



## MODEL EPIDEMIK TIPE SEIR DENGAN PENGGUNAAN MASKER DAN VAKSINASI UNTUK PENCEGAHAN PENULARAN COVID-19

Inandha Sukmawati Rafi<sup>✉</sup>, St. Budi Waluya

Jurusan Matematika, FMIPA, Universitas Negeri Semarang, Indonesia  
Gedung D7 Lt. 1, Kampus Sekaran Gunungpati, Semarang, 50229

### Info Artikel

Sejarah Artikel:  
Diterima Maret 2022  
Disetujui Oktober 2022  
Dipublikasikan November 2022

#### Keywords:

Nonlinear differential equation,  
elastic pendulum,  
averaging method

### Abstrak

COVID-19 merupakan pandemi yang terjadi sejak tahun 2019. Pencegahan penularan dan infeksi COVID-19 dapat dilakukan dengan vaksinasi dan penggunaan masker. Akan tetapi masyarakat menganggap bahwa vaksin saja cukup untuk menghambat penularan COVID-19 tanpa harus memakai masker. Sehingga pada penelitian ini membahas tentang pengaruh vaksinasi dan penggunaan masker terhadap penularan COVID-19. Penelitian ini menggunakan metode studi literatur dengan mengumpulkan materi dari berbagai referensi. Melalui model yang dibentuk diperoleh dua titik kesetimbangan yaitu titik kesetimbangan bebas penyakit ( $E_1$ ) dan titik kesetimbangan endemik ( $E_2$ ). Sedangkan penularan COVID-19 ditentukan oleh bilangan reproduksi dasar ( $R_0$ ). Jika  $R_0 < 1$  maka  $E_1$  stabil asimtotik lokal. Apabila  $R_0 > 1$  maka  $E_1$  tidak stabil dan  $E_2$  stabil asimtotik lokal. Hasil dari simulasi diperoleh bahwa semakin tinggi jumlah individu yang divaksin akan menghambat penularan COVID-19. Disisi lain penggunaan masker mampu mempengaruhi jumlah individu yang terinfeksi.

### Abstract

COVID-19 is a pandemic which start from 2019. To prevent transmission and infection of COVID-19 can be done by vaccination and the use of masks. However, people think that vaccines is enough to prevent the transmission of COVID-19 without having to wear mask. So in this study discusses the effect of vaccination and the use of masks on the transmission of COVID-19. This research uses a literature study method by collecting materials from various references. By the formed model, there are two equilibrium points. These are disease free equilibrium ( $E_1$ ) and endemic equilibrium ( $E_2$ ). The transmission of COVID-19 determined by basic reproduction number ( $R_0$ ). If  $R_0 < 1$  then  $E_1$  is locally asymptotically stable. If  $R_0 > 1$  then  $E_1$  is unstable and  $E_2$  is locally asymptotically stable. The result from numeric simulation show that the higher number of individuals who are vaccinated will inhibit the transmission of COVID-19. In the other hands, the usage of mask can influence the number of infected individuals.

### How to cite:

Rafi, IS. & Waluya, SB. 2022. Model Epidemik Tipe SEIR dengan Penggunaan Masker dan Vaksinasi Untuk Pencegahan Penularan COVID-19. *UNNES Journal of Mathematics*. 11(2) 130-140.

## PENDAHULUAN

Di negara berkembang khususnya Indonesia, kesehatan menjadi masalah paling utama (Aurora, 2019). Terlebih dalam kondisi saat ini dengan adanya penyakit yang dapat menular dengan cepat. Pada awal tahun 2020 tepatnya pada bulan Maret, Indonesia tengah gempur dilanda pandemi oleh virus yang sangat cepat penularannya. Pandemi tersebut dikenal dengan sebutan COVID-19. Penyebaran COVID-19 di Indonesia langsung meluas ke seluruh penjuru provinsi dalam waktu sekejap (Handayani et al., 2020).

Pencegahan penularan COVID-19 dapat dilakukan salah satunya dengan penggunaan masker. Penggunaan masker dalam kegiatan sehari-hari mampu menghambat percikan droplet dari orang lain yang hendak masuk ke dalam mulut dan saluran pernafasan (Howard et al., 2020). Akan tetapi penggunaan masker hanya menjadi penghambat penularan saja. Di sisi lain pasien yang terinfeksi virus corona masih memiliki fatalitas yang tinggi. Terlebih, banyak kasus yang terjadi di Indonesia terkait penyembuhan pasien positif COVID-19 yang lama mencapai 2 sampai 14 hari dengan rata-rata 5,2 hari (Shereen et al., 2020). Durasi penyembuhan dari infeksi virus corona bergantung pada kekuatan imun tubuh dalam menghadapi virus.

Salah satu cara paling efektif untuk meningkatkan tingkat kesembuhan dari COVID-19 adalah dengan pemberian vaksin. Vaksinasi dilakukan agar tubuh bisa menciptakan respon antibodi tanpa harus terjangkit virus terlebih dahulu. Vaksin bekerja dengan melatih sistem kekebalan tubuh untuk mengenali dan memerangi patogen. Sehingga dalam vaksinasi COVID-19, disuntikkan molekul yang berisi virus corona yang telah dimatikan ke dalam tubuh (Kairul, Udiyono dan Saraswati, 2016). Setelah itu, sistem kekebalan tubuh akan mengenali dan melawan virus corona tersebut. Di dalam imunitas tubuh terdapat sel memori yang dapat mengingat protein dari virus yang masuk. Sehingga tercipta kekebalan tubuh. Akibatnya ketika terjangkit virus corona, kekebalan tubuh dapat langsung bereaksi untuk membunuh virus corona tanpa perlu mengenalinya lagi (Rosyanti dan Hadi, 2020).

Penelitian terkait penyebaran penyakit dengan pengaruh vaksinasi pernah dilakukan oleh beberapa peneliti. Penelitian terkait SIR pernah dilakukan dengan membandingkan dua model SIR yaitu SIR tanpa vaksinasi dan SIR dengan vaksinasi. Hasilnya yaitu pemberian

vaksinasi mampu menghambat penyebaran penyakit secara efektif daripada tanpa pemberian vaksinasi meskipun dengan rata laju vaksinasi yang tidak sempurna (Komsiyah, 2013). Kemudian penelitian dengan objek penyebaran COVID-19 di Indonesia disertai vaksinasi. Melalui penelitian tersebut diperoleh hasil yaitu semakin cepat vaksinasi dilakukan, maka penularan virus corona akan semakin sedikit (Annas et al., 2020). Pada penelitian lain, diteliti perbandingan penyebaran kasus penyebaran COVID-19 dengan populasi yang memakai masker dan tidak memakai masker. Hasilnya yaitu jumlah pasien terinfeksi COVID-19 pada populasi yang menggunakan masker lebih rendah daripada populasi yang tidak memakai masker. Selain itu, semakin tinggi efektifitas masker dalam menghambat penularan COVID-19 maka jumlah pasien positif terinfeksi semakin rendah (Eikenberry et al., 2020). Kemudian penelitian yang mengkombinasikan antara penggunaan masker dengan kebijakan *lockdown* dari pemerintah dalam menekan penyebaran COVID-19. Hasilnya yaitu, pemberlakuan *lockdown* saja tidak mampu mencegah penularan COVID-19 secara aktif, justru setelah kebijakan dibuka akan meningkatkan kembali kasus positifnya. Penggunaan masker saja tanpa *lockdown* memiliki dampak yang lebih baik dimana kasus terinfeksi cenderung tidak ada peningkatan yang signifikan. Akan tetapi yang paling baik adalah penggunaan masker dibarengi dengan *lockdown* (Stutt et al., 2020).

