

**MODEL INTERAKSI MANGSA PEMANGSA DENGAN FUNGSI RESPON RASIO DEPENDENT HOLLING
TIPE II DAN PERILAKU ANTI PEMANGSA****Siti Saadah**Jurusan Matematika, FMIPA, Universitas Negeri Surabaya
e-mail : sitisaadah@mhs.unesa.ac.id**Abadi**Jurusan Matematika, FMIPA, Universitas Negeri Surabaya
e-mail : abadi@unesa.ac.id**Dian Savitri**Jurusan Matematika, FMIPA, Universitas Negeri Surabaya
e-mail : diansavitri@unesa.ac.id**Abstrak**

Interaksi antara mangsa pemangsa dalam bidang ekologi merupakan suatu topik menarik untuk dibahas. Namun untuk mengetahuinya tidak mudah, sehingga dibutuhkan model matematika untuk dapat memprediksi perilakunya. Interaksi mangsa pemangsa dengan fungsi respon rasio dependent Holling tipe II mengkaji bahwa populasi pemangsa tidak hanya bergantung pada keberadaan populasi mangsa, namun juga keberadaan populasi pemangsa itu sendiri. Artikel ini khusus membahas konstruksi model interaksi mangsa pemangsa menggunakan fungsi respon rasio dependent Holling tipe II dengan adanya perilaku anti pemangsa.

Kata kunci: mangsa pemangsa, rasio dependent, anti pemangsa.**Abstract**

The interaction between predator prey in the field of ecology is an interesting topic for discuss. But to know it is not easy, so it requires a mathematical model to predict the behavior. Predator prey Interactions with Holling type II ratio dependent function response, the predator population that not only considers the prey populations, but also its predator population. This article specifically discuss the construction of predator prey interaction models with the Holling type II ratio dependent function response with the presence of anti-predator behavior.

Keywords : Predator prey, ratio dependent, anti-predator.**1. PENDAHULUAN**

Interaksi yang sering kali terjadi antar makhluk hidup yaitu dalam mencari makanan. Proses mencari makanan bagi sebagian makhluk hidup dengan cara memakan makhluk hidup lainnya. Hal ini yang sering kali terjadi pada hewan, yang dibedakan menjadi kelompok mangsa dan kelompok pemangsa. Di ekosistem sering kali kelompok mangsa diasumsikan tertangkap dan termangsa oleh pemangsa ketika terjadi predasi (Dawes & Souza, 2013). Namun kenyataan di lingkungan tidak semua mangsa ketika bertemu pemangsa tertangkap dan termangsa. Dalam kasus ini ada beberapa mangsa yang mampu melawan dan berhasil menyelamatkan diri dari pemangsa. Perilaku mangsa yang berhasil meloloskan

diri dan melawan pemangsa kemudian dikenal sebagai perilaku anti pemangsa (Mortoja et al., 2018).

Fungsi respon yang digunakan dalam artikel ini yaitu fungsi respon rasio dependent Holling tipe II. Dipilihnya fungsi respon ini karena menetapkan bahwa kepadatan populasi pemangsa tidak hanya bergantung pada populasi mangsa, namun juga pada populasi pemangsa itu sendiri (Arditi & Ginzburg, 1989). Populasi pemangsa yang tinggi menyebabkan adanya kompetisi dalam mencari makanan, sehingga mengganggu kepadatan populasi pemangsa itu sendiri.

Berdasarkan latar belakang tersebut, maka penulis tertarik untuk mengkaji model interaksi mangsa pemangsa dengan fungsi respon rasio dependent Holling tipe II dengan adanya perilaku anti pemangsa. Tujuan penelitian ini untuk mengkonstruksi model interaksi

MODEL INTERAKSI MANGSA PEMANGSA DENGAN FUNGSI RESPON RASIO DEPENDENT HOLLING TIPE II DAN PERILAKU ANTI PEMANGSA

mangsa pemangsa dengan fungsi respon rasio dependent Holling tipe II dan perilaku anti pemangsa, dengan asumsi bahwa perilaku anti pemangsa dapat membunuh pemangsa.

