

## Original Article

e-ISSN: 2774-2016 - <https://journal.itera.ac.id/index.php/indojam/>

p-ISSN: 2774-2067

Received 10th August 2022

Accepted 13th January 2023

Published 28th January 2023

Open Access

DOI:

[10.35472/indojam.v2i2.1027](https://doi.org/10.35472/indojam.v2i2.1027)

# Penerapan Model *Predator-Prey* pada Proses Perkecambahan Biji Kacang Hijau

Regitha Lorenza<sup>a\*</sup><sup>a</sup> Program Studi Sains Aktuaria, Jurusan Sains, Institut Teknologi Sumatera\* Koresponden E-mail: [regitha.lorenza@at.itera.ac.id](mailto:regitha.lorenza@at.itera.ac.id)

**Abstract:** Mungbean (*Vigna radiata L.*) is a type of legume plant with high protein and a short life of approximately 2 months. This plant is found in all regions of Indonesia. The morphology of the mungbean plant consists of roots, stems, leaves, flowers, fruits, and seeds. Mungbean seeds have nutritional content but are in an inactive (dormant) form, after being germinated, the nutrient content is activated, thereby increasing digestibility for humans. A germination is a biological event that occurs from a seed in a dormant state until it becomes a growing seed. Sprouts derived from green bean seeds are called bean sprouts. The germination process can increase the nutritional value of mungbeans, thus, in this journal, a study was conducted to determine the growth model of mungbean sprouts in order to determine the best time to consume bean sprouts. In modeling the growth of green bean sprouts, a predator and prey model is used, which is resolved numerically using the fourth order Runge-Kutta method. From the research conducted, it can be concluded that the maximum nutrition of bean sprouts is on the third day since germination begins.

**Keywords:** *Seed germination, growth model, bean sprouts, mungbean seed, predator-prey model, curve fitting, Runge-Kutta, nonlinear least square*

**Abstrak:** Kacang hijau (*Vigna radiata L.*) merupakan jenis tanaman polong-polongan berprotein tinggi serta berumur pendek yaitu kurang lebih 2 bulan. Tanaman ini banyak ditemui di seluruh wilayah di Indonesia. Morfologi tanaman kacang hijau terdiri dari akar, batang, daun, bunga, buah dan biji. Biji kacang hijau memiliki kandungan gizi namun dalam bentuk yang tidak aktif (dorman), setelah dikecambahkan kandungan gizi tersebut diaktifkan sehingga meningkatkan daya cerna bagi manusia. Germinasi atau proses perkecambahan merupakan peristiwa biologis yang terjadi saat keadaan biji dorman sampai menjadi bibit yang sedang tumbuh disebut taoge. Proses perkecambahan dapat meningkatkan nilai nutrisi dari biji kacang hijau, dengan demikian pada jurnal ini dilakukan penelitian untuk mengetahui model pertumbuhan kecambah kacang hijau agar dapat menentukan waktu terbaik untuk mengkonsumsi taoge. Dalam memodelkan pertumbuhan kecambah kacang hijau tersebut digunakan model *predator and prey* yang diselesaikan secara numerik menggunakan metode Runge-Kutta orde ke-4 dari penelitian yang dilakukan dapat disimpulkan bahwa nutrisi maksimum taoge berada pada hari ke-tiga semenjak perkecambahan dimulai.

**Kata Kunci:** *Perkecambahan biji, model pertumbuhan, taoge, kacang hijau, model predator prey, fitting kurva, metode Runge-Kutta.*

## Pendahuluan

Germinasi atau perkecambahan merupakan suatu proses biologis yang terjadi saat biji dalam keadaan dorman (tidak aktif) sampai menjadi bibit baru yang biasa disebut taoge. Sebelum proses perkecambahan dimulai zat gizi pada biji dalam keadaan tidak aktif, namun setelah

perkecambahan bentuk tersebut diaktifkan sehingga meningkatkan daya cerna bagi manusia. Perkecambahan dapat meningkatkan karakteristik fungsional dan nilai nutrisi dari kacang [1].

