

Analisis Model Matematika Pengaruh Feline Immunodeficiency Virus pada Sistem Imun Kucing

Fanesa Larasati¹, Dewi Murni²

^{1,2}Prodi Matematika, Fakultas Matematika Ilmu Pengetahuan dan Alam Universitas Negeri Padang (UNP)

Article Info

Article history:

Received June 03, 2022
Revised December 02, 2022
Accepted March 20, 2023

Keywords:

Mathematical Model
Feline Immunodeficiency Virus
Immune System

Kata Kunci:

Model Matematika
Feline Immunodeficiency Virus
Sistem Imun

ABSTRACT

FIV is a virus that attacks the cat's immunity and causes AIDS-like in cats. FIV utilizes immune cells as receptors for initial attachment, then will form DNA that enters the cell nucleus and interacts with immune cell DNA. The results of this DNA replication form a new virus that will continue to multiply in the cell membrane. The purpose of this research is to form a mathematical model that examines how the dynamics of the FIV virus moves and its effect on the cat's immune system. By analyzing the model, two fixed points are obtained, namely the fixed point T_0 and the fixed point T_1 for FIV disease in immune cells, where at that point the characteristics of the virus can be known. The results of the fixed point stability test using the eigenvalue and Routh Hurwitz criteria that have been carried out show that the number of immune cells slowly decreases due to the level of FIV virus replication in immune cells that are already infected and have immune disorders.

ABSTRAK

FIV merupakan virus yang menyerang kekebalan kucing dan menyebabkan AIDS-like pada kucing. FIV memanfaatkan sel imun sebagai reseptor untuk perlekatan awal, kemudian akan membentuk DNA yang masuk ke dalam inti sel dan berinteraksi dengan DNA sel imun. Hasil dari replikasi DNA ini membentuk virus baru yang akan terus berkembang biak di dalam membran sel. Tujuan penelitian ini adalah membentuk model matematika yang mengkaji bagaimana dinamika gerak dari virus FIV dan pengaruhnya pada sistem imun kucing. Dengan analisis model didapat dua titik tetap yaitu titik tetap T_0 dan titik tetap T_1 penyakit FIV pada sel imun, dimana pada titik tersebut dapat diketahui karakteristik virus. Hasil uji kestabilan titik tetap menggunakan kriteria nilai eigen dan Routh Hurwitz yang sudah dilakukan diketahui bahwa jumlah sel imun secara perlahan mengalami penurunan disebabkan oleh tingkat replikasi virus FIV pada sel imun yang sudah terinfeksi dan mengalami gangguan kekebalan.

This is an open access article under the [CC BY-SA](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/) license.



Penulis pertama/sesuai:

(Fanesa Larasati)

Prodi Matematika, Jurusan Matematika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam,
Universitas Negeri Padang, Jl. Prof. Dr. Hamka, Air Tawar barat, Padang Utara, Padang, 25171 Padang, Sumatera Barat
Email: fanesalarasat@gmail.com

1. PENDAHULUAN

Kucing merupakan salah satu hewan yang populer di kalangan masyarakat. Hewan lucu dan menggemaskan ini menjadi hiburan bagi banyak orang karena bisa diajak bermain, bercanda, bahkan bercerita. Oleh karena itu, kucing termasuk hewan yang dipilih sebagian besar orang sebagai sahabat di

rumah. Memelihara kucing sudah menjadi bagian gaya hidup kosmopolitan yang serba praktis. Namun hal itu tidak diimbangi dengan pengetahuan terkait manajemen dan pola pemeliharaan yang tepat [1].

Pada umumnya jika kucing yang dipelihara sakit akan langsung dibawa ke dokter hewan untuk ditangani. Namun ada jenis penyakit kucing berupa infeksi virus, bakteri, jamur atau parasit lain yang menempel lama pada tubuh kucing tanpa gejala berarti di awal infeksi. Salah satu penyakit tersebut dikenal dengan Feline Immunodeficiency Virus (FIV) merupakan penyakit yang menyerang kucing dan dikenali sebagai virus yang menyebabkan AIDS-like atau hilangnya kekebalan tubuh pada kucing. Virus ini menunjukkan tanda-tanda serupa dengan orang yang memiliki sindrom imunodefisiensi (AIDS) yang disebabkan oleh infeksi *Human Immunodeficiency Virus* (HIV) yang menginfeksi kekebalan tubuh manusia [2].

