

BAB I

PENDAHULUAN

I.1 Latar Belakang

Penyakit demam berdarah dengue (DBD) merupakan salah satu penyakit menular yang hingga saat ini masih menjadi masalah utama dalam kesehatan masyarakat (Gbadamosi dkk., 2018). DBD disebabkan oleh virus dengue (DENV) yang ditularkan ke manusia melalui gigitan nyamuk *Aedes aegypti* (Bock & Jayathunga, 2019). Hampir 100 negara di seluruh dunia berstatus endemik DBD, termasuk di Afrika, Mediterania Timur, Amerika, daerah subtropis, dan khususnya Asia Tenggara dan Pasifik Barat yang terkena dampak terparah. Berdasarkan data WHO antara tahun 2004 dan 2010, Asia Pasifik menyumbang 75% dari kasus DBD dunia, dengan Indonesia menempati peringkat kedua di antara 30 negara endemik dalam hal jumlah kasus (Kemkes RI, 2018). Kondisi tersebut menimbulkan beban yang besar pada masyarakat, sistem kesehatan, dan ekonomi. Kemudian pada awal tahun 2020, WHO memasukkan DBD sebagai salah satu ancaman kesehatan global di antara 10 penyakit lainnya (WHO, 2021).

Beberapa tahun terakhir ini, penularan DBD meningkat terutama di daerah perkotaan dan semi perkotaan (Bakach, 2015). Menurut Bano dkk. (2022), DBD sering menimbulkan Kejadian Luar Biasa (KLB) di sejumlah kabupaten dan kota di Indonesia karena penyebarannya yang cepat dan berpotensi menimbulkan korban jiwa. Berdasarkan laporan tahunan DBD dari Direktorat Jenderal Pencegahan dan Pengendalian Penyakit Kementerian Kesehatan RI, pada akhir tahun 2022 jumlah kasus dengue di Indonesia mencapai 143.000 kasus, dengan angka kejadian dengue terbanyak berada di Provinsi Jawa Barat dengan 36.594 kasus, Jawa Timur dengan 13.189 kasus dan Jawa Tengah dengan 12.467 kasus. Kemudian, distribusi kematian akibat dengue terkonsentrasi pada ketiga besar provinsi tersebut yang memiliki 58% dari total 1.236 kematian. Berdasarkan uraian tersebut, sudah selayaknya penyakit DBD perlu mendapat perhatian khusus supaya penyebarannya dapat terkendali secara optimal.

Model matematika sering digunakan dalam berbagai bidang ilmu pengetahuan salah satunya bidang kesehatan karena memiliki peran penting dalam

menyelidiki dinamika dan mengidentifikasi variabel yang berdampak secara signifikan pada penyebaran penyakit menular seperti DBD (Xiao dkk., 2013; Shen, Wang & Xiao, 2014). Pada bidang tersebut terdapat bidang teknologi terapan dan epidemiologi yang analisisnya saling berkaitan dengan ilmu matematika. Pemodelan matematika sendiri merupakan cabang ilmu dari matematika yang berperan penting dalam mengendalikan dan mencegah penyebaran penyakit menular. Menurut Widowati dan Sutimin (2013), pemodelan matematika adalah ilmu matematika yang menggambarkan dan menjelaskan permasalahan dunia nyata menjadi bahasa matematika sehingga didapatkan pemahaman yang lebih tepat terhadap permasalahan dunia nyata. Sedangkan menurut Windawati dkk. (2020), dalam menggambarkan fenomena perubahan populasi terhadap waktu yang bersifat kontinu dapat menggunakan pendekatan pemodelan matematika, contohnya pada masalah penyebaran penyakit menular yang mana pemodelan matematika merupakan komponen penting dalam menganalisis penyebaran dan kontrol penyakit menular.