Akan tetapi dari penelitian yang ada belum membahas secara khusus terkait penggunaan masker dan vaksinasi yang dilakukan untuk menekan penyebaran virus corona penyebab pandemi COVID-19. Terlebih masalah utama yang terjadi saat ini yaitu penularan COVID-19 yang terus terjadi. Bahkan dengan adanya vaksinasi, masyarakat sudah mulai lengah untuk memakai masker. Banyak warga yang menganggap bahwa jika sudah divaksin tidak perlu memakai masker.

Melalui permasalahan diatas, penulis tertarik untuk meneliti pengaruh penggunaan masker dan vaksinasi untuk menghambat penularan virus corona di Indonesia. Penelitian yang akan ditulis oleh penulis yaitu dengan merujuk pada pemodelan matematika penyebaran COVID-19 dengan pengaruh vaksinasi (Annas et al., 2020). Kemudian dimodifikasi dengan mengubah kelas sub populasi individu menjadi 2 kelas yaitu sub populasi yang memakai masker dan tidak memakai masker.

**METODE**

Metode yang digunakan dalam analisis dan pemecahan masalah pada penelitian ini yaitu metode studi literatur dengan mempelajari jurnal, buku, serta artikel penunjang. Adapun tahap-tahap penelitian yang dilakukan yaitu: (1) penentuan masalah, (2) perumusan masalah, (3) studi pustaka, (3) analisis pemecahan masalah, dan (5) penarikan kesimpulan. Pada tahap pemecahan masalah terdapat beberapa langkah utama yaitu: (1) membuat model matematika, (2) mencari titik kesetimbangan, (3) mencari nilai bilangan reproduksi dasar ( $R_0$ ), (4) simulasi numerik dan interpretasi hasil, dan (5) analisa hasil.

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

Pada penelitian ini dibentuk pemodelan penyebaran COVID-19 dengan memisahkan populasi manusia yang memakai masker dan tidak memakai masker. Serta adanya pengaruh vaksinasi yang diberikan. Model tersebut terbagi dalam 5 kelas yaitu kelas populasi manusia rentan tidak memakai masker ( $S_1$ ), populasi manusia rentan tetapi memakai masker ( $S_2$ ), kelas individu yang terinfeksi namun belum menunjukkan gejala ( $E$ ), kelas individu yang terinfeksi dan sudah menunjukkan gejala ( $I$ ), dan individu yang sudah sembuh ( $R$ ).

**1. Asumsi-Asumsi Model**

Pada model yang dibentuk juga diberikan asumsi-asumsi sebagai batasan dalam pembentukan model. Asumsi-asumsi yang digunakan yaitu: (1) Populasi tertutup, artinya tidak ada individu masuk atau keluar dari populasi (tidak ada migrasi), (2) Total populasi diasumsikan konstan sehingga jumlah kematian dan kelahiran tiap satuan waktu sama, (3) Setiap individu memiliki peluang yang sama untuk melakukan kontak dengan individu lain, (4) individu yang belum terinfeksi dan tidak memakai masker masuk ke dalam kompartemen individu rentan tidak memakai masker ( $S_1$ ), (5) Individu yang diberi vaksin akan kebal terhadap infeksi virus, (6) Individu rentan yang memakai masker ( $S_2$ ) akan berubah menjadi individu rentan tanpa masker ( $S_1$ ) ketika mereka berhenti menggunakan masker, (7) Infeksi virus terjadi ketika terdapat kontak dengan individu terinfeksi, (8) Individu yang terinfeksi virus dapat sembuh dari penyakit, (9) Tidak ada masa inkubasi (masa inkubasi pendek) saat terjadi proses penularan,

dan (10) Di dalam populasi terdapat individu yang sudah divaksin dan belum divaksin.

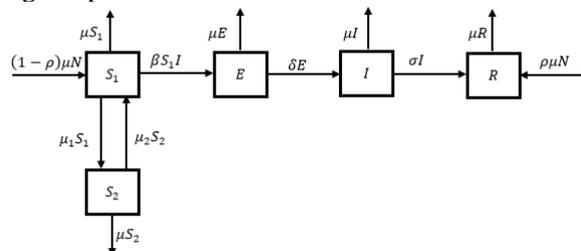
Adapun parameter yang digunakan dalam pemodelan ini ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Daftar Parameter

Parameter	Definisi	Syarat
$\mu$	Laju kelahiran dan kematian alami populasi individu	$\mu \geq 0$
$\rho$	Proporsi banyaknya individu rentan yang divaksinasi	$0 \leq \rho \leq 1$
$(1 - \rho)$	Proporsi banyaknya individu rentan tidak divaksinasi	$0 \leq \rho \leq 1$
$\mu_1$	Laju individu yang tidak memakai masker dan beralih menjadi menjadi masker	$\mu_1 \geq 0$
$\mu_2$	Laju individu yang memakai masker tetapi beralih menjadi tidak memakai masker (pelepasan masker)	$\mu_2 \geq 0$
$\beta$	Laju perubahan kondisi individu rentan menjadi individu yang terinfeksi namun belum timbul gejala	$\beta \geq 0$
$\delta$	Laju perpindahan individu yang terinfeksi namun belum menunjukkan gejala menjadi individu terinfeksi	$\delta \geq 0$
$\sigma$	Laju kesembuhan individu	$\sigma \geq 0$
$N$	Jumlah populasi individu rentan	$N > 0$

**2. Formulasi Model**

Model yang terbentuk digambarkan pada diagram pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram Model Penyebaran COVID-19 dengan Pemakaian Masker dan Vaksinasi

Dari diagram pada Gambar 1 diperoleh model matematika dengan persamaan sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 (1) \quad & \frac{dS_1}{dt} = (1 - \rho)\mu N + \mu_2 S_2 - (\mu + \mu_1)S_1 - \beta S_1 I \\
 (2) \quad & \frac{dS_2}{dt} = \mu_1 S_1 - (\mu + \mu_2)S_2 \\
 (3) \quad & \frac{dE}{dt} = \beta S_1 I - (\mu + \delta)E \\
 (4) \quad & \frac{dI}{dt} = \delta E - (\mu + \sigma)I \\
 (5) \quad & \frac{dR}{dt} = \sigma I + \rho\mu N - \mu R
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

$$N = S_1 + S_2 + E + I + R$$

Ditentukan bahwa  $N = S_1 + S_2 + E + I + R$ , maka  $\frac{dN}{dt} = 0$ , sehingga  $N(t) = k$  untuk  $k$  bilangan bulat positif, karena  $N(t)$  konstan. Sehingga model tersebut dapat disederhanakan sebagai berikut.

$$s_1 = \frac{S_1}{N}, s_2 = \frac{S_2}{N}, e = \frac{E}{N}, i = \frac{I}{N}, r = \frac{R}{N}$$

dengan

$$s_1 + s_2 + e + i + r = \frac{S_1}{N} + \frac{S_2}{N} + \frac{E}{N} + \frac{I}{N} + \frac{R}{N} = 1$$

