



Model *Susceptible Vaccinated Infected Recovered* (SVIR) dan Penerapannya pada Penyakit Difteri di Indonesia

Ibra Aryani^{a,*}, Purnami Widyaningsih^b

^{a,b} Program Studi Matematika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Sebelas Maret, Jl. Ir. Sutami No 36A Kentingan, Surakarta 57126, Indonesia

* Alamat Surel: ibraaryani@student.uns.ac.id

Abstrak

Difteri adalah penyakit menular berbahaya yang disebabkan oleh *Corynebacterium diphtheriae*. Menurut *World Health Organization*, pada tahun 2018 Indonesia adalah negara keempat di dunia yang memiliki kasus difteri terbanyak dengan 1026 kasus. Tujuan penelitian ini adalah mengkonstruksi model SVIR, menerapkan model tersebut pada penyakit difteri di Indonesia, dan menginterpretasikannya. Setiap individu yang sehat memiliki kemungkinan yang sama terinfeksi difteri, sehingga rentan terinfeksi difteri (*susceptible*). Individu yang terinfeksi difteri (*infected*) dapat sembuh dengan pengobatan yang sesuai (*recovered*). Untuk mencegah penyebaran penyakit difteri, Kementerian Kesehatan Republik Indonesia melakukan program vaksinasi Difteri Pertusis Tetanus (DPT). Upaya tersebut dilakukan untuk mencapai target bebas difteri tahun 2030 yang tertulis dalam dokumen *The 2030 Agenda for Sustainable Development*. Individu yang mendapatkan vaksin (*vaccinated*) adalah individu sehat namun rentan terinfeksi difteri. Dengan demikian, penyebaran penyakit difteri secara matematika dapat direpresentasikan sebagai model *susceptible vaccinated infected recovered* (SVIR). Model tersebut merupakan sistem persamaan diferensial nonlinear order satu. Penyelesaian model tersebut menunjukkan pola penyebaran penyakit. Selanjutnya model tersebut diterapkan pada penyakit difteri di Indonesia. Berdasarkan grafik penyelesaian, pada tahun 2030 masih terdapat kasus difteri, sehingga target bebas difteri belum tercapai. Simulasi parameter model dilakukan untuk mengetahui upaya yang dapat menunjukkan penurunan banyaknya kasus difteri di Indonesia.

Kata kunci:

SVIR, difteri, vaksinasi, bebas penyakit.

© 2020 Dipublikasikan oleh Jurusan Matematika, Universitas Negeri Semarang

1. Pendahuluan

Difteri adalah penyakit menular yang disebabkan oleh bakteri gram positif *Corynebacterium diphtheriae* strain toksin. Penyakit ini ditandai dengan adanya peradangan pada tempat infeksi, terutama pada selaput mukosa faring, laring, tonsil, hidung, dan kulit. Difteri merupakan penyakit berbahaya karena dapat menyebabkan tersumbatnya saluran pernapasan, peradangan dan kelumpuhan otot jantung, bahkan kematian. Difteri dapat dengan mudah menular jika individu kontak dengan penderita atau *carrier* melalui *droplet* (percikan ludah) dari batuk, bersin, muntah, kontak langsung dari lesi kulit, dan benda-benda yang terkena bakteri penyebab difteri. Semua kelompok usia dapat tertular penyakit ini, terutama anak-anak yang belum mendapat vaksinasi lengkap (Kementerian Kesehatan RI, 2017).

Menurut *World Health Organization* (WHO), pada tahun 2018 Indonesia merupakan negara keempat di dunia yang memiliki kasus difteri terbanyak dengan 1026 kasus. Banyaknya kasus tersebut meningkat dibanding dengan tahun 2017 dengan 954 kasus (WHO, 2019). Setiap individu yang sehat memiliki kemungkinan yang sama terinfeksi difteri, sehingga setiap individu sehat rentan terinfeksi difteri (*susceptible*). Jika individu yang mengalami gejala seperti demam, adanya pseudomembrane, hidung berair, bengkak di area leher, sakit saat menelan, dan kesulitan bernapas serta terbukti terinfeksi bakteri penyebab difteri maka individu tersebut dinyatakan terinfeksi difteri (*infected*). Individu yang terinfeksi difteri dapat sembuh dengan pengobatan yang sesuai (*removed*). Karakteristik tersebut secara matematika

