

ESTIMASI PARAMETER MODEL PREDATOR-PREY MENGUNAKAN ALGORITMA GENETIKA

Maya Rayungsari¹, Nurul Imamah², Ayyidatul Imaniyah³, Visi Budi Kusuma⁴

¹STKIP PGRI Pasuruan

maya.rayungsari@gmail.com

²Universitas Muhammadiyah Jember

nurulimamah@unmuhjember.ac.id

³STKIP PGRI Pasuruan

ayyida.imaniyah@gmail.com

⁴ Universitas Muhammadiyah Jember

Visi.kusumabudi@gmail.com

Abstrak

Pada penelitian ini diimplementasikan algoritma genetika untuk menentukan model predator-prey yang paling sesuai untuk data fitoplankton dan zooplankton herbivora, dimana fitoplankton sebagai prey dan zooplankton herbivora sebagai predator. Pemilihan model dilakukan berdasarkan rata-rata nilai fungsi biaya terendah dari masing-masing model. Nilai fungsi biaya ditentukan berdasarkan jarak antara jumlah populasi pada model dengan parameter yang diestimasi, dengan jumlah populasi pada data real. Dari hasil analisis, diperoleh model yang paling sesuai dengan data adalah model dengan fungsi respon Holling tipe I tersaturasi.

Kata Kunci: algoritma genetika, estimasi parameter, model predator-prey.

Abstract

In this study, genetic algorithm is implemented to determine the most suitable predator-prey models for phytoplankton and herbivore zooplankton data, where phytoplankton as prey and herbivore zooplankton as predator. The model selection is based on the lowest average cost function value of each model. The value of the cost function is determined based on the distance between the population number in the model with estimated parameters and the population number in the real data. From the analysis, it is obtained that the model that is most suitable for the data is a model with a saturated Holling type I response functional.

Keywords: genetic algorithm, parameter estimation, predator-prey model.

PENDAHULUAN

Model matematika telah digunakan untuk mengkaji dinamika sistem *predator -prey* sejak Lotka [1] dan Volterra [2] mengusulkan model sederhana interaksi *predator-prey* yang sekarang disebut dengan model Lotka-Volterra. Rayungsari dkk. [3] menyatakan bahwa banyak model matematika telah dikonstruksi berdasarkan asumsi biologi yang lebih realistis beberapa aspek yang perlu dipertimbangkan dalam model matematika yang realistis meliputi daya dukung lingkungan, yaitu jumlah maksimum populasi *prey* yang dapat ditampung oleh ekosistem tanpa adanya *predator*, kompetisi di antara prey maupun predator, pemanenan pada *prey* dan *predator*, serta fungsi respon predasi.

Holling [4] menggambarkan fungsi respon sebagai laju pemangsaan *prey* oleh predator perkapita dan berupa fungsi dari banyaknya populasi *prey*. Hal ini berarti laju konsumsi dari suatu individu predator bergantung pada kepadatan populasi *prey*. Dua fungsi respon *prey*-

dependent yang paling sering digunakan adalah bentuk linear yang disebut fungsi respon Holling Tipe I dan bentuk nonlinear yang disebut fungsi respon Holling tipe II. Pada model Lotka-Volterra, laju predasi merupakan fungsi linear terhadap kepadatan *prey* yang kemudian disebut fungsi respon Holling tipe I. Holling kemudian Pada model tersebut, fungsi respon yang digunakan adalah *prey-dependent* yaitu bergantung pada kepadatan populasi *prey* saja. Sedangkan menurut beberapa ahli biologi seperti Arditi dan Ginzburg [5], fungsi respon ekologi seharusnya bergantung pada kepadatan *prey* maupun *predator* terutama ketika *predator* harus mencari makanan dan berbagi atau bersaing untuk mendapatkan makanan. Salah satu fungsi respon yang bergantung pada kepadatan *prey* maupun *predator* adalah fungsi respon *ratio-dependent*.

