UNPjoMath Vol.4 No 2 September 2021
ISSN:997 235516589 34-40

Pemodelan Matematika Penyebaran Penyakit Covid-19 dengan Menggunakan Model SIRS

Maghfira Izzani Afwan[#1], Helma[*2]

[#]*Student of Mathematics Department Universitas Negeri Padang, Indonesia*
[*]*Lecturer of Mathematics Department Universitas Negeri Padang, Indonesia*
[1]maghfiraizzaniaf@gmail.com
[2]Helma667@yahoo.co.id

***Abstract* —** Covid-19 is a collection of viruses that infect the respiratory system and cause death. Covid-19 is transmitted through a liquid splash that is released when an infected individual coughs, sneezes or talks. Prevention of Covid-19 transmission can be done by not making contact with infected people, because there is a possibility that patients who have recovered from Covid-19 will be infected again due to a decreased immune system in the body. The purpose of this study was to determine the form of a mathematical model in the spread of the Covid-19 disease using the SIRS model and interpret the results of the analysis from the mathematical model. The method used is to analyze the conditions related to the problem so that it can be done to form a mathematical model of the spread of the Covid-19 disease. Based on the results of the analysis, the spread of the Covid-19 disease is influenced by the level of transmission due to contact with people infected with Covid-19, the presence of immigrants entering Indonesia from countries infected with the Covid-19 disease and a decreased immune system in people who are infected with Covid-19 has recovered from the Covid-19 disease.

***Keywords* —** Mathematical Model, SIRS Model, Covid-19

***Abstrak* —** Covid-19 merupakan kumpulan virus yang menginfeksi sistem pernapasan dan menyebabkan kematian. Covid-19 ditularkan melalui percikan cairan yang dikeluarkan saat individu yang terinfeksi batuk, bersin atau berbicara. Pencegahan penularan Covid-19 dapat dilakukan dengan tidak melakukan kontak terhadap orang terinfeksi, karena adanya kemungkinan pasien yang telah sembuh dari Covid-19 kembali terinfeksi dikarenakan turunnya sistem kekebalan pada tubuh. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui bentuk model matematika pada penyebaran penyakit Covid-19 dengan menggunakan model SIRS dan menginterpretasikam hasil analisis dari model matematika tersebut. Metode yang digunakan adalah menganalisis keadaan yang berkaitan dengan permasalahan sehingga dapat di lakukan pembentukan model matematika penyebaran penyakit Covid-19. Berdasarkan hasil analisis, penyebaran penyakit Covid-19 dipengaruhi oleh tingkat penularan akibat adanya kontak dengan orang yang terinfeksi Covid-19, adanya imigran yang masuk ke Indonesia yang berasal dari negara-negara yang terjangkit penyakit Covid-19 serta turunnya sistem kekebalan tubuh pada orang yang telah sembuh dari penyakit Covid-19.

***Kata kunci* —** Model Matematika, Model SIRS, Covid-19

PENDAHULUAN

Penyakit Coronavirus (Covid-19) telah mengejutkan banyak orang dikarenakan penyebarannya yang cepat. Pertama kali teridentifikasi di Kota Wuhan China dan segera menyebar ke seluruh dunia dan mengakibatkan ribuan korban jiwa dalam waktu yang sangat singkat [1]. Sumber infeksi pertama kali diduga berasal dari kelelawar atau hewan. Hal ini didukung oleh kebiasaan masyarakat Kota Wuhan yang gemar mengonsumsi kelelawar [2]. Di Indonesia, temuan kasus Covid-19 pertama terkonfirmasi pada 2 Maret 2020. Berdasarkan data sebaran dari Tim Pakar Satuan Tugas Penanganan Covid-19 (2020) sampai dengan 24 November 2020, di Indonesia tercatat 506.302 kasus Covid-19, 425.313 sembuh dan 16.111 meninggal, dimana pada hari ini betambah 4.192 kasus baru positif Covid-19, dan untuk jumlah pasien yang sembuh bertambah sebanyak 2.927.

