

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1. Latar Belakang

Pada Desember 2019 di Kota Wuhan, Provinsi Hubei, Cina, ditemukan wabah penyakit *Coronavirus Disease (Covid-19)* yang disebabkan oleh SARS-CoV-2 (*Severe Acute Respiratory Syndrome Coronavirus 2*). Infeksi virus ini menyebar dengan cepat di Cina dan negara-negara lainnya yang kemudian dinyatakan sebagai pandemi oleh Organisasi Kesehatan Dunia (WHO) pada Maret 2020 (Ouassou, 2020).

Penularan virus terjadi dari manusia ke manusia melalui droplet yang keluar saat berbicara, batuk atau bersin, kemudian masuk ke dalam tubuh melalui hidung, mata atau mulut. Setelah masuk ke dalam tubuh, infeksi virus akan memasuki masa inkubasi (3-14 hari) dengan kondisi pasien tidak bergejala. Pada fase selanjutnya virus akan menyebar melalui aliran darah sehingga muncul gejala awal. Empat hingga tujuh hari setelah gejala awal, kondisi pasien akan memburuk, jika tidak teratasi akan terjadi badai sitokin yang mengakibatkan *Acute Respiratory Distress Syndrome (ARDS)*, sepsis dan komplikasi lainnya (Mu'afa, 2021). Dampak klinis akibat infeksi virus dipengaruhi oleh usia, jenis kelamin laki-laki, perokok aktif, diabetes, penyakit kardiovaskular, penyakit paru obstruktif kronis (PPOK), kanker, obesitas, disfungsi ginjal dan hati. Pasien dengan komorbid kardiovaskular berisiko lebih tinggi untuk mengalami dampak klinis yang lebih berat serta berkontribusi terhadap sebagian besar kasus kematian Covid-19 (Willim, 2020).

Menurut Organisasi Kesehatan Dunia (WHO, 2021) pada 4 Maret 2021 secara global sebanyak 114.853.685 orang telah terkonfirmasi positif Covid-19. Di Indonesia, sejak kemunculan kasus pertama pada 2 Maret 2020 hingga 4 Maret 2021, sebanyak 1.316.098 orang telah terkonfirmasi positif Covid-19 (Kemenkes RI, 2021). Berbagai upaya pencegahan dan pengobatan Covid-19 dilakukan oleh pemerintah Indonesia untuk mengatasi pandemi di Indonesia.

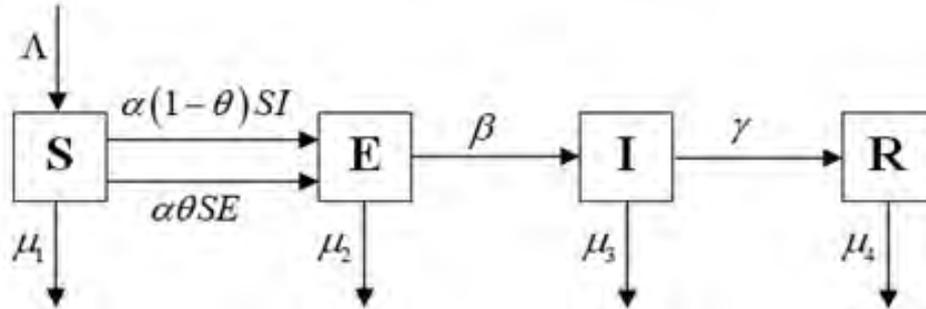
Peneliti dari berbagai bidang berusaha memberikan kontribusi untuk mengatasi pandemi Covid-19. Peneliti di bidang kesehatan berusaha mengidentifikasi sumber penyakit, cara mendeteksi penyakit, serta upaya pengobatannya. Ilmuwan matematika mempelajari karakteristik epidemi wabah, memprediksi penyebaran virus serta menawarkan berbagai langkah intervensi melalui pengembangan model matematika yang diharapkan mampu mengendalikan penyebaran penyakit.

Model SEIR penyebaran Covid-19 dikonstruksi oleh Zeb (2020), Jiao (2020) dan Annas (2020) dengan mempertimbangkan adanya kelompok yang diisolasi. Zeb, dkk. menambahkan kelas isolasi individu terinfeksi, sedangkan Jiao, dkk. dan Annas, dkk. menggunakan faktor isolasi sebagai parameter. Penelitian ketiganya menunjukkan bahwa isolasi merupakan salah satu faktor yang dapat menurunkan dan menghambat penyebaran Covid-19. Model lainnya dikonstruksi oleh Mandal (2020) dan Rustan (2020) dengan adanya pemberlakuan karantina. Pemberlakuan karantina dapat menunda penyebaran serta menurunkan jumlah individu yang terinfeksi Covid-19. Penelitian lain juga dikembangkan oleh Ndairou (2020) dengan mempertimbangkan adanya kelas penyebaran super (*super-spreads*) yang dapat berkontribusi untuk mengungkap aspek penting dari pandemi.