Pada artikel ini disajikan data kepadatan populasi fitoplankton dan zooplankton herbivora selama 3 tahun mulai tahun 1987 hingga 1989 yang diperoleh dari tesis Jost [6]. Dalam interaksi fitoplankton dan zooplankton herbivora, fitoplankton berlaku sebagai *prey* sedangkan zooplankton herbivora sebagai *predator* yang memangsa fitoplankton. Untuk mengetahui model manakah yang lebih sesuai dengan interaksi fitoplankton dan zooplankton, apakah itu model dengan fungsi respon predasi *prey-dependent* ataukah fungsi respon *ratio-dependent*, maka perlu dilakukan estimasi parameter untuk kedua model dan ditentukan error dari model manakah yang terkecil.

Menurut Carwoto [7], algoritma genetika adalah algoritma pencarian berdasarkan mekanisme seleksi alam Darwin dan prinsip-prinsip genetika, untuk individu-individu berkualitas tinggi yang terdapat dalam sebuah domain (populasi). Pencarian dilakukan dengan suatu prosedur iteratif untuk mengatur populasi individu yang merupakan kandidat-kandidat solusi. Goldberg [8] menyatakan bahwa bila dibandingkan dengan metode optimasi lain, Algoritma Genetika memiliki perbedaan dalam empat hal, yaitu Algoritma Genetika bekerja dengan struktur-struktur kode variabel, menggunakan banyak titik pencarian (multiple point), informasi yang dibutuhkan hanya fungsi obyektifnya saja (sehingga menjadikan implementasinya lebih sederhana), serta menggunakan operator stokastik dengan pencarian terbimbing.

Algoritma genetika terdiri dari algoritma genetika biner dan kontinu. Pada penelitian ini, digunakan algoritma genetika kontinu karena variabel yang digunakan berbentuk bilangan desimal. Perbedaannya dengan algoritma genetika biner adalah bahwa pada algoritma genetika kontinu, tidak perlu dilakukan dekode. Gambar 1 adalah ilustrasi langkah-langkah dalam algoritma genetika.

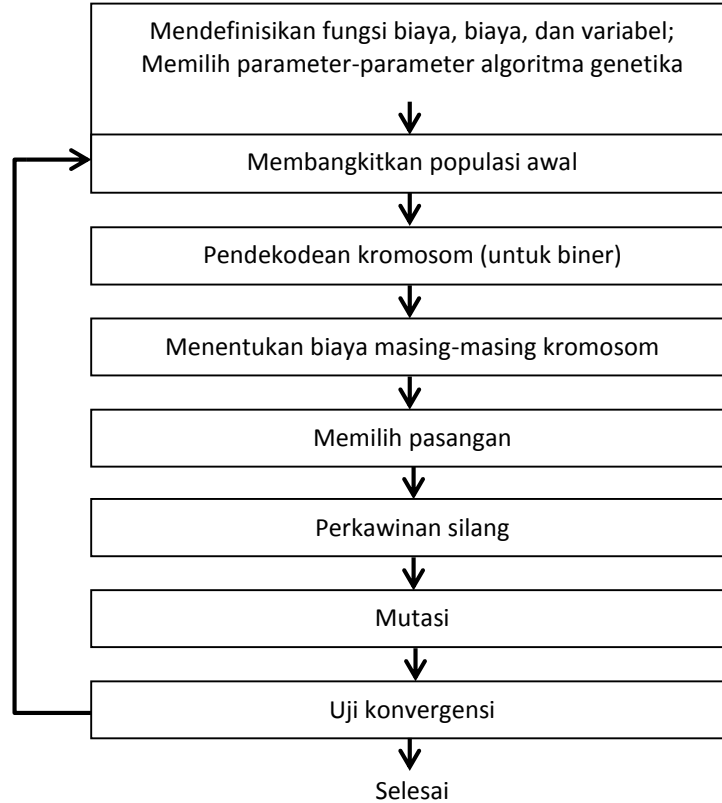
Davis [8] mengemukakan tiga operator dasar yang sering digunakan dalam Algoritma Genetika adalah reproduksi, pindah silang (crossover), dan mutasi. Dalam proses reproduksi, setiap individu populasi pada suatu generasi diseleksi berdasarkan nilai fitnessnya untuk bereproduksi untuk menghasilkan keturunan. Probabilitas terpilihnya suatu individu untuk bereproduksi adalah sebesar nilai fitness individu tersebut dibagi dengan jumlah nilai fitness (*cost function*) seluruh individu dalam populasi. *Crossover* adalah proses pemilihan posisi string secara acak dan menukar karakter karakter stringnya. Operator mutasi dioperasikan sebagai cara untuk mengembalikan materi genetik yang hilang. Melalui mutasi, individu baru dapat diciptakan dengan melakukan modifikasi terhadap satu atau lebih nilai gen pada individu yang sama.

