

Strategi Pengendalian Larva Hama Penggerek Pucuk Tebu dengan Kontrol Optimal

M. Ziaul Arif

Jurusan Matematika, Fakultas MIPA, Universitas Jember, Jember

Ziaul.fmipa@unej.ac.id

Abstrak

Hama penggerek pucuk tebu merupakan salah satu penyebab menurunnya produktifitas gula nasional. Pengendalian hama penggerek pucuk tebu hingga sekarang masih menjadi salah satu topik penting dalam bidang pertanian. Karena pengaruhnya yang besar pada rendemen tebu yang dihasilkan. Cara aman dalam pengendalian hama yaitu pengendalian secara hayati yang memiliki keuntungan tidak mencemari lingkungan dengan cara melepaskan parasitoid telur maupun parasitoid larva hama penggerek pucuk tebu. Tujuan dari penulisan ilmiah ini adalah untuk menentukan strategi pelepasan parasitoid larva hama penggerek pucuk tebu berdasarkan analisis kestabilan dan kontrol optimal pada persamaan *Lotka-Volterra* dalam pengendalian hayati hama penggerek pucuk tebu (*Scirpophaga nivella*) oleh parasit larvanya yaitu lalat Jatiroto (*Diatraeophaga striatalis* Towns). Dari hasil analisis titik equilibrium, didapatkan 3 titik equilibrium yang merepresentasikan perubahan jumlah populasi pada waktu t yang belum optimal dalam pengendalian jumlah populasi hama. Oleh karena itu, diperlukan kontrol optimal dalam sistem agar larva hama terkendali di bawah *Economic Injury Level*. Dari hasil analisis kontrol optimal model matematika ditunjukkan bahwa strategi pelepasan lalat Jatiroto ke ekosistem secara kontinu merupakan cara yang efektif yang bisa mengendalikan larva hama pada level 2000 larva/ha. Hal ini bisa diterapkan sebagai bahan evaluasi metode yang ada sekarang dalam pengendalian hama penggerek pucuk tebu meskipun masih memerlukan penelitian lapang selanjutnya yang terintegrasi.

Kata Kunci: Hama Penggerek Pucuk Tebu, *Lotka-Volterra*, *Optimal Control*, *Scirpophaga nivella Fabricus*

A. Pendahuluan

Hama dan penyakit tanaman merupakan kendala terbesar dalam budidaya pertanian, terutama tanaman tebu di Indonesia. Beberapa penelitian telah banyak membahas hal tersebut. Terutama penelitian mengenai tanaman tebu yang tahan penyakit yang dipioneri oleh Universitas Jember dengan tebu Transgenik tahan penyakit. Namun, yang menjadi permasalahan sekarang yaitu hama tanaman tebu yang bisa merusak dan menurunkan rendemen gula nasional. Beberapa hewan di lingkungan ekosistem tanaman tebu, berpotensi menjadi hama jika jumlahnya tidak seimbang. Sedangkan hama yang sering menyerang tanaman tebu di Indonesia dan negara tropis lainnya yaitu hama penggerek tanaman tebu. Terdapat dua jenis penggerek tanaman tebu yaitu penggerek pucuk dan penggerek batang tebu. Hama penggerek pucuk tanaman tebu sangat berpotensi merusak secara masal dan bahkan menyebabkan rendemen gula berkurang 15-77%, karena mampu mematikan tanaman tebu jika diserang pada usia 2-3 bulan pertama [1].

Beberapa peneliti di Indonesia telah melakukan riset mengenai spesies dari hama penggerek pucuk tebu. Hama penggerek pucuk tebu di Indonesia yang paling sering menyerang tanaman tebu yaitu diklasifikasikan dalam *Phyllum Arthropoda*, Kelas *Insecta*, Bangsa *Lepidoptera*, Suku *Pyrallidae*, Marga *Scirpophaga*, Jenis *Scirpophaga Nivella Fabricus* [2, 3]. Telur hama diletakkan di balik daun didekat ujung tanaman. Pada fase metamorfosis selanjutnya, larva akan menuju pucuk tanaman daun dan menggerek pucuk dengan cara melubangi pucuk tanaman. Pada fase inilah hama berperan besar dalam mematikan tanaman tebu karena titik tumbuh tanaman akan dilubangi. Namun, bila tanaman tidak mati maka akan keluar cabang yang mengakibatkan tebu tidak bisa tumbuh tinggi.

