

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Corona Virus Disease 2019 (COVID-19) adalah virus baru yang menyebabkan penyakit menular, virus tersebut dikenal dengan sebutan *Acute Respiratory Syndrome Coronavirus 2 (SARS-COV-2)*. *Coronavirus* dapat menyebar melalui kontak fisik dengan menyentuh wajah dan melalui udara akibat cairan atau droplet yang dikeluarkan saat berbicara, batuk atau bersin serta yang menempel pada benda di sekitar kita. *Coronavirus* dapat bertahan hidup di permukaan selama berhari-hari tetapi dapat dihancurkan dalam waktu kurang dari satu menit oleh disinfektan seperti *natrium hipoklorit, hidrogen peroksida* (Kampf, 2020).

Pada 8 Desember 2019, ditemukannya wabah penyakit yaitu virus corona yang muncul di kota Wuhan, Provinsi Hubei, China, berubah menjadi wabah pandemi yang menyebar ke seluruh dunia, termasuk Indonesia. Penyakit akibat virus corona (COVID-19) pertama kali terkonfirmasi di Indonesia dengan dua orang terinfeksi pada 2 Maret 2020. Seiring berjalannya waktu, angka tersebut terus meningkat secara signifikan hingga tanggal 10 Maret 2021 sebanyak 37.932 orang dinyatakan meninggal dunia 1.398.578 terkonfirmasi kasus COVID-19 dan 1.216.433 dinyatakan sembuh (Kemenkes RI, 2021). Menurut *World Health Organization (WHO, 2021)*, secara global pada tanggal 10 Maret 2021, ada 117.332.262 kasus COVID-19 yang dikonfirmasi, termasuk 2.605.356 kematian.

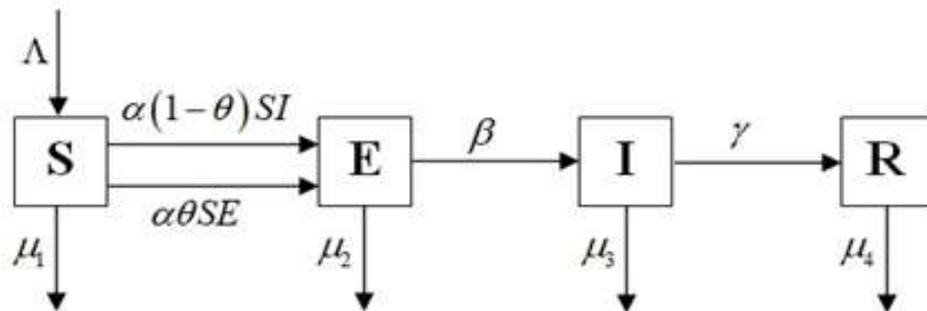
Pada pasien dengan penyakit *Coronavirus 2019 (COVID-19)*, gejala klinis yang paling umum adalah demam dan batuk, sesak napas, dan selain kesulitan bernapas serta memiliki gejala nonspesifik lainnya, termasuk dispnea, sakit kepala, nyeri otot dan kelelahan. Ada beberapa pasien juga melaporkan gejala pencernaan seperti diare dan muntah. Covid-19 mirip dengan SARS dan MERS dalam beberapa manifestasi klinis. Demam terjadi pada 98-100% penderita SARS

atau MERS, dibandingkan dengan 81,3% dengan penderita Covid-19 (Ouassou, 2020).

Penggunaan model matematika untuk memahami penyakit menular sudah dilakukan selama bertahun-tahun. Dalam pemodelan penyebaran penyakit terdapat perubahan parameter yang mempengaruhi kestabilan sistem, maka diperlukannya analisis bifurkasi. Bifurkasi adalah Perubahan kualitatif yang meliputi perubahan stabilitas dan perubahan banyaknya titik kesetimbangan yang disebabkan oleh adanya perubahan nilai-nilai parameter. Bifurkasi terjadi dalam sistem dinamik yang memuat satu atau lebih parameter dan ditekankan pada perubahan perilaku yang dialami parameter tersebut, sehingga dapat menyebabkan perubahan perilaku dinamik dari sistem tersebut. Analisis bifurkasi sangat diperlukan untuk mengetahui perubahan stabilitas dan perubahan banyaknya titik tetap akibat adanya perubahan parameter dan analisis bifurkasi juga bertujuan untuk meminimalkan terjadinya perubahan sebuah kestabilan yang dipengaruhi oleh beberapa faktor yang telah dianalisis sebelumnya dan sistem yang telah dibentuk dapat dapat bekerja secara maksimal (Guckenheimer, 1983).

