

# **PENERAPAN MODEL EPIDEMI DISCRETE TIME MARKOV CHAIN SUSCEPTIBLE VACCINATED INFECTED RECOVERED (DTMC SVIR) (STUDI KASUS PADA POLA PENYERBARAN PENYAKIT CAMPAK)**

**Risma Indriyani<sup>1)</sup>, Respatiwulan<sup>2)</sup>, Hasih Pratiwi<sup>3)</sup>**

**<sup>1),2),3)</sup> Program Studi Statistika, FMIPA, Universitas Sebelas Maret**

**<sup>1)</sup>rismaindriyani@student.uns.ac.id**

**<sup>2)</sup>respatiwulan@staff.uns.ac.id**

**<sup>3)</sup>hasihpratiwi@staff.uns.ac.id**

## **ABSTRAK**

Kesehatan adalah keadaan sejahtera dari jiwa, badan dan sosial yang memungkinkan setiap orang hidup produktif secara ekonomi dan sosial. Suatu penyakit dapat menular melalui kontak fisik dengan seseorang yang telah terjangkit oleh penyakit. Epidemik merupakan peristiwa penyebaran penyakit pada sejumlah individu di suatu daerah dalam waktu tertentu. Model epidemik *susceptible infected recovered (SIR)* merupakan model epidemik yang menggambarkan pola penyebaran penyakit dengan karakteristik setiap individu rentan berinteraksi dengan individu terinfeksi sehingga individu tersebut terinfeksi suatu penyakit dan setelah sembuh individu tersebut akan mempunyai kekebalan permanen terhadap suatu penyakit. Salah satu cara pengendalian penyebaran penyakit yaitu dengan vaksinasi. Vaksinasi diberikan agar individu sebelum terinfeksi penyakit sudah mempunyai kekebalan terhadap suatu penyakit, sehingga individu tersebut tidak bisa terjangkit oleh suatu penyakit. Model epidemik *SIR* yang mempertimbangan vaksinasi adalah model *susceptible vaccinated infected recovered (SVIR)*. Populasi dalam model epidemik *SVIR* terbagi dalam empat kelompok yaitu *susceptible (S)*, *vaccinated (V)*, *infected (I)*, dan *recovered (R)*. Model epidemik *SVIR* yang mempelajari perubahan jumlah individu terinfeksi dalam waktu diskrit yaitu model epidemik *discrete time Markov chain susceptible vaccinated infected recovered (DTMC SVIR)*. Penelitian ini bertujuan untuk menurunkan dan menerapkan model epidemik *DTMC SVIR* pada pola penyebaran penyakit campak. Metode yang digunakan dalam penelitian ini yaitu menurunkan model epidemik *DTMC SVIR* dengan mempelajari referensi teori-teori yang relevan pada materi karya-karya ilmiah pada jurnal maupun buku referensi kemudian menerapkan pada penyebaran penyakit campak di Indonesia. Hasil penelitian ini adalah model *DTMC SVIR* yang disajikan dalam bentuk probabilitas transisi yang dapat mendeskripsikan pola penyebaran penyakit campak. Model *DTMC SVIR* diterapkan pada pola penyebaran penyakit campak di Indonesia dan disimpulkan penyakit campak akan hilang perlahan dan epidemik akan berakhir sampai  $t = 52$  tahun.

**Kata Kunci :** Epidemik, *DTMC*, *SVIR*, Campak

## **ABSTRACT**

Health is a state of complete mental, physical and social that enables everyone to live productive economically and socially. A disease can be transmitted through physical contact with someone who has been infected with the disease. Epidemic is the spreads of disease that arises in several individuals in an region at a certain time. A susceptible infected recovered (*SIR*) epidemic model describes the pattern of spread's disease with characteristics of susceptible individuals who interact with infected individuals become infected and after recovered, individual will have permanent immunity to a disease. One way to control the spread of disease is by vaccination. Vaccination is given to individual before become infected with a disease already has immunity to a disease, so that the individual cannot be infected by a disease. A *SIR* epidemic model considered vaccination is a susceptible vaccinated infected recovered (*SVIR*) epidemic model. The population in the *SVIR* epidemic model is divided into four groups, namely susceptible (*S*), vaccinated (*V*), infected (*I*), and recovered (*R*). A *SVIR* epidemic model that studies changes in the number of infected individuals in discrete time is the epidemic model discrete time Markov chain susceptible vaccinated infected recovered (*DTMC SVIR*). This study aims to construct and to apply the *DTMC SVIR* epidemic model in the case of measles. The