Berbagai metode pengendalian hama telah dilakukan secara terpadu seperti Pengendalian mekanis, Pengendalian Kultur Teknis atau Budidaya, Pengendalian Kimiawi, dan Pengendalian Hayati atau Biologis dengan cara Pelepasan musuh alami/predator. Metode pelepasan musuh alami/predator merupakan cara efektif yang tidak merusak lingkungan ekosistem alami. Pada kasus pengendalian larva hama penggerek pucuk tebu, musuh alami/predator alami larva hama atau yang disebut dengan parasitoid larva yaitu lalat Jatiroto (*Diatraeophaga striatalis* Towns). Penelitian yang dilakukan oleh Ernawati dan Rahayu meneliti luas area serangan hama penggerek tebu di Jawa Timur [2]. Sedangkan, Meidalima tahun 2014 yaitu untuk mengetahui tingkat parasitasi musuh alami dari hama penggerek pucuk tebu di Sumatra Selatan [4]. Hal ini dilakukan untuk menemukan strategi pelepasan predator-nya atau strategi tindakan pengendalian hama penggerek pucuk tebu.

Interaksi dan aksi mangsa dan dimangsa dari fenomena nyata dimodelkan dalam bentuk suatu persamaan yang biasa disebut dengan persamaan *prey-predator Lotka-Volterra*. Pemangsa hama dalam hal ini adalah parasitoid. Terdapat dua jenis parasitoid hama penggerek pucuk tebu yaitu parasit telur dan parasit larva. Focus penelitian ini adalah pengendalian larva hama dengan parasitoidnya yaitu lalat Jatiroto (*Diatraeophaga striatalis* Towns). Karena pada fase ini yang paling berbahaya dalam merusak tanaman. Berdasarkan teori *optimal control* dalam sistem persamaan *prey-predator Lotka-Volterra* dapat ditentukan metode pengendalian larva hama penggerek pucuk tanaman tebu dengan simulasi numerik titik equilibriumnya. Selanjutnya, hasil akhir penelitian ditunjukkan bagaimana musuh alami harus dilepaskan ke ekosistem agar larva hama di bawah level maksimal yang tidak merusak tanaman atau *Economic Injury Level (EIL)*.

B. Tinjauan Pustaka

1. Sistem Otonomus

Misal diberikan persamaan:

$$\begin{aligned} \frac{dx}{dt} &= P(x, y) \\ \frac{dy}{dt} &= Q(x, y) \end{aligned} \quad (1)$$

dengan P dan Q adalah fungsi kontinu dari x dan y serta turunan parsial pertamanya kontinu. Sistem persamaan diferensial (1) dengan P dan Q tidak bergantung secara eksplisit pada t disebut sistem otonomus [5].

2. Model Umum Pertumbuhan Populasi Lotka – Volterra Interaksi 2 Spesies

Perhatikan dua spesies dan andaikan spesies pertama disebut mangsa, mempunyai persediaan makanan berlebih sedang spesies kedua disebut pemangsa, diberi makan oleh spesies yang pertama. Misalkan $x(t)$ dan $y(t)$ berturut-turut menyatakan banyaknya spesies mangsa dan pemangsa pada saat t .

Jika kedua spesies terpisah satu sama lain, mereka akan berubah dengan laju berbanding lurus dengan jumlah yang ada,

$$\frac{dx}{dt} = ax \text{ dan } \frac{dy}{dt} = -bx \quad (2)$$

Dalam (2), $a > 1$ karena populasi mangsa mempunyai persediaan makanan berlebih dan karena itu bertambah banyak, sedang $-b < 0$ karena populasi pemangsa tidak mempunyai makanan, jadi berkurang jumlahnya.