Biji kacang hijau memiliki tiga bagian utama yaitu kulit biji, Kotiledon, dan lembaga. Pada kulit biji terdapat kandungan mineral seperti fosfor (P), kalsium (Ca), dan besi (Fe). Bagian kotiledon

## Original Article

mengandung pati dan serat serta lembaga mengandung protein dan lemak.

Faktor-faktor eksternal yang mempengaruhi proses perkecambahan diantaranya air yang cukup, oksigen, suhu serta intensitas cahaya [2].

Proses perkecambahan merupakan peristiwa kompleks dari aspek morfologi, fisiologi dan biokimia. Tahapan tahapan perkecambahan adalah sebagai berikut [2]:

1. Tahap pertama dimulai dengan proses penyerapan air oleh biji (imbibisi), melunaknya kulit biji dan hidrasi dari protoplasma.
2. Tahap kedua dimulai dengan aktivitas sel seperti aktifnya hormon giberelin yang memicu sel untuk memproduksi enzim enzim serta naiknya tingkat respirasi biji. Proses ini terjadi saat perkecambahan berumur 24 jam.
3. Tahap ketiga terjadi penguraian bahan-bahan seperti karbohidrat, lemak dan protein menjadi bentuk yang lebih sederhana oleh enzim. Sehingga bagian hipokotil dan radikula dari biji terus tumbuh (terjadi pada umur perkecambahan 48 jam)
4. Tahap keempat adalah asimilasi dari bahan-bahan yang telah diuraikan menghasilkan energi bagi pembentukan komponen dan pertumbuhan sel-sel baru. Terjadi pada umur perkecambahan 56 – 72 jam.
5. Hipokotil terus memanjang sehingga kotiledon dan daun pertama keluar, pada tahap ini akan muncul akar lateral. Proses ini terjadi saat umur perkecambahan mencapai 80 jam.
6. Tahap selanjutnya terjadi proses pembelahan, pembesaran dan pembagian sel-sel pada titik-titik tumbuh. Saat daun baru tumbuh, fotosintesis belum dapat dilakukan sehingga pertumbuhan kecambah sangat bergantung pada persediaan makanan yang ada di dalam biji.

Saat biji kacang hijau yang dilakukan proses perkecambahan terjadi perombakan makromolekul menjadi mikromolekul, sehingga di dalam biji kacang hijau terjadi peningkatan protein dan penurunan kadar lemak. Dari permasalahan tersebut pertumbuhan

kecambah dapat dimodelkan sebagai model predator dan prey. Predator adalah kecambah karena memakan nutrisi yang tersedia, dan sebagai prey adalah nutrisi karena berperan dikonsumsi oleh kecambah (taoge).

## Metode

### Runge-Kutta Orde ke-4

Penyelesaian numerik Model Predator Prey dapat dilakukan melalui berbagai metode, salah satunya adalah metode Runge-Kutta. Metode ini dipandang cukup baik digunakan dalam mencari solusi numerik karena tidak memerlukan turunan fungsi untuk penyelesaiannya. Serta dapat menyelesaikan masalah nilai awal atau masalah nilai batas pada persamaan diferensial linier ataupun non linier. Metode Runge-Kutta Orde ke-4 memiliki bentuk umum yaitu:

$$y_{i+1} = y_i + u(x_i, y_i)h, \quad (1)$$

dengan,

$y_i$  : nilai sebelumnya

$y_{i+1}$  : nilai selanjutnya dengan ukuran langkah  $h$

$h$  : ukuran langkah

dan  $u(x_i, y_i, h)$  merupakan suatu fungsi *increment* yang diartikan sebagai suatu fungsi *slope* rata-rata sepanjang interval. Bentuk umum fungsi *increment* sebagai berikut:

$$u(x_i, y_i) = \frac{1}{6}(t_1 + 2t_2 + 2t_3 + t_4) \quad (2)$$

dengan setiap nilai  $t$  besarnya adalah:

$$t_1 = f(x_i, y_i)$$

$$t_2 = f\left(x_i + \frac{1}{2}h, y_i + \frac{1}{2}t_1h\right)$$

$$t_3 = f\left(x_i + \frac{1}{2}h, y_i + \frac{1}{2}t_2h\right)$$

$$t_4 = f(x_i + h, y_i + t_3h)$$

Semua nilai  $t$  berhubungan secara rekurensi, artinya nilai  $t_1$  muncul dalam persamaan untuk nilai  $t_2$ , yang muncul lagi dalam persamaan  $t_3$  dan seterusnya. Rekurensi ini membuat Metode Runge-Kutta efisien digunakan secara numerik dengan program komputer [3].

