JOMTA
Journal of Mathematics: Theory and Applications
Vol. 4, No. 2, 2019, P-ISSN 2685-9653 e-ISSN 2722-2705

Pemodelan Matematika SEIRS pada Penyebaran Covid-19 dengan Penerapan Protokol Kesehatan (Studi Kasus di Kabupaten Bulukumba)

Muhammad Abdy [1], Syafruddin Side [2], Sopiyah [3]
[1, 2, 3] Program Studi Matematika, Universitas Negeri Makassar, Indonesia
e-mail: [1]muh.abdy@unm.ac.id

Abstrak. Tujuan dari kajian ini adalah untuk mengkonstruksi model SEIRS pada penyebaran Covid-19 di Kabupaten Bulukumba dengan mempertimbangkan penerapan protocol kesehatan. Analisis model menggunakan matriks next generasi untuk memperoleh bilangan reproduksi dasar dan kestabilan dari titik ekuilibrium model. Hasil simulasi menunjukkan bahwa penerapan protocol kesehatan yang efektif, yaitu lebih dari 21%, akan dapat menghambat laju penularan Covid-19 di Kabupaten Bulukumba.

Kata kunci: *Covid-19, Model SEIRS, Protokol kesehatan*.

Abstract. *The purpose of this study is to construct a SEIRS model on the spread of Covid-19 in Bulukumba Regency by considering the application of health protocols. The analysis of the model uses the next generation matrix to obtain the basic reproduction period and the stability of the equilibrium point of the model. The simulation results show that the implementation of an effective health protocol, which is more than 21%, will be able to inhibit the rate of transmission of Covid-19 in Bulukumba Regency.*

Keywords: *Covid-19, Health Protocol, SEIRS model.*

I. PENDAHULUAN

Covid-19 merupakan virus dengan penyakit menular serta kasus kematian tertinggi di dunia dengan waktu yang begitu cepat. Semenjak kemunculannya sangat membatasi aktivitas keseharian manusia. Terjangkit Covid-19 biasanya di tandai dengan flu, batuk, hilangnya indra perasa, serta masih banyak lainnya. Sampai pada tanggal 27 Juni 2020, 9.653.048 kasus yang sudah terkonfirmasi 491.128 meninggal dunia (WHO). Covid-19 dapat ditularkan dari manusia ke manusia (Susilo dkk, 2020). Penyebaran Covid-19 di Negara Indonesia 18 November 2021 telah tercatat 4.252.345 kasus, sembuh 4.100.321 orang dan meninggal 143.709 orang (Liputan 6, 2021). Sejak kasus pertama diumumkan, kasus positif Covid-19 di Negara Indonesia terus mengalami lonjakan. Mulai bulan Juni 2020 Indonesia sudah *new normal*. Pengertian *new normal* adalah melakukan aktivitas seperti kehidupan pada umumnya dengan ditambah menerapkan protokol kesehatan guna mencegah terjadinya penularan Covid-19 (Kemenkeu RI., 2020). Data pantauan Covid-19 di Kabupaten Bulukumba bulan November 2021 tercatat 1960 kasus, 1886 orang sembuh dan 70 orang meninggal (Bulukumba tanggap covid-19, 2021).

Beberapa peneliti telah mengkaji model penyebaran Covid-19 di Indonesia diantaranya penelitian Annas (2020) membahas tentang model SEIR pada penyebaran Covid-19 di Indonesia, Abdy (2021) mengkaji model SIR penyebaran Covid-19 di Indonesia dengan menggunakan parameter dalam bentuk bilangan fuzzy, dan penelitian Syafrida (2020) membahas tentang dampak dari Covid-19 hampir di setiap sektor kehidupan, ekonomi dan lainnya. Artikel ini membahas tentang pemodelan matematika SEIRS pada penyebaran Covid-19 dengan penerapan protokol kesehatan dan vaksinasi di Kabupaten Bulukumba. Pengambilan data penyebaran Covid-19 dengan penerapan protokol kesehatan dan vaksinasi pada tahun 2021 di Kabupaten Bulukumba, artikel ini bertujuan untuk membangun model matematika SEIRS pada penyebaran Covid-19 dengan penerapan protokol kesehatan dan vaksinasi di Kabupaten Bulukumba, menentuan titik ekuilibrium, mencari analisis kestabilan titik ekuilibrium, menentukan nilai bilangan reproduksi dasar (R_0), dan membuat simulasi model.