Sehingga sistem persamaan (1) menjadi

$$\begin{aligned}
 (1) \quad & \frac{ds_1}{dt} = (1 - \rho)\mu + \mu_2 s_2 - (\mu + \mu_1)s_1 - \beta s_1 i \\
 (2) \quad & \frac{ds_2}{dt} = \mu_1 s_1 - (\mu + \mu_2)s_2 \\
 (3) \quad & \frac{de}{dt} = \beta s_1 i - (\mu + \delta)e \\
 (4) \quad & \frac{di}{dt} = \delta e - (\mu + \sigma)i \\
 (5) \quad & \frac{dr}{dt} = \sigma i + \rho\mu - \mu r
 \end{aligned}
 \tag{2}$$

Kemudian karena variabel  $r$  tidak mempengaruhi kelas kompartemen lain, maka persamaan  $r$  dapat diabaikan dari sistem. Sehingga sistem persamaannya menjadi:

$$\begin{aligned}
 (1) \quad & \frac{ds_1}{dt} = (1 - \rho)\mu + \mu_2 s_2 - (\mu + \mu_1)s_1 - \beta s_1 i \\
 (2) \quad & \frac{ds_2}{dt} = \mu_1 s_1 - (\mu + \mu_2)s_2 \\
 (3) \quad & \frac{de}{dt} = \beta s_1 i - (\mu + \delta)e \\
 (4) \quad & \frac{di}{dt} = \delta e - (\mu + \sigma)i
 \end{aligned}
 \tag{3}$$

### 3. Titik Ekuilibrium

Melalui sistem persamaan (3) dapat dicari titik ekuilibriumnya dengan membuat nol ruas kanan pada persamaan. Hasilnya yaitu terdapat dua titik ekuilibrium yakni.

a. Titik ekuilibrium bebas penyakit ( $E_1$ ) yaitu

$$E_1 = (s_1, s_2, e, i) = \left( \frac{\mu(\mu + \mu_2)(1 - \rho)}{(\mu + \mu_1)(\mu + \mu_2) - \mu_1 \mu_2}, \frac{\mu_1 \mu (1 - \rho)}{(\mu + \mu_1)(\mu + \mu_2) - \mu_1 \mu_2}, 0, 0 \right)$$

b. Titik ekuilibrium endemik ( $E_2$ ) yaitu

$$E_2 = (s_1^*, s_2^*, e^*, i^*) \text{ dimana}$$

$$\begin{aligned}
 s_1^* &= \frac{(\mu + \delta)(\mu + \sigma)}{\delta \beta} \\
 s_2^* &= \frac{\mu_M(\mu + \delta)(\mu + \sigma)}{\delta \beta(\mu + \mu_2)} \\
 e^* &= \frac{(1 - \rho)\mu \delta \beta(\mu + \mu_2) + \mu_2 \mu_1(\mu + \delta)(\mu + \sigma)}{-(\mu + \mu_1)(\mu + \delta)(\mu + \sigma)(\mu + \mu_2)} \\
 i^* &= \frac{(1 - \rho)\mu \delta \beta(\mu + \mu_2) + \mu_2 \mu_1(\mu + \delta)(\mu + \sigma)}{-(\mu + \mu_1)(\mu + \delta)(\mu + \sigma)(\mu + \mu_2)}
 \end{aligned}$$

$$i^* = \frac{(1 - \rho)\mu \delta \beta(\mu + \mu_2) + \mu_2 \mu_1(\mu + \delta)(\mu + \sigma)}{-(\mu + \mu_1)(\mu + \delta)(\mu + \sigma)(\mu + \mu_2)}$$

### 4. Bilangan Reproduksi Dasar ( $R_0$ )

Penularan dan infeksi COVID-19 ditentukan oleh nilai bilangan reproduksi dasar. Perhitungan  $R_0$  dilakukan dengan mengasumsikan  $i^* > 0$ , diperoleh:

$$R_0 = \frac{(1 - \rho)\mu \delta \beta(\mu + \mu_2) + \mu_2 \mu_1(\mu + \delta)(\mu + \sigma)}{(\mu + \mu_1)(\mu + \delta)(\mu + \sigma)(\mu + \mu_2)}$$

Akibatnya diperoleh Teorema 1.

#### Teorema 1

Diberikan  $R_0 = \frac{(1 - \rho)\mu \delta \beta(\mu + \mu_2) + \mu_2 \mu_1(\mu + \delta)(\mu + \sigma)}{(\mu + \mu_1)(\mu + \delta)(\mu + \sigma)(\mu + \mu_2)}$  dengan sistem persamaan (3), diperoleh:

- Jika  $R_0 < 1$ , maka sistem persamaan diatas mempunyai satu titik kesetimbangan yaitu titik kesetimbangan bebas penyakit ( $E_1$ ).
- Jika  $R_0 > 1$ , maka sistem persamaan diatas mempunyai dua titik kesetimbangan yaitu titik kesetimbangan bebas penyakit ( $E_1$ ) dan titik kesetimbangan endemik ( $E_2$ ).

#### Bukti

- Jika  $R_0 < 1$ , maka
 
$$R_0 = \frac{(1 - \rho)\mu \delta \beta(\mu + \mu_2) + \mu_2 \mu_1(\mu + \delta)(\mu + \sigma)}{(\mu + \mu_1)(\mu + \delta)(\mu + \sigma)(\mu + \mu_2)} < 1$$

$$\Leftrightarrow (1 - \rho)\mu \delta \beta(\mu + \mu_2) + \mu_2 \mu_1(\mu + \delta)(\mu + \sigma) < (\mu + \mu_1)(\mu + \delta)(\mu + \sigma)(\mu + \mu_2)$$

$$\Leftrightarrow (1 - \rho)\mu \delta \beta(\mu + \mu_2) + \mu_2 \mu_1(\mu + \delta)(\mu + \sigma) - (\mu + \mu_1)(\mu + \delta)(\mu + \sigma)(\mu + \mu_2) < 0$$

$$\Leftrightarrow \frac{(1 - \rho)\mu \delta \beta(\mu + \mu_2) + \mu_2 \mu_1(\mu + \delta)(\mu + \sigma)}{(\mu + \sigma)(\mu + \mu_2)(\mu + \delta)\delta \beta} < 0$$

$$\Leftrightarrow i^* < 0$$

Hal tersebut dapat diartikan bahwa jumlah individu yang terinfeksi dibawah nol. Kondisi tersebut berlawanan dengan kondisi realisitnya dimana jumlah individu tidak mungkin bernilai negatif. Haruslah minimal  $i = 0$ , melalui substitusi kedalam persamaan (3) diperoleh titik kesetimbangan bebas penyakit ( $E_1$ ).