## Tahapan Penelitian

Tahapan yang dilakukan pada penelitian ini adalah:

1. Mengumpulkan data dengan melakukan percobaan dimulai dengan proses imbibisi pada biji kacang hijau hingga menghitung tinggi kecambah setiap hari selama 2 minggu.
2. Mengkaji model pertumbuhan kecambah dari sifat biologinya yang mengikuti model predator dan prey.
3. Menyelesaikan solusi numerik dari model pertumbuhan kecambah.
4. Membuat program penyelesaian model pertumbuhan kecambah dengan software MATLAB menggunakan ode45.
5. Memperoleh taksiran solusi dan menentukan galat terkecil dari taksiran parameter
6. Memperoleh parameter terbaik dan solusi terbaik.
7. Mengevaluasi output dari solusi numerik dengan sensitivitas analisis menggunakan Maple.

## Hasil dan Diskusi

Pertumbuhan kecambah kacang hijau memerlukan air agar dapat tumbuh serta cadangan makanan yang terdapat di kotiledonnya, dimana suatu saat cadangan makanan tersebut akan habis karena digunakan untuk membentuk sel serta jaringan tumbuhan yang baru. Oleh karena itu model matematika yang akan dibangun terdiri dari dua kompartemen. Kompartemen pertama adalah Nutrisi sebagai cadangan makanan, dimana cadangan ini akan diolah oleh enzim untuk diperbanyak, setelah

diperbanyak nutrisi ini akan digunakan oleh taoge untuk tumbuh. Kompartemen kedua yaitu Panjang taoge, taoge dapat bertambah panjang sampai konstan atau pertumbuhan melambat sampai akhirnya mati karena nutrisi untuk perkembangan telah habis dikonsumsi. Asumsi yang digunakan pada penelitian ini adalah kecambah yang diamati adalah kecambah yang *viable* artinya kecambah yang hidup, bisa berkecambah dengan baik dan tidak cacat.

Hal yang mempengaruhi proses perkecambahan pada model:

- a) Bertambah dan berkurangnya nutrisi dipengaruhi oleh
  - (+) produksi zat zat nutrisi berupa mikromolekul oleh enzim enzim
  - (-) nutrisi dimakan oleh embrio/ bagian tanaman untuk tumbuh
  - (-) proporsi taoge akan konsumsi nutrisi
- b) Bertambah dan berkurangnya panjang taoge dipengaruhi oleh
  - (+) mengkonsumsi nutrisi yang didistribusikan sel
  - (-) saat nutrisi mulai berkurang, pertumbuhan taoge semakin melambat dan akhirnya mati

Sehingga model matematika terkait dengan hal di atas adalah:

$$\frac{dT}{dt} = aTN - bT \quad (3)$$

$$\frac{dN}{dt} = cN - dTN - eT$$

dengan deskripsi model dapat dilihat pada Tabel 1.

Untuk mendapatkan nilai parameter pada Tabel 1, dilakukan percobaan menanam beberapa biji kacang hijau, dimana biji yang dipilih memiliki bentuk, warna serta kualitas yang sama (tidak cacat). Masing masing biji direndam dalam air selama lebih kurang 10 jam pada air biasa agar terjadi proses imbibisi pada biji. Selanjutnya untuk masing masing biji diletakkan pada wadah kapas yang dibasahi, dan diberi air agar tidak

## Original Article

kekeringan sebanyak 2 kali sehari diwaktu pagi dan malam diwaktu yang sama serta disimpan pada tempat yang tidak terkena cahaya matahari langsung.

