ANALISIS KESTABILAN PENYEBARAN PENYAKIT *COVID*-19 DENGAN PENGARUH KARANTINA

Putri Sari Hutabarat[1], Hamidah Nasution[2]

[1,2] *Jurusan Matematika-Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam/ Universitas Negeri Medan Jalan Willem Iskandar Pasar V Medan Estate, Kotak Pos No. 1589 Medan 20221 A, Sumatera Utara*
[1]*putrisariihutabarat04@gmail.com*, [2]*hamidahnst@unimed.ac.id*,

Abstrak— *Coronavirus Disease* 2019 (*Covid*-19) adalah jenis penyakit baru yang belum pernah diidentifikasi sebelumnya pada manusia. Coronavirus merupakan keluarga besar virus yang menyebabkan penyakit mulai dari gejala ringan sampai gejala berat. Coronavirus merupakan penyakit yang dapat menular. Untuk mengatasi penyebaran penyakit menular, perlu dilakukan pencegahan. Karantina merupakan salah satu cara untuk mengatasi penyebaran penyakit. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisis dan menjelaskan model simulasi penyebaran penyakit *Covid*-19 di bawah pengaruh karantina. Salah satu model matematis penularan penyakit adalah model SEIR. Dari model akan diperoleh nilai Reproduksi Dasar (R_0), titik kesetimbangan stabil asimtotik lokal untuk $R_0 > 1$ (kasus endemik penyakit) dan memiliki titik kesetimbangan stabil asimtotik untuk $R_0 \leq 1$ (kasus bebas penyakit).

Keywords: Karantina, *Covid*-19, Model SEIR, kestabilan, dan *Matlab*

Abstract— Coronavirus Disease 2019 (Covid-19) is a new type of disease that has never been previously identified in humans. Coronaviruses are a large family of viruses that cause illness ranging from mild to severe. Coronavirus is a disease that can be transmitted. To prevent the spread of infectious diseases, prevention is necessary. Quarantine is one way to prevent the spread of disease. The purpose of this study is to analyze and explain a simulation model of the spread of the Covid-19 disease under the influence of quarantine. One of the mathematical models of disease transmission is the SEIR model. From the model, we get the Basic Reproductive value (R_0), *a local asymptotically stable equilibrium point for* $R_0 > 1$ *(disease-endemic cases) and asymptotically stable equilibrium point for* $R_0 \leq 1$ *(disease-free cases).*

Keywords: Quarantine, Covid-19, SEIR Model, stability, and Matlab.

PENDAHULUAN

Awal tahun 2020, dunia dihebohkan dengan merebaknya virus baru yaitu Novel Coronavirus (*SARSCoV*) yang bernama Coronavirus Disease (*Covid*-19). Coronavirus merupakan kelompok besar virus yang dapat menyebabkan berbagai penyakit mulai dari gejala ringan hingga berat. Coronavirus Disease 2019 (*Covid*-19) merupakan jenis penyakit baru yang belum pernah ditemukan pada manusia sebelumnya. Virus penyebab *Covid*-19 disebut SARSCov. Coronavirus bersifat zoonis (menyebar antara hewan dan manusia). Menurut penelitian, SARS ditularkan dari musang (kucing sipil) ke manusia, dan MERS ditularkan dari unta ke manusia. Sementara itu, hewan yang menjadi sumber penularan *Covid*-19 masih belum diketahui [1].

Diketahui asal mula virus ini berasal dari Wuhan, Tiongkok yang ditemukan pada akhir Desember tahun 2019. Pada mulanya transmisi virus ini belum dapat ditentukan apakah dapat menular antara manusia ke manusia lainnya atau tidak. Namum karena jumlah kasus yang selalu bertambah dan juga terdapat beberapa kasus petugas medis yang terinfeksi oleh salah satu pasien. Akhirnya dikonfirmasi bahwa transmisi Coronavirus dapat menular dari manusia ke manusia lainnya.

