

Model *Host-Vector* Penyebaran Virus Zika

Nadia Wulandari^{#1}, Muhammad Subhan^{*2}

[#]*Jurusan Matematika, Universitas Negeri Padang*

JL. Prof.Hamka, Padang, Sumatera Barat, Indonesia 25131

¹nadianw798@gmail.com

²13subhan@fmipa.unp.ac.id

Abstract— Zika is a disease caused by the bite of an infected *Aedes* mosquitoes, especially the *Aedes aegypti* mosquitoes. Besides being transmitted by mosquito bites, zika can also be transmitted by human sexual contact. The purpose is to determine the spread of zika virus through two populations and determine the parameters that affect the distribution that are sensitive or affect the dynamic system. This research is a basic research, using descriptive methods. This method is done by analyzing theories related to the problem. Based on the results of the sensitivity analysis, it was found that the parameter affecting the basic reproductive value was the rate of mosquito bites and lifespan of vector. If the mosquito bite rate and the lifespan of the mosquito increase, then the basic reproductive value will also increase so that the zika virus will become epidemic.

Keywords— Host-Vector Model, Zika, Sexual Transmission, Vector Transmission.

Abstrak— Zika merupakan penyakit yang disebabkan oleh gigitan dari nyamuk *Aedes* yang terinfeksi, yaitu *Aedes aegypti*. Virus zika selain ditularkan melalui gigitan nyamuk, tetapi juga dapat ditularkan melalui hubungan seksual manusia yang terinfeksi dengan manusia rentan. Tujuan pemodelan ini adalah untuk mengetahui penyebaran virus zika melalui dua populasi dan menentukan parameter yang paling berpengaruh terhadap sistem dinamik dengan melakukan analisis sensitivitas. Penelitian yang dilakukan adalah penelitian dasar dengan memanfaatkan metode deskriptif. Metode ini dilakukan dengan cara menganalisa teori-teori yang berkaitan dengan permasalahan. Berdasarkan hasil analisis sensitivitas, diperoleh parameter yang mempengaruhi nilai reproduksi dasar adalah tingkat gigitan nyamuk dan masa hidup dari nyamuk. Apabila tingkat gigitan nyamuk dan masa hidup nyamuk meningkat, maka nilai reproduksi dasar juga meningkat sehingga virus zika akan mewabah.

Kata kunci— Model *Host-Vector*, Zika, Penularan Seksual, Penularan Vektor.

PENDAHULUAN

Zika merupakan penyakit yang penularannya disebabkan oleh virus zika. Virus zika berasal dari keluarga *Flaviviridae* dari genus *Flavivirus*. Pada tahun 1950, virus zika menyerang manusia dan terjadinya infeksi yang lebih banyak lagi pada tahun 1986 di Nigeria. Virus zika akan menimbulkan penyakit ringan yang biasa disebut dengan demam zika atau penyakit zika [1].

Zika adalah penyakit yang ditularkan oleh vektor melalui gigitan nyamuk yang terinfeksi, terutama nyamuk *Aedes aegypti* [2]. Jenis nyamuk ini adalah jenis nyamuk penyebar virus *dangue*, chikungunya, dan demam kuning. Penularan virus zika terjadi saat vektor yang terinfeksi virus zika akibat menghisap darah *host* yang mengandung virus, kemudian mentransferkan virus ke *host* lain [3].

Manusia yang terjangkit virus zika akan merasakan gejala seperti demam, ruam, lemah, sakit kepala, dan konjungtiva. Gejala akan muncul setelah 3 sampai 12 hari dari masa inkubasi. Gejala akan berlangsung selama 4 sampai 7 hari [4]. Namun manusia yang terinfeksi virus

zika tidak selalu menunjukkan gejala. Diperkirakan bahwa 80% manusia yang terinfeksi virus zika tidak mengalami gejala [5].

Pada awalnya banyak model dari epidemi zika yang berasumsi bahwa transmisi seksual zika pada manusia dapat diabaikan. Tetapi penelitian oleh [6] menyimpulkan bahwa penularan secara seksual pada manusia dapat memainkan peran penting dalam keberadaan wabah zika. Oleh karena itu, penting untuk mengukur peranan seksual manusia terhadap penyebaran virus zika dengan menggunakan model matematika. Sehingga, tujuan pemodelan ini adalah untuk mengetahui penyebaran virus zika melalui dua populasi terinfeksi yaitu manusia dan nyamuk.