To cite this article:

Aryani, I., & Widyaningsih, P. (2020). Model *Susceptible Vaccinated Infected Recovered* (SVIR) dan Penerapannya pada Penyakit Difteri di Indonesia. *PRISMA, Prosiding Seminar Nasional Matematika 3*, 156-162

dapat direpresentasikan dengan model *susceptible infected recovered (SIR)* yang pertama kali dikenalkan oleh Kermack dan McKendrick (1927) dan dikembangkan oleh Hethcote (1989).

Program vaksinasi Difteri Pertusis Tetanus (DPT) dilakukan oleh Kementerian Kesehatan Republik Indonesia untuk mencegah penyebaran penyakit difteri di Indonesia. Kegiatan vaksinasi tambahan juga dilakukan di daerah yang mengalami Kejadian Luar Biasa (KLB) difteri yang disebut dengan *Outbreak Response Immunization (ORI)* (Kementerian Kesehatan RI, 2017). Upaya tersebut dilakukan untuk mencapai target bebas penyakit menular (*communicable disease*) pada tahun 2030 sebagaimana tertulis dalam dokumen *Transforming Our World: The 2030 Agenda for Sustainable Development* sebagai salah satu pelaksanaan pencapaian Tujuan Pembangunan Berkelanjutan (TPB) (Peraturan Presiden Republik Indonesia Nomor 59 Tahun 2017). Vaksin DPT diberikan kepada bayi usia 2, 3, dan 4 bulan (Kementerian Kesehatan RI, 2017). Sehingga individu yang mendapatkan vaksin (*vaccinated*) adalah individu sehat namun rentan terinfeksi difteri. Dengan demikian model *SIR* dengan memperhatikan program vaksinasi yang telah diteliti oleh Liu *et al.* (2008) serta Saputro & Widyarningsih (2016) dikembangkan menjadi model *susceptible vaccinated infected recovered (SVIR)*.

Pada penelitian Duan *et al.* (2014), model *SVIR* yang ditelitinya memperhatikan usia vaksin. Sedangkan pada penelitian Peralta *et al.* (2015) kekebalan yang dimiliki individu yang diperoleh dari vaksin adalah bervariasi, tergantung usia vaksin. Seiring waktu, individu yang mendapat vaksin DPT dimungkinkan menjadi rentan terinfeksi kembali karena vaksin tersebut tidak memberikan kekebalan seumur hidup. Menurut Kementerian Kesehatan Republik Indonesia RI (2017), setiap individu dianjurkan mengulang kembali vaksinasinya setiap 10 tahun. Hal tersebut menunjukkan bahwa vaksin DPT memiliki masa efektivitas vaksin selama 10 tahun. Menurut Pusat Data dan Informasi Kementerian Kesehatan RI (2008-2018) dari total kasus difteri, ternyata terdapat individu yang terinfeksi difteri namun telah mendapat vaksin DPT. Hal tersebut disebut dengan kegagalan vaksin yang dapat disebabkan karena kesalahan prosedur pemberian vaksin, jadwal vaksinasi yang tidak tepat, kesalahan pada sistem kekebalan individu, dan lain-lain. Dengan demikian diperoleh model *SVIR* dengan memperhatikan kematian karena penyakit, masa efektivitas vaksin, dan kegagalan vaksin. Pada penelitian ini, dikonstruksikan model *SVIR*. Kemudian model tersebut diterapkan pada penyakit difteri di Indonesia dan diinterpretasi. Selanjutnya dilakukan simulasi terhadap parameter model untuk mengetahui upaya yang dapat berpengaruh pada penurunan banyaknya kasus difteri di Indonesia.

2. Metode

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah studi literatur. Dalam metode ini dibagi menjadi dua bagian. Bagian pertama adalah data penelitian, sedangkan bagian kedua adalah langkah penelitian.

