

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pada tahun 1883, kolera ditemukan di India oleh seorang bakteriologi yang berasal dari Jerman yaitu Robert Koch (1843-1910) [1]. Pandemi kolera terjadi pertama kali pada tahun 1817-1824 di wilayah Asia Tenggara yang kemudian menyebar secara global di luar Asia pada tahun 1829, 1852, 1863, 1881, 1889, dan 1961, yang masih berlanjut hingga saat ini [2]. Kolera merupakan penyakit infeksi usus akut yang disebabkan oleh bakteri *Vibrio Cholerae*, yang masuk ke dalam tubuh melalui makanan atau air minum yang terkontaminasi, termasuk air yang digunakan dalam pengolahan makanan, dan kemudian dikonsumsi oleh manusia [3, 4]. Selain itu kolera juga dapat menyebar melalui lingkungan yang terkontaminasi, seperti kondisi lingkungan dengan sanitasi yang buruk dan pembuangan limbah manusia yang tidak dikelola dengan baik. Individu yang terinfeksi kolera dapat menunjukkan gejala atau tidak menunjukkan gejala, beberapa gejalanya adalah diare akut, muntah, dehidrasi, kram otot dan syok hipovolemik [5].

Penyakit kolera sampai saat ini masih menjadi ancaman kesehatan di banyak negara, terutama di negara berkembang dan di negara dengan sumber daya terbatas. Pemicu wabah kolera juga bisa disebabkan karena kemiskinan, konflik politik, dan perubahan iklim yang ekstrem dapat memperburuk masalah kolera [6]. Organisasi Kesehatan Dunia (*World Health Organization* atau WHO) melaporkan bahwa pada tahun 2022, kasus kolera di 44 wilayah dari 35 negara meningkat sebesar 25% . Pada Januari 2023, WHO menetapkan wabah kolera global sebagai keadaan darurat tingkat 3, yakni status darurat internal tertinggi. Memasuki awal 2024, sebanyak 40.900 kasus dan 775 kematian tercatat pada Januari, berasal dari 17 negara di empat kawasan: Afrika, Mediterania Timur, Amerika, dan Asia Tenggara [6, 7].

Kasus penyakit kolera yang semakin berlanjut dari tahun ke tahun ini tidak dapat diremehkan maupun diabaikan. Jumlah kematian yang bisa di bilang cukup banyak, menandakan bahwa penyakit kolera cukup berbahaya jika tidak di tangani dengan tepat dan cepat. Penanganan

kolera ini sangat bergantung terhadap tingkat keparahan gejala yang dialami oleh penderita. Penderita dengan gejala ringan dapat ditangani dengan pengobatan standar seperti pemberian antibiotik, larutan rehidrasi oral (ORS) seperti oralit atau bisa juga menggunakan air kelapa untuk menggantikan cairan tubuh yang hilang akibat diare [8]. Sedangkan penderita dengan gejala berat perlu pengobatan lanjutan seperti perawatan medis dan rehidrasi intravena untuk mengganti cairan dan elektrolit yang hilang lebih cepat [8]. Pencegahan penyakit kolera perlu dilakukan untuk mengurangi kematian akibat kolera. Pencegahan kolera melibatkan tindakan sanitasi yang baik, keamanan air, dan kebersihan pribadi [9]. Vaksin oral untuk kolera pun tersedia dan dapat di berikan sebagai langkah pencegahan, namun vaksin ini hanya dibuat oleh satu produsen yang belum mampu memenuhi permintaan [6]. Selain itu pemberian vaksin oral untuk kolera hanya memberikan perlindungan jangka pendek dan lebih efektif bila dikombinasikan dengan langkah pencegahan lainnya [10]. Melihat kompleksitas penularan dan pencegahan kolera yang belum maksimal, pendekatan melalui model matematika menjadi bentuk untuk memahami dinamika penyebaran penyakit.