Dalam memodelkan suatu permasalahan, kita sering tertarik untuk memprediksi nilai suatu variabel pada suatu waktu dimasa depan. Model matematika dapat membantu dalam merencanakan masa depan dan memahami suatu perilaku dengan lebih baik. Model matematika sebagai konstruksi matematika dirancang untuk mempelajari sistem dunia nyata atau suatu perilaku yang menarik.

Model ini memungkinkan untuk mencapai kesimpulan matematis tentang suatu perilaku dan kesimpulannya dapat ditafsirkan untuk membantu dalam pembuatan keputusan dimasa akan datang [7].

Penelitian sebelumnya dilakukan oleh [8] yang menyajikan dua model penyebaran penyakit zika dengan dua populasi terinfeksi yaitu populasi dengan gejala dan tanpa gejala. Namun pada model ini hanya melibatkan penularan melalui vektor ke manusia dan manusia ke manusia tanpa adanya dinamika penyebaran dari manusia yang terinfeksi ke manusia yang rentan serta manusia terinfeksi ke nyamuk yang rentan.

Berdasarkan penelitian yang sudah dilakukan, pada penelitian kali ini mencakup model penularan dari vektor ke manusia, manusia ke vektor dan kontak seksual manusia ke manusia.

METODE

Penelitian yang dilakukan merupakan penelitian dasar. Metode deskriptif digunakan pada penelitian ini dengan berpedoman pada teori-teori yang relevan. Studi kepustakaan dilakukan dengan cara mempelajari dan mengkaji buku dan sumber lainnya yang berhubungan dengan masalah penyakit zika. Selanjutnya ditelaah faktor-faktor yang dapat membantu dalam membuat asumsi, parameter dan variabel yang digunakan dalam membentuk model *host-vector* penyebaran virus zika. Berdasarkan asumsi, parameter dan variabel dibentuk model matematika. Kemudian model dianalisis dan hasil dari analisis yang diperoleh diinterpretasikan sehingga didapatkan kesimpulan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Model Host-Vector Penyebaran Virus Zika

Berdasarkan tahap-tahap dalam membangun model matematika, yang pertama dilakukan adalah mengidentifikasi masalah yang diperoleh dari berbagai pertanyaan yang berhubungan dengan masalah zika. Kemudian menentukan faktor yang sesuai dengan permasalahan dengan meliputi identifikasi variabel, parameter serta membentuk hubungan antara variabel dan parameter. Model matematika yang digunakan adalah model kompartemen SEIR (*susceptible, exposed, infectious, recovered*) untuk populasi manusia dengan dua kelas infeksi yaitu simptomatik dan asimtomatik. Sedangkan untuk populasi nyamuk digunakan model SEI (*susceptible, exposed, infectious*). Model SEIR (*susceptible, exposed, infectious, recovered*) yang dikembangkan dengan membagi populasi manusia kedalam lima kompartemen yaitu *susceptible host* (S_H) individu rentan terhadap penyakit, *exposed host* (E_H) individu tertular penyakit tetapi belum dapat menularkan penyakit, *infectious host* (I_H) individu yang terjangkit dan dapat menularkan penyakit, pada kompartemen *infectious* dibagi menjadi dua subpopulasi yaitu infeksi simptomatik (I_{HS}) dan asimtomatik (I_{HA}), *recovered host* (R_H) individu yang sembuh dari penyakit. Model SEI (*susceptible, exposed, infectious*) dikembangkan dengan

membagi populasi vektor kedalam 3 kompartemen yaitu *susceptible vector* (S_V), *exposed vector* (E_V) dan *infectious vektor* (I_V).