2. KAJIAN TEORI

Model Lotka-Volterra

Alfred J. Lotka dan Vito Volterra mengenalkan model mangsa pemangsa pertama kalinya dengan melambangkan x sebagai populasi mangsa dan y sebagai populasi pemangsa. Dimodelkan bahwa mangsa tumbuh mengikuti pola eksponensial ketika tidak ada pemangsa, yaitu $\dot{x}(t) = rx$, dengan r merupakan laju pertumbuhan mangsa $r > 0$. Ketika terjadi predasi, maka mangsa akan berkurang sejumlah mangsa yang dikonsumsi oleh pemangsa yang dimodelkan dengan axy , dengan a laju penangkapan mangsa oleh pemangsa $a > 0$. Sehingga perubahan populasi mangsa dimodelkan menjadi

$$\dot{x}(t) = rx - axy.$$

Perubahan populasi pemangsa berlawanan dari perubahan populasi mangsa. Dalam hal ini, ketika pemangsa bertemu dengan mangsa, maka populasi pemangsa akan bertambah yang dimodelkan sebagai bxy , dengan b merupakan laju konversi biomassa dari mangsa menjadi pemangsa $b > 0$. Sedangkan ketika pemangsa tidak bertemu dan memakan mangsa, maka populasi pemangsa akan berkurang. Dalam hal ini model penurunan pemangsa dinyatakan sebagai $\dot{y}(t) = -my$, dengan m adalah laju kematian alami pemangsa, $m > 0$. Sehingga perubahan populasi pemangsa dimodelkan sebagai:

$$\dot{y}(t) = bxy - my.$$

Dengan mengasumsikan bahwa parameter-parameter yang digunakan bernilai positif, maka Sistem persamaan mangsa pemangsa Lotka-Volterra menurut Logan (2010) adalah :

$$\begin{aligned} \dot{x}(t) &= rx - axy \\ \dot{y}(t) &= bxy - my \end{aligned} \quad (1)$$

Model Pertumbuhan Logistik

Model Pertumbuhan logistik menjelaskan bahwa pertumbuhan populasi makhluk hidup di bumi ada batasnya, tidak mungkin suatu populasi akan tumbuh secara tidak terkendali dalam kurun waktu yang cukup lama. Hal ini sesuai dengan ungkapan Logan (2010), yang menyatakan bahwa di alam terdapat faktor lingkungan dan persaingan intraspesifik yang terjadi sehingga membatasi suatu populasi untuk terus berkembang. Dalam model pertumbuhan logistik ketika jumlah suatu populasi melebihi batas maksimum

lingkungan, maka populasinya akan menurun dan laju pertumbuhan menjadi negatif. Sedangkan ketika jumlah populasi lebih kecil dari batas maksimum lingkungan, maka laju pertumbuhannya berbanding lurus dengan suatu populasi. Bentuk persamaan differensial dari model pertumbuhan logistik sebagai berikut :

$$\dot{x}(t) = rx\left(1 - \frac{x}{k}\right) \quad (2)$$

Parameter r menggambarkan laju pertumbuhan intrinsik suatu populasi, dan parameter k sebagai batas daya tampung lingkungan, dengan $r, k > 0$.

Fungsi Respon

Fungsi respon dalam ekologi diartikan sebagai jumlah makanan yang dikonsumsi oleh pemangsa sebagai fungsi kepadatan makanan (Panja et al., 2017). Tahun 1953 Holling memperkenalkan fungsi respon yang dikenal sebagai fungsi respon Holling tipe I, tipe II, dan tipe III (Mortoja et al., 2018).