Virus FIV termasuk keluarga *retrovirus* dalam kelompok yang disebut *lentiviruses*. *Lentivirus* menyebabkan penyakit secara perlahan sehingga kucing yang terinfeksi dapat tetap sehat selama bertahun-tahun [3]. FIV ditularkan melalui luka gigitan, mulut, dubur, dan vagina. Pada kucing yang terinfeksi, FIV menyerang sistem kekebalan, sehingga kucing rentan terhadap infeksi lainnya. Meskipun kucing yang terinfeksi FIV terlihat normal, mereka menderita penurunan imun yang menyebabkan virus, protozoa, bakteri dan jamur tidak berbahaya berpotensi menyebabkan penyakit parah. Meskipun tidak ada obat untuk FIV, kucing dengan FIV umumnya hidup dengan umur rata-rata 10-12 tahun, selama mereka tidak juga terinfeksi virus leukemia kucing.

Imunitas (kekebalan) tubuh adalah daya ketahanan tubuh terhadap segala sesuatu yang asing bagi tubuh [4]. FIV menginfeksi sel-sel sistem kekebalan (sel imun, terutama sel T CD4+ dan sedikit di CD8+, limfosit B dan makrofage). Virus dapat membunuh atau merusak sel yang diinfeksi atau mengganggu fungsi normalnya. Pada akhirnya dapat menyebabkan penurunan fungsi kekebalan kucing secara bertahap. Setelah FIV masuk ke dalam tubuh kucing, dalam beberapa minggu pertama virus bereplikasi dan hanya menyebabkan tanda-tanda penyakit ringan seperti demam dan pembengkakan kelenjar getah bening [3]. Respon imun akan berkembang namun tidak menghilangkan virus, tetapi menekan replikasi virus pada tingkat yang relatif rendah. Setelah beberapa waktu, pada beberapa kucing yang terinfeksi, replikasi virus meningkat lagi, dan biasanya pada fase ini kucing mengembangkan tanda-tanda penyakit.

Mekanisme sistem imun terbagi atas dua kelompok fungsional, yaitu sistem imun non-spesifik dan sistem imun spesifik. Sistem imun non-spesifik berfungsi mendeteksi benda asing dan melindungi tubuh dari kerusakan yang diakibatkannya, namun tidak dapat mengenali benda asing yang masuk ke dalam tubuh. Sistem imun spesifik mempunyai kemampuan untuk mengenal benda yang dianggap asing bagi dirinya. Sistem imun spesifik atau sistem imun adaptif yang dapat menghancurkan *pathogen* yang lolos dari sistem kekebalan non-spesifik [5].

Salah satu cara yang digunakan untuk mengungkap perilaku suatu sistem adalah menggunakan peran model matematika. Pemodelan matematika adalah suatu proses yang menggambarkan atau mewakili masalah dunia nyata ke dalam bentuk matematika dalam upaya untuk menemukan solusi dari suatu masalah [6]. Pemodelan matematika dapat dijadikan salah satu cara yang menjembatani konsep matematika yang abstrak dengan masalah dari dunia nyata. Dalam penggunaan model matematika terutama mengenai penyebaran virus, dicari perilaku penyebaran dan keberadaannya, yaitu dengan mencari titik tetap model dan mencari analisis kestabilannya.

2. METODE

Penelitian ini merupakan penelitian dasar atau teoritis. Penelitian ini dilakukan dengan cara memahami, menelaah, dan mengidentifikasi pengetahuan yang ada di dalam kepustakaan, yakni sumber bacaan, buku-buku referensi, dan hasil penelitian lain. Penelitian dimulai dengan menentukan variabel, parameter, asumsi-asumsi yang bersangkutan dengan permasalahan sehingga dapat dilakukan pembentukan model matematika pengaruh FIV pada sistem imun kucing. Setelah model dibentuk, maka dilakukan analisis terhadap model dengan menentukan titik tetap dan kestabilan dari titik tetap, serta melakukan simulasi menggunakan software Maple 18. Kemudian akan dilakukan interpretasi hasil analisis model matematika.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Model Matematika Pengaruh Feline Immunodeficiency Virus pada Sistem Imun Kucing