Parameter yang digunakan adalah

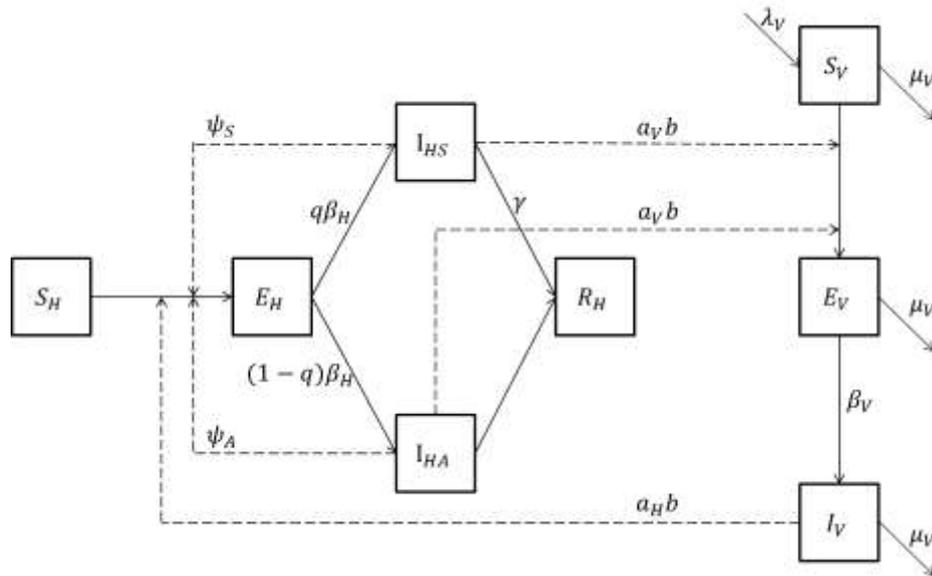
TABEL 1
PARAMETER

Simbol	Uraian	Satuan
a_H	Probability penularan dari nyamuk yang terinfeksi virus zika ke manusia	Tanpa satuan
B	Tingkat gigitan nyamuk	$\frac{1}{\text{Hari}}$
ψ_S	Tingkat penularan secara seksual pada manusia yang mengalami gejala	$\frac{1}{\text{Hari}}$
ψ_A	Tingkat penularan secara seksual pada manusia yang tidak mengalami gejala	$\frac{1}{\text{Hari}}$
a_V	Probability penularan virus zika dari manusia terinfeksi ke nyamuk rentan	Tanpa satuan
q	Proporsi manusia terinfeksi yang mengalami gejala	Tanpa satuan
β_H^{-1}	Periode laten virus zika pada manusia	Hari
β_V^{-1}	Periode laten virus zika pada nyamuk	Hari
γ^{-1}	Periode manusia terinfeksi	Hari
μ_V^{-1}	Masa hidup nyamuk	Hari

Asumsi-asumsi yang digunakan dalam model *host-vector* penyebaran virus zika adalah sebagai berikut

- 1) Manusia yang terinfeksi virus zika baik yang bergejala maupun tidak bergejala sama-sama dapat menularkan penyakit, tetapi kebiasaan seksual mereka cenderung berbeda
- 2) Individu kelas *susceptible host* adalah individu yang aktif secara seksual yaitu dengan usia ≥ 15 tahun
- 3) Individu yang terinfeksi (bergejala dan tak bergejala) pulih pada tingkat yang sama
- 4) Manusia yang telah sembuh dari penyakit zika tidak akan terinfeksi lagi
- 5) Tingkat kematian akibat virus zika diabaikan
- 6) Populasi manusia berdasarkan jenis kelamin dan usia diabaikan
- 7) Transmisi vertikal pada nyamuk diabaikan
- 8) Penyembuhan nyamuk terinfeksi virus zika diabaikan karena hidup nyamuk *Aedes aegypti* terbilang singkat
- 9) Tingkat kelahiran dan kematian manusia diabaikan
- 10) Total populasi manusia dan nyamuk konstan.

Berdasarkan asumsi yang diberikan, maka dapat disusun diagram penyebaran penyakit zika seperti pada Gambar 1. Diagram model *host-vector* penyebaran virus zika dapat dibentuk dalam model matematika.