BAHAN DAN METODE

Langkah-langkah yang digunakan dalam penelitian ini antara lain:

1. Melakukan studi literatur tentang algoritma genetika.
2. Membuat program algoritma genetika pada aplikasi Matlab 2018.
3. Melakukan validasi program.
4. Menentukan data yang akan digunakan.
5. Menerapkan program algoritma genetika dengan data yang dipilih untuk menentukan parameter yang sesuai dengan enam jenis model.
6. Menentukan model terbaik yaitu model dengan error terkecil.

7. Melakukan interpretasi terhadap hasil yang diperoleh dari program.
8. Melakukan validasi hasil penelitian.



Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data terkait predator dan prey, yaitu data kepadatan populasi fitoplankton dan zooplankton herbivora selama 3 tahun mulai tahun 1987 hingga 1989 yang diperoleh dari tesis Jost [6], dimana fitoplankton berperan sebagai prey dan zooplankton sebagai predator. Berikut adalah data real fitoplankton dan zooplankton herbivora tahun 1987-1989. Pada Tabel 1, jumlah fitoplankton maupun zooplankton herbivora disajikan dalam satuan mg/m^3 . Dalam simulasi numerik pada pembahasan selanjutnya, satuan fitoplankton dan zooplankton herbivora adalah cg/m^3 .

TABEL 1. Data Plankton Tahun 1987-1989

Data ke-	Tanggal	Jumlah fitoplankton ($\frac{mg}{m^3}$)	Jumlah zooplankton herbivora ($\frac{mg}{m^3}$)
1	18 Agustus 1987	2125.5	498
2	7 September 1987	1626.4	2242
3	22 September 1987	1191.5	2172
4	5 Oktober 1987	846.2	182
5	20 Oktober 1987	849.3	992
6	2 November 1987	692.3	288

7	16 November 1987	310.2	336
8	7 Desember 1987	256.6	208
9	11 Januari 1988	300.2	92
10	15 Februari 1988	459.2	214
11	14 Maret 1988	291.0	152
12	29 Maret 1988	149.9	110
13	11 April 1988	3087.9	120
14	25 April 1988	2993.4	310
15	9 Mei 1988	1757.6	476
16	24 Mei 1988	160.6	1106
17	8 Juni 1988	83.2	1528
18	20 Juni 1988	814.1	774
19	5 Juli 1988	562.0	1146
20	19 Juli 1988	3529.5	534
21	3 Agustus 1988	1909.4	170
22	16 Agustus 1988	2187.7	262
23	5 September 1988	3716.2	274
24	20 September 1988	2997.8	584
25	4 Oktober 1988	2608.5	74
26	17 Oktober 1988	1969.7	210
27	9 November 1988	433.4	154
28	28 November 1988	619.2	244
29	12 Desember 1988	332.8	284
30	16 Januari 1989	150.7	76
31	13 Februari 1989	94.9	104
32	6 Maret 1989	297.3	266
33	20 Maret 1989	630.5	290
34	10 April 1989	843.9	160
35	24 April 1989	3533.8	610
36	9 Mei 1989	1443.1	434
37	22 Mei 1989	1225.2	1066
38	5 Juni 1989	180.1	3032
39	19 Juni 1989	869.0	1370
40	5 Juli 1989	1042.5	1934
41	24 Juli 1989	1624.5	540
42	7 Agustus 1989	2329.1	322
43	21 Agustus 1989	1486.1	592
44	11 September 1989	902.6	380
45	19 September 1989	1820.7	1688
46	2 Oktober 1989	698.6	2086
47	16 Oktober 1989	690.4	818
48	6 November 1989	169.2	982
49	20 November 1989	388.8	132
50	11 Desember 1989	138.5	30

