

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Kontrol optimal sebagai suatu pendekatan dalam ilmu kontrol, telah menjadi landasan penting dalam merancang sistem yang efisien dan responsive terhadap dinamika kompleks. Teori ini bertujuan untuk menemukan strategi untuk meminimalkan atau memaksimalkan kriteria kinerja tertentu dalam berbagai bidang, seperti strategi penanganan suatu penyebaran penyakit. Konsep kontrol optimal dapat diaplikasikan untuk merancang kebijakan dan strategi penanganan dalam mengendalikan penyebaran virus, mengoptimalkan alokasi sumber daya kesehatan dan meminimalkan dampak ekonomi maupun sosial, misalnya pada permasalahan penyakit COVID-19 yang telah terjadi 4 tahun belakangan ini.

COVID-19 (*Corona Virus Disease 2019*) merupakan penyakit pada sistem pernapasan yang disebabkan oleh virus corona atau *severe acute respiratory syndrome coronavirus 2* (SARS-CoV-2). Kelompok Studi ICTV Coronaviridae menyatakan bahwa virus ini berkaitan dengan spesies virus corona SARS yang telah ada. Kasus pertama COVID-19 pada manusia terjadi pada Desember 2019 yang terdeteksi di Kota Wuhan, Provinsi Hubei, Tiongkok dan telah menyebar secara global. Pada 11 Maret 2020, wabah akibat SARS-CoV-2 ditetapkan sebagai pandemi oleh Organisasi Kesehatan Dunia (WHO). Pemerintah China melakukan karantina di kota Wuhan pada 23 Januari 2020 untuk mengendalikan pandemi COVID-19 (Hou, dkk., 2020).

Kasus COVID-19 di Indonesia terkonfirmasi pertama kali pada 2 Maret 2020, dimana dideklarasikan bahwa terdapat 2 orang terinfeksi, 0 sembuh dan 0 kematian (Rustan dan Handayani, 2020). Melansir dari Wikipedia “Pandemi COVID-19 di Indonesia, 2022”, hingga pertengahan bulan Juni 2023 Indonesia telah melaporkan lebih dari 6,8 juta kasus positif dengan 161.830 angka kematian. Namun angka kematian diperkirakan jauh lebih tinggi dibandingkan data yang telah dilaporkan

karena ada kematian dengan gejala COVID-19 yang belum dikonfirmasi atau dites (Wikipedia, 2023).

Dalam upaya menekan lonjakan peningkatan kasus COVID-19 di Indonesia, pemerintah melakukan sejumlah pembatasan kegiatan masyarakat. Pemerintah menerapkan Pembatasan Sosial Berskala Besar (PSBB) yang dilanjutkan dengan Pemberlakuan Pembatasan Kegiatan Masyarakat (PPKM). Seiring berjalan waktu, upaya yang dilakukan pemerintah untuk menghadapi penambahan jumlah kasus terkonfirmasi COVID-19 semakin beragam. Selain perberlakuan pembatasan kegiatan sosial, dilakukan juga vaksinasi kepada seluruh masyarakat Indonesia, melacak kontak yang dilakukan oleh orang yang baru terpapar, melakukan tes COVID-19 kepada orang yang akan melakukan perjalanan maupun orang yang melakukan kontak dengan orang yang terpapar, dan memaksimalkan perawatan kepada orang yang terpapar (Yong, ddk., 2022).

Penerapan *testing* yaitu suatu langkah untuk mendiagnosa kasus positif COVID-19 yang bergejala ataupun tidak bergejala agar dapat segera ditangani atau dilakukan perawatan. Li dan Guo memperoleh hasil bahwa pelaksanaan deteksi orang yang terpapar membantu dalam mengurangi penyebaran COVID-19 (Li dan Guo, 2022). Hal ini didukung oleh penelitian yang dilakukan oleh Azzahra, dkk. yang melakukan kontrol optimal model SEIR melalui *testing* di Jakarta yang menunjukkan bahwa dengan mengurangi individu *exposed* dan dengan biaya yang minimum (Azzahra, dkk., 2022).

Perawatan adalah upaya memenuhi peralatan dan tenaga medis dalam menangani individu yang terpapar COVID-19. Hasil studi menunjukkan bahwa pelaksanaan perawatan efektif dalam mengurangi tingkat penyebaran COVID-19, seperti yang dinyatakan oleh Li dan Guo (2022), Firmansyah dan Rangkuti (2023), serta Nasution dan Sinaga (2021).