Gambar. 1 Diagram model *host-vector* penyebaran virus zika

Model matematika akan dibentuk kedalam persamaan diferensial

$$\frac{dS_H}{dt} = -a_H b I_V \frac{S_H}{N_H} - \psi_A I_{HA} \frac{S_H}{N_H} - \psi_S I_{HS} \frac{S_H}{N_H} \quad (1)$$

$$\frac{dE_H}{dt} = a_H b I_V \frac{S_H}{N_H} + \psi_A I_{HA} \frac{S_H}{N_H} + \psi_S I_{HS} \frac{S_H}{N_H} - \beta_H E_H \quad (2)$$

$$\frac{dI_{HS}}{dt} = q\beta_H E_H - \gamma I_{HS} \quad (3)$$

$$\frac{dI_{HA}}{dt} = (1-q)\beta_H E_H - \gamma I_{HA} \quad (4)$$

$$\frac{dR_H}{dt} = \gamma(I_{HS} + I_{HA}) \quad (5)$$

$$\frac{dS_V}{dt} = \mu_V N_V - a_v b (I_{HS} + I_{HA}) \frac{S_V}{N_V} - \mu_V S_V \quad (6)$$

$$\frac{dE_V}{dt} = a_v b (I_{HS} + I_{HA}) \frac{S_V}{N_V} - \beta_V E_V - \mu_V E_V \quad (7)$$

$$\frac{dI_V}{dt} = \beta_V E_V - \mu_V I_V \quad (8)$$

B. Analisis Model Host-Vector Penyebaran Virus Zika

Dalam analisis model *host-vector* penyebaran virus zika akan dicari titik tetap bebas penyakit zika, *basic reproduction number*, analisis sensitivitas lokal R_0 pada parameter yang berbeda dan simulasi dari model *host-vector* penyebaran virus zika.

1) Titik tetap bebas penyakit zika

Titik tetap bebas penyakit dari penyebaran virus zika yaitu suatu keadaan dimana tidak ada penyebaran penyakit dalam suatu populasi. Apabila tidak ada individu yang terinfeksi virus zika, maka $E_H = 0, I_{HS} = 0, I_{HA} = 0, R_H = 0$. Sehingga diperoleh $S_H = N_H$. Sedangkan untuk populasi nyamuk, $E_V = 0, I_V = 0$, sehingga titik tetap bebas penyakit zika adalah

$$e_0 = (N_H, 0, 0, 0, 0, 1, 0, 0) \quad (9)$$

2) Basic Reproduction Number R_0

Pemodelan matematika dapat memainkan peranan penting dalam membantu menghitung kemungkinan strategi pengendalian penyakit dengan berfokus pada aspek penting dalam suatu penyakit, menentukan ambang batas jumlah untuk kelangsungan hidup penyakit, dan mengevaluasi efek dari strategi pengendalian tertentu. Kuantitas ambang batas yang sangat penting adalah

nomor reproduksi dasar, kadang-kadang disebut nomor reproduksi dasar atau rasio reproduksi dasar yang biasanya dilambangkan dengan R_0 . R_0 merupakan jumlah rata-rata dari banyaknya kasus sekunder yang dihasilkan dari satu individu yang terinfeksi diperkenalkan menjadi populasi individu yang rentan, dimana individu yang terinfeksi telah memperoleh penyakit, dan individu yang rentan sehat namun dapat terserang penyakit.

Pada sistem ini memiliki lima kelas terinfeksi yaitu $E_H, I_{HS}, I_{HA}, E_V, I_V$ dan tiga kelas yang tidak terinfeksi yaitu S_H, R_H, S_V . Pada kondisi titik keseimbangan bebas penyakit (*Disease-Free Equilibrium Point*) pada populasi manusia $E_H = I_{HS} = I_{HA} = 0$ dan pada populasi nyamuk $E_V = I_V = 0$, maka $S_H = N_H$ dan $S_V = N_V$. Kemudian untuk lebih sederhana ($E_H, I_{HS}, I_{HA}, E_V, I_V$) diperoleh subsistem infeksi linier dari persamaan (1) – (8) menjadi

$$\frac{dE_H}{dt} = a_H b I_V + \psi_S I_{HS} + \psi_A I_{HA} - \beta_H E_H \quad (10)$$

$$\frac{dI_{HS}}{dt} = q\beta_H E_H - \gamma I_{HS} \quad (11)$$

$$\frac{dI_{HA}}{dt} = (1-q)\beta_H E_H - \gamma I_{HA} \quad (12)$$

$$\frac{dE_V}{dt} = a_v b (I_{HS} + I_{HA}) - \beta_V E_V - \mu_V E_V \quad (13)$$

$$\frac{dI_V}{dt} = \beta_V E_V - \mu_V I_V \quad (14)$$

misalkan $(x_1, x_2, x_3, x_4, x_5) = (E_H, I_{HS}, I_{HA}, E_V, I_V)$ dan ditulis matriks *Jacobian* dari subsistem infeksi sehingga diperoleh T dan Σ , dimana T adalah matriks transmisi dan Σ adalah matriks transisi.