COVID-19 merupakan singkatan dari *CoronaVirus Disease*-2019 adalah suatu penyakit yang disebabkan oleh coronavirus yang menyerang saluran pernafasan sehingga menyebabkan demam tinggi, batuk, flu, sesak nafas serta nyeri tenggorokan. Virus ini mampu mengakibatkan orang kehilangan nyawa sehingga WHO telah menjadikan status virus ini sebagai pandemi. Walaupun lebih banyak menyerang lansia, virus ini sebenarnya bisa menyerang siapa saja, mulai dari bayi, anak-anak, hingga orang dewasa, termasuk ibu hamil dan ibu menyusui. [3]. Penularan virus Covid-19 dapat melalui tiga cara, yang pertama melalui droplet (percikan cairan atau lendir yang keluar dari mulut dan hidung) pada saat berbicara, batuk dan bersin yang bersaal dari saluran pernafasan. Kedua, melalui kotak langsung dengan orang yang terinfeks dan yang ketiga melalui kontak dengan permukaan atau benda yang terkontaminasi dengan virus [4]. Gejala utama orang yang terinfeksi Covid-19 umumnya terjadi keluhan pada sistem pernapasan sehingga berpengaruh pada suhu tubuh, beberapa gejala klinis yang dialami oleh orang yang terinfeksi Covid-19 ialah mengalami demam, mengalami batuk pilek, mengalami gangguan pernapasan, mengalami sakit tenggorokan, dan badan terasa letih dan lesu. Selain itu, adanya riwayat kontak dengan orang yang berasal dari sumber infeksi (Kota Wuhan) juga menjadi poin kekuatan diagnosa [2].

Pada saat ini banyak kasus baru mengenai Covid-19 diantaranya pasien yang telah dinyatakan sembuh dari Covid-19 kembali terinfeksi untuk kedua kalinya. Orang dengan infeksi yang tidak terdiagnosis dapat menularkan infeksi kepada orang lain, orang yang menularkan infeksi disebut pembawa, pembawa juga mungkin orang yang tampaknya telah pulih dari penyakit tetapi tetap dapat menular, seperti gelombang kasus infeksi kedua Covid-19 yang terjadi di berbagai negara seperti Korea dan Tiongkok [5].

Beberapa peneliti telah melakukan penelitian pemodelan Covid-19 untuk memprediksi sejauh mana penyebaran dan estimasi puncak kasus ini baik di dunia maupun di Indonesia. Beberapa penelitian menyebutkan bahwa real-time R_0 untuk Covid-19 berada di interval 2,8-3,3 sedangkan berdasarkan angka prediksi kasus berada di interval 3,2-3,9 [6]. Pembahasan Covid-19 dalam sudut pandang pemodelan matematika hingga saat ini masih terus dikembangkan. Sejak awal kasus ini terjadi, berbagai model telah dikonstruksi, termasuk yang melibatkan *variable reservoir* yang menandai awal mula virus yang menjangkiti manusia [7].Pada penelitian kali ini mencakup model yang didasarkan kejadian saat ini dengan mengakomodasi adanya kemungkinan transmisi virus dengan populasi terbuka dan adanya kemungkinan kembali terinfeksi dengan mempertimbangkan adanya penurunan sistem kekebalan tubuh untuk dapat membantu dan dikembangkan untuk mengontrol penyebarannya dimasa mendatang. Oleh karena itu peneliti tertarik untuk mengkaji modelmatematika penyebaran penyakit covid-19 dengan menggunakan model SIRS dalam sebuah penelitian.

METODE

Penelitian ini adalah penelitian dasar. Metode yang digunakan adalah menganalisis keadaan yang berkaitan dengan permasalahan. Penelitian diawali dengan menentukan variabel, parameter, asumsi-asumsi yang bersangkutan dengan permasalahan sehingga dapat dilakukan pembentukan model matematika penyebaran penyakit Covid-19 dengan menggunakan model SIRS. Setelah model terberntuk, maka model tersebut akan di analisis dan di interpretasikan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. *Model Matematika Penyebaran Penyakit Covid-19 dengan Menggunakan Model SIRS*

Berdasarkah tahapan-tahapan dalam menyusun sebuah model matematika, yang dapat dilakukan pada tahap pertama adalah mengidentifikasi masalah yang diperoleh dari berbagai pertanyaan yang berhubungan dengan masalah tersebut. Tahapan ini dilakukan dengan menentukan faktor-faktor yang dianggap penting atau sesuai dengan permasalahan yang meliputi variabel, parameter, dan membentuk hubungan antara variabel dan parameter tersebut.