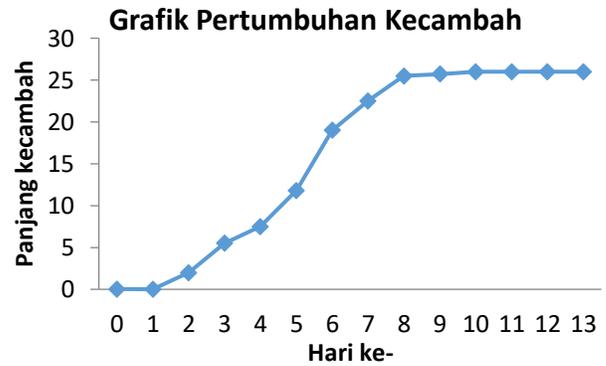
Tabel 1. Deskripsi model pertumbuhan Kecambah

Variabel	Deskripsi	Satuan	Nilai
$N(t)$	Jumlah/banyak nutrisi pada saat $t$ hari	mg	-
$T(t)$	Panjang taoge pada saat $t$ hari	cm	-
$a$	Rata-rata bertambahnya panjang taoge tiap $t$ hari per mg mengkonsumsi nutrisi	$\frac{1}{mg \cdot t}$	-
$b$	Rata-rata melambatnya pertumbuhan panjang taoge per hari	$\frac{1}{t}$	-
$c$	Rata-rata penambahan jumlah nutrisi per $t$ hari	$\frac{1}{t}$	-
$d$	Rata-rata berkurangnya nutrisi tiap $t$ hari per cm pertumbuhan taoge	$\frac{1}{cm \cdot t}$	-
$e$	Proporsi taoge konsumsi nutrisi	$\frac{mg}{cm \cdot t}$	-
$t$	Menyatakan waktu per hari	hari	-

Setiap hari pada waktu yang sama dilakukan pengukuran panjang kecambah yang mulai muncul dan diperoleh data pengukuran panjang dari salah satu kecambah yang diukur sebagai berikut:

Tabel 2. Data Panjang Kecambah	
Hari ke -	Panjang kecambah (cm)
0	0.01
1	1.1
2	2
3	5.5
4	7.5
5	11.8
6	19
7	22.5
8	25.5
9	25.7
10	26
11	26
12	26
13	26

Data di atas di plot seperti Gambar 1 terlihat bahwa pertumbuhan kecambah akan stagnan dimulai hari ke -10.



Gambar 1. Grafik Pertumbuhan Kecambah Kacang Hijau

Dari model predator prey yang kita gunakan ditentukan analisis kestabilan titik ekuilibriumnya. Bentuk matriks Jacobi nya adalah

$$J(x, y) = \begin{bmatrix} aN - b & aT \\ -dN - e & -dT + c \end{bmatrix}$$

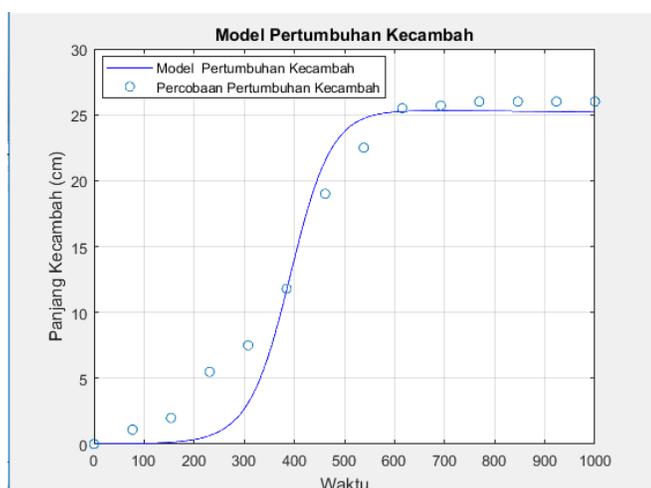
Titik tetap diperoleh  $\{N = 0, T = 0\}$  dan  $\left\{N = \frac{b}{a}, T = \frac{bc}{(ae+bd)}\right\}$  untuk titik tetap  $\{N = 0, T = 0\}$  bersifat tidak stabil karena nilai eigen berlainan tanda sedangkan untuk titik tetap  $\left\{N = \frac{b}{a}, T = \frac{bc}{(ae+bd)}\right\}$  bersifat stabil pusat, karena potret fasa yang berbentuk periodik. Dengan demikian solusi analitik dari model ini tidak menggambarkan dengan baik keadaan yang sebenarnya terjadi.