method used in this research is to construct the *DTMC SVIR* epidemic model by study theoretical references in journals and books and then to apply to the spread of measles in Indonesia. The result of this study is the *DTMC SVIR* model is presented in a transition probability that can describe the pattern of the spread of measles. The *DTMC SVIR* epidemic model was applied to the pattern of spread measles in Indonesia and measles would disappear slowly and the epidemic will end until  $t = 52$  years

**Key Words** : Epidemic, *DTMC*, *SVIR*, Measles

## PENDAHULUAN

Kesehatan adalah keadaan sejahtera dari jiwa, badan dan sosial yang memungkinkan setiap orang hidup produktif secara ekonomi dan sosial (Depkes, 1992). Tubuh yang sakit dapat disebabkan karena beberapa faktor yaitu seperti lemahnya daya tahan tubuh terhadap parasit dan virus, lingkungan tempat tinggal yang kurang bersih, serta gaya hidup yang tidak sehat. Suatu penyakit dapat menular melalui kontak fisik dengan seseorang yang telah terjangkit oleh penyakit. Penyakit menular tersebut diantaranya yaitu campak, tuberkulosis, hepatitis, cacar air dan difteri. Penyakit tersebut dapat menyebar dengan laju yang tinggi. Penyakit tersebut menyebar pada populasi manusia dan menjadi epidemi.

Epidemi merupakan peristiwa penyebaran penyakit pada sejumlah individu di suatu daerah dalam waktu tertentu (Graves, 2003). Epidemi dapat menimbulkan dampak kerugian yang besar yaitu kerugian pada finansial dan juga keterpurukan ekonomi. Penyakit-penyakit tersebut dapat mengancam kelangsungan hidup manusia, oleh karena itu diperlukan suatu cara untuk pengendalian terhadap penyebarannya.

Menurut Nasell (2002), sebuah populasi dibagi menjadi beberapa subpopulasi di antaranya subpopulasi individu yang rentan terhadap suatu penyakit yang disebut dengan *susceptible* (*S*), subpopulasi individu yang sudah terinfeksi suatu penyakit tetapi belum bisa menularkannya kepada individu lain atau dapat dikatakan bahwa individu yang berada pada subpopulasi tersebut mengalami gejala-gejala klinis yang disebut dengan *exposed* (*E*), subpopulasi individu yang sudah mendapatkan vaksinasi atau yang disebut dengan *vaccinated* (*V*), subpopulasi individu yang terinfeksi suatu penyakit atau yang disebut dengan *Infected* (*I*) dan subpopulasi individu yang sembuh dari penyakit yang disebut dengan *recovered* (*R*). Model epidemi tersebut antara lain adalah *SI*, *SIS*, *SIR*, *SEIR*, *SVIR*, dan *SVEIR*. Model-model tersebut memiliki bentuk penyebaran dan karakteristik yang berbeda-beda.

Model matematika yang mempelajari tentang pola penyebaran penyakit dengan karakteristik setiap individu yang sembuh dari suatu penyakit akan memiliki sistem kekebalan tubuh yaitu model *susceptible infected recovered* (*SIR*). Model *SIR* memiliki populasi yang terbagi menjadi tiga kelompok yaitu kelompok *susceptible* (*S*), kelompok *infected* (*I*), dan kelompok *recovered* (*R*) (lanelli, 2005). Model epidemi *SIR* merupakan model penyebaran penyakit dengan individu rentan terhadap penyakit disebut individu kelompok *susceptible* (*S*), kemudian berinteraksi atau melakukan kontak langsung dengan individu yang terinfeksi oleh suatu penyakit menular disebut individu kelompok *infected* (*I*) dan setelah sembuh individu tersebut akan memiliki suatu kekebalan terhadap penyakit disebut dengan individu kelompok *recovered* (*R*) (Kermack and McKendrick, 1927).

