

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Amoebiasis adalah penyakit akibat infeksi pada usus besar manusia yang disebabkan oleh parasit *Entamoeba histolytica*. Parasit ini dapat menyebabkan gejala seperti kram, nyeri perut, diare, dan bahkan dapat menyebabkan penurunan pada berat badan. Namun, ada juga beberapa pasien yang terinfeksi tidak menunjukkan gejalanya. Pada tahun 1859, seorang ilmuwan W.D. Lambl pertama kali melaporkan adanya amoeba pada cairan tubuh pasien penderita disentri. Kemudian, pada tahun 1903, Schaudinn memberi nama *Entamoeba histolytica* pada parasit karena kemampuannya yang dapat menyebabkan lisis jaringan. Schaudinn juga menggambarkan bahwa parasit ini adalah sebagai agen penyebab disentri amoeba [1].

Penyakit amoebiasis sudah tersebar luas di seluruh dunia dan menempati peringkat ketiga sebagai penyebab kematian paling umum akibat parasit. Setiap tahunnya diperkirakan hampir 500 juta orang yang terinfeksi dan 100 ribu orang meninggal dunia akibat amoebiasis [2]. Amoebiasis menjadi masalah kesehatan masyarakat yang serius di wilayah dengan populasi padat, sanitasi yang buruk, dan tingkat sosial ekonomi yang lebih rendah, terutama di daerah tropis dan subtropis. [3]. Amoebiasis juga diyakini memiliki tingkat penyakit yang tinggi di Afrika Sub-Sahara (SSA) dan paling banyak ditemukan di negara-negara berkembang seperti India, Bangladesh, Meksiko, Cina, dan Amerika Selatan [4]. Sedangkan untuk kasus di Indonesia, data terkait infeksi *E. histolytica* masih terbatas. Pada data tahun 2011 menunjukkan prevalensi amoebiasis berkisar 10 – 18%. Adapun sebuah studi di Jakarta pada tahun 2009-2010 menemukan bahwa sekitar 6.5% anak yang mengalami diare berdarah dan hasil pemeriksaan feses ditemukan trofozoit [5].

Amoebiasis dapat menular secara fekal-oral, baik secara langsung melalui kontak dari orang ke orang maupun secara tidak langsung melalui makanan dan minuman yang terkontaminasi oleh kotoran. Selain itu, amoebiasis juga dapat menular melalui penggunaan kotoran manusia sebagai pupuk, adanya vektor lalat dan kecoa, serta hubungan seksual oral-anal secara langsung di kalangan laki-laki

homoseksual. Umumnya, penularan amoebiasis hingga muncul gejala berlangsung sekitar 2 sampai 4 minggu [6].

Metronidazole dan senyawa turunan nitroimidazole merupakan obat yang umum digunakan untuk mengatasi infeksi parasit invasif, termasuk yang disebabkan oleh *Entamoeba histolytica* [4]. Meskipun efektif, obat yang mengandung senyawa ini sering kali disertai dengan efek samping yang tidak diinginkan, memiliki biaya yang tinggi, dan mungkin tidak selalu tersedia di beberapa negara atau wilayah. Sehingga penting untuk mengatasi penyebaran amoebiasis dengan meningkatkan sistem pemurnian air dan melakukan gerakan praktik kebersihan yang lebih baik. Namun, upaya ini membutuhkan waktu, reformasi kebijakan yang tepat, dan investasi finansial yang signifikan. Sebagai alternatif, pengembangan vaksin dan penerapan program vaksinasi di negara-negara berkembang dapat menjadi solusi yang menjanjikan. Akan tetapi, hingga saat ini belum ada vaksin yang disetujui untuk uji klinis pada manusia terhadap amoebiasis.

