

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Penyakit yang disebabkan oleh sebuah virus, bakteri, atau parasit disebut penyakit menular. Seseorang dapat terjangkit penyakit menular baik melalui kontak langsung maupun tidak langsung dengan orang yang terinfeksi. Kontak langsung merujuk pada penularan yang terjadi akibat interaksi fisik secara langsung dengan yang terinfeksi, sedangkan kontak tidak langsung merujuk pada penularan yang terjadi tanpa adanya interaksi fisik dengan penderita, melainkan melalui perantara seperti udara, makanan, air, maupun benda yang telah terkontaminasi oleh patogen, sehingga seseorang tetap berpotensi tertular meskipun tidak berhubungan langsung dengan individu yang terinfeksi. Infeksi yang muncul sebagai hasil dari kontak ini menunjukkan bahwa penyakit menular telah menyebar. Penyebaran penyakit menular yang terus terjadi akan mengakibatkan kondisi yang disebut epidemi [1].

Selama bertahun-tahun, penyakit menular telah menjadi salah satu ancaman terbesar bagi eksistensi dan kesejahteraan manusia. Banyak orang di seluruh dunia menjadi korban akibat kemunculan berbagai penyakit menular seperti kolera, demam tifoid, HIV/AIDS, Ebola, demam Lassa,

campak, tuberkulosis, dan lain sebagainya. Tidak sedikit pula dari mereka yang berhasil bertahan hidup, namun harus menghadapi kecacatan akibat penyakit tersebut. Sifat asimtomatik dari beberapa penyakit menular semakin mempersulit dinamika penyebarannya. Individu yang terinfeksi tetapi tidak menunjukkan gejala dapat menularkan penyakit sehingga mengakibatkan cepatnya penyebaran penularan penyakit. Hal ini menunjukkan kompleksitas yang tinggi dalam pengendalian penyakit menular, terutama yang bersifat asimtomatik.

Menyadari besarnya ancaman tersebut, pemerintah di berbagai negara melakukan tindakan pencegahan dan penanganan penyakit menular sebagai prioritas utama [2]. Salah satu pendekatan penting dalam upaya ini adalah dengan memanfaatkan model matematika untuk mempelajari dan memahami dinamika penyebaran penyakit. Model tersebut dapat menjadi alat yang efektif dalam merancang strategi pengendalian yang optimal, memungkinkan penggunaan sumber daya secara efisien, serta membantu menentukan tindakan pengendalian yang tepat sasaran. Secara umum, berbagai bentuk tindakan pengendalian bertujuan mengurangi laju penularan antara individu yang terinfeksi dan yang rentan. Pemilihan strategi pengendalian sangat bergantung pada karakteristik penyakit, inang, dan skala epidemi yang dihadapi [3].

Salah satu upaya penting dalam mengendalikan penyebaran penyakit menular adalah melalui pengobatan, terutama bagi populasi yang sudah terinfeksi. Kesembuhan dapat terjadi baik melalui pengobatan

maupun respon imun, dan hasilnya seringkali berupa kekebalan terhadap infeksi ulang. Kekebalan ini bisa bersifat permanen, seperti pada penyakit campak, atau hanya sementara sebagaimana pada beberapa penyakit lain. Dengan demikian, memasukkan faktor pengobatan ke dalam model matematika menjadi penting agar dinamika penyebaran penyakit dapat digambarkan secara lebih realistis sekaligus memprediksi potensi wabah di masa depan [4]. Beberapa bentuk pengobatan yang bisa dilakukan yaitu pemberian obat antivirus atau antibiotik, rawat inap atau isolasi medis, dan banyak lainnya.

Namun perlu diketahui bahwa lama waktu pengobatan pada tiap penyakit bisa berbeda-beda. Ada penyakit yang memberikan kekebalan seumur hidup setelah pengobatan, sementara yang lain hanya memberikan kekebalan sementara. Di banyak penelitian sebelumnya, sering diasumsikan bahwa masa inkubasi penyakit diabaikan, sehingga individu yang terinfeksi langsung menjadi menular, lalu sembuh dengan kekebalan tertentu atau setelah menjalani pengobatan. Model epidemi yang didasarkan pada asumsi seperti ini dikenal sebagai model *SIR* (*Susceptible-Infectious-Recovered*). Model *SIR* merupakan bentuk sederhana dari model matematika epidemi yang menggunakan persamaan diferensial biasa (*ordinary differential equation*) [3].

Dalam model *SIR*, populasi dibagi menjadi tiga kelompok utama. Kelompok pertama adalah individu yang masih rentan terhadap infeksi (*susceptible*), yaitu mereka yang belum terinfeksi namun berisiko tertular

oleh penyakit. Kelompok kedua adalah individu yang sedang terinfeksi (*infected*) dan dapat menularkan penyakit kepada orang lain, sedangkan kelompok ketiga adalah individu yang sudah sembuh dan telah memiliki kekebalan terhadap penyakit (*recovered*) sehingga tidak mudah terinfeksi kembali [5].