Salah satu pendekatan yang digunakan untuk memahami dan menganalisis permasalahan nyata dalam penyebaran penyakit adalah melalui pemodelan matematika. Model matematika dalam epidemiologi kolera dapat memberikan gambaran sistematis mengenai dinamika penyebaran penyakit serta efektivitas intervensi yang diterapkan. Dalam konteks pengendalian kolera, isu terkait vaksinasi dan resistensi terhadap obat menjadi hal yang penting untuk diperhatikan. Beberapa strain *Vibrio Cholerae* telah menunjukkan resistensi terhadap antibiotik umum, sehingga dapat menghambat efektivitas pengobatan dan meningkatkan risiko penyebaran penyakit lebih lanjut [11]. Oleh karena itu, model yang dikembangkan dalam studi ini adalah $SVIR_sRB$. Model ini melibatkan populasi yang dikelompokkan kedalam beberapa kompartemen yang merepresentasikan berbagai status individu dalam penyebaran kolera. Kompartemen pertama mencakup individu yang masih rentan terhadap infeksi yang dituliskan sebagai (S). Kompartemen kedua mewakili individu yang telah menerima vaksinasi kolera dan memiliki perlindungan sementara terhadap infeksi yang di tuliskan sebagai (V). Kompartemen ketiga adalah individu yang sedang terinfeksi dan dapat menularkan penyakit kepada orang lain yang dituliskan sebagai (I). Beberapa penelitian

menunjukkan bahwa munculnya resistensi terhadap obat pada penderita kolera dapat memengaruhi dinamika penyebaran penyakit, sehingga perlu dimodelkan secara khusus sebagai kompartemen (R_s) [12]. Kompartemen berikutnya mencakup individu yang telah sembuh dan dapat kembali menjadi rentan setelah beberapa waktu yang dituliskan sebagai (R). Selain itu, faktor lingkungan memiliki peranan penting dalam penularan kolera, terutama melalui bakteri yang bertahan hidup di air dan makanan tercemar. Hal ini mendorong dimasukkannya kompartemen bakteri lingkungan (B) dalam model [13]. Pemisahan kompartemen-kompartemen ini memungkinkan pemodelan yang lebih realistis terhadap dinamika penyebaran kolera, termasuk mempertimbangkan efektivitas vaksinasi, munculnya resistensi antibiotik, serta faktor lingkungan.

Untuk mendapatkan solusi yang optimal dalam beberapa skenario pemodelan matematis, pendekatan kontrol optimal diterapkan dalam model penyebaran penyakit kolera. Pengendalian yang efektif memerlukan pendekatan multi-sektoral, termasuk di bidang kesehatan, sanitasi, dan pendidikan. Oleh karena itu, kontrol optimal yang digunakan mencakup strategi seperti kampanye edukasi kepada masyarakat tentang pencegahan kolera, pengobatan lanjutan yang efektif bagi penderita, dan penyediaan air bersih sebagai langkah preventif utama.

Berdasarkan latar belakang tersebut, penulis tertarik untuk mengkaji lebih dalam mengenai analisis kestabilan dan kontrol optimal model penyebaran kolera. Sehingga penulis akan membuat skripsi yang berjudul "Model $SVIR_sRB$ Penyakit Kolera dengan Kampanye Edukasi, Pengobatan, dan Upaya Penyediaan Air Bersih".

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian dari latar belakang dapat dirumuskan beberapa rumusan masalah yang menjadi fokus utama dalam skripsi ini, yakni:

1. Bagaimana kontruksi model penyebaran penyakit kolera?
2. Bagaimana menentukan kepositifan dan keterbatasan solusi dari model yang dikonstruksi?
3. Bagaimana kestabilan dari titik kesetimbangan model penyebaran penyakit kolera?
4. Bagaimana menentukan bilangan reproduksi dasar dari model

penyebaran penyakit kolera?

5. Bagaimana analisis sensitivitas pada semua parameter yang terdapat dalam bilangan reproduksi dasar pada model penyebaran penyakit kolera?
6. Bagaimana penyelesaian kontrol optimal model penyebaran penyakit kolera?
7. Bagaimana simulasi numerik model penyebaran penyakit kolera dengan dan tanpa kontrol?

1.3 Batasan Masalah

Dalam skripsi ini terdapat batasan masalah, diantaranya:

1. Model penyebaran penyakit kolera terdiri dari 6 kompartemen, yaitu variabel S untuk populasi rentan terhadap penyakit, variabel V untuk populasi yang rentan yang sudah mendapatkan vaksin, variabel I untuk populasi terinfeksi, variabel R_s untuk populasi resistensi terhadap obat, variabel R untuk populasi sembuh, dan variabel B untuk populasi bakteri lingkungan.
2. Jumlah populasi yang di kaji bersifat tertutup.
3. Setiap kompartemen bergantung pada waktu (t).
4. Analisis titik kesetimbangan terkait kestabilan lokal.
5. Analisis sensitivitas dilakukan terhadap semua parameter yang terdapat dalam bilangan reproduksi dasar.
6. Terdapat kontrol berupa kampanye edukasi, pengobatan, dan upaya penyediaan air bersih.