- $R_0 > 1$ , maka
 
$$R_0 = \frac{(1 - \rho)\mu \delta \beta(\mu + \mu_2) + \mu_2 \mu_1(\mu + \delta)(\mu + \sigma)}{(\mu + \mu_1)(\mu + \delta)(\mu + \sigma)(\mu + \mu_2)} > 1$$

$$\Leftrightarrow (1 - \rho)\mu \delta \beta(\mu + \mu_2) + \mu_2 \mu_1(\mu + \delta)(\mu + \sigma) > (\mu + \mu_1)(\mu + \delta)(\mu + \sigma)(\mu + \mu_2)$$

$$\Leftrightarrow (1 - \rho)\mu \delta \beta(\mu + \mu_2) + \mu_2 \mu_1(\mu + \delta)(\mu + \sigma) - (\mu + \mu_1)(\mu + \delta)(\mu + \sigma)(\mu + \mu_2) > 0$$

$$\Leftrightarrow \frac{(1-\rho)\mu\delta\beta(\mu+\mu_2)+\mu_2\mu_1(\mu+\delta)(\mu+\sigma)-(\mu+\mu_1)(\mu+\delta)(\mu+\sigma)(\mu+\mu_2)}{(\mu+\sigma)(\mu+\mu_2)(\mu+\delta)\delta\beta} - \frac{(\mu+\mu_1)(\mu+\delta)(\mu+\sigma)(\mu+\mu_2)}{(\mu+\sigma)(\mu+\mu_2)(\mu+\delta)\delta\beta} > 0$$

$$\Leftrightarrow i^* > 0$$

Jelas ketika  $i^* > 0$ , diperoleh titik kesetimbangan endemik ( $E_2$ ). Sehingga terdapat dua titik kesetimbangan yaitu titik kesetimbangan bebas penyakit ( $E_1$ ) dan titik kesetimbangan endemik ( $E_2$ ).

**5. Analisis Kestabilan Titik Ekuilibrium**

Analisis stabilitas dilakukan dengan menggunakan nilai eigen dari matriks Jacobian. Adapun matriks Jacobian yang diperoleh ditunjukkan pada persamaan (4). Kemudian dicari nilai eigennya dengan rumus  $\det(\lambda I - J) = 0$ . Hasil yang diperoleh, dianalisis stabilitasnya dengan kriteria Routh-Hurwitz. Diperoleh Teorema 2.

$$J(E) = \begin{bmatrix} -\beta i - (\mu + \mu_1) & \mu_2 & 0 & -\beta s_1 \\ \mu_1 & -(\mu + \mu_2) & 0 & 0 \\ \beta i & 0 & -(\mu + \delta) & \beta s_1 \\ 0 & 0 & \delta & -(\mu + \sigma) \end{bmatrix} \quad (4)$$

**Teorema 2**

Diberikan  $R_0 = \frac{(1-\rho)\mu\delta\beta(\mu+\mu_2)+\mu_2\mu_1(\mu+\delta)(\mu+\sigma)}{(\mu+\mu_1)(\mu+\delta)(\mu+\sigma)(\mu+\mu_2)}$  dengan sistem persamaan (3), diperoleh:

- a. Titik ekuilibrium bebas penyakit ( $E_1$ ) stabil asimtotik lokal jika  $R_0 < 1$  dan tidak stabil jika  $R_0 > 1$ .
- b. Titik ekuilibrium endemik ( $E_2$ ) Stabil asimtotik lokal jika  $R_0 > 1$ .

**Bukti**

- a. Substitusikan titik ekuilibrium bebas penyakit ( $E_1$ ) ke dalam matriks jacobian pada persamaan (4). Kemudian dengan rumus  $\det(\lambda I - J) = 0$ ,

$$\det(\lambda I - J(E_1)) = ((\lambda + \mu + \delta)(\lambda + \mu + \sigma) - \beta\delta s_1)((\lambda + \mu + \mu_1)(\lambda + \mu + \mu_2) - \mu_1\mu_2) = 0$$

Diperoleh nilai eigen

$$\lambda_1 = \frac{-a_1 + \sqrt{a_1^2 - 4a_2}}{2}, \lambda_2 = \frac{-a_1 - \sqrt{a_1^2 - 4a_2}}{2}, \lambda_3 = \frac{-b_1 + \sqrt{b_1^2 - 4b_2}}{2}, \lambda_4 = \frac{-b_1 - \sqrt{b_1^2 - 4b_2}}{2}, \text{ jelas } \lambda_1 < 0, \lambda_2 < 0, \lambda_3 < 0, \lambda_4 < 0 \text{ dengan } R_0 < 1.$$

Dimana  $a_1 = 2\mu + \sigma + \delta$ ,  $a_2 = \mu^2 + \mu\sigma + \delta\mu + \delta\sigma - \beta\delta s_1$ ,  $b_1 = 2\mu + \mu_1 + \mu_2$ , dan  $b_2 = \mu^2 + \mu\mu_1 + \mu\mu_2$ . Jadi  $E_1$  stabil asimtotik lokal.

- b. Substitusikan titik ekuilibrium endemik ( $E_2$ ) ke dalam matriks jacobian pada persamaan (4). Kemudian dengan rumus  $\det(\lambda I - J) = 0$  diperoleh

$$= \lambda^4 + \lambda^3(C + A) + \lambda^2(E + AC + B - \mu_1\mu_2) + \lambda(AE + BC - C\mu_1\mu_2 - \delta\beta^2 i s_1) + (BE - E\mu_1\mu_2 - \mu\delta\beta^2 i s_1 - \mu_2\delta\beta^2 i s_1) = a_0\lambda^4 + a_1\lambda^3 + a_2\lambda^2 + a_3\lambda + a_4$$

Melalui kriteria Routh-Hurwitz bagian real  $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$ , dan  $\lambda_4$  akan bernilai negatif jika  $a_0 > 0$ ,  $a_1 > 0$ ,  $a_2 > 0$ ,  $a_3 > 0$ ,  $a_4 > 0$ , dan  $a_1a_2a_3 - a_1^2a_4 - a_0a_3^2 > 0$ .

Berdasarkan penelitian diperoleh  $a_0 > 0$ ,  $a_1 > 0$ ,  $a_2 > 0$ ,  $a_3 > 0$ ,  $a_4 > 0$ , dan  $a_1a_2a_3 - a_1^2a_4 - a_0a_3^2 > 0$  dengan  $R_0 > 1$ . Akibatnya titik ekuilibrium endemik ( $E_2$ ) stabil asimtotik lokal.

**6. Simulasi Numerik**

Model yang dikembangkan kemudian disimulasikan secara numerik. Hal ini dilakukan untuk mengetahui perkembangan interaksi antar kelas kompartemen. Pada simulasi ini diberikan nilai awal untuk populasi individu rentan yang tidak memakai masker yaitu  $s_1(0) = 0.3$ , populasi individu rentan yang memakai masker yaitu  $s_2(0) = 0.2$ , individu yaterinfeksi namun belum menunjukkan gejala yaitu  $e(0) = 0.007$ , dan individu terinfeksi yang menunjukkan gejala  $i(0) = 0.01$ . Adapun nilai parameter yang digunakan terdapat dalam Tabel 3 berikut.

