

Solusi Numerik Model SIRV Penyebaran Covid-19 Dengan Menggunakan Metode Runge-Kutta Di Kabupaten Pinrang

Syafruddin Side

Jurusan Matematika, FMIPA, Universitas Negeri Makassar, syafruddin@unm.ac.id

Irwan

Jurusan Matematika, FMIPA, Universitas Negeri Makassar, irwanthaha@unm.ac.id

Nurul Syahirah

Mahasiswa Jurusan Matematika, FMIPA, Universitas Negeri Makassar, nurulsyahirah4410@gmail.com

Andi Muh.Ridho Yusuf SAP

Mahasiswa S2 Jurusan Matematika, FMIPA, Universitas Negeri Makassar, ridhographicdesigner@gmail.com

ABSTRAK, Penelitian ini bertujuan untuk memprediksi penyebaran Covid-19 di Kabupaten Pinrang dengan menggunakan metode Runge-Kutta Orde Empat. Model Matematika penyebaran Covid-19 berbentuk persamaan diferensial yang mencakup variabel S (*Susceptible*), I (*Infected*), R (*Recovered*) dan V (*Vaccine*) sebagai nilai awal. Nilai β , θ , δ , ρ , ϕ , μ , μ_1 sebagai nilai parameter yang diselesaikan secara numerik menggunakan metode Runge-Kutta Orde Empat yang dilakukan sebanyak 500 iterasi dengan selang waktu $h = 0,01$ bulan menggunakan data Dinas Kesehatan Kabupaten Pinrang pada tahun 2022. Berdasarkan nilai awal masing-masing kelas yaitu; $S_{(0)} = 0.74$, $I_{(0)} = 0.003$, $R_{(0)} = 0.00262$ dan $V_{(0)} = 0.73$. Nilai awal dan nilai parameter disubstitusi ke dalam solusi numerik terhadap model dan disimulasikan menggunakan *maple* sebagai alat bantu. Nilai laju setiap kelas untuk 5 bulan ke depan yaitu untuk individu rentan sebesar 0.030, untuk individu terinfeksi sebesar 0.012, untuk individu sembuh sebesar 0.044 dan untuk individu vaksin sebesar 1.147, dimana individu terinfeksi mengalami penurunan.

Kata Kunci: Covid-19, Model SIRV, Metode Runge-Kutta Orde Empat

1. PENDAHULUAN

Model matematika digunakan dalam memformulasikan permasalahan nyata melalui beberapa asumsi ke dalam model matematika antara lain model SI, SIS, SIR, SEIR dan SEI. Dalam mengimplementasikan model ini diperlukan suatu metode salah satunya metode numerik. Metode ini menyangkut satu jenis hampiran sehingga hasil yang diperoleh menimbulkan permasalahan tentang tingkat ketelitian salah satu metodenya yaitu metode Runge-Kutta dalam menyelesaikan persamaan diferensial secara numerik [1].

Wabah virus menular SARS-CoV-2 atau Covid-19 telah menjadi masalah kesehatan yang serius terjadi di Kota Wuhan China pada akhir

bulan Desember 2019, kini Covid-19 telah menyebar ke seluruh dunia dan menjadi salah satu penyakit paling berbahaya yang menyebabkan korban jiwa lebih dari 5,2 juta orang. Di Indonesia wabah virus Covid-19 dimulai ketika terdapat laporan kasus pertama pada awal bulan Maret 2020, terhitung hingga bulan Desember 2021[2].

Penularan terjadi melalui percikan air liur saat batuk atau bersin dari pasien yang telah positif. Rata-rata masa inkubasi adalah 4 hari dengan rentang waktu 2 sampai 7 hari. WHO memperkirakan reproductive number (R_0) COVID-19 sebesar 1,4 hingga 2,5. Namun, studi lain memperkirakan R_0 sebesar 3,28 [3].

Menurut [4], Data kasus Covid-19 pada tanggal 21 Februari 2022 Amerika Serikat merupakan Negara tertinggi jumlah kasusnya mencapai 77.521.589 kasus terkonfirmasi sedangkan Indonesia berada pada urutan ke-17 dengan 5.197.500 kasus.

