ANALISIS PENYEBARAN PENYAKIT DIARE SEBAGAI SALAH SATU PENYEBAB KEMATIAN BALITA MENGGUNAKAN MODEL MATEMATIKA *SIS*

Jurnal

Diajukan kepada Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Negeri Yogyakarta
untuk Memenuhi Sebagian Persyaratan
guna Memperoleh Gelar Sarjana Sains

Oleh
Sri Rejeki Retno Yuliani
12305144014

PROGRAM STUDI MATEMATIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS NEGERI YOGYAKARTA
AGUSTUS 2016

ANALISIS PENYEBARAN PENYAKIT DIARE SEBAGAI SALAH SATU PENYEBAB KEMATIAN BALITA MENGGUNAKAN MODEL MATEMATIKA *SIS*

ANALYZE THE SPREAD OF THE DIARRHEA DISEASE AS ONE OF THE CAUSE OF DEATH AMONG CHILDREN UNDER FIVE YEARS OLD USING MATHEMATICAL MODEL SIS

Oleh: Sri Rejeki Retno Yuliani, Nikenasih Binatari, FMIPA UNY, srirejekiretnoyuliani@gmail.com

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis penyebaran penyakit diare menggunakan model matematika *SIS (Susceptible-Infected-Susceptible)* dan menganalisis karakteristik penyebaran penyakit diare. Pada penelitian ini diasumsikan penyebaran penyakit diare hanya melalui kontak langsung dengan *feces* penderita diare, selain itu karena kematian individu dewasa akibat penyakit diare sangat kecil maka laju kematian bagi individu dewasa tidak diperhatikan. Berdasarkan titik kesetimbangan bebas penyakit yang diperoleh, selanjutnya dapat dianalisis kriteria kestabilan disekitar titik kesetimbangan bebas penyakit yang dilihat dari bilangan reproduksi dasarnya. Titik kesetimbangan bebas penyakit stabil asimtotik jika bilangan reproduksi dasarnya kurang dari satu dan tidak stabil jika bilangan reproduksi dasarnya lebih dari satu.

Kata kunci: model SIS, titik kesetimbangan bebas penyakit, kestabilan.

Abstract

The purpose of this paper is to analyze the spread of the diarrhea by establishing a mathematical model SIS (susceptible-Infected-susceptible) and analyze the characteristics of the spread of diarrheal diseases. The SIS model assumes transmission of diarrhea is caused only because of their direct contact with the feces of patients, also the mortality rate for adults are not considered due to the death rate cause by the diarrhea are very small.Based on the disease-free equilibrium point, the next can analyzed stability criteria of the disease-free equilibrium pointwhich can be seen from the basic reproduction number. Disease-free equilibrium point was stable asymptotical local if the basic reproduction number is less than one and the disease-free equilibrium point was unstable when the reproduction number was essentially more than one.

Keywords: SIS Model, Disease-free equilibrium point, Stable

PENDAHULUAN

Diare adalah penyakit endemis yang terjadi sepanjang tahun dan puncak tertinggi pada peralihan musim penghujan dan kemarau. Diare menyerang semua kelompok umur terutama anak yang berusia dibawah lima tahun. Diare hingga kini masih menjadi salah satu penyakit penyumbang kematian tertinggi di negara miskin dan berkembang. Menurut WHO penyakit diare menjadi penyebab kematian kedua pada anak di bawah lima tahun yang menyebabkan 760.000 anak di bawah lima tahun di dunia meninggal setiap tahunnya. Hasil Riset Kesehatan Dasar (Riskesdas, 2007). Kementrian Kesehatan Republik Indonesia mengungkapkan bahwa diare merupakan penyebab kematian nomor satu pada bayi dan balita (Profil Kesehatan Indonesia, 2013:103).

Oleh karena itu, perlu adanya suatu tindakan untuk menurunkan laju penyebaran penyakit diare, salah satunya adalah dengan mengetahui pola penyebaran penyakit diare. Ilmu matematika dapat dimanfaatkan untuk mengetahui pola penyebarab penyakit diare yaitu dengan memanfaatkan model matematika *SIS*. Penelitian mengenai model penyebaran penyakit menular telah banyak dilakukan. Salah satunya pemodelan penyebaran penyakit diare hasil penelitian Ojaswita Chaturvedi dan kawan-

kawan (2014). Penelitian tersebut membentuk model matematika *SIR* dengan studi kasus penyebaran penyakit diare dengan satu populasi, karena hanya meneliti satu popuasi saja maka dalam model ini laju kematian penyakit diare tidak diperhatikan.

