

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Tuberkulosis (TB) merupakan salah satu penyakit menular yang paling mematikan di dunia. TB disebabkan oleh bakteri *Mycobacterium tuberculosis* (Mtb) yang pertama kali ditemukan oleh seorang ilmuwan bernama Robert Koch dari *University of Berlin's Institute of Hygiene* pada 24 Maret 1882. TB menyebar melalui udara ketika penderita batuk, bersin, atau meludah. Seseorang hanya perlu menghirup beberapa bakteri untuk terinfeksi (WHO, 2021a). Gejala utama penyakit TB adalah batuk berdahak selama 2 minggu atau lebih. (Kemenkes RI, 2018). Penyembuhan TB dilakukan dengan menjalani pengobatan rutin hingga tuntas selama 6 – 9 bulan dengan Obat Anti-Tuberkulosis (OAT) (CDC, 2017). Berdasarkan tingkat sensitivitas bakteri TB terhadap OAT, TB dapat diklasifikasikan menjadi dua yaitu TB Sensitif Obat (TB SO) dan TB Resisten Obat (TB RO). TB RO menyebar dengan cara yang sama dengan TB SO menyebar, tetapi pengobatan TB RO memerlukan waktu yang lebih panjang yaitu 9 – 24 bulan dengan *follow up* yang ketat dari tenaga medis. Secara umum, TB RO memang lebih berbahaya daripada TB SO karena OAT yang biasa diberikan pada pasien TB tidak bisa lagi membunuh bakteri TB di dalam tubuh pasien tersebut. (CDC, 2017). Menurut CDC, TB RO bisa terjadi karena kesalahan dalam penggunaan dan pengelolaan obat pada penderita TB SO.

Diperkirakan seperempat dari populasi dunia terpapar TB, tetapi hanya sekitar 5 – 15% dari jumlah tersebut yang akan merasakan gejala penyakit TB aktif. Sedangkan sisanya memiliki infeksi TB laten yang tidak bergejala dan tidak dapat menularkan penyakit, tetapi memiliki kemungkinan dapat berkembang menjadi penyakit TB aktif jika sistem kekebalan tubuh melemah. Diperkirakan sekitar 10 juta individu terinfeksi TB setiap tahun dengan angka kematian mencapai 1,5 juta jiwa (WHO, 2021a). Kasus TB RO telah terdeteksi mencapai 157.903 kasus, dengan rincian sebanyak 132.222 kasus MDR/RR-TB dan 25.681 kasus pra-

XDR-TB/XDR-TB (**WHO, 2021d**). Sedangkan di Indonesia, dari jumlah perkiraan sekitar 824.000 kasus, hanya sekitar 393.323 kasus TB yang telah ditemukan. dengan kasus TB RO mencapai 7.921 kasus dan kasus kematian mencapai 13.110 kasus,. (**TBC Indonesia, 2021b**).

Upaya pengendalian TB menjadi salah satu tujuan dalam pembangunan berkelanjutan dunia yang biasa disebut SDGs (*Sustainable Development Goals*). Setiap tahun, angka kasus TB yang ditemukan cenderung menurun, tetapi kesenjangan masih tinggi jika dibandingkan dengan jumlah kasus yang telah diperkirakan. Mengacu pada *WHO Global TB Report* tahun 2021, terdapat tiga negara yang memiliki kesenjangan terbesar antara estimasi kasus dan jumlah kasus yang dilaporkan. Negara yang dimaksud adalah India, Indonesia dan Filipina dengan angka kasus terlapor masing-masing negara sebanyak 24%, 11% dan 8,3% dari jumlah estimasi kasus. Sedangkan untuk kasus TB RO, terdapat 10 negara yang menyumbang sekitar 70% dari kesenjangan global. Negara yang dimaksud antara lain Cina, Republik Demokratik Kongo, India, Indonesia, Nigeria, Pakistan, Filipina, Federasi Rusia, Afrika Selatan dan Vietnam. Penyebab kesenjangan tersebut adalah kurangnya pelaporan dari penderita TB. Selain itu, juga karena adanya *underdiagnosis* yang dapat disebabkan ketidakmampuan penderita TB mengakses perawatan kesehatan atau terjadinya kesalahan diagnosis (**WHO, 2021d**). Dengan tingginya angka kesenjangan tersebut berarti masih banyak kasus TB belum ditemukan yang berpotensi tinggi menjadi sumber penularan bagi sekitarnya. Oleh karena itu, terdapat beberapa upaya pengendalian TB yang dapat diterapkan. Pertama, pemberian vaksin BCG (**Cahyono dkk, 2010**). Kedua, program edukasi untuk meningkatkan pemahaman masyarakat sehingga dapat meminimalkan kesalahpahaman terkait TB (**Sreeramareddy dkk, 2013**). Ketiga, upaya peningkatan keberhasilan pengobatan.

Dalam beberapa dekade terakhir, model matematika memainkan peran penting dalam pengendalian penyakit. Sudah ada beberapa penelitian yang berfokus pada TB yang dipelajari menggunakan banyak faktor. **Agusto dkk. (2015)** telah membahas model matematika penyebaran MDR-TB dan XDR-TB dengan memerhatikan faktor *lost to follow up* dan isolasi. **Gao dan Huang (2017)** telah

membahas strategi kontrol yang optimal untuk mengatasi penularan TB dengan 3 bentuk kontrol yaitu vaksinasi, *successfully treatment rate* dan *treatment rate* pada manusia yang rentan, laten, dan terinfeksi TB aktif. Selanjutnya, **Das dkk. (2020a)** menyelidiki pengaruh program kesadaran sosial dalam dinamika penularan TB. Pada tahun yang sama, **Das dkk. (2020b)** membahas penularan TB dengan adanya reinfeksi. Kemudian, **Ullah dkk. (2020)** membahas penerapan kontrol optimal berupa vaksinasi dan pengobatan pada model matematika penyebaran TB. Pada tahun yang sama, **Liu dkk. (2020)** menyelidiki dampak strategi DOTS (*Directly observed treatment and short course*) pada penularan TB di Cina dan mengusulkan strategi kontrol optimal berupa pengobatan untuk manusia laten dan pengobatan untuk manusia terinfeksi.

Berdasarkan penjelasan di atas, diketahui bahwa masih diperlukan upaya untuk mengatasi TB terutama TB RO karena masih terdapat kemungkinan terbentuk jenis resistensi baru. Oleh karena itu, penulis tertarik membahas model matematika dan pengendalian penyebaran TB dengan adanya populasi resisten obat dengan mengembangkan model matematika dari **Liu dkk. (2020)**. Penulis melakukan pemecahan kompartemen populasi manusia terinfeksi menjadi dua berdasarkan tingkat sensitivitas bakteri terhadap obat yaitu TB SO dan TB RO. Selanjutnya, penulis juga menambahkan beberapa variabel kontrol pada model matematika penyebaran TB dengan adanya populasi resisten obat berupa program edukasi dan usaha berupa peningkatan keberhasilan pengobatan TB.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dirancang, permasalahan yang akan dibahas adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana analisis kestabilan model matematika pada penyebaran TB dengan adanya populasi resisten obat?
2. Bagaimana bentuk kontrol optimal dan hasil simulasi numerik beserta interpretasi pada model matematika penyebaran TB dengan adanya populasi resisten obat?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan pada penelitian ini antara lain adalah sebagai berikut:

1. Menentukan analisis kestabilan model matematika pada penyebaran TB dengan adanya populasi resisten obat.
2. Menentukan bentuk kontrol optimal serta melakukan interpretasi hasil simulasi numerik pada model matematika penyebaran TB dengan adanya populasi resisten obat.

1.4 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagi pemerintah, dapat digunakan sebagai bahan referensi dalam melakukan antisipasi pada penyebaran TB.
2. Bagi masyarakat, dapat memberi informasi mengenai analisis dan kontrol optimal model matematika dalam penyebaran TB dengan adanya populasi resisten obat.

1.5 Batasan Masalah

Batasan masalah yang akan dibahas dalam penelitian ini adalah variabel kontrol yang digunakan berupa program edukasi dan usaha berupa peningkatan keberhasilan pengobatan TB.