

## Model Matematika Penyebaran Penyakit Herpes Genital dengan Vaksinasi

Aziza Masli<sup>#1</sup>, Media Rosha<sup>\*2</sup>

<sup>#</sup>Jurusan Matematika, Universitas Negeri Padang  
Jl.Prof.Hamka ,Padang, Sumatera Barat, Indonesia 25131

<sup>1</sup>aziza17masli@gmail.com

<sup>2</sup>mediarosha@gmail.com

**Abstract** — Genital herpes is an infectious disease that can be transmitted and caused by Herpes Simplex Virus type 2 (HSV-2). According to WHO, genital herpes caused by HSV-2 is a global issue and it is estimated that 491 million people in the world are living with HSV-2 infection in 2016. Health observers are looking for solutions to the spread of genital herpes by developing prophylactic protection vaccines. In this research, a mathematical model of the spread of genital herpes with vaccination will be sought. The purpose of this study is to learn how to use vaccination against the spread of genital herpes. This study is a basic study using descriptive method. This method is done by analyzing theories relating to the problem. The study began by determining the variables, parameters, and assumptions that related to the spread of genital herpes with vaccination. The results of the analysis show that high rates of disease transmission can lead to disease outbreak. In addition, increasing the percentage of successful vaccines can reduce the spread of genital herpes so that outbreaks not occur.

**Keywords** — mathematics model, genital herpes, vaccination.

**Abstrak** — Herpes genital adalah penyakit infeksi yang dapat menular dan disebabkan oleh *Herpes Simpleks Virus* terutama tipe 2 (HSV-2). Menurut WHO penyakit herpes genital yang disebabkan oleh HSV-2 merupakan isu global dan diperkirakan 491 juta orang di dunia hidup dengan infeksi HSV-2 pada tahun 2016. Pemerhati kesehatan mencari solusi dari penyebaran penyakit herpes genital dengan mengembangkan vaksin bersifat profilaksis. Pada penelitian ini akan dicari bentuk model matematika penyebaran penyakit herpes genital dengan vaksinasi. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui bagaimana bentuk model matematika penyebaran penyakit herpes genital dengan vaksinasi, mengetahui hasil analisis dan interpretasi dari analisis model matematika penyebaran penyakit herpes genital dengan vaksinasi. Penelitian ini merupakan penelitian dasar dengan menggunakan metode deskriptif. Metode ini dilakukan dengan cara melakukan analisa terhadap teori-teori yang berkaitan dengan permasalahan. Penelitian ini dimulai dengan menentukan variabel, parameter, dan asumsi-asumsi yang berhubungan dengan permasalahan sehingga dapat dilakukan pembentukan model matematika penyebaran penyakit herpes genital dengan vaksinasi. Hasil analisis menunjukkan bahwa tingkat penularan penyakit yang tinggi dapat menyebabkan wabah penyakit. Selain itu peningkatan persentase keberhasilan vaksin dapat menekan penyebaran penyakit herpes genital sehingga tidak terjadi wabah.

**Kata kunci** — model matematika, herpes genital, vaksinasi.

### PENDAHULUAN

Herpes genital merupakan suatu penyakit infeksi yang dapat menular melalui aktivitas seksual. Penyakit ini disebabkan oleh suatu virus yaitu *Herpes Simplex Virus* (HSV). *Herpes Simplex Virus* (HSV) dapat dibagi menjadi dua jenis, yaitu tipe 1 (HSV-1) yang biasanya menyerang daerah sekitar mulut atau sering disebut daerah perut ke atas dan tipe 2 (HSV-2) yang biasa menyerang di sekitar daerah genital atau daerah kelamin

dan biasa disebut daerah perut ke bawah. Penyebab utama dari penyakit herpes genital adalah HSV-2 [1].

Herpes genital adalah salah satu penyakit infeksi menular seksual yang sulit untuk disembuhkan. Herpes genital dapat terjadi tanpa memperlihatkan gejala pada penderitanya, dan dapat kambuh sewaktu – waktu. Infeksi HSV-2 biasanya terjadi akibat adanya aktivitas seksual dan hal ini jarang sekali terjadi sebelum menginjak dewasa. Seseorang dengan herpes genital dapat dengan mudah menularkan virus kepada orang yang belum terinfeksi saat melakukan hubungan seksual.

Penyakit herpes genital yang disebabkan oleh HSV-2 ini merupakan suatu isu global. Referensi [2] memperlihatkan dimana menurut World Health Organization (WHO) diperkirakan pada tahun 2016 terdapat secara keseluruhan sebanyak 491 juta individu dengan usia mulai dari 15 tahun aktif secara seksual dan hidup dengan infeksi HSV-2 di dalam tubuhnya. Dimana jumlah individu dengan HSV-2 terbanyak terdapat di Afrika yang kemudian disusul oleh Amerika. Penelitian tentang herpes genital yang dilakukan oleh Podder menyatakan bahwa sekitar 22% dari seluruh populasi di Amerika Serikat yang ternyata terinfeksi HSV-2.