Satuan Tugas (Satgas) COVID-19 Sulawesi Selatan mencatat kasus kematian tertinggi akibat Covid-19 mencapai 4,93 persen pada 18 Agustus 2021. Kabupaten Pinrang menjadi salah satu kabupaten dalam kategori zona merah penyebaran Covid-19, namun angka kesembuhan pasien Covid-19 sebanyak 82,1 persen (Satgas Kabupaten Pinrang, 2021).

Pada perkembangan kasus Covid-19 ada beberapa penanganan di berbagai dunia, salah satunya ada pemberian vaksin kepada masyarakat. Pada tanggal 7 Januari 2021, Menteri Kesehatan menyatakan telah mendistribusikan 1,2 juta dosis vaksin ke 34

provinsi di Indonesia dan pelaksanaan vaksinasi pada minggu kedua Januari 2021 [6].

Beberapa penelitian tentang Covid-19 dan model Matematika telah dilakukan Annas dkk.,(2020) yang membahas mengenai analisis stabilitas dan simulasi numerik model SEIR pada penyebaran Covid-19 di Indonesia. Side dkk.,(2016) membahas Stabilitas global model SIR dan SEIR untuk penularan penyakit Tuberkulosis dengan metode fungsi Lyapunov[7]. Side dkk.,(2018) memodifikasi model SIR pada penyakit Demam Berdarah *Dengue* di Kabupaten Bone [8]. Nisa (2021) membahas mengenai model epidemi SEIR pada penyebaran Covid-19 orde fraksional [9]. Abdy dkk.,(2021) membahas mengenai model epidemi SIR penyebaran Covid-19 dengan parameter *Fuzzy* di Indonesia[10]. (Side, Zaki dan Miswar 2022) membahas solusi numerik Penyelesaian Numerik Model Matematika Penyebaran DBD dengan Metode Runge-Kutta Orde Keempat[11].

Dalam penelitian [12] menggunakan model SVIR penyebaran penyakit Covid-19 dengan dua penundaan pada vaksinasi *Booster* dalam penguat Covid-19, Sedangkan pada artikel ini memodifikasi model pada penelitian sebelumnya yakni model yang digunakan SIRV dimana terdiri atas variabel *Susceptible* (S), variabel *Infected* (I), variabel *Recovered* (R) dan variabel *Vaccine* (V) pada penyebaran Covid-19 dengan menggunakan metode Runge-Kutta orde empat untuk mencari solusi numerik pada penyebaran Covid-19 di Kabupaten Pinrang dari model SIRV.

Menurut Sair (2018) ; Side, Zaki dan Miswar (2022) Metode Runge-Kutta orde empat ini mempunyai tingkat ketelitian solusi yang lebih tinggi daripada metode Runge-Kutta orde sebelumnya.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Metode Runge-Kutta Orde Empat

Metode Runge-Kutta orde empat adalah alternatif lain dari metode Deret Taylor yang tidak membutuhkan perhitungan turunan. Metode ini menghasilkan derajat ketelitian yang lebih tinggi. Adapun bentuk umum Runge-Kutta Orde Empat pada persamaan (2.1) (Sair, 2018).

$$x_{i+1} = x_i + \frac{1}{6}(k_1 + 2k_2 + 2k_3 + k_4)h \quad (2.1)$$

dengan:

$$k_1 = f(t_i, x_i)$$

$$k_2 = f\left(t_i + x_i, \frac{1}{2}h + \frac{1}{2}k_1h\right)$$

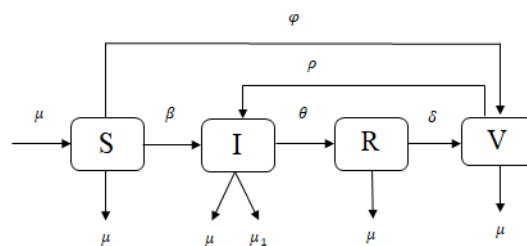
$$k_3 = f\left(t_i + x_i, \frac{1}{2}h + \frac{1}{2}k_2h\right)$$

$$k_4 = f(t_i + x_i, h + k_3)$$

Metode Runge-Kutta orde empat ini mempunyai tingkat ketelitian solusi yang lebih tinggi daripada metode Runge-Kutta orde sebelumnya. Metode Runge-Kutta orde empat juga mudah diprogram, stabil, kecil kesalahan pemotongan dan juga kecil kesalahan pembulatan.

