengan nama analisis sensitivitas. Mahuda [15] menjelaskan bahwa analisis sensitivitas digunakan untuk mengetahui sejauh mana parameter-parameter input dan nilai awal dari suatu kondisi berpengaruh terhadap keluaran (*output*) dari sistem yang kita miliki. Demikian pula Chitnis dalam Malorung, F.Y., dkk., [16] menjelaskan definisi analisis sensitivitas yaitu *normalized sensitivity index diperoleh dengan indeks sensitivitas normalisasi dari variabel V*

*terdiferensialkan pada parameter p*, didefinisikan sebagai berikut:

$$C_p^v = \frac{\partial V}{\partial p} \times \frac{p}{V} \quad (1)$$

Dimana  $V$  adalah variabel yang akan dianalisis dan  $p$  adalah parameter. Definisi ini memberikan pengertian bahwa indeks sensitivitas dicari dengan menggunakan konsep laju perubahan yang kemudian diukur besar kecilnya perubahan tersebut. Semakin besar indeks sensitivitas maka semakin besar pula pengaruh parameter terhadap variabel yang diukur.

## 3. Hasil Dan Pembahasan

### 3.1 Asumsi-Asumsi pada Model

Asumsi-asumsi yang dibangun dalam melakukan simulasi mikro model pada interaksi antara kijang/rusa dan kelinci adalah:

1. Pertumbuhan populasi spesies proporsional dengan jumlah keseluruhan individunya.
2. Pertumbuhan populasi mengikuti model pertumbuhan logistik yang disimulasikan dalam bentuk mikro.
3. Ketersediaan logistik memenuhi untuk sejumlah carrying capacity bagi setiap rusa/kijang dan kelinci.
4. Peluang kelahiran individu dari setiap spesies lebih besar dari pada peluang kematiannya, saat jumlah populasi spesies berada di bawah carrying capacity.
5. Kedua spesies (rusa dan kelinci) berdistribusi secara random pada areal padang rumput.

6. Distribusi antara hewan jantan dan betina dari masing-masing spesies adalah berdistribusi seragam.
7. Areal padang rumput dipandang tertutup tanpa ada pergerakan keluar oleh kijang/rusa dan kelinci dari areal tersebut.
8. Luas areal padang rumput adalah  $40 \times 40 m^2$ .
9. Simulasi dilakukan untuk waktu selama 10 tahun dengan satuan waktu pada simulasi ini adalah *minggu*. Sehingga total pekan sebanyak 515 pekan/iterasi.
10. Waktu yang dibutuhkan rumput yang telah dimakan untuk dapat tumbuh dan siap dimakan lagi adalah selama 21 hari (3 pekan).
11. Kelinci selama sepekan diasumsikan bergerak untuk makan sejauh 21 meter dengan rata-rata gerak setiap harinya adalah 3 meter dengan arah random.
12. Kijang/rusa selama sepekan diasumsikan bergerak untuk makan sejauh 49 meter dengan rata-rata gerak setiap harinya adalah 7 meter dengan arah random.

### 3.2 Model Dinamik Stokastik

#### a. Keterangan Parameter

Adapun parameter yang digunakan dalam model adalah sebagai berikut:

- $i$  : Indeks untuk individu kelinci ke- $i$ .  
 $k$  : Indeks untuk individu kelinci ke- $k$ .  
 $j$  : Indeks untuk individu kijang ke- $j$ .  
 $l$  : Indeks untuk individu kijang ke- $l$ .  
 $r_t^i$  : Posisi individu kelinci ke- $i$  pada saat  $t$ .