Pada penyebaran DBD dimodelkan dengan model *host-vector* karena melibatkan populasi manusia sebagai inang (*host*) dan nyamuk sebagai vektor (*vector*) yang merupakan pembawa virus dengue (Sari dkk., 2017). Terdapat beberapa jenis model yang umum digunakan pada penyebaran DBD, mulai dari model yang paling sederhana seperti model *SIR-SI*, *SIRS-SI*, *SEIR-SI*, hingga model yang lebih kompleks. Model tersebut digunakan untuk memprediksi epidemi pada penyebaran DBD. Berdasarkan penelitian terdahulu banyak peneliti yang telah membahas tentang model penyebaran DBD, beberapa diantaranya, yaitu model *SVIR-ASI* yang diusulkan oleh Rodrigues dkk. (2014) dengan mempertimbangkan kompartemen individu divaksinasi. Kemudian, model *SEI-ASEI* yang diusulkan oleh Bekoe (2017) dengan mempertimbangkan dua pengendalian vektor berupa larvasida pada subpopulasi nyamuk fase akuatik dan insektisida pada subpopulasi nyamuk rentan, subpopulasi nyamuk terpapar, dan subpopulasi nyamuk terinfeksi sebagai parameter model. Selanjutnya, model *SIRS-SI* yang diusulkan oleh Sanusi dkk., (2021) dengan mempertimbangkan reinfeksi pada subpopulasi individu pulih.

Adapun peneliti yang telah menerapkan teori kontrol optimal pada penelitiannya yang ditujukan untuk mengurangi penyebaran DBD, beberapa

diantaranya, yaitu model *SIR-ASI* yang diusulkan oleh Rodrigues dkk. (2014) dengan mempertimbangkan vaksinasi sebagai variabel kontrolnya. Kemudian, model *SVEIR-SEI* yang diusulkan oleh Agosto dkk. (2018) dengan mempertimbangkan vaksinasi pada subpopulasi individu rentan dan insektisida pada populasi nyamuk sebagai variabel kontrolnya. Selanjutnya, model *SIIR-SI* yang diusulkan oleh Jan dkk. (2019) dengan mempertimbangkan kompartemen individu terinfeksi bergejala dan tidak bergejala serta tindakan pencegahan seperti penggunaan kelambu atau obat nyamuk, pengobatan pada subpopulasi individu pulih, dan pengendalian vektor sebagai variabel kontrolnya. Kemudian, model *SEIR-SEI* yang diusulkan oleh Pongsumpun dkk. (2019) dengan mempertimbangkan dua macam kebijakan, yaitu kebijakan pertama (vaksinasi dan insektisida) dan kebijakan kedua (isolasi dan insektisida) sebagai variabel kontrolnya. Selanjutnya, model *SEIR-SI* yang diusulkan oleh Chamnan dkk. (2021) dengan mempertimbangkan vaksinasi pada subpopulasi individu rentan dan pengendalian vektor (penggunaan obat nyamuk dan pembasmian tempat perkembangbiakan nyamuk) sebagai variabel kontrolnya. Kemudian, model *SEIPR-SEI* yang diusulkan oleh Khan & Fatmawati (2021) dengan mempertimbangkan kompartemen individu dirawat serta pencegahan dan insektisida sebagai variabel kontrolnya. Selanjutnya, model *SVEIR-SEI* yang diusulkan oleh Xue dkk. (2021) dengan mempertimbangkan setiap kompartemen individu yang dibagi menjadi individu yang tidak pernah terinfeksi dan pernah terinfeksi serta penggunaan kelambu, peningkatan kesadaran individu, pengobatan individu terinfeksi, dan pemberantasan nyamuk sebagai variabel kontrolnya. Yang terakhir, model *SIIR-SI* yang diusulkan oleh Saha & Samanta (2022) dengan mempertimbangkan tindakan pencegahan dan pemberantasan nyamuk sebagai variabel kontrolnya.