Tabel 3. Nilai-Nilai Parameter Simulasi

Parameter	Nilai (Individu/hari)	Sumber
$\mu$	0.0125	(Manaqib, Fauziah, & Hartati, 2021)
$\rho$	0.1 - 0.9	Asumsi
$(1 - \rho)$	0.9 - 0.1	Asumsi
$\mu_1$	0.4 - 0.6	(Manaqib, Fauziah, & Hartati, 2021)
$\mu_2$	0.4 - 0.6	(Manaqib, Fauziah, & Hartati, 2021)

$\beta$	0.4	(Mishra <i>et al.</i> , 2020)
$\delta$	0.2	Asumsi
$\sigma$	0.1	(Musa <i>et al.</i> , 2021)

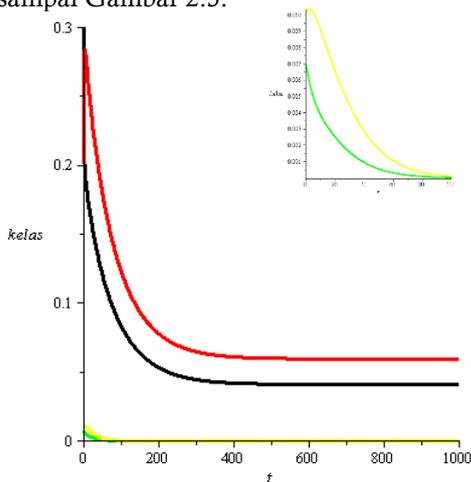
**Analisis dan Simulasi Titik Kesetimbangan Bebas Virus ( $E_1$ )**

Pada kondisi ini belum terdapat penularan virus sehingga belum ada individu yang terinfeksi. Kasus tersebut terjadi ketika parameter yang diambil seperti pada Tabel 4 berikut.

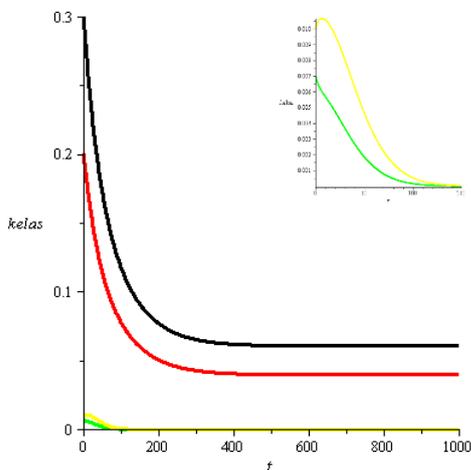
Tabel 4. Variasi Parameter Pada  $E_1$

$\rho$	$\mu_1$	$\mu_2$	$R_0$	Titik Ekuilibrium
0.9	0.6	0.4	0.956	$S_1 = 0.0407; S_2 = 0.0592; E = 0; I = 0$
0.9	0.4	0.6	0.960	$S_1 = 0.0604; S_2 = 0.0395; E = 0; I = 0$
0.9	0.5	0.5	0.959	$S_1 = 0.0506; S_2 = 0.0493; E = 0; I = 0$

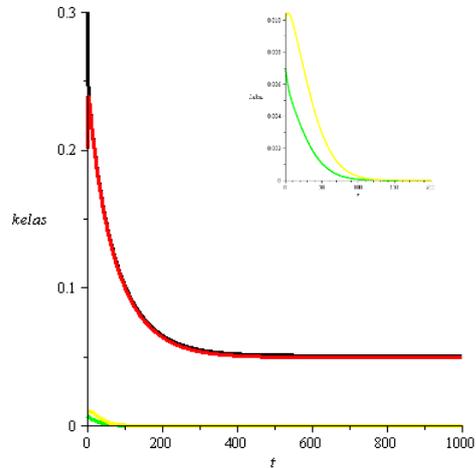
Diperoleh hasil seperti pada Gambar 2.1 sampai Gambar 2.3.



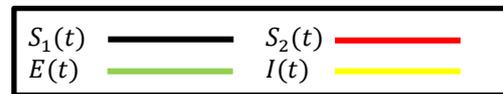
Gambar 2.1. Simulasi Numerik Pada Kondisi 1



Gambar 2.2. Simulasi Numerik Pada Kondisi 2



Gambar 2.3. Simulasi Numerik Pada Kondisi 3



Pada Gambar 2.1, dengan variasi jumlah individu yang divaksin tinggi ( $\rho = 0.9$ ) dan banyak individu yang beralih dari tidak memakai masker ( $\mu_1 = 0.6$ ) menjadi memakai masker mengakibatkan jumlah individu yang memakai masker lebih tinggi daripada yang tidak memakai masker. Jumlah individu yang tidak memakai masker mengalami penurunan drastis akibat banyaknya individu yang beralih menggunakan masker serta mengalami kematian alami. Hingga pada suatu waktu  $t$ , jumlahnya stabil di angka **0.0407** yang berarti terdapat 407 orang dari 10.000 orang. Sedangkan jumlah individu yang memakai masker mengalami peningkatan di awal, namun akhirnya turun dikarenakan kematian alami. Hingga akhirnya konstan di titik **0.0592** yang berarti terdapat 592 orang dari 10.000 orang. Adapun jumlah individu yang terinfeksi dan tidak menunjukkan gejala serta yang menunjukkan gejala, mengalami penurunan dikarenakan kematian alami dan kesembuhan. Sehingga akhirnya tidak ada individu yang terinfeksi.

Pada Gambar 2.2, terlihat bahwa grafik semua kelas kompartemen mengalami penurunan. Hal ini dikarenakan setiap kelas mengalami kematian alami. Akan tetapi tingginya jumlah individu yang berpindah dari memakai masker ( $\mu_2 = 0.6$ ) menjadi tidak memakai masker mengakibatkan jumlah individu yang memakai tidak masker lebih banyak yaitu sebanyak 604 orang dari tiap 10.000 orang daripada yang memakai masker

yakni sebanyak 395 orang dari tiap 10.000 orang. Kemudian pada individu yang terinfeksi dengan gejala dan tanpa gejala keduanya akan habis karena sembuh dan kematian alami. Terlebih tidak adanya infeksi atau penularan.

Selanjutnya pada Gambar 2.3 jumlah perpindahan individu yang tidak memakai masker menjadi memakai masker serta sebaliknya berjumlah sama. Jumlah individu yang memakai masker sempat mengalami kenaikan dikarenakan perpindahan individu dari yang tidak memakai masker menjadi memakai masker. Kemudian mengalami penurunan karena ada individu yang memakai masker dan berpindah menjadi melepas masker serta adanya kematian alami. Sedangkan individu yang tidak memakai masker mengalami penurunan dikarenakan kematian alami dan perpindahan individu dari tidak memakai masker menjadi memakai masker. Hingga pada suatu waktu  $t$ , jumlah individu yang tidak memakai masker sebanyak 506 orang dan yang memakai masker sebanyak 463 orang dari tiap 10.000 orang. Sedangkan pada individu yang terinfeksi baik tanpa gejala maupun tidak, keduanya mengalami penurunan dikarenakan kematian alami dan kesembuhan. Sehingga pada akhirnya tidak ada individu yang terinfeksi.

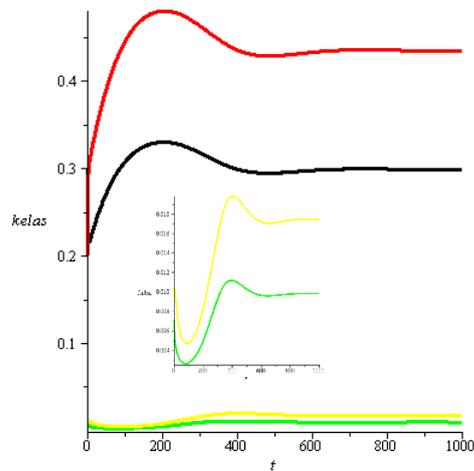
Dari ketiga kasus simulasi yang dilakukan, dapat dilihat bahwa tingginya jumlah individu yang divaksin mampu menghambat penularan serta infeksi COVID-19. Pada simulasi yang dilakukan dengan jumlah individu yang divaksin sebanyak 0.9 atau 9.000 orang dari tiap 10.000 orang mengakibatkan tidak terjadi penularan dan infeksi COVID-19.