2.1. Data penelitian

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data sekunder. Data tersebut merupakan data tahunan yang diperoleh dari Pusat Data dan Informasi Kementerian Kesehatan RI (2008-2018) dan *World Bank* (2019) tahun 2008-2018. Dari Pusat Data dan Informasi Kementerian Kesehatan RI diperoleh data estimasi jumlah penduduk, jumlah lahir hidup, angka kelahiran kasar, jumlah bayi yang telah mendapat vaksin DPT, banyaknya kasus difteri, banyaknya individu yang mengalami kematian karena difteri, banyaknya individu yang mengalami kegagalan vaksin. Sedangkan dari *World Bank* diperoleh data *Crude Death Rate (CDR)*.

2.2. Langkah penelitian

Langkah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

- Mengidentifikasi karakteristik penyakit difteri dari penyebaran, pencegahan, dan penanggulangannya.
- Mengubah serta menambah asumsi dan parameter model dasar *SIR*.
- Menambah kelompok individu *V* menjadi model *SVIR* kemudian menambah asumsi dan parameter model tersebut.
- Menentukan hubungan atau laju perubahan sesaat antar variabel berdasarkan asumsi dan parameter.
- Menentukan nilai parameter.
- Menentukan kondisi awal kelompok individu *S*, *V*, *I*, dan *R* pada penyakit difteri di Indonesia.
- Menggambar grafik penyelesaian model *SVIR* terhadap waktu.

- Menentukan keterkaitan antara penyelesaian model dengan target bebas difteri tahun 2030.
- Melakukan simulasi pada parameter yang memiliki pengaruh dalam penurunan banyaknya kasus difteri.
- Menginterpretasi hasil penerapan model pada penyakit difteri di Indonesia.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Model SIR

Model dasar *SIR* pertama kali diperkenalkan oleh Kermack dan McKendrick (1927) dan kemudian dikembangkan oleh Hethcote (1989). Dalam model tersebut populasi dibagi menjadi tiga kelompok individu yaitu kelompok individu sehat namun rentan terinfeksi penyakit (*susceptible/S*), kelompok individu terinfeksi penyakit (*infected/I*), dan kelompok individu sembuh serta memiliki kekebalan (*recovered/R*). Asumsi dasar yang digunakan pada model tersebut adalah sebagai berikut.

- Hanya terdapat satu penyakit dalam populasi.
- Populasi konstan.
- Individu yang lahir diasumsikan sehat namun rentan terinfeksi penyakit.
- Populasi berinteraksi secara homogen.

Populasi diasumsikan konstan sebesar N dengan tidak ada faktor migrasi, sehingga laju kelahiran dan kematian bernilai sama yaitu μ . Individu yang lahir diasumsikan sehat namun rentan terinfeksi penyakit, sehingga individu tersebut merupakan individu S . Banyaknya kelahiran adalah μN sehingga banyaknya individu kelompok S bertambah sebesar μN . Pada kelompok individu S, I, R terdapat kematian sehingga banyaknya individu kelompok S, I, R berturut-turut berkurang sebesar $\mu S, \mu I, \mu R$. Individu S dapat terinfeksi penyakit setelah melakukan kontak dengan individu I . Jika β menyatakan laju kontak maka banyaknya individu kelompok S berkurang sebesar $\beta \frac{SI}{N}$ dan banyaknya individu kelompok I bertambah sebesar $\beta \frac{SI}{N}$. Individu I dimungkinkan untuk sembuh dan memiliki kekebalan. Jika γ menyatakan laju kesembuhan maka banyaknya individu kelompok I berkurang sebesar γI dan banyaknya individu kelompok R bertambah sebesar γI . Dengan demikian, model *SIR* menurut Hethcote (1989) dapat ditulis sebagai

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

dengan $S(0) \geq 0, I(0) > 0, R(0) \geq 0$ dan $\mu, \beta, \gamma > 0$. Ketiga parameter tersebut berturut-turut adalah laju kelahiran atau kematian, laju kontak, dan laju kesembuhan. Model (1) merupakan sistem persamaan diferensial nonlinear order satu.