II. METODE PENELITIAN

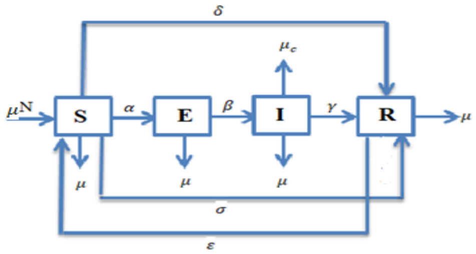
Metode yang digunakan untuk membangun model adalah model SEIRS dengan mempertimbangkan penerapan protocol kesehatan. Analisis model menggunakan metode matriks generasi untuk mendapatkan bilangan reproduksi dasar dan kestabilan model SEIRS pada penyebaran COVID-19.Simulasi numeric dari model menggunakan data pada penyebaran COVID-19 di Kabupaten Bulukumba.

Paramter efektivitas vaksinasi adalah dengan mengambil data tingkat vaksinasi, sedangkan tingkat kepatuhan dalam penerapan protokol kesehatan diasumsikan dalam simulasi ini.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Model SEIRS Penyebaran COVID-19

Model SEIRS pada penyebaran Covid-19 dengan penerapan protokol kesehatan dan vaksinasi, digambarkan pada bagan transmisi, seperti pada Gambar 1.



Gambar 1. Bagan model SEIRS penyebaran Covid-19 dengan pengaruh penerapan protocol kesehatan dan vaksinasi

Model tersebut dapat dinyatakan dalam sistem persamaan diferensial nonlinear berikut:

$$\frac{dS}{dt} = \theta + \varepsilon R - \delta S - \alpha SI - \sigma S - \mu S \quad (1)$$

$$\frac{dE}{dt} = \alpha SI - \mu E - \beta E \quad (2)$$

$$\frac{dI}{dt} = \beta E - \mu_c I - \gamma I - \mu I \quad (3)$$

$$\frac{dR}{dt} = \gamma I + \delta S + \sigma S - \mu R - \varepsilon R \quad (4)$$

Tabel 1. Variabel & parameter yang digunakan dalam model

Parameter	Keterangan
N	Jumlah populasi manusia
S	Jumlah populasi yang rentang terinfeksi
E	Jumlah populasi yang memperlihatkan gejala terinfeksi
I	Jumlah populasi yang terinfeksi
R	Jumlah populasi yang sembuh
α	Laju manusia berpotensi terinfeksi virus ke laju manusia memperlihatkan gejala terinfeksi virus.
β	Laju manusia memperlihatkan gejala terinfeksi virus ke laju manusia terinfeksi virus.
γ	Laju manusia terinfeksi virus ke laju manusia telah sembuh.
δ	Parameter vaksin
σ	Parameter protokol kesehatan
ε	Laju manusia telah sembuh ke laju manusia rentang terinfeksi virus
μ	Laju kelahiran/kematian dari populasi manusia.
μ_c	Laju kematian karena virus Covid-19.