Model SIRV

Asumsi-asumsi yang digunakan untuk merumuskan model matematika Covid-19, yaitu: Terdapat jumlah kelahiran dan kematian diasumsikan sama dalam suatu populasi, setiap individu yang lahir akan menjadi rentan, hanya terdapat satu macam penyebaran penyakit infeksi dan populasi konstan (tertutup). Berdasarkan asumsi-asumsi di atas, diperoleh diagram model matematika SIRV penyebaran Covid-19, yang ditunjukkan pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Diagram Model SIRV pada penyebaran Covid-19

Berdasarkan asumsi dan hubungan antara variabel dan parameter pada Gambar 2.1, di atas dapat dituliskan dalam persamaan (2.2) – (2.5):

$$\frac{dS}{dt} = \mu - (\beta + \varphi + \mu)S \quad (2.2)$$

$$\frac{dI}{dt} = \beta S + \rho V - (\mu + \theta + \mu_1)I \quad (2.3)$$

$$\frac{dR}{dt} = \theta I - (\delta + \mu)R \quad (2.4)$$

$$\frac{dV}{dt} = \delta R + \varphi S - (\rho + \mu) \quad (2.5)$$

dimana:

- S = Jumlah individu yang rentan terhadap penyakit
- I = Jumlah individu yang terinfeksi
- R = Jumlah individu yang sembuh
- V = Jumlah individu yang melakukan vaksin

- B = Laju perpindahan individu *susceptible* ke individu *infected*
- Φ = Laju individu *susceptible* yang akan melakukan vaksin
- P = Laju perpindahan individu yang sudah *vaccine* dan terinfeksi kembali
- θ = Laju perpindahan individu *infected* ke individu *recover*
- Δ = Laju perpindahan individu yang sembuh dan melakukan vaksin
- M = Laju kematian dan kelahiran
- μ_1 = Laju kematian akibat Covid-19

3. METODOLOGI

Data yang digunakan data penderita dan data kesembuhan pasien Covid-19 tahun 2022 yang diperoleh dari Dinas Kesehatan Kabupaten Pinrang. Simulasi numerik menggunakan data sekunder jumlah kasus Covid-19 di Kabupaten Pinrang menggunakan dengan bantuan *Software Maple* untuk memprediksi jumlah kasus Covid-19 sebagai langkah pencegahan bertambahnya laju penyebaran kasus Covid-19 di Kabupaten Pinrang.

4. PEMBAHASAN

Solusi Numerik Model SIRV Penyebaran Covid-19 dengan Menggunakan Metode Runge-Kutta Orde 4

Model SIRV pada penyebaran Covid-19 yang ada pada persamaan (2.3) – (2.6) akan diidentifikasi lebih lanjut ke dalam bentuk persamaan diferensial biasa seperti pada persamaan (4.1) – (4.4).

$$\frac{dS}{dt} = c(t, S, I, R, V) = \mu - (\beta + \varphi + \mu) \quad (4.1)$$

$$\frac{dI}{dt} = c(t, S, I, R, V) = \beta S + \rho V - (\theta + \mu) \quad (4.2)$$

$$\frac{dR}{dt} = c(t, S, I, R, V) = \theta I - (\delta + \mu)R \quad (4.3)$$

$$\frac{dV}{dt} = c(t, S, I, R, V) = \delta R + \varphi S - (\rho + \mu) \quad (4.4)$$

Persamaan (2.2) – (2.5) di atas akan diselesaikan dengan menggunakan metode Runge-Kutta orde empat dengan cara substitusi sehingga akan menjadi seperti pada persamaan (4.5) – (4.8).

$$S_{r+1} = S_r + \frac{1}{6}(k_1 + 2k_2 + 2k_3 + k_4)h \quad (4.5)$$

$$I_{r+1} = I_r + \frac{1}{6}(l_1 + 2l_2 + 2l_3 + l_4)h \quad (4.6)$$

$$R_{r+1} = R_r + \frac{1}{6}(m_1 + 2m_2 + 2m_3 + m_4)h \quad (4.7)$$

$$V_{r+1} = V_r + \frac{1}{6}(n_1 + 2n_2 + 2n_3 + n_4)h \quad (4.8)$$

Dengan h adalah jangka waktu.