Variabel yang dapat digunakan untuk membentuk model matematika penyebaran penyakit Covid-19 dengan menggunakan model SIRS ini adalah kelompok individu yang rentan terhadap penyakit Covid-19 (*S*), kelompok individu yang teriinfeksi penyakit Covid-19 dan dapat menularkan infeksi ke pada individu lain yang rentan melalui kontak langsung *(I)*, kelompok individu yang sudah sembuh dari penyakit Covid-19 *(R)*. parameter yang akan di gunakan dalam pembentukan model matematika penyebaran penyakit Covid-19 dengan menggunakan model SIRS:

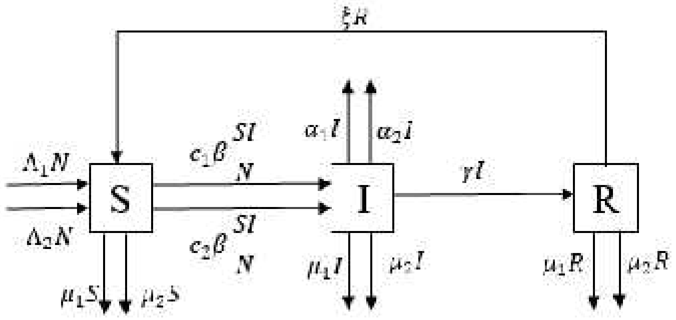
Λ_1 : Tingkat kelahiran warga negara
Λ_2 : Tingkat imigran yang masuk kedalam populasi
β : Tingkat penularan individu rentan ke terinfeksi
c_1 : Rata-rata kontak yang terjadi antara individu lokal pada kelompok rentan dengan individu kelompok terinfeksi
c_2 : Rata-rata kontak yang terjadi antara imigran pada kelompok rentan dengan individu kelompok terinfeksi
μ_1 : Tingkat kematian natural warga negara
μ_1 : Tingkat kematian natural imigran
α_1 : Tingkat kematian warga negara akibat penyakit
α_2 : Tingkat kematian imigran akibat penyakit
γ : Tingkat kesembuhan individu
ξ : Tingkat individu yang sembuh menjadi rentan kembali

Adapun asumsi-asumsi yang digunakan dalam model matematika penyebaran penyakit Covid-19 dengan menggunakan model SIRS adalah sebagai berikut:

1. Populasi bersifat terbuka, artinya terdapat migrasi pada populasi.
2. Setiap individu yang lahir dan imigran diasumsikan rentan terhadap penyakit.
3. Tidak ada masa inkubasi/laten.

4. Individu pada kelompok *susceptible* akan masuk ke dalam kelompok *infected* karena terjadi kontak langsung atau berinteraksi dengan individu yang terinfeksi penyakit Covid-19.
5. Individu yang telah sembuh dapat kembali masuk ke kelompok *susceptible* karena menurunnya imun tubuh dan tidak dibedakan antara warga negara dan imigran

Berdasarkan variabel, parameter, dan asumsi-asumsi yang diberikan, maka dapat dibentuk diagram modelmatematika penyebaran penyakit Covid-19 dengan menggunakan model SIRS, seperti pada Gambar 1



Gambar. 1 Diagram Model Matematika Penyebaran Penyakit Covid-19 dengan Menggunakan Model SIRS

Berdasarkan Gambar. 1 dapat di bentuk model matematika penyebaran penyakit Covid-19 dengan menggunakan model SIRS. Model matematika yang dibentuk merupakan sistem persamaan diferensial seperti dibawah ini:

$$\frac{dS}{dt} = (\Lambda_1 + \Lambda_2)N - (c_1 + c_2)\beta\frac{SI}{N} - (\mu_1 + \mu_2)S + \xi R \quad (1)$$

$$\frac{dI}{dt} = (c_1 + c_2)\beta\frac{SI}{N} - (\gamma + \mu_1 + \mu_2 + \alpha_1 + \alpha_2)I \quad (2)$$