Salah satu cara pengendalian penyakit dapat dilakukan dengan program vaksinasi. Vaksinasi diberikan agar individu memiliki kekebalan terhadap suatu penyakit. Vaksinasi diberikan

pada anak usia bawah lima tahun (balita) sehingga dari usia tersebut sudah mendapatkan kekebalan terhadap suatu penyakit. Individu yang telah melakukan vaksinasi disebut dengan individu kelompok *vaccinated* (V). Vaksinasi yang dilakukan tidak semuanya berhasil. Keberhasilan vaksinasi dipengaruhi oleh kondisi tubuh, cuaca, maupun jenis vaksin yang diberikan pada setiap individu. Individu yang telah ter vaksin (*vaccinated*) akan mendapat kekebalan terhadap suatu penyakit, sedangkan individu yang gagal dalam proses vaksinasi dimungkinkan dapat terinfeksi oleh suatu penyakit. Model epidemi *SIR* yang memperhatikan faktor vaksinasi disebut dengan model epidemi *susceptible vaccinated infected recovered* (SVIR) (Liu et al, 2008).

Menurut Allen (2008), Model epidemi SVIR yang ditinjau secara probabilistik dapat dipandang sebagai model pola penyebaran penyakit yang bersifat random. Model epidemi SVIR yang ditinjau secara probabilistik dan memenuhi proses Markov adalah model *discrete time Markov chain* (DTMC) SVIR, dan model *continous time Markov chain* (CTMC) SVIR.

Wicaksono (2019) dalam penelitiannya meneliti tentang model epidemi *discrete time Markov chain susceptible infected recovered* (DTMC SIR) pada penyakit cacar air. Penelitian tersebut mengambil kasus di Ghana, Afrika. Hasil dari penelitian tersebut didapatkan bahwa jumlah individu terinfeksi mula-mula mengalami kenaikan kemudian mengalami penurunan hingga akhirnya mencapai nol pada  $t = 750$  hari.

Adi (2017) dalam penelitiannya meneliti tentang model *susceptible vaccinated infected recovered* (SVIR) dalam model deterministik. Penelitian tersebut mengambil kasus campak di Indonesia pada tahun 2011 sampai dengan 2014. Hasil penelitian tersebut bahwa Indonesia akan bebas penyakit campak pada 2186.

Salah satu penyakit yang dapat menyebabkan epidemi adalah campak. Penyakit campak merupakan penyakit yang sering melanda negara-negara berkembang salah satunya adalah Indonesia. Penyakit tersebut disebabkan oleh virus golongan *Paramyxovirus*. Menurut Pusdatin (2019), sebagian kasus campak menyerang pada anak-anak usia pra sekolah dan anak-anak sekolah dasar. Gejala penyakit ini diawali dengan batuk, demam dan pilek dan kemudian ditandai dengan adanya bercak merah pada kulit. Penularan penyakit ini sangat mudah yaitu melalui perantara udara dan kontak langsung dengan individu yang terinfeksi oleh suatu penyakit. Penderita campak yang batuk dan bersin dapat menularkan melalui saluran pernapasan.

Menurut Gustian (2016), pencegahan penyakit campak dilakukan dengan program vaksinasi campak ataupun program vaksinasi MMR (*Measles, Mumps, Rubella*). Menurut Soegijanto (2011), vaksin campak dosis pertama dapat diberikan pada anak dengan usia 9 bulan. Selanjutnya, vaksin penguat atau vaksin dosis kedua dapat diberikan pada usia 2 tahun. Apabila vaksin MMR sudah diberikan pada anak dengan usia 15 bulan, tidak perlu diberikan vaksinasi campak pada usia 2 tahun. Selanjutnya, hanya diberikan vaksin MMR ulangan atau dosis kedua saat anak sudah berusia 5-6 tahun.