Secara umum, penularan virus corona yang paling efektif dari orang ke orang adalah droplet atau cairan yang langsung keluar melalui batuk atau bersin, dan droplet atau cairan yang menempel pada benda-benda disekitarnya. Untuk mencegaj penularan dari manusia ke manusia, salah satunya dengan menjaga jarak satu sampai dua meter dan memakai masker agar cairan batuk dan bersin tidak langsung terkena orang lain. Hal ini karena cairan yang mengandung virus corona yang keluar saat batuk atau bersin menempel di mulut atau hidung seseorang, kemudian terhirup ke dalam paru-paru melalui pernafasan [2]

Salah satu tindakan kesehatan masyarakat untuk mengatasi masalah ini adalah karantina yaitu pembatasan pergerakan atau pemisahan orang-orang sehat yang mungkin telah terpapar virus dari anggota masyarakat lainnya, dengan tujuan memantau gejala dan mendeteksi kasusu sejak dini. Banyak Negara yang memliki kewenangan legal untuk memberlakukan karantina. Penerapan karantina harus menjadi bagian tindakan atau respon kesehatan masyarakat dan langkah-langkah pennaggulangan secara menyeluruh dan sepenuhnya menjunjung martabat dan hak asasi serta kebebasan-kebebasan dasar manusia [3].

Salah satu cara untuk menjelaskan solusi masalah di dunia nyata adalah dengan memodelkan atau mengungkapkan masalah nyata dalam bahasa Matematika. Salah satu metode untuk mempelajari dinamika penularan penyakit dalam populasi adalah model matematika SIR yang dikemukakan oleh W.O. Kermak dan Mc. Kedrick membagi populasi menjadi individu yang rentan, individu yang terinfeksi, dan individu yang sembuh [4]. Namun dalam beberapa macam penyakit terdapat populasi laten dimana suatu individu terinfeksi sampai munculnya peyakit, sehingga adanya periode laten ini menjadi alsan pembentukan model epidemik SEIR yakni munculnya kelas *Exposed*.

Pemodelan matematika untuk penyebaran penyakit *covid*-19 telah banyak dilakukan, beberapa diantaranya , penelitian yang dilakukan oleh Resmawan dkk terhadap penyebaran *Covid-19* pada tahun 2020 [5]. Dalam penelitiannya, Resmawan dkk menggunakna model konstruksi yang melibatkan tiga jenis penyebab terinfeksi, yaitu orang yang terpapar, orang yang yang terinfeksi tanpa gejala dan orang yang terinfeksi secara klinis. Penelitian lainnya dilakukan oleh [6] dengan judul Model Matematika Untuk Penularan Penyakit Mers-Cov Dengan Penggunaan Masker Dan Vaksin. Artikel ini akan membahas analisis kestabilan model matematika penyebaran penyakit *Covid*-19 dengan pengaruh karantina. Dimana karantina yang dimaksud adalah proses mengasingkan diri dan melakukan

p-ISSN : 2443-0366
e-ISSN : 2528-0279

pola hidup yang sehat. Model yang diperoleh dilakukan analisis kestailan dan pada bagian akhir diberikan simulasi numerik untuk melihat pengaruh karantina terhadap penyabaran penyakit *covid*-19.

METODE PENELITIAN

Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah studi literatur yang bertujuan untuk membangun model matematika yang merepresentasikan analisis kestabilan penyebaran *Covid-19* dengan membedakan subpopulasi infeksi dengan gejala dan subpopulasi infeksi tanpa gejala dengan pengaruh karantina. Model yang dibahas pada penelitian ini adalah model SEIR. Secara umum langkah-langkah yang dilakukan dalam penelitian ini yaitu:

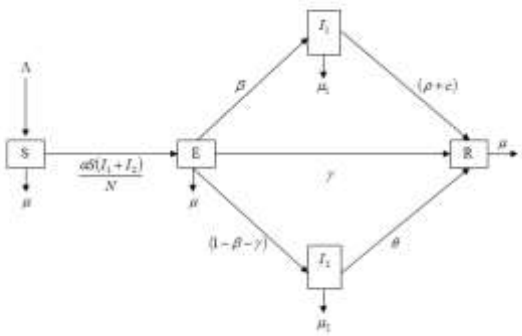
1. Penelusuran jurnal dan referensi yang berkaitan dengan model matematika penyebaran *Covid*-19.
2. Menentukan asumsi-asumsi untuk membuat skema model matematika penyebaran penyakit *covid-19*.
3. Merumuskan model matematika penyebaran penyakit *Covid*-19 yang akan dipelajari berdasarkan asumsi yang diberikan.
4. Mencari titik kesetimbangan dari model penyebaran pengguna narkoba.
5. Melakukan analisis kestabilan titik kesetimbangan dari model penyebaran pnyakit *Covid*-19.
6. Melakukan simulasi numeric untuk melihat dinamika populasi penyebaran penyakit *Covid*-19.
7. Interprstasi dan kesimpulan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. *Model Matematika Penyebaran Covid-19*

Pada model matematika penyebaran *Covid-19* dengan pengaruh vaksinasi ini, populasi manusia pada saat t terbagi menjadi 5 kompartemen, yaitu *S* (*Susceptible*) yang merupakan kelompok individu yang retan terhadap penyakit, *E* (*Exposed*) merupakan kelompok individu yang telah terinfeksi namum belum terdeteksi dan dapat menularkannya kepada orang lai, I_1 (*Infected*) merupa-kan kelompok individu terinfeksi dengan menunjukkan gejala secara klinis dan dapat menularkan virus. I_2 (*Infected*) merupakan kelompok individu terinfeksi tanpa menunjukkan gejala secara klinis dan dapat menularkan virus. *R* (*Recovered*) merupakan kelompok individu yang telah sembuh terhadap penyakit.

Berikut adalah skema penyebaran *Covid-19*



Gambar. 1 Model Epidemi SEIR

Berdasarkan Gbr. 1, model matematika penyebaran *Covid-19* dengan pengaruh karantina dideskripsikan ke dalam sistem persamaan :

$$\frac{dS}{dt} = \Lambda - \mu S - \frac{\alpha S(I_1 + I_2)}{N},$$
$$\frac{dE}{dt} = \frac{\alpha S(I_1 + I_2)}{N} - (\mu + \beta + \gamma + (1 - \beta - \gamma))E,$$
$$= \frac{\alpha S(I_1 + I_2)}{N} - (\mu + 1)E,$$
$$\frac{dI_1}{dt} = \beta E - (c + \rho + \mu_1)I_1,$$
$$\frac{dI_2}{dt} = (1 - \beta - \gamma)E - (\theta + \mu_2)I_2,$$
$$\frac{dR}{dt} = (\rho + c)I_1 + \theta I_2 + \gamma E - \mu R,$$
(1)

Keterangan :

Λ = Laju Kelahiran
μ = Laju kematian alami
μ_1, μ_2 = Laju Kematian karena terinfeksi *Covid 19*

p-ISSN : 2443-0366
e-ISSN : 2528-0279

$\frac{\alpha S(I_1+I_2)}{N}$ = Individu yang sudah terinfeksi namun belum dapat menginfeksi

β = Laju perpindahan individu E menjadi individu I_1

γ = Laju perpindahan individu E menjadi individu R karena bebas *Covid-19.*

$(1-\beta-\gamma)$ = Laju perpindahan individu E menjadi individu I_2

c = Laju Individu yang sembuh dengan melakukan Karantina terhadap individu I_1

θ = Laju individu yang sembuh dari individu I_2 karena kekebalan tubuh dan faktor lainnya.

ρ = Laju individu yang sembuh dari individu I_1

B. *Titik Kesetimbangan Model SEIR Penyebaran Covid-19*

. Untuk menentukan titik kesetimbangan pada system persamaan (1) dapat dicari dengan menyelesaikan persamaan tersebut dengan:

$$\frac{dS}{dt}=0,\ \frac{dE}{dt}=0,\ \frac{dI_1}{dt}=0,\ \frac{dI_2}{dt}=0,\ \frac{dS}{dt}=0$$

(2)

Dengan menyelesaikan persamaan secara bersamaan maka akan diperoleh dua titik kesetimbangan, yaitu titik kesetimbangan bebas penyakit (E_0) dan titik kesetimbangan endemik penyakit (E_1).