Padahal menurut data yang ada penyakit diare merupakan salah satu penyebab kematian pada balita. Oleh karena itu, penelitian ini membahas mengenai penyebaran penyakit diare dengan dua populasi dan memperhatikan laju kematian akibat penyakit diare untuk populasi balita

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

A. *Konstruksi Model*

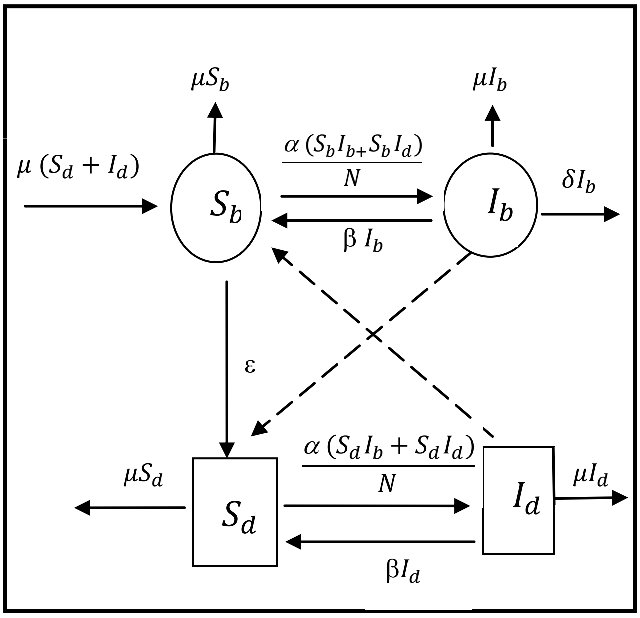
Model populasi *SIS* adalah model matematika untuk mendiskripsikan suatu penyakit dimana penderita yang terinfeksi tidak memiliki kekebalan imun untuk kembali terjangkit penyakit tersebut. Kermack W.O dan Mc Kendrick (Brauer, 2008: 24) menyatakan secara umum model epidemik *SIS* dibagi menjadi dua kelas yaitu *susceptible* dan *infected*. Dalam membentuk model penyebaran penyakit diare diperlukan beberapa asumsi.

Asumsi-Asumsi yang digunakan dalam model penyebaran penyakit diare yaitu:

1. Terdapat dua populasi yaitu balita dan orang dewasa.
2. Laju kelahiran dan kematian alami dianggap sama.
3. Populasi penduduk bersifat homogen, artinya setiap individu mempunyai peluang yang sama terserang penyakit diare.
4. Penularan penyakit diare hanya melalui kontak langsung dengan *feces* penderita.
5. Hanya terdapat satu penyakit dalam populasi.
6. Individu lahir dari kelas *susceptible* dewasa dan *infected* dewasa akan menjadi individu yang rentan terhadap penyakit diare.
7. Kemungkinan kematian akibat penyakit diare hanya terjadi pada balita.
8. Individu yang terinfeksi dapat sembuh dari penyakit diare. Individu yang sembuh dari penyakit diare akan menjadi rentan kembali.

Penelitian ini menganalisis mengenai penyakit diare dengan dua populasi. Populasi pertama adalah populasi balita, dalam populasi ini banyaknya balita rentan disimbolkan dengan S_b, sedangkan I_b menyatakan banyaknya balita terinfeksi penyakit diare. Populasi yang kedua yaitu populasi dewasa, banyaknya individu dewasa yang rentan disimbolkan dengan S_d dan I_d merepresentasikan banyaknya individu dewasa yang terinfeksi penyakit diare. Total populasi dinyatakan dalam N yang merupakan jumlah dari kedua populasi. Dalam penelitian ini dibutuhkan beberapa parameter guna mempermudah dalam penyelesaian model matematika. Parameter yang digunakan yaitu μ yang merepresentasikan laju kematian dan kelahiran manusia secara alamiah, δ merepresentasikan laju kematian karena penyakit diare untuk populasi balita, sedangkan α, β dan ε masing-masing merepresentasikan laju kontak, laju kesembuhan, dan laju pertumbuhan dengan nilai semua parameter lebih dari nol dan kurang dari satu.