## METODE PELAKSANAAN

Metode yang digunakan dalam penelitian ini yaitu studi literatur dengan mempelajari referensi teori-teori pada materi karya-karya ilmiah pada jurnal maupun buku referensi. Tujuannya adalah untuk memperkuat perumusan masalah dan sebagai landasan teori dalam menurunkan dan menerapkan model *discrete time Markov chain susceptible vaccinated infected recovered*

(DTMC SVIR) Langkah-langkah yang akan ditempuh untuk menerapkan model DTMC SVIR pada pola penyebaran penyakit campak di Indonesia sebagai berikut:

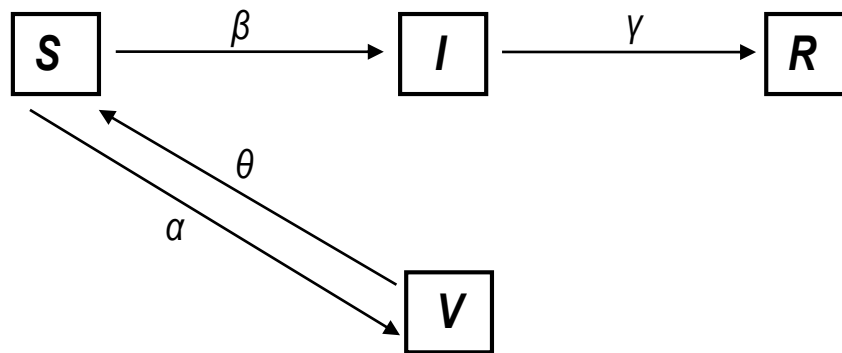
1. Menurunkan model DTMC SVIR yang terdiri atas,
  - a. Menjelaskan fenomena penyebaran penyakit model DTMC SVIR,
  - b. Menentukan asumsi-asumsi model DTMC SVIR,
  - c. Menentukan parameter dan variabel random model DTMC SVIR,
  - d. Menentukan probabilitas transisi model epidemi DTMC SVIR.
  
2. Menerapkan model DTMC SVIR,
  - a. Memilih parameter laju kontak  $\beta$ , laju vaksinasi  $\alpha$ , laju kegagalan vaksin  $\theta$ , dan laju kesembuhan  $\gamma$  yang merujuk pada data penelitian Adi (2017),
  - b. Menentukan banyak populasi  $N$  dan jumlah individu awal terinfeksi  $I(0)$ ,
  - c. Menerapkan model DTMC SVIR pada penyebaran penyakit campak di Indonesia,
  - d. Menginterpretasikan hasil yang diperoleh.

### HASIL DAN PEMBAHASAN

Penyebaran penyakit terjadi saat individu *susceptible* berinteraksi dengan individu *infected*, sehingga individu tersebut akan terinfeksi oleh suatu penyakit. Setelah sembuh, individu tersebut akan memiliki kekebalan permanen terhadap suatu penyakit. Penyebaran penyakit dapat dikendalikan melalui program vaksinasi. Vaksinasi dilakukan pada anak usia bawah lima tahun (balita) sehingga dari usia tersebut anak sudah mendapatkan kekebalan terhadap suatu penyakit. Model epidemi *SIR* yang mempertimbangkan vaksinasi disebut sebagai model epidemi *SVIR*. Asumsi dalam model epidemi *SVIR* sebagai berikut :

1. Penyakit menyebar pada populasi tertutup sehingga tidak ada individu masuk atau keluar dari populasi tersebut.
2. Populasi bersifat homogen, artinya setiap individu memiliki kemungkinan yang sama untuk terinfeksi penyakit kembali.
3. Hanya terdapat satu penyakit dalam populasi tersebut.
4. Tidak Mempertimbangkan laju kelahiran dan laju kematian.
5. Memperhatikan vaksinasi