Herpes genital merupakan suatu jenis penyakit menular yang penularannya dapat terjadi melalui perilaku dan aktivitas seksual setiap individu. Di Indonesia, perilaku seks bebas juga masih sering terjadi. Data dari KPAI dan Kemenkes tahun 2013 menunjukkan bahwa sekitar 62,7% remaja di Indonesia telah melakukan hubungan seksual di luar nikah. Tidak hanya itu, maraknya para Pekerja Seks Komersial juga memperlihatkan bahwa perilaku seks bebas masih begitu banyak terjadi di Indonesia [3]

Badan Kesehatan Dunia atau WHO dan seluruh pemerhati kesehatan sedang bekerja untuk meningkatkan penelitian dengan membangun strategi baru untuk mencegah dan mengontrol infeksi herpes genital yang disebabkan oleh virus ini. Hal ini dilakukan karena infeksi dari HSV-2 dapat membuat virus terus berada di dalam tubuh manusia sepanjang hidup. Selain itu, infeksi dari HSV-2 dapat meningkatkan kerentanan terhadap infeksi *Human Immunodeficiency Virus* atau HIV [4].

Salah satu vaksin herpes genital yang telah dikembangkan dan terus diteliti adalah vaksin dengan sifat profilaksis. Vaksin profilaksis adalah sebuah vaksin yang diberikan pada saat sebelum terjadinya infeksi dengan tujuan utama untuk mencegah terjadinya infeksi. Referensi [5] menunjukkan bahwa Vaksin Glycoprotein-D-Adjuvant merupakan salah satu bentuk vaksin profilaksis yang sudah ditemukan dan masih terus dikembangkan. Vaksin Glycoprotein-D-Adjuvant memiliki tingkat keberhasilan 38% terhadap wanita dan pria dengan HSV-1 dan HSV-2 seronegatif.

Masalah penyebaran penyakit herpes genital ini penting untuk diselesaikan. Akibat dari penyebaran penyakit herpes genital yang dapat merugikan ini menjadi alasan dasar untuk menggunakan model matematika dalam mencari solusi permasalahan. Salah satu peran ilmu matematika dalam bidang kesehatan adalah dengan membuat model matematika dari suatu penyakit menular. Model matematika muncul sebagai suatu alat yang berharga untuk mendapatkan pengetahuan dari dinamika penyebaran penyakit menular [6]. Karena dengan model matematika dapat digambarkan dinamika dari suatu penyakit menular.

Langkah kerja yang dilakukan dalam pemodelan matematika ini adalah mengidentifikasi permasalahan yang akan dibahas di dalam penelitian. Kemudian dibangun suatu asumsi agar permasalahan tidak menjadi

terlalu kompleks. Selanjutnya dibentuk model dan dilakukan analisis model agar model representatif terhadap permasalahan yang dibahas dalam penelitian. Kemudian dilakukan interpretasi model dan yang terakhir yaitu memvalidasi model apakah sesuai dengan tujuan penyelesaian dari permasalahan[7].

Dengan adanya pengembangan vaksin dari penyebab penyakit herpes genital ini maka dapat memunculkan variabel dan parameter serta akan dianalisis di titik manakah model matematika penyebaran penyakit herpes genital dengan vaksinasi terhadap penyebaran penyakit herpes genital ini akan stabil [8]. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui model matematika penyebaran penyakit herpes genital dengan vaksinasi, kemudian untuk mengetahui hasil analisis dan interpretasi dari hasil analisis model matematika penyebaran penyakit herpes genital dengan vaksinasi. Sehingga akan dapat digambarkan kondisi yang nyata pada permasalahan penyebaran penyakit herpes genital dengan vaksinasi termasuk melihat bagaimana pengaruh vaksinasi pada penyebaran penyakit herpes genital ini.

#### METODE

Penelitian ini merupakan jenis penelitian dasar dan menggunakan metode deskriptif dengan menganalisis teori yang berhubungan dengan permasalahan. Penelitian ini diawali dengan menentukan asumsi, variabel dan parameter yang akan digunakan pada model. Setelah itu dibentuk model matematika penyebaran penyakit herpes genital dengan vaksinasi. Selanjutnya dilakukan analisis terhadap model dengan menentukan titik kesetimbangan dan kestabilan dari titik kesetimbangan, menentukan bilangan reproduksi dasar dan melakukan simulasi. Kemudian akan dilakukan interpretasi dari hasil analisis model matematika penyebaran penyakit herpes genital dengan vaksinasi.