Normalkan sistem persamaan (1) - (4) dengan memisalkan

$$s = \frac{S}{N}, e = \frac{E}{N}, i = \frac{I}{N}, r = \frac{R}{N}$$

Sehingga sistem dapat disederhanakan sebagai berikut:

$$\frac{ds}{dt} = \theta + \varepsilon r - \delta s - \alpha si - \sigma s - \mu s \quad (5)$$

$$\frac{de}{dt} = \alpha si - \mu e - \beta e \quad (6)$$

$$\frac{di}{dt} = \beta e - \mu_c i - \gamma i - \mu i \quad (7)$$

$$\frac{dr}{dt} = \gamma i + \delta s + \sigma s - \mu r - \varepsilon r \quad (8)$$

Analisis model SEIRS pada penyebaran Covid-19 dengan penerapan protokol kesehatan dan vaksinasi di Kabupaten Bulukumba sebagai berikut:

3.2 Titik Ekulibrium

Terdapat dua titik ekuilibrium pada model (5) – (8), titik ekuilibrium bebas penyakit (E_0) dan titik ekuilibrium endemic (E_1). Untuk menentukan kedua titik ekuilibrium tersebut , maka masing-masing persamaan disamakan dengan nol, yaitu $\frac{ds}{dt} = 0$, $\frac{de}{dt} = 0$, $\frac{di}{dt} = 0$ dan $\frac{dr}{dt} = 0$, sehingga:

$$\theta + \varepsilon r - \delta s - \alpha si - \sigma s - \mu s = 0 \quad (9)$$

$$\alpha si - \mu e - \beta e = 0 \quad (10)$$

$$\beta e - \mu_c i - \gamma i - \mu i = 0 \quad (11)$$

$$\gamma i + \delta s + \sigma s - \mu r - \varepsilon r = 0 \quad (12)$$

Maka titik ekulibrium untuk S, E, I dan R adalah sebagai berikut:

3.2.1 Titik Ekuilibrium bebas penyakit untuk model SEIRS

Titik ekuilibrium bebas penyakit adalah kondisi dimana tidak ada penyebaran Covid-19, yaitu $e = 0$ dan $i = 0$, sehingga diperoleh:

$$(s,e,i,r) = \left(\frac{\theta\mu}{\left((\mu+\varepsilon)(\delta+\sigma+\mu)-\varepsilon(\delta+\sigma)\right)}, 0, 0, \frac{\theta\mu(\delta+\sigma+\mu)-\theta\left((\mu)(\delta+\sigma+\mu)-\varepsilon(\delta+\sigma)\right)}{\left(\left((\mu+\varepsilon)(\delta+\sigma+\mu)-\varepsilon(\delta+\sigma)\right)\right)(\varepsilon)}\right) \quad (13)$$

3.2.2 Titik Ekuilibrium Endemik (E_1)

Titik ekuilibrium endemik atau terjadi penyakit adalah kondisi dimana kemungkinan terjadi penyebaran Covid-19, yaitu $s \neq 0, e \neq 0, i \neq 0, dan\ r \neq 0$, sehingga diperoleh titik ekuilibrium endemic sebagai berikut:

$$(s,e,i,r) = \left(\frac{(\mu+\beta)(\mu_c+\gamma+\mu)}{\alpha\beta}, \frac{\begin{array}{c}\left(\delta((\mu+\beta)(\mu_c+\gamma+\mu))+\sigma((\mu+\beta)(\mu_c+\gamma+\mu))\right)(\alpha\beta\varepsilon)\\ +\theta(\alpha\beta)\left((\alpha\beta)(\mu+\varepsilon)((\mu+\beta)(\mu_c+\gamma+\mu))\right)\left((\alpha\beta)(\mu+\varepsilon)((\mu+\beta)(\mu_c+\gamma+\mu))\right)(\mu_c+\gamma+\mu)\end{array}}{\beta\begin{pmatrix}(\alpha\beta)(\mu+\varepsilon)((\mu+\beta)(\mu_c+\gamma+\mu))\left((\delta+\sigma+\mu)\left((\alpha\beta)(\mu+\varepsilon)((\mu+\beta)(\mu_c+\gamma+\mu))\right)\right)\\ \left(\alpha i\left((\alpha\beta)(\mu+\varepsilon)((\mu+\beta)(\mu_c+\gamma+\mu))\right)-\gamma i(\alpha\beta)\right)\end{pmatrix}},\right.$$

