



MODEL SUSCEPTIBLE VACCINATED INFECTED TREATMENT RECOVERED DENGAN PENGARUH SANITASI PADA PENYEBARAN PENYAKIT MENULAR (KASUS CAMPAK DI INDONESIA)

¹⁾Elfadea Satiti, ²⁾Purnami Widyaningsih, ³⁾Ririn Setiyowati
^{1,2,3)} Universitas Sebelas Maret
lfadasatiti1@student.uns.ac.id

Received :
27/08/2022

Accepted :
02/10/2022

Published :
10/01/2022

Abstract

Measles is an infectious disease caused by Paramyxovirus group. The spread of measles can be represented in susceptible infected recovered (SIR) model. Kemenkes RI conducted a measles/MR vaccination program to achieve the target of Indonesia-free-measles in 2030. Measles treatment is done by giving vitamin A. In this study, SVITR model was constructed with the effect of sanitation then we applied it to measure the measles cases in Indonesia. Data used are annual data from 2009-2019. The graph of the solution model for the years 2009-2030 in Indonesia shows that the number of individuals S, V, I, and T individuals has a downward trend. On the other hand, the number of R individuals is an upward trend. The relative error obtained is on the interval $[-0.942920, 0.339577]$. Based on the graph of the solution model, we predict that there are 42 measles cases in 2030. It shows that the target of Indonesia-free-measles cannot be achieved. Based on the simulations parameters, if the contact rate reduced to 90%, the proportion constant is increased to 30%, the sanitation rate constant is increased to 55%, then it is predicted Indonesia will be measles free in 2030. Moreover, if the number of susceptible individuals receiving vaccines is increased to 10%, then it is predicted Indonesia will be measles free in 2030.

Keywords: Measles, Vaccination, Sanitation, Treatment, SVITR, Measless Free

Abstrak

Campak merupakan penyakit menular yang disebabkan oleh virus golongan Paramyxovirus. Penyebaran penyakit campak direpresentasikan dalam model susceptible infected recovered (SIR). Pencegahan penyakit campak dilakukan melalui sanitasi dan program vaksinasi. Kementerian Kesehatan RI melakukan program vaksinasi campak/MR untuk mencapai target Indonesia bebas campak di tahun 2030. Pengobatan campak dengan pemberian vitamin A. Pada penelitian ini, dikonstruksi model SVITR dengan pengaruh sanitasi yang diterapkan pada kasus campak di Indonesia. Data yang digunakan berupa data tahunan 2009-2019. Grafik penyelesaian model untuk tahun 2009-2030 di Indonesia menunjukkan banyaknya individu S, V, I, T mengalami trend turun. Sebaliknya, banyaknya individu R mengalami trend naik. Error relatif yang diperoleh berada di interval $[-0,942920, 0,339577]$. Berdasarkan grafik penyelesaian model tersebut, diprediksi pada tahun 2030 masih terdapat 42 kasus campak sehingga target bebas campak belum tercapai. Berdasarkan simulasi parameter, jika laju kontak diturunkan sampai 90%, konstanta proporsi ditingkatkan sampai 33%, konstanta tingkat sanitasi ditingkatkan sampai 55% maka diprediksi Indonesia telah bebas campak di tahun 2030. Selain itu, jika banyaknya individu rentan yang mendapatkan vaksin ditingkatkan sampai 10%, diprediksi Indonesia telah bebas campak di tahun 2030.

Kata Kunci: Campak, Vaksinasi, Sanitasi, Pengobatan, SVITR, Bebas Campak

1. Pendahuluan

Campak merupakan penyakit menular yang disebabkan virus golongan *Paramyxovirus*. Gejalanya diawali dengan demam, batuk, mata merah/berair, ruam kulit dan hidung berair. Campak dapat ditularkan melalui udara yang telah terkontaminasi

droplet penderita campak yang batuk, bersin, meludah dan terhirup individu lain. Penyakit ini bersifat fatal karena menyebabkan kematian.

Di tahun 2019, terdapat 1822 individu terinfeksi campak di Indonesia (WHO, 2021). Jika individu yang sehat tetapi rentan terinfeksi campak maka individu tersebut dikatakan individu *susceptible*. Jika individu bergejala demam, batuk, mata merah/berair, ruam kulit dan hidung berair maka individu tersebut dikatakan terinfeksi campak (*infected*). Individu yang terinfeksi campak dapat sembuh dan memperoleh kekebalan permanen (*recovered*). Hal tersebut dapat direpresentasikan dalam model *susceptible infected recovered* (SIR) yang dikembangkan oleh Hethcote (2000).