#### HASIL DAN PEMBAHASAN

##### A. Model Matematika Penyebaran Penyakit Herpes Genital dengan Vaksinasi

Berdasarkan tahapan dalam membentuk model matematika, tahap pertama yang dilakukan adalah menentukan faktor-faktor penting dan sesuai dengan permasalahan. Hal ini mencakup variabel dan parameter yang digunakan, dan membentuk suatu hubungan antara variabel dan parameter tersebut. Variabel yang digunakan dalam membentuk model matematika penyebaran penyakit herpes genital dengan vaksinasi adalah kelompok individu yang sehat namun rentan terhadap infeksi herpes genital (S), kelompok individu yang terinfeksi herpes genital dan dapat menularkan infeksi herpes genital tersebut kepada individu lainnya yang rentan melalui suatu kontak (I), dan yang terakhir yaitu kelompok individu yang sudah sembuh dari herpes genital namun masih berkemungkinan

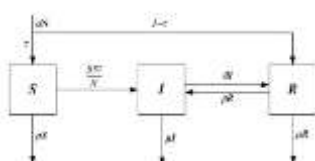
untuk kambuh kembali (R). Parameter yang akan digunakan dalam pembentukan model matematika penyebaran penyakit herpes genital ini adalah:

- $\alpha$  : Tingkat bertambahnya individu yang berusia di atas 15 tahun.
- $\beta$  : Tingkat penularan akibat aktivitas seksual antara individu rentan dan individu yang terinfeksi.
- $\mu$  : Tingkat kematian alami.
- $\tau$  : Persentase individu tervaksin dan tidak memperoleh kekebalan.
- $1 - \tau$  : Persentase individu tervaksin dan memperoleh kekebalan.
- $\theta$  : Tingkat kesembuhan dari herpes genital.
- $\rho$  : Persentase individu yang kambuh.

Tahap selanjutnya adalah menentukan asumsi yang akan digunakan dalam pembentukan model matematika penyebaran penyakit herpes genital dengan vaksinasi, yaitu:

1. Pada populasi tidak terjadi imigrasi dan emigrasi sehingga populasi tertutup.
2. Individu yang masuk ke kelas *Susceptible* adalah individu yang aktif secara seksual yaitu individu dengan usia  $\geq 15$  tahun.
3. Penyakit herpes genital tidak menyebabkan kematian. Kematian yang terjadi dalam setiap kompartemen adalah kematian alami.
4. Penularan penyakit herpes genital terjadi karena adanya kontak seksual langsung antara individu yang rentan dengan individu yang terinfeksi.
5. Setiap individu yang sembuh memiliki kemungkinan untuk kambuh kembali.
6. Masa inkubasi sangat cepat sehingga dapat diabaikan.
7. Vaksin diasumsikan memiliki tingkat keberhasilan yang sama pada individu pria atau wanita.
8. Vaksin diasumsikan diberikan pada saat individu berusia 15 tahun.
9. Vaksin diberikan kepada semua individu yang belum terinfeksi sebelum masuk ke dalam kelas *Susceptible*.
10. Individu yang sudah diberi vaksin dan memperoleh kekebalan akan masuk ke dalam kelas *Recovered*.
11. Individu yang sudah diberi vaksin namun tidak memperoleh kekebalan akan masuk ke dalam kelas *Susceptible*.

Berdasarkan yang variabel, parameter, dan asumsi yang telah diberikan dapat dibentuk diagram dari proses penyebaran penyakit herpes genital dengan vaksinasi. Diagram ini dapat dilihat pada gambar 1.



Gambar 1. Diagram Penyebaran Penyakit Herpes Genital dengan Vaksinasi

Berdasarkan Gambar 1 dapat dibentuk model matematika dari penyebaran penyakit herpes genital dengan vaksinasi yang merupakan suatu sistem persamaan diferensial:

$$\frac{dS}{dt} = \tau\alpha N - \frac{\beta SI}{N} - \mu S$$

$$\frac{dI}{dt} = \frac{\beta SI}{N} + \rho R - \theta I - \mu I$$

$$\frac{dR}{dt} = (1 - \tau)\alpha N + \theta I - \rho R - \mu R$$

Untuk mempermudah dalam analisis akan dimisalkan sebagai berikut:

$$A_1 = \theta + \mu \tag{1}$$

$$A_2 = \rho + \mu \tag{2}$$

Sehingga diperoleh persamaan sebagai berikut:

$$\frac{dS}{dt} = \tau\alpha N - \frac{\beta SI}{N} - \mu S \tag{3}$$

$$\frac{dI}{dt} = \frac{\beta SI}{N} + \rho R - A_1 I \tag{4}$$

$$\frac{dR}{dt} = (1 - \tau)\alpha N + \theta I - A_2 R \tag{5}$$

### B. Analisis Model Matematika Penyebaran Penyakit Herpes Genital dengan Vaksinasi

#### 1) Titik Tetap Bebas Penyakit $e_0 = (S, 0, 0)$

Titik tetap bebas penyakit dari penyebaran penyakit herpes genital dengan vaksinasi adalah keadaan dimana tidak terjadi penyebaran pada penyakit herpes genital. Hal ini dapat diekspresikan secara matematis sebagai berikut:  $S > 0, I = 0$  dan  $R = 0$ . Kemudian diperoleh titik tetap bebas dari penyebaran penyakit herpes genital dengan vaksinasi adalah:

$$e_0 = \left( \frac{\tau\alpha N}{\mu}, 0, 0 \right)$$

#### 2) Titik Tetap Endemik $e_* = (S^*, I^*, R^*)$

Titik tetap endemik dari penyebaran penyakit herpes genital dengan vaksinasi adalah keadaan dimana terdapat sejumlah individu yang terinfeksi penyakit herpes genital di dalam populasi. Hal ini dapat diekspresikan secara matematis dengan  $S > 0, I > 0$ , dan  $R > 0$ . Kemudian diperoleh titik tetap endemik dari penyebaran penyakit herpes genital dengan vaksinasi adalah:

$$S^* = PN$$

$$I^* = \frac{-NP\mu - \tau\alpha}{\beta P}$$

$$R^* = \frac{-N(P\alpha\beta\tau - P\alpha\beta + P\mu\theta - \alpha\tau\theta)}{A_2\beta P}$$

