

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Amfibi merupakan kelas vertebrata yang paling terancam. Sejumlah faktor telah memengaruhi penurunan populasi amfibi di dunia seperti degradasi habitat, invasi spesies, perubahan iklim, dan penyakit menular [1–3]. Wabah ataupun virus dapat menyerang populasi mangsa-pemangsa dan menyebar ke dalam ekosistem sehingga dapat memperumit interaksi antarspesies. Tak terkecuali jamur yang dapat menginfeksi hewan amfibi, bahkan hingga spesies reptil [4].

Dalam dunia amfibi, secara khusus penyakit jamur *chytridiomycosis* telah menjadi penyebab utama penurunan amfibi secara global selama beberapa dekade terakhir. Sekitar 200 spesies katak dan amfibi lainnya punah akibat penyakit ini [5, 6]. Banyak kasus yang ditemukan pada populasi katak dan salamander di mana mereka terjangkit penyakit *chytridiomycosis* yang menurunkan populasi amfibi secara besar-besaran. Penyakit *chytridiomycosis* ini disebabkan oleh jamur *Batrachochytrium dendrobatidis* atau yang biasa disingkat jamur Bd yang menyerang katak dan *Batrachochytrium salamandrivorans* yang menyerang salamander [1, 7, 8] dengan media penularannya adalah air. Jamur *Batrachochytrium dendrobatidis* ini pertama kali ditemukan di Australia Timur, Amerika Tengah, Amerika Utara dan Amerika Timur [5, 9, 10]. Dalam kasus ini kematian terbesar terjadi pada katak. Hal ini tentunya dapat memengaruhi keseimbangan ekosistem. Tentunya pada kasus jamur *Batrachochytrium Dendrobatidis* atau yang biasa disingkat jamur Bd ini diperlukan solusi pengendalian yang lebih optimal agar ketika terdapat katak yang terinfeksi, dan menekan penyebaran penyakit agar tidak terjadi kepunahan dan krisis populasi pada katak [11].

Suhu optimal untuk pertumbuhan jamur Bd ini berkisar antara 17-25°C. Jamur ini, akan mati ketika suhu lingkungan berada di atas 26°C [10, 12]. Sedangkan pada suhu rendah jamur ini akan membuatnya berkembang lebih lama yaitu dengan rentang suhu 7-10°C [12]. Untuk mencegah perkembangan jamur dan penularan jamur pada katak, maka dilakukanlah translokasi menggunakan kontainer khusus berupa *insulated container* ke habitat yang layak yaitu habitat akuatik, air mengalir dan vegetasi alami yang tidak lebat

[13], pengobatan dengan bioaugmentasi [14], melakukan protokol higienis dengan menggunakan sarung tangan, kapas steril, etanol dan sepatu khusus [13, 15] serta pemberian sumber makanan alternatif bagi ular dengan makanan seperti hati ayam, ikan trout, telur puyuh, kaki bebek dan leher bebek [16–19].

Pemodelan matematika memegang peran penting dalam merumuskan dinamika populasi katak dengan penyakit *chytridiomycosis* ini. Hal ini dapat dilakukan dengan cara mengidentifikasi sebab-sebab terjadinya berkembangnya jamur dan terjadinya penularan. Dengan adanya pemodelan matematika ini, diharapkan dapat meminimalisir penularan penyakit.

Pemodelan matematika pada umumnya berbentuk sistem persamaan atau pertidaksamaan, salah satunya adalah sistem persamaan diferensial populasi atau dinamika populasi [20]. Salah satu cabang pemodelan matematika adalah dinamika populasi, yang merupakan hubungan antara mangsa dan pemangsa, merupakan salah satu topik penting yang sering dikaji dalam bidang ekologi dan matematika terapan. Interaksi ini memiliki pengaruh signifikan terhadap keseimbangan ekosistem [21].

Dalam suatu ekosistem, terjadi interaksi antara spesies yang satu dengan spesies yang lainnya. Hal ini merupakan fenomena umum dalam sistem ekologi. Terutama interaksi antara spesies mangsa dan pemangsa yang sangat mempengaruhi ukuran populasi organisme dalam suatu ekosistem. Sejak ditemukannya model mangsa-pemangsa oleh Lotka dan Volterra [4, 22], banyak model ekosistem yang dapat didefinisikan sebagai model teoritis matematis dari sistem ekologi interaksi antara mangsa dan pemangsa.