Tetapi, telah dimisalkan bahwa kedua populasi berinteraksi sedemikian sehingga populasi pemangsa makan populasi mangsa. Dengan demikian dapatlah dituliskan bahwa jumlah yang membunuh besarnya tiap satuan waktu berbanding lurus dengan x dan y , yaitu xy . Jadi populasi mangsa akan berkurang jumlahnya sedang pemangsa akan bertambah jumlahnya pada laju yang berbanding lurus dengan xy . Jadi, kedua populasi yang berinteraksi memenuhi sistem tak linier berikut [6]:

$$\frac{dx}{dt} = ax - mxy \text{ dan } \frac{dy}{dt} = -bx + nxy \quad (3)$$

3. Titik Keseimbangan (Ekuilibrium)

Menurut [5], titik (x^*, y^*) disebut titik keseimbangan dari persamaan (1) jika memenuhi:

$$\begin{aligned} \frac{dx}{dt} = P(x^*, y^*) &= 0 \\ \frac{dy}{dt} = Q(x^*, y^*) &= 0 \end{aligned} \quad (4)$$

4. Linierisasi Persamaan Deferenensial Biasa Otonomus

Menurut [5, 6], dalam suatu sistem autonomus (1) akan dicari pendekatan pada sistem linier di sekitar (x^*, y^*) menggunakan deret Taylor, untuk menghilangkan suku nonliniernya pada keadaan setimbang maka digunakan matriks Jacobi sebagai berikut:

$$J = \begin{bmatrix} \frac{\partial P}{\partial x} & \frac{\partial P}{\partial y} \\ \frac{\partial Q}{\partial x} & \frac{\partial Q}{\partial y} \end{bmatrix}. \quad (5)$$

Kriteria kestabilan sistem didasarkan pada analisis nilai eigen dari matriks Jacobian seperti pada table berikut:

Tabel 1. Kriteria kestabilan

| Nilai Eigen | Tipe | Kestabilan |
|---|--------------|------------------|
| $\lambda_1, \lambda_2 > 0$ | Node | Tidak stabil |
| $\lambda_1, \lambda_2 < 0$ | Node | Stabil asimtotik |
| $\lambda_1 < 0 < \lambda_2$ | Sadlle point | Tidak stabil |
| $\lambda_1 > 0 > \lambda_2$ | Sadlle point | Tidak stabil |
| λ_1, λ_2 Kompleks, $\text{Re } \lambda_i < 0$ | Spiral | Stabil asimtotik |
| λ_1, λ_2 Kompleks, $\text{Re } \lambda_i > 0$ | Spiral | Tidak stabil |
| λ_1, λ_2 Kompleks, $\text{Re } \lambda_i = 0$ | Limit cycle | Stabil |

C. Metode Penelitian

Dalam penelitian ini, dilakukan beberapa tahapan metode penelitian sebagai berikut:

1. Tahapan Studi Literatur

Tahap ini merupakan tahapan awal dalam mencari sumber pustaka pemodelan matematika interaksi dua spesies (*prey-predator*) atau Lotka-Volterra. Serta pemahaman mengenai kestabilan ekosistem yang terkendali adalah hal dasar yang dapat digunakan untuk menentukan metode pengendalian.

2. Tahap Analisis Model

Pada tahapan berikut, bentuk pemodelan matematika yang digunakan adalah model persamaan *Prey-Predator* atau Lotka-Volterra. Pencarian titik kesetimbangan dan analisis kestabilan dilakukan dalam tahap ini. Kestabilan sistem berdasarkan linierisasi dengan matriks Jacobian dan dianalisis nilai eigennya dengan menggunakan persamaan karakteristik dan metode Routh-Hurwitz.

3. Tahap Analisis Pengendalian Model

Pengendali sistem akan ditentukan setelah menganalisis titik equilibriumnya dan diterapkan dalam pengendalian jumlah larva hama berdasar pada teorema *control optimal*.

4. Tahap Simulasi dan Analisis Hasil Simulasi

Pada tahap ini, simulasi numerik teori optimal kontrol dilakukan dengan bantuan software berdasarkan data dalam melihat perilaku model dengan pengendali. Selanjutnya, peneliti melakukan analisis hasil dari simulasi untuk menentukan kelayakan solusi.

5. Kesimpulan

Tahap terakhir dari penelitian adalah menarik kesimpulan dari analisis hasil simulasi yang sudah dilakukan serta memberikan interpretasi terhadap penerapannya.