Berdasarkan penjelasan yang telah dipaparkan, dapat dibentuk diagram transfer penyebaran penyakit diare sebagai berikut



Gambar 1 Diagram Transfer Pemodelan Penyakit Diare

Berdasarkan asumsi dan parameter yang telah dijelaskan dapat dibentuk model matematika penyebaran penyakit diare. Balita merupakan kelompok umur yang paling rentan terinfeksi penyakit diare, dalam populasi balita terdapat dua kelas yaitu kelas balita rentan dan balita terifeksi. Pertambahan jumlah individu pada kelas balita rentan disebabkan karena adanya individu yang lahir dari populasi dewasa yang kemudian menjadi balita rentan serta banyaknya balita terifeksi yang sembuh dari penyakit diare. Namun berkurang karena banyaknya balita yang terinfeksi penyakit diare yang disebabkan karena adanya kontak langsung dengan *feces* penderita penyakit diare, serta banyaknya balita yang meninggal secara alami. Balita yang tumbuh menjadi dewasa juga menyebabkan berkurangnya jumlah pada kelas balita rentan.

Jumlah individu pada kelas balita terinfeksi akan bertambah seiring banyaknya individu balita yang terifeksi penyakit diare karena kontak langsung dengan feces penderita penyakit diare dan berkurang disebabkan banyaknya individu balita yang sembuh dari penyakit diare dan balita yang meninggal baik secara alami maupun karena penyakit diare. Berdasarkan penjelasan di atas dapat dibentuk model matematis pada populasi balita sebagai berikut

$$\frac{dS_b}{dt} = \mu\left(S_d + I_d\right) + \beta I_b - \frac{\alpha\left(S_b I_b + S_b I_d\right)}{N} - \left(\mu + \varepsilon\right) S_b \qquad (1)$$

$$\frac{dI_b}{dt} = \frac{\alpha\left(S_b I_b + S_b I_d\right)}{N} - \left(\mu + \delta + \beta\right) I_b \qquad (2)$$

Selain balita, orang dewasa juga rentan terinfeksi penyakit diare. Jumlah individu dewasa rentan bertambah akibat banyaknya individu balita yang tumbuh menjadi individu dewasa serta karena banyaknya individu dewasa yang sembuh dari penyakit diare. Namun, akan berkurang karena banyaknya individu dewasa yang terinfeksi penyakit diare karena terjadi kontak langsung dengan feces penderita penyakit diare. Pengurangan juga terjadi karena adanya individu dewasa rentan yang meninggal secara alami. Individu pada kelas dewasa terinfeksi akan bertambah disebabkan karena banyaknya individu dewasa yang terinfeksi penyakit diare karena adanya kontak langsung dengan *feces* penderita penyakit diare, serta karena adanya kematian secara alami. Berdasarkan penjelasan di atas dapat dibentuk model matematis pada populasi dewasa sebagai berikut

$$\frac{dS_d}{dt} = \varepsilon S_b + \beta I_d - \mu S_d - \frac{\alpha\left(S_d I_b + S_d I_d\right)}{N} \quad (3)$$

$$\frac{dI_d}{dt} = \frac{\alpha\left(S_d I_b + S_d I_d\right)}{N} - \left(\mu + \beta\right) I_d \quad (4)$$

Persamaan (1), (2), (3) da (4) akan diubah dalam bentuk proporsi antara jumlah individu dalam subpopulasi dengan jumlah populasi total. Transformasi ini dilakukan untuk memberi kemudahan dalam menganalisis model yang akan digunakan.

Berdasarkan model yang diperoleh diketahui bahwa populasi tidak konstan. Kemudian akan dicari proporsi dari masing-masing kelas pada populasi. Didefinisikan proporsi banyaknya individu dari masing-masing kelas yaitu:

$$s_b = \frac{S_b}{N}, \quad s_d = \frac{S_d}{N}, \quad i_b = \frac{I_b}{N}, \quad i_d = \frac{I_d}{N}$$

Proporsi balita rentan adalah rata-rata bayaknya individu balita yang rentan dalam populasi. Proporsi balita rentan yaitu

$$\frac{ds_b}{dt} = \mu s_d + \mu i_d + \beta i_b - \alpha s_b i_b - \alpha s_b i_d - \mu s_b - \varepsilon s_b + \mu s^2{}_b + \mu i_b s_b + \delta i_b s_b$$