$$\frac{dR}{dt} = \gamma I - (\mu_1 + \mu_2 + \xi)R \quad (3)$$

Untuk mempermudah dalam perhitungan, sistem diatas dapat disederhanakan dengan mengasumsikan:

$$A_1 = \Lambda_1 + \Lambda_2 \quad (4)$$

$$A_2 = (c_1 + c_2)\beta \quad (5)$$

$$A_3 = \mu_1 + \mu_2 \quad (6)$$

$$A_4 = \gamma + \mu_1 + \mu_2 + \alpha_1 + \alpha_2 \quad (7)$$

$$A_5 = \mu_1 + \mu_2 + \xi \quad (8)$$

Sehingga dapat dituliskan sebagai berikut:

$$\frac{ds}{dt} = A_1 N - A_2\frac{SI}{N} - A_3 S + \xi R \quad (9)$$

$$\frac{di}{dt} = A_2\frac{SI}{N} - A_4 I \quad (10)$$

$$\frac{dr}{dt} = \gamma I - A_5 R \quad (11)$$

B. *Analisis Model Matematika Penyebaran PenyakitCovid-19 dengan Menggunakan Model SIRS*

1) Titik Tetap Bebas Penyakit $e_0 = (S, 0, 0)$

Titik tetap bebas dari penyebaran penyakit Covid-19 dengan menggunakan model SIRS yaitu suatu keadaandimana tidak terjadinya penyebaran penyakit Covid-19. Secara matematis dapat diekspresikan dengan $S > 0,\ I = 0, R = 0$.

Sehingga titik tetap bebas dari penyebaran penyakit Covid-19 dengan menggunakan model SIRS adalah:

$$e_0 = \left(\frac{A_1 N}{A_3}, 0, 0\right) \quad (12)$$

2) Titik Tetap Endemik $e_1 = (S^*, I^*, R^*)$

Titik tetap endemik penyebaran penyakit Covid-19 dengan menggunakan model SIRS dapat diartikan bahwa terdapat sejumlah individu yang terpengaruh penyakit Covid-19. Secara matematis dapat diekspresikan dengan: $S > 0, I > 0$, dan $R > 0$. Sehingga diperoleh titik tetap endemik dari penyebaran penyakit Covid-19 dengan menggunakan model SIRS adalah:

$$S^* = \frac{A_4 N}{A_2} \quad (14)$$

$$I^* = \frac{A_5 N(A_1 A_2 - A_3 A_4)}{A_2 A_4 (A_5 - \xi\gamma)} \quad (15)$$

$$R = \gamma N\left(\frac{A_1 A_2 - A_3 A_4}{A_2 (A_5 - \xi\gamma)}\right) \quad (16)$$

3) Bilangan Reproduksi Dasar (R_0)

Bilangan reproduksi dasar (R_0) digunakan untuk mengetahui apakah dalam suatu populasi terjadi endemik atau tidak. Sehingga didapatkan R_0 adalah:

$$K_0 = \frac{(\Lambda_1+\Lambda_2)(c_1+c_2)\beta}{(\mu_1+\mu_2)(\gamma+\mu_1+\mu_2+\alpha_1+\alpha_2)} \quad (17)$$

4) *Kestabilan Model Matematika Penyebaran Penyakit Covid-19 dengan Menggunakan Model SIRS*

Analisis kestabilan titik tetap dapat ditentukan dengan cara menentukan nilai eigen dari matriks *Jacobian* pada persamaan (6), (7), (8) yang diperoleh:

$$J = \begin{bmatrix} -\frac{A_2 I}{N} - A_3 & -\frac{A_2 S}{N} & \xi \\ \frac{A_2 I}{N} & \frac{A_2 S}{N} - A_4 & 0 \\ 0 & \gamma & -A_5 \end{bmatrix} \quad (18)$$

Karena terdapat dua jenis titik tetap, maka analisis kestabilan titik tetap juga dilakukan pada kedua titik tetap tersebut.