Penyakit menular dapat dicegah dengan sanitasi (Hethcote, 2000) dan program vaksinasi. Kategori rumah tangga yang mempunyai sanitasi layak adalah mempunyai fasilitas buang air besar, kloset leher angsa, dan tangki septik sebagai tempat pembuangan akhir (Badan Pusat Statistik, 2015). Pada tahun 2019 terjadi peningkatan populasi rumah tangga yang mempunyai sanitasi layak yakni 77.39% lebih banyak dari tahun 2018 sebesar 69.27% (Badan Pusat Statistik, 2019). Codeeço (2005) mengkonstruksikan model SIR dengan memerhatikan sanitasi. Kementerian Kesehatan RI melakukan program vaksinasi campak/*measles rubella* (MR) untuk mencapai target Indonesia bebas campak di tahun 2030. Liu *et al.* (2008) mengkonstruksikan model *susceptible vaccinated infected recovered* (SVIR) dengan menambahkan kelompok individu yang telah divaksin (*vaccinated*). Kematian karena penyakit diperhatikan Islam dalam model SVIR (Islam, 2015). Model SVIR juga dikonstruksikan oleh Widyaningsih *et al.* (2020) dengan memerhatikan efektivitas vaksin.

Pengobatan campak dilakukan melalui pemberian vitamin A (Kemenkes RI, 2020). Pemberian vitamin A kepada individu terinfeksi campak dapat menghambat infeksi campak dan mengurangi jumlah kematian karena campak (Munasir, 2000). Sacrifice *et al.* (2015) mengkonstruksikan model *susceptible infected treatment recovered* (SITR) dengan menambahkan kelompok individu yang mendapatkan pengobatan (*treatment*). Pada penelitian ini, dikonstruksi model *susceptible vaccinated infected treatment recovered* (SVITR) dengan pengaruh sanitasi pada penyebaran penyakit menular. Model tersebut diterapkan pada kasus campak di Indonesia berdasarkan kasus tahun 2009-2019. Dari hasil penerapan tersebut, ditentukan apakah target Indonesia bebas campak di tahun 2030 dapat tercapai. Apabila belum tercapai, dilakukan simulasi parameter untuk menentukan nilai parameter yang menyebabkan target Indonesia bebas campak tercapai di tahun 2030.

2. Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode studi literatur yang terdiri dari dua bagian yaitu data penelitian dan langkah penelitian.

2.1. Data Penelitian

Data penelitian yang digunakan berupa data sekunder tahunan dari Badan Pusat Statistik (BPS, 2015; BPS, 2021), Pusat Data dan Informasi Kementerian Kesehatan RI (Pusdatin Kemenkes RI, 2009-2019), *World Health Organization (WHO, 2021)*, dan *World Bank (World Bank, 2021; World Bank, 2021)* tahun 2009-2019.

2.2. Langkah Penelitian

Langkah-langkah penelitian ini sebagai berikut: mengidentifikasi karakteristik penyakit campak, mengkonstruksikan model *SVITR* dengan pengaruh sanitasi, menentukan estimasi parameter, menentukan nilai awal kelompok individu S, V, I, T, R pada penyakit campak di Indonesia, menentukan penyelesaian pendekatan model yang diperoleh dengan metode Runge-Kutta orde empat, menggambar *scatter plot* penyelesaian model tersebut, melakukan interpretasi terhadap target bebas campak di Indonesia, dan melakukan simulasi parameter.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Model *SIR*

Hethcote mengkonstruksikan model *SIR* pada tahun 2000 (Hethcote, 2000). Dalam model *SIR* (Hethcote, 2000), populasi diasumsikan konstan sebesar N tanpa migrasi. Populasi konstan berakibat pada banyaknya kelahiran diasumsikan seimbang dengan banyaknya kematian yang dinotasikan μ . Individu lahir diasumsikan sebagai individu sehat tetapi rentan terinfeksi penyakit. Jika μ adalah laju kelahiran maka banyaknya kelahiran sebesar μN . Dengan demikian banyaknya individu kelompok S bertambah sebesar μN . Kematian terjadi di kelompok individu S, I , dan R sehingga banyaknya kematian pada kelompok individu S, I , dan R berturut-turut sebesar $\mu S, \mu I$, dan μR . Dengan demikian banyaknya individu kelompok S, I , dan R berkurang sebesar $\mu S, \mu I$, dan μR . Individu S dapat terinfeksi penyakit setelah kontak dengan individu I . Jika β adalah laju kontak maka banyaknya individu S yang terinfeksi sebesar $\beta \frac{SI}{N}$. Dengan demikian, banyaknya individu kelompok I bertambah sebesar $\beta \frac{SI}{N}$. Individu I dimungkinkan sembuh dan memperoleh kekebalan permanen. Jika γ adalah laju kesembuhan maka banyaknya individu I yang sembuh sebesar γI . Dengan demikian,