Dari persamaan (10) – (14) diperoleh matriks *Jacobian* sebagai berikut

$$jacob = \begin{bmatrix} -\beta_H & \psi_S & \psi_A & 0 & a_h b \\ q\beta_H & -\gamma & 0 & 0 & 0 \\ (1-q)\beta_H & 0 & -\gamma & 0 & 0 \\ 0 & a_v b & a_v b & -(\beta_V + \mu_V) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \beta_V & -\mu_V \end{bmatrix} \quad (15)$$

Dimana

$$T = \begin{bmatrix} 0 & \psi_A & \psi_S & 0 & a_H b \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & a_V b & a_V b & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (16)$$

$$\Sigma = \begin{bmatrix} -\beta_H & 0 & 0 & 0 & 0 \\ q\beta_H & -\gamma & 0 & 0 & 0 \\ (1-q)\beta_H & 0 & -\gamma & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -(\beta_V + \mu_V) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \beta_V & -\mu_V \end{bmatrix} \quad (17)$$

NGM dengan domain besar, $K_L = -T\Sigma^{-1}$ adalah

$$K_L = \begin{bmatrix} \frac{\psi_A(1-q) + \psi_S q}{\gamma} & \frac{\psi_S}{\gamma} & \frac{\psi_A}{\gamma} & \frac{a_H b \beta_V}{(\beta_V + \mu_V)\mu_V} & \frac{a_H b}{\mu_V} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \frac{a_V b}{\gamma} & \frac{a_V b}{\gamma} & \frac{a_V b}{\gamma} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (18)$$

Pada matriks T terdapat entri 0 pada barisnya sehingga dibuat matriks E yang mempunyai jumlah baris matriks yang sama dengan T dan kolom matriks E berkorespondensi dengan baris matriks dari matriks T yang tidak nol. Sehingga diperoleh matriks E

$$E = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 1 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (19)$$

Kemudian *Next Generation Matrix*, $K = -ET\Sigma^{-1}E$

$$K = \begin{bmatrix} \frac{\psi_S q + \psi_A(1-q)}{\gamma} & \frac{a_H b \beta_V}{(\beta_V + \mu_V)\mu_V} \\ \frac{a_V b}{\gamma} & 0 \end{bmatrix} \quad (20)$$

Dengan demikian nomor reproduksi sistem diberikan oleh

$$R_0 = \frac{\psi_S q + \psi_A(1-q)}{2\gamma} + \frac{1}{2} \sqrt{\left(\frac{\psi_S q + \psi_A(1-q)}{\gamma}\right)^2 + \frac{4a_V b^2 a_H \beta_V}{\gamma \mu_V (\beta_V + \mu_V)}} \quad (21)$$

1) Analisis Sensitivitas

Analisis sensitivitas lokal menunjukkan bagaimana angka reproduksi dasar akan berubah menanggapi perubahan parameter dalam model. Tanda indeks menunjukkan arah tanggapan. Artinya, jika indeks sensitivitas untuk parameter yang diberikan bernilai positif, maka peningkatan parameter akan meningkatkan nilai R_0 [8]. Indeks sensitivitas yang dinormalisasikan dari suatu variabel R_0 ke suatu parameter merupakan suatu rasio perubahan relatif yang terdapat di dalam variabel terhadap perubahan relatif pada suatu parameter [9]. Indeks sensitivitas dinormalisasikan dari R_0 , yang bergantung pada parameter p , didefinisikan sebagai

$$\gamma_p^{R_0} = \frac{\partial R_0}{\partial p} \times \frac{p}{R_0} \quad (22)$$

Indeks sensitivitas yang dinormalisasikan dari R_0 dirangkum pada tabel dibawah ini

TABEL II
PERHITUNGAN ANALISIS SENSITIVITAS R_0

Parameter	Indeks Sensitivitas
b	0,854
a_H	0,427
a_V	0,427
ψ_S	0,014
ψ_A	0,131
q	-0,014
β_V	0,147
μ_V	0,605
γ	0,572