Proporsi balita terinfeksi merupakan rata-rata banyaknya individu balita yang terinfeksi dalam populasi. Proporsi balita terinfeksi yaitu yaitu

$$\frac{di_b}{dt} = \alpha s_b i_b + \alpha s_b i_d - \mu i_b - \delta i_b - \beta i_b + \mu s_b i_b + \mu i_b{}^2 + \delta i_b{}^2$$

Proporsi dewasa rentan merupakan rata-rata banyaknya individu dewasa yang rentan dalam populasi. Proporsi dewasa rentan yaitu

$$\frac{ds_d}{dt} = \varepsilon s_b + \beta i_d - \alpha s_d i_b - \alpha s_d i_d - \mu s_d + \mu s_b s_d + \mu i_b s_d + \delta i_b s_d$$

Proporsi dewasa terinfeksi merupakan rata-rata banyaknya individu dewasa yang terinfeksi dalam populasi. Proporsi dewasa terinfeksi yaitu

$$\frac{di_d}{dt} = \alpha s_d i_b + \alpha s_d i_d - \mu i_{db} - \beta i_d + \mu s_b i_d + \mu i_b i_d + \delta i_b i_d$$

B. *Titik Kesetimbangan*

Titik kesetimbangan adalah solusi konstan sebuah sistem. Titik $\hat{\mathbf{x}} \epsilon \mathrm{R}^n$ disebut titik kesetimbangan dari $\dot{\mathbf{x}} = \mathbf{f}(\mathbf{x})$ jika memenuhi $\mathrm{f}(\hat{\mathbf{x}}) = 0$ (Wiggins, 2003). Pada kasus ini dibatasi untuk titik kesetimbangan bebas penyakit yaitu titik kesetimbangan ketika $\hat{\imath}_b = 0$ dan $\hat{\imath}_d = 0$. Titik kesetimbangan bebas penyakit pada model dipenuhi jika

$$\mu\hat{s}_d + \beta i_d - \alpha\hat{s}_b i_b - \alpha\hat{s}_b i_d - \mu\hat{s}_b - \varepsilon\hat{s}_b + \mu\hat{s}^2{}_b = 0$$

$$\mu\hat{s}_d - \mu\hat{s}_b - \varepsilon\hat{s}_b + \mu\hat{s}^2{}_b = 0$$

dan

$$\varepsilon\hat{s}_b + \beta i_d - \mu\hat{s}_d - \alpha\hat{s}_d i_b - \alpha\hat{s}_d i_d = 0$$

$$\varepsilon\hat{s}_b - \mu\hat{s}_d + \mu\hat{s}_b\hat{s}_d = 0$$

maka diperoleh

$$\hat{s}_b = \frac{(2\mu + \varepsilon) - \sqrt{\varepsilon^2 + 4\mu\varepsilon}}{2\mu} \quad \text{dan} \quad \hat{s}_d = \frac{-\varepsilon + \sqrt{\varepsilon^2 + 4\mu\varepsilon}}{2\mu}$$

Jadi, titik kesetimbangan bebas penyakit $(\hat{s}_b, \hat{i}_b, \hat{s}_d, \hat{i}_d)$ adalah $\left(\frac{(2\mu + \varepsilon) - \sqrt{\varepsilon^2 + 4\mu\varepsilon}}{2\mu}, 0, \frac{\varepsilon + \sqrt{\varepsilon^2 + 4\mu\varepsilon}}{2\mu}, 0\right)$

C. *Bilangan Reproduksi Dasar*

Bilangan reproduksi dasar (R_0) adalah bilangan yang menyatakan banyaknya rata-rata individu infektif sekunder akibat tertular individu infektif primer yang berlangsung di dalam populasi *susceptible*. Jika $R_0 < 1$, maka penyakit akan cenderung berkurang atau menghilang dari populasi. Namun, jika $R_0 > 1$, maka penyakit akan cenderung meningkat dalam populasi. Bilangan reproduksi dasar diperoleh dengan menggunakan next generation matrix. Bilangan reproduksi dasar diperoleh dari nilai eigen maksimum dari next generation matrix.