Sebagian besar literatur tentang amoebiasis berfokus pada bidang medis, klinis atau bidang terkait lainnya. Hal ini terlihat seperti pada karya Nowak dkk. [2] yang membahas patogenisitas infeksi *E. histolytica* dan gejala amoebiasis. Karya Carrero dkk. [1] menganalisis faktor-faktor yang dapat menimbulkan amoebiasis. Karya Ikkal dkk. [4] yang membahas patogenesis, diagnosis, pencegahan, dan strategi pengobatan penyakit amoebiasis. Selain penelitian tersebut, adapun penelitian matematika yang telah dilakukan dengan menggunakan model epidemi untuk memahami dinamika penularan amoebiasis, seperti karya Hategekimana dkk. [7] yang memformulasikan model SEIR dengan sedikit modifikasi adanya kelompok *carrier* untuk penyakit amoebiasis dan membahas eksistensi dan keunikan solusi dari model tersebut. Penelitian karya Sobin dkk. [8] yang memperluas penelitian karya Hategekimana dkk. [7] dengan melakukan analisis matematis terperinci tanpa modifikasi lebih lanjut dari model sebelumnya. Penelitian karya Hategekimana dkk. [9] yang memperluas penelitian [7] dengan melakukan analisis matematis terperinci dari model tersebut, seperti analisis stabilitas, sensitifitas, serta simulasi numerik dari dinamika penyebaran amoebiasis. Penelitian karya dari Mpeshe dkk. [10] yang memformulasikan model SEIR untuk amoebiasis dengan melibatkan fuzzy di beberapa parameternya. Kemudian, penelitian karya Mwaijande dkk. [11] yang memformulasikan model SEICRS dengan modifikasi adanya efek lingkungan untuk menganalisis dinamika penyebaran amoebiasis dengan beberapa intervensi kontrol seperti skrining, pengobatan, dan sanitasi.

Pada umumnya, teori kontrol optimal telah banyak diterapkan dalam berbagai bidang, seperti ilmu biologi, fisika, teknik, ekonomi, keuangan, dan manajemen. Dalam bidang epidemiologi, banyak penelitian yang menggunakan teori ini untuk merancang strategi intervensi yang paling efektif dalam menurunkan laju infeksi, sekaligus meminimalkan biaya yang diperlukan untuk penerapannya. Hal ini terlihat pada penelitian karya Tilahun dkk. [12] yang menerapkan strategi kontrol optimal terhadap penyakit pneumonia dengan intervensi berupa program edukasi, pengobatan, dan skrining. Karya Berhe dkk. [13] yang menerapkan strategi kontrol optimal terhadap penyakit disentri dengan intervensi berupa pengobatan, sanitasi, dan program edukasi. Karya Olaniyi dkk. [14] yang menerapkan strategi kontrol optimal terhadap penyakit COVID-19 dengan intervensi berupa program advokasi dan pengobatan. Karya Belay dkk. [15] yang menerapkan strategi kontrol optimal terhadap penyakit Hepatitis B dengan intervensi berupa pencegahan dan vaksin untuk bayi baru lahir. Kemudian, karya Kwasi dkk. [16] yang menerapkan strategi kontrol optimal terhadap penyakit kolera dengan intervensi berupa program edukasi dan pengolahan air lingkungan.

Berdasarkan latar belakang diatas, penulis tertarik untuk mengkaji lebih lanjut dinamika penyebaran amoebiasis menggunakan model epidemi SEICRS dengan melibatkan efek lingkungan pada jalur penularannya. Untuk membedakan dari penelitian-penelitian sebelumnya, penelitian ini akan memperhitungkan strategi kontrol optimal untuk menentukan strategi terbaik dalam menghentikan penyebaran penyakit, dengan meminimalkan jumlah infeksi sekaligus mengoptimalkan biaya. Oleh karena itu, penulis menyusun skripsi dengan judul **"Pemodelan dan Kontrol Optimal Dinamika Penyebaran Amoebiasis dengan Melibatkan Efek Lingkungan"**.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Bagaimana dinamika penyebaran penyakit amoebiasis dapat dimodelkan secara matematis dengan adanya pengaruh lingkungan pada penularannya?
2. Bagaimana stabilitas secara global dari model tanpa kontrol untuk mengetahui kapan tercapainya kondisi bebas penyakit dan kondisi endemik pada penyebaran penyakit amoebiasis?
3. Bagaimana solusi kontrol optimal dari model penyebaran penyakit

amoebiasis dengan adanya efek lingkungan untuk mengurangi prevalensi amoebiasis?

4. Bagaimana simulasi numerik serta hasil interpretasi dari dinamika penyebaran penyakit amoebiasis yang melibatkan efek lingkungan, baik tanpa kontrol maupun dengan adanya kontrol?

1.3 Batasan Masalah

Untuk menjawab rumusan masalah dalam penelitian ini, maka diperlukan batasan masalah sebagai berikut.

1. Populasi yang dikaji berupa populasi manusia dan bersifat tertutup.
2. Populasi manusia dikelompokkan menjadi 5 kompartemen, yaitu *susceptible* atau rentan, *exposed* atau terpapar, *infected* atau terinfeksi, *carrier* atau pembawa, dan *recovered* atau pulih.
3. Terdapat kompartemen tambahan yang mewakili konsentrasi patogen amoebiasis yang terdapat di lingkungan perairan.
4. Semua kompartemen bergantung terhadap waktu.
5. Terdapat 2 jalur penularan amoebiasis, yaitu penularan secara langsung antar individu dan penularan secara tidak langsung dari pengaruh lingkungan perairan ke individu.
6. Imunitas pada populasi yang telah terinfeksi bersifat sementara.
7. Kestabilan global pada titik kesetimbangan bebas penyakit dianalisis menggunakan teorema Castillo-Chavez, sedangkan kestabilan global pada titik kesetimbangan endemik dianalisis menggunakan teorema Kestabilan Lyapunov.
8. Masalah kontrol optimal diselesaikan secara numerik menggunakan metode *forward and backward sweep* berdasarkan Runge-Kutta orde empat (RK4).

1.4 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah diatas, tujuan yang hendak dicapai adalah untuk:

1. menjelaskan dinamika penyebaran penyakit amoebiasis yang dapat dimodelkan secara matematis dengan adanya pengaruh lingkungan pada

penularannya, berdasarkan model yang telah dikembangkan dalam penelitian sebelumnya;

2. menjelaskan stabilitas secara global dari model tanpa kontrol untuk mengetahui kapan tercapainya kondisi bebas penyakit dan kondisi endemik pada penyebaran penyakit amoebiasis;
3. menentukan solusi kontrol optimal dari model penyebaran penyakit amoebiasis dengan adanya efek lingkungan untuk mengurangi prevalensi amoebiasis;
4. menjelaskan simulasi numerik serta hasil interpretasi dari dinamika penyebaran penyakit amoebiasis yang melibatkan efek lingkungan, baik tanpa kontrol maupun dengan adanya kontrol.

1.5 Metode Penelitian

Metodologi dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Studi Literatur

Pada tahapan ini, hal yang dilakukan adalah mengumpulkan referensi yang dibutuhkan untuk mendukung penelitian tugas akhir yang berkaitan dengan model epidemi dan analisis kontrol optimal pada suatu penyakit baik dari jurnal, buku, maupun sumber referensi lainnya.

2. Analisis

Pada tahapan ini, hal yang dilakukan adalah mengkonstruksi model, menentukan titik kesetimbangan, menganalisis bilangan reproduksi efektif, menganalisis kestabilan global dari titik kesetimbangan, dan menganalisis solusi kontrol optimal.

3. Simulasi

Pada tahap ini dilakukan simulasi numerik berdasarkan data yang sesuai dengan syarat-syarat yang ada. Simulasi ini digunakan untuk menginterpretasikan hasil dari model penyebaran penyakit amoebiasis tanpa atau dengan adanya penggunaan strategi kontrol optimal.

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan penelitian ini terdiri dari lima bab dengan rincian sebagai berikut :

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini terdiri dari latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, metode penelitian, dan sistematika penulisan.

BAB II LANDASAN TEORI

Bab ini berisi mengenai teori-teori yang melandasi pembahasan masalah pada penelitian ini. Teori yang dibahas diantaranya amoebiasis, model matematika, model epidemiologi, sistem persamaan diferensial, titik kesetimbangan, bilangan reproduksi efektif, kestabilan global, kontrol optimal, dan simulasi numerik.

BAB III PEMODELAN DAN KONTROL OPTIMAL DINAMIKA PENYEBARAN AMOEBIASIS DENGAN MELIBATKAN EFEK LINGKUNGAN

Bab ini berisi mengenai pembahasan penelitian yang meliputi konstruksi model dinamika penyebaran amoebiasis yang melibatkan efek lingkungan, kepositifan dan keterbatasan solusi, titik kesetimbangan dan bilangan reproduksi efektif (R_e), analisis kestabilan global, dan analisis kontrol optimal.

BAB IV SIMULASI DAN INTERPRETASI

Bab ini ditunjukkan simulasi secara numerik berdasarkan data yang diberikan baik data dengan adanya kontrol dan tanpa kontrol, serta dijelaskan hasil interpretasinya.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini berisi kesimpulan yang berupa jawaban dari rumusan masalah dan saran yang berisi hal-hal yang perlu dilakukan untuk pengembangan penelitian selanjutnya.