1). Titik Kesetimbangan pada Kondisi Bebas Penyakit (E_0):

Titik kesetimbangan pada kondisi bebas penyakit merupakan kondisi ketika tidak terdapat individu yang terinfeksi *Covid-19* pada suatu populasi tertentu atau dengan kata lain nilai $I_1=I_2=0$. Oleh karena itu, dari sistem (1) dan (2) diperoleh titik kesetimbangan bebas penyakit adalah

$$E_0=(S,E,I_1,I_2,R)=\left(\frac{\Lambda}{\mu},0,0,0,0\right)$$

2). Titik Kesetimbangan pada Kondisi Endemik (E_1): Titik kesetimbangan pada kondisi endemik penyakit merupakan kondisi ketika terdapat individu yang terinfeksi pada suatu populasi tertentu atau dengan kata lain $I_1\neq I_2\neq 0$ dari sistem (1) dan (2) dengan $a=(\mu+\rho+c), b=(\theta+\mu_2)$ dan $d=(1-\beta-\gamma)$ sehingga diperoleh titik kesetimbangan endemik penyakit adalah

$$E_1=\left(S^*,E^*,I_1^*,I_2^*,R^*\right)$$

dengan

$$S^*=\frac{ab(\mu+1)}{\alpha(b\beta+ad)}$$

$$E^*=\frac{\left(b\alpha\Lambda\beta+ad\alpha\Lambda-ab\mu^2-ab\mu\right)}{\alpha(b\beta\mu+ad\mu+b\beta+ad)}$$

$$I_1^*=\frac{\beta\left(b\alpha\Lambda\beta+ad\alpha\Lambda-ab\mu^2-ab\mu\right)}{a\alpha(b\beta\mu+ad\mu+b\beta+ad)}$$

$$I_2^*=d\left(\frac{\left(b\alpha\Lambda\beta+ad\alpha\Lambda-ab\mu^2-ab\mu\right)}{b\alpha(b\beta\mu+ad\mu+b\beta+ad)}\right)$$

$$R^*=\frac{\left(b\alpha\Lambda\beta+ad\alpha\Lambda-ab\mu^2-ab\mu\right)\left(b\beta(c+\rho)+ad\theta+ab\gamma\right)}{ab\mu\alpha(b\beta\mu+ad\mu+b\beta+ad)}$$

C. *Basic Reproduction Number* (R_0)

Basic Reproduction Number adalah nilai harapan banyaknya infeksi tiap satuan waktu. Infeksi ini terjadi pada suatu populasi rentan yang dihasilkan oleh satu individu terinfeksi. Untuk menentukan *Basic Reproduction Number* pada model penyebaran *Covid-19* digunakan metode *next generation matrix*. Adapun *next generation matrix* diperoleh di persekitaran bebas penyakit dari sistem persamaan yang memuat kelas populasi terpapar, kelas populasi terinfeksi tanpa gejala, dan kelas populasi terinfeksi dengan gejala, maka diperoleh bilangan reproduksi dasar sebagai berikut:

$$R_0=\frac{\alpha\Lambda\beta(\theta+\mu_1)+\alpha\Lambda(1-\beta-\gamma)(c+\rho+\mu_1)}{\mu(c+\rho+\mu_1)(\theta+\mu_1)(\mu+1)}$$

(3)

D. *Analisis Kestabilan Titik Kesetimbangan*

p-ISSN : 2443-0366
e-ISSN : 2528-0279

Analisis kestabilan titik kesetimbangan ditentukan berdasarkan nilai eigen dari matriks Jacobian yang diperoleh melalui metode linearisasi sistem persamaan diferensial model epidemi SEIR. Linearisasi dilakukan dengan mengubah sistem persamaan nonlinear menjadi linear. Matriks Jacobian untuk model epidemi SEIR adalah sebagai berikut:

$$J=\begin{bmatrix} -\mu-\alpha s(i_1+i_2) & 0 & -\alpha s & -\alpha s & 0 \\ \alpha s(i_1+i_2) & -(\mu+1) & \alpha s & \alpha s & 0 \\ 0 & \beta & -(c+\rho+\mu_1) & 0 & 0 \\ 0 & (1-\beta-\gamma) & 0 & -(\theta+\mu_2) & 0 \\ 0 & \gamma & (\rho+c) & 0 & -\mu \end{bmatrix}$$