Fungsi respon Holling tipe I terjadi pada jenis pemangsa yang pasif dan lebih memilih menunggu mangsanya. Pada tipe ini ditandai dengan meningkatnya laju konsumsi pemangsa secara linear seiring bertambahnya kepadatan mangsa. Namun akan konstan ketika pemangsa berhenti memangsa. Bentuk fungsi respon Holling tipe I dinyatakan sebagai berikut (Panigoro, 2014):

$$p(x) = ax \quad (3)$$

dengan p menunjukkan fungsi respon Holling tipe I dan a sebagai laju penangkapan mangsa oleh pemangsa.

Fungsi respon Holling tipe II terjadi pada pemangsa yang membutuhkan waktu dalam mencari dan mengkonsumsi mangsanya. Sehingga dalam tipe II ini penggunaan waktu mulai diperhitungkan dengan sifat pemangsa yang tidak mencari mangsa pengganti ketika mangsa utama punah. Bentuk persamaan fungsi respon Holling tipe II yaitu :

$$p(x) = \frac{\beta x}{1 + \gamma x} \quad (4)$$

dengan γ menunjukkan waktu yang dibutuhkan oleh pemangsa dalam mengkonsumsi mangsa.

Tipe III dari fungsi respon Holling merupakan pengembangan dari tipe II, yaitu mulai adanya indikasi bahwa pemangsa mencari mangsa lain di luar mangsa utama ketika kepadatan mangsa utama rendah. Sedangkan waktu yang dibutuhkan oleh pemangsa dalam menangani mangsanya tetap diperhitungkan, yaitu meliputi waktu mencari, menangkap dan menghabiskan mangsanya. Berikut persamaan fungsi respon Holling tipe III yaitu (Ndam et al., 2012) :

$$p(x) = \frac{\beta x^2}{n^2 + x^2} \quad (5)$$

Fungsi respon selain yang dikenalkan oleh Holling, Mortoja et al., (2018) mengemukakan bahwa Monod dan Haldane melakukan suatu penelitian terkait fungsi respon yang dikenal sebagai fungsi respon Holling tipe IV. Penelitian ini didasari bahwa interaksi antar mangsa dan pemangsa tidak selamanya monoton, yaitu saat di mana populasi mangsa meningkat maka populasi pemangsa akan menurun, dikarenakan adanya sifat bertahan dari mangsa. Berikut persamaan fungsi respon Monod dan Haldane (Agarwal Manju & Pathak Rachana, 2012) :

$$p(x) = \frac{\beta x}{n + \gamma x + x^2} \quad (6)$$

dengan n merupakan tingkat kejenuhan pemangsa dalam memakan mangsa.

Selanjutnya Arditi (1989), menyatakan bahwa fungsi respon seharusnya tidak hanya bergantung pada kepadatan populasi mangsa, namun juga perlu diperhatikan dari segi populasi pemangsa. Hal ini didasari bahwa ketika pemangsa mencari mangsa, terdapat persaingan antar pemangsa untuk memperoleh mangsa, yang menyebabkan kepadatannya terganggu. Sehingga fungsi respon yang dikenalkan oleh Arditi ini bergantung langsung pada kepadatan populasi mangsa dan pemangsa yang dikenal sebagai fungsi respon rasio dependent. Fungsi respon rasio dependent diperoleh dengan mensubstitusikan perbandingan populasi mangsa terhadap populasi pemangsa ($\frac{x}{y}$) pada kepadatan populasi mangsa x .

Fungsi respon yang digunakan dalam penelitian ini merupakan rasio dependent Holling tipe II, yang menetapkan bahwa kepadatan populasi pemangsa tidak hanya bergantung pada mangsa, namun juga populasi pemangsa, selain itu dipilihnya fungsi respon ini karena kecenderungan pemangsa yang tidak mencari mangsa lain ketika mangsa utama punah. Berikut bentuk persamaan fungsi respon rasio dependent Holling tipe II :