### 3) Bilangan Reproduksi Dasar ( $R_0$ )

Bilangan reproduksi dasar ( $R_0$ ) digunakan untuk melihat apakah di dalam suatu populasi terjadi suatu wabah atau bebas dari penyakit. Dalam menentukan  $R_0$  dapat digunakan *next generation matrix* yang dilambangkan dengan  $K$ . Dalam hal ini digunakan subpopulasi kelas terinfeksi dari titik tetap bebas penyakit. Sehingga diperoleh  $R_0$  yaitu:

$$R_0 = \left[ \frac{\beta\tau\alpha}{\mu(\theta + \mu)} \right]$$

### 4) Kestabilan Model Matematika Penyebaran Penyakit Herpes Genital dengan Vaksinasi

Analisis kestabilan titik tetap dapat dilakukan dengan menentukan nilai eigen dari matriks *Jacobian* dari persamaan (3), (4), dan (5) yang diperoleh sebagai berikut:

$$J = \begin{bmatrix} -\frac{\beta I}{N} - \mu & -\frac{\beta S}{N} & 0 \\ \frac{\beta I}{N} & \frac{\beta S}{N} - A_1 & \rho \\ 0 & \theta & -A_2 \end{bmatrix}$$

Karena terdapat dua jenis titik tetap maka akan dilakukan analisis titik tetap terhadap kedua titik tetap tersebut.

#### a. Kestabilan Titik Tetap Bebas Penyakit

Untuk dapat melihat kestabilan dari titik tetap bebas penyakit diperlukan nilai eigen. Titik tetap bebas penyakit akan stabil jika semua nilai eigen dari matriks *Jacobian* pada titik tetap bebas dari model matematika penyebaran penyakit herpes genital dengan vaksinasi bernilai negatif. Matriks *Jacobian* dari titik tetap bebas penyakit ini adalah:

$$J(e_0) = \begin{bmatrix} -\mu & -\frac{\beta\tau\alpha}{\mu} & 0 \\ 0 & \frac{\beta\tau\alpha}{\mu} - A_1 & \rho \\ 0 & \theta & -A_2 \end{bmatrix}$$

Misalkan  $\lambda$  adalah nilai eigen dari matriks  $J$ , maka berlaku:

$$\det(\lambda I - J) = 0 \text{ atau } |\lambda I - J| = 0$$

$$\text{Pandang } |\lambda I - J| = 0$$

$$|\lambda I - J| = \begin{vmatrix} \lambda + \mu & \frac{\beta\tau\alpha}{\mu} & 0 \\ 0 & \lambda + A_1 - \frac{\beta\tau\alpha}{\mu} & -\rho \\ 0 & -\theta & \lambda + A_2 \end{vmatrix} = 0$$

$$(\lambda + \mu) \begin{vmatrix} \lambda + A_1 - \frac{\beta\tau\alpha}{\mu} & -\rho \\ -\theta & \lambda + A_2 \end{vmatrix} = 0$$

Sehingga diperoleh persamaan karakteristik yaitu:

$$(\lambda + \mu) \left( \left( \lambda + A_1 - \frac{\beta\tau\alpha}{\mu} \right) (\lambda + A_2) - \rho\theta \right) = 0$$

$$(\lambda + \mu) = 0, \text{ karena } \mu > 0 \text{ dan } \lambda_1 = -\mu, \text{ maka } \lambda_1 < 0$$

$$\left( \lambda + A_1 - \frac{\beta\tau\alpha}{\mu} \right) (\lambda + A_2) - \rho\theta = 0$$

$$\lambda^2 + \lambda \left( A_2 + A_1 - \frac{\beta\tau\alpha}{\mu} \right) + A_1A_2 - \frac{A_2\beta\tau\alpha}{\mu} - \rho\theta = 0$$

$$\lambda_{2,3} = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

$$\lambda_{2,3} = \frac{-\left( A_2 + A_1 - \frac{\beta\tau\alpha}{\mu} \right) \pm \sqrt{\left( A_2 + A_1 - \frac{\beta\tau\alpha}{\mu} \right)^2 - 4\left( A_1A_2 - \frac{A_2\beta\tau\alpha}{\mu} - \rho\theta \right)}}{2}$$