**Analisis dan Simulasi Titik Kesetimbangan Endemik ( $E_2$ )**

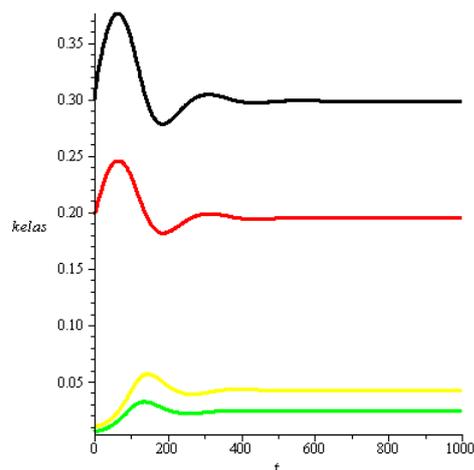
Pada kondisi ini telah terjadi penularan COVID-19, adapun parameter yang diambil ditunjukkan pada Tabel 5 berikut.

Tabel 5. Variasi Parameter Pada $E_2$				
$\rho$	$\mu_1$	$\mu_2$	$R_0$	Titik Ekuilibrium
0.1	0.6	0.4	1.011	$S_1 = 0.2988; S_2 = 0.4346; E = 0.0097; I = 0.0174$
0.1	0.4	0.6	1.041	$S_1 = 0.2988; S_2 = 0.1951; E = 0.0238; I = 0.0424$
0.1	0.5	0.5	1.025	$S_1 = 0.2988; S_2 = 0.2915; E =$

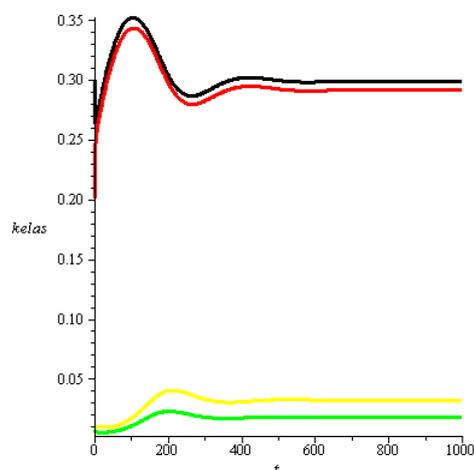
0.0182;  $I = 0.0323$   
 Diperoleh hasil seperti pada Gambar 3.1 sampai Gambar 3.3.



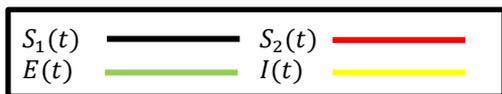
Gambar 3.1. Simulasi Numerik Pada Kondisi 1



Gambar 3.2. Simulasi Numerik Pada Kondisi 2



Gambar 3.3. Simulasi Numerik Pada Kondisi 3



Pada Gambar 3.1. dimana jumlah individu yang divaksin rendah ( $\rho = 0.1$ ) sedangkan banyak individu yang tidak memakai masker ( $\mu_1 = 0.6$ ) menjadi memakai masker mengakibatkan jumlah individu yang memakai masker lebih tinggi dari pada yang tidak memakai masker. Jumlah individu yang memakai masker mengalami kenaikan dikarenakan perpindahan dari yang tidak memakai masker. Kemudian pada suatu waktu  $t$  jumlahnya menurun karena banyak yang terinfeksi serta mengalami kematian alami. Hingga pada suatu waktu  $t$  jumlahnya konstan sebanyak 4.346 orang dari tiap 10.000 orang. Jumlah individu yang tidak memakai masker juga mengalami kenaikan di awal fase dikarenakan ada individu yang memakai masker menjadi tidak memakai masker. Namun jumlahnya kemudian turun akibat infeksi yang terjadi. Hingga akhirnya jumlahnya stabil sebanyak 2988 orang dari tiap 10.000 orang. Sedangkan jumlah individu yang terinfeksi namun belum menunjukkan gejala sempat mengalami penurunan diawal karena kematian alami dan berpindah menjadi individu terinfeksi dengan gejala. Hingga pada suatu waktu  $t$ , jumlahnya naik dan stabil sebanyak 97 orang. Pola yang sama juga terjadi pada individu yang terinfeksi dan menunjukkan gejala, namun penurunan yang terjadi dikarenakan kesembuhan dan kematian alami. Akhirnya jumlahnya stabil sebanyak 174 orang.

Selanjutnya pada Gambar 3.2, jumlah individu yang tidak memakai masker dan memakai masker mengalami kenaikan di awal fase. Kenaikan yang terjadi dikarenakan saling berpindahnya individu yang memakai masker menjadi tidak memakai masker serta sebaliknya. Kemudian pada suatu waktu  $t$  jumlahnya turun dikarenakan adanya infeksi virus, sehingga banyak individu yang menjadi terinfeksi. Serta disebabkan pula oleh kematian alami. Hingga pada suatu waktu  $t$ , jumlah individu yang tidak memakai masker sebanyak 2.988 orang dan yang memakai masker 1.951 orang dari tiap 10.000 orang. Jumlah yang tidak memakai masker lebih tinggi karena jumlah individu yang melepas masker ( $\mu_2 = 0.6$ ) lebih tinggi daripada yang memakai masker. Akibatnya, jumlah individu yang terinfeksi juga lebih banyak. Jumlah individu yang terinfeksi yang menunjukkan gejala mengalami kenaikan dikarenakan banyak

orang yang terinfeksi, namun jumlahnya mengalami penurunan dikarenakan kematian alami serta kesembuhan. Sedemikian pula dengan yang terinfeksi namun belum menunjukkan gejala. Jumlahnya naik di awal fase, namun turun karena kematian alami dan banyak yang menunjukkan gejala. Hingga pada suatu waktu  $t$ , jumlah individu terinfeksi namun belum menunjukkan gejala konstan sebanyak 238 orang. Sedangkan yang menunjukkan gejala stabil di angka 434 orang dari tiap 10.000 orang.