$$\frac{\begin{array}{c}\left(\delta((\mu+\beta)(\mu_c+\gamma+\mu))+\sigma((\mu+\beta)(\mu_c+\gamma+\mu))\right)(\alpha\beta\varepsilon)\\ +\theta(\alpha\beta)\left((\alpha\beta)(\mu+\varepsilon)((\mu+\beta)(\mu_c+\gamma+\mu))\right)\left((\alpha\beta)(\mu+\varepsilon)((\mu+\beta)(\mu_c+\gamma+\mu))\right)\end{array}}{\begin{array}{c}(\alpha\beta)(\mu+\varepsilon)((\mu+\beta)(\mu_c+\gamma+\mu))\left((\delta+\sigma+\mu)\left((\alpha\beta)(\mu+\varepsilon)((\mu+\beta)(\mu_c+\gamma+\mu))\right)\right)\\ \left(\alpha i\left((\alpha\beta)(\mu+\varepsilon)((\mu+\beta)(\mu_c+\gamma+\mu))\right)-\gamma i(\alpha\beta)\right)\end{array}}$$

$$\left., \frac{(\mu+\beta)(\mu_c+\gamma+\mu)(\delta+\alpha i+\sigma+\mu)-\theta(\alpha\beta)}{(\alpha\beta)(\varepsilon)}\right) \quad (14)$$

3.3 Analisis Kestabilan

3.3.1 Analisis Kestabilan Model Di Titik Ekuilibrium Bebas Penyakit (E_0)

Berdasarkan persamaan (5) - (8) dapat ditentukan matris Jacobinya sebagai berikut:

$$J(E_0)=\begin{bmatrix}-\delta-\alpha i-\mu-\sigma & 0 & -\alpha s & \varepsilon\\ \alpha i & -\mu-\beta & \alpha s & 0\\ 0 & \beta & -\mu_c-\gamma-\mu & 0\\ \delta+\sigma & 0 & \gamma & -\varepsilon-\mu\end{bmatrix}$$

(15)

Selanjutnya ditentukan kestabilan model titik ekuilibrium bebas penyakit (E_0) sebagai berikut:

Subtitusi $i=0$ maka diperoleh

$$J(E_0)=\begin{bmatrix}-\delta-\mu-\sigma & 0 & -\alpha s & \varepsilon\\ 0 & -\mu-\beta & \alpha s & 0\\ 0 & \beta & -\mu_c-\gamma-\mu & 0\\ \delta+\sigma & 0 & \gamma & -\varepsilon-\mu\end{bmatrix}$$

$$(\lambda+\delta+\mu+\sigma)\left(\begin{vmatrix}\lambda+\mu+\beta & -\alpha s & 0\\ -\beta & \lambda+\mu_c+\gamma+\mu & 0\\ 0 & -\gamma & \lambda+\varepsilon+\mu\end{vmatrix}\right)+(-\delta-\sigma)\left(\begin{vmatrix}0 & \alpha s & -\varepsilon\\ \lambda+\mu+\beta & -\alpha s & 0\\ -\beta & \lambda+\mu_c+\gamma+\mu & 0\end{vmatrix}\right)=0$$

$$(\lambda+\delta+\mu+\sigma)(\lambda+\varepsilon+\mu)\big((\lambda+\mu+\beta)(\lambda+\mu_c+\gamma+\mu)-(\alpha\beta s)\big)+(-\delta-\sigma)(-\varepsilon)\big((\lambda+\mu+\beta)(\lambda+\mu_c+\gamma+\mu)-(\alpha\beta s)\big)=0$$

Sehingga persamaan karakteristiknya adalah:

$$k(\lambda)=\lambda^4+A\lambda^3+B\lambda^2+C\lambda+D$$

Syarat perlu dan cukup agar $k(\lambda)$ mempunyai nilai eigen dengan bilangan real yang negatif adalah sebagai berikut:

$$\mathrm{M}=\begin{bmatrix}A & C & 0 & 0\\ 1 & B & D & 0\\ 0 & A & C & 0\\ 0 & 1 & B & D\end{bmatrix}>0$$