D. Hasil dan Pembahasan

1. Model Matematika Pertumbuhan Populasi Larva Hama Penggerek Pucuk Tebu dan Parasitoidnya

Populasi suatu makhluk hidup dalam ekosistem dipengaruhi beberapa faktor seperti tingkat kelahiran tingkat kematian, persaingan antar sesama jenis makhluk hidup, persaingan dengan makhluk hidup yang lain, tingkat kematian karena dimangsa oleh *predator*, serta daya dukung lingkungan. Model matematika interaksi pertumbuhan antara hama penggerek pucuk tebu yang direpresentasikan dengan larvanya dan musuh alaminya yaitu parasitoid lalat Jatiroto (*Diatraeophaga striatalis Towns*) dengan asumsi bahwa tidak ada migrasi adalah dituliskan dalam bentuk persamaan differensial berikut:

$$\frac{dx_1}{dt} = \beta \left(1 - \frac{x_1}{K} \right) x_1 - (m_1 + n_1)x_1 - \alpha x_1 x_2 \tag{6}$$

$$\frac{dx_2}{dt} = \gamma n_2 x_1 x_2 - m_2 x_2$$

dengan x_1 merupakan tingkat kepadatan populasi larva hama, x_2 adalah kepadatan parasitoid lalat Jatiroto (*Diatraeophaga striatalis Towns*). Selanjutnya, konstanta β tingkat pertumbuhan intrinsik larva hama penggerek pucuk tebu perhari, α adalah tingkat parasitasi, K adalah daya dukung lingkungan terhadap larva hama, dan m_1 , dan m_2 secara berturut-turut merupakan tingkat kematian alami dari populasi larva hama dan populasi parasitoid. Selanjutnya, n_1 adalah bagian dari populasi larva yang berubah menjadi pupa, n_2 adalah bagian dari larva yang terparasit dimana muncul larva parasitoid pada waktu t . Terakhir, γ merupakan jumlah parasitoid dewasa yang lahir dari satu larva yang terparasit oleh lalat Jatiroto (*Diatraeophaga striatalis Towns*) pada waktu .

2. Titik Keseimbangan Model

Titik keseimbangan didapatkan dengan membuat nol (0) ruas kanan pada (6):

$$\begin{aligned} \beta \left(1 - \frac{x_1}{K} \right) x_1 - (m_1 + n_1)x_1 - \alpha x_1 x_2 &= 0 \\ \gamma n_2 x_1 x_2 - m_2 x_2 &= 0 \end{aligned}$$

Dari persamaan di atas, didapatkan 3 kemungkinan titik keseimbangan berdasarkan populasinya sebagai berikut:

1. $E_1 = (0,0)$, yaitu keadaan dimana tidak ada populasi dari hama penggerek pucuk tebu maupun parasitnya.
2. $E_2 = \left(\frac{K}{\beta} (\beta - m_1 - n_1), 0 \right)$, yaitu keadaan dimana hama penggerek pucuk tebu ada sedangkan parasitoidnya tidak ada.
3. $E_3 = (x_1^*, x_2^*)$, yaitu keadaan dimana populasi setiap kelompok individu ada, dengan

$$\begin{aligned} x_1^* &= \frac{m_2}{\gamma n_2} \\ x_2^* &= \frac{1}{\alpha} \left(\beta \left(1 - \frac{m_2}{\gamma n_2 K} \right) - (m_1 + n_1) \right). \end{aligned}$$

Setelah diperoleh titik keseimbangan, selanjutnya setiap titik akan dianalisa kestabilannya.

3. Analisis Kestabilan Lokal Titik Kesetimbangan

Karena model (6) merupakan persamaan differensial non-linier maka persamaan tersebut perlu untuk dilinierisasikan terlebih dahulu untuk kemudian ditentukan kestabilannya. Kestabilan setiap titik kesetimbangan yang sudah didapatkan akan ditentukan dengan nilai eigen dari matriks Jacobian

$$J = \begin{bmatrix} \beta \left(1 - \frac{2x_1^*}{K}\right) - (m_1 + n_1) - \alpha x_2^* & -\alpha x_1^* \\ \gamma n_2 x_2^* & \gamma n_2 x_1^* - m_2 \end{bmatrix}. \quad (7)$$