Diperoleh bilangan reproduksi dasar yaitu:

$$R_0=\frac{a+b}{2(\mu+\delta+\beta)}+\frac{c+b}{2(\mu+\beta)}+\frac{1}{2}\sqrt{\left(\frac{a+b}{(\mu+\delta+\beta)}+\frac{c+b}{(\mu+\beta)}\right)^2-4\left(\frac{\alpha\mu\left(\frac{(2\mu+\varepsilon)-\sqrt{\varepsilon^2+4\mu\varepsilon}}{2\mu}\right)+\mu^2\left(\frac{(2\mu+\varepsilon)-\sqrt{\varepsilon^2+4\mu\varepsilon}}{2\mu}\right)^2}{(\mu+\delta+\beta)(\mu+\beta)}\right)}$$

dengan

$$a=\alpha\left(\frac{(2\mu+\varepsilon)-\sqrt{\varepsilon^2+4\mu\varepsilon}}{2\mu}\right), b=\mu\left(\frac{(2\mu+\varepsilon)-\sqrt{\varepsilon^2+4\mu\varepsilon}}{2\mu}\right), dan\, c=\alpha\left(\frac{-\varepsilon+\sqrt{\varepsilon^2+4\mu\varepsilon}}{2\mu}\right)$$

D. Analisis Kestabilan

Analisis kestabilan dilakukan untuk mengetahui apakah suatu penyakit menyebar atau menghilang dari suatu populasi, sehingga dapat dilakukan tindakan lebih lanjut. Bagian ini akan menganalisis kestabilan model di sekitar titik kesetimbangan bebas penyakit. Matriks $J(E_0)$ merupakan matriks Jacobian di titik kesetimbangan bebas penyakit (E_0). Matriks Jacobian model penyebaran penyakit diare adalah

$$J(E_0)=\begin{bmatrix} -\alpha i_b-\alpha i_d-\mu-\varepsilon+2\mu s_b+\mu i_b+\delta i_b & \beta-\alpha s_b+\mu s_b+\delta s_b & \mu & \mu-\alpha s_b \\ \alpha i_b+\alpha i_d+\mu i_b & \alpha s_b-\mu-\delta-\beta+\mu s_b+2\mu i_b+2\delta i_b & 0 & \alpha s_b \\ \varepsilon+\mu s_d & -\alpha s_d+\mu s_d+\delta s_d & -\alpha i_b-\alpha i_b-\mu+\mu s_b+\mu i_b+\delta i_b & \beta-\alpha s_d \\ \mu i_d & \alpha s_d+\mu i_d+\delta i_d & \alpha i_b+\alpha i_d & \alpha s_d-\mu-\beta+\mu s_b+\mu i_b+\delta i_b \end{bmatrix}$$

Matrik $J(E_0)$ diperoleh dengan mensubtitusikan titik kesetimbangan bebas penyakit (E_0) ke Matriks J ,maka diperoleh

$$J(E_0)=\begin{bmatrix} -\mu-\varepsilon+2\mu\hat{s}_b & \beta-\alpha\hat{s}_b+\mu\hat{s}_b+\delta\hat{s}_b & \mu & \mu-\alpha\hat{s}_b \\ 0 & \alpha\hat{s}_b+\mu\hat{s}_b-\mu-\delta-\beta & 0 & \alpha\hat{s}_b \\ \varepsilon+\mu\hat{s}_d & -\alpha\hat{s}_d+\mu\hat{s}_d+\delta\hat{s}_d & -\mu+\mu\hat{s}_b & \beta-\alpha\hat{s}_d \\ 0 & \alpha\hat{s}_d & 0 & \alpha\hat{s}_d-\mu-\beta+\mu\hat{s}_b \end{bmatrix}$$

Nilai eigen dari matriks *Jacobian* diperoleh dengan menyelesaikan $|J(E_0)-\lambda I|=0$. Titik endemik dipenuhi jika $R_0>1$, sedangkan nilai eigen $\lambda_{1,2,3,4}$ akan berupa bilangan real negatif atau bilangan kompleks dengan bagian real bernilai negatif untuk $R_0<1$. Kondisi ini menyebabkan titik kesetimbangan bebas penyakit E_0 akan stabil asimtotik .