Analisis model SEIR penyebaran penyakit Covid-19 dikonstruksi oleh Jiao (2020) dengan model matematika penyebaran Covid-19 dengan infektivitas dalam masa inkubasi dan isolasi tanpa adanya vaksinasi atau obat antivirus. Model lain dikonstruksikan oleh Rustan (2020) yang berjudul *The Outbreak's Modeling Of Coronavirus (Covid-19) Using The Modified Seir Model In Indonesia* dengan adanya pemberlakuan karantina dengan model SEIR yang dimodifikasi dan beberapa asumsi populasi konstan dan homogen untuk meneliti dan memperidiksi jumlah penderita Covid-19 dan lamanya pandemi Covid-19 di Indonesia. Penelitian lainnya juga dikembangkan dengan judul penelitian *Stability and Hopf bifurcation analysis of an SVEIR epidemic model with vaccination and multiple time delays* oleh Zizhen (2020) membahas arah dan stabilitas dari bifurkasi Hopf yang diinduksi waktu tunda menggunakan teori bentuk normal dan teorema *centre manifold*.

Pada tahun 2021, Sinaga, dkk. meneliti model SEIR penyebaran Covid-19 di Indonesia dengan mempertimbangkan adanya kontak antara populasi rentan dengan populasi terinfeksi dan kontak antara populasi rentan dengan populasi terpapar dengan skema berikut:



Gambar 1.1. Skema Modifikasi SEIR Penyebaran Covid-19

Pada model matematika penyebaran Covid-19 populasi manusia pada saat t terbagi menjadi empat subpopulasi, yaitu S (*Susceptible*), E (*Exposed*), I (*Infected*) dan R (*Recovered*). S (*Susceptible*) adalah kelompok individu sehat yang rentan untuk terinfeksi. E (*Exposed*) adalah kelompok individu yang telah terinfeksi pada masa inkubasi. I (*Infected*) adalah kelompok individu yang telah positif terinfeksi virus dan dapat menularkannya kepada individu lain. R (*Recovered*) adalah kelompok individu yang telah sembuh dan kebal terhadap virus.

Pada individu S (*Susceptible*), populasi individu akan bertambah dengan laju Λ dan berkurang karena adanya interaksi dengan individu E (*Exposed*) dan I (*Infected*) dengan laju masing-masing $\alpha\theta$ dan $\alpha(1-\theta)$ serta kematian secara alami dengan laju μ_1 .

Bertambahnya individu E (*Exposed*) disebabkan oleh individu berinteraksi dengan individu yang terinfeksi/positif Covid-19 dengan laju α . Kelompok individu E (*Exposed*) akan berkurang dengan adanya perubahan individu

E (*Exposed*) menjadi I (*Infected*) dengan laju β dan adanya kematian alami dengan laju μ_2 .

Populasi pada individu I (*Infected*) akan bertambah jika individu E (*Exposed*) menjadi I (*Infected*) dengan laju β . Dapat pula berkurang populasi individu I (*Infected*) jika adanya kematian karena penyakit dengan laju μ_3 . Selain itu, berkurangnya populasi individu I (*Infected*) dan adanya laju perpindahan individu dari kelas I ke kelas R disebabkan oleh adanya individu yang sembuh karena pengobatan tertentu dan karena sistem kekebalan tubuh (sistem imun) dengan laju dengan laju γ .

Pada populasi individu R (*Recovered*), Individu dapat bertambah karena adanya laju perpindahan individu dari kelas I ke kelas R disebabkan oleh adanya individu yang sembuh karena pengobatan tertentu dan karena sistem kekebalan tubuh (sistem imun) dengan laju dengan laju γ . Individu R (*Recovered*) dapat berkurang dengan adanya kematian alami dari individu dengan laju μ_4 .