Para peneliti dari berbagai bidang turut berkontribusi dalam upaya mengatasi pandemi COVID-19. Peneliti di bidang kesehatan berupaya mengetahui sumber penyakit, sifat virus, cara penyebaran penyakit, dan cara mengobatinya. Peneliti di bidang matematika berupaya dalam mempelajari karakteristik wabah pandemi,

memprediksi penyebaran virus serta membangun model matematika yang diharapkan mampu meminimalisir penularan penyakit.

Penelitian yang membahas tentang dinamika penyebaran penyakit COVID-19 telah banyak dilakukan. Zeb, dkk. mengembangkan model SEIQR dengan menambahkan kelas isolasi yang menunjukkan isolasi manusia yang terinfeksi dapat mengurangi resiko penyebaran COVID-19 (Zeb, dkk., 2020). Penelitian juga dilakukan oleh Youssef, dkk. dengan memodifikasi model SEIQR untuk menganalisis penyebaran COVID-19 di Arab Saudi yang menunjukkan melakukan kegiatan dari rumah dan mengisolasi individu yang terinfeksi dapat menurunkan laju peningkatan infeksi (Youssef, dkk., 2021). Didukung dengan penelitian oleh Gu, dkk. yang melakukan studi kasus untuk populasi di Pakistan menggunakan model SEIAQHR penyebaran COVID-19. Penelitian menunjukkan efektivitas melakukan isolasi, melakukan karantina, dan melakukan rawat inap terhadap individu terkonfirmasi positif dapat menekan jumlah individu terinfeksi (Gu, dkk., 2022).

Analisis model dinamika penyebaran penyakit COVID-19 juga dilakukan oleh Annas, dkk. Model yang dibahas dalam penelitian ini membagi populasi manusia saat t menjadi 4 subpopulasi, yaitu individu yang sehat tetapi rentan terinfeksi (*susceptible*), individu yang berada dalam masa inkubasi (*exposed*), individu yang terkonfirmasi terinfeksi (*infected*), dan individu yang telah sembuh (*recovered*) dengan mempertimbangkan parameter vaksinasi dan isolasi.

Populasi individu pada kelompok *susceptible* akan bertambah dengan adanya kelahiran alami. Individu pada kelompok *susceptible* akan berkurang karena terdapat kematian alami, perpindahan individu dari *susceptible* ke *exposed* karena melakukan kontak dengan individu *infected* dan perpindahan individu dari *susceptible* ke *recovered* karena melakukan vaksinasi.

Pertambahan individu pada kelompok *exposed* dapat terjadi jika terdapat kontak antara individu rentan dan individu terinfeksi. Individu pada kelompok *exposed* akan berkurang dengan adanya kematian alami dan perpindahan individu *exposed* ke *infected* yang dikonfirmasi terinfeksi COVID-19.

Individu pada kelompok *infected* akan bertambah jika terdapat individu *exposed* yang dikonfirmasi positif COVID-19 dan pindah ke *infected*. Populasi individu pada kelompok *infected* akan berkurang karena adanya kematian alami, kematian karena COVID-19 dan individu yang dinyatakan sembuh masuk ke kelompok *recovered*.

Pertambahan pada kelompok *recovered* terjadi dengan adanya individu pada kelompok *susceptible* yang melakukan vaksinasi dan terdapat individu terinfeksi yang dinyatakan sembuh. Populasi pada kelompok *recovered* akan berkurang dengan adanya kematian alami.

Penelitian yang dilakukan oleh Annas, dkk. dilakukan dengan simulasi nilai vaksinasi dan isolasi yang berbeda. Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa vaksinasi dan isolasi sangat berpengaruh terhadap jumlah individu yang terinfeksi sehingga perlu diterapkan pada populasi *susceptible*.

Hasil penelitian-penelitian yang telah dijelaskan menunjukkan bahwa pemodelan matematika serta kontrol optimal merupakan alat yang tepat untuk menganalisis dinamika serta pengendalian penyebaran COVID-19. Kontrol optimal umumnya menunjukkan bahwa strategi vaksinasi, karantina, dan pengobatan merupakan strategi-strategi yang dibutuhkan dalam pengendalian penyakit menular. Asumsi bahwa pengontrolan dengan penggunaan strategi ini dapat mempengaruhi kemampuan virus dalam menginfeksi merupakan dasar penggunaan metode kontrol optimal.