Tabel II menunjukkan bahwa parameter yang berpengaruh terhadap R_0 adalah tingkat gigitan nyamuk (b) dengan nilai yang terbesar yaitu 0,854. Tanda positif menunjukkan apabila nilai parameter mengalami kenaikan maka nilai R_0 juga mengalami kenaikan. Namun sebaliknya, apabila nilai parameter mengalami penurunan maka R_0 juga akan mengalami penurunan. Tanda negatif menunjukkan bahwa apabila nilai parameter mengalami penurunan maka R_0 akan mengalami kenaikan, begitupun sebaliknya. Hal ini berarti, apabila tingkat gigitan nyamuk mengalami kenaikan maka R_0 juga akan mengalami kenaikan. Begitupun sebaliknya, apabila tingkat gigitan nyamuk mengalami penurunan maka R_0 juga mengalami penurunan.

Nilai indeks sensitivitas pada parameter q atau proporsi manusia terinfeksi yang mengalami gejala bernilai -0,014, yang berarti bahwa jika parameter q mengalami kenaikan, maka akan mengakibatkan R_0 berkurang sebesar 0,014. Sedangkan jika parameter q berkurang satu satuan, maka R_0 akan bertambah sebesar 0,014 satuan.

Parameter sensitif selanjutnya adalah masa hidup nyamuk μ_V , meningkatnya nilai μ_V atau lamanya hidup nyamuk maka akan meningkatkan waktu untuk nyamuk menularkan virus zika dan membuat R_0 juga meningkat. Sehingga dapat disimpulkan bahwa ketika tingkat gigitan nyamuk dan masa hidup nyamuk meningkat, maka virus zika akan mewabah dengan nilai R_0 yang juga meningkat.

3) Simulasi Model Host-Vector Penyebaran Virus Zika

Untuk memberikan gambaran lebih jelas mengenai model *host-vector* penyebaran virus zika, maka dapat dilakukan dengan simulasi numerik. Simulasi dibantu dengan menggunakan Maple 17.

a. Simulasi Model Host-Vector dengan titik bebas

Disimulasikan model *host-vector* dengan keadaan tidak ada individu yang terinfeksi virus zika. Parameter yang akan digunakan terlihat pada Tabel III. Nilai parameter ini akan digunakan untuk menghitung nilai R_0 . Akan diperoleh nilai R_0 dengan menggunakan nilai parameter, sehingga diperoleh

$$R_0 = 0,8042945298$$

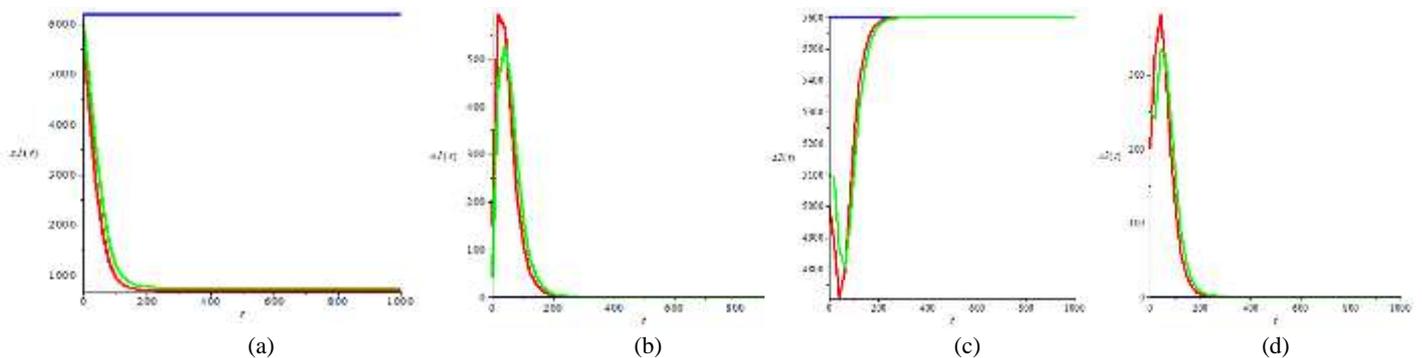
TABEL III
PARAMETER UNTUK $R_0 < 1$

Parameter	Nilai
a_H	0,42
b	0,50
ψ_S	0,05
ψ_A	0,09
a_V	0,48
q	0,18
β_H	0,20
β_V	0,10
γ	0,22
μ_V^{-1}	14