- $|A|>0$

  $A>0$
- $\begin{vmatrix}A & C\\ 1 & B\end{vmatrix}>0$

  $AB-C>0$

  $AB>C$
- $\begin{vmatrix}A & C & 0\\ 1 & B & D\\ 0 & A & C\end{vmatrix}>0$

  $ABC-(C^2+A^2D)>0$
- $\begin{vmatrix}A & C & 0 & 0\\ 1 & B & D & 0\\ 0 & A & C & 0\\ 0 & 1 & B & D\end{vmatrix}>0$

$$A\begin{vmatrix}B & D & 0\\ A & C & 0\\ 1 & B & D\end{vmatrix}-C\begin{vmatrix}1 & D & 0\\ 0 & C & 0\\ 0 & B & D\end{vmatrix}+0\begin{vmatrix}1 & B & 0\\ 0 & A & 0\\ 0 & 1 & D\end{vmatrix}-0\begin{vmatrix}1 & B & D\\ 0 & A & C\\ 0 & 1 & B\end{vmatrix}>0$$

$$A\begin{vmatrix}B & D & 0\\ A & C & 0\\ 1 & B & D\end{vmatrix}-C\begin{vmatrix}1 & D & 0\\ 0 & C & 0\\ 0 & B & D\end{vmatrix}>0$$

$$A\begin{vmatrix}B & D & 0\\ A & C & 0\\ 1 & B & D\end{vmatrix}\begin{matrix}B & D\\ A & C\\ 1 & B\end{matrix}\Bigg|-C\begin{vmatrix}1 & D & 0\\ 0 & C & 0\\ 0 & B & D\end{vmatrix}\begin{matrix}1 & D\\ 0 & C\\ 0 & B\end{matrix}\Bigg|>0$$

Berdasarkan syarat di atas maka diperoleh nilai eigen negatif, sehingga dapat disimpulkan bahwa untuk bebas penyakit stabil berdasarkan kriteria Hurwitz.

3.3.2 Analisis Kestabilan Model di Titik Ekuilibrium Endemik (E_1)

Berdasarkan matriks Jakobi (15), ditentukan kestabilan model titik ekuilibrium endemik (E_1) sebagai berikut. Subtitusi $i\neq 0$ maka diperoleh:

$$\begin{bmatrix}-\delta-\alpha i-\mu-\sigma & 0 & -\alpha s & \varepsilon\\ \alpha i & -\mu-\beta & \alpha s & 0\\ 0 & \beta & -\mu_c-\gamma-\mu & 0\\ \delta+\sigma & 0 & \gamma & -\varepsilon-\mu\end{bmatrix}$$

$$(\lambda+\delta+\alpha i+\mu+\sigma)\left(\begin{vmatrix}\lambda+\mu+\beta & -\alpha s & 0\\ -\beta & \lambda+\mu_c+\gamma+\mu & 0\\ 0 & -\gamma & \lambda+\varepsilon+\mu\end{vmatrix}\right)+(-\delta-\sigma)\left(\begin{vmatrix}0 & \alpha s & -\varepsilon\\ \lambda+\mu+\beta & -\alpha s & 0\\ -\beta & \lambda+\mu_c+\gamma+\mu & 0\end{vmatrix}\right)=0$$

$$(\lambda+\delta+\alpha i+\mu+\sigma)(\lambda+\varepsilon+\mu)\big((\lambda+\mu+\beta)(\lambda+\mu_c+\gamma+\mu)-(\alpha\beta s)\big)+(-\delta-\sigma)(-\varepsilon)\big((\lambda+\mu+\beta)(\lambda+\mu_c+\gamma+\mu)-(\alpha\beta s)\big)=0$$

Persamaan karakteristiknya adalah:

$$l(\lambda)=\lambda^4+T\lambda^3+U\lambda^2+V\lambda+W$$

Syarat perlu dan cukup agar $k(\lambda)$ mempunyai nilai eigen dengan bilangan real yang negative:

$$\mathrm{N}=\begin{bmatrix}T & V & 0 & 0\\ 1 & U & W & 0\\ 0 & T & V & 0\\ 0 & 1 & U & W\end{bmatrix}>0$$