a. *Kestabilan titik Tetap Bebas penyakit*

Untuk melihat kestabilan titik tetab bebas penyakit dibutuhkan nilai eigen. Titik tetap bebas penyakit dikatakan stabil jika semua niali eigennya bernilai negatif. Matriks Jacobian pada titik tetap bebas penyakit ini adalah:

$$J(e_0) = \begin{bmatrix} -A_3 & -\frac{A_1A_2}{A_3} & \xi \\ 0 & \frac{A_1A_2}{A_3} - A_4 & 0 \\ 0 & \gamma & -A_5 \end{bmatrix} \quad (19)$$

Nilai eigen matrik dapat di cari dengan menentukan det$((\lambda I - J(e_0)) = 0$ dengan λ adalah nilai eigen dan I adalah matriks identitas, sehingga di dapat:

$$|\lambda I - J| = \begin{vmatrix} \lambda + A_3 & -\frac{A_1A_2}{A_3} & -\xi \\ 0 & \lambda - \frac{A_1A_2}{A_3} + A_4 & 0 \\ 0 & -\gamma & \lambda + A_5 \end{vmatrix} \quad (20)$$

Menggunakan formula ekspansi kofaktor sepanjang kolom terakhir, sehingga didapatlkan persamaan karakteristiknya:

$$\Rightarrow (\lambda + A_3)\left(\lambda - \frac{A_1A_2}{A_3} + A_4\right)(\lambda + A_5) + 0 + 0 - 0 - 0 = 0$$

$(\lambda + A_3) = 0$, karena $A_3 > 0$ dan $\lambda_1 = -A_3$, maka $\lambda_1 < 0$

$(\lambda + A_5) = 0$, karena $A_5 > 0$ dan $\lambda_2 = A_5$, maka $\lambda_2 < 0$

$$\left(\lambda - \frac{A_1A_2}{A_3} + A_4\right) = 0$$

$\lambda_3 < 0$ jika $\left[\frac{A_1A_2}{A_3} - A_4\right] < 0$

$$\Rightarrow \frac{A_1A_2}{A_3A_4} < 1$$

$$\Rightarrow R_0 < 1$$

R_0 merupakan tolak ukur yang digunakan untuk mengetahui apakah dalam suatu populasi terjadi endemik atau tidak. Jadi dapat disimpulkan bahwa titik keseimbangan bebas penyakit ini stabil asimtotik karena memenuhi $R_0 < 1$.

b. *Kestabilan Titik Tetap Endemik*

Titik tetap dikatakan stabil jika semua nilai eigen dari matriks jacobian bernilai negatif. Matriks jacobian dari titik tetap endemik ini adalah:

$$J(e_*) = \begin{bmatrix} -\frac{A_5(A_1A_2 - A_3A_4)}{A_4A_5 - \xi\gamma} - A_3 & -A_4 & \xi \\ \frac{A_5(A_1A_2 - A_3A_4)}{A_4A_5 - \xi\gamma} & 0 & 0 \\ 0 & \gamma & -A_5 \end{bmatrix} \quad (21)$$

Nilai eigen matriks dapat dicari dengan menentukan $\det(J(e_*) - \lambda I) = 0$ dengan λ adalah nilai eigen dan I adalah matriks identitas. Sehingga di dapat:

$$|\lambda I - J| = \begin{vmatrix} \lambda + \frac{A_5(A_1A_2 - A_3A_4)}{A_4A_5 - \xi\gamma} + A_3 & A_4 & -\xi \\ -\frac{A_5(A_1A_2 - A_3A_4)}{A_4A_5 - \xi\gamma} & \lambda & 0 \\ 0 & -\gamma & \lambda + A_5 \end{vmatrix} \quad (22)$$

Misalkan

$$A_6 = \frac{A_5(A_1A_2 - A_3A_4)}{A_4A_5 - \xi\gamma} \quad (23)$$

Sehingga didapatkan

$$|\lambda I - J| = \begin{vmatrix} \lambda + A_6 + A_3 & A_4 & -\xi \\ -A_6 & \lambda & 0 \\ 0 & -\gamma & \lambda + A_5 \end{vmatrix} \quad (24)$$

Menggunakan formula ekspansi kofaktor sepanjang kolom terakhir, sehingga diperoleh persamaan karakteristiknya sebagai berikut:

$$\Leftrightarrow \lambda^3 + (A_6 + A_3 + A_5)\lambda^2 + (A_5A_6 + A_3A_5 + A_4A_6)\lambda - A_6\xi\gamma + A_4A_5A_6 = 0$$