Untuk k_1, l_1, m_1, n_1 , maka diperoleh;

$$k_1 = \mu - (\beta + \varphi + \mu)S_r$$

$$l_1 = \beta S_r + \rho V_r - (\theta + \mu + \mu_1)I_r$$

$$m_1 = \theta I_r - (\delta + \mu)R_r$$

$$n_1 = \delta R_r + \varphi S_r - (\rho + \mu)V_r$$

Untuk k_2, l_2, m_2, n_2 , maka diperoleh;

$$k_2 = \mu - (\beta + \varphi + \mu) \left(S_r + k_1 \frac{h}{2} \right)$$

$$l_2 = \beta \left(S_r + k_1 \frac{h}{2} \right)$$

$$+ \rho \left(V_r + n_1 \frac{h}{2} \right) (\mu + \theta + \mu_1) \left(I_r + l_1 \frac{h}{2} \right)$$

$$m_2 = \varphi \left(I_r + l_1 \frac{h}{2} \right) - (\delta + \mu) \left(R_r + m_1 \frac{h}{2} \right)$$

$$n_2 = \delta \left(R_r + m_1 \frac{h}{2} \right) + \varphi \left(S_r + k_1 \frac{h}{2} \right) - (\rho + \mu) \left(V_r + n_1 \frac{h}{2} \right)$$

Untuk k_3, l_3, m_3, n_3 , maka diperoleh;

$$k_3 = \mu - (\beta + \varphi + \mu) \left(S_r + k_2 \frac{h}{2} \right)$$

$$l_3 = \beta \left(S_r + k_2 \frac{h}{2} \right)$$

$$+ \rho \left(V_r + n_2 \frac{h}{2} \right) (\mu + \theta + \mu_1) \left(I_r + l_2 \frac{h}{2} \right)$$

$$m_3 = \varphi \left(I_r + l_2 \frac{h}{2} \right) - (\delta + \mu) \left(R_r + m_2 \frac{h}{2} \right)$$

$$n_3 = \delta \left(R_r + m_2 \frac{h}{2} \right) + \varphi \left(S_r + k_2 \frac{h}{2} \right) - (\rho + \mu) \left(V_r + n_2 \frac{h}{2} \right)$$

Untuk k_4, l_4, m_4, n_4 , maka diperoleh;

$$k_4 = \mu - (\beta + \varphi + \mu)(S_r + k_3h)$$

$$l_4 = \beta(S_r + k_3h) + \rho(V_r + n_3h) - (\mu + \theta + \mu_1)(I_r + l_3h)$$

$$m_4 = \varphi(I_r + l_3h) - (\delta + \mu)(R_r + m_3h)$$

$$n_4 = \delta(R_r + m_3h) + \varphi(S_r + k_3h) - (\rho + \mu)(V_r + n_3h)$$

Persamaan (4.5) – (4.8) merupakan salah satu solusi numerik model SIRV pada penyebaran Covid-19.

Nilai Awal dan Parameter

Nilai awal dan parameter yang digunakan dalam model SIRV pada penyebaran Covid-19 dapat dilihat seperti pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1. Syarat awal yang digunakan dalam model SIRV pada penyebaran Covid-19

Variabel dan Parameter	Nilai	Sumber
$S(0)$	0.74	Dinas kesehatan Kab.Pinrang 2022
$I(0)$	$\frac{1281}{425000}$	Dinas Kesehatan Kab.Pinrang 2022
$R(0)$	$\frac{1114}{425000}$	Dinas Kesehatan Kab.Pinrang 2022
$V(0)$	$\frac{312240}{425000}$	Dinas Kesehatan Kab.Pinrang 2022
β	0.266699	Burhanuddin dan Kurniawan (2021)
θ	0.8	Zuhairoh, Rosadi dan Effendie (2022)
φ	0.1730	Zuhairoh, Rosadi dan Effendie (2022)
ρ	0.002	Zuhairoh, Rosadi dan Effendie (2022)
δ	0.22	Asumsi
μ	0.014	Asumsi
μ_1	2.2×10^{-4}	Dinas Kesehatan Kab.Pinrang 2022