banyaknya individu kelompok I berkurang sebesar γI dan banyaknya individu kelompok R bertambah sebesar γI . Model SIR menurut Hethcote (2000) dikonstruksi sebagai

$$\begin{aligned}\frac{dS}{dt} &= \mu N - \beta \frac{SI}{N} - \mu S, \\ \frac{dI}{dt} &= \beta \frac{SI}{N} - \gamma I - \mu I, \\ \frac{dR}{dt} &= \gamma I - \mu R,\end{aligned}\tag{1}$$

dengan $S(0) \geq 0$, $I(0) > 0$, $R(0) \geq 0$. Parameter μ , β , dan γ berturut-turut adalah laju kelahiran/laju kematian, laju kontak, dan laju kesembuhan.

3.2. Model $SVIR$ dengan Pengaruh Sanitasi

Pada penelitian ini, model SIR (1) digunakan sebagai dasar konstruksi model $SVIR$ dengan pengaruh sanitasi. Berbeda dengan model (1), pada penelitian ini, populasi diasumsikan tidak konstan tanpa migrasi. Jika laju kelahiran dalam model (1) yang semula μ diubah menjadi θ maka banyaknya kelahiran bertambah sebesar θN . Dengan demikian, banyaknya individu kelompok S bertambah sebesar θN . Berbeda dengan model (1), Guimaraens dan Codeeço (2005) mengkonstruksikan model SIR dengan pengaruh sanitasi. Mengacu pada Guimaraens dan Codeeço (2005), pengaruh sanitasi terhadap penyebaran penyakit menular direpresentasikan dalam fungsi $c(H) = \beta - \omega H$ dengan ω merupakan konstanta proporsi yang bernilai $0 < \omega < \beta$ dan H merupakan konstanta tingkat sanitasi yang bernilai $0 \leq H \leq 1$. Jika $c(H)$ adalah laju kontak dengan pengaruh sanitasi maka banyaknya individu kelompok S yang terinfeksi sebesar $c(H) \frac{SI}{N}$. Dengan demikian, banyaknya individu kelompok S berkurang sebesar $c(H) \frac{SI}{N}$ dan banyaknya individu kelompok I bertambah sebesar $c(H) \frac{SI}{N}$.

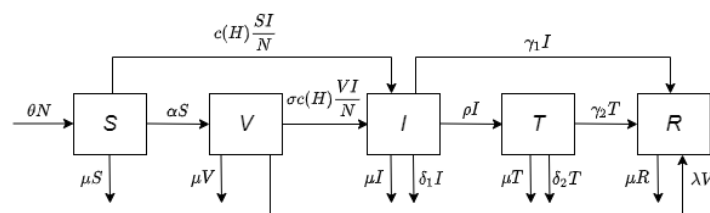
Penyebaran penyakit menular dapat dicegah dengan program vaksinasi. Liu *et al.* (2008) mengkonstruksikan model $SVIR$ dengan menambahkan kelompok individu V . Pada model $SVIR$ Liu *et al.* (2008), diperhatikan strategi vaksinasi. Sasaran vaksinasi adalah kelompok individu S . Jika α adalah laju vaksinasi maka banyaknya individu kelompok S yang telah divaksin sebesar αS . Dengan demikian, banyaknya individu kelompok V bertambah sebesar αS dan banyaknya individu kelompok S berkurang sebesar αS . Individu V dimungkinkan terinfeksi penyakit. Jika σ adalah laju kegagalan vaksin maka banyaknya individu kelompok V yang mengalami kegagalan vaksin sebesar $\sigma c(H) \frac{VI}{N}$. Dengan demikian, banyaknya individu kelompok V berkurang sebesar $\sigma c(H) \frac{VI}{N}$ dan banyaknya individu kelompok I bertambah sebesar $\sigma c(H) \frac{VI}{N}$. Berbeda

dengan Widyaningsih *et al.* (2020), pada penelitian ini, individu V yang telah memperoleh efektivitas vaksin akan memperoleh kekebalan dikarenakan masa efektivitas vaksinnya belum berakhir. Jika λ adalah laju efektivitas vaksin maka banyaknya individu kelompok V yang memperoleh efektivitas vaksin sebesar λV . Dengan demikian, banyaknya individu kelompok V berkurang sebesar λV dan banyaknya individu kelompok R bertambah sebesar λV .