Syarat-syarat untuk Kestabilan masing-masing titik equilibrium dianalisis sebagai berikut:

1) Analisis kestabilan titik kesetimbangan E_1

Dalam kasus ini, nilai eigen dapat ditentukan dengan mudah yaitu:

$$\lambda_1 = \beta - m_1 - n_1 \text{ dan } \lambda_2 = -m_2.$$

Hal ini mengakibatkan bahwa titik E_1 stabil jika

$$\beta < m_1 + n_1. \quad (8)$$

2) Analisis kestabilan titik kesetimbangan E_2

Pada titik E_2 , semua nilai variable harus non negatif sehingga sesuai dengan kondisi E_2 maka

$$\beta > m_1 + n_1.$$

Pada kasus E_2 , nilai eigen yang diperoleh dari $|J(E_2) - \lambda I| = 0$, maka persamaan karakteristiknya adalah

$$\lambda^2 + a_1\lambda + a_2 = 0$$

$$a_1 = -K\gamma n_2 + \frac{\gamma n_2 K(m_1 + n_1)}{\beta} + m_2 + \beta - (m_1 + n_1)$$

$$a_2 = \left(K\gamma n_2 - \frac{\gamma n_2 K(m_1 + n_1)}{\beta} - m_2\right)(\beta - (m_1 + n_1))$$

Stabil jika mempunyai solusi riil negatif atau E_2 stabil jika a_1 dan $a_2 > 0$.

3) Analisis kestabilan titik kesetimbangan E_3

Pada titik E_3 , semua nilai variable harus non negatif sehingga sesuai dengan kondisi E_3 maka

$$\beta > \frac{(m_1 + n_1)}{\left(1 - \frac{m_2}{\gamma n_2 K}\right)}. \quad (9)$$

Pada kasus E_3 , nilai eigen yang diperoleh dari $|J(E_3) - \lambda I| = 0$, maka persamaan karakteristiknya adalah

$$\lambda^2 + a_1\lambda + a_2 = 0$$

dengan,

$$a_1 = \frac{\beta m_2}{\gamma n_2 K} > 0$$

$$a_2 = m_2 \left(-\beta + m_1 + n_1 + \frac{m_2 \beta}{\gamma n_2 K}\right) > 0$$

Penggunaan kriteria Routh-Hurwitz diperoleh bahwa hal tersebut terpenuhi karena jelas bahwa $(\lambda^2 + a_1\lambda + a_2) = 0$ akan mempunyai solusi riil negatif jika a_1 dan $a_2 > 0$ Akibatnya jelas bahwa $a_2 > 0$ jika

$$\beta > \frac{(m_1 + n_1)}{(\gamma n_2 K - m_2)} \quad (10)$$

Dari (9) dan (10), E_3 akan stabil jika,

$$\beta > \frac{(m_1 + n_1)}{\left(1 - \frac{m_2}{\gamma n_2 K}\right)}$$

4. Pengendalian Model

Titik equilibrium diatas memiliki kestabilan asimtotik diatas EIL. Maka perlunya suatu sistem kontrol dalam agar jumlah populasi larva bisa dikendalikan. Pada bagian ini, akan diterapkan *optimal control* dalam membuat strategi pengendalian larva hama penggerek pucuk tebu melalui parasitasi larva hama tersebut. Kontrol ini harus mampu menggerakkan sistem dan populasi hama kedalam kondisi yang stabil yang tidak merugikan secara ekonomi dan selanjutnya larva hama menjadi terkontrol. Oleh karena itu, perlunya optimalisasi *control function* pada (6). Fungsi kontrol direpresentasikan dengan U diterapkan pada (6) bagian ketiga sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \frac{dx_1}{dt} &= \beta \left(1 - \frac{x_1}{K}\right) x_1 - (m_1 + n_1)x_1 - \alpha x_1 x_2 & (11) \\ \frac{dx_2}{dt} &= \gamma n_2 x_1 x_2 - m_2 x_2 + U \end{aligned}$$

dengan $U = u^* + u$. u^* adalah suatu konstanta kontrol yang menggerakkan jumlah populasi larva hama di bawah *Economic Injury Level* (EIL) dan $u = f(x_1, x_2)$ merupakan fungsi *linear feedback control* larva hama penggerek pucuk tebu yang menstabilkan sistem pada waktu t .