- $d_t^j$  : Posisi individu kijang ke- $j$  pada saat  $t$ .  
 $B_t^i$  : Brownian motion (gerak random brown).  
 $f(i, j)$  : Fungsi pertumbuhan kelinci yang dipengaruhi interaksi dengan kijang.  
 $\aleph_r$  : Populasi kelinci  
 $N_r$  : Jumlah populasi kelinci.  
 $\mu_r^i$  : Peluang kelahiran kelinci ke  $i$  berdasarkan model pertumbuhan logistik.  
 $b$  : Kostanta persaingan kelinci terhadap kijang/rusa.  
 $C_r$  : Caring capacity kelinci  
 $g(j, i)$ : Fungsi pertumbuhan kijang/rusa yang dipengaruhi interaksi dengan kelinci.  
 $\aleph_d$  : Populasi rusa/kijang.  
 $N_d$  : Jumlah populasi rusa/kijang.  
 $\mu_d^j$  : Peluang kelahiran rusa/kijang berdasarkan model pertumbuhan logistik.  
 $q$  : Kostanta persaingan kijang terhadap kelinci.  
 $C_d$  : Caring capacity kijang.  
 $v_r$  : Kecepatan gerak kelinci.  
 $v_d$  : Kecepatan gerak kijang/rusa.  
 $a_{ik}$  : Persaingan antara kelinci ke- $i$  dan kelinci ke- $k$  yang dipengaruhi jarak kedua kelinci, dengan  $i \neq k$ .  
 $B_{ij}$  : Persaingan antara kelinci ke- $i$  dan kijang ke- $j$  yang dipengaruhi jarak.  
 $\delta_{jl}$  : Persaingan antara kijang/rusa ke- $j$  dan kelinci ke- $l$  yang dipengaruhi jarak antara kedua kijang.  
 $\gamma_{ji}$  : Persaingan antara kelinci ke- $i$  dan

kijang ke- $j$  yang dipengaruhi oleh jarak.

b. Model Dinamik Stokastik Pertumbuhan Populasi Kelinci

Pertumbuhan populasi kelinci digambarkan kedalam bentuk model stokasti berikut:

$$d\mathfrak{N}_r = \left[ \sum_{i \in \mathfrak{N}_r} f(i, j) \right] dt \quad (2)$$

Dengan:

Peluang kelinci lahir adalah:

$$P(f(i, j) = 1) = \sum_{i \in \mathfrak{N}_r} \mu_r^i \cdot \left( \frac{1}{(N_r - 1)} - \sum_{\substack{k \in \mathfrak{N}_r \\ k \neq i}} \frac{a_{ik}}{C_r \cdot (N_r - 1)} - \sum_{j \in \mathfrak{N}_d} \frac{b \cdot B_{ij}}{(N_d - 1)} \right) \quad (3)$$

Dan peluang kelinci tidak lahir adalah:

$$P(f(i, j) = 0) = 1 - \left( \sum_{i \in \mathfrak{N}_r} \mu_r^i \cdot \left( \frac{1}{(N_r - 1)} - \sum_{\substack{k \in \mathfrak{N}_r \\ k \neq i}} \frac{a_{ik}}{C_r \cdot (N_r - 1)} - \sum_{j \in \mathfrak{N}_d} \frac{b \cdot B_{ij}}{(N_d - 1)} \right) \right) \quad (4)$$

$a_{ik}$  merupakan persaingan antar sesama kelinci yang bergantung pada jarak:

$$a_{ik} = 1 - \frac{\text{Jarak}(r_t^i, r_t^k)}{\text{Jarak Maks}(r, r)} \quad (5)$$

dan  $B_{ij}$  merupakan persaingan antara kijang dan kelinci yang bergantung pada jarak:

$$B_{ij} = 1 - \frac{\text{Jarak}(r_t^i, d_t^j)}{\text{Jarak Maks}(r, d)} \quad (6)$$

c. Model Dinamik Stokastik Pertumbuhan Populasi Kijang/Rusa

Pertumbuhan populasi kijang/rusa digambarkan kedalam bentuk model stokastik berikut:

$$d\mathfrak{N}_d = \left[ \sum_{j \in \mathfrak{N}_d} g(j, i) \right] dt \quad (7)$$

Dengan:

Peluang kijang lahir adalah:

$$P(g(j, i) = 1) = \sum_{j \in \mathfrak{N}_d} \mu_d^j \cdot \left( \frac{1}{(N_d - 1)} - \sum_{\substack{l \in \mathfrak{N}_d \\ j \neq l}} \frac{\delta_{jl}}{C_d \cdot (N_d - 1)} - \sum_{i \in \mathfrak{N}_r} \frac{q \cdot \gamma_{ji}}{(N_r - 1)} \right) \quad (8)$$

Dan peluang kijang tidak lahir adalah :

$$P(g(j, i) = 0) = 1 - \left( \sum_{j \in \mathfrak{N}_d} \mu_d^j \cdot \left( \frac{1}{(N_d - 1)} - \sum_{\substack{l \in \mathfrak{N}_d \\ j \neq l}} \frac{\delta_{jl}}{C_d \cdot (N_d - 1)} - \sum_{i \in \mathfrak{N}_r} \frac{q \cdot \gamma_{ji}}{(N_r - 1)} \right) \right) \quad (9)$$

$\delta_j$  persaingan antar sesama kijang yang bergantung pada jarak:

$$\delta_{jl} = 1 - \frac{\text{Jarak}(d_t^j, d_t^l)}{\text{Jarak Maks}(d, d)} \quad (10)$$

$\gamma_{ji}$  persaingan antara kijang dan kelinci yang bergantung pada jarak:

$$\gamma_{ji} = 1 - \frac{\text{Jarak}(r_t^i, d_t^j)}{\text{Jarak Maks}(r, d)} \quad (11)$$

d. Perubahan Posisi

Perubahan posisi setiap individu yaitu:

Kelinci:  $dr_t^i = v_r \cdot dB_t^i$

Kijang:  $dd_t^j = v_d \cdot dB_t^j$

e. Nilai - Nilai Parameter

Berdasarkan penjelasan pada tinjauan pustaka, dapat diasumsikan bahwa berat rata-rata kelinci adalah 4 kg dengan kebutuhan makanan  $5\% \times 4 \text{ kg} = 0,2 \text{ kg} \approx 0.25 \text{ m}^2$ . Sehingga, setiap ekor kelinci membutuhkan  $0.25 \text{ m}^2$  rumput untuk setiap harinya. Areal rumput yang telah dimakan diasumsikan dapat tumbuh dan dimakan kembali setelah 21 hari. Dalam sehari luas areal yang boleh dimakan rumputnya sebesar  $\frac{1600 \text{ m}^2}{21} \approx 76 \text{ m}^2$ .

$$C_r = \frac{76 m^2}{0.25 m^2} = 304 \text{ ekor.}$$

Lama hidup kelinci secara rata-rata adalah 6 tahun  $\approx 312$  minggu. Masa produktif kelinci 2,5 tahun  $\approx 130$  minggu [10]. Seekor kelinci diasumsikan dapat melahirkan 7 ekor dalam sekali melahirkan dan dalam setahun dapat melahirkan sebanyak 5 kali.

$\mu_r$  = *Peluang Kelahiran Kelinci* – *Peluang Kematian Kelinci*

$$\begin{aligned} &= \frac{7 \times 2,5 \times 5}{2 \times 312} - \frac{1}{312} \\ &= \frac{85,5}{624}. \end{aligned}$$

$$k = \frac{\mu_r}{C_r} = 45 \times 10^{-5}$$

Berat rata-rata kijang 25 kg [11]. Kebutuhan makanan  $5\% \times 25 \text{ kg} = 1,25 \text{ kg} \approx 1.3 m^2$ . Sehingga, setiap ekor kijang membutuhkan  $1.3 m^2$  rumput untuk setiap harinya. Dengan luas areal yang boleh dimakan rumputnya setiap hari adalah sebesar  $76 m^2$ , diperoleh:

$$C_d = \frac{76 m^2}{1,3 m^2} \approx 58 \text{ ekor}$$

Lama hidup kijang diasumsikan secara rata-rata adalah 15 tahun  $\approx 720$  minggu. Masa produktif kijang 10 tahun  $\approx 480$  minggu. Seekor kijang hanya dapat melahirkan 1 ekor dalam sekali melahirkan dan dalam setahun hanya melahirkan 1 kali.