Penanganan penyakit menular dilakukan melalui pengobatan. Sacrifice *et al.* (2015) mengkonstruksikan model *SITR* dengan menambahkan kelompok individu T . Jika ρ adalah laju pengobatan maka banyaknya individu kelompok I yang melakukan pengobatan sebesar ρI . Dengan demikian, banyaknya individu kelompok T bertambah sebesar ρI dan banyaknya individu kelompok I berkurang sebesar ρI . Terjadi kematian karena pengobatan pada kelompok individu T . Sama dengan Büyüktaktın *et al.* (2018), pada penelitian ini, diperhatikan kematian karena pengobatan pada kelompok individu T . Jika δ_2 adalah kematian karena pengobatan maka banyaknya individu kelompok T yang mengalami kematian karena pengobatan sebesar $\delta_2 T$. Dengan demikian, banyaknya individu kelompok T berkurang sebesar $\delta_2 T$.

Individu T yang telah sembuh memperoleh kekebalan permanen. Jika γ_2 adalah laju kesembuhan karena pengobatan maka banyaknya individu kelompok T yang sembuh karena pengobatan sebesar $\gamma_2 T$. Dengan demikian, banyaknya individu kelompok T berkurang sebesar $\gamma_2 T$ dan banyaknya individu R bertambah sebesar $\gamma_2 T$. Berbeda dengan Side *et al.* (2016), namun sama dengan Sacrifice *et al.* (2015), individu I dapat sembuh tanpa melalui pengobatan. Notasi parameter laju kesembuhan pada model (1) diubah menjadi γ_1 yang menyatakan laju kesembuhan alami.

Penyakit menular dapat menyebabkan kematian. Terjadi kematian alami dan kematian karena penyakit (Islam, 2015). Jika μ adalah laju kematian alami maka banyaknya individu kelompok S , V , I , T , dan R yang mengalami kematian alami sebesar μS , μV , μI , μT , dan μR . Dengan demikian, banyaknya individu kelompok S , V , I , T , dan R berkurang sebesar μS , μV , μI , μT , dan μR . Jika δ_1 adalah laju kematian karena penyakit maka banyaknya individu kelompok I yang mengalami kematian karena penyakit sebesar $\delta_1 I$. Dengan demikian, banyaknya individu kelompok I berkurang sebesar $\delta_1 I$. Dinamika populasi model *SVITR* dengan pengaruh sanitasi ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Dinamika populasi model SVITR dengan pengaruh sanitasi

Berdasarkan dinamika pada Gambar 1. model SVITR dengan pengaruh sanitasi dikonstruksi sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 \frac{dS}{dt} &= \theta N - c(H) \frac{SI}{N} - (\mu + \alpha) S, \\
 \frac{dV}{dt} &= \alpha S - \sigma c(H) \frac{VI}{N} - (\mu + \lambda) V, \\
 \frac{dI}{dt} &= c(H) \frac{SI}{N} + \sigma c(H) \frac{VI}{N} - (\rho + \gamma_1 + \mu + \delta_1) I, \\
 \frac{dT}{dt} &= \rho I - (\gamma_2 + \delta_2 + \mu) T, \\
 \frac{dR}{dt} &= \lambda V + \gamma_2 T + \gamma_1 I - \mu R,
 \end{aligned} \tag{2}$$

dengan $S(0) \geq 0$, $V(0) \geq 0$, $I(0) > 0$, $T(0) \geq 0$, $R(0) \geq 0$ dan parameter $\theta, \beta, \mu, \delta_1, \delta_2, \alpha, \sigma, \lambda, \rho, \gamma_1$, dan $\gamma_2 > 0$. Sebelas parameter tersebut adalah laju kelahiran, laju kontak, laju kematian alami, laju kematian karena penyakit, laju kematian karena pengobatan, laju vaksinasi, laju kegagalan vaksin, laju efektivitas vaksin, laju pengobatan, laju kesembuhan alami, dan laju kesembuhan karena pengobatan. Model (2) berupa sistem persamaan diferensial nonlinear orde satu dengan variabel terikat S, V, I, T, R , dan variabel bebas t .