Keadaan steady dengan pengendali yang diinginkan adalah

$$X = [x_1^* \quad x_2^*]^T$$

yang memenuhi persamaan berikut:

$$\begin{aligned} \beta \left(1 - \frac{x_1^*}{K}\right) x_1^* - (m_1 + n_1)x_1^* - \alpha x_1^* x_2^* &= 0 & (12) \\ \gamma n_2 x_1^* x_2^* - m_2 x_2^* + u^* &= 0 \end{aligned}$$

Dari persamaan pertama pada (12), didapatkan populasi parasitoid larva hama yang perlu untuk menjaga agar populasi larva hama yang berpotensi menjadi larva di bawah EIL yaitu:

$$x_2^* = \frac{\beta \left(1 - \frac{x_1^*}{K}\right) x_1^* - (m_1 + n_1)x_1^*}{\alpha x_1^*} \quad (13)$$

Selanjutnya, dari (12) didapatkan nilai pengontrol u^* adalah

$$u^* = m_2 x_2 - \gamma n_2 x_1^* x_2^* \quad (14)$$

Pada umumnya, nilai yang diharapkan dari X untuk mendapatkan keadaan steady yang dikendalikan oleh u^* dapat tidak stabil atau tidak ada jumlah pemangsa yang tepat untuk mengontrol populasi larva dibawah *Economic Injury Level* pada waktu t . Oleh Karena itu, diterapkan *linear feedback control* u , kondisi yang diharapkan menjadi stabil secara asimtotik.

Definisikan suatu variable baru,

$$y = \begin{bmatrix} x_1 - x_1^* \\ x_2 - x_2^* \end{bmatrix}, u = U - u^* \quad (15)$$

Selanjutnya, substitusikan (15) ke dalam (11) dan memerhatikan (12) sehingga didapatkan suatu bentuk sistem penyimpangan/error sebagai berikut

$$\bar{y} = Ay + h(y) + Bu$$

dengan,

$$A = \begin{bmatrix} \beta \left(1 - \frac{2x_1^*}{K}\right) - (m_1 + n_1) - \alpha x_2^* & -\alpha x_1^* \\ \gamma n_2 x_2^* & \gamma n_2 x_1^* - m_2 \end{bmatrix}, \quad B = \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix},$$

$$h(y) = \begin{bmatrix} -\frac{\beta y_1^2}{K} - \alpha y_1 y_2 \\ \gamma n_2 y_1 y_2 \end{bmatrix}.$$

Berikutnya, *linear feedback control* dari u ditentukan dengan menerapkan dua teorema yang diperkenalkan oleh Ravikov, *et al* [7]. Menurut teorema-teorema tersebut, *linear feedback control*-nya adalah

$$u = -R^{-1}B^T P y, \tag{16}$$

dengan P suatu matrik simetris, positif definit. Matrik P merupakan solusi dari bentuk persamaan matriks Riccati berikut:

$$PA + A^T P - PBR^{-1}B^T P + Q = 0, \tag{17}$$

dengan matrik Q dan R adalah sebarang matriks konstanta yang positif definit dan matriks Q merupakan matriks simetris.

Penerapan teorema tersebut menyimpulkan bahwa sistem penyimpangan/error yang terkontrol oleh u adalah stabil secara asimtotik. Akibatnya sistem (11) yang terkontrol oleh U juga stabil dengan nilai X yang diharapkan.

Adapun bentuk *linear feedback control* U yang merupakan strategi optimal sebagai berikut:

$$U = u^* + by_1 + cy_2, \tag{18}$$

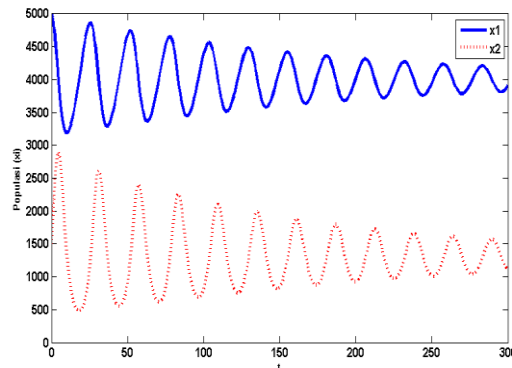
dengan u^*, b , dan c merupakan suatu konstanta.