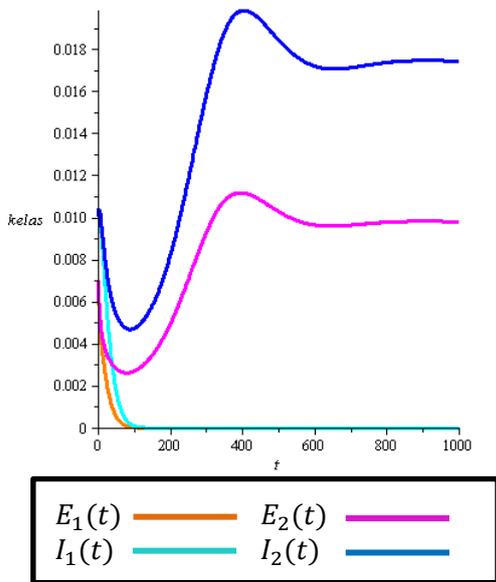
Selanjutnya pada Gambar 3.3 jumlah individu rentan yang tidak memakai masker dan memakai masker relatif sama. Hal ini dikarenakan jumlah individu yang berpindah dari tidak memakai masker menjadi memakai masker serta sebaliknya banyaknya sama ( $\mu_1 = 0.5$  dan  $\mu_2 = 0.5$ ). Di awal fase keduanya mengalami kenaikan dikarenakan saling pindahnya status individu, kemudian karena adanya infeksi, keduanya menjadi turun. Hingga suatu waktu  $t$ , jumlah individu yang tidak memakai masker stabil sebanyak 2.988 orang dan yang memakai masker 2.915 orang dari tiap 10.000 orang. Kemudian jumlah individu yang terinfeksi namun belum menunjukkan gejala mengalami kenaikan akibat dari infeksi yang terjadi. Namun hingga pada suatu waktu  $t$  jumlahnya turun dikarenakan banyak yang mulai menunjukkan gejala serta mengalami kematian. Akhirnya jumlahnya konstan sebanyak 182 orang. Pada individu yang terinfeksi dan menunjukkan gejala juga mengalami kenaikan diawal karena penularan yang terjadi. Namun jumlahnya turun dikarenakan kematian dan kesembuhan. Hingga pada suatu waktu  $t$  jumlahnya stabil sebanyak 323 orang dari tiap 10.000 orang.

Rendahnya jumlah individu yang divaksin mengakibatkan penularan dan infeksi COVID-19 terus terjadi. Terlebih semakin banyak orang yang tidak memakai masker, maka jumlah individu yang terinfeksi semakin banyak juga. Hal tersebut tercermin dari ketiga kasus tersebut. Semakin banyak individu yang berpindah dari memakai masker menjadi tidak memakai masker mengakibatkan jumlah individu yang terinfeksi, baik yang menunjukkan gejala maupun tidak, semakin banyak.

**Perbedaan Variasi Nilai Parameter**

Variasi nilai pada beberapa parameter dilakukan untuk mengetahui pengaruh perubahan setiap parameter. Parameter yang divariasikan meliputi jumlah individu yang divaksin ( $\rho$ ), jumlah individu tidak memakai

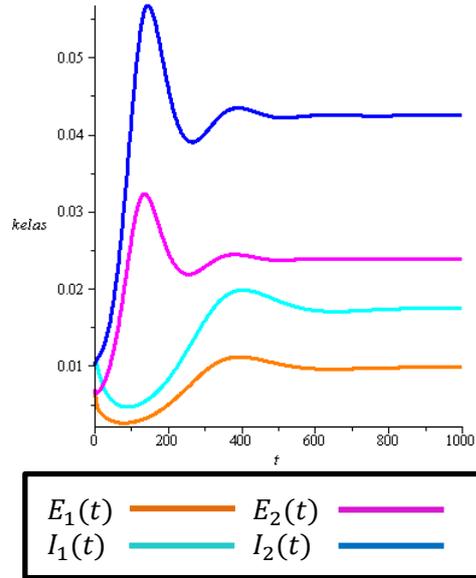
masker yang beralih menjadi memakai masker ( $\mu_1$ ), dan jumlah individu memakai masker yang beralih menjadi memakai masker ( $\mu_2$ ). Adapun variasi tersebut menghasilkan pola perilaku kelas individu terinfeksi namun belum menunjukkan gejala ( $E(t)$ ), dan kelas individu terinfeksi yang menunjukkan gejala ( $I(t)$ ), seperti pada Gambar 4 dan Gambar 5 berikut.



Gambar 4. Perbandingan Pola Perilaku  $E(t)$  dan  $I(t)$  dengan Variasi Nilai Parameter  $\rho_1 = 0.9$  dan  $\rho_2 = 0.1$

Pada Gambar 4, apabila jumlah individu yang divaksin rendah ( $\rho_2 = 0.1$ ), mengakibatkan penularan dan infeksi COVID-19 terus berlangsung dan mengakibatkan banyak individu yang terinfeksi. Baik yang terinfeksi namun belum menunjukkan gejala ( $E_2(t)$ ), maupun yang menunjukkan gejala ( $I_2(t)$ ). Meskipun polanya mengalami penurunan di awal, namun pada suatu waktu  $t$  jumlahnya melonjak naik secara signifikan akibat banyaknya individu yang terinfeksi. Hingga pada akhirnya jumlah individu yang terinfeksi namun belum menunjukkan gejala konstan di titik 0.0097 atau sebanyak 97 orang dari tiap 10.000 orang. Sedangkan yang terinfeksi dan menunjukkan gejala sebanyak 0.0174 atau 174 orang dari tiap 10.000 orang. Sedangkan jika jumlah individu yang divaksin tinggi, mampu menghambat penularan COVID-19. Terlihat bahwa grafik individu terinfeksi yang belum menunjukkan gejala ( $E_1(t)$ ) dan yang menunjukkan gejala ( $I_1(t)$ ) keduanya stabil di titik 0, yang berarti tidak ada individu yang terinfeksi. Sehingga dapat disimpulkan bahwa tingginya jumlah individu

yang divaksin dapat menekan laju infeksi COVID-19. Artinya, orang-orang yang sudah divaksin memiliki kekebalan tubuh yang mampu terhindar dari infeksi virus. Sedangkan apabila jumlahnya individu yang divaksin rendah, maka jumlah individu yang terinfeksi akan semakin banyak. Hal ini dikarenakan individu tersebut belum memiliki kekebalan tubuh untuk terhindar dari infeksi COVID-19.



Gambar 5. Perbandingan Pola Perilaku  $E(t)$  dan  $I(t)$  dengan Variasi Nilai Parameter  $\rho = 0.1$ ,  $\mu_{1A} = 0.6$ ,  $\mu_{2A} = 0.4$ ,  $\mu_{1B} = 0.4$ , dan  $\mu_{2B} = 0.6$

Pada Gambar 5 dengan nilai  $\rho = 0.1$  yang berarti jumlah individu yang divaksin rendah, mengakibatkan infeksi COVID-19 terus terjadi. Sehingga terdapat individu yang terinfeksi. Ketika jumlah individu yang tidak memakai masker ( $\mu_{1A}$ ) lebih banyak berpindah menjadi memakai masker ( $\mu_{2A}$ ) daripada sebaliknya, jumlah individu yang terinfeksi akan menjadi lebih sedikit. Meskipun jumlahnya sempat mengalami kenaikan karena infeksi yang terus terjadi, pada akhirnya jumlahnya akan konstan di titik 0.0097 yang berarti sebanyak 97 orang dari tiap 10.000 orang untuk individu yang terinfeksi namun belum menunjukkan gejala ( $E_1(t)$ ). Serta 0.0174 atau 174 orang dari tiap 10.000 orang untuk individu yang terinfeksi dan menunjukkan gejala ( $I_1(t)$ ). Sedangkan apabila individu yang memakai masker ( $\mu_{2B}$ ) lebih banyak melepas masker ( $\mu_{1B}$ ), mengakibatkan individu yang terinfeksi semakin tinggi, baik yang belum menunjukkan gejala ( $E_2(t)$ ) maupun yang menunjukkan gejala ( $I_2(t)$ ). Hingga pada suatu waktu  $t$ ,

jumlah individu terinfeksi yang belum menunjukkan gejala stabil di titik 0.0238 yang berarti terdapat 238 orang dari tiap 10.000 orang. Sedangkan yang menunjukkan gejala sebanyak 0.424 atau 424 orang dari tiap 10.000 orang.