Maka untuk mendapatkan nilai parameter  $a, b, c, d,$  dan  $e$  system persamaan diferensial akan diselesaikan secara numerik menggunakan *software* Matlab yang diselesaikan dengan metode Runge-Kutta (ode45).

Nilai awal dari Nutrisi ( $N$ ), Panjang Taoge ( $T$ ), serta parameter  $a, b, c, d,$  dan  $e$  yang digunakan  $T(0) = 0,01$  dan  $N(0) = 1,5 \text{ mg}$  nilai yang digunakan merupakan asumsi bahwa sebelum perkecambahan nilai gizi/nutrisi dari kecambah sebanyak berat/massa biji nya. Nilai tebakan awal parameter:  $a = 1,2$ ,  $b = 0,05$ ,  $c = 0,8$ ,  $d = 0,4$  dan  $e = 0,5$  sehingga dengan menggunakan Matlab dilakukan proses sebagai berikut:

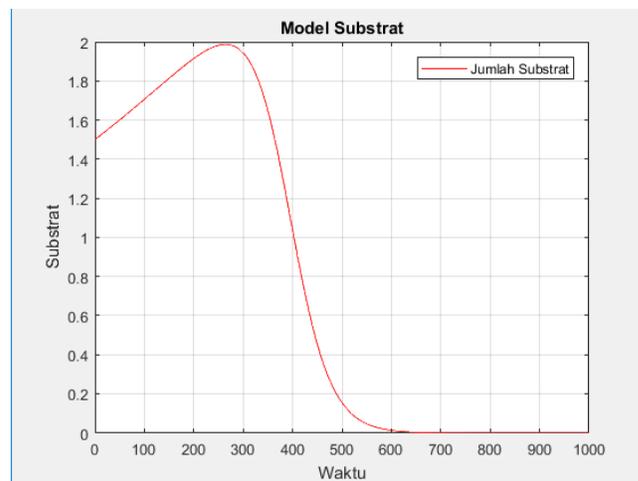
- Sistem persamaan diferensial diselesaikan dengan Runge-Kutta menggunakan ode45
- Diperoleh solusi taksiran dari proses di atas
- Hitung galat terkecil dari taksiran dan data panjang kecambah
- Diperoleh solusi terbaik parameter  $a = 0,8$  ,  $b = 0,0001$  ,  $c = 0,1008$   $d = 0,0783$  dan  $e = 0,0001$
- Input parameter tersebut ke sistem persamaan diferensial

Hasil solusi numerik panjang taoge dengan model panjang taoge terlihat pada Gambar 2 berikut ini



Gambar 2. Model Pertumbuhan Panjang Kecambah

Dari plot grafik di atas terlihat bahwa model pertumbuhan kecambah mengikuti bentuk pola data panjang kecambah dengan galat yang minimum. Sebelum hari kedua terlihat kecambah sudah mulai bertambah ukuran panjangnya karena biji telah menggunakan nutrisi yang ada pada bagian kotiledon kacang hijau hal ini sesuai dengan tahapan dalam proses perkecambahan pada penelitian sebelumnya [2]. Sedangkan untuk grafik pertumbuhan nutrisi/substrat terlihat pada Gambar 3.

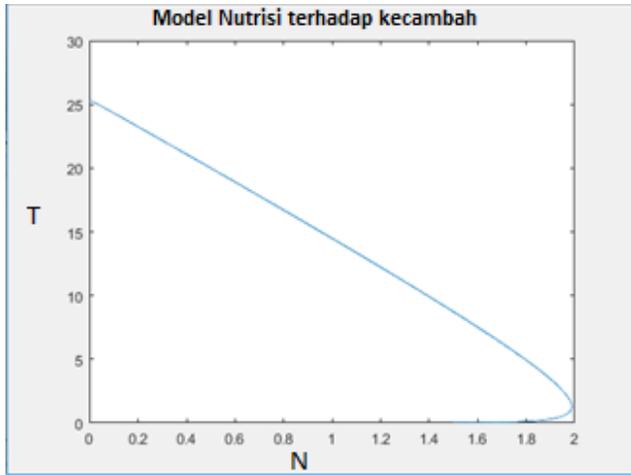


Gambar 3. Model Pertumbuhan Nutrisi

Dari grafik di atas terlihat bahwa nutrisi diproduksi terlebih dahulu sebelum digunakan untuk pertumbuhan kecambah dikarenakan kandungan gizi akan aktif saat mulai terjadi perkecambahan yang diawali dengan proses imbibisi [1].