3.3. Penerapan

Model (2) diterapkan pada kasus campak di Indonesia. Sebelum menentukan estimasi nilai parameter, terlebih dahulu menentukan estimasi banyaknya individu masing-masing kelompok berdasarkan data yang diperoleh (BPS, 2015; BPS, 2021; Pusdatin Kemenkes RI, 2009-2019; WHO, 2021; World Bank, 2021; World Bank, 2021). Setelah itu, ditentukan estimasi nilai sebelas parameter dengan data tahun 2009-2017. Hasil estimasi parameter $\theta = 0,019820$, $\mu = 0,006519$, $\beta = 1,195412$, $\sigma = 0,000621$, $\alpha = 0,042352$, $\lambda = 0,98$ (CDC, 2021), $\rho = 0,118309$, $\gamma_1 = 0,881488$, $\gamma_2 = 0,996743$, $\delta_1 = 0,000269$, $\delta_2 = 0,003257$, dan konstanta $H = 0,5$, serta $\omega = 0,3$. Sebelas parameter dan dua konstanta tersebut disubstitusi ke model (2) sehingga diperoleh model SVITR dengan pengaruh sanitasi pada penyebaran campak di Indonesia

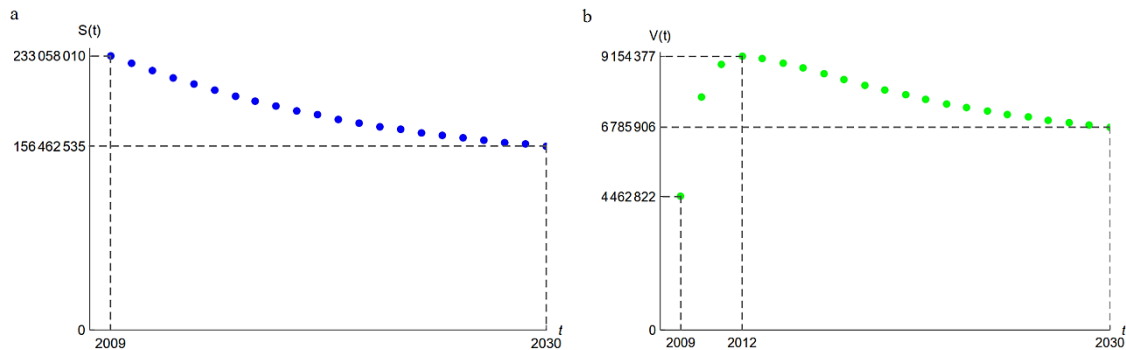
$$\frac{dS}{dt} = 0,019820 N - 1,045412 \frac{SI}{N} - (0,048871) S,$$

$$\begin{aligned}
\frac{dV}{dt} &= 0,042352 S - 0,000649 \frac{VI}{N} - (0,986519) V, \\
\frac{dI}{dt} &= 1,045412 \frac{SI}{N} + 0,000649 \frac{VI}{N} - (1,006585) I, \\
\frac{dT}{dt} &= 0,118309 I - (1,006519) T, \\
\frac{dR}{dt} &= 0,98 V + 0,996743 T + 0,881488 I - 0,006519 R,
\end{aligned} \tag{3}$$

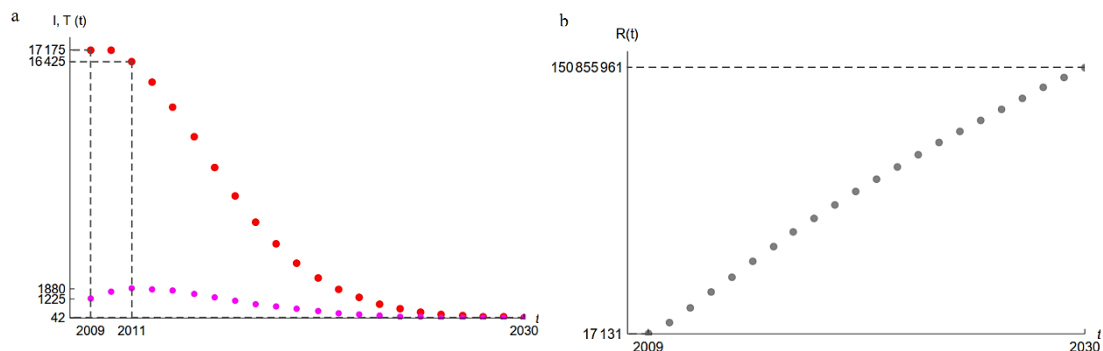
dengan $S(0) \geq 0$, $V(0) \geq 0$, $I(0) > 0$, $T(0) \geq 0$, $R(0) \geq 0$. Model (3) diberi nilai awal yang mengacu pada banyaknya individu S , V , I , T , dan R di tahun 2009 (BPS, 2015; Pusdatin Kemenkes RI, 2009; WHO, 2021; World Bank, 2021; World Bank, 2021), yaitu