Tahapan pertama yang dilakukan dalam membentuk model matematika yaitu menentukan faktor-faktor penting dan sesuai dengan permasalahan. Hal ini mencakup parameter dan variabel yang digunakan, dan hubungan antar keduanya. Variabel yang digunakan dalam membentuk model matematika pengaruh Feline Immunodeficiency Virus pada sistem imun kucing adalah kelompok sel imun yang belum terinfeksi dilambangkan dengan X , kelompok sel imun yang terinfeksi FIV dilambangkan dengan Y , kelompok virus FIV dilambangkan dengan Z . Parameter yang akan digunakan dalam pembentukan model matematika pengaruh Feline Immunodeficiency Virus pada sistem imun kucing ini adalah:

α adalah tingkat pertambahan sel imun di dalam tubuh kucing

μ adalah tingkat kematian alami sel imun

k adalah laju infeksi penularan sel imun yang kontak dengan virus FIV

δ adalah tingkat kematian sel yang terinfeksi virus FIV

c adalah tingkat kematian virus FIV disebabkan oleh sel imun

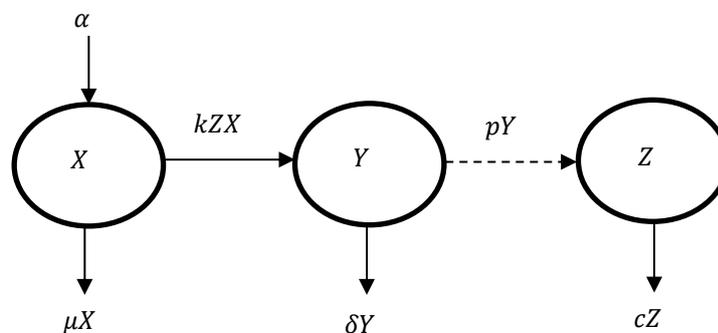
p adalah tingkat perkembangbiakan virus baru yang bereplikasi

Dimana untuk semua perumusan ini diberlakukan syarat $\lambda, \mu, k, \delta, p, c$ adalah non-negatif.

Asumsi-asumsi model matematika pengaruh Feline Immunodeficiency Virus pada sistem imun kucing ini adalah sebagai berikut:

1. Sel imun yang menjadi target belum pernah terinfeksi FIV
2. Setidaknya ada satu virus FIV yang masuk ke dalam tubuh dan menginfeksi sel imun yang teraktivasi
3. Setiap sel di dalam tubuh mengalami tingkat kematian alami

Berdasarkan variabel, parameter, dan asumsi yang ditetapkan, maka digambarkan diagram model matematika pengaruh FIV pada sistem imun sebagai berikut:



Gambar 1. Diagram kompartemen model pengaruh FIV pada sel imun kucing

Berdasarkan Gambar. 1 dapat dibentuk model matematika pengaruh Feline Immunodeficiency Virus pada sistem imun kucing. Model matematika yang dibentuk merupakan sistem persamaan diferensial seperti dibawah ini:

$$\frac{dX}{dt} = \alpha - \mu X - kZX \quad (1)$$

$$\frac{dY}{dt} = kZX - \delta Y \quad (2)$$

$$\frac{dZ}{dt} = pY - cZ \quad (3)$$

3.2. Analisis Model Matematika Pengaruh Feline Immunodeficiency Virus pada Sistem Imun

3.2.1. Titik Tetap T_0

Titik tetap T_0 yaitu suatu keadaan dimana tidak terdapatnya penyakit di dalam sel. Untuk memenuhi titik tetap tersebut, maka tidak ada satupun sel yang terinfeksi dan menularkan penyakit. Secara matematis ditulis $X > 0, Y = 0, Z = 0$. Diperoleh titik tetap T_0 dari model matematika pengaruh Feline Immunodeficiency Virus pada sistem imun sebagai berikut:

$$T_0 = \left(\frac{\alpha}{\mu}, 0, 0 \right) \quad (4)$$

3.2.2. Titik Tetap T_1

Titik tetap T_1 merupakan titik tetap di saat kelas terinfeksi tidak nol. Secara matematisnya $Y > 0$. Diperoleh titik tetap T_1 dari model matematika pengaruh Feline Immunodeficiency Virus pada sistem imun sebagai berikut:

$$T_1 = \left(\frac{c\delta}{kp}, \frac{\alpha kp - \mu c \delta}{pk\delta}, \frac{\alpha kp - \mu c \delta}{kc\delta} \right) \quad (5)$$

3.3 Kestabilan Model Matematika Pengaruh Feline Immunodeficiency Virus pada Sistem Imun

Analisis kestabilan titik tetap dapat diperoleh dengan cara menentukan nilai eigen sebuah matriks Jacobi dari persamaan (1), (2), (3) diperoleh:

$$J = \begin{bmatrix} -\mu - kz & 0 & -kx \\ kz & -\delta & kx \\ 0 & p & -c \end{bmatrix}$$

Titik tetap yang diperoleh yaitu T_0 dan T_1 . Selanjutnya dilakukan analisis kestabilan titik tetap akan pada kedua titik tetap tersebut.