5. Simulasi Numerik dan Analisis Hasil Simulasi

Dalam penelitian ini, digunakan simulasi dengan data pendukung dari beberapa sumber rujukan sebagai berikut: $n_1 = 2.9 \times 10^{-6}$, $n_2 = 6.25 \times 10^{-6}$, $m_1 = 0.36 \times 10^{-6}$, $m_2 = 1$, $\gamma = 40$ serta $K = 25000$ [2, 8-10]. Simulasi numerik terbagi menjadi 2 bagian yaitu simulasi numerik tanpa pengendalian dan simulasi numerik dengan pengendalian.

a. Simulasi Numerik tanpa Pengendalian.

Gambar 1 menunjukkan terjadi fluktuasi populasi yang saling berpengaruh sampai dengan hari ke-300 dengan jumlah populasi larva hama masih tinggi atau masih di atas jumlah *Economic Injury Level*. Hal ini mendorong peneliti untuk menganalisis strategi dalam pengendalian hama dengan menggunakan teknik *optimal control* pada pengendalian larva hama penggerek pucuk tebu.



Gambar 1. Perubahan jumlah populasi tanpa pengendalian

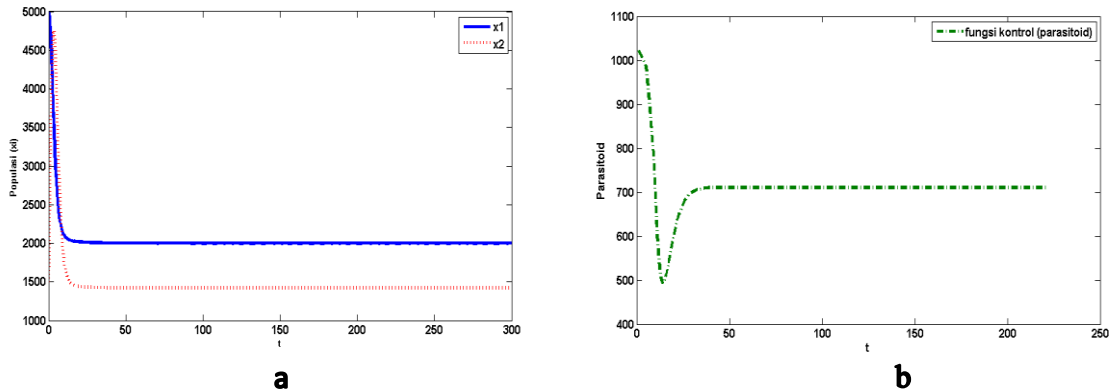
b. Simulasi Numerik dengan Pengendalian

Jika larva hama (x_1^*) yang berpotensi menjadi penggerek pucuk dikontrol pada level 2000 larva/ha, berdasarkan (12) maka jumlah $x_2^* = 1421.171$ tiap waktu t . Sebagai pengendali hama maka harus dilepaskan parasitoid sebesar $u^* = 710.58$ parasitoid/hari.

Berdasarkan teorema pada [7] dalam mengendalikan larva hama agar stabil pada jumlah 2000 larva/ha dan dengan menentukan solusi/matrik P dari (16), maka dari (17) didapatkan bahwa $u = 0.10665416y_1 - 0.10810773 y_2$ dengan y_1, y_2 , dan U didefinisikan pada (15). Dengan demikian fungsi kontrol pada persamaan (8) adalah:

$$U = 710.58 + 0.10665416 (x_1 - x_1^*) - 0.10810773(x_2 - x_2^*). \quad (19)$$

Fungsi kontrol optimal (19) diterapkan untuk mengendalikan kestabilan populasi larva hama, larva terparasitasi dan parasitoid pada level (X) yang ditunjukkan pada Gambar 2.a. Sedangkan dinamika kontrol optimal (19) terlihat pada Gambar 2.b.