1.4 Tujuan Penelitian

Penelitian dalam skripsi ini memiliki beberapa tujuan, antara lain:

1. Mengkonstruksi model penyebaran penyakit kolera menggunakan bentuk persamaan diferensial.
2. Membuktikan model yang dikonstruksi tetap bernilai non negatif sepanjang waktu dan memiliki solusi yang terbatas.
3. Menganalisis kestabilan titik kesetimbangan pada model penyebaran

penyakit kolera.

4. Menentukan bilangan reproduksi dasar dari model penyebaran penyakit kolera yang telah di konstruksi.
5. Mengalisis sensitivitas pada semua parameter yang terdapat dalam dalam bilangan reproduksi dasar pada model penyebaran penyakit kolera.
6. Menganalisis kontrol optimal model penyebaran kolera dengan intervensi kampanye edukasi, pengobatan, dan upaya penyediaan air bersih menggunakan Prinsip Maksimum Pontryagin.
7. Menyelidiki pengaruh kontrol pada model penyebaran penyakit kolera berdasarkan hasil numerik.

1.5 Metode Penelitian

Metodologi yang digunakan dalam penelitian skripsi ini yaitu

1. Studi Literatur

Studi Literatur merupakan tahapan pengumpulan referensi untuk mendapatkan fakta mengenai penyebaran kolera dan teori-teori yang berhubungan dengan model penyebaran kolera dengan kontrol optimal.

2. Konstruksi Model

Pada tahap ini, peneliti mengkonstruksi model penyebaran penyakit kolera dengan asumsi berdasarkan realita.

3. Analisis

Pada tahap ini, peneliti menganalisis model yang telah di konstruksi dengan mencari titik kesetimbangan, menganalisis kestabilan, menentukan bilangan reproduksi dasar, melakukan analisis sensitivitas dan melakukan analisis kontrol optimal.

4. Simulasi

Pada tahap ini, dilakukan simulasi numerik untuk mengamati bagaimana penyakit kolera menyebar dalam setiap kompartemen. Hasil dari simulasi ini kemudian diinterpretasikan untuk mendapatkan pemahaman yang lebih mendalam. Data parameter yang digunakan ditentukan secara asumsi, dengan beberapa nilai merujuk pada referensi literatur dan sisanya diperoleh melalui

eksplorasi nilai secara iteratif. Nilai-nilai parameter disesuaikan agar konsisten dengan kondisi titik tetap bebas penyakit maupun endemik, serta menghasilkan bilangan reproduksi dasar ($\mathcal{R}_0$) yang sesuai dengan dinamika model. Pendekatan ini dilakukan untuk memastikan bahwa hasil simulasi tetap masuk akal secara biologis dan matematis.

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan dalam skripsi ini terdiri dari 5 bab, dimana di dalam bab tersebut terdapat beberapa sub bab dengan rincian sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Bagian ini merupakan pendahuluan yang terdiri dari latar belakang masalah, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, metode penelitian dan sistematika penulisan.

BAB II LANDASAN TEORI

Dalam bab ini membahas tinjauan pustaka atau teori-teori dasar sebagai penunjang dalam penulisan skripsi ini. Landasan teori yang dibahas ialah mengenai penyakit kolera, model penyebaran penyakit, titik kesetimbangan, bilangan reproduksi dasar, matriks jacobian, nilai eigen dan vektor eigen, kestabilan lokal, kriteria Routh-Hurwitz, analisis sensitivitas, dan teori kontrol optimal.

BAB III MODEL MATEMATIKA DAN ANALISIS DINAMIKA KOLERA

Dalam bab ini, berisi bagian analisis tentang inti dari tugas akhir skripsi meliputi konstruksi model, titik kesetimbangan, analisis kestabilan, besarnya bilangan reproduksi dasar dan analisis kontrol optimal

BAB IV SIMULASI DAN INTERPRETASI

Bab ini dilakukan simulasi berdasarkan data asumsi yang diberikan di mana terdiri dari dua kondisi yaitu kondisi bebas penyakit dan kondisi endemik dan analisis sensitivitas pada parameter yang mempengaruhi model serta kondisi penyebaran kolera setelah diberi kontrol.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini berisi jawaban dari rumusan masalah secara singkat, padat dan jelas. Selain itu, bab ini juga berisi saran yang dapat dilakukan untuk pengembangan penelitian baik sebagai kelanjutan atau pembandingan terhadap hasil yang didapatkan.