$$p(x) = \frac{\beta x}{y + \gamma x} \quad (7)$$

Model Mangsa Pemangsa dengan perilaku Anti Pemangsa

Perilaku anti pemangsa merupakan salah satu perilaku yang dimiliki mangsa untuk menghindari pemangsa. Perilaku ini menyebabkan mangsa dapat melawan serta membunuh pemangsa. Namun demikian, perilaku ini hanya bertujuan untuk mengurangi resiko predasi dan tidak sebagai upaya mangsa dalam mencari makanan (Janssen et al., 2002). Perilaku anti pemangsa yang dimiliki oleh mangsa merupakan hasil dari proses belajar selama menghindari pemangsa. Perilaku ini sebagai bentuk adanya perubahan morfologi yang terjadi

pada mangsa sehingga mangsa kebal terhadap serangan pemangsa. Menurut Choh et al., (2012) perilaku anti pemangsa yang dimiliki mangsa, hanya berlaku untuk pemangsa yang dikenali oleh mangsa sebagai pemangsa yang memangsanya.

Model interaksi mangsa pemangsa dikatakan memiliki perilaku anti pemangsa ditandai dengan adanya parameter η yang melambangkan perilaku anti pemangsa (Mortoja et al., 2018).

3. PEMBAHASAN

Kontruksi Model Interaksi Mangsa Pemangsa dengan Fungsi Respon Rasio Dependent Holling Tipe II dan Perilaku Anti Pemangsa

Berdasarkan persamaan (1), bentuk umum dari model interaksi mangsa pemangsa sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \dot{x}(t) &= rx - axy \\ \dot{y}(t) &= bxy - my \end{aligned}$$

Bentuk pertumbuhan mangsa rx dalam penelitian ini mengikuti model pertumbuhan logistik sehingga bentuknya menjadi :

$$\dot{x}(t) = rx\left(1 - \frac{x}{k}\right) - axy \quad (8)$$

Fungsi respon axy dalam penelitian ini menggunakan fungsi respon rasio dependent Holling tipe II. Penggunaan fungsi respon ini didasari bahwa populasi pemangsa tidak hanya bergantung pada mangsa, namun pula berdasarkan pemangsa itu sendiri. Dengan menggunakan fungsi respon pada persamaan (7), secara matematis perubahan kepadatan populasi mangsa menjadi :

$$\dot{x}(t) = rx\left(1 - \frac{x}{k}\right) - \frac{\beta xy}{y + \gamma x} \quad (9)$$

Ketika terjadi interaksi antara mangsa dan pemangsa, maka laju konversi biomassa dari mangsa menjadi pemangsa menggunakan fungsi respon rasio dependent Holling tipe II dimodelkan sebagai :

$$\dot{y}(t) = \frac{bxy}{y + \gamma x} - my \quad (10)$$

Kemudian ketika pemangsa tidak berinteraksi dengan mangsa, maka populasi pemangsa akan mengalami penurunan, dikarenakan tidak ada sumber makanan baginya. Dalam hal ini model penurunan pemangsa dinyatakan sebagai $-my$, dengan m merupakan laju kematian alami pemangsa. sehingga secara matematis perubahan kepadatan populasi pemangsa dinyatakan sebagai :

$$\dot{y}(t) = \frac{bxy}{y + \gamma x} - my \quad (11)$$

Selanjutnya, dengan adanya perilaku anti pemangsa menyebabkan populasi pemangsa berkurang, sehingga

**MODEL INTERAKSI MANGSA PEMANGSA DENGAN FUNGSI RESPON RASIO DEPENDENT HOLLING
TIPE II DAN PERILAKU ANTI PEMANGSA**

perubahan kepadatan populasi pemangsa dapat dinyatakan sebagai :

$$\dot{y}(t) = \frac{bxy}{y+\gamma x} - my - \eta xy \quad (12)$$

Berdasarkan persamaan (9) dan (12), maka model interaksi mangsa pemangsa dengan fungsi respon rasio dependent Holling tipe II dan perilaku anti pemangsa sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \dot{x}(t) &= rx \left(1 - \frac{x}{k}\right) - \frac{\beta xy}{y+\gamma x} \\ \dot{y}(t) &= \frac{bxy}{y+\gamma x} - my - \eta xy \end{aligned} \quad (13)$$

di mana :