$\mu_d$  = *Peluang Kelahiran Kijang* – *Peluang Kematian Kijang*

$$= \frac{1 \times 10 \times 1}{2 \times 720} - \frac{1}{720} = \frac{8}{1440}$$

$$l = \frac{\mu_d}{c_d} = 9.5 \times 10^{-5}$$

Agar kedua spesies tetap eksis maka kostanta  $b$  dan  $q$  di upayakan pada keadaan:

$$\frac{\mu_r}{b} > \frac{\mu_d}{l}$$

$$b < \frac{\frac{85,5}{624} \times 9.5 \times 10^{-5}}{\frac{8}{1440}} = 2.34 \times 10^{-3}$$

Pilih  $b = 10^{-3}$ , selanjutnya

$$\frac{\mu_d}{q} > \frac{\mu_r}{k}$$

$$q < \frac{\frac{8}{1440} \times 45 \times 10^{-5}}{\frac{85,5}{624}} = 1,82 \times 10^{-5}$$

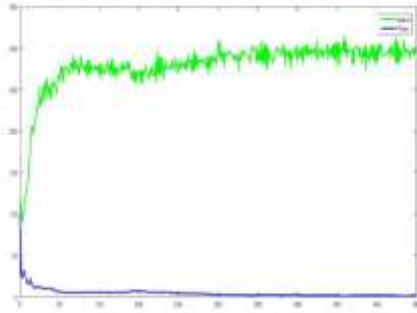
Pilih  $q = 10^{-5}$ . Dengan kostanta  $b = 10^{-3}$  dan  $q = 10^{-5}$  serta jumlah kijang dan kelinci yang proporsional maka kedua spesies akan tetap eksis (kooeksistensi damai).

### 3.3 Simulasi dan Aplikasi Teorema Limit Pusat

Kurva berwarna hijau pada simulasi menunjukkan jumlah populasi kelinci dan kurva berwarna biru menunjukkan jumlah populasi kijang/rusa. Simulasi dilakukan secara berulang sampai 10 kali kemudian dirata-ratakan (Penggunaan Teorema Limit Pusat) dengan hasil yang mencakup tiga keadaan berikut:

#### 1. Spesies Kijang/Rusa Mengalami Kepunahan

Dengan nilai awal kelinci sebanyak 120 ekor dan kijang 100 ekor, serta nilai kostanta persaingan antara kijang dan kelinci yaitu  $b = 0.001$  dan  $q = 2200$  menghasilkan simulasi seperti gambar berikut:

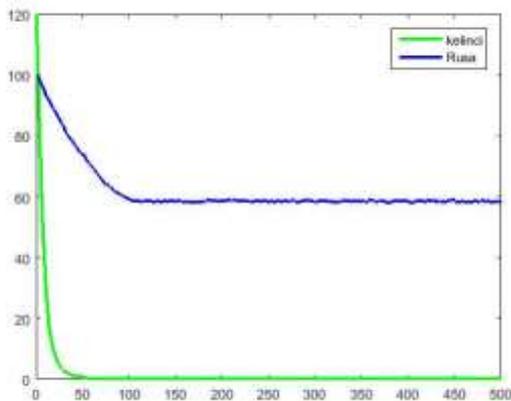


Gambar 1. Grafik Kijang/Rusa Punah

Berdasarkan grafik di atas, terlihat bahwa setelah 400 minggu, populasi kijang (kurva biru) mengalami kepunahan dan populasi kelinci (kurva hijau) terus meningkat menuju carrying capacity kelinci yaitu 304 ekor.