Berdasarkan skema pada gambar 1.1., model matematika dapat diberdalam bentuk sistem persamaan diferensial sebagai berikut:

$$\begin{aligned}\frac{dS}{dt} &= \Lambda - \alpha S(\theta E - (1-\theta)I) - \mu_1 S \\ \frac{dE}{dt} &= \alpha S(\theta E - (1-\theta)I) - (\mu_2 + \beta)E \\ \frac{dI}{dt} &= \beta E - (\mu_3 + \gamma)I \\ \frac{dR}{dt} &= \gamma I - \mu_4 R\end{aligned}$$

Keterangan:

Λ : laju bertambahnya individu *susceptible*

α : laju perpindahan dari kelas *susceptible* ke *exposed* karena interaksi langsung individu *susceptible* dengan *exposed* dan *infected*

β : laju bertambahnya individu terinfeksi

γ : laju sembuh

μ_1 : laju kematian alami pada *susceptible*

μ_2 : laju kematian alami pada *exposed*

μ_3 : laju kematian karena infeksi Covid-19

μ_4 : laju kematian alami pada *recovered*

θ : proporsi jumlah individu *susceptible* yang melakukan isolasi mandiri

Pembentukan hipotesis mengenai masalah penyakit menular dapat diperoleh dengan mengamati data-data yang diperoleh beserta melakukan klarifikasi ukuran sampel yang optimal di lapangan. Salah satu tantangan dalam melakukan pemodelan matematika adalah terjadinya perubahan stabilitas dan perubahan banyaknya titik tetap akibat perubahan nilai parameter yang disebabkan oleh gangguan pada sistem sehingga membuat ketidakstabilan. Oleh karena itu, analisis bifurkasi perlu dilakukan untuk mengetahui perubahan stabilitas dan perubahan banyaknya titik tetap akibat perubahan nilai parameter. Berdasarkan uraian diatas, maka dilakukan penelitian dengan judul "**Bifurkasi Hopf pada Model Dinamik SEIR Penyebaran Penyakit Covid-19 di Indonesia**".

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian latar belakang di atas, rumusan masalah penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana hasil analisis kestabilan titik kesetimbangan model SEIR penyebaran Covid-19 di Indonesia?
2. Kapan terjadinya bifurkasi Hopf pada model SEIR penyebaran Covid-19 di Indonesia?
3. Bagaimana analisis simulasi numerik model matematika dan bifurkasi Hopf pada model SEIR penyebaran Covid-19 di Indonesia?

1.3. Batasan Masalah

Peneliti menyusun batasan masalah agar penelitian yang dilakukan lebih terarah dan topik pembahasan tidak meluas. Batasan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Populasi penduduk pada penyebaran Covid-19 bersifat tertutup yang berarti bahwa penambahan dan pengurangan jumlah penduduk melalui emigrasi dan imigrasi diabaikan.
2. Model matematika penyebaran Covid-19 yang dirumuskan tidak mempertimbangkan kemungkinan terjadinya infeksi ulang pada individu yang telah sembuh (*recovered*).
3. Penelitian dilakukan dengan menganalisa terjadinya bifurkasi Hopf terhadap parameter Λ dan α .

1.4. Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah yang telah diuraikan, tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menganalisis kestabilan model SEIR penyebaran Covid-19 di Indonesia.
2. Menganalisis terjadinya bifurkasi hopf pada model SEIR penyebaran Covid-19 di Indonesia.
3. Melakukan simulasi numerik model matematika dan bifurkasi hopf pada model SEIR penyebaran Covid-19 di Indonesia.

1.5. Manfaat Penelitian

Dengan diadakannya penelitian ini diharapkan dapat member manfaat sebagai berikut:

1. Bagi penulis, memperoleh ilmu dan pengetahuan mengenai bifurkasi hopf terhadap model matematika penyebaran Covid-19.
2. Bagi pembaca, dapat dijadikan sumber referensi dalam menganalisis terjadinya bifurkasi hopf pada penyebaran penyakit.