3.2. Model SVIR

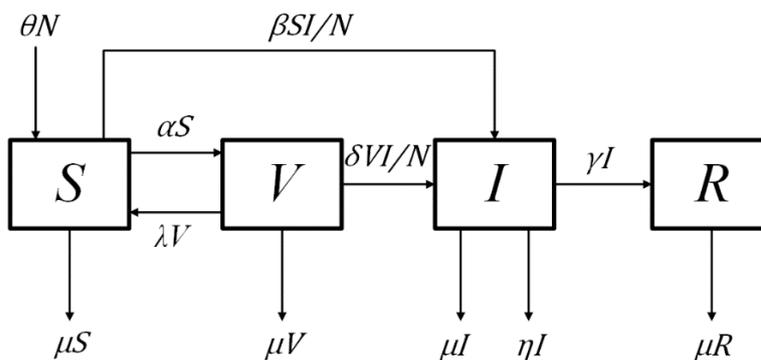
Model *SIR* diperkenalkan Hethcote (1989) dengan populasi konstan. Pada penelitian ini, populasi diasumsikan tidak konstan dengan tidak ada faktor migrasi, sehingga laju kelahiran berbeda dengan laju kematian. Jika θ menyatakan laju kelahiran maka banyaknya kelahiran yang semula sebesar μN berubah menjadi sebesar θN .

Difteri merupakan penyakit berbahaya karena dapat menyebabkan kematian. Dengan memperhatikan hal tersebut, pada penelitian ini kematian dibedakan menjadi dua yaitu kematian karena penyakit dan kematian alami. Jika η menyatakan laju kematian karena penyakit maka banyaknya individu kelompok I berkurang sebesar ηI . Jika μ menyatakan kematian alami maka banyaknya masing-masing individu kelompok S, I, R berkurang sebesar $\mu S, \mu I, \mu R$. Dengan demikian dengan menambah asumsi dan parameter pada model *SIR* (1) diperoleh model (2) yang dapat ditulis sebagai

$$\begin{aligned}\frac{dS}{dt} &= \theta N - \mu S - \beta \frac{SI}{N}, \\ \frac{dI}{dt} &= -\mu I + \beta \frac{SI}{N} - \gamma I - \eta I,\end{aligned}$$

$$\frac{dR}{dt} = -\mu R + \gamma I. \quad (2)$$

Vaksinasi merupakan upaya pencegahan penyebaran penyakit. Liu *et al.* (2008) mengembangkan model *SIR* menjadi model *SVIR* dengan memperhatikan program vaksinasi. Dalam model tersebut, individu yang mendapatkan vaksin dikategorikan ke dalam kelompok individu *vaccinated* (*V*). Pada individu kelompok *V* terdapat kematian alami, sehingga banyaknya individu kelompok *V* berkurang sebesar μV . Vaksin biasanya diberikan kepada bayi usia tertentu. Dengan memperhatikan hal tersebut bayi yang baru lahir digolongkan sebagai individu *S*. Sehingga individu yang mendapat vaksin adalah individu *S*. Jika α menyatakan laju vaksinasi maka banyaknya individu kelompok *S* berkurang sebesar αS dan banyaknya individu kelompok *V* bertambah sebesar αS . Beberapa vaksinasi memiliki masa efikasi tertentu yang efektif mencegah penyakit selama jangka waktu tertentu. Hal tersebut menunjukkan bahwa vaksin tidak sepenuhnya memberikan kekebalan seumur hidup. Oleh karena itu, individu yang divaksin dimungkinkan menjadi rentan kembali terhadap infeksi penyakit. Jika λ menyatakan laju efektivitas vaksin maka banyaknya individu kelompok *V* berkurang sebesar λV dan individu kelompok *S* bertambah sebesar λV . Gagal vaksin dapat terjadi apabila terjadi kesalahan prosedur pemberian vaksin, jadwal vaksinasi yang tidak tepat, kesalahan pada sistem kekebalan individu, dan lain-lain. Sehingga individu tersebut merupakan individu yang mendapatkan vaksin namun jika terjadi kontak dengan individu *I* maka individu tersebut akan terinfeksi penyakit. Hal tersebut disebut sebagai kegagalan vaksin. Jika δ menyatakan laju kegagalan vaksin maka banyaknya individu *V* berkurang sebesar $\delta \frac{VI}{N}$ dan banyaknya individu *I* bertambah sebesar $\delta \frac{VI}{N}$. Selanjutnya dinamika populasi model *SVIR* yang merupakan proses perubahan banyaknya individu masing-masing kelompok ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Dinamika populasi model *SVIR*.