### 2. Spesies Kelinci Mengalami Kepunahan

Dengan nilai awal kelinci sebanyak 120 ekor dan kijang 100 ekor serta nilai kostanta persaingan antara kijang dan kelinci yaitu  $b = 0.001$  dan  $q=0.00001$  menghasilkan simulasi seperti gambar berikut:



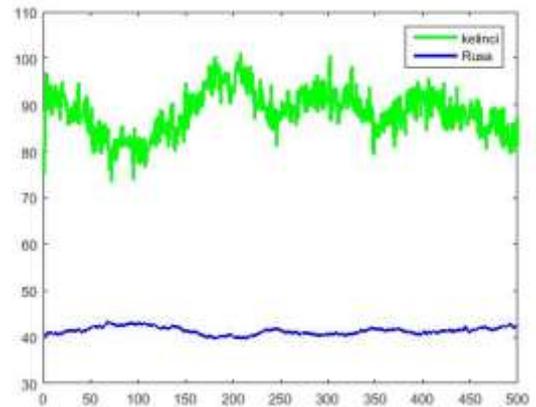
Gambar 2. Grafik Kelinci Punah

Pada grafik tampak bahwa setelah 50 minggu populasi kelinci mengalami kepunahan dan populasi kijang yang semula di atas Carrying

Capacity turun hingga ke Carrying capacitynya yaitu 58 ekor.

### 3. Kedua Spesies Koeksistensi Damai (Kijang/Rusa dan Kelinci) Tidak ada yang punah)

Dengan nilai awal kelinci sebanyak 75 ekor dan kijang 40 ekor serta nilai kostanta persaingan antara kijang dan kelinci yaitu  $b = 0.001$  dan  $q = 0.0001$  menghasilkan simulasi seperti gambar berikut:



Gambar 3. Grafik Kijang dan Kelinci Eksis

Pada grafik di atas tampak bahwa kedua populasi eksis, tanpa ada yang punah. Sampai 500 minggu, jumlah populasi kijang stabil mendekati carrying capacity dan populasi kelinci yang pada mulanya menurun kemudian tumbuh lagi menuju titik equilibrium.

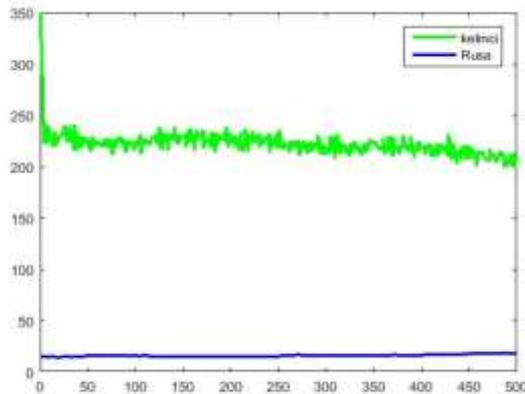
### 3.4. Analisis Sensitivitas

Analisis sensitivitas dapat dilakukan dengan mengubah nilai inisial kondisi dan kostanta persaingan. Sedangkan untuk parameter  $\mu_r$  dan  $\mu_d$  tidak dapat dilakukan perubahan karena berkaitan dengan data ril di lapangan.

#### 1. Nilai awal yang bervariasi dan kostanta

persaingan yang tetap ( $b= 0.001$  dan  $q=0.00001$ )

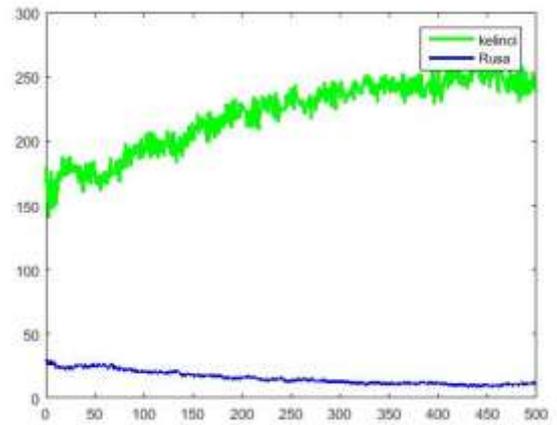
- a. Nilai awal kelinci 350 ekor (di atas carrying capacity) dan kijang 15 ekor (di bawah carrying capacity).