3.3.1. Kestabilan Titik Tetap T_0

Matriks Jacobi dari persamaan (1) di titik tetap bebas penyakit pengaruh FIV pada sistem imun ($T_0 = \frac{\alpha}{\mu}, 0, 0$) sebagai berikut:

$$J(T_0) = \begin{bmatrix} -\mu & 0 & -\frac{k\alpha}{\mu} \\ 0 & -\delta & \frac{k\alpha}{\mu} \\ 0 & p & -c \end{bmatrix}$$

Untuk memperoleh nilai eigen matriks, maka berlaku $\det(\lambda I - J) = 0$

$$|\lambda I - J| = \begin{vmatrix} \lambda + \mu & 0 & \frac{k\alpha}{\mu} \\ 0 & \lambda + \delta & -\frac{k\alpha}{\mu} \\ 0 & -p & \lambda + c \end{vmatrix}$$

Menggunakan ekspansi kofaktor diperoleh nilai determinannya:

$$(\lambda + \mu) \begin{vmatrix} \lambda + \delta & -\frac{k\alpha}{\mu} \\ -p & \lambda + c \end{vmatrix} + 0 \begin{vmatrix} 0 & -\frac{k\alpha}{\mu} \\ 0 & \lambda + c \end{vmatrix} + \frac{k\alpha}{\mu} \begin{vmatrix} 0 & \lambda + \delta \\ 0 & -p \end{vmatrix} = 0$$

$$(\lambda + \mu) \left((\lambda + \delta)(\lambda + c) - \left(-\frac{k\alpha}{\mu} \right) (-p) \right) = 0$$

$$(\lambda + \mu)(\lambda + \delta)(\lambda + c) - (\lambda + \mu) \left(\frac{kp\alpha}{\mu} \right) = 0$$

$$\lambda^3 + \lambda^2(c + \delta + \mu) + \lambda \left(\delta c + \mu c + \mu \delta - \frac{kp\alpha}{\mu} \right) + c\delta\mu - kp\alpha = 0$$

Sehingga diperoleh persamaan karakteristik sebagai berikut:

$$a_0\lambda^3 + a_1\lambda^2 + a_2\lambda + a_3 = 0$$

Untuk menentukan sifat kestabilannya, digunakan metode Routh Hurwitz dengan syarat kestabilan berikut:

$$a_1 > 0, a_3 > 0, a_1a_2 > a_3$$

Berdasarkan syarat kestabilan di atas, maka untuk persamaan karakteristik $a_0\lambda^3 + a_1\lambda^2 + a_2\lambda + a_3 = 0$ diperoleh:

$$1) a_1 = c + \mu + \delta$$

Karena semua parameter bernilai positif, maka $a_1 > 0$

$$2) a_3 = c\delta\mu - kp\alpha$$

Untuk membuktikan $a_3 > 0$, disubstitusikan nilai parameter agar memenuhi $c\mu\delta > kp\alpha$. Karena didapat hasil $c\mu\delta < kp\alpha$, maka $a_3 < 0$

$$3) a_1a_2 > a_3$$

Karena $a_1 > 0$ dan dilihat melalui substitusi parameter $a_2 < 0$, perkalian a_1a_2 menghasilkan nilai yang lebih kecil dari a_3 . Sehingga $a_1a_2 < a_3$

Berdasarkan hasil yang diperoleh, tidak semua memenuhi syarat kestabilan kriteria Routh Hurwitz. Dapat disimpulkan bahwa titik tetap T_0 bersifat tidak stabil.