Selanjutnya dilakukan evaluasi disekitar titik kesetimangan endemik penyakit pada persamaan (1), menghasilkan matriks jacobian untuk E_1 yang didefenisikan

$$J(E_1)=\begin{bmatrix} -\mu-P & 0 & -Q & -Q & 0 \\ P & -(\mu+1) & Q & Q & 0 \\ 0 & \beta & -a & 0 & 0 \\ 0 & d & 0 & -b & 0 \\ 0 & \gamma & (c+\rho) & \theta & -\mu \end{bmatrix}$$
(4)

dengan $a=(\mu+\rho+c), b=(\theta+\mu_2)$, $d=(1-\beta-\gamma)$, $\frac{ab(\mu+1)}{(b\beta+ad)}=Q$ dan $\frac{(\beta b+ad)(b\alpha\Lambda\beta+ad\alpha\Lambda-ab\mu^2-ab\mu)}{ab(b\beta\mu+ad\mu+b\beta+ad)}=P$ dari persamaan (4) dibentuk persamaan karakteristik , $\det(J(E_0)-\lambda I)=0$ sehingga diperoleh persamaan $(\mu+\lambda)T=0$ (5)

dengan

$$T=\lambda^4+\lambda^3(a+b+2\mu+1+P)+\lambda^2(ab+a+b+2a\mu+ 2b\mu+\mu+\mu^2+P(ab+a+b+\mu+1)-Q(d+\beta))+ \lambda((ab+ab\mu+2ab\mu^2+b\mu^2+a\mu^2+b\mu+a\mu)+ P(ab+a+b+a\mu+b\mu)-Q(da+b\beta+d\mu+\beta\mu))+ (ab\mu+ab\mu^2+Pab\mu-Q(da+b\beta+d\mu+\beta\mu))$$

(6)

Berdasarkan persamaan karakteristik (5) diperoleh $\lambda_1=-\mu$. Untuk menentukan nilai eigen lainnya perhatikan persamaan (6), diperoleh nilai:

$$\ell_0=1$$
$$\ell_1=a+b+2\mu+1+P$$
$$\ell_2=ab+a+b+2a\mu2b\mu+\mu+\mu^2+P(ab+a+b+\mu+1) -Q(d+\beta)$$
$$\ell_3=((ab+ab\mu+2ab\mu^2+b\mu^2+a\mu^2+b\mu+a\mu)+ P(ab+a+b+a\mu+b\mu)-Q(da+b\beta+d\mu+\beta\mu)$$
$$\ell_4=(ab\mu+ab\mu^2+Pab\mu-Q(da+b\beta+d\mu+\beta\mu))$$

(7)

Dengan $\ell_0,\ell_1,\ell_2,\ell_3,\ell_4>0$. Maka dibentuk matriks Hurwitz sebagai berikut:

$$H=\begin{bmatrix} \ell_1 & \ell_0 & 0 & 0 \\ \ell_3 & \ell_2 & \ell_1 & \ell_0 \\ \ell_5 & \ell_4 & \ell_3 & \ell_2 \\ \ell_7 & \ell_6 & \ell_5 & \ell_4 \end{bmatrix}$$

Berdasarkan matriks *H*, diperoleh determinan matriks Hurwitz: sebagai berikut

$$\Delta_1=\left\|[\ell_1]\right\|=P+a+b+2\mu+1$$

$$\Delta_2=\left\|\begin{bmatrix} \ell_1 & 1 \\ \ell_3 & \ell_2 \end{bmatrix}\right\|=\ell_1\ell_2-\ell_3$$

$$\Delta_3=\left\|\begin{bmatrix} \ell_1 & 1 & 0 \\ \ell_3 & \ell_2 & \ell_1 \\ 0 & 0 & \ell_3 \end{bmatrix}\right\|$$
$$=(\ell_1\ell_2-\ell_3)\ell_3$$
$$=\Delta_2\ell_3$$

$$\Delta_4=\left\|\begin{bmatrix} \ell_1 & 1 & 0 & 0 \\ \ell_3 & \ell_2 & \ell_1 & 1 \\ 0 & \ell_4 & \ell_3 & \ell_2 \\ 0 & 0 & 0 & \ell_4 \end{bmatrix}\right\|$$
$$=\ell_4(\ell_1\ell_2\ell_3-\ell_3^2)-\ell_1^2\ell_4^2$$
$$=\ell_4\Delta_3-\ell_1^2\ell_4^2$$