Dengan demikian diperoleh model *susceptible vaccinated infected recovered* (*SVIR*) yaitu

$$\begin{aligned} \frac{dS}{dt} &= \theta N - \mu S - \beta \frac{SI}{N} - \alpha S + \lambda V, \\ \frac{dV}{dt} &= -\mu V + \alpha S - \lambda V - \delta \frac{VI}{N}, \\ \frac{dI}{dt} &= -\mu I + \beta \frac{SI}{N} - \gamma I - \eta I + \delta \frac{VI}{N}, \\ \frac{dR}{dt} &= -\mu R + \gamma I, \end{aligned} \quad (3)$$

dengan $S(0) \geq 0$, $V(0) \geq 0$, $I(0) > 0$, $R(0) \geq 0$ dan $\theta, \mu, \beta, \gamma, \eta, \alpha, \lambda, \delta > 0$. Kedelapan parameter tersebut berturut-turut menyatakan laju kelahiran, laju kematian alami, laju kontak, laju kesembuhan, laju kematian karena penyakit, laju vaksinasi, laju efektivitas vaksin, laju kegagalan vaksin. Model (3) merupakan sistem persamaan diferensial nonlinear order satu. Perubahan sesaat banyaknya individu kelompok *S*, *V*, *I*, dan *R* dinyatakan dengan $\frac{dS}{dt}$, $\frac{dV}{dt}$, $\frac{dI}{dt}$, dan $\frac{dR}{dt}$. Penyelesaian dari model (3) adalah banyaknya individu pada masing-masing kelompok individu pada waktu *t*. Sehingga pola penyebaran penyakit ditentukan berdasarkan penyelesaian model *SVIR*.

3.3. Penerapan model *SVIR* pada penyakit difteri di Indonesia

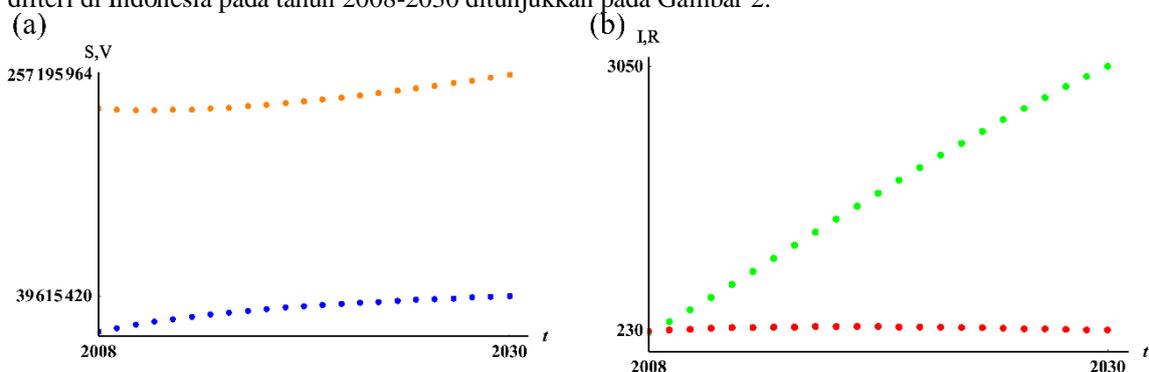
Model (3) diterapkan pada penyakit difteri di Indonesia. Data yang digunakan merupakan data tahunan yang diperoleh dari Pusat Data dan Informasi Kementerian Kesehatan RI (2008-2018) dan *World Bank* (2019) tahun 2008-2018. Data tersebut digunakan untuk mengestimasi parameter model. Sehingga diperoleh nilai estimasi laju kelahiran (θ) sebesar 0.019000, laju kematian alami (μ) sebesar 0.007115, laju kontak (β) sebesar 0.655348, laju kesembuhan (γ) sebesar 0.558782, laju kematian karena penyakit (η) sebesar 0.020565, laju vaksinasi (α) sebesar 0.019242, laju efektivitas vaksin (λ) sebesar 0.100000, laju kegagalan vaksin (δ) sebesar 0.000048. Masing-masing nilai parameter disubstitusi ke model (3) sehingga diperoleh model *SVIR* pada penyakit difteri di Indonesia yaitu