Populasi dalam model epidemi *SVIR* dikelompokkan menjadi empat yaitu: kelompok *susceptible* (*S*), *vaccinated* (*V*), *infected* (*I*), dan *recovered* (*R*). Penyebaran penyakit model epidemi *SVIR* terjadi apabila terdapat perpindahan individu dari kelompok *susceptible* ke kelompok *infected* dengan laju kontak sebesar  $\beta$ , dari kelompok *susceptible* ke kelompok *vaccinated* dengan laju vaksinasi sebesar  $\alpha$ , dari kelompok *vaccinated* ke kelompok *susceptible* dengan laju kegagalan vaksin sebesar  $\theta$ , dan dari kelompok *infected* ke kelompok *recovered* dengan laju kesembuhan sebesar  $\gamma$  seperti yang ditampilkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Skema Model Epidem SVIR.

Model epidemi DTMC SVIR merupakan probabilitas transisi dari individu pada kelompok *susceptible*, *vaccinated*, dan *infected* pada waktu ke  $t$ . Populasi model epidemi DTMC SVIR diasumsikan konstan  $N$  dan terdapat tiga variabel random yaitu  $S(t)$ ,  $V(t)$ , dan  $I(t)$ , kemudian  $R(t) = N - S(t) - V(t) - I(t)$ .

Jumlah inividu kelompok *susceptible* pada waktu  $t$  adalah  $S(t) = s$ , kemudian jumlah individu kelompok *vaccinated* pada waktu  $t$  adalah  $V(t) = v$ , dan jumlah individu kelompok *infected* pada waktu  $t$  adalah  $I(t) = i$ , maka fungsi probabilitas bersama dari  $S(t)$ ,  $V(t)$ , dan  $I(t)$  adalah

$$P_{(s,v,i)}(t) = P[S(t) = s, V(t) = v, I(t) = i]$$

dengan  $s, v, i = 0, 1, 2, \dots, N$  dan  $t = 0, \Delta t, 2\Delta t, \dots$

Besarnya perubahan jumlah individu *susceptible* menjadi individu *infected* dalam selang waktu  $\Delta t$  adalah  $j$ . Besarnya perubahan jumlah individu *vaccinated* menjadi individu *susceptible* dalam selang waktu  $\Delta t$  adalah  $k$ . Besarnya perubahan jumlah individu *infected* menjadi individu *recovered* dalam selang waktu  $\Delta t$  adalah  $l$ , maka transisi model epidemi DTMC SVIR adalah dari state  $s$  ke  $s+j$ , dari state  $v$  ke  $v+k$ , dan dari state  $i$  ke  $i+l$ . Probabilitas transisi model epidemi DTMC SVIR yaitu

$$P_{(s+j,v+k,i+l),(s,v,i)}(\Delta t) = P[(S(t + \Delta t), V(t + \Delta t), I(t + \Delta t)) = (s + j, v + k, i + l) | (S(t), V(t), I(t)) = (s, v, i)]$$

dengan  $\Delta t$  merupakan satu kali periode terinfeksi dan diasumsikan cukup kecil sehingga hanya satu individu yang bertransisi dari state  $s$  ke  $s+j$ , dari state  $v$  ke  $v+k$ , dan dari state  $i$  ke  $i+l$ .

Ketika individu pada kelompok *susceptible* mengalami perpindahan ke individu kelompok *infected* maka terjadi transisi dari state  $(s,v,i)$  ke  $(s-1, v, i+1)$ . Perpindahan ini terjadi karena terdapat individu kelompok *susceptible* yang tertular penyakit oleh individu kelompok *infected*. Jika terdapat sejumlah  $i$  individu pada kelompok *infected* dalam populasi  $N$ , maka probabilitas individu kelompok *infected* melakukan kontak dengan individu kelompok *susceptible* sebesar  $\frac{i}{N}$ . Jika laju kontak penularan sebesar  $\beta$  dan jumlah individu *susceptible*

pada waktu  $t$  adalah  $s$ , maka probabilitas transisi dari *state*  $(s, v, i)$  ke  $(s-1, v, i+1)$  dapat dinyatakan dalam persamaan (1).