- $|T|>0$

  $T>0$
- $\begin{vmatrix}T & V\\ 1 & U\end{vmatrix}>0$

  $TU-V>0$

  $TU>V$
- $\begin{vmatrix}T & V & 0\\ 1 & U & W\\ 0 & T & V\end{vmatrix}>0$

  $TUV-(V2\ +\ T2W)>\ 0$

  $TUV-\ V^2\ -\ T^2W\ >\ 0$

  $TUV\ >\ V^2\ +\ T^2W$

- $\begin{vmatrix} T & V & 0 & 0 \\ 1 & U & W & 0 \\ 0 & T & V & 0 \\ 0 & 1 & U & W \end{vmatrix} > 0$

$$T\begin{vmatrix} U & W & 0 \\ T & V & 0 \\ 1 & U & W \end{vmatrix} - V\begin{vmatrix} 1 & W & 0 \\ 0 & V & 0 \\ 0 & U & W \end{vmatrix} +$$
$$0\begin{vmatrix} 1 & U & 0 \\ 0 & T & 0 \\ 0 & 1 & W \end{vmatrix} - 0\begin{vmatrix} 1 & U & W \\ 0 & T & V \\ 0 & 1 & U \end{vmatrix} > 0$$
$$T\begin{vmatrix} U & W & 0 \\ T & V & 0 \\ 1 & U & W \end{vmatrix} - V\begin{vmatrix} 1 & W & 0 \\ 0 & V & 0 \\ 0 & U & W \end{vmatrix} > 0$$
$$T\begin{vmatrix} U & W & 0 \\ T & V & 0 \\ 1 & U & W \end{vmatrix}\begin{matrix} U & W \\ T & V \\ 1 & U \end{matrix}\Bigg| -$$
$$V\begin{vmatrix} 1 & W & 0 \\ 0 & V & 0 \\ 0 & U & W \end{vmatrix}\begin{matrix} 1 & W \\ 0 & V \\ 0 & U \end{matrix}\Bigg| > 0$$
$$T\left(UVW - (TW^2)\right) - V(VW) > 0$$
$$TUVW - T^2W^2 - V^2W > 0$$
$$TUVW > T^2W^2 + V^2W$$

Berdasarkan syarat di atas maka diperoleh nilai eigen negatif, sehingga dapat disimpulkan bahwa untuk titik kesetimbangan endemik (tidak bebas penyakit) stabil berdasarkan kriteria Hurwitz.

3.4 Bilangan Reproduksi Dasar

Bilangan reproduksi dasar adalah ambang batas penularan suatu penyakit yang disebabkan oleh individu terinfeksi dalam suatu populasi yang semuanya rentan untuk terinfeksi, yang biasanya dilambangkan dengan (R_0). Dalam menentukan bilangan reproduksi dasar (R_0) persamaan yang digunakan adalah sistem persamaan (10) dan persamaan (11).

$$R_0 = \overline{F}\,\overline{V}^{-1} = 0$$
$$\frac{de}{dt} = \alpha si - \mu e - \beta e$$
$$\frac{di}{dt} = \beta e - \mu_c i - \gamma i - \mu i$$

Bilangan Reproduksi Dasar yang diperoleh adalah:

$$R_0 = \frac{\alpha\beta\theta\mu}{\left((\mu+\varepsilon)(\delta+\sigma+\mu)-\varepsilon(\delta+\sigma)\right)\left((\mu+\beta)(\mu_C+\gamma+\mu)\right)} \tag{16}$$

3.5 Simulasi Numerik model SEIRS pada penyebaran Covid-19 di Kabupaten Bulukumba

Simulasi numerik dilakukan dengan menggunakan nilai awal untuk N, S, E, I, seperti dalam Tabel 2, dan parameter-parameter seperti dalam Tabel 3.