Diperoleh $R_0 < 1$, kemudian pada simulasi numerik akan digunakan nilai awal untuk model *host-vector* penyebaran virus zika

$$S_H(0) = 6200, E_H(0) = 0, I_{HS}(0) = 0, I_{HA}(0) = 0, R_H(0) = 0, S_V(0) = 5600, E_V(0) = 0, I_V(0) = 0, S_H(0) = 5800, E_H(0) = 150, I_{HS}(0) = 70, I_{HA}(0) = 80, R_H(0) = 100, S_V(0) = 5000, E_V(0) = 200, I_V(0) = 400, S_H(0) = 6000, E_H(0) = 40, I_{HS}(0) = 20, I_{HA}(0) = 50, R_H(0) = 90, S_V(0) = 5100, E_V(0) = 250, I_V(0) = 250.$$

Berdasarkan nilai parameter dan nilai awal diatas diperoleh grafik dari masing-masing kelompok terhadap waktu t adalah



Gambar . 2 Trayektori terhadap disekitar titik tetap bebas penyakit zika (a) Grafik $S_H(t)$ (b) Grafik $E_H(t)$ (c) Grafik $S_V(t)$ (d) Grafik $E_V(t)$

Berdasarkan Gambar 2, kurva biru mewakili titik tetap bebas penyakit zika, sedangkan kurva merah dan hijau terhadap kurva biru. Dapat dilihat bahwa titik tetap $e_0 = (N_H, 0,0,0,1,0,0)$ merupakan titik yang stabil asimtotik karena trayektori kurva merah dan hijau dari masing-masing grafik yang bergerak mendekati titik tetap. Sehingga dapat disimpulkan bahwa dalam waktu tertentu penyebaran virus zika akan menghilang.

b. Simulasi Model Host-Vector dengan $R_0 > 1$

Akan disimulasikan model *host-vector* penyebaran virus zika dengan memperoleh nilai $R_0 > 1$. Parameter yang digunakan terlihat pada Tabel IV

TABEL IV
PARAMETER UNTUK $R_0 > 1$

Parameter	Nilai
a_H	0,42
b	0,50
ψ_S	0,25
ψ_A	0,09
a_V	0,48
q	0,18
β_H	0,20
β_V	0,10
γ	0,22
μ_V^{-1}	14

Akan diperoleh nilai R_0 dengan menggunakan nilai parameter, sehingga diperoleh

$$R_0 = 1,726767521$$

Diperoleh $R_0 > 1$, kemudian pada simulasi numerik akan digunakan nilai awal untuk model *host-vector* penyebaran virus zika

$$S_H(0) = 5200, E_H(0) = 200, I_{HS}(0) = 300, I_{HA}(0) = 250, R_H(0) = 250, S_V(0) = 5600, E_V(0) = 0, I_V(0) = 0, S_H(0) = 5800, E_H(0) = 150, I_{HS}(0) = 70, I_{HA}(0) = 80, R_H(0) = 100, S_V(0) = 5000, E_V(0) = 200, I_V(0) = 400, S_H(0) = 6000, E_H(0) = 40, I_{HS}(0) = 20, I_{HA}(0) = 50, R_H(0) = 90, S_V(0) = 5100, E_V(0) = 250, I_V(0) = 250.$$

Berdasarkan nilai parameter dan nilai awal diperoleh grafik dari masing-masing kelompok terhadap waktu t terlihat pada Gambar 3 yang menunjukkan bahwa pada kelas manusia rentan mengalami kenaikan. Pada kelas manusia terpapar juga mengalami kenaikan. Pada kelas rentan dan terpapar pada nyamuk juga mengalami kenaikan. Tetapi grafik menunjukkan titik yang stabil. Sehingga dapat diartikan bahwa penyakit zika ini pada suatu waktu akan menghilang.