$$P_{(s-1, v, i+1), (s, v, i)}(\Delta t) = \beta \frac{i}{N} s \Delta t \quad (1)$$

Individu kelompok *susceptible* mengalami perpindahan ke individu kelompok *vaccinated* maka terjadi transisi dari *state*  $(s, v, i)$  ke  $(s-1, v+1, i)$ . Perpindahan ini terjadi karena adanya vaksinasi pada individu kelompok *susceptible*. Jika laju vaksinasi sebesar  $\alpha$  dan jumlah individu *susceptible* pada waktu  $t$  adalah  $s$ , maka probabilitas transisi dari *state*  $(s, v, i)$  ke  $(s-1, v+1, i)$  dapat dinyatakan dalam persamaan (2).

$$P_{(s-1, v+1, i), (s, v, i)}(\Delta t) = \alpha s \Delta t \quad (2)$$

Individu kelompok *vaccinated* mengalami perpindahan ke individu kelompok *susceptible* maka terjadi transisi dari *state*  $(s, v, i)$  ke  $(s+1, v-1, i)$ . Perpindahan ini terjadi karena kegagalan pada vaksinasi sehingga individu yang sudah divaksin tidak memiliki kekebalan permanen terhadap suatu penyakit. Jika laju kegagalan vaksin sebesar  $\theta$  dan jumlah individu *vaccinated* pada waktu  $t$  adalah  $v$ , maka probabilitas transisi dari *state*  $(s, v, i)$  ke  $(s+1, v-1, i)$  dapat dinyatakan dalam persamaan (3).

$$P_{(s+1, v-1, i), (s, v, i)}(\Delta t) = \theta v \Delta t \quad (3)$$

Individu kelompok *infected* mengalami perpindahan ke individu kelompok *recovered* maka terjadi transisi dari *state*  $(s, v, i)$  ke  $(s, v, i-1)$ . Perpindahan ini terjadi karena individu kelompok *infected* mengalami kesembuhan. Jika laju kesembuhan sebesar  $\gamma$  dan jumlah individu *infected* pada waktu  $t$  adalah  $i$ , maka probabilitas transisi dari *state*  $(s, v, i)$  ke  $(s, v, i-1)$  dapat dinyatakan dalam persamaan (4).

$$P_{(s, v, i-1), (s, v, i)}(\Delta t) = \gamma i \Delta t \quad (4)$$

Kemudian saat tidak pengurangan ataupun penambahan jumlah individu dalam setiap kelompok, maka tidak terjadi perubahan pada *state*  $(s, v, i)$  dengan kata lain terjadi transisi dari *state*  $(s, v, i)$  ke *state*  $(s, v, i)$ . Probabilitas transisi dari *state*  $(s, v, i)$  ke *state*  $(s, v, i)$  dapat dinyatakan dalam persamaan (5).

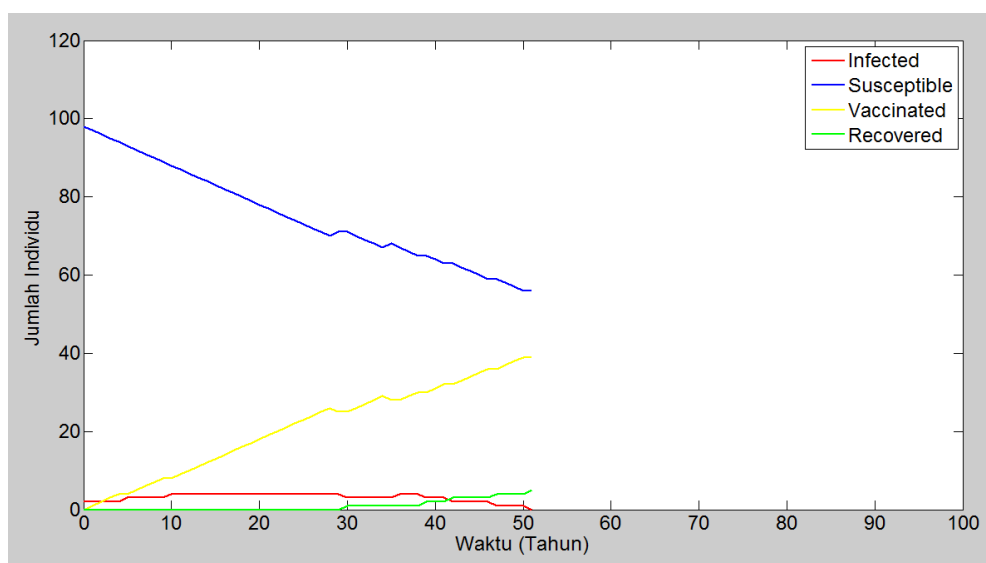
$$P_{(s, v, i), (s, v, i)}(\Delta t) = 1 - \left[ \beta \frac{i}{N} + \alpha s + \theta v + \gamma i \right] \Delta t \quad (5)$$