Perbedaan nilai parameter laju vaksinasi yang mengindikasikan banyaknya individu yang terinfeksi serta parameter laju perpindahan individu dari memakai masker menjadi tidak memakai masker memiliki pengaruh terhadap infeksi COVID-19 yang terjadi. Semakin banyak individu yang diberi vaksin maka penularan dan infeksi COVID-19 dapat dihambat bahkan dihentikan. Hal ini dikarenakan individu yang sudah diberi vaksin memiliki kekebalan tubuh sehingga tidak mudah terinfeksi oleh COVID-19. Sebaliknya jika individu yang divaksin rendah, maka akan banyak individu yang terinfeksi. Kemudian ketika banyak individu yang mulanya memakai masker tetapi memutuskan untuk melepas masker, mengakibatkan individu banyak yang terinfeksi. Sebaliknya, jika banyak individu yang mulanya tidak memakai masker dan pada akhirnya memakai masker mampu menurunkan jumlah individu yang terinfeksi. Hal ini menunjukkan bahwa pemakaian masker mampu menghambat penularan dan infeksi COVID-19. Sehingga meskipun masih terjadi penularan dan infeksi, memakai masker mampu menjadi upaya dalam menghambat penularan dan mampu menekan jumlah individu yang terinfeksi. Melalui variasi nilai parameter tersebut, dapat disimpulkan bahwa pemberian vaksin dan penggunaan masker dapat mengurangi penularan dan juga menghambat infeksi COVID-19.

## PENUTUP

Berdasarkan penelitian, diperoleh bahwa model matematika penyebaran COVID-19 dengan pengaruh vaksinasi dan penggunaan masker sebagai upaya pencegahan memiliki dua titik ekuilibrium. Titik ekuilibrium tersebut yaitu titik ekuilibrium bebas virus ( $E_1$ ) dan titik ekuilibrium endemik ( $E_2$ ). Penularan COVID-19 ditentukan oleh bilangan reproduksi dasar yaitu  $R_0 = \frac{(1-\rho)\mu\delta\beta(\mu+\mu_2)+\mu_2\mu_1(\mu+\delta)(\mu+\sigma)}{(\mu+\mu_1)(\mu+\delta)(\mu+\sigma)(\mu+\mu_2)}$ . Jika  $R_0 < 1$ , maka  $E_1$  stabil asimtotik lokal. Jika  $R_0 > 1$  maka  $E_1$  tidak stabil dan  $E_2$  stabil asimtotik lokal. Melalui simulasi diperoleh bahwa semakin tinggi jumlah individu yang divaksin akan menghambat penularan COVID-19. Sebaliknya, penularan COVID-19 akan

semakin tinggi. Disisi lain penggunaan masker mampu mempengaruhi jumlah jumlah individu yang terinfeksi. Semakin banyak individu yang melepas masker dari sebelumnya memakai masker, maka jumlah individu yang terinfeksi semakin tinggi.

Pada penelitian ini hanya berorientasi pada vaksinasi dan penggunaan masker. sehingga perlu dilakukan penelitian pula dengan memasukkan pengaruh pembatasan social seperti PPKM atau lockdown. Selain itu, perlu diteliti secara spesifik varian COVID-19, hal ini dikarenakan setiap varian virus corona memiliki kecepatan penularan dan infeksi yang berbeda-beda. Kemudian pada populasi manusia perlu diteliti pada beberapa golongan usia, karena perbedaan golongan usia memiliki kekebalan tubuh yang berbeda. Sehingga akan berpengaruh pada cepat-lambatnya tingkat kesembuhan.

## DAFTAR PUSTAKA

- Annas, S. Pratama, S. I., Rifandi, M., Sanusi, W. & Side, S. (2020). *Stability Analysis and Numerical Simulation of SEIR Model For Pandemic COVID-19 Spread in Indonesia*. Nonlinier Science, and Nonequilibrium and Complex Phenomena.
- Aurora, W. I. D. (2019). *Perbandingan Kesehatan di Negara Maju dan Negara Berkembang*. Jambi Medical Journal.
- Eikenberry, S. E., Mancuso, M., Iboi, E., Phan, T., Eikenberry, K., Kuang, Y., Kostelich, E. & Gumel, A. B. (2020). *To Mask or not to Mask: Modelling the Potential for Face Mask Use by the General Public to Curtail the COVID-19 Pandemic*. Infectious Disease Modelling.
- Handayani, D., Hadi, D. R., Isbaniah, F., Burhan, E. & Agustin, H. (2020). *Penyakit Virus Corona 2019*. Jurnal Respirologi Indonesia.
- Howard, J., Huang, A., Li, Z., Tufekci, Z., Zdimas, V., Westhuizen, H. M. V. D., Delft, A. V., Price, A. Fridman, L., Tang, L. H., Tang, V., Watson, G. L., Bax, C. E., Saikh, R., Questier, F., Hernandez, D., Chu, L. F., Ramirez, C. M. & Rimoin, A. W. (2020). *An Evidence Review of Face Mask Againts COVID-19*. PNAS.

Kairul, Udiyono, A. & Saraswati, L. D. (2016). *Gambaran Pengelolaan Rantai Dingin Vaksin Program Imunisasi Dasar*. Jurnal Kesehatan Masyarakat.

Komsiyah, S. (2013). *Simulasi Model Epidemik Tipe SIR dengan Strategi Vaksinasi dan Tanpa Vaksinasi*. Jurnal Matematika Statistika.

Manaqib, M., Fauziah, I. & Hartati, E. (2021). *Model Matematika Penyebaran COVID-19 dengan Penggunaan Masker Kesehatan dan Karantina*. Jambura Journal of Biomathematics.

Mishra, B. K., Keshri, A. K., Rao, Y. S., Mahato, B., Ayesha, S., Rukhaiyyar, B. P., Saini, D. K. & Singh, A. K. (2020). *COVID-19 Created Chaos Across The Globe: Three Novel Quarantine Epidemic Models*. Chaos, Solitons & Fractals.

Musa, S. S., Qureshi, S., Zhao, S., Yusuf, A., Mustapha, U. T. & He, D. (2021). *Mathematical Modelling of COVID-19 Epidemic With Effect of Awareness Programs*. Infectious Disease Modelling.

Rosyanti, L. & Hadi, I. (2020). *Respon Imunitas dan Badai Sitokin Severe Acute Respiratory Syndrome Corona Virus 2 Literatur Review*. Jurnal Kesehatan Madani Medika.

Shereen, M. A., Khan, S., Kazmi, A., Bashir, N. & Siddique, R. (2020). *COVID-19: Origin, Transmission, and Characteristic of Human Coronaviruses*. Journal of Advanced Research.

Stutt, R. O. J. H., Retkute, R., Bradley, M., Giligan, C. A. & Colvin, J. (2020). *A Modelling Framework to Assess the Likely Effectiveness of Facemask in Combination with 'Lockdown' in Managing the COVID-19 Pandemic*. Proceeding The Royal Society Publishing A.