$$\begin{aligned}\frac{dS}{dt} &= 0.019000N - 0.007115S - 0.655348\frac{SI}{N} - 0.019242S + 0.100000V, \\ \frac{dV}{dt} &= -0.007115V + 0.019242S - 0.100000V - 0.000048\frac{VI}{N}, \\ \frac{dI}{dt} &= -0.007115I + 0.655348\frac{SI}{N} - 0.558782I - 0.020565I + 0.000048\frac{VI}{N}, \\ \frac{dR}{dt} &= -0.007115R + 0.558782I.\end{aligned}\quad (4)$$

Model (4) merupakan sistem persamaan diferensial nonlinear order satu yang penyelesaiannya sulit ditentukan. Oleh karena itu, ditentukan penyelesaian pendekatan menggunakan algoritme Runge-Kutta orde empat. Nilai awal yang digunakan mengacu pada banyaknya individu kelompok S , V , I , R pada tahun 2008. Berdasarkan data, diperoleh nilai awal yaitu

$$S(0) = 224081587, V(0) = 44441339, I(0) = 219, R(0) = 197. \quad (5)$$

Selanjutnya, menggunakan algoritme Runge-Kutta orde empat dan $h = 1$ ditentukan penyelesaian model (4) dengan nilai awal (5). Penyelesaian tersebut adalah banyaknya individu pada masing-masing kelompok yang menunjukkan pola penyebaran penyakit difteri di Indonesia. Pola penyebaran penyakit difteri di Indonesia pada tahun 2008-2030 ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. (a) Banyaknya individu kelompok S (oranye) dan V (biru);
(b) banyaknya individu kelompok I (merah) dan R (hijau).

Berdasarkan Gambar 2 terlihat banyaknya individu kelompok S , V , R mengalami peningkatan setiap tahunnya. Sedangkan banyaknya individu kelompok I mengalami peningkatan hingga tahun 2018, kemudian mengalami penurunan hingga 230 individu pada tahun 2030.

3.4. Interpretasi dan simulasi hasil penerapan model *SVIR* pada penyakit difteri di Indonesia

Berdasarkan hasil penerapan model *SVIR* pada penyakit difteri di Indonesia, pada tahun 2030 menunjukkan bahwa banyaknya individu yang sehat namun rentan terinfeksi difteri, individu yang mendapatkan vaksin DPT, individu yang sembuh dari difteri mengalami peningkatan. Sedangkan individu yang terinfeksi difteri mengalami peningkatan hingga tahun 2018, kemudian mengalami penurunan hingga terdapat 230 individu pada tahun 2030 yang menunjukkan bahwa target bebas difteri di Indonesia belum tercapai.

Untuk mempercepat penurunan banyaknya penderita difteri, dapat dilakukan dengan memperbanyak penerima vaksin DPT dan mengurangi kontak dengan penderita difteri. Oleh karena itu dilakukan simulasi terhadap laju vaksinasi (α) dan laju kontak (β). Simulasi dilakukan dengan dua perlakuan, yaitu α berubah-ubah dan parameter lainnya tetap, dan β berubah-ubah dan parameter lainnya tetap. Banyaknya Individu I hasil simulasi sampai tahun 2030 ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Banyaknya individu I sampai tahun 2030 hasil simulasi parameter α dan β