Diketahui bahwa $\ell_1>0$ sehingga $\Delta_1>0$. Berdasarkan persamaan (7), sehingga Δ_2 akan bernilai positif apabila $\ell_1\ell_2>\ell_3$. Maka terbukti bahwa $\Delta_2>0$. Selanjutnya akan dibuktikan $\Delta_3>0$, diketahui bahwa $\ell_3>0$ dan $\Delta_2>0$, maka jelas bahwa

p-ISSN : 2443-0366
e-ISSN : 2528-0279

$\Delta_2\ell_3 > 0$. Akan di tentukan Δ_4 bernilai positif apabila $\ell_4\Delta_3 > \ell_1^2\ell_4^2$, diketahui bahwa $\ell_4 > 0$ dan $\Delta_3 > 0$, maka jelas bahwa $\Delta_4 > 0$. Determinan matriks Routh Hurwitz $\Delta_1, \Delta_2, \Delta_3$ dan Δ_4 bernilai positif jika $R_0 > 1$. Dengan demikian persamaan (5) mempunyai akar-akar yang bagian realnya negatif. Sehingga dapat disimpulkan bahwa titik kesetimbangan endemik penyakit stabil asimtotik. Dan tidak stabil untuk $R_0 \leq 0$.

E. SIMULASI NUMERIK

Nilai parameter model yang digunakan pada model SEIR, berdasarkan kasus penyebaran *Covid-19*. Nilai parameter yang digunakan pada simulasi, ditampilkan pada tabel 2. Dengan Nilai awal dalam bentuk proporsi,

TABEL I NILAI AWAL

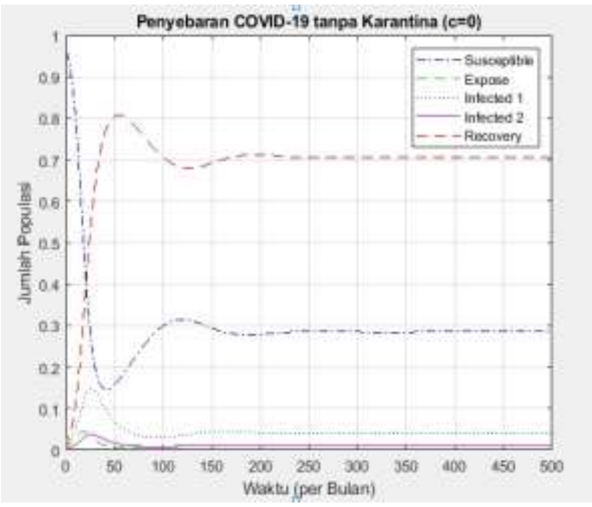
Populasi	Nilai Awal
Suspectible (s)	0.96248
Ekspose (e)	0.02789
Infeksi dengan gejala (i_1)	0.0025
Infeksi tanpa gejala (i_2)	0.00198
Recorvery (r)	0.00515

Nilai Parameter yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

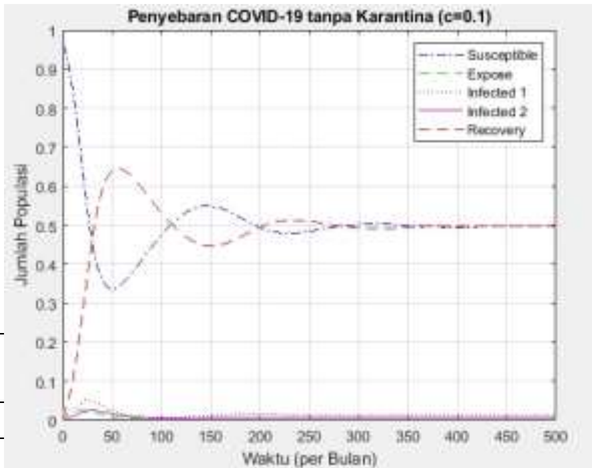
TABEL II NILAI PARAMETER

Simbol	Nilai Parameter	Sumber
Λ	0.0125	[7]
α	0.62	[8]
β	0.4	[8]
γ	0.5	Estimasi
ρ	0.087	[8]
θ	0.087	[8]
μ	0.0125	[8]
$\mu_{1,2}$	0.00014875	Estimasi