- $\dot{x}(t)$ = perubahan kepadatan populasi mangsa
- $\dot{y}(t)$ = perubahan kepadatan populasi pemangsa
- r = pertumbuhan intrinsik populasi mangsa
- m = kematian alami pemangsa
- β = laju pemangsaan pemangsa
- b = laju konversi biomassa
- k = daya tampung lingkungan
- γ = waktu yang diperlukan oleh pemangsa dalam menangani mangsa
- η = perilaku anti pemangsa

Model sistem persamaan interaksi mangsa pemangsa dengan fungsi respon rasio dependent Holling tipe II dan perilaku anti pemangsa selanjutnya dapat diketahui perilakunya dengan melakukan analisis lebih lanjut. Analisis dapat dimulai dengan menentukan titik kesetimbangan, melinearakan sistem sehingga diperoleh nilai eigen yang selanjutnya dapat dilakukan analisis kestabilan dengan simulasi numerik.

4. KESIMPULAN

Model interaksi mangsa pemangsa dengan fungsi respon rasio dependent Holling tipe II dan perilaku anti pemangsa sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \dot{x}(t) &= rx \left(1 - \frac{x}{k}\right) - \frac{\beta xy}{y+\gamma x} \\ \dot{y}(t) &= \frac{bxy}{y+\gamma x} - my - \eta xy \end{aligned}$$

dengan populasi mangsa $x(t)$ dan populasi pemangsa $y(t)$.

DAFTAR PUSTAKA

Agarwal Manju, & Pathak Rachana. (2012). Harvesting and Hopf Bifurcation in a Prey-Predator Model with Holling Type IV Functional Response. *International Journal of Mathematics and Soft Computing*, 2(1), 83–92.

Arditi, R., & Ginzburg, L. R. (1989). Coupling in Predator-Prey Dynamics: Ratio-Dependence. *Journal of Theoretical Biology*, 139, 311–326.

Choh, Y., Ignacio, M., Sabelis, M. W., & Janssen, A. (2012). Predator-Prey Role Reversals, Juvenile Experience and Adult Antipredator Behaviour. *Scientific Reports*, 2, 1–6. <https://doi.org/10.1038/srep00728>

Dawes, J. H. P., & Souza, M. O. (2013). A Derivation of Holling’s Type I, II and III Functional Responses in Predator-Prey Systems. *Journal of Theoretical Biology*, 327, 11–22. <https://doi.org/10.1016/j.jtbi.2013.02.017>

Janssen, A., Faraji, F., Van der Hammen, T., Magalhães, S., & Sabelis, M. W. (2002). Interspecific Infanticide Deters Predators. *Ecology Letters*, 5(4), 490–494. <https://doi.org/10.1046/j.1461-0248.2002.00349.x>

Logan, J. D. (2010). *A First Course in Differential Equations* (Second Edi). New York: Springer.

Mortoja, S. G., Panja, P., & Mondal, S. K. (2018). Dynamics of a Predator-Prey Model with Stage-Structure on Both Species and Anti-Predator Behavior. *Informatics in Medicine Unlocked*, 10, 50–57. <https://doi.org/10.1016/j.imu.2017.12.004>

Ndam, J. N., Chollom, J. P., & Kassem, T. G. (2012). A Mathematical Model of Three-Species Interactions in an Aquatic Habitat. *ISRN Applied Mathematics*, 2012, 1–11. <https://doi.org/10.5402/2012/391547>

Panigoro, H. S. (2014). Analisis Dinamik Sistem Predator-Prey Model Leslie-Gower dengan Pemanenan Secara Konstan Terhadap Predator. *Euler*, 2(1), 1–12.

Panja, P., Mondal, S. K., & Chattopadhyay, and J. (2017). Dynamical Effects of Anti-predator Behaviour of Adult Prey in a Predator-Prey Model with Ratio-Dependent Functional Response. *Asian Journal of Mathematics and Physics*, 1(1), 19–32.