

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Tuberkulosis (TBC) adalah penyakit menular yang disebabkan oleh infeksi dan berpotensi tinggi terutama kerusakan pada organ paru-paru. Penyakit ini merupakan 1 dari 10 penyebab kematian, serta *agen infeksi* merupakan penyebab utamanya [18]. Tuberkulosis merupakan penyakit menular penyebab kematian terbanyak kedua setelah *corona virus disease 2019* (COVID-19). Meski berisiko cukup tinggi, namun penyakit tuberkulosis masih bisa disembuhkan asalkan melalui penanganan secara tepat [17].

Infeksi penyakit tuberkulosis mulai meningkat semenjak tahun 1985, sebagian penyebabnya karena *human immunodeficiency virus* (HIV) dan virus penyebab *acquired immune deficiency syndrome* (AIDS). HIV dapat melemahkan sistem kekebalan tubuh seseorang sehingga penderitanya tidak dapat melawan kuman tuberkulosis. Cara penyebaran bakteri penyebab tuberkulosis adalah menyebar dari orang ke orang melalui *droplet* yang ketika seseorang secara tidak sengaja terkena dan terhirup percikan ludah dari orang yang mengidap tuberkulosis misalnya saja lewat batuk ataupun bersin [18]. Tuberkulosis dapat menyerang siapa saja, terutama individu yang memiliki sistem kekebalan tubuh lemah, individu dengan gaya hidup buruk seperti merokok,

mengonsumsi alkohol memakai narkoba, individu yang serumah dengan penderita tuberkulosis dan individu yang sedang menjalani pengobatan yang dapat melemahkan sistem kekebalan tubuh seperti kemoterapi [3].

Penularan penyakit tuberkulosis ini berbeda dari penyakit menular lainnya. Penularan penyakit tuberkulosis dari individu aktif ke individu yang belum terinfeksi hanya dapat mengakibatkan individu yang ditularkan tersebut menjadi individu pasif yang dalam tubuhnya sudah tertular bakteri *mycobacterium tuberculosis*, tetapi tidak menunjukkan gejala. Perkembangan bakteri *mycobacterium* dalam tubuhnya tersebut dapat dihentikan apabila individu yang ditularkan memiliki daya tahan tubuh yang baik, tetapi tidak menutup kemungkinan bakteri ini dapat berkembang apabila terjadi kontak berulang kali antara individu pasif dengan penderita individu aktif, sehingga individu pasif dapat berubah menjadi penderita individu aktif. Kondisi itu disebut dengan *exogenous reinfection* yang merupakan salah satu penyebab dari perkembangan dan penularan pada penyakit tuberkulosis. *Exogenous reinfection* dapat diartikan sebagai infeksi ulang dari penderita individu tuberkulosis aktif ke individu pasif yang mengakibatkan individu tersebut berubah menjadi penderita individu aktif [11].

Penelitian ini membahas penerapan kontrol optimal, bertujuan untuk menekan terjadinya *exogenous reinfection* supaya dapat meminimalkan jumlah individu tuberkulosis aktif [19]. Model yang digunakan adalah *SEIT* (*Susceptible, Exposed, Infectious, Treated*) yang membagi individu menjadi empat kompartemen, yaitu *S* (*Susceptible*) adalah individu rentan terinfeksi,

E (*Exposed*) adalah individu laten terinfeksi, I (*Infectious*) adalah individu aktif terinfeksi dan dapat menularkan dan T (*Treated*) adalah individu sembuh. Penelitian tentang kontrol optimal dengan *exogenous reinfection* ini telah diteliti oleh Hattaf, K., Rachik, M., Saadi, S. , Tabit, Y. dan Yousfi, N. (2009), dengan menggunakan upaya dalam penentuan penyebaran penyakit tuberkulosis dengan salah satu penyebabnya adalah *exogenous reinfection* dengan menambahkan variabel kontrol isolasi pada individu *exposed* bertujuan agar individu *infectious* berkurang. Upaya tersebut efektif dalam penelitian tersebut [7].

Dalam kehidupan sehari-hari, individu rentan terinfeksi (*Susceptible*) dapat berubah menjadi individu laten terinfeksi (*Exposed*) yang dapat membuat individu aktif terinfeksi dan dapat menularkan (*Infectious*) semakin meningkat. Kondisi dalam permasalahan ini dapat dimodelkan dengan model *SEIT*, dirujuk dari model yang dibahas oleh Hatta, K., Rachik, M., Saadi, S. , Tabit, Y. dan Yousfi, N. (2009). Pada penelitian ini ditambahkan parameter q yaitu laju pertumbuhan individu rentan menjadi individu laten terinfeksi pada individu S (*Susceptible*). Parameter q dapat mempengaruhi perubahan individu aktif terinfeksi dan dapat menularkan penyakit tuberkulosis.

Melalui model *SEIT* dalam penentuan penyebaran penyakit tuberkulosis dengan salah satu penyebabnya adalah *exogenous reinfection*, menambahkan variabel kontrol isolasi pada individu *exposed*. Penambahan variabel kontrol isolasi bertujuan agar individu *infectious* berkurang. Berdasarkan tujuan ini dirumuskan suatu masalah kontrol optimal dengan model *SEIT*.

Masalah kontrol optimal dirumuskan dan dianalisis untuk mencari kestabilan titik ekuilibrium dan keterkontrolan dari analisis sistem terhadap model, serta digunakan kendali untuk meminimalkan jumlah individu yang terinfeksi penyakit tuberkulosis yang menggunakan prinsip minimum *pontryagin* dan dilanjutkan dengan mencari simulasi dari penyelesaian numerik dengan menggunakan metode *Runge-Kutta* orde-4 dengan bantuan *software* MATLAB.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang, maka dirumuskan beberapa permasalahan sebagai berikut:

1. Bagaimana kestabilan titik ekuilibrium dan keterkontrolan dari model *SEIT* (*Susceptible, Exposed, Infectious, Treated*) pada penyebaran penyakit tuberkulosis?
2. Bagaimana simulasi penyelesaian numerik model *SEIT* (*Susceptible, Exposed, Infectious, Treated*) yang dirumuskan dalam model matematika, serta kontrol optimal dan fungsi objektif untuk meminimalkan jumlah individu yang terinfeksi penyakit tuberkulosis?

1.3 Batasan Masalah

Permasalahan yang dibahas dalam penelitian ini dibatasi analisis pada empat subpopulasi yaitu individu rentan terinfeksi, individu laten terinfeksi, individu aktif terinfeksi dan dapat menularkan dan individu sembuh

pada penyebaran penyakit tuberkulosis.

1.4 Tujuan Penulisan

Dari rumusan masalah tersebut, maka penelitian ini bertujuan untuk:

1. Mengetahui kestabilan titik ekuilibrium dan keterkontrolan dari model *SEIT* (*Susceptible, Exposed, Infectious, Treated*) pada penyebaran penyakit tuberkulosis.

2. Mengetahui simulasi dari penyelesaian numerik model *SEIT* (*Susceptible, Exposed, Infectious, Treated*) pada penyebaran penyakit tuberkulosis dengan *exogenous reinfection* dengan dan tanpa variabel kontrol, serta kontrol optimal dan fungsi objektif untuk meminimalkan jumlah individu yang terinfeksi penyakit tuberkulosis dengan menggunakan prinsip minimum *pontryagin*.

1.5 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan dalam penelitian ini terdiri dari empat bab. Bab I berisikan latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan penulisan dan sistematika penulisan. Bab II dibahas beberapa landasan teori yang berisi teori dan konsep dasar yang terkait dengan topik yang diteliti pada penelitian ini. Hasil dan pembahasan pada penelitian ini dibahas pada bab III. Terakhir bab IV memuat kesimpulan, serta saran terkait dari hasil penelitian.