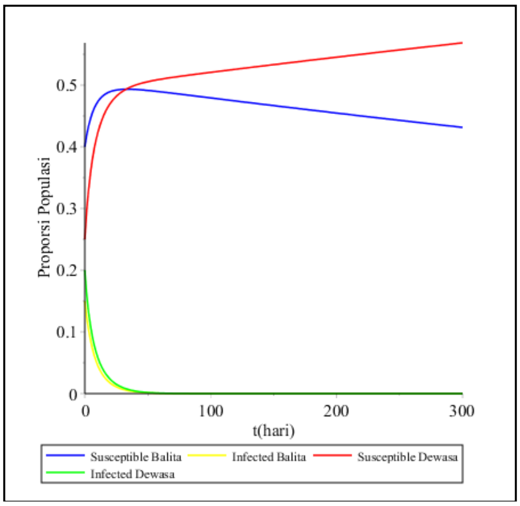
E. Simulasi Model

Pada bagian ini akan disimulasikan secara numerik model penyebaran penyakit diare bagi populasi balita dan dewasa. Simulasi ini dilakukan untuk memberikan gambaran geometris mengenai pola penyebaran penyakit diare bagi balita dan dewasa sesuai dengan kondisi bilangan reproduksi dasar. Bilangan reproduksi dasar dapat digunakan untuk mengetahui penyakit tersebut menghilang atau endemik dalam populasi.

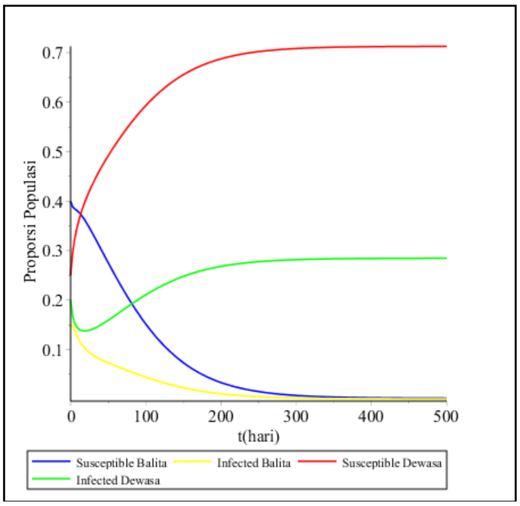
Saat $R_0<1$ artinya setiap individu yang terinfeksi dapat menularkan penyakit diare kepada rata-rata kurang dari satu individu rentan, sehingga dalam jangka waktu tertentu penyakit dapat menghilang dari populasi. Namun, untuk $R_0>1$ artinya setiap individu terinfeksi dapat menularkan penyakit diare kepada rata-rata lebih dari satu individu rentan, sehingga dalam jangka waktu tertentu penyakit menyebar dalam populasi.

Berdasarkan penjelasan mengenai makna parameter, nilai μ merepresentasikan laju kematian dan kelahiran alami, apabila diasumsikan rata-rata usia orang Indonesia adalah 70 tahun atau 25550 hari, maka diperoleh nilai μ=0.000039. Nilai β merepresentasikan laju kesembuhan seseorang dari penyakit diare, diasumsikan β=0.2 (diperoleh dari jurnal *SIRS Model For The Dynamics Of Non-Typhoidal Salmonella Epidemics*).

Nilai ε merepresentasikan laju pertumbuhan, apabila diasumsikan seseorang dianggap dewasa ketika berusia diatas 5 tahun atau 1825 hari , maka diperoleh nilai ε=0.00055. Ketika seseorang teirnfeksi diare maka seseorang tersebut akan mengalami dehidrasi. Seseorang yang mengalami dehidrasi terus-menerus maka seseorang tersebut rata-rata hanya akan bertahan dalam kurun waktu 2 minggu atau 14 hari, maka diperoleh nilai δ=0.07.



Gambar 2 Simulasi Sistem dengan nilai α=0.195



Gambar 3 Simulasi Sistem dengan nilai α=0.35

Jika nilai-nilai parameter disubtitusikan ke bilangan reproduksi dasar, maka diperoleh nilai $R_0 = 0.7692535893$. Berdasarkan Gambar 2, terlihat proporsi balita rentan (*susceptible balita*) yang diwakili oleh kurva berwarna biru mula-mula meningkat kemudian dalam jangka waktu tertentu mengalami penurunan. Hal ini dapat disebabkan karena perpindahan individu dari kelas balita rentan ke kelas dewasa rentan seiring pertumbuhan balita. Sementara untuk individu dewasa rentan yang diwakili oleh kurva berwarna merah mengalami peningkatan menuju 1. Untuk proporsi balita terinfeksi (*infected* balita) yang diwakili kurva berwarna kuning dan proporsi dewasa terinfeksi yang diwakili oleh kurva berwarna hijau (*infected* dewasa) semakin lama semakin menurun. Hal ini menunjukkan untuk nilai $R_0 < 1$, maka penyakit diare semakin lama akan menghilang dari populasi.