3.3.2. Kestabilan Titik Tetap T_1

Dimisalkan:

$$M = \frac{c\delta}{kp}$$

$$N = \frac{\alpha kp - \mu c\delta}{kc\delta}$$

Maka matriks Jacobi dari titik tetap T_1 adalah:

$$J(T_1) = \begin{bmatrix} -\mu - kN & 0 & -kM \\ kN & -\delta & kM \\ 0 & p & -c \end{bmatrix}$$

Untuk memperoleh nilai eigen matriks, maka berlaku $\det(\lambda I - J) = 0$

$$|\lambda I - J| = 0 \Leftrightarrow \begin{vmatrix} \lambda + \mu + kN & 0 & kM \\ -kN & \lambda + \delta & -kM \\ 0 & -p & \lambda + c \end{vmatrix} = 0$$

Menggunakan ekspansi kofaktor diperoleh nilai determinannya:

$$(\lambda + \mu + kN) \begin{vmatrix} \lambda + \delta & -kM \\ -p & \lambda + c \end{vmatrix} + 0 \begin{vmatrix} -kN & -kM \\ 0 & \lambda + c \end{vmatrix} + kM \begin{vmatrix} -kN & \lambda + \delta \\ 0 & -p \end{vmatrix} = 0$$

$$(\lambda + \mu + kN)((\lambda + \delta)(\lambda + c) - kpM) + kM(kpN) = 0$$

$$(\lambda + \mu + kN)((\lambda^2 + \lambda c + \lambda \delta + \delta c) - kpM) + k^2pMN = 0$$

$$\lambda^3 + \lambda^2c + \lambda^2\delta + \lambda c\delta + \lambda\mu\delta + c\mu\delta - \mu kpM - \lambda kpM + \lambda^2\mu + \lambda\mu c + \lambda^2kN + \lambda ckN + \lambda k\delta N + ckN\delta - k^2pMN + k^2pMN = 0$$

$$\lambda^3 + \lambda^2(\mu + kN + c + \delta) + \lambda(\mu c + ckN + \mu\delta + kN\delta + \delta c - kpM) + \delta\mu c + kN\delta c - \mu kpM = 0$$

Sehingga diperoleh persamaan sesuai dengan persamaan karakteristik sebagai berikut:

$$a_0\lambda^3 + a_1\lambda^2 + a_2\lambda + a_3 = 0$$

Untuk menentukan sifat kestabilannya, digunakan metode Routh Hurwitz dengan syarat kestabilan berikut:

$$a_1 > 0, a_3 > 0, a_1a_2 > a_3$$

Berdasarkan syarat kestabilan di atas, maka untuk persamaan karakteristik $a_0\lambda^3 + a_1\lambda^2 + a_2\lambda + a_3 = 0$ diperoleh:

$$1) a_1 = \mu + kN + c + \delta$$

Karena semua parameter bernilai positif, maka $a_1 > 0$

$$2) \quad a_3 = \delta\mu c + kN\delta c - \mu kpM$$

Untuk membuktikan $a_3 > 0$, disubstitusikan nilai parameter agar memenuhi $\lambda kp > \mu\delta c$.
Didapatkan $a_3 > 0$

$$3) \quad a_1 a_2 > a_3$$

Karena $a_1 > 0, a_2 > 0$, dapat dilihat perkalian $a_1 a_2$ menghasilkan nilai yang lebih besar dari a_3 .
Sehingga $a_1 a_2 > a_3$

Berdasarkan hasil yang diperoleh, semua memenuhi syarat kestabilan kriteria Routh Hurwitz dimana ketika koefisien bernilai positif maka nilai eigen dari persamaan karakteristik bernilai negatif. Dapat disimpulkan bahwa titik tetap T_1 bersifat stabil.

3.4. Simulasi Model Matematika Pengaruh Feline Immunodeficiency Virus pada Sistem Imun

Dilakukan solusi numerik pada model matematika pengaruh Feline Immunodeficiency Virus pada sistem imun kucing untuk memberikan gambar yang lebih jelas. Simulasi ini akan dilakukan dengan menggunakan Software Maple 18 dan dengan memberikan nilai pada masing-masing parameter.