Gambar 2. (a) Perubahan Jumlah Populasi dengan Pengendalian pada level 2000 larva/ha, dan (b) Dinamika pelepasan parasitoid persatuan waktu t

E. Simpulan dan Saran

Pengendalian hama penggerek pucuk tebu merupakan salah satu tantangan dalam pelestarian tanaman tebu. Beberapa metode pengendalian hama sudah dilakukan. Salah satunya adalah dengan menggunakan parasitoid dari hama tersebut. Pada penelitian ini, Pentingnya penerapan *control optimal* dalam (6) merupakan strategi dalam pengendalian model agar stabil pada level yang diinginkan. Pada penelitian ini, agar larva hama berada pada level 2000 larva/ha diterapkan fungsi kontrol (19). Persamaan (19) merupakan fungsi kontrol yang memberikan interpretasi bahwa strategi pengendalian larva hama agar jumlah populasi larva stabil pada level tersebut yaitu dengan melepaskan parasitoid larva hama penggerek pucuk tebu sebanyak ± 710 parasitoid/hari.

Pada Gambar 3, dengan melepaskan sejumlah lebih dari 1000 parasitoid pada awal pengendalian dan ± 710 parasitoid/hari secara berkelanjutan maka hama akan stabil pada level tujuan sejak minggu awal pengendalian. Pelepasan parasitoid secara berkelanjutan ini bisa menjadi alternatif dalam pengendalian hama penggerek pucuk tebu. Meskipun memerlukan penelitian lanjutan yang terintegrasi antara lapang dengan teori.

F. Daftar Pustaka

[1] Anonymous. 1989. *Hama dan Penyakit Tanaman Tebu (Saccharum officinarum)*. Dinas Pertanian
 [2] Ernawati, Dina S. and A.K. 2014. Rahayu, *Serangan Penggerek Pucuk Tebu Scirpophaga nivella di Jawa Timur*. (online). (<http://ditjenbun.pertanian.go.id/bbpptpsurabaya/berita-691-serangan-penggerek-pucuk-tebu-scirpophaga-nivella-di-jawa-timur.html>, diakses 14 Oktkber 2015)

- [3] Ernawati, Dina S. and V.A. Yustiani, 2013. *Serangan Penggerek Batang Bergaris (Chilo sacchariphagus) pada Tebu di Wilayah Jawa Timur pada Bulan September 2013.*(online). ([http://ditjenbun.pertanian.go.id/bbpptpsurabaya/tinymcpuk/gambar/file/10.%20Chilo%20s p.%20Sept%20\(Dina-Vidi\).pdf](http://ditjenbun.pertanian.go.id/bbpptpsurabaya/tinymcpuk/gambar/file/10.%20Chilo%20s p.%20Sept%20(Dina-Vidi).pdf), diakses 15 Oktober 2015)
- [4] Meidalima, D., 2014. Parasitoid Hama Penggerek Batang dan Pucuk Tebu di Cinta Manis, Ogan Ilir Sumatera Selatan. *Biosaintifika: Journal of Biology & Biology Education*, 6(1): p. 1-7.
- [5] Boyce, W.E., R.C. DiPrima, and C.W. Haines. 1992. *Elementary differential equations and boundary value problems*. Vol. 9.: Wiley New York.
- [6] Finizio, N. and G. Ladas. 1988. *Persamaan Diferensial Biasa dengan Penerapan Modern*. Jakarta: Erlangga
- [7] Rafikov, M. and E. de Holanda Limeira. 2012. Mathematical modelling of the biological pest control of the sugarcane borer. *International Journal of Computer Mathematics*, 89(3): p. 390-401.
- [8] Nishiwaki, T.A. and M. Rafikov, 2010. *Suboptimal Strategies Of Biological Pest Control Of Sugarcane Borer*. Proceedings of the 9th Brazilian Conference on Dynamics Control and their Applications. June 07-11, 2010. p 243-248.
- [9] Rafikov, M., A.D.S. Lordelo, and E. Rafikova, 2012. Impulsive biological pest control strategies of the sugarcane borer. *Mathematical Problems in Engineering*, 2012.
- [10] Rafikov, M. and J.C. Silveira, 2014. On dynamical behavior of the sugarcane borer–Parasitoid agroecosystem. *Ecological Complexity*, 18: p. 67-73.