Dalam penelitian ini, model interaksi tiga populasi dengan lima kompartemen dikaji untuk menunjukkan seberapa berpengaruh jamur *chytridiomycosis* pada dinamika populasi dalam kehidupan katak serta ditambahkan populasi ular sebagai pemangsa bagi populasi katak untuk mengetahui dampak bagi kehidupan katak dan ular. Selain itu, disajikan perhitungan kontrol optimal untuk lebih menekan penyebaran penyakit dalam populasi ular dan katak. Kepositifan solusi, keterbatasan solusi, kestabilan titik keseimbangan, bilangan reproduksi dasar dari sistem persamaan awal dirumuskan dan diperluas untuk mengeksplorasi dinamika kontrol optimal dengan simulasi numerik.

Prinsip maksimum *Pontryagin* merupakan salah satu prinsip dalam teori kontrol optimal yang telah terbukti efektif dalam menyelesaikan masalah pengendalian yang kompleks dalam interaksi pada suatu populasi, menggunakan persamaan mangsa-pemangsa *Lotka-Volterra* yang ditemukan pada awal abad ke-20 tepatnya pada tahun 1926 yang sangat umum digunakan pada kasus populasi mangsa-pemangsa. Kontrol optimal ini memberikan sebuah rumusan fungsi sebagai solusi untuk meminimasi atau memaksi-

masi suatu objek dengan nilai batasan yang ditentukan [23–25]. Dengan menggunakan kontrol optimal, diharapkan mampu mengurangi jumlah kepadatan populasi dalam populasi untuk mengendalikan dan menjaga keseimbangan ekosistem serta meminimalkan penyebaran penyakit [25] dengan menggunakan empat variabel kontrol, yaitu pencegahan translokasi pada populasi katak, pengobatan untuk katak, protokol higienis dan penyediaan pengendalian sumber daya alternatif untuk populasi predator.

Penelitian ini penting untuk membantu para masyarakat untuk menjaga kelestarian ekosistem agar membantu dalam pengelolaan sumber daya alam dan menjaga keseimbangan ekosistem. Dengan memahami pola penyebaran virus dan jamur dan merancang kontrol optimal, diharapkan dapat dihasilkan solusi yang mendukung keberlanjutan ekosistem mangsa-pemangsa, sekaligus mengurangi dampak negatif dari penyakit menular dalam ekosistem tersebut [26]. Untuk ekosistem yang akan ditelaah oleh peneliti yaitu suatu ekosistem atau taman konservasi karena untuk penerapan 4 kontrol (translokasi menggunakan kontainer khusus berupa *insulated container* ke habitat yang layak yaitu habitat akuatik, air mengalir dan vegetasi alami yang tidak lebat [13], pengobatan dengan bioaugmentasi [14, 27], melakukan protokol higienis dengan menggunakan sarung tangan, kapas steril, etanol dan sepatu khusus [13, 15] serta pemberian sumber makanan alternatif bagi ular) hanya memungkinkan jika dilakukan di sebuah taman konservasi. Di sini peneliti mengambil Taman Nasional Gunung Halimun Salak yang terletak di Jawa Barat sebagai objeknya.

Berdasarkan penelitian sebelumnya, terdapat analisis terhadap jamur *Batrachochytrium salamandrivorans* seperti dinamika populasi dan pada salamander dengan cara dimodelkan dan melakukan analisis sensitivitas untuk mengurangi kepadatan inang untuk mencegah penularan, meningkatkan dekomposisi zoospora dan meningkatkan ketebalan inang [28]. Selain itu, banyak penyakit yang bersumber dari jamur yang dianalisis menggunakan pemodelan matematika seperti penyakit meningitis [29] dan kolera [30]. Akan tetapi, belum ada penelitian tentang jamur *Batrachochytrium dendrobatidis* pada katak yang menganalisis dinamika populasi pada model jamur dan penyakit ini. Selain itu, belum adanya peran pemangsa dalam penelitian sebelumnya. Pada penelitian ini tentunya akan dibahas analisis model mangsa-pemangsa dalam populasi katak dan ular dengan menggunakan metode kontrol optimal dengan prinsip maksimum Pontryagin menggunakan empat kontrol yaitu, translokasi, bioaugmentasi, protokol higienis dan pemberian sumber makanan alternatif bagi ular.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah diperoleh berdasarkan latar belakang yang telah dipaparkan oleh penulis, maka dapat dijabarkan rumusan masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana konstruksi model mangsa-pemangsa populasi ular dan katak yang dipengaruhi oleh penyakit *chytridiomycosis*?
2. Bagaimana kestabilan dari titik-titik kesetimbangan dari model yang telah dikonstruksi?
3. Bagaimana nilai bilangan reproduksi dasar dari model yang telah dikonstruksi?
4. Bagaimana penyelesaian kontrol optimal dari model yang telah dikonstruksi?
5. Bagaimana simulasi numerik dari konstruksi model sebelum dan sesudah diberi kontrol?