3.4.1. Simulasi Model Matematika Titik Tetap T_0 dengan Pengaruh Feline Immunodeficiency Virus pada Sistem Imun

Akan disimulasikan keadaan yang menunjukkan tidak ada infeksi yang terjadi pada sel imun kucing dengan parameter yang digunakan adalah sebagai berikut:

Tabel 1. Nilai parameter untuk titik tetap T_0 pengaruh FIV pada sel imun kucing

Parameter	Nilai
α	100.000
μ	0,1
k	0,0000002
δ	0,5
p	100
c	5

Dari nilai parameter di atas, didapatkan titik bebas penyakit FIV yaitu $T_0 = (1.000.000, 0, 0)$. Dalam simulasi titik tetap bebas penyakit digunakan empat nilai awal sebagai berikut:

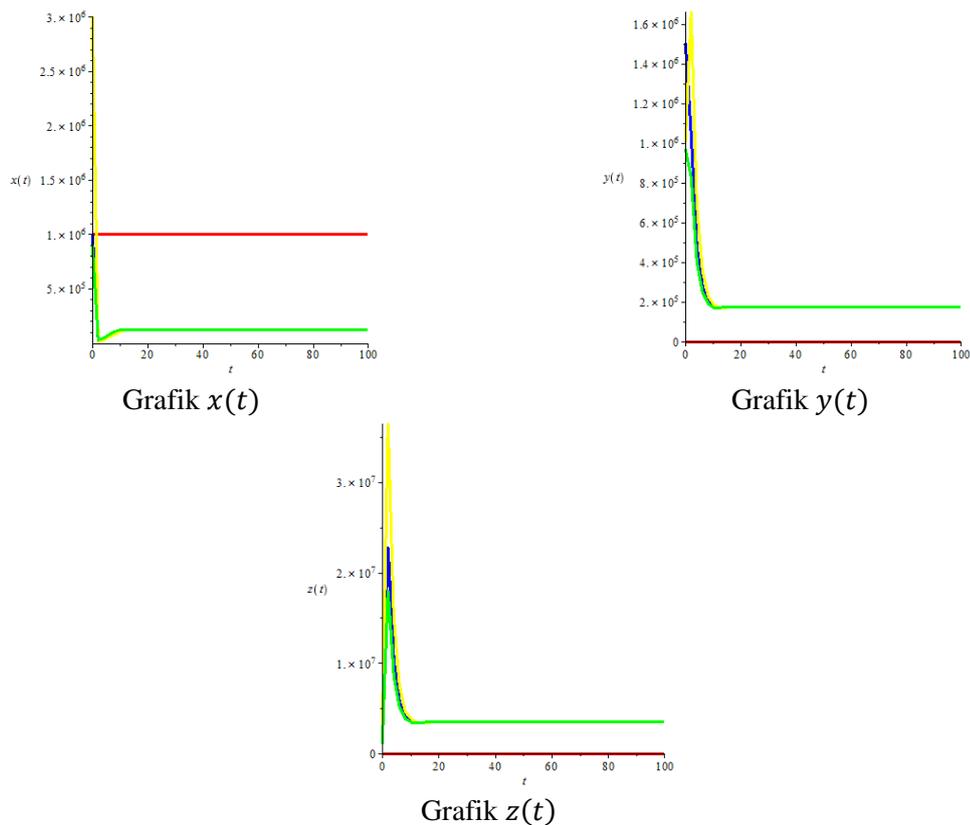
$$x(0) = 1.000.000, y(0) = 0, z(0) = 0$$

$$x(0) = 1.000.000, y(0) = 1.500.000, z(0) = 2.000.000$$

$$x(0) = 3.000.000, y(0) = 1.000.000, z(0) = 2.000.000$$

$$x(0) = 900.000, y(0) = 970.000, z(0) = 1.000.000$$

Berdasarkan nilai parameter dan nilai awal di atas diperoleh grafik dari masing-masing kelompok terhadap waktu t adalah sebagai berikut:



Gambar 2. Trayektori di sekitar titik tetap T_0 dari pengaruh penyakit FIV pada sistem imun kucing

Berdasarkan gambar 2, dapat dilihat bahwa kurva merah yang mewakili titik tetap T_0 FIV pada sel imun kucing, sedangkan kurva biru, kuning, dan hijau terhadap kurva merah yang akan menentukan stabil atau tidaknya titik tetap T_0 FIV pada masing-masing grafik.

Dapat dilihat bahwa titik tetap $T_0 = (\frac{\alpha}{\mu}, 0, 0)$ merupakan titik tetap yang tidak stabil karena trayektori (kurva biru, kuning, dan hijau) dari grafik yang mewakili bergerak namun tidak berhasil mendekati titik tetap T_0 yang ditunjukkan oleh kurva merah. Titik tetap $T_0 = (\frac{\alpha}{\mu}, 0, 0)$ yang tidak stabil dapat diartikan bahwa jumlah sel imun rentan terinfeksi tidak akan berubah atau dengan kata lain penyebaran virus HIV seiring bertambahnya waktu akan mengalami peningkatan secara signifikan.