Sehingga formulasi model SIRV pada penyebaran Covid-19 di Kabupaten Pinrang adalah dengan mensubstitusikan nilai awal dan parameter pada persamaan (2.2) – (2.5).

$$\frac{ds}{dt} = 0.014 - (0.266699 + 0.1730 + 0.014)S$$

$$\frac{dI}{dt} = 0.266699S + 0.002V - (0.8 + 0.014 + 2.2 \times 10^{-4})I$$

$$\frac{dR}{dt} = 0.8 - (0.22 + 0.014)R$$

$$\frac{dV}{dt} = 0.22R + 0.1730S - (0.002 + 0.014)V$$

interval waktu $0 \leq t \leq 50$ bulan, langkah waktu $h = 0.01$. Selanjutnya diberikan $S_i = S(0), V_i = V(0), I_i = I(0), R_i = R(0)$ sebagai nilai awal sehingga diperoleh hasil solusi numerik model SIRV penyebaran Covid-19 menggunakan metode Runge-Kutta Orde Empat pada persamaan (4.9) – (4.12).

$$S_{0+1} = S_0 + \frac{1}{6}(k_1 + 2k_2 + 2k_3 + k_4)h \quad (4.9)$$

$$I_{0+1} = I_0 + \frac{1}{6}(l_1 + 2l_2 + 2l_3 + l_4)h \quad (4.10)$$

$$R_{0+1} = R_0 + \frac{1}{6}(m_1 + 2m_2 + 2m_3 + m_4)h \quad (4.11)$$

$$V_{0+1} = V_0 + \frac{1}{6}(n_1 + 2n_2 + 2n_3 + n_4)h \quad (4.12)$$

Dengan,

$$k_1 = \mu - (\beta + \varphi + \mu)S_r = -0.32173726$$

$$l_1 = \beta S_r + \rho V_r - (\theta + \mu + \mu_1)I_r = 0.19637460$$

$$m_1 = \theta I_r - (\delta + \mu)R_r = 0.00178692$$

$$n_1 = \delta R_r + \varphi S_r - (\rho + \mu)V_r = 0.1169164$$

Untuk k_2, l_2, m_2, n_2 , maka diperoleh;

$$k_2 = \mu - (\beta + \varphi + \mu) \left(S_r + k_1 \frac{h}{2} \right) = -0.3210074006$$

$$l_2 = \beta \left(S_r + k_1 \frac{h}{2} \right) + \rho \left(V_r + n_1 \frac{h}{2} \right) (\mu + \theta + \mu_1) \left(I_r + l_1 \frac{h}{2} \right) = 0.1951472736$$

$$m_2 = \varphi \left(I_r + l_1 \frac{h}{2} \right) - (\delta + \mu) \left(R_r + m_1 \frac{h}{2} \right) = 0.002570327704$$

$$n_2 = \delta \left(R_r + m_1 \frac{h}{2} \right) + \varphi \left(S_r + k_1 \frac{h}{2} \right) - (\rho + \mu) \left(V_r + n_1 \frac{h}{2} \right) = 0.1160576019$$

Untuk k_3, l_3, m_3, n_3 , maka diperoleh;

$$\begin{aligned}
 k_3 &= \mu - (\beta + \varphi + \mu) \left(S_r + k_2 \frac{h}{2} \right) \\
 &= -0.3210090563 \\
 I_3 &= \beta \left(S_r + k_2 \frac{h}{2} \right) \\
 &\quad + \rho \left(V_r + n_2 \frac{h}{2} \right) (\mu + \theta + \mu_1) \left(I_r \right. \\
 &\quad \left. + l_2 \frac{h}{2} \right) \\
 &= 0.1951532404 \\
 m_3 &= \varphi \left(I_r + l_2 \frac{h}{2} \right) - (\delta + \mu) \left(R_r + m_2 \frac{h}{2} \right) \\
 &= 0.002564501810 \\
 n_3 &= \delta \left(R_r + m_2 \frac{h}{2} \right) + \varphi \left(S_r + k_2 \frac{h}{2} \right) \\
 &\quad - (\rho + \mu) \left(V_r + n_2 \frac{h}{2} \right) \\
 &= 0.1166322255
 \end{aligned}$$