Sumber : Jost (1998).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini dikaji tentang estimasi parameter model *predator-prey* fitoplankton-zooplankton herbivora dengan fungsi respon *prey-dependent* dan *ratio dependent* menggunakan algoritma genetika. Persamaan berikut merupakan fungsi *cost* yang merepresentasikan perhitungan *error* yang harus diminimumkan untuk memilih solusi terbaik dari model.

$$V = \frac{1}{n} \sqrt{\sum_{i=1}^n [(y_{1i} - \hat{y}_{1i})^2 + (y_{2i} - \hat{y}_{2i})^2]}.$$

Variabel y_{1i} dan y_{2i} berturut-urur merepresentasikan data real prey dan predator, sementara \hat{y}_{1i} dan \hat{y}_{2i} berturut-urur merepresentasikan output prey dan predator yang merupakan solusi dari algoritma genetika.

1. Estimasi Parameter Model *Prey-dependent*

a. Fungsi respon Holling tipe I

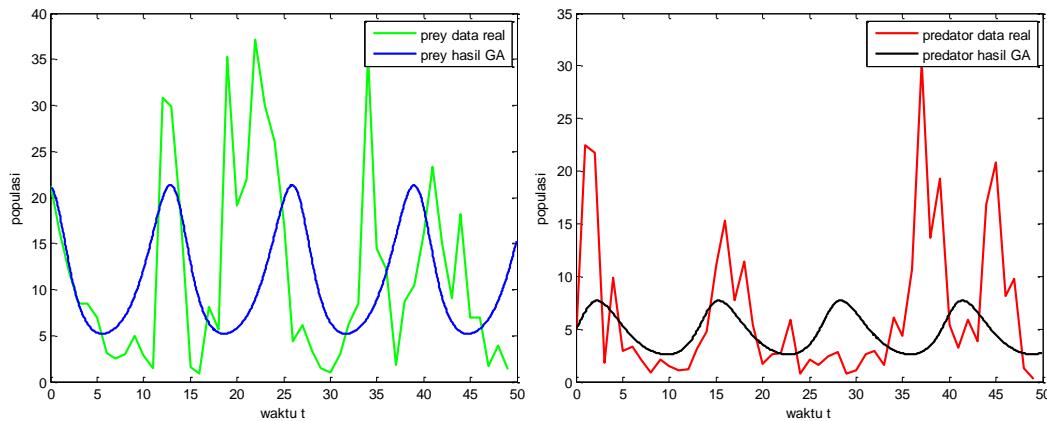
Pada bagian ini, dilakukan algoritma genetika untuk mengestimasi semua parameter pada model

$$\begin{aligned} \frac{dN}{dt} &= r_1N - aNP, \\ \frac{dP}{dt} &= c_1NP - c_2P. \end{aligned}$$

Batasan-batasan yang digunakan adalah $0 \leq r_1 \leq 1$, $0 \leq a \leq 1$, $0 \leq c_1 \leq 1$, dan $0 \leq c_2 \leq 1$. Berdasarkan output program, diperoleh rata-rata nilai parameter:

$$r_1 = 0.64, a = 0.14, c_1 = 0.03, \text{ dan } c_2 = 0.39.$$

Dengan mensubstitusikan parameter-tersebut ke dalam model dan dilakukan simulasi numerik dengan Runge-Kutta, diperoleh grafik-grafik pada Gambar 2. Garis hijau merepresentasikan jumlah fitoplankton sesuai data, garis merah merepresentasikan jumlah zooplankton-herbivora sesuai data, garis biru adalah jumlah fitoplankton setelah estimasi, dan garis hitam adalah jumlah zooplankton-herbivora setelah estimasi. Nilai rata-rata fungsi biaya adalah 1.72.



Gambar 2. Simulasi Numerik Model *Predator-prey* Fungsi Respon Holling Tipe I

b. Fungsi Respon Holling Tipe I tersaturasi

Selanjutnya, dilakukan estimasi parameter untuk model *predator-prey* dengan fungsi respon Holling tipe I tersaturasi (dengan mempertimbangkan daya dukung lingkungan K_1) sebagai berikut.