Selanjutnya, analisis kestabilan dapat di peorleh dengan menggunakan tabel *Routh Hurwitz*, sehingga di dapatkan:

$$a_0 = 1 \tag{25}$$

$$a_1 = A_6 + A_3 + A_5 \tag{26}$$

$$a_2 = A_5A_6 + A_3A_5 + A_4A_6 \tag{27}$$

$$a_3 = A_4A_5A_6 - A_6\xi\gamma \tag{28}$$

Pada kriteria *Routh Hurwitz* sistem dikatakan stabil jika $a_1 > 0, a_3 > 0$ dan $a_1a_2 > a_3$. Dari hasil yang diperoleh, maka syarat kestabilan *Routh Hurwitz* telah terpenuhi, dimana koefisien bernilai positif dan dengan kata lain nilai eigen dari persamaan karakteristik diatas bernilai negatif atau mempunyai bagian real bernilai negatif. Dapat disimpulkan bahwa titik tetap endemik penyakit Covid-19 stabil.

5) Simulasi Model Matematika Penyebaran Penyakit Covid-19 dengan Menggunakan Model SIRS

Simulasi numerik pada model matematika penyebaran penyakit Covid-19 dengan menggunakan model SIRS menggunakan software Maple 18 dengan memberikan nilai untuk masing-masing parameter.

a. Simulasi Model Matematika Titik Tetap Bebas Penyakit Covid-19 dengan Menggunakan Model SIRS

Akan disimulasikan dengan keadaan tidak adanya individu yang terinfeksi penyakit Covid-19 sehingga parameter yang dapat digunakan dapat dilihat dari tabel I.

TABEL I
NILAI PARAMETER UNTUK TITIK TETAP BEBAS DARI PENYEBARAN PENYAKIT COVID-19 DENGAN MENGGUNAKAN MODEL SIRS

Parameter	Nilai
N	1000
Λ_1	0.125
Λ_2	0.02
β	0.1
c_1	2
c_2	1
μ_1	0.125
μ_2	0.1
α_1	0.038
α_2	0.015
γ	0.04
ξ	0.01

Dari nilai parameter terlebih dahulu dihitung nilai R_0 yang diperoleh:

$$R_0 = 0.6079664569$$

Diperoleh $R_0 < 1$. Kemudian dihitung nilai titik tetap bebas dari penyebaran penyakit Covid-19 dengan menggunakan model SIRS yaitu $E_0 = (600; 0; 0)$.

Dalam simulasi titik tetap bebas dari penyebaran penyakit Covid-19 dengan menggunakan model SIRS digunakan empat nilai awal adalah:

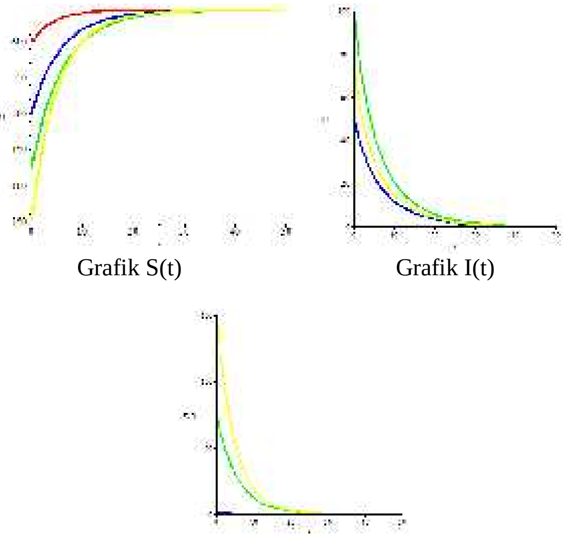
$$S(0) = 600, I(0) = 0; R(0) = 0$$

$$S(0) = 500, I(0) = 50; R(0) = 50$$

$$S(0) = 425, I(0) = 100; R(0) = 75$$

$$S(0) = 350, I(0) = 75; R(0) = 175$$

Berdasarkan nilai parameter dan nilai awal di atas diperoleh grafik dari masing-masing kelompok terhadap waktu t.