Untuk k_4, l_4, m_4, n_4 , maka diperoleh;

$$\begin{aligned}
 k_4 &= \mu - (\beta + \varphi + \mu) (S_r + k_3 h) \\
 &= -0.3202808451 \\
 I_4 &= \beta (S_r + k_3 h) + \rho (V_r + n_3 h) \\
 &\quad - (\mu + \theta + \mu_1) (I_r + l_3 h) \\
 &= 0.1939318279 \\
 m_4 &= \varphi (I_r + l_3 h) - (\delta + \mu) (R_r + m_3 h) \\
 &= 0.003342144989 \\
 n_4 &= \delta (R_r + m_3 h) + \varphi (S_r + k_3 h) \\
 &\quad - (\rho + \mu) (V_r + n_3 h) \\
 &= 0.058952135955
 \end{aligned}$$

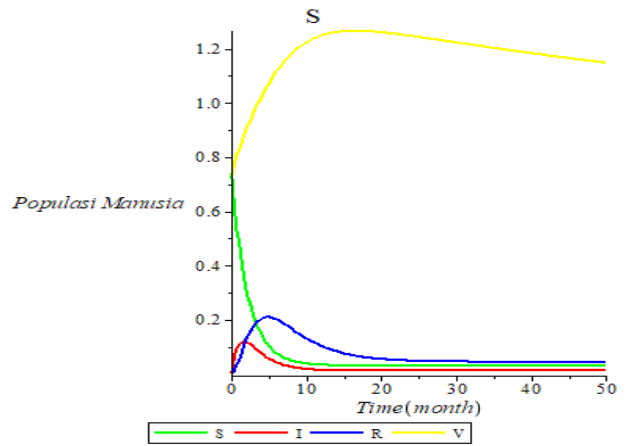
Kemudian substitusi nilai k, l, m dan n dalam persamaan (4.9) – (4.12) :

$$\begin{aligned}
 S_1 &= S_0 + \frac{1}{6} (k_1 + 2k_2 + 2k_3 + k_4) h = \\
 &0.7367899150 \\
 I_1 &= I_0 + \frac{1}{6} (l_1 + 2l_2 + 2l_3 + l_4) h = \\
 &0.004951512427 \\
 R_1 &= R_0 + \frac{1}{6} (m_1 + 2m_2 + 2m_3 + m_4) h = \\
 &0.002645664540 \\
 V_1 &= V_0 + \frac{1}{6} (n_1 + 2n_2 + 2n_3 + n_4) h = \\
 &0.73010716060
 \end{aligned}$$

Simulasi Menggunakan Aplikasi Maple

Gambar 4.1 *Suspectible* menunjukkan bahwa jumlah individu rentan mengalami penurunan dari bulan pertama dari 74% hingga bulan ke-20 mendekati nol, dikarenakan individu yang rentan sudah melakukan vaksinasi.

Kelas *infectible* menunjukkan bahwa jumlah individu terinfeksi mengalami peningkatan dan mengalami penurunan dan konstan pada bulan ke-15, Hal ini menunjukkan semakin menurun individu terinfeksi diakibatkan sudah vaksin.



Gambar 4.1 Plot Gabungan *Susceptible*, *Infectible*, *Recover* dan *Vaccine*

Recover menunjukkan bahwa individu sembuh mengalami peningkatan dari 0 menjadi 27% pada bulan ke-7 dan mengalami penurunan pada bulan ke-10, peningkatan tersebut disebabkan laju kesembuhan dari *infected* menjadi *Recovery* dan laju Covid-19 yang sangat efektif untuk mengurangi laju penyebaran Covid-19. *Vaccine* menunjukkan bahwa jumlah individu vaksinasi mengalami peningkatan pada bulan ke-15 dan mengalami penurunan pada bulan berikutnya.