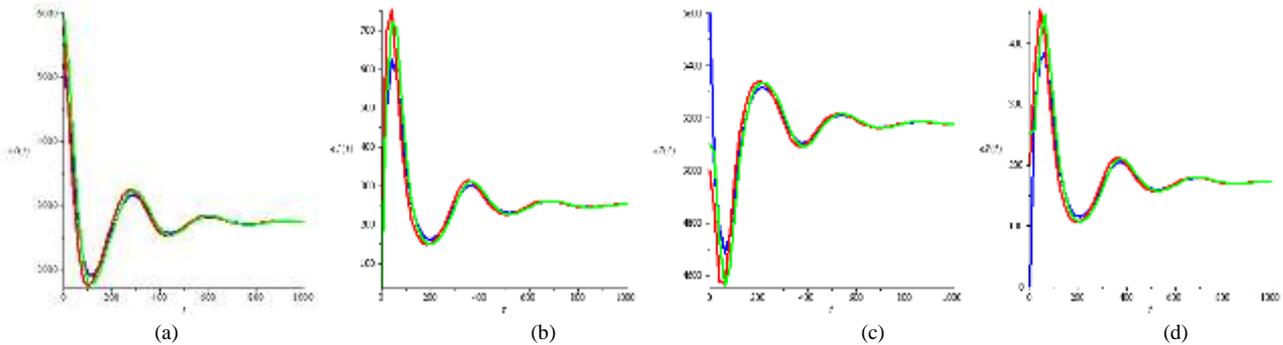
C. Interpretasi Model Host-Vector Penyebaran Virus Zika

Berdasarkan hasil analisis sensitivitas yang dilakukan menghasilkan bahwa parameter yang sensitif adalah tingkat gigitan nyamuk dan masa hidup nyamuk. Apabila peningkatan frekuensi gigitan nyamuk pada manusia dalam sehari akan meningkatkan kemungkinan manusia terinfeksi zika.

SIMPULAN

Dari pembahasan yang telah dilakukan, maka diperoleh model *host-vector* penyebaran virus zika yang berbentuk persamaan diferensial. Berdasarkan hasil simulasi

diperoleh bahwa penyebaran virus zika dipengaruhi oleh penularan dari vektor ke manusia. Apabila frekuensi tingkat gigitan nyamuk meningkat, maka akan meningkatkan manusia terinfeksi virus zika.



Gambar. 3 Trayektori terhadap $R_0 > 1$ (a) Grafik $S_H(t)$ (b) Grafik $E_H(t)$ (c) Grafik $S_V(t)$ (d) Grafik $E_V(t)$

REFERENSI

- [1] Putri, N. *Buku Pintar Virus Zika*. Yogyakarta:FlashBooks.2016.
- [2] Gao, D., Lou, Y., He, D., Porco, T. C., Kuang, Y., Chowell, G., Ruan, S. "Prevention and control of zika as a mosquito-borne and sexually transmitted disease: A mathematical modeling analysis," *Scientific Report.*, 6, 28070. 2016.
- [3] Musso D, Gubler DJ. , " Zika virus," *Clin Microbiol., Rev* 29:487-524. Doi:10.1128/CMR.00072-15.2016.
- [4] Kemenkes RI. 2017. *Pedoman Pencegahan dan Pengendalian Virus Zika*. Jakarta.
- [5] Moreira,J., Peixoto, T.M., Siqueira. A.M., Lamas. C.C, "Sexually acquired zika virus : a systematic review," *Clinical Microbiology and Infection.*, 296-305.2017.
- [6] Maxian,O., Neufeld, A., Talis, E.J, Childs, L.M., & Blackwood, J.C., "Zika virus dynamics : When does sexual transmission matter?," *Epidemics*, 21,48-55. 2017.
- [7] Giordano, F.R., Weir, M.D., Fox, w.p., "A first course in mathematical modelling," *United States od Amerika*. 2003.
- [8] Moreno V., Espinoza B., Bichara D., Holeccheck SA., Castillo-Chavez C., "Role of short-term dispersaal on the dynamics of zika virus," 2;21-34,doi:10.1016/j.idm.2016.12.002. 2016.
- [9] Chitnis, N., Hyman, J.M., & Cushing, J.M., "Determining important parameters in the spread of malaria through the sensitivity analysis of a mathematical model," *Bulletin of Mathematical Biology*, 70(5),1272. 2008.