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini meliputi:

1. Populasi mangsa-pemangsa yang dimodelkan menggunakan 4 kompartemen, yaitu katak (S), katak yang terinfeksi (I), katak pulih (R), jamur *B. dendrobatidis* (F) dan ular (Z).
2. Hewan yang bertindak sebagai pemangsa adalah ular, sedangkan yang bertindak sebagai mangsa adalah katak.
3. Ular hanya memakan katak yang sehat dan tidak memangsa katak terinfeksi.
4. Pengobatan pada katak tidak menjadikan katak sepenuhnya kebal dan bisa menjadikan katak rentan kembali.
5. Terdapat 4 kontrol, yaitu translokasi katak rentan menggunakan *insulated container* ke tempat yang mempunyai habitat akuatik seperti sungai, kolam dan vegetasi yang tidak lebat, pengobatan dengan bioaugmentasi, melakukan protokol higienis dengan mengenakan sarung tangan, kapas steril, etanol dan sepatu khusus serta pemberian sumber makanan alternatif bagi ular berupa telur puyuh, hati ayam, leher bebek, kaki bebek dan ikan trout.
6. Untuk penerapan 4 kontrol ini, digunakan ekosistem yang merupakan ekosistem yang memungkinkan untuk penerapan 4 kontrol (translokasi, pengobatan dengan

bioaugmentasi, melakukan protokol higienis, dan pemberian sumber makanan alternatif bagi ular) yaitu Taman Nasional Gunung Halimun Salak di Jawa Barat. Taman Nasional ini cocok digunakan sebagai penelitian skripsi ini serta sudah banyak dilakukan penelitian seperti penelitian lokasi secara geografis dan keanekaragaman flora dan faunanya [31]. Selain itu, terdapat penelitian tentang penggunaan metode *barcoding* DNA untuk identifikasi spesies dan penilaian keanekaragaman hayati berbasis molekuler [32] di tempat ini oleh para peneliti dan sudah ada penelitian yang diterapkan di tempat ini seperti pemetaan restorasi prioritas untuk owa jawa [33, 34].

1.4 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah yang harus diselesaikan, maka tujuan dari penelitian ini dijabarkan sebagai berikut:

1. Mengkonstruksi model mangsa-pemangsa populasi ular dan katak yang dipengaruhi oleh penyakit *chytridiomycosis*.
2. Menentukan kestabilan dari titik kesetimbangan dari model yang telah dikonstruksi.
3. Menentukan nilai bilangan reproduksi dasar sebagai keberadaan jamur dalam suatu populasi dari model yang telah dikonstruksi.
4. Menyelesaikan solusi kontrol optimal dari model yang telah dikonstruksi.
5. Mengetahui simulasi numerik dan hasil interpretasi dari konstruksi model sebelum dan sesudah diberi kontrol.

Manfaat dari penelitian ini adalah untuk memberikan informasi terhadap masyarakat serta para pelaku konservasi agar menambah wawasan sebagai perlindungan terhadap hewan amfibi yang satu ini agar meminimalisir penyakit guna terjaganya keseimbangan ekosistem dengan mengobati hewan katak ini dan memberikan cara untuk berinteraksi dengan hewan katak. Penelitian ini juga ditujukan kepada pelaku perdagangan agar tidak membawa spesies katak untuk diperjualbelikan ke benua lain karena akan berdampak buruk bagi spesies katak di dunia luar.

1.5 Metodologi Penelitian

Metodologi dalam penelitian skripsi ini diantaranya

1. Studi Literatur

Studi literatur