Perpindahan individu dari satu *state* ke *state* lainnya terjadi dalam selang waktu yang sangat kecil, sehingga hanya dimungkinkan satu individu yang bertransisi. Maka dari itu, probabilitas transisi jumlah individu yang berpindah lebih dari satu dalam selang waktu  $\Delta t$  adalah nol. Persamaan (1), (2), (3), (4), dan (5) membentuk probabilitas transisi model epidemi DTMC SVIR yang dapat dituliskan sebagai berikut :

$$P_{(s+j,v+k,i+l),(s,v,i)}(\Delta t) = \begin{cases} \beta \frac{i}{N} s \Delta t, & (j, k, l) = (-1, 0, 1), \\ \alpha s \Delta t, & (j, k, l) = (-1, 1, 0), \\ \theta v \Delta t, & (j, k, l) = (1, -1, 0), \\ \gamma i \Delta t, & (j, k, l) = (0, 0, -1), \\ 1 - \left[ \beta \frac{i}{N} + \alpha s + \theta v + \gamma i \right] \Delta t, & (j, k, l) = (0, 0, 0), \\ 0, & \text{yang lain.} \end{cases} \quad (6)$$

dengan  $S(0) > 0$ ,  $V(0) \geq 0$ ,  $I(0) > 0$ ,  $R(0) \geq 0$  serta  $\beta$ ,  $\alpha$ ,  $\theta$  dan  $\gamma$  bernilai positif.

Model epidemi DTMC SVIR diterapkan pada penyebaran penyakit campak di Indonesia yang merujuk pada penelitian Adi (2017) dengan menggunakan data penyakit campak di Indonesia dari tahun 2006 sampai dengan 2014 dan di dapatkan laju kontak yaitu  $\beta = 0,000207$  yang berarti bahwa terdapat 207 individu kelompok *susceptible* yang terinfeksi dari 1000000 kontak yang terjadi antara individu kelompok *susceptible* dengan individu kelompok *infected*, laju vaksinasi yaitu  $\alpha = 0,0655$  yang berarti bahwa terdapat 655 individu yang melakukan vaksinasi dari 10000 individu kelompok *susceptible* setiap tahunnya, laju kegagalan vaksin yaitu  $\theta = 0,049$  yang berarti terdapat 490 individu yang kembali menjadi rentan terhadap penyakit campak dari 10000 individu kelompok *vaccinated* setiap tahunnya, dan laju kesembuhan yaitu  $\gamma = 0,04762$  yang berarti terdapat 4762 individu dari 100000 individu kelompok *infected* yang mengalami kesembuhan setiap tahunnya. Mengacu pada Allen (2008) populasi diasumsikan konstan sebesar  $N = 100$  dan diberikan nilai awal  $(0) = 98$ ,  $V(0) = 0$ ,  $I(0) = 2$ ,  $R(0) = 0$ . Hasil penerapan model epidemi DTMC SVIR (persamaan (6)) pada pola penyebaran penyakit campak di Indonesia di tunjukkan oleh Gambar 2.