Tabel 2. Nilai awal Model SEIRS penyebaran Covid-19 Kab. Bulukumba

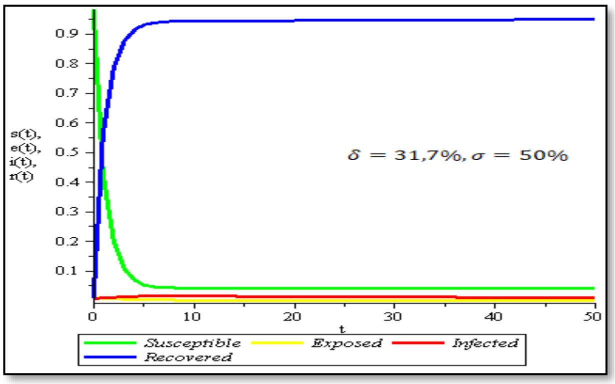
Variabel	Jumlah sampel	Jumlah sampel dalam bentuk proporsi	Sumber
N	338.594	1	Dinas Kesehatan Kab. Bulukumba
S	332.659	0,9822	Dinas Kesehatan Kab. Bulukumba
E	3.000	0,0088	Dinas Kesehatan Kab. Bulukumba
I	1.391	0,0041	Dinas Kesehatan Kab. Bulukumba
R	1.544	0,0045	Dinas Kesehatan Kab. Bulukumba

Tabel 3. Nilai Parameter Model SEIRS Penyebaran Covid-19 Kab. Bulukumba

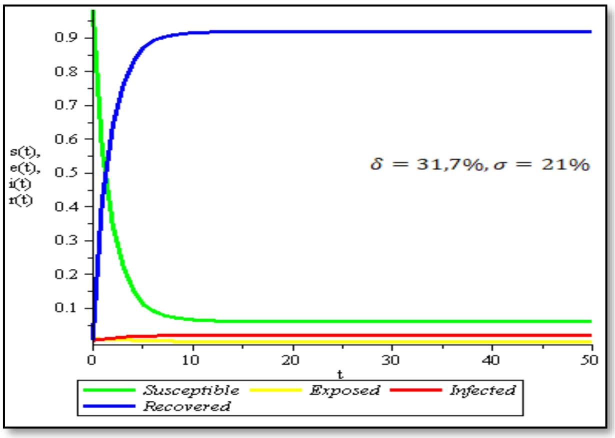
Parameter	Nilai	Sumber
α	0,6200	Annas, (2020)
β	0,4659	Dinas Kesehatan Kab. Bulukumba
γ	0,0010	Abdy,(2021)
δ	0,3170	Dinas Kesehatan Kab. Bulukumba
ε	0,00004	Dinas Kesehatan Kab. Bulukumba
μ_c	0,0001	Dinas Kesehatan Kab. Bulukumba
μ	0,0354	https://sippa.ciptaarya.pu.go.id
θ	0,0354	https://sippa.ciptaarya.pu.go.id

Tabel 4. Nilai R0 penyebaran Covid-19 untuk beberapa tingkat efektivitas protocol kesehatan

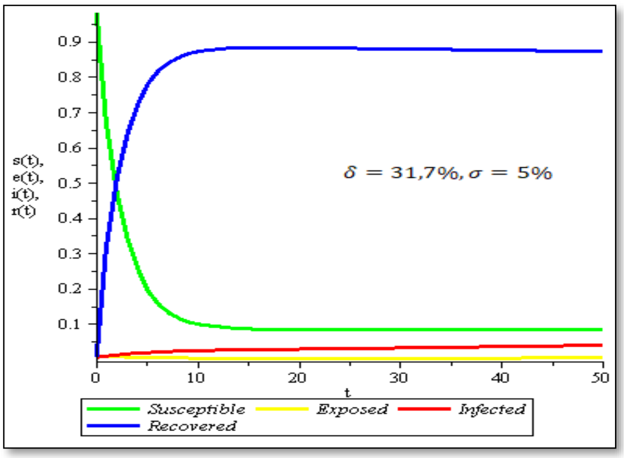
Simulasi	σ	R_0
1	5%	1,38866
2	21%	1,01044
3	50%	0,65483



Gambar 2. Grafik Model SEIRS Covid-19 untuk nilai σ=50%



Gambar 3.. Grafik Model SEIRS Covid-19 untuk nilai σ=21%



Gambar 4. Grafik Model SEIRS Covid-19 untuk nilai σ=5%

Berdasarkan Tabel 4 dan Gambar 2, Gambar 3, dan Gambar 4, terlihat bahwa dengan keefektifan protocol kesehatan sebesar 50%, diperoleh nilai R_0 sebesar 0,65483, yang berarti bahwa Covid-19 tidak akan muncul lagi dalam populasi. Demikian juga, pada saat keefektifan penerapan protokol kesehatan sebesar 21% maka Covid-19 cenderung akan menghilang dalam populasi. Akan tetapi, jika keefektifan penerapan protokol kesehatan hanya sekitar 5%, maka Covid-19 akan tetap menjadi endemik

IV. KESIMPULAN

Suatu kajian menggunakan model SEIRS pada penyebaran Covid-19 di Kabupaten Bulukumba dengan mempertimbangkan penerapan protokol kesehatan dan vaksinasi telah dilakukan. Parameter keefektifan vaksin yang digunakan adalah persentase vaksinasi yang diperoleh dari data yang tersedia, sedangkan nilai keefektifan penerapan protokol kesehatan diasumsikan dalam simulasi. Berdasarkan hasil simulasi memperlihatkan bahwa penerapan protokol kesehatan sangat berpengaruh dalam mencegah penyebaran Covid-19 di kabupaten Bulukumba.

REFERENSI

Abdy, M. (2021). An SIR epidemic model for COVID-19 spread with fuzzy parameter: the case of Indonesia, Advances in Difference Equations, (2021): 105, 1 – 17.

Annas, S. (2020). Stability analysis and numerical simulation of SEIR model for pandemic COVID-19 spread in Indonesia, *Chaos, Solitons and Fractals*, *139*. 1-7.

Bulukumba tanggap covid-19. (17 November 2021). Data Pantauan COVID-19 di Kabupaten Bulukumba. *http://covid19.bulukumbakab.go.id/*. diakses pada tanggal 18 November 2021.

Kemenkeu RI. (9 Juni 2020). New Normal di Tengah Pandemi Covid-19, Kementrian Keuangan Republik Indonesia. *https://www.djkn.kemenkeu.go.id/kpknl-sidempuan/baca-artikel/13169/New-Normal-di-Tengah-Pandemi-Covid-19.html*. diakses pada tanggal 10 November 2021.

Liputan 6. (18 November 2021). Update Covid-19 per 18 November 2021: Positif 4.252.345, Sembuh 4.100.321, Meninggal 143.709. *https://www.liputan6.com/news/read/4714283/update-covid-19-per-18-november-2021-positif-4252345-sembuh-4100321-meninggal-143709*. diakses pada tanggal 19 November 2021.

Susilo, A., Rumende, C. M., Pitoyo, C. W., Santoso, W. D., Yulianti, M., Kurniawan, H., Sinto, R., Singh, G., Nainggolan, L., Nelwan, E. J., Chen, L. K., Widhani, A., Wijaya, E., Wicaksana, B., Maksum, M., Annisa, F., Jasirwan, C. O. M., & Yunihastuti, E. (2020). Coronavirus disease 2019: Tinjauan literatur terkini. *Jurnal Penyakit Dalam Indonesia*, *7(1)*. 45–67.

Syafrida, & Hartati, R. (2020). Bersama Melawan Virus Covid 19 di Indonesia. *Jurnal Sosial & Budaya Syar-i*, *7(6)*. 495–508.

Yurniwati. (2019). *Pembelajaran Aritmatika di Sekolah Dasar*. Bandung: Remaja Rosdakarya.