$$\begin{aligned}
S(0) &= 233058010, & V(0) &= 4462822, \\
I(0) &= 17175, & T(0) &= 1225, & R(0) &= 17131. \tag{4}
\end{aligned}$$

Penyelesaian model (3) dengan nilai awal (4) ditentukan dengan penyelesaian pendekatan menggunakan metode Runge-Kutta orde empat. Nilai eror relatif model (3) pada masing-masing kelompok individu S , V , I , T dan R berada pada interval $[-0,942920, 0,339577]$. Oleh karena itu, model (3) digunakan untuk menentukan 22 tahun pertama (2009-2030), banyaknya individu kelompok S , V , I , T dan R . Grafik penyelesaian pendekatan sistem masalah nilai awal direpresentasikan dalam *scatter plot*. *Scatter plot* tersebut ditunjukkan pada gambar 1. (a), gambar 1. (b) , gambar 2. (a), dan gambar 2. (b) yang menunjukkan pola penyebaran campak di Indonesia.



Gambar 2. (a) *scatter plot* banyaknya individu kelompok S (biru) tahun 2009-2030; (b) *scatter plot* banyaknya individu kelompok V (hijau) tahun 2009-2030.



Gambar 3. (a) *scatter plot* banyaknya individu kelompok I (merah) dan T (ungu) tahun 2009-2030; (b) *scatter plot* banyaknya individu kelompok R (abu-abu) tahun 2009-2030.

Berdasarkan Gambar 2. (a), Gambar 2. (b), Gambar 3. (a), dan Gambar 3. (b), banyaknya individu kelompok S , V , I , dan T mengalami *trend* turun, sebaliknya banyaknya individu kelompok R mengalami *trend* naik.

Berdasarkan Gambar 2. (a), banyaknya individu kelompok S mengalami penurunan hingga tahun 2030 dari 233058010 individu menjadi 156462535 individu. Berdasarkan Gambar 2. (b), banyaknya individu kelompok V mengalami kenaikan pada tahun 2009-2012 dari 4462822 individu menjadi 9154377 individu, sedangkan tahun 2013-2030 mengalami penurunan menjadi 6785906 individu. Berdasarkan Gambar 3. (a), banyaknya individu kelompok I mengalami penurunan hingga tahun 2030 dari 17175 individu menjadi 42 individu. Berdasarkan Gambar 3. (a), banyaknya individu kelompok T mengalami penurunan hingga tahun 2030 dari 1225 individu menjadi 9 individu. Berbeda dengan banyaknya individu kelompok S , V , I , dan T , berdasarkan Gambar 3. (b), banyaknya individu kelompok R mengalami kenaikan hingga tahun 2030 dari 17131 individu menjadi 150855961 individu. Karena diprediksi tahun 2030 masih terdapat kasus campak (42 individu terinfeksi campak), target Indonesia bebas campak belum tercapai.

3.4. Simulasi

Target Indonesia bebas campak belum tercapai sehingga perlu dilakukan simulasi parameter untuk mengetahui nilai parameter yang menyebabkan target Indonesia bebas campak dicapai tahun 2030. Nilai laju kontak (β) dapat diturunkan dengan cara membatasi kontak dengan individu terinfeksi campak. Nilai laju vaksinasi (α) dapat ditingkatkan dengan cara memperbanyak jumlah individu rentan yang mendapat vaksin. Begitu juga nilai konstanta proporsi (ω) dan konstanta tingkat sanitasi (H) dapat ditingkatkan dengan cara menaikkan pengaruh sanitasi terhadap kontak dengan individu terinfeksi. Berdasarkan hal tersebut, pada penelitian ini dilakukan simulasi terhadap laju kontak (β), laju vaksinasi (α), konstanta proporsi (ω) dan konstanta tingkat sanitasi (H).