$\lambda_3$  dan  $\lambda_4$  akan bernilai negatif jika:

$$\sqrt{\left( A_2 + A_1 - \frac{\beta\tau\alpha}{\mu} \right)^2 - 4\left( A_1A_2 - \frac{A_2\beta\tau\alpha}{\mu} - \rho\theta \right)} < \left( A_2 + A_1 - \frac{\beta\tau\alpha}{\mu} \right)$$

$$-4\left( A_1A_2 - \frac{A_2\beta\tau\alpha}{\mu} - \rho\theta \right) < 0$$

$$4\left( A_1A_2 - \frac{A_2\beta\tau\alpha}{\mu} - \rho\theta \right) > 0$$

$$A_1A_2 - \frac{A_2\beta\tau\alpha}{\mu} - \rho\theta > 0$$

$$A_1A_2 > \frac{A_2\beta\tau\alpha}{\mu} + \rho\theta$$

$$A_1A_2 > \frac{(\rho + \mu)\beta\tau\alpha + \mu\rho\theta}{\mu}$$

Substitusikan kembali nilai  $A_1$  dan  $A_2$  dan diperoleh

$$(\theta + \mu)(\rho + \mu) > \frac{(\rho + \mu)\beta\tau\alpha + \mu\rho\theta}{\mu}$$

$$\frac{(\rho + \mu)\beta\tau\alpha + \mu\rho\theta}{\mu(\theta + \mu)(\rho + \mu)} < 1$$

Jadi,  $\lambda_3$  dan  $\lambda_4$  akan bernilai negatif jika  $\frac{(\rho+\mu)\beta\tau\alpha+\mu\rho\theta}{\mu(\theta+\mu)(\rho+\mu)} < 1$  dan hal ini memiliki arti bahwa titik tetap bebas dari penyebaran penyakit herpes genital dengan vaksinasi stabil.

*b. Kestabilan Titik Tetap Endemik*

Untuk dapat melihat kestabilan dari titik tetap endemik diperlukan nilai eigen. Titik tetap bebas penyakit akan stabil jika semua nilai eigen dari matriks *Jacobian* pada titik tetap endemik dari model matematika penyebaran penyakit herpes genital dengan vaksinasi bernilai negatif. Matriks *Jacobian* dari titik tetap endemik ini adalah:

$$J(e_*) = \begin{bmatrix} \frac{NP\mu + \tau\alpha}{NP} - \mu & -\beta P & 0 \\ \frac{NP\mu + \tau\alpha}{NP} & \beta P - A_1 & \rho \\ 0 & \theta & -A_2 \end{bmatrix}$$

Misalkan  $\lambda$  adalah nilai eigen dari matriks *J*, maka berlaku:

$$\det(\lambda I - J) = 0 \text{ atau } |\lambda I - J| = 0$$

$$\text{Pandang } |\lambda I - J| = 0$$

$$|\lambda I - J| = \begin{vmatrix} \lambda + \mu - \frac{NP\mu + \tau\alpha}{NP} & \beta P & 0 \\ -\frac{NP\mu + \tau\alpha}{NP} & \lambda + A_1 - \beta P & -\rho \\ 0 & -\theta & \lambda + A_2 \end{vmatrix} = 0$$

Sehingga diperoleh persamaan karakteristik sebagai berikut:

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

Dengan:

$$a_0 = 1$$

$$a_1 = A_1 -$$

$$A_2$$

$$a_2 = -\rho\theta + A_1\mu - \mu\beta P - A_1 \frac{NP\mu + \tau\alpha}{NP} +$$

$$2\beta P \frac{NP\mu + \tau\alpha}{NP} + A_1 A_2 - \beta P A_2 + \mu A_2 - A_2 \frac{NP\mu + \tau\alpha}{NP}$$

$$a_3 = -\rho\theta\mu + \rho\theta \frac{NP\mu + \tau\alpha}{NP} + A_1\mu A_2 - \mu\beta P A_2 -$$

$$A_1 A_2 \frac{NP\mu + \tau\alpha}{NP} + 2\beta P A_2 \frac{NP\mu + \tau\alpha}{NP}$$

Analisis kestabilan selanjutnya dapat dicari dengan menggunakan kriteria *Routh-Hurwitz*. Selanjutnya dibentuk tabel *Routh* sebagai berikut:

$\lambda^3$	$a_0$	$a_2$
$\lambda^2$	$a_1$	$a_3$
$\lambda^1$	$b_1$	$b_2$
$\lambda^0$	$c_1$	$c_2$

$$\beta P + \mu - \frac{NP\mu + \tau\alpha}{NP} +$$

Dengan:

$$b_1 = \frac{a_1 a_2 - a_0 a_3}{a_1}$$

$$b_2 = \frac{a_1 a_4 - a_0 a_5}{a_1}$$

$$c_1 = \frac{b_1 a_3 - a_1 b_2}{b_1}$$

Dalam hal ini agar sistem menjadi stabil harus dipenuhi bahwa semua suku pada kolom pertama pada tabel *Routh Hurwitz* bertanda positif. Karena pada persamaan karakteristik semua koefisiennya bertanda positif maka selanjutnya kita akan melihat  $b_1 > 0$  dan  $c_1 > 0$ .

Akan dilihat bahwa  $b_1 > 0$

Karena  $b_1 = \frac{a_1 a_2 - a_0 a_3}{a_1}$  maka  $\frac{a_1 a_2 - a_0 a_3}{a_1} > 0$

Karena  $a_1 > 0$  maka agar  $b_1 > 0$  haruslah  $a_1 a_2 > a_0 a_3$ .