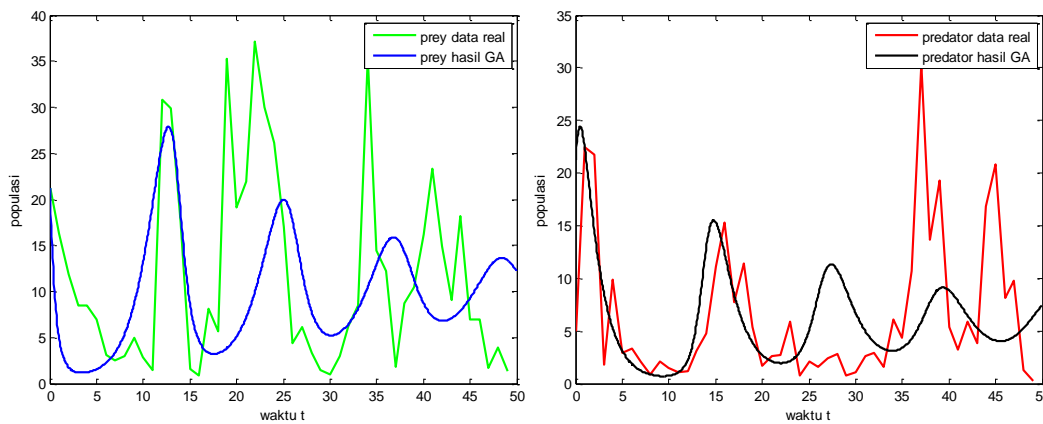
$$\frac{dN}{dt} = r_1 N \left(1 - \frac{N}{K_1} \right) - aNP,$$

$$\frac{dP}{dt} = c_1 NP - c_2 P.$$

dengan $0 \leq r_1 \leq 1, 0 \leq a \leq 1, 0 \leq c_1 \leq 1,$ dan $0 \leq c_2 \leq 1$. Berdasarkan output program, diperoleh rata-rata nilai parameter:

$$r_1 = 0.58, a = 0.08, c_1 = 0.06, \text{ dan } c_2 = 0.59.$$

Dengan mensubstitusikan parameter-tersebut ke dalam model dan dilakukan simulasi numerik dengan Runge-Kutta, diperoleh grafik-grafik pada Gambar 3. Nilai rata-rata fungsi biaya adalah 1.64.



Gambar 3. Simulasi Numerik Model *Predator-prey* Fungsi Respon Holling Tipe I Tersaturasi

c. Fungsi Respon Holling Tipe II

Model *predator-prey* dengan fungsi respon Holling Tipe II yakni

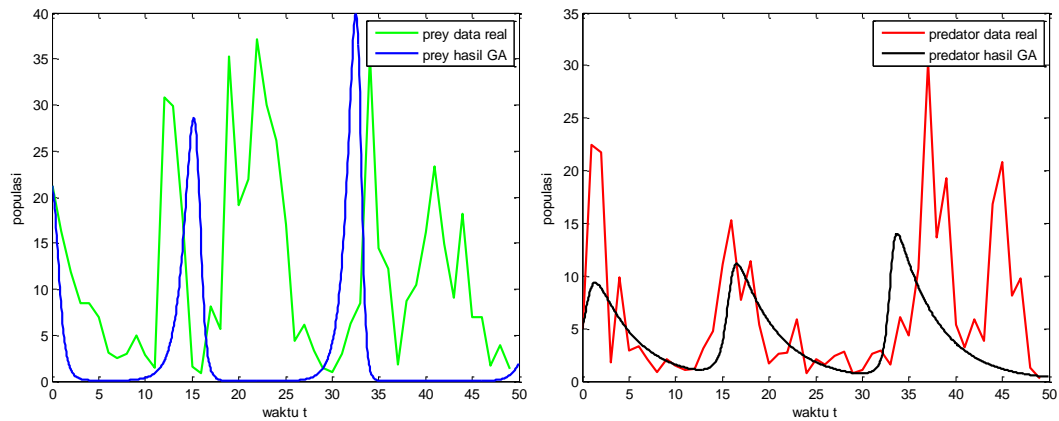
$$\frac{dN}{dt} = r_1 N - \frac{aNP}{1 + bN},$$

$$\frac{dP}{dt} = \frac{c_1 NP}{1 + bN} - c_2 P.$$

Batasan-batasan yang digunakan adalah $1 \leq r_1 \leq 2, 0 \leq a \leq 1, 0 \leq c_1 \leq 1,$ dan $0 \leq c_2 \leq 1$. Berdasarkan output di atas, diperoleh rata-rata nilai parameter:

$$r_1 = 1.35, a = 0.35, b = 0.006, c_1 = 0.06, \text{ dan } c_2 = 0.23.$$

Dengan mensubstitusikan parameter-tersebut ke dalam model dan dilakukan simulasi numerik dengan Runge-Kutta, diperoleh grafik-grafik pada Gambar 4. Nilai rata-rata fungsi biaya adalah 2.19.