Grafik S(t) Grafik I(t)

Grafik R(t)

Gambar 2. Trayektori di Sekitar Titik Tetap Bebas Penyakit Covid-19 dengan Menggunakan Model SIRS

Berdasarkan Gambar 2, kurva merah mewakili titik tetap bebas penyakit Covid-19 dengan menggunakan model SIRS, sedangkan kurva biru, hijau, kuning terhadap kurva hijau yang nantinya akan menentukan stabil atau tidak pada titik tetap bebas dari penyebaran penyakit Covid-19 pada masing-masing grafik.Titik tetap $E_0 = (S, 0, 0)$bersifat stabil karena trayektori (kurva biru, hijau, kuning) dari masing-masing grafik bergerak tidak mendekati titik tetap bebas dari penyebaran penyakit Covid-19 yang ditunjukkan oleh kurva merah, titik tetap $E_0 = \left(\frac{A_1N}{A_3}, 0, 0\right)$ yang stabil dapat diartikan tidak terjadi penyebaran penyakit Covid-19 dalam populasi.

b. Simulasi Model Matematika Titik Tetap Endemik Penyebaran Penyakit Covid-19 dengan Menggunakan Model SIRS

Dalam hal ini untuk keadaan ada individu yang terinfeksi pada penyakit Covid-19 dengan menggunakan model SIRS akan disimulasikan dengan parameter yang digunakan dapat dilihat pada Tabel II.

TABEL II
PARAMETER UNTUK TITIK TETAP ENDEMIK PENYEBARAN PENYAKIT COVID-19 DENGAN MENGGUNAKAN MODEL SIRS

Parameter	Nilai
N	1000
Λ_1	0.125
Λ_2	0.02
β	0.3
c_1	2
c_2	1
μ_1	0.125
μ_2	0.1
α_1	0.038
α_2	0.015
γ	0.04
ξ	0.01

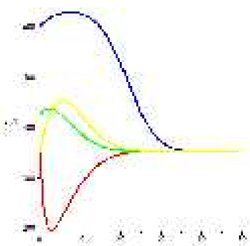
Dari nilai parameter di atas terlebih dahulu dihitung nilai R_0 yang diperoleh:

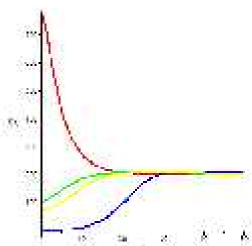
$$R_0 = 1{,}823899371$$

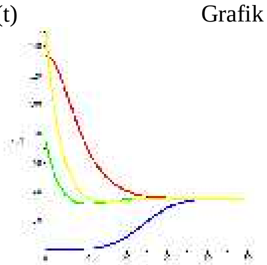
Diperoleh $R_0 > 1$. Kemudian dihitung nilai titik tetap endemik model matematika penyebaran penyakit Covid-19 dengan menggunakan model SIRS yaitu $e_* = (353.33;\ 781.34;\ 132.99)$. Dalam simulasi titik tetap bebas dari penyakit Covid-19 dengan menggunakan model SIRS digunakan empat nilai awal adalah:

$$S(0) = 353, I(0) = 781, R(0) = 133$$
$$S(0) = 600, I(0) = 1, R(0) = 0$$
$$S(0) = 425, I(0) = 100, R(0) = 75$$
$$S(0) = 350, I(0) = 75, R(0) = 175$$

Berdasarkan nilai parameter dan nilai awal diperoleh grafik dari masing-masing kelompok terhadap waktu t.


Grafik S(t)


Grafik I(t)


Grafik R(t)

Gambar 3. Trayektori di Sekitar Titik Tetap Endemik Penyakti Covid-19 dengan Menggunakan Model SIRS

Berdasarkan Gambar 3, kurva merah mewakili titik tetap endemik penyebaran penyakit Covid-19 dengan Menggunakan Model SIRS, sedangkan kurva biru, hijau, kuning terhadap kurva hijau yang nantinya akan menentukan stabil atau tidak pada titik tetap endemik dari penyebaran penyakit Covid-19 dengan Menggunakan Model SIRS pada masing-masing grafik. Titik tetap $e_* = (S^*, I^*, R^*)$ bersifat stabil karena trayektori (kurva biru, hijau, kuning) dari masing-masing grafik bergerak mendekati titik tetap endemik dari penyebaran penyakit Covid-19 yang ditunjukkan oleh kurva merah, titik tetap $e_* = (S, I, R)$ yang stabil dapat diartikan titik tetap endemik terpenuhi sehingga titik tetap padamodel matematika penyebaran penyakit Covid-19 dengan menggunakan model SIRS memiliki yaitu titik tetap bebas dan titik tetap endemik.