| Parameter | α | | | β | | |
|-----------|----------|------|-----|---------|------|------|
| | Tahun | 0.25 | 0.5 | 0.75 | 0.25 | 0.5 |
| 2008 | 219 | 219 | 219 | 219 | 219 | 219 |
| 2017 | 23 | 8 | 5 | 9 | 73 | 592 |
| 2022 | 4 | 1 | 0 | 1 | 36 | 874 |
| 2024 | 2 | 0 | 0 | 1 | 27 | 1006 |
| 2025 | 1 | 0 | 0 | 0 | 23 | 1077 |
| 2028 | 0 | 0 | 0 | 0 | 14 | 1314 |
| 2030 | 0 | 0 | 0 | 0 | 11 | 1493 |

Dari Tabel 1, terlihat bahwa jika nilai α ditingkatkan sampai dengan 0.75 maka pada tahun 2022 Indonesia telah bebas difteri. Sedangkan jika nilai β terus dikurangi sampai bernilai 0.25 maka banyaknya penderita difteri di Indonesia akan berkurang secara signifikan, sehingga pada tahun 2025 Indonesia bebas difteri.

4. Simpulan

Model SVIR ditunjukkan pada persamaan (3). Model tersebut merupakan sistem persamaan diferensial nonlinear order satu. Pola penyebaran penyakit difteri di Indonesia menunjukkan bahwa pada rentang tahun 2008-2030 banyaknya individu sehat namun rentan terinfeksi difteri, individu yang mendapat vaksin DPT, dan individu yang sembuh dari difteri terus mengalami peningkatan setiap tahunnya. Sedangkan individu yang terinfeksi difteri mengalami peningkatan hingga tahun 2018, kemudian mengalami penurunan setiap tahunnya. Pada tahun 2030 terdapat 230 kasus difteri. Hal tersebut menunjukkan bahwa target bebas difteri di Indonesia belum tercapai. Jika 75% individu sehat namun rentan terinfeksi difteri mendapatkan vaksin maka pada tahun 2022 Indonesia telah bebas difteri. Sedangkan jika kontak dengan penderita difteri dikurangi sampai 25% maka Indonesia telah bebas difteri pada tahun 2025.

Daftar Pustaka

- Duan, X., Yuan, S., & Li, X. (2014). Global Stability of an SVIR Model with Age of Vaccination. *Applied Mathematics and Computation*, 226, 528-540.
- Hethcote, H. W. (1989). Three Basic Epidemiological Models. *Applied Mathematical Ecology*, 18, 119-144.
- Kementerian Kesehatan RI. (2017). *Pedoman Pencegahan dan Pengendalian Difteri*. Jakarta: Direktorat Pencegahan dan Pengendalian Penyakit.
- Kermack, W. O., & McKendrick, A. G. (1927). A Contribution to the Mathematical Theory of Epidemics. *Proceedings of the Royal Society of London*, 115, 700-721.
- Liu, X., Takeuchi, Y., & Iwami, S. (2008). SVIR Epidemic Models with Vaccination Strategies. *Theoretical Biology*, 253, 1-11.
- Peralta, R. C., Vargas-De-Leon, C., & Miramontes, P. (2015). Global Stability Result in a SVIR Epidemic Model with Immunity Loss Rate Depending on the Vaccine-Age. *Abstract and Applied Analysis*, 226, 528-540.

- Peraturan Presiden Republik Indonesia Nomor 59 Tahun 2017 Tentang Pelaksanaan Pencapaian Tujuan Pembangunan Berkelanjutan.
- Pusat Data dan Informasi Kementerian Kesehatan RI. (2008-2018). *Profil Kesehatan Indonesia*. Jakarta: Kementerian Kesehatan Republik Indonesia.
- Saputro, S. A., & Widyaningsih, P. (2016). Program Vaksinasi Penyakit Campak di Indonesia melalui Model Susceptible Infected Recovered (SIR) dan Hasilnya. *Prosiding Seminar Matematika dan Pendidikan Matematika*. Surakarta.
- WHO. (2019). *Reported Cases of Selected Vaccine Preventable Disease (VPDs)*.
- World Bank. (2008-2018). *Birth and Death Rate, Crude*.