Karena  $a_0 = 1$  maka agar  $b_1 > 0$  haruslah  $a_1 a_2 > a_3$ .

Kemudian akan ditunjukkan bahwa  $c_1 > 0$

Pandang  $c_1 = \frac{b_1 a_3 - a_1 b_2}{b_1}$ , karena  $b_2 = 0$  maka:

$$c_1 = \frac{b_1 a_3}{b_1}$$

$$c_1 = a_3$$

Diketahui bahwa nilai  $a_3 > 0$ , sehingga  $c_1 > 0$ .

Dari hasil diperoleh bahwa elemen-elemen kolom pertama pada tabel *Routh Hurwitz* yaitu  $a_0, a_1, b_1$  dan  $c_1$  bernilai positif. Sehingga dapat disimpulkan bahwa titik tetap endemik  $e_* = (S^*, I^*, R^*)$  adalah stabil.

5) *Simulasi Model Matematika Penyebaran Penyakit Herpes Genital dengan Vaksinasi*

Simulasi numerik akan dilakukan pada model matematika penyebaran penyakit herpes genital dengan vaksinasi untuk memberikan gambaran yang lebih jelas. Simulasi numerik akan dilakukan dengan menggunakan software Maple 2016 dengan menggunakan nilai awal seperti pada tabel 1.

TABEL 1  
NILAI AWAL KOMPARTEMEN SIR

No.	Kelas	Jumlah Populasi (juta)
1	S	11,55
2	I	27,84
3	R	30,21

a. *Simulasi Model Matematika Penyebaran Penyakit Herpes Genital dengan Vaksinasi dengan Menggunakan Nilai Awal.*

Akan dilakukan simulasi dari model matematika penyebaran penyakit herpes genital dengan vaksinasi.

Pada simulasi ini akan digunakan parameter seperti pada tabel 2. Referensi [5],[8] memperlihatkan nilai dari parameter sebagai berikut:

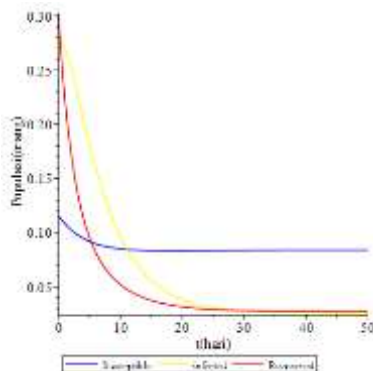
TABEL 2  
NILAI PARAMETER PADA MODEL MATEMATIKA PENYEBARAN  
PENYAKIT HERPES GENITAL DENGAN VAKSINASI

Simbol	Nilai
$\alpha$	0,087
$\beta$	0,02
$\mu$	0,175
$\tau$	0,62
$1 - \tau$	0,38
$\theta$	0,077
$\rho$	0,23

Berdasarkan nilai parameter di atas akan dihitung nilai  $R_0$  dan diperoleh hasil sebagai berikut:

$$R_0 = 0,02446258504$$

Didapatkan  $R_0 < 1$  yang artinya penyakit tidak mewabah. Berdasarkan nilai parameter dan nilai awal yang telah diberikan didapatkan grafik seperti pada Gambar 2.



Gambar 2. Simulasi Penyebaran Penyakit Herpes Genital dengan Vaksinasi dengan Data Nilai Awal

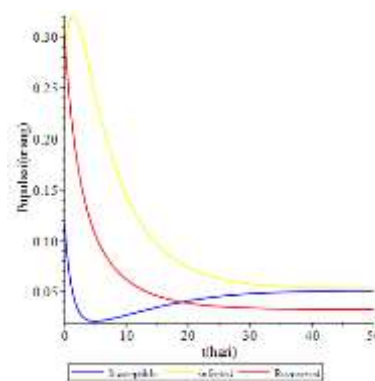
Berdasarkan gambar 2 terlihat bahwa populasi individu terinfeksi (*Infected*) semakin lama semakin menurun menuju nol diikuti pula dengan populasi individu sembuh (*Recovered*) yang juga semakin menurun menuju nol. Selain itu jika dilihat pada kurva biru, dapat diketahui bahwa populasi individu rentan (*Susceptible*) akan lebih banyak daripada individu yang terinfeksi dan sembuh, dari kurva juga terlihat bahwa kurva bergerak menuju titik tetap bebas penyakitnya. Sehingga dapat diketahui bahwa pada saat  $R_0 < 1$ , penyakit herpes genital ini tidak akan mewabah. Selain itu grafik menunjukkan bahwa perilaku solusi bergerak menuju titik tetap bebas penyakit yaitu  $e_0 = \left(\frac{\tau\alpha N}{\mu}, 0,0\right) = (0,08479,0,0)$ .

b. *Simulasi Model Matematika Penyebaran Penyakit Herpes Genital dengan Vaksinasi dengan  $\beta = 0,6$*

Akan dilakukan simulasi dari model matematika penyebaran penyakit herpes genital dengan vaksinasi. Pada simulasi ini akan digunakan parameter seperti pada Tabel 2 dengan meningkatkan parameter  $\beta$  menjadi 0.9. Berdasarkan nilai parameter akan dihitung nilai  $R_0$  dan diperoleh hasil sebagai berikut:

$$R_0 = 0,7338775512$$

Didapatkan  $R_0 > 1$  yang artinya penyakit mewabah. Berdasarkan nilai parameter dan nilai awal yang telah diberikan didapatkan grafik seperti pada gambar 3.