Gambar 4. Kelinci di atas Carrying Capacity

Pada kondisi nilai konstanta persaingan yang menjamin kedua populasi untuk hidup eksis yaitu  $b= 0.001$  dan  $q=0.00001$ , hasil analisis sensitivitas menunjukkan bahwa kedua populasi benar-benar eksis. Hal ini terlihat seperti pada Gambar 4 di atas dimana populasi kijang dan kelinci tidak punah. Perbedaan yang terjadi hanyalah pada jumlah kelinci lebih banyak dari pada jumlah kijang yang disebabkan karena kondisi awal populasi kelinci lebih tinggi yaitu 350 ekor.

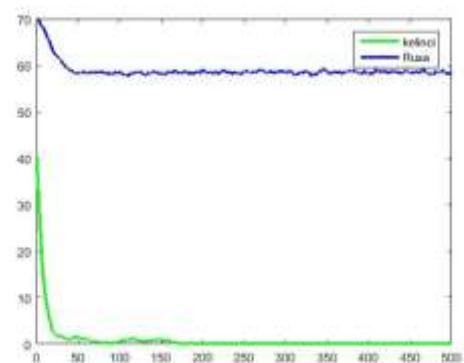
- b. Nilai awal kijang 70 ekor (di atas carrying capacity) dan kelinci 40 ekor (di bawah carrying capacity)



Gambar 5. Kijang di atas Carrying Capacity

Grafik hasil analisis sensitivitas pada gambar 5 di atas menunjukkan bahwa kelinci tetap punah meskipun konstanta persaingan berada pada nilai yang menjamin hidup eksisnya kedua populasi. Hal ini menunjukkan bahwa kondisi awal yaitu jumlah populasi kelinci yang kecil hanya 40 ekor dapat menyebabkan kepunahan karena kalah bersaing dengan kijang dalam memperebutkan makanan.

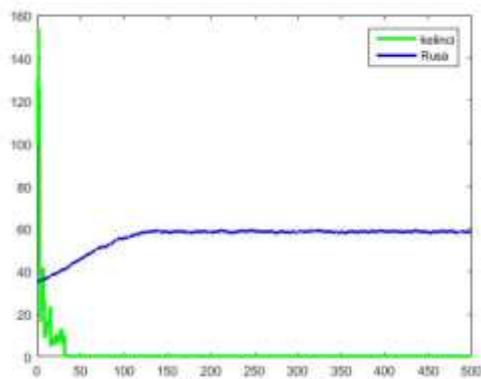
2. Nilai awal tetap (kijang 35 ekor dan kelinci 100 ekor) dengan konstanta persaingan yang bervariasi
  - a. Konstanta persaingan  $b = 0.001$  dan  $q = 1000$



Gambar 6. Grafik untuk  $q = 1000$

Hasil analisis sensitivitas pada Gambar 6 menunjukkan bahwa pada nilai konstanta persaingan  $q$  yang tidak menunjang untuk pertumbuhan populasi kijang yaitu  $q = 1000$ , terlihat bahwa jumlah populasi kijang mengalami penurunan. Namun pada keadaan ini, kedua spesies masih hidup eksis. Akan tetapi, jika nilai  $q$  dinaikkan lagi maka populasi kijang akan punah.

b. Kostanta persaingan  $b = 100$  dan  $q = 0.00001$



Gambar 7. Grafik untuk  $b = 100$

Hasil analisis sensitivitas untuk  $b = 100$ , menunjukkan bahwa kelinci mengalami kepunahan. Hal ini terjadi karena kostanta persaingan  $b = 100$  tidak mendukung untuk kehidupan kelinci.