Jika nilai-nilai parameter disubtitusikan ke bilangan reproduksi dasar, maka diperoleh nilai $R_0 = 1.380703927$. Berdasarkan Gambar 3, terlihat proporsi balita rentan (*susceptible balita*) mengalami penurunan. Hal ini dapat disebabkan karena banyaknya individu balita rentan yang terinfeksi penyakit diare akibat adanya kontak langsung dengan *feces* penderita penyakit diare. Kenaikan proporsi dewasa rentan dapat disebabkan karena masuknya individu dari kelas balita rentan yang tumbuh menjadi indivisu dewasa maupun balita rentan yang ketika sembuh sudah tergolong kelas dewasa rentan. Untuk proporsi balita terinfeksi (*infected* balita) mengalami penurunan, hal ini dapat disebabkan karena semakin berkurangnya individu pada kelas balita rentan. Sebaliknya, proporsi dewasa terinfeksi (*infected* dewasa) semakin lama semakin meningkat, ini dapat disebabkan karena individu pada kelas dewasa rentan semakin meningkat pula. Hal ini menunjukkan untuk nilai $R_0 > 1$, maka penyakit diare semakin lama akan semakin menyebar dalam populasi dewasa.

KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

1. Model matematika SIS merupakan salah satu model yang digunakan untuk menganalisis perilaku sistem di sekitar titik kesetimbangan. Berdasarkan model yang telah diperoleh, didapatkan titik kesetimbangan bebas penyakit yaitu

$$E_0\left(\hat{s}_b,\hat{i}_b,\hat{s}_d,\hat{i}_d\right)=\left(\frac{(2\mu+\varepsilon)-\sqrt{\varepsilon^2+4\mu\varepsilon}}{2\mu},0,\frac{-\varepsilon+\sqrt{\varepsilon^2+4\mu\varepsilon}}{2\mu},0\right)$$

2. Titik kesetimbangan bebas penyakit stabil asimtotik lokal jika bilangan reproduksi dasar kurang dari satu. Hal ini dapat terjadi saat parameter laju kesembuhan lebih kecil dibandingkan parameter laju kontak jika nilai parameter yang lain dianggap fix. Artinya, untuk jangka waktu tertentu penyakit diare akan menghilang dari populasi. Sementara itu, titik kesetimbangan bebas penyakit tidak stabil saat bilangan reproduksi dasarnya lebih dari satu. Hal ini dapat terjadi saat parameter laju kesembuhan lebih besar dibandingkan parameter laju kontak jika nilai parameter yang lain dianggap fix, sehingga untuk jangka waktu tertentu penyebaran penyakit diare akan meningkat pada populasi.

B. Saran

Untuk pembahasan selanjutnya dapat dibahas mengenai titik kesetimbangan bebas penyakit balita tetapi endemik dewasa, titik kesetimbangan untuk kasus bebas penyakit dewasa tetapi endemik balita, dan titik kesetimbangan untuk kasus endemik di kedua populasi.

DAFTAR PUSTAKA

[1] WHO. 2013. Diarrhoeal Disease. Diakses dari http:// www. Who .int /mediacentre / factsheeet/en/. Pada tanggal 20 Februari 2016.

[2] Departemen Kesehatan Republik Indonesia. 2014. *Profil Kesehatan Indonesia 2013*. Jakarta: Kementrian Kesehatan Republik Indonesia.

[3] Chaturvedi, Ojaswita, dkk. 2013. SIRS Model For The Dynamics Of Non-Typhoidal Salmonella Epidemics.*International Journal of Computational Research. Vol.03.Issue.10.*

[4] Braueer, Fred, dkk. 2008. *Mathematical Epidemiology: Mathematical Biosciences Subseries*. Berlin: Springer-Verlag Berlin Heidelberg.

[5] Wiggins, Stephen. 2003. *Introduction to Applied Nonlinear Dynamical System and Chaos: Second Edition.* New York: Springer-Verlag.