Gambar 4. Simulasi Numerik Model *Predator-prey* Fungsi Respon Holling Tipe II

d. Fungsi Respon Holling Tipe II Tersaturasi

Model *predator-prey* dengan fungsi respon Holling Tipe II tersaturasi adalah

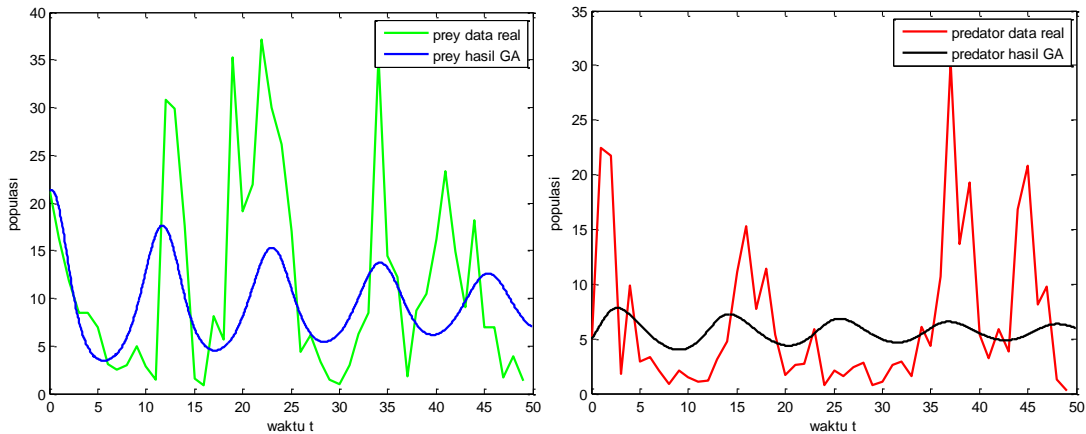
$$\frac{dN}{dt} = r_1 N \left(1 - \frac{N}{K_1} \right) - \frac{aNP}{1 + bN},$$

$$\frac{dP}{dt} = \frac{c_1 NP}{1 + bN} - c_2 P.$$

Berdasarkan output program, diperoleh rata-rata nilai parameter:

$$r_1 = 1.61, a = 0.28, b = 0.01, c_1 = 0.03, \text{ dan } c_2 = 0.25.$$

Dengan mensubstitusikan parameter-tersebut ke dalam model dan dilakukan simulasi numerik dengan Runge-Kutta, diperoleh grafik-grafik pada Gambar 5. Nilai rata-rata fungsi biaya adalah 1.66.



Gambar 5. Simulasi Numerik Model *Predator-prey* Fungsi Respon Holling Tipe II Tersaturasi

2. Estimasi Parameter Model *Ratio-dependent*

a. Model *Predator-prey* dengan Fungsi Respon *Ratio-dependent*

Pada bagian ini, dilakukan algoritma genetika untuk mengestimasi semua parameter pada model