Pada penelitian ini, terdapat dua perlakuan simulasi. Pertama, dengan menurunkan parameter laju kontak (β), meningkatkan konstanta proporsi (ω), meningkatkan konstanta tingkat sanitasi (H), dan parameter lainnya tetap. Kedua, meningkatkan parameter laju vaksinasi (α) dan parameter lainnya tetap.

Nilai parameter β yang awalnya 1,195412 diturunkan menjadi 0,9 , 1,0 , dan 1,1. Nilai konstanta ω yang awalnya 0,3 dinaikkan menjadi 0,31 , 0,32 , dan 0,33. Kemudian, nilai konstanta H yang awalnya 0,5 dinaikkan menjadi 0,51, 0,53 , dan 0,55. Ketiga nilai tersebut disimulasikan dengan nilai parameter lainnya tetap. Banyaknya individu I pada hasil simulasi terhadap parameter laju kontak (β), konstanta proporsi (ω), konstanta tingkat sanitasi (H) dan parameter lainnya tetap hingga tahun 2030 ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Banyaknya individu I pada hasil simulasi laju kontak (β), konstanta proporsi (ω), konstanta tingkat sanitasi (H) hingga tahun 2030

Tahun	β = 1,195412 ω = 0,3 H = 0,5	β = 1,1 ω = 0,31 H = 0,51	β = 1,0 ω = 0,32 H = 0,53	β = 0,9 ω = 0,33 H = 0,55
2021	1852	699	245	85
2025	401	118	32	8
2030	42	9	2	0

Berdasarkan Tabel 2 terlihat bahwa dengan menurunkan nilai parameter laju kontak (β) menjadi 0,9, menaikkan konstanta proporsi (ω) ditingkatkan menjadi 0,33, konstanta tingkat sanitasi (H) ditingkatkan menjadi 0,55, dan parameter lainnya tetap, diprediksi tidak ada individu yang terinfeksi campak di Indonesia tahun 2030. Artinya, dengan mengurangi nilai parameter laju kontak sampai 90%, meningkatkan nilai konstanta proporsi sampai 33%, meningkatkan nilai konstanta tingkat sanitasi sampai 55%, diprediksi Indonesia telah bebas campak di tahun 2030.

Nilai parameter α yang semula 0,042352 dinaikkan menjadi 0,06 , 0,08 , dan 0,1. Nilai tersebut disimulasikan dengan nilai parameter lainnya tetap. Banyaknya individu I pada hasil simulasi parameter laju vaksinasi (α) dan parameter lainnya tetap hingga tahun 2030 ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Banyaknya individu I pada hasil simulasi laju vaksinasi (α) hingga tahun 2030

Tahun	α = 0,042352	α = 0,06	α = 0,08	α = 0,1
2021	1852	813	360	177
2025	401	112	33	12
2030	42	6	1	0

Berdasarkan Tabel 3 terlihat bahwa dengan meningkatkan parameter laju vaksinasi (α) menjadi 0,1 dan parameter lainnya tetap, diprediksi tidak ada individu yang terinfeksi campak di Indonesia tahun 2030. Artinya, dengan meningkatkan nilai laju vaksinasi sampai 10%, diprediksi Indonesia telah bebas campak di tahun 2030.

4. Kesimpulan

Pada penelitian ini menggunakan model *SIR* yang dikonstruksikan oleh Hethcote (Hethcote, 2000). Pada penelitian ini menambahkan pengaruh sanitasi terhadap model dan menambahkan individu kelompok *V* serta *T*. Model *SVITR* dengan pengaruh sanitasi dituliskan sebagai model (2). Model *SVITR* dengan pengaruh sanitasi pada penyebaran kasus campak di Indonesia direpresentasikan dalam model (3). Error relatif *S*, *V*, *I*, *T* dan *R* berada pada interval $[-0,942920, 0,339577]$. Banyaknya individu kelompok *S*, *V*, *I* dan *T* mengalami *trend* turun, sebaliknya banyaknya individu kelompok *R* mengalami *trend* naik. Berdasarkan penyelesaian yang diperoleh, diprediksi target Indonesia bebas campak belum tercapai di tahun 2030. Jika laju kontak diturunkan sampai 90%, konstanta proporsi ditingkatkan sampai 33%, konstanta tingkat sanitasi ditingkatkan sampai 55% maka diprediksi Indonesia telah bebas campak di tahun 2030. Selain itu, jika banyaknya individu rentan yang mendapatkan vaksi ditingkatkan sampai 10%, diprediksi Indonesia telah bebas campak di tahun 2030.