Berdasarkan nilai parameter dari Tabel I diperoleh R_0 sebesar 3,5540. Karena $R_0 > 1$ maka penyakit akan menyebar atau dengan kata lain akan terjadi endemik, dengan demikian dapat disimpulakan bahwa penyebaran *Covid-19* bersifat endemik stabil asimtotik. Grafik berikut ini menunjukkan penyebaran *Covid-19* di Sumareta Utara.



Gambar. 2 Grafik penyebaran *Covid-19* t tanpa pemberlakuan karantina



Gbr. 3 Grafik penyebaran *Covid-19* dengan pemberian karantina sebesar 10 persen

Berdasarkan hasil simulasi, menunjukan grafik penyebaran *Covid-19* dengan pengaruh karantina. Terlihat perbedaan pada gambar 2 dan dambar 3 dimana populasi yang terinfeksi akan berkurang

p-ISSN : 2443-0366
e-ISSN : 2528-0279

dengan memberlakukan karantina. Dengan demikian, untuk mengurangi penyebaran penyakit *Covid*-19, sangat perlu pemberlakuan karantina terdahap individu yang terinfeksi.

PENUTUP

Berdasarkan hasil dan pembahasan maka diperoleh bahwa penyebaran *Covid-19* model SEIR dengan pengaruh Karantina memiliki jenis kestabilan stabil asimtotik untuk keadaan endemik penyakit dengan syarat $R_0 > 1$ dan tidak stabil pada saat $R_0 \leq 1$. Dan pemberlakuan karantina berpengaruh untuk mengurangi penyebaran penyakit. Dimana dengan memberlakukan karantina, populasi individu yang terinfeksi akan lebih cepat mengalami penurunan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Gugus Tugas *Covid-19* di Indonesia atas dukungan data harian untuk kasus *Covid-19* yang digunakan dalam penelitian. Penulis juga mengucapkan terima kasih sebesar-besarnya kepada dosen-dosen Universitas Negeri Medan yang telah memberikan masukan dan sarannya dalam penelitian ini dan kepada Universitas Negeri Medan atas segala fasilitas yang diberikan.

REFERENSI

[1] Kementrian kesehatan RI, " *Pedoman pencegahan pengendalian covid-19",* Jakarta , KKRI, 2020.

[2] Yanti, Etri dkk, " Mencegah Penularan Virus Corona", *Jurnal Abdimas Saintika*, 2(01), 2020.

[3] WHO,"Transmisi SARS-CoV-2: implikasi terhadap kewaspadaan pencegahan infeksi", *Pernyataan keilmuan*, 2020.

[4] Iswanti, R. J, " Differential Equation and Dynamical System", *Spring-verlag*, New Work, 1991.

[5] Maniqiq, Muhammad, " Matematical model for mers-CoV diseases transmission with medical mask usage and vaccination", *Indonesia Journal of Pure and Aplication Mathematics*, 1(2):97-109, 2020.

[6] Resmawan, Agusyarif Rezka Nuha dan Lailany Yahya, "Analisis Dinamika Model Transmisi Covid-19 dengan melibatkan intervensi Karantina", *Jambura Journal Of Mathematics*, vol. 3, no. 1, pp. 66-79, 2020.

[7] (2021) Data Sensus Penduduk. [Online]. Available: https://.bps.go.id/

[8] Readny, Novi Sasmata, M. I. S. d. V. C., "Optimal control on a mathematical model to pattern the progression of coronavirus disease 2019 (COVID-19) in Indonesia", *Global Health Research and Policy*, vol. 5, no. 38, 2020.