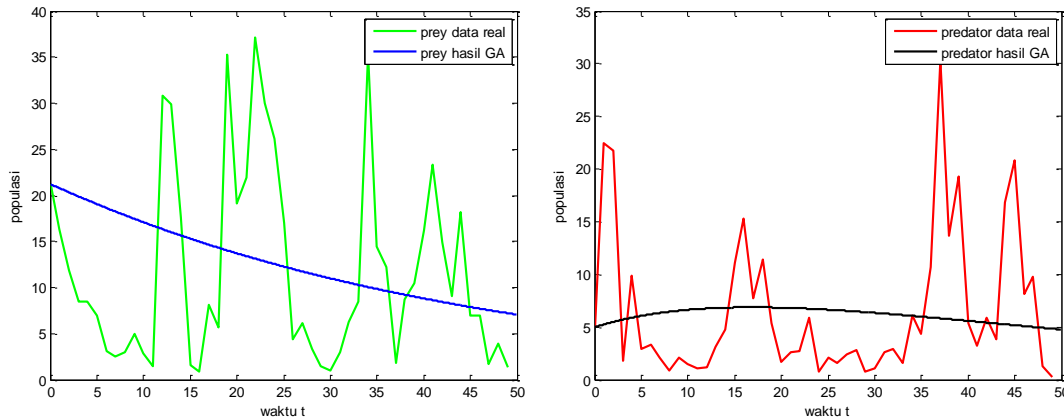
$$\frac{dN}{dt} = r_1 N - \frac{aNP}{P + bN},$$

$$\frac{dP}{dt} = \frac{c_1 NP}{P + bN} - c_2 P.$$

Jika fungsi $\frac{dN}{dt}$ dan $\frac{dP}{dt}$ tersebut diinputkan ke dalam Matlab, diperoleh rata-rata nilai parameter:

$$r_1 = 0.05, a = 0.07, b = 0.003, c_1 = 0.03, \text{ dan } c_2 = 0.06.$$

Dengan mensubstitusikan parameter-tersebut ke dalam model dan dilakukan simulasi numerik dengan Runge-Kutta, diperoleh grafik-grafik pada Gambar 6. Nilai rata-rata fungsi biaya adalah 1.85.



Gambar 6. Simulasi Numerik Model *Predator-prey* Fungsi Respon *Ratio-dependent*

b. Model *Predator-prey* dengan Fungsi Respon *Ratio-dependent*

Pada bagian ini, dilakukan algoritma genetika untuk mengestimasi semua parameter pada model

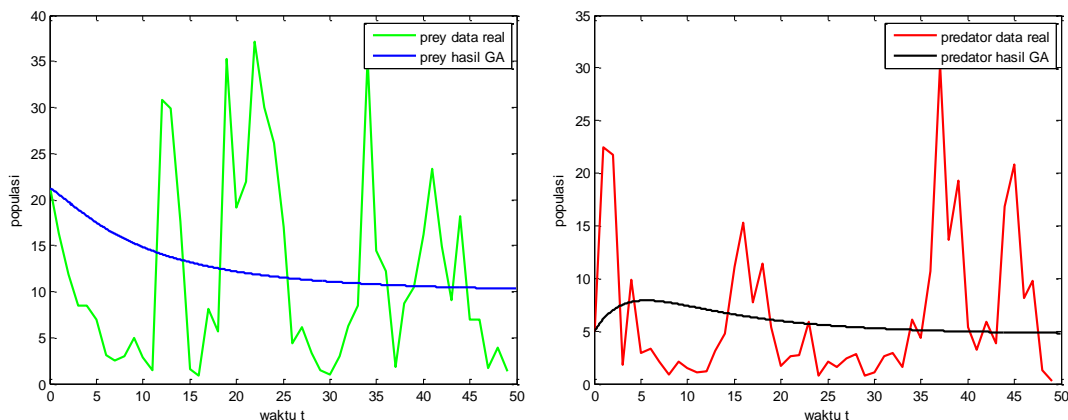
$$\frac{dN}{dt} = r_1 N \left(1 - \frac{N}{K_1}\right) - \frac{aNP}{P + bN},$$

$$\frac{dP}{dt} = \frac{c_1 NP}{P + bN} - c_2 P.$$

Berdasarkan output program, diperoleh nilai-nilai parameter:

$$r_1 = 0.40, a = 0.39, b = 0.05, c_1 = 0.18, \text{ dan } c_2 = 0.34.$$

Dengan mensubstitusikan parameter-tersebut ke dalam model dan dilakukan simulasi numeric dengan Runge-Kutta, diperoleh grafik-grafik pada Gambar 7. Nilai rata-rata fungsi biaya adalah 1.82.