Kontrol optimal pada beberapa kelas individu dari model yang dibangun terbukti bermanfaat dalam meminimalisir penyebaran suatu penyakit. Hal tersebut dinyatakan dalam beberapa penelitian yang membahas dinamika penyebaran penyakit terutama COVID-19. Rangkuti, dkk. melakukan analisis kontrol optimal pada penyakit COVID-19 dengan model SEIR dimana hasil analisis menunjukkan bahwa penambahan kontrol pada model dapat meminimumkan jumlah individu terinfeksi yang bergejala dan tidak bergejala (Rangkuti, dkk., 2021). Araz mengkonstruksi model SIRU penyebaran COVID-19 dengan menerapkan strategi kontrol *lockdown*, karantina, dan isolasi mandiri. Simulasi yang dilakukan menunjukkan pengaruh positif

dalam meminimalkan peningkatan jumlah terinfeksi (Araz, 2021). Penelitian juga dilakukan oleh Paul dan Kuddus yang menunjukkan program vaksin dosis penuh secara signifikan dapat mengurangi kasus ringan dan kasus kritis terinfeksi COVID-19 dan berpotensi untuk membasmi virus (Paul dan Kuddus, 2022).

Pada 5 Mei 2023 WHO secara resmi mencabut status darurat kesehatan COVID-19. Keputusan ini diambil karena WHO menilai masa krisis yang disebabkan COVID-19 telah dilalui dan telah berdampak besar pada perubahan perekonomian dunia. Meskipun demikian, COVID-19 tidak dinyatakan hilang dan masih dilakukan berbagai macam upaya penanganan untuk mengantisipasi situasi di masa depan (WHO, 2023). Melalui Kompas pada 8 Agustus 2023, kemunculan varian COVID-19 Eris di Indonesia membuat pihak pemerintah tetap meminta masyarakat untuk waspada terhadap COVID-19 (Kompas, 2023). Pemerintah juga mewaspadaikan varian baru HV.1 dan JN.1 yang telah terdeteksi di sejumlah negara di Inggris, seluruh Eropa dan Amerika Serikat (Kompas, 2023). Terlepas dari pro dan kontra masyarakat terkait pelaksanaan vaksin yang menganggap vaksinasi bukan suatu kewajiban dan mempertanyakan efektivitas vaksin, tetapi hingga saat ini pemerintah masih menganjurkan masyarakat untuk divaksin sebagai proteksi terhadap penyebaran COVID-19.

Kemunculan varian terbaru virus COVID-19 tidak dapat diprediksi yang mengakibatkan perlunya tindakan antisipasi untuk menghadapi keadaan ini. Analisis kontrol optimal dapat menjadi solusi untuk melihat dinamika virus jika terjadi penambahan strategi kontrol pada model matematika penyebaran COVID-19 sehingga dapat meminimalkan populasi yang akan terinfeksi sekaligus mengurangi biaya dalam penanganan COVID-19. Oleh karena itu, akan dilakukan penelitian kontrol optimal terhadap model yang diusulkan Annas, dkk. dengan judul **“Kontrol Optimal pada Model Penyebaran SARS-CoV-2 dengan Pelaksanaan *Testing* dan Perawatan di Indonesia”**.

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, maka rumusan masalah dalam penelitian ini adalah bagaimana bentuk kontrol optimal terhadap model

dinamika penyebaran SARS-CoV-2 dalam meminimumkan jumlah populasi *exposed* dengan pelaksanaan *testing* serta meminimumkan populasi *infected* dengan pelaksanaan perawatan.

1.3. Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah, maka tujuan dalam penelitian ini adalah untuk mengetahui bentuk kontrol optimal terhadap model dinamika penyebaran SARS-CoV-2 dalam meminimumkan jumlah populasi *exposed* dengan pelaksanaan *testing* serta meminimumkan populasi *infected* dengan pelaksanaan perawatan.

1.4. Batasan Masalah

Agar penelitian yang dilakukan lebih terarah dan topik pembahasan tidak meluas, maka batasan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Model penyebaran SARS-CoV-2 serta parameter yang terdapat pada model yang akan digunakan pada penelitian ini diperoleh dari model yang dibentuk oleh Annas dkk. (2020).
2. Penyelesaian kontrol optimal pada penelitian ini akan menggunakan Prinsip Maksimum Pontryagin.
3. Kontrol optimal akan dilakukan terhadap populasi *exposed* dan *infected*.
4. Penyelesaian simulasi numerik pada penelitian ini akan menggunakan metode *Forward-Backward Sweep Runge-Kutta* orde 4.

1.5. Manfaat Penelitian

Dengan dilakukannya penelitian ini diharapkan dapat memberi manfaat sebagai berikut:

1. Bagi peneliti untuk menambah wawasan tentang kontrol optimal terhadap model dinamika penyebaran SARS-CoV-2.
2. Bagi pembaca sebagai bahan referensi untuk melakukan penelitian serupa dan sebagai tambahan informasi mengenai kontrol optimal pada model dinamika penyebaran SARS-CoV-2 sehingga dapat dilakukan intervensi terhadap variabel tersebut dalam menekan jumlah individu terinfeksi.