Gambar 2. Hasil Penerapan Model Epidemi DTMC SVIR dengan Parameter  $\beta = 0,000207$ ,  $\alpha = 0,0655$ ,  $\theta = 0,049$ , dan  $\gamma = 0,04762$

Gambar 2 diperoleh menggunakan program *Mathlab* dan menunjukkan bahwa individu kelompok *susceptible* semakin lama semakin menurun, jumlah individu kelompok *vaccinated* semakin lama meningkat, kemudian jumlah individu kelompok *infected* mengalami fluktuatif atau naik turun hingga saat  $t = 52$  tahun menjadi nol, sedangkan individu kelompok *recovered* mengalami kenaikan hingga saat  $t = 52$  tahun jumlah individu kelompok *recovered* menjadi 5. Berdasarkan penerapan model epidemi *DTMC SVIR* pada pola penyebaran penyakit campak di Indonesia dapat disimpulkan bahwa penyakit campak akan hilang perlahan dan epidemi akan berakhir sampai  $t = 52$  tahun dengan nilai untuk masing-masing kelompok individu pada saat  $t = 52$  tahun yaitu  $(S(52) = 56, V(52) = 39, I(52) = 0, R(52) = 5$  .

## SIMPULAN


Berdasarkan hasil dan pembahasan dapat disimpulkan bahwa model epidemi *DTMC SVIR* dapat dinyatakan dengan probabilitas transisi dari state  $(s,v,i)$  ke state  $(s + j, v + k, i + l)$  yang dinyatakan dalam persamaan (6). Jumlah individu pada kelompok *susceptible*, kelompok *vaccinated*, kelompok *infected*, dan kelompok *recovered* pada waktu tertentu dapat ditentukan dengan memberikan nilai awal terlebih dahulu.

Model epidemi *DTMC SVIR* dapat diterapkan pada pola penyebaran penyakit campak di Indonesia dan dapat disimpulkan bahwa penyakit campak di Indonesia akan hilang perlahan dan epidemi akan berakhir sampai  $t = 52$  tahun.

## REFERENSI

- Allen, L. (2008). *An Introduction to Stochastic Epidemic Models-Part I*. Department of Mathematics and Statistics, Texas Tech University: Texas.
- Depkes. (1992). *UU RI No 23 Tahun 1992 Tentang Kesehatan*. Republik Indonesia : Depkes Republik Indonesia.
- Graves, P. (2003). *Malaria Epidemic Forecasting and Preparedness Manual*. Misnistry of Health: Eritrea.
- Gustian, R. (2016). *Campak pada Anak*. Cermin Dunia Kedokteran, Vol 43, No 186 - 189
- Ianelli, M. (2005). *The Mathematical Modeling of Epidemics*. Mathematics Department, University of Trento: Italy.
- Nasell, I. (2002). *Sochastic Models of Some Endemic Infections*. Mathematical Biosciences, Vol 179, No 1 -19.
- Pusdatin. (2019). *Profil Kesehatan Indonesia*. Kementerian Kesehatan Republik Indonesia: Jakarta.
- Kermack, W.O and A. G. Mckendrick (1927). *A Contribution to The Mathematical Theory of Epidemic*. Proceedings of the Royal Society of London.



- 
- Soegijanto, S. (2011). *Pedoman Imunisasi di Indonesia*. Ikatan Dokter Indonesia : Jakarta
- Liu, X., Takeuchi, Y., and Iwami, S. (2008). *SVIR Epidemic Models with Vaccination Strategies*. *Theoretical, Biology*, 253, 1-11.
- Adi, S. S. (2017). Penyebaran Penyakit Campak di Indonesia dengan Model *Susceptible Vaccinated Infected Recovered (SVIR)*. Universitas Sebelas Maret: Surakarta.
- Wicaksono, D. (2019) Model Epidemi *Discrete Time Markov Chain Susceptible Infected Recovered (DTMC SIR)* pada Pola Penyebaran Penyakit Cacar Air. *SNSE*, Vol 1, No. 1, 110-108.