Grafik potret fasa hubungan nutrisi/substrat dengan taoge mengindikasikan saat mencapai nutrisi maksimum, taoge memiliki kandungan nutrisi terbaiknya untuk segera dikonsumsi, makin lama nutrisi taoge akan semakin berkurang karena digunakan untuk pertumbuhan panjang taoge. Sehingga saat nutrisi habis, panjang taoge tidak akan bertambah dan berkurang lagi dan akhirnya taoge akan mati karena untuk pertumbuhan dan tetap hidup taoge memerlukan nutrisi [4]. Pada Gambar 4 terlihat saat terbaik untuk mengkonsumsi taoge adalah pada hari ketiga perkecambahan

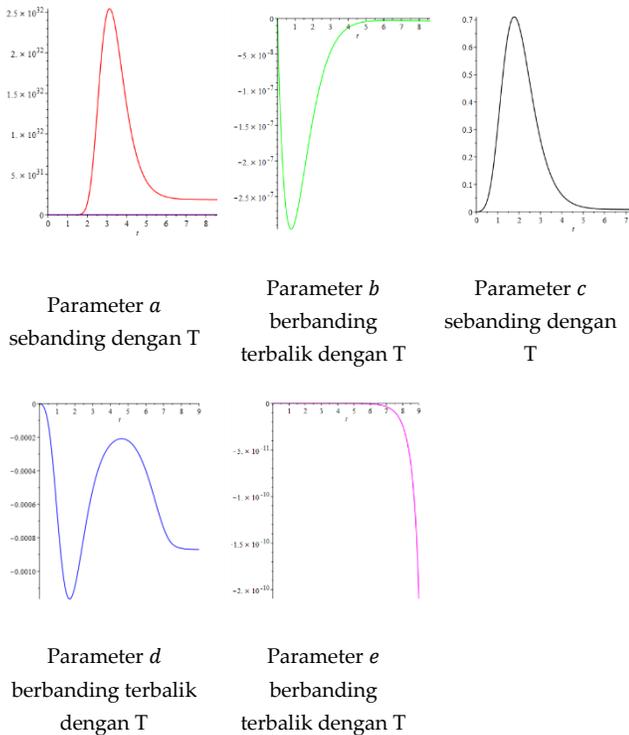
Original Article



Gambar 5. Model Nutrisi terhadap Kecambah

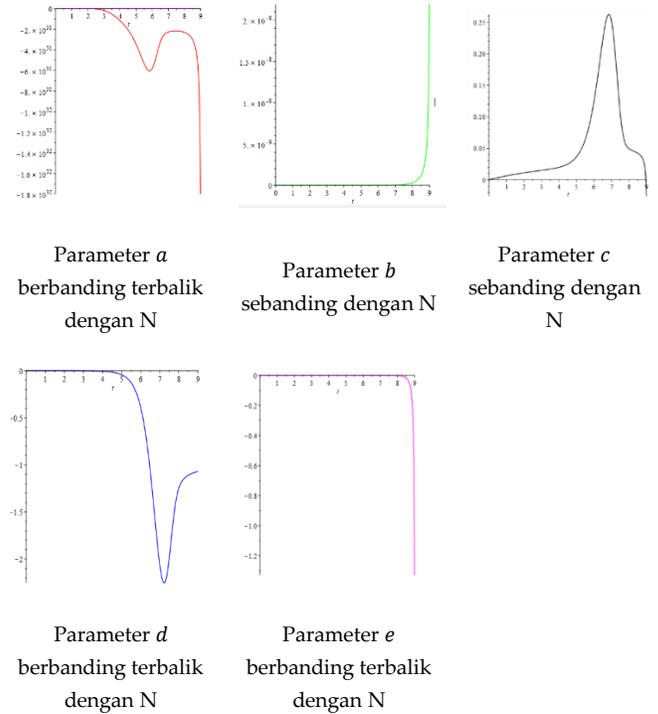
Serta dilakukan analisis sensitifitas Panjang Taoge dan Nutrisi untuk mengetahui efek perubahan parameter  $a, b, c, d,$  dan  $e$  terhadap variable  $T$  dan  $N$ , diperoleh

a. Analisis sensitifitas terhadap panjang taoge (T)