C. *Interpretasi Model Matematika Penyebaran penyakit Covid-19 dengan Menggunakan Model SIRS*

Berdasarkan hasil analisis titik tetap dan titik endemik yang sudah dilakukan terlihat bebarapa faktor yang dapat mempengaruhi terjadinya epidemi pada masalah penyebaran penyakit Covid-19 dengan menggunakan model SIRS. Pengaruh faktor ini dapat dilihat dari nilai R_0 dan bagaimana perubahannya dimana,

$$R_0 = \frac{(\Lambda_1 + \Lambda_2)(c_1 + c_2)\beta}{(\mu_1 + \mu_2)(\gamma + \mu_1 + \mu_2 + \alpha_1 + \alpha_2)}$$

Menyatakan bahwa tingkat penularan (β) dan tingkat kelahiran individu serta masuknya imigran yang terpengaruh penyakit Covid-19 berbanding lurus dengan R_0. Semakin tinggi tingkat penularan, tingkat kelahiran dan tingkat masuknya imigran kedalam populasi yang terpengaruh penyakit Covid-19 maka penyebaran penyakit Covid-19 akan semakin meningkat.

SIMPULAN

Dari pembahasan yang telah di lakukan diperoleh model matematika penyebaran penyakit Covid-19 dengan menggunakan model SIRS berbentuk sistem persamaan diferensial. Terdapat dua jenis titik tetap, yang pertama yaitu titik tetap bebas penyakit dan yang kedua yaitu titik tetap endemik.dari hasil simulasi dapat dilihat bahwa tingkat penularan, jumlah imigran yang masuk serta kontak antar individu rentan dengan individu terinfeksi dapat mempengaruhi terjadinya epidemik. Semakin tinggi tingkat penularan maka penyakit Covid-19 akan mewabah. Oleh karena itu untuk menurunkan tingkat penularan Covid-19 dapat melakukan kewajiban untuk tetap menjaga jarak, menggunakan masker, mencuci tangan dan melakuakn pembatasan masuknya imigran dari luar negeri ke Indonesia sehingga dapat mencegah penyebaran penyakit Covid-19.

REFERENSI

[1] Resmawan, R., & Yahya, L. 2020. *Sensitifity Analysis of Mathematical Model of Coronavirus Disease (COVID-19) Transmission*. Jurusan Matematika Universitas Negeri Gorontalo.Vol 6, No.2 (91-99).

[2] Baharrudin, & Fatimah A. R., 2020. *2019-nCoV Jangan Takut Virus Corona*. Yogyakarta: Rapha Publishing

[3] World Health Organization. 2020. *Transmisi SARS-CoV-2: Implikasi Terhadap Kewaspadaan Pencegahan Infeksi*.

[4] Kementerian Kesehatan Indonesia. 2020. *Pedoman Pencegahan Pengendalian Coronavirus Disease (COVID-19)*. Jakarta : Kementerian Kesehatan RI.

[5] Handayani, D., Hadi, D. R., Isbaniah, F., Burhan, E., & Agustin, H. 2020. *Penyakit Virus Corona 2019*. Journal of The Indonesian Society of Respirology. Vol 40, No.2 (119-129).

[6] Phan L.T., Nguyen T.V. dkk. 2020. *Importation and Human-to-Human Transmission of a Novel Coronavirus in Vietnam.* The New England Journal of Medicine. Vol 382, No.1 (1-3).

[7] Tang, B., Wang, X., Li, Q., Bragazzi, N. L., Tang, S., Xiao, Y., & Wu, J. 2020. *Estimation of the Transmission Risk of the 2019-nCoV and Its Implication for Public Health Interventions*. Journal of Clinical Medicine. Vol 9, No.2 (462).