Gambar 3. Simulasi Penyebaran Penyakit Herpes Genital dengan Vaksinasi dengan  $\beta = 0,6$

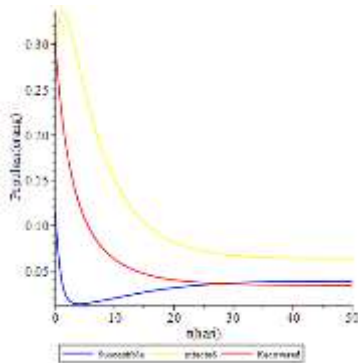
Berdasarkan gambar terlihat bahwa seiring dengan berjalannya waktu populasi individu rentan (*Susceptible*) semakin turun menuju nol dan kemudian meningkat, hal yang sama juga terjadi pada populasi individu sembuh (*Recovered*) yang juga mengalami penurunan dari waktu ke waktu. Sedangkan pada populasi individu terinfeksi walaupun awalnya menurun namun kurvanya masih berada di atas kurva kelas sembuh dan rentan. Hal ini dapat menunjukkan bahwa jumlah individu terinfeksi akan lebih banyak daripada jumlah individu yang sembuh dan juga rentan. Sehingga dapat diketahui pada saat nilai  $\beta$  ditingkatkan maka akan terjadi kenaikan pada nilai  $R_0$ .

c. *Simulasi Model Matematika Penyebaran Penyakit Herpes Genital dengan Vaksinasi dengan  $\beta = 0,9$*

Akan dilakukan simulasi dari model matematika penyebaran penyakit herpes genital dengan vaksinasi. Pada simulasi ini akan digunakan parameter seperti pada Tabel 2 dengan meningkatkan parameter  $\beta$  menjadi 0.9. Berdasarkan nilai parameter akan dihitung nilai  $R_0$  dan diperoleh hasil sebagai berikut:

$$R_0 = 1.100816327$$

Didapatkan  $R_0 > 1$  yang artinya penyakit mewabah. Berdasarkan nilai parameter dan nilai awal yang telah diberikan didapatkan grafik seperti pada gambar 4.



Gambar 4. Simulasi Penyebaran Penyakit Herpes Genital dengan Vaksinasi dengan  $\beta = 0,9$

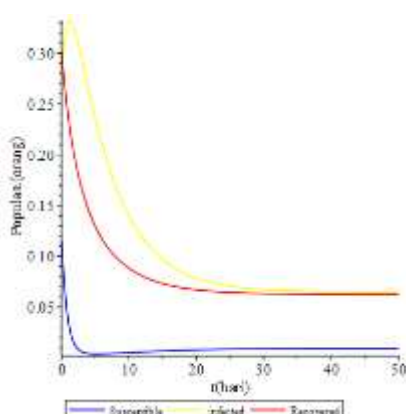
Berdasarkan gambar terlihat bahwa seiring dengan berjalannya waktu populasi individu rentan (*Susceptible*) semakin turun kemudian sedikit meningkat, hal yang sama juga terjadi pada populasi individu sembuh (*Recovered*) yang juga mengalami penurunan dari waktu ke waktu. Sedangkan pada populasi individu terinfeksi walaupun awalnya menurun namun kurvanya masih berada di atas kurva kelas sembuh dan rentan. Hal ini dapat menunjukkan bahwa jumlah individu terinfeksi akan lebih banyak daripada jumlah individu yang sembuh dan juga rentan. Sehingga dapat diketahui pada saat  $R_0 > 1$ , penyakit herpes genital ini akan mewabah.

d. *Simulasi Model Matematika Penyebaran Penyakit Herpes Genital dengan Vaksinasi dengan  $\beta = 0,9$  dan  $\tau = 0,15$*

Akan dilakukan simulasi dari model matematika penyebaran penyakit herpes genital dengan vaksinasi. Pada simulasi ini akan digunakan parameter seperti pada Tabel 2 akan tetapi pada simulasi ini dilakukan perubahan yaitu dengan merubah parameter  $\beta$  yang ditingkatkan menjadi 0,9 dan parameter  $\tau$  yang diturunkan menjadi 0,15. Berdasarkan nilai parameter akan dihitung nilai  $R_0$  dan diperoleh hasil sebagai berikut:

$$R_0 = 0,26632565306$$

Diperoleh nilai bilangan reproduksi dasar dimana nilai  $R_0 < 1$  yang memiliki arti bahwa kondisi penyakit herpes genital ini tidak mewabah dengan. Berdasarkan nilai parameter dan nilai awal yang telah diberikan didapatkan grafik seperti pada Gambar 4.