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 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

**Keterangan:**

- $\Lambda$  : laju bertambahnya individu *susceptible*
- $\alpha$  : laju perpindahan dari kelas *susceptible* ke *exposed* karena interaksi langsung individu *susceptible* dengan *exposed* dan *infected*
- $\beta$  : laju bertambahnya individu terinfeksi
- $\gamma$  : laju sembuh
- $\mu_1$  : laju kematian alami pada *susceptible*
- $\mu_2$  : laju kematian alami pada *exposed*
- $\mu_3$  : laju kematian karena infeksi Covid-19
- $\mu_4$  : laju kematian alami pada *recovered*
- $\theta$  : proporsi jumlah individu *suspect* yang melakukan isolasi mandiri

Subpopulasi *S* (*Susceptible*) akan bertambah dengan laju  $\Lambda$  dan berkurang karena adanya interaksi dengan individu *E* (*Exposed*) dan *I* (*Infected*) dengan laju masing-masing  $\alpha\theta$  dan  $\alpha(1-\theta)$ , serta karena kematian alami dengan laju  $\mu_1$ . Penambahan jumlah subpopulasi *E* (*Exposed*) dipengaruhi oleh interaksi individu *S* (*Susceptible*) dengan individu *E* (*Exposed*) dan *I* (*Infected*) dengan laju masing-masing  $\alpha\theta$  dan  $\alpha(1-\theta)$ . Subpopulasi *E* (*Exposed*) akan berkurang karena kematian alami dengan laju  $\mu_2$  dan perpindahan individu menjadi *I* (*Infected*)

dengan laju  $\beta$ . Subpopulasi  $I$  (*Infected*) akan bertambah karena terjadinya perpindahan individu dari subpopulasi  $E$  (*Exposed*) dengan laju  $\beta$  dan berkurang akibat adanya kematian karena infeksi Covid-19 dengan laju  $\mu_3$  serta perpindahan individu menjadi  $R$  (*Recovered*) dengan laju  $\gamma$ . Subpopulasi  $R$  (*Recovered*) akan bertambah karena terjadinya perpindahan individu dari subpopulasi  $I$  (*Infected*) dengan laju  $\gamma$  dan berkurang karena adanya kematian alami dengan laju  $\mu_4$ .

Berdasarkan Gambar 1.1., dinamika penyakit Covid-19 dapat dimodelkan dalam bentuk sistem persamaan diferensial sebagai berikut:

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

Karakteristik penyebaran penyakit dapat dipelajari dari model matematika yang dibentuk. Berdasarkan model matematika, penyebaran penyakit dapat dikendalikan dengan melihat pengaruh adanya pengobatan, karantina atau vaksinasi. Seluruh upaya dalam mengendalikan penyebaran penyakit akan membutuhkan biaya yang cukup besar. Dengan demikian diperlukan strategi yang optimal untuk menurunkan biaya. Upaya penentuan strategi pengendalian penyebaran penyakit yang efektif dan efisien disebut kontrol optimal.

Kontrol optimal merupakan alat untuk meminimalkan jumlah infeksi penyakit sekaligus meminimalkan upaya yang dilakukan. Lee (2013) merumuskan masalah kontrol optimal untuk meminimalkan wabah influenza dengan mempertimbangkan strategi vaksinasi, pengobatan antivirus dan pembatasan sosial. Anggriani (2015) menganalisis kontrol optimal model imigrasi SIR menggunakan strategi vaksinasi sehingga penyebaran penyakit dapat dicegah. Penelitian lain oleh Pareallo (2018) menunjukkan bahwa penambahan kontrol

pada model penyebaran penyakit demam berdarah dapat meminimumkan jumlah individu terinfeksi. Analisis kontrol optimal pada model penyebaran penyakit lainnya juga dapat dilihat pada penelitian Subchan (2019), Madubueze (2020) dan Hussain (2021) yang menunjukkan bahwa upaya kontrol yang dilakukan dapat mengurangi jumlah individu terinfeksi.

Berdasarkan uraian di atas, kontrol optimal penyebaran Covid-19 di Indonesia sangat perlu diperhatikan. Penelitian ini dilakukan dengan judul **“Kontrol Optimal Dinamika Penyakit Covid-19 dengan Model SEIR”**.

### **1.2. Rumusan Masalah**

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

1. Bagaimana hasil analisis kestabilan model SEIR penyebaran Covid-19 di Indonesia?
2. Bagaimana hasil analisis kontrol optimal pada model SEIR penyebaran Covid-19 di Indonesia dalam meminimumkan individu terinfeksi?
3. Bagaimana analisis simulasi numerik model matematika dan kontrol optimal pada model SEIR penyebaran Covid-19 di Indonesia?

### **1.3. Batasan Masalah**

Peneliti menyusun batasan masalah sehingga 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. Individu rentan yang divaksinasi memiliki kemungkinan untuk terpapar virus.

#### **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 kontrol optimal pada model SEIR penyebaran Covid-19 di Indonesia dalam meminimumkan individu terinfeksi.
3. Melakukan simulasi numerik model matematika dan kontrol optimal pada model SEIR penyebaran Covid-19 di Indonesia.

#### **1.5. Manfaat Penelitian**

Penelitian ini diharapkan dapat member manfaat sebagai berikut:

1. Bagi penulis, memperoleh ilmu dan pengetahuan mengenai kontrol optimal terhadap model matematika penyebaran Covid-19 dengan menggunakan Prinsip Maksimum Pontryagin.
2. Bagi pembaca, mengetahui upaya kontrol yang dapat dilakukan dalam meminimumkan populasi yang terinfeksi Covid-19 serta dapat dijadikan sumber referensi dalam penentuan kontrol optimal pada penyebaran penyakit.