5. Ucapan Terima Kasih

Penelitian ini didanai oleh RKAT PTNBH Universitas Sebelas Maret TA 2021 melalui skema penelitian hibah grup riset (penelitian hgr-uns) dengan Nomor Kontrak: 260/UN27.22/HK.07.0//0/2021. Untuk itu, penulis mengucapkan terima kasih kepada institusi UNS dan khususnya LPPM.

Pustaka

- BPS. (2015). “Statistik 70th Tahun Indonesia Merdeka”. Jakarta: Badan Pusat Statistik.
- BPS. (2019). Proporsi Populasi Penduduk yang Memiliki Akses Terhadap Layanan Sanitasi Layak dan Berkelanjutan Menurut Provinsi 2015-2017. Diakses 2 Januari 2021, <https://www.bps.go.id/indicator/29/1270/2/proporsi-populasi-penduduk-yang-memiliki-akses-terhadap-layanan-sanitasi-layak-dan-berkelanjutan-menurut-daerah-tempat-tinggal.html>.
- Büyükahtakın, E., des-Bordes, E. & Kılış, E. Y. (2018). A new epidemics–logistics model: Insights into controlling the Ebola virus disease in West Africa. *European Journal of Operational Research*, 265(3), 1046-1063.
- CDC. (2021). Epidemiology and Prevention of Vaccine-Preventable Diseases. Diakses 2 Januari 2021, <https://www.cdc.gov/vaccines/pubs/pinkbook/meas.html>.
- Hethcote, H. W. (2000), The Mathematics of Infectious Disease. *Society for Industrial and Applied Mathematics*, 42(4), 599-653.
- Guimaraens, M. A., & Codeço, C. T. (2005). Experiments with mathematical models to simulate hepatitis a population dynamics under different levels of endemicity. *Cad. Saúde Pública*, 21(5), 1531-1539.

- Islam, S. (2015). Equilibriums and Stability of SVIR Epidemic Models. *International Journal of Humanities, Arts, Medicine, and Science*, 3(1) 1-10.
- Kemenkes RI. (2020). “Pedoman Surveilans Campak-Rubela”. Jakarta: Direktorat Surveilans dan Karantina Kesehatan.
- Liu, X., Takeuchi, Y., & Iwami, S. (2008). SVIR Epidemic Models with Vaccination Strategies. *Journal of Theoretical Biology*, 253(1), 1-11.
- Munasir, Z. (2000). Pengaruh Suplementasi Vitamin A terhadap Campak. *Sari Pediatri*, 2(2), 72-76.
- Pusat Data dan Informasi (Pusdatin) Kemenkes RI. (2009-2019). “Profil Kesehatan Indonesia”. Jakarta: Kementerian Kesehatan Republik Indonesia.
- Sacrifice, N-K., Okyere, E., Frempong, N.K., Akindeinde, S.O., Ankamah, J.D-G., Agyen, J.K., & Adelia, D. (2015). An Sitr Analysis of Treatment Model of Hepatitis B Epidemic. *Mathematical Theory and Modeling*, 5(13), 120132.
- Side, S., Sanusi, W., & Setiawan, N. F. (2016). Analisis dan Simulasi Model Sitr pada Penyebaran Penyakit Tuberkulosis di Kota Makassar, *Jurnal Sainsmat*, 5(2), 191-204.
- Widyaningsih, P., Aryani, I. (2020). Model Susceptible Vaccinated Infected Recovered (SVIR) dan Penerapannya pada Penyakit Difteri di Indonesia. *Prosiding Seminar Nasional Matematika*.
- WHO. (2021). Country Slides Measles. Diakses 2 Januari 2021, <https://www.who.int/teams/immunization-vaccines-andbiologicals/immunization-analysis-and-insights/surveillance/monitoring/provisional-monthly-measles-and-rubella-data>.
- World Bank. (2021). Birth Rate, Crude. Diakses 2 Januari 2021, <https://data.worldbank.org/indicator/SP.DYN.CBRT.IN>.
- World Bank. (2021). Death Rate, Crude. Diakses 2 Januari 2021, <https://data.worldbank.org/indicator/SP.DYN.CDRT.IN>.