Gambar 6. Analisis sensitifitas parameter terhadap Panjang Taoge (T)

b. Analisis sensitifitas terhadap Nutrisi (N)



Gambar 7. Analisis sensitifitas parameter terhadap Nutrisi

Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis diatas dapat disimpulkan bahwa

1. Model pertumbuhan kecambah kacang hijau mengikuti model *predator-prey* dimana predator adalah Taoge karena memakan nutrisi yang tersedia dan prey adalah nutrisi yang dimakan oleh kecambah taoge, dimana nutrisi ini nantinya bisa habis. Pada model predator prey yang digunakan diperoleh dua titik ekuiliberium yaitu  $\{N = 0, T = 0\}$  yang tidak stabil dan  $\{N = \frac{b}{a}, T = \frac{bc}{(ae+bd)}\}$  bersifat stabil pusat, karena potret fasa berbentuk periodik.
2. Nutrisi awal diasumsikan sebanyak 1,5 mg yang terkandung di dalam biji kacang hijau dan sesuai dengan tahapan proses perkecambahan bahwa nutrisi diproduksi terlebih dahulu sebelum digunakan untuk proses pertumbuhan serta diperoleh hasil penelitian dengan model *predator-prey* bahwa nutrisi maksimum taoge terjadi saat hari ke-3 perkecambahan.

3. Pada penelitian diperoleh sensitifitas parameter terhadap panjang kecambah  $T$  yang berpengaruh secara signifikan adalah parameter  $a$  dan parameter  $c$ , untuk parameter  $b, d, dan e$  berbanding terbalik. Artinya saat rata-rata bertambahnya panjang taoge tiap 1 hari per mg mengkonsumsi nutrisi bertambah akan mempengaruhi panjang taoge serta saat rata-rata pertambahan jumlah nutrisi per  $t$  hari bertambah maka akan mempengaruhi panjang taoge.
  4. Pada penelitian diperoleh sensitifitas parameter terhadap nutrisi  $N$  yang berpengaruh secara signifikan adalah parameter  $b$  dan parameter  $c$ , untuk parameter  $a, d, dan e$  berbanding terbalik. Artinya saat rata-rata melambatnya pertumbuhan panjang taoge per hari berkurang maka jumlah nutrisi akan berkurang, serta apabila rata-rata pertambahan jumlah nutrisi per  $t$  hari bertambah maka jumlah nutrisi akan bertambah.
- [3] H. Wijayanti, S. Setyaningsih, and M. Wati, "Metode Runge Kutta Dalam Penyelesaian Model Radang Akut," *Ekologia*, vol. 11, no. 2, pp. 46–52, 2017.
- [4] H. Nonogaki, "Seed germination—the biochemical and molecular mechanisms," *Breed Sci*, vol. 56, no. 2, pp. 93–105, 2006.

### Konflik Kepentingan

Penulis menyatakan tidak memiliki konflik kepentingan dalam penulisan artikel ini.

### Ucapan Terima Kasih

Ucapan terimakasih penulis sampaikan kepada Bapak Prof. Edy Soewono selaku dosen pengampu matakuliah Dinamika Populasi saat studi magister matematika di ITB

### Referensi

- [1] S. Anggrahini, "Pengaruh Lama Pengecambahan terhadap Kandungan  $\alpha$ -Tokoferol dan Senyawa Proksimat Kecambah Kacang Hijau (*Phaseolus Radiatus L.*)," *Agritech: Jurnal Fakultas Teknologi Pertanian UGM*, vol. 27, no. 4, p. 93511.
- [2] C. Maruliyanda, "Pengaruh Ekstrak Etanolik Kecambah Kacang Hijau Terhadap Kualitas Spermatozoa Mencit yang terpapar.2-Methoxyethanol," Universitas Airlangga, Surabaya, 2013.