Gambar 5. Simulasi Penyebaran Penyakit Herpes Genital dengan Vaksinasi dengan  $\beta = 0,9$  dan  $\tau = 0,15$

Berdasarkan gambar terlihat bahwa seiring dengan berjalannya waktu kelompok individu rentan (*Susceptible*) semakin turun menuju nol, sedangkan pada kelompok individu terinfeksi (*Infected*) terlihat adanya penurunan sebelum menjadi stabil. Hal yang sama juga terjadi pada kelompok individu sembuh (*Recovered*) dimana kelompok ini terlihat menurun. Kondisi yang terlihat adalah dimana kurva kelompok individu sembuh dan individu yang terinfeksi cukup seimbang. Hal ini memiliki arti bahwa jumlah kelompok individu yang sembuh dan kelompok individu terinfeksi akan cukup seimbang. Sehingga dapat diketahui bahwa pada saat kualitas vaksin ditingkatkan, penyakit herpes genital ini tidak akan mewabah walaupun dengan tingkat penularan yang cukup tinggi. Hal ini menunjukkan bahwa peningkatan kualitas vaksin berpengaruh menekan penyebaran penyakit.

6) *Interpretasi Model Matematika Penyebaran Penyakit Herpes Genital dengan Vaksinasi*

Berdasarkan analisis yang sudah dilakukan terlihat beberapa faktor yang dapat mempengaruhi terjadinya wabah penyakit pada masalah penyebaran penyakit herpes genital dengan vaksinasi ini. Pengaruh faktor ini dapat dilihat dari nilai  $R_0$  dan bagaimana perubahan pada nilai bilangan reproduksi ini dimana,

$$R_0 = \left[ \frac{\beta\tau\alpha}{\mu(\theta + \mu)} \right]$$

Hal ini menunjukkan bahwa tingkat penularan yang diakibatkan oleh aktivitas seksual dapat memicu terjadinya peningkatan dari wabah penyakit herpes genital. Semakin tinggi tingkat penularan maka penyakit herpes genital akan semakin mewabah hal ini diperlihatkan dari kenaikan yang terjadi pada nilai  $R_0$ . Selain itu kualitas vaksin atau persentase dari keberhasilan vaksin juga dapat mempengaruhi terjadinya wabah penyakit. Semakin tinggi persentase dari keberhasilan vaksin maka dapat menekan penyebaran penyakit herpes genital. Sehingga diperlukan pengembangan berkelanjutan terhadap vaksin agar penyakit herpes genital ini tidak menjadi suatu wabah

penyakit. Selain pengembangan vaksin, tingkat penyembuhan dari penyakit herpes genital juga berpengaruh terhadap penyebaran herpes genital. Peningkatan kualitas obat dapat membuat penyakit herpes genital teratasi sehingga tidak terjadi wabah.

#### SIMPULAN

Dari analisa dan simulasi yang dilakukan pada model SIR dalam kasus ini menunjukkan bahwa tingkat penularan penyakit akibat adanya kontak seksual dapat mempengaruhi penyebaran penyakit herpes genital, dimana semakin tinggi tingkat penularan maka penyakit herpes genital akan semakin mewabah. Selain itu tingkat keberhasilan vaksin juga mempengaruhi penyebaran penyakit herpes genital, dimana semakin tinggi tingkat kualitas atau tingkat keberhasilan vaksin maka akan dapat menekan penyebaran penyakit herpes genital sehingga tidak mewabah.

#### REFERENSI

- [1] Parker, James N. 2002. *The Official Patient's Sourcebook on Genital Herpes*. San Diego: ICON Health Publications.
- [2] Podder, Chandra Nath. 2013. *Dynamics of Herpes Simplex Virus Type 2 in a Periodic Environment*. Bangladesh: Department of Mathematics, University of Dhaka.
- [3] Rahmawati, Chitra Diana. 2017. *Perilaku Pencegahan Seks Pranikah pada Remaja SMA*. Surabaya: Fakultas Kesehatan Masyarakat, Universitas Airlangga.
- [4] Xu, X., Zhang, Y., & Li, Q. (2019). Characteristic of Herpes Simplex Virus Infection and Pathogenesis Suggest a Strategy for Vaccine Development. *Rev Med Virol*. 2019;29:e2054. doi:10.1002/rmv.2054
- [5] Standberry, Lawrence R. (2002). Glycoprotein D-Adjuvant Vaccine to Prevent Genital Herpes. *N Engl J Med*. Vol.347 No.21
- [6] Lekone, P.E., & B.F. Finkenstadt. (2006). Statistical Inference in a Stochastic Epidemic SEIR Model with Control Intervention: Ebola as a Case Study. *Biometrics*, 62 : 1170-1177.
- [7] Widia, Lani., Subhan, M., & Rosha, M. (2018). Model Matematika Zakat dalam Pengurangan Kemiskinan. *UNP Journal of Mathematics*. Vol.1 No. 2. Padang: Universitas Negeri Padang.
- [8] Masli, Aziza., & Rosha, M. 2020. Model Matematika Penyebaran Penyakit Herpes Genital dengan Vaksinasi. Padang: Universitas Negeri Padang.
- [9] Arum Bati, Suhita. 2018. *Pemodelan Penyebaran Penyakit Herpes Genital Melibatkan Waktu Tunda*. Yogyakarta: UNY