### 3.5. Interpretasi

Berdasarkan hasil simulasi dan analisis sensitivitas, diperoleh bahwa pada keadaan jumlah awal (initial condition) populasi kijang dan kelinci yang proporsional dan tidak melebihi carrying capacity serta dengan kostanta persaingan yang menunjang untuk hidup eksisnya kedua spesies yaitu  $b = 0.001$  dan  $q = 0.00001$  maka kedua populasi kijang dan kelinci

tidak akan mengalami kepunahan. Hal ini sebagaimana terlihat pada Gambar 3 dan Gambar 4.

Sebaliknya jika jumlah populasi kijang berada di atas carrying capacity dan kostanta persaingan masih pada nilai  $b = 0.001$  dan  $q = 0.00001$  maka kecenderungannya populasi kelinci akan punah. Hal ini disebabkan karena kijang lebih mendominasi dalam kecepatan memperoleh makanan yang ada. Begitu pula bila kostanta dominasi kelinci dalam menghabiskan makanan yaitu  $q$  dinaikkan menjadi  $q = 2200$ , maka kijang mengalami kepunahan disebabkan karena kelinci lebih mendominasi dalam hal memperoleh makanan dibanding kijang.

## 4. Kesimpulan Dan Saran

Kesimpulan yang diperoleh dari hasil penelitian ini adalah:

1. Pertumbuhan dan eksistensi populasi dalam suatu kompetisi memperebutkan makanan seperti yang terjadi antara kijang/rusa dan kelinci sangat dipengaruhi oleh jumlah populasi itu sendiri serta besar nilai kostanta persaingan dari masing-masing populasi dalam memperebutkan sumber makanan tersebut.
2. Hasil analisis sensitivitas menunjukkan bahwa parameter yang sangat mempengaruhi punah atau hidup eksisnya suatu populasi adalah kostanta persaingan dan jumlah kondisi awal populasi.

## 5. Ucapan Terima Kasih

Ucapan terimakasih tim penulis sampaikan kepada seluruh pihak yang telah berpartisipasi dan mendukung pelaksanaan kegiatan penelitian ini.