Gambar 7. Simulasi Numerik Model *Predator-prey* Fungsi Respon *Ratio-dependent* Tersaturasi

3. Menentukan Model yang Paling Sesuai

Berdasarkan perhitungan grafik dari simulasi numerik, diperoleh bahwa model dengan solusi yang berosilasi (seperti pada data) hanya diperoleh pada model dengan fungsi respon *prey-dependent* Holling tipe I baik yang tersaturasi maupun yang tidak. Sementara, untuk model dengan fungsi respon *prey-dependent* Holling tipe II hanya sedikit percobaan yang menunjukkan adanya osilasi. Osilasi yang terjadi pun berbeda jauh dari osilasi yang terjadi pada data real. Sedangkan, model dengan fungsi respon *ratio-dependent* sama sekali tidak menunjukkan adanya osilasi. Model ini cenderung langsung stabil asimtotik ke suatu titik koeksistensi. Hal ini tidak sesuai dengan data real dimana kepadatan fitoplankton dan zooplankton herbivora terus menerus mengalami naik-turun. Kemudian, nilai fungsi biaya dari keenam model dapat dituliskan dalam tabel berikut.

TABEL 2. Nilai Biaya Setiap Model

Fungsi respon	Biaya
Prey-dependent linear	1.72
Prey-dependent linear tersaturasi	1.64
Prey-dependent nonlinear	2.19
Prey-dependent nonlinear tersaturasi	1.66
Ratio-dependent	1.85
Ratio-dependent tersaturasi	1.82

Berdasarkan biaya terendah pada tabel tersebut, maka di antara keenam model yang disajikan, dapat dipilih model yang paling sesuai dengan data real menggunakan algoritma genetika yaitu model dengan fungsi respon *prey-dependent* linear (Holling tipe I) tersaturasi yaitu:

$$\frac{dN}{dt} = r_1 N \left(1 - \frac{N}{K_1} \right) - aNP,$$

$$\frac{dP}{dt} = c_1 NP - c_2 P.$$

dengan nilai-nilai parameter:

$$r_1 = 0.58, a = 0.08, c_1 = 0.06, \text{ dan } c_2 = 0.59.$$

KESIMPULAN

Berdasarkan pembahasan sebelumnya, maka dapat disimpulkan bahwa model terbaik adalah model predator-prey dengan fungsi respon predasi *prey-dependent dependent* linear (Holling tipe I) tersaturasi dengan nilai-nilai parameter yg diperoleh melalui algoritma genetika karena memiliki biaya terendah dan perilaku dinamik yang menyerupai data real. Kekurangan dalam penelitian ini ialah penggunaan data yang terlalu lama serta memiliki interval yang tidak konsisten. Penelitian ini dapat dikembangkan dengan melakukan estimasi parameter pada model predator-prey dengan efek *delay* yang lebih sesuai dengan kondisi nyata.

DAFTAR RUJUKAN

- [1] Lotka, A.J. 1925. *Elements of Physical Biology*. Baltimore: Williams and Wilkins.
- [2] Volterra, V. (1927). Variations and Fluctuations in The Number of Coexisting Animal Species. *Lecture Notes in Biomathematics*, hal. 65-273.
- [3] Rayungsari, M., W.M. Kusumawinahyu, dan Marsudi. (2014). Dynamical Analysis of Predator-Prey Model with Ratio-Dependent Functional Response and Predator Harvesting. *Applied Mathematical Sciences*, Vol. 8, no. 29.

- [4] Holling, C.S. 1959. The Components of Predation as Revealed by a Study of Small Mammal Predation of The European Pine Sawfly. *Canadian Entomologist*, hal. 543-556.
- [5] Arditi, R. dan L.R. Ginzburg. 1989. Coupling in Predator-prey Dynamics: Ratio-dependence. *J. Theoret. Biol.* 139, hal. 311-326.
- [6] Jost, Christian. 1998. *Comparing Predator-prey Models Qualitatively and Quantitatively with Ecological Time-Series Data*. Thesis. Paris: Institut national agronomique Paris-Grignon.
- [7] Carwoto. (2007). Implementasi Algoritma Genetika untuk Optimasi Penempatan Kapasitor Shunt pada Penyulang Distribusi Tenaga Listrik.
- [8] Goldberg, D. E. (1989). *Genetic Algorithms in Search, Optimization, and Machine Learning*. Massachusetts: AddisonWesley Publishing Company, Inc.