3.4.1. Simulasi Model Matematika Titik Tetap T_1 dengan Pengaruh Feline Immunodeficiency Virus pada Sistem Imun

Akan disimulasikan keadaan yang menunjukkan tidak ada infeksi yang terjadi pada sel imun kucing dengan parameter yang digunakan adalah sebagai berikut:

Tabel 2. Nilai parameter untuk titik tetap T_1 pengaruh FIV pada sel imun kucing

Parameter	Nilai
α	100.000
μ	0,1
k	0,0000002
δ	0,5
p	100
c	5



Ketika virus FIV sudah menginfeksi sel imun kucing tidak ada pengobatan yang dapat menghilangkan virus secara keseluruhan, sehingga metode yang digunakan saat ini hanyalah meminimalisir jumlah virus di dalam sel dengan bantuan pengobatan. Hal ini dilakukan untuk menekan FIV untuk memproduksi virus baru dengan mencegah dan menghindari penyebab virus FIV dapat berkembang-biak.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil dan pembahasan yang telah dilakukan dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Model matematika pengaruh Feline Immunodeficiency Virus pada sistem imun kucing sebagai berikut:

$$\begin{aligned}\frac{dX}{dt} &= \alpha - \mu X - kZX \\ \frac{dY}{dt} &= kZX - \delta Y \\ \frac{dZ}{dt} &= pY - cZ\end{aligned}$$

Dengan keterangan:

X : Kelompok sel imun yang belum terinfeksi

Y : Kelompok sel imun yang terinfeksi FIV

Z : Kelompok virus FIV dilambangkan

α : tingkat pertumbuhan sel imun di dalam tubuh kucing

μ : tingkat kematian alami sel imun

k : laju infeksi penularan sel imun yang kontak dengan virus FIV

δ : tingkat kematian sel yang terinfeksi virus FIV

c : tingkat kematian virus FIV disebabkan oleh sel imun

p : tingkat perkembangbiakan virus baru yang bereplikasi

2. Berdasarkan hasil analisis didapatkan titik tetap pengaruh Feline Immunodeficiency Virus pada sel imun kucing adalah sebagai berikut:
 - a. Titik tetap $T_0 = (\frac{\alpha}{\mu}, 0, 0)$ dengan kestabilan bersifat tidak stabil
 - b. Titik tetap $T_1 = \left\{ \frac{c\delta}{kp}, \frac{\alpha kp - \mu c\delta}{pk\delta}, \frac{\alpha kp - \mu c\delta}{kc\delta} \right\}$ dengan kestabilan bersifat stabil
3. Interpretasi dari model matematika pengaruh Feline Immunodeficiency Virus pada sistem imun kucing
 Dari analisis kestabilan titik tetap T_0 dan titik tetap T_1 yang sudah dilakukan diketahui bahwa jumlah sel imun secara perlahan mengalami penurunan disebabkan oleh tingkat replikasi virus yang FIV pada sel imun yang sudah terinfeksi dan mengalami gangguan kekebalan. Hal itu terjadi ketika sel imun yang kontak dengan virus menjadi teraktivasi, sehingga jika infeksi virus terus-menerus dilakukan maka sel imun berubah menjadi sel yang terinfeksi FIV dan menjadi wadah untuk virus berkembang biak.

REFERENSI

- [1] C. Efendi and S. B. N, Complete Guide Book For Your Cat, Jakarta: Penebar Swadaya Group, 2014.
- [2] "Cornell Feline Health Center," 2021. [Online]. Available: vet.cornell.edu. [Accessed 19 11 2021].
- [3] N. C. Pedersen, E. W. Ho, M. L. Brown and J. K. Yamamoto, "Isolation of a T-Lymphotropic Virus From Domestic Cats With an Immunodeficiency-like Syndrome," 1987.
- [4] S. Nurhasanah, "Model Sederhana Dinamika Virus dan Imun Sistem Terhadap Infeksi Virus HIV," 2012.
- [5] A. S. Wahab and M. Julia, "Sistem Imun, Imunisasi, & Penyakit Imun," Jakarta, Widya Medika, 2002.
- [6] K. C. Ang, Teaching Mathematical Modeling in Singapore School. In The Mathematics Educator, Singapore: World Scientific, 2001.