## Daftar Pustaka

- [1] E. Setiawan, A. Priyono Kartono, and B. Masy'ud, "Interaksi Interspesifik antara Tiga Spesies Rusa Di Penangkaran ( Interspecific Interactions among Three Species of Deer in Captivity )," *Media Konserv.*, vol. 23, no. 2, pp. 144–152, 2018, doi: <https://doi.org/10.29244/medkon.23.2.144-152>.
- [2] P. N. Audria, M. Miswanto, and F. Fatmawati, "Model Matematika Persaingan Dua Spesies dengan Toksisitas dan Pemanenan Selektif," *Limits J. Math. Its Appl.*, vol. 16, no. 2, pp. 117–134, 2019, doi: [10.12962/limits.v16i2.5255](https://doi.org/10.12962/limits.v16i2.5255).
- [3] E. G. Nepomuceno, R. H. C. Takahashi, and L. A. Aguirre, "Individual Based-Model (IBM): An Alternative framework for epidemiological compartment models," *Biometric Brazilian Journal/Revista Bras. Biometria*, vol. 34, no. 1, pp. 133–162, 2016.
- [4] D. L. DeAngelis and V. Grimm, "Individual-based models in ecology after four decades," *F1000Prime Rep.*, vol. 6, no. 39, pp. 1–6, 2014, doi: [10.12703/P6-39](https://doi.org/10.12703/P6-39).
- [5] R. Gusmalinda, B. S. Dewi, and N. W. Masruri, "Social Behavior of Sambar Deer (*Cervus unicolor*) and Spotted Deer (*Axis axis*) in Gunung Madu Plantations Inc. Sanctuary Lampung Tengah," *J. Sylva Lestari*, vol. 6, no. 1, pp. 74–84, 2018, doi: [10.23960/jsl1676-85](https://doi.org/10.23960/jsl1676-85).
- [6] A. R. Dewi and D. E. Mahmudah, "Studi Tentang Corak Habitat dan Komponen Pendukung Terhadap Populasi Rusa Timor (*Cervus Timorensis*, DE BLAINVILLE 1822) Di Teluk Brumbun Taman Nasional Bali Barat," *Wahana Mat. dan Sains J. Mat. , Sains , dan Pembelajarannya* , vol. 12, no. 2, pp. 41–57, 2018.
- [7] A. H. Mustari, A. Manshur, and B. Masyud, "Jenis Pakan dan Daya Dukung Habitat Rusa Sambar ( *Cervus unicolor* Kerr , 1972) di Resort Teluk Pulai , Taman Nasional Tanjung Puting, Kalimantan Tengah," *Media Konserv.*, vol. 17, no. 2, pp. 47–54, 2012, doi: <https://doi.org/10.29244/medkon.17.2.%25p>.
- [8] Hidayat and T. Akbarillah, "Palatabilitas Beberapa Hijauan Pakan pada Kelinci," *J. Sain Peternak. Indones.*, vol. 4, no. 1, pp. 11–16, 2009, doi: [10.31186/jspi.id.4.1.11-16](https://doi.org/10.31186/jspi.id.4.1.11-16).
- [9] M. Damron, *Klasifikasi Makhluk Hidup: Mamalia*. Jakarta: Gramedia Pustaka Utama, 2003.
- [10] B. Sarwono, *Kelinci Potong dan Hias*, 7th ed. Jakarta: Agromedia Pustaka, 2005.
- [11] J. B. Smith and Soesanto Mangkoewindjojo, *Pemeliharaan, Pembiakan, dan Penggunaan Hewan Percobaan di Daerah Tropis*. Jakarta: UI Press, 1988.
- [12] W. Wirdateti, G. Semiadi, and T. Okayama, "Karakteristik Genetik Pada Famili Cervidae (*Cervus unicolor*, *Cervus timorensis*, dan *Axis kuhlii*) Berdasarkan 12 Sr RNA mt DNA," *Berk. Penelit. Hayati*, vol. 9, no. 2, pp. 61–68, 2004, doi: [10.23869/bphjbr.9.2.20041](https://doi.org/10.23869/bphjbr.9.2.20041).
- [13] A. Pudjirahaju, I. Supriatna, S. Agungpriyono, and M. Agil, "Deteksi Umur Pubertas Muncak (*Muntiacus Muntjak*) Betina Berdasarkan Analisis Metabolit Estrogen dan Progesteron pada Feses," *J. Vet.*, vol. 16, no. 1, pp. 78–87, 2015.
- [14] Y. Zheng and G. Sriram, "Mathematical modeling: Bridging the gap between concept and realization in synthetic biology," *J. Biomed. Biotechnol.*, vol. 2010, no. Figure 1, pp. 1–16, 2010, doi: [10.1155/2010/541609](https://doi.org/10.1155/2010/541609).
- [15] I. Mahuda, "Model Matematika Penyebaran HIV/AIDS pada Pengguna Narkoba Melalui Jarum Suntik," *J. Stat. dan Mat.*, vol. 2, no. 1, pp. 45–56, 2020, doi: [http://dx.doi.org/10.32493/sm.v2i1.4181](https://doi.org/10.32493/sm.v2i1.4181).
- [16] F. Malorung, M. Blegur, R. M. Pangaribuan, and M. Z. Ndi, "Analisis Sensitivitas Model Matematika Penyebaran Penyakit Dengan Vaksinasi," *J. Mat. Integr.*, vol. 14, no. 1, pp. 9–15, 2018, doi: [10.24198/jmi.v14.n1.16000.9-15](https://doi.org/10.24198/jmi.v14.n1.16000.9-15).