Dalam menentukan strategi pengendalian penyakit yang paling efektif, salah satu pendekatan yang banyak digunakan adalah teori kontrol optimal. Teori ini merupakan cabang dari matematika terapan yang merupakan pengembangan dari kalkulus variasi, dan digunakan untuk mencari solusi terbaik dalam mengatur kebijakan pengendalian. Dalam konteks model epidemi tipe SIR, kontrol optimal bertujuan untuk menekan jumlah individu yang rentan (S) dan terinfeksi (I), sekaligus meningkatkan jumlah individu yang sembuh (R).

Penerapan kontrol optimal pada model SIR umumnya diselesaikan menggunakan metode prinsip minimum *Pontryagin*, yang membantu menentukan jalannya pengendalian yang optimal sepanjang waktu. Beberapa penelitian sebelumnya juga telah mengembangkan model semacam ini. Ikthisoliyah [6] membahas kontrol optimal pada model SIR secara umum, tanpa mengacu pada penyakit tertentu, melainkan menekankan pola penyebaran penyakit yang mengikuti model SIR. Setiawan [6] meneliti penerapan kontrol optimal melalui strategi vaksinasi dan pengobatan. Dalam penelitiannya, ditemukan adanya dua titik tetap, yaitu titik tetap bebas penyakit dan titik tetap endemik, yang menunjukkan kondisi stabil dalam

dinamika penyebaran penyakit tergantung pada efektivitas kontrol yang diterapkan. Selain itu, penelitian Lashari [7] menunjukkan bahwa penerapan kontrol optimal berupa vaksinasi dan pengobatan berbasis waktu secara signifikan mampu menurunkan jumlah individu yang terinfeksi dan rentan. Strategi ini juga terbukti lebih efektif dibandingkan dengan tanpa kontrol, serta dapat menurunkan tingkat penularan awal yang berperan penting dalam pengendalian penyebaran penyakit.

Berdasarkan kajian-kajian sebelumnya tersebut, penerapan kontrol optimal pada model epidemi tipe *SIR* terbukti efektif dalam mengendalikan penyebaran penyakit menular melalui pengobatan. Namun, upaya pengendalian tidak hanya bergantung pada pengobatan, melainkan juga memerlukan kampanye edukasi untuk meningkatkan kesadaran masyarakat terhadap pencegahan penyakit. Beberapa bentuk kampanye edukasi yang bisa dilakukan yaitu penyuluhan, pendidikan perilaku sehat, pemasangan media informasi (poster, spanduk, atau baliho), kampanye media sosial atau iklan publik, dan lain sebagainya. Oleh karena itu, pada penelitian ini, model *SIR* tidak hanya melibatkan kontrol pengobatan, tetapi juga mengintegrasikan kontrol berupa kampanye edukasi untuk menghasilkan strategi pengendalian yang lebih efektif.

Dalam penelitian ini, model matematika penyebaran penyakit menular yang akan dibahas adalah model epidemi *SIR* dengan kontrol pengobatan dan kontrol kampanye edukasi yang mengacu pada [3]. Selanjutnya, agar kedua kontrol tersebut optimal, digunakan teori kontrol

optimal dengan menerapkan prinsip minimum *Pontryagin* sebagai metode penyelesaiannya. Prinsip ini membantu dalam menentukan kebijakan pengendalian terbaik yang dapat meminimalkan jumlah individu yang terinfeksi dan memaksimalkan efektivitas pengobatan serta edukasi dengan mempertimbangkan keterbatasan sumber daya.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, berikut beberapa permasalahan yang akan dikaji pada tugas akhir ini.

1. Bagaimana model kontrol optimal untuk epidemi SIR pada penyakit menular dengan kontrol pengobatan terhadap populasi individu yang terinfeksi dan kontrol kampanye edukasi terhadap populasi individu yang rentan tertular oleh penyakit?
2. Bagaimana bentuk eksplisit kontrol optimal dari model yang diajukan tersebut?
3. Bagaimana pengaruh kontrol terhadap jumlah subpopulasi dalam setiap kompartemen?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan permasalahan di atas, berikut beberapa tujuan dalam penelitian tugas akhir ini.

1. Menyusun model kontrol optimal untuk epidemi SIR pada penyakit menular dengan kontrol pengobatan terhadap populasi individu yang terinfeksi dan kontrol kampanye edukasi terhadap populasi individu yang rentan tertular oleh penyakit.
2. Menentukan bentuk eksplisit kontrol optimal berdasarkan model yang diajukan tersebut.
3. Menganalisis pengaruh kontrol terhadap jumlah subpopulasi untuk setiap kompartemen.

1.4 Sistematika Penulisan

Penulisan tugas akhir ini terdiri dari empat bab. Bab I pendahuluan yang memuat latar belakang, rumusan masalah, tujuan penulisan, dan sistematika penulisan. Bab II landasan teori yang memuat materi dasar dan materi pendukung yang akan digunakan dalam penyelesaian masalah dalam tugas akhir ini. Bab III pembahasan yang memuat konstruksi model *SIR* dengan kontrol pengobatan dan kampanye edukasi, analisis kontrol optimal pada model *SIR* dengan kontrol pengobatan dan kampanye edukasi, serta simulasi numerik dari model *SIR* dengan kontrol pengobatan dan kampanye edukasi. Bab IV penutupan yang memuat kesimpulan dari masalah tugas akhir yang telah diperoleh dari bab sebelumnya dan saran untuk penelitian selanjutnya.