5. KESIMPULAN

Kesimpulan yang dari solusi numerik model SIRV pada penyebaran Covid-19 dengan metode Runge-Kutta orde empat, hasil pada iterasi-1 menggunakan interval waktu $0 \leq t \leq 50$ hari, langkah waktu $h = 0.01$ diperoleh $(S_1) = 0.73785$, $(I_1) = 0.00430$, $(R_1) = 0.00263$ dan $(V_1) = 0.73067$ dan iterasi selanjutnya menggunakan aplikasi *Maple*. Hasil simulasi numerik model SIRV pada penyebaran Covid-19 dengan metode Runge-Kutta orde empat menunjukkan bahwa semakin besar interval waktu yang digunakan, maka akan terlihat jelas pergerakan dari setiap kelas populasi. Terjadi peningkatan pada kelas *vaccine* sedangkan kelas *Susceptible* mengalami penurunan mendekati nol. Kelas *recovered* dan *infected* mengalami

kenaikan yang sangat tajam sesaat, lalu mengalami penurunan berjalannya waktu dan pada kelas *infected* mengalami peningkatan dipengaruhi oleh tingkat laju penularan penyakit dari *Susceptible* menjadi *infectious*. Kelas *infectious* akan mengalami penurunan dipengaruhi oleh tingkat laju kesembuhan penyakit dan laju kematian.

6. DAFTAR PUSTAKA

- [1] I. S. Sair, "Solusi Numerik Model Penyebaran pada Penyakit Hepatitis B di Provinsi Sulawesi Selatan Menggunakan Metode Runge-Kutta Orde Empat," Universitas Negeri Makassar, 2018.
- [2] F. Akbar, "Analisis model epidemi seir dan simulasi serangan pandemi covid-19 gelombang kedua di kota surabaya," pp. 1–118, 2022.
- [3] Y. Liu, A. A. Gayle, A. Wilder-Smith, and J. Rocklöv, "The reproductive number of COVID-19 is higher compared to SARS coronavirus," *J. Travel Med.*, vol. 27, no. 2, pp. 1–4, 2020, doi: 10.1093/jtm/taaa021.
- [4] World health organization, 2022. <https://kabar24.bisnis.com/read/20220221/15/1502696/who-indonesia-peringkat-17-dengan-angka-covid-19-tertinggi-di-dunia-siapa-nomor-1-ya> (accessed Mar. 05, 2022).
- [5] A. Pramana, *Antara Lampung*, 2021. <https://lampung.antaranews.com/berita/522350/satgas--kasus-kematian-covid-19-di-kabupaten-pinrang-capai-493-persen> (accessed May 26, 2022).
- [6] Stephanie, E. S, PD, A. MF, and I. Martinelli, "Aspek Hukum Pelaksanaan Vaksinasi Covid-19 Di Indonesia," *Pros. SENAPENMAS*, vol. 10, no. 1, pp. 23–41, 2021, doi: 10.24912/psenapenmas.v0i0.15162.
- [7] S. Side, W. Sanusi, M. K. Aidid, and S. Sidjara, "Global stability of SIR and SEIR model for tuberculosis disease transmission with lyapunov function method," *Asian J. Appl. Sci.*, vol. 9, no. 3, pp. 86–96, 2016, doi: 10.3923/ajaps.2016.87.96.
- [8] S. Side, Alimuddin, and A. Bani, "Modifikasi Model SIR pada Penyebaran Penyakit Demam Berdarah Dengue di Kabupaten Bone," vol. 1, no. 2, pp. 169–182, 2018.
- [9] K. Nisa, "MODEL EPIDEMI Suspected Exposed Infected Recovered (Seir) Pada Penyebaran Covid-19 Orde-Fraksional," Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim, 2021.
- [10] M. Abdy, S. Side, S. Annas, W. Nur, and W. Sanusi, "An SIR epidemic model for COVID-19 spread with fuzzy parameter: the case of Indonesia," *Adv. Differ. Equations*, vol. 2021, no. 1, 2021, doi: 10.1186/s13662-021-03263-6.
- [11] S. Side, A. Zaki, and Miswar, "Numerical Solution of the Mathematical Model of DHF Spread using the Runge-Kutta Fourth Order Method," *ARRUS J. Math. Appl. Sci.*, vol. 2, no. 2, pp. 92–100, 2022, doi: 10.35877/mathscience745.
- [12] X. Liu and Y. Ding, "Stability and Numerical Simulations of a New SVIR Model with Two Delays on COVID-19 Booster Vaccination," *Mathematics*, vol. 10, no. 10, 2022, doi: 10.3390/math10101772.