Dalam penelitian ini penulis mengembangkan model *host SEI* dari model *SEI-ASEI* yang diusulkan oleh Bekoe (2017) dengan menambahkan variabel individu pulih (R_h) karena pada umumnya model penyebaran penyakit seperti DBD terdapat transisi dari individu terinfeksi menjadi individu pulih dan model *vector SEI* dari model *SEIPR-SEI* yang diusulkan oleh Khan & Fatmawati (2021) dengan menambahkan variabel nyamuk fase akuatik (A_v) karena fase akuatik

sangat berpengaruh terhadap jumlah populasi nyamuk, kemudian parameter pengendalian vektor pada penelitian Bekoe (2017) berupa larvasida dan insektisida akan digunakan sebagai variabel kontrol dan dikombinasikan dengan variabel kontrol yang diusulkan oleh Khan & Fatmawati (2021) berupa pencegahan dan insektisida sehingga variabel kontrolnya menjadi pencegahan, larvasida, dan insektisida. Penggabungan variabel kontrol pada model bertujuan untuk meminimumkan individu yang terpapar dan terinfeksi serta nyamuk fase akuatik maupun dewasa (nyamuk yang rentan, terpapar, dan terinfeksi) yang merupakan faktor utama penularan penyakit. Alasan lain penulis menggunakan variabel kontrol berupa pencegahan, larvasida dan insektisida karena di Indonesia terdapat program pencegahan, larvasida dan insektisida. Ketiga metode tersebut merupakan beberapa upaya perlindungan yang disarankan dan dilakukan oleh pemerintah Indonesia untuk mencegah dan mengendalikan penyebaran DBD. Berdasarkan hal tersebut, pada penelitian ini penulis akan mengembangkan model penyebaran DBD menggunakan model *SEIR-ASEI* dengan mempertimbangkan tiga variabel kontrol, yaitu pencegahan, larvasida, dan insektisida.

Pada model *SEIR-ASEI* terdiri dari 8 subpopulasi yang melibatkan populasi manusia dan nyamuk, yaitu subpopulasi individu rentan (S_h), subpopulasi individu terpapar (E_h), subpopulasi individu terinfeksi (I_h), subpopulasi individu pulih (R_h), subpopulasi nyamuk fase akuatik (A_v), subpopulasi nyamuk rentan (S_v), subpopulasi nyamuk terpapar (E_v), dan subpopulasi nyamuk terinfeksi (I_v). Berdasarkan model yang telah dikembangkan kemudian akan dicari bilangan reproduksi dasar ($\mathcal{R}_0$) untuk menetapkan laju penyebaran DBD, selanjutnya dilakukan analisis titik kesetimbangan non endemik (bebas penyakit) dan endemik, kemudian dilakukan analisis kestabilan pada titik kesetimbangannya baik secara lokal maupun global, dan dilakukan simulasi numerik guna mendukung model yang telah dikembangkan sehingga diperoleh perilaku dinamika penyebaran DBD. Selanjutnya, pada model *SEIR-ASEI* dilakukan kontrol optimal untuk meminimumkan penyebaran DBD dengan menggunakan tiga variabel kontrol, yaitu pencegahan untuk individu rentan dan terpapar, larvasida untuk nyamuk fase akuatik, dan insektisida untuk nyamuk rentan, terpapar, dan terinfeksi.

I.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan uraian pada latar belakang, maka permasalahan yang dibahas pada penelitian ini sebagai berikut:

1. Bagaimana pengembangan model *SEIR-ASEI* pada penyebaran DBD?
2. Bagaimana analisis kestabilan pada model penyebaran DBD *SEIR-ASEI*?
3. Bagaimana hasil simulasi numerik pada model penyebaran DBD *SEIR-ASEI* dengan kontrol pencegahan, larvasida, dan insektisida?

I.3 Pembatasan Masalah

Pembahasan masalah pada penelitian ini dibatasi supaya lebih spesifik sebagai berikut:

1. Model matematika terhadap penyebaran DBD yang digunakan adalah model *SEIR-ASEI* yang memiliki 8 subpopulasi, yaitu subpopulasi individu rentan (S_h), subpopulasi individu terpapar (E_h), subpopulasi individu terinfeksi (I_h), subpopulasi individu pulih (R_h), subpopulasi nyamuk fase akuatik (A_v), subpopulasi nyamuk rentan (S_v), subpopulasi nyamuk terpapar (E_v), dan subpopulasi nyamuk terinfeksi (I_v) yang merujuk pada penelitian yang ditulis oleh Bekoe (2017) dan Khan & Fatmawati (2021).
2. Analisis kestabilan pada model *SEIR-ASEI* dilakukan dengan metode kriteria Routh-Hurwitz untuk analisis kestabilan lokal dan metode Lyapunov untuk analisis kestabilan globalnya.
3. Model *SEIR-ASEI* yang dimodifikasi mempertimbangkan variabel kontrol berupa pencegahan, larvasida, dan insektisida. Kontrol pencegahan yang dibahas pada penelitian ini berupa tindakan pencegahan dari gigitan nyamuk seperti penggunaan kelambu atau obat nyamuk, kontrol larvasida berupa penggunaan bubuk abate, kontrol insektisida berupa penyemprotan atau *fogging*.
4. Analisis kontrol optimal pada model *SEIR-ASEI* dilakukan dengan Prinsip Minimum Pontryagin. Kemudian, simulasi numerik pada model sebelum dan sesudah kontrol dilakukan dengan metode Runge-Kutta maju-mundur orde 4 menggunakan perangkat lunak Matlab 2021a.

I.4 Tujuan Penelitian

Adapun beberapa tujuan dalam penelitian ini sebagai berikut:

1. Memperoleh pengembangan model *SEIR-ASEI* pada penyebaran DBD dengan kontrol dan tanpa kontrol.
2. Menganalisis kestabilan model penyebaran DBD *SEIR-ASEI*.
3. Melakukan simulasi model upaya perlindungan penyebaran DBD dengan kontrol pencegahan, larvasida, dan insektisida serta menganalisis hasil simulasi pada model sebelum dan sesudah kontrol.

I.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini sebagai berikut:

1. Menambah dan memperdalam pengetahuan terkait pemodelan matematika dan penerapannya dalam permasalahan nyata di bidang kesehatan.
2. Memberikan referensi baru terkait penerapan pemodelan matematika di bidang kesehatan dengan menggunakan model *SEIR-ASEI* untuk penulisan karya ilmiah yang lebih lanjut dari permasalahan terkait.
3. Memberikan informasi mengenai hasil analisis pada penyebaran DBD, khususnya pada kasus yang berkaitan dengan kontrol pencegahan, larvasida, dan insektisida sehingga dapat digunakan dalam pengambilan kebijakan untuk mengurangi angka penyebaran DBD.

I.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan dalam Tesis ini terdiri dari lima bab, yaitu Pendahuluan, Tinjauan Pustaka, Metodologi Penelitian, Pembahasan, dan Penutup.

BAB I Pendahuluan adalah bab yang terdiri dari latar belakang, perumusan masalah, pembatasan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, dan sistematika penulisan.

BAB II Tinjauan Pustaka adalah bab yang berisi definisi dan teori penunjang untuk mendukung pembahasan pada penelitian ini, yang meliputi penelitian terdahulu, demam berdarah dengue (DBD), pemodelan matematika, persamaan diferensial, sistem persamaan diferensial, kepositifan dan keterbatasan solusi, titik kesetimbangan, linierisasi sistem persamaan diferensial, bilangan reproduksi dasar,

kestabilan titik kesetimbangan, kriteria kestabilan Routh-Hurwitz, metode Lyapunov, kontrol optimal, dan Prinsip Minimum Pontryagin.

Bab III Metodologi Penelitian adalah bab yang menjelaskan langkah-langkah yang digunakan penulis untuk menulis penelitian ini yang meliputi metode penelitian, bahan dan alat penelitian, langkah-langkah penelitian, dan diagram alir penelitian.

Bab IV Pembahasan adalah bab yang menjelaskan model matematika penyebaran DBD model *SEIR-ASEI*, formulasi model, analisis kepositifan dan keterbatasan solusi, menentukan bilangan reproduksi dasar, analisis titik kesetimbangan, analisis kestabilan lokal dan global pada titik kesetimbangan, model penyebaran DBD dengan kontrol, kontrol optimal, serta simulasi numerik terhadap model dengan kontrol dan tanpa kontrol.

Bab V Penutup adalah bab yang berisi kesimpulan dari hasil penelitian dan saran bagi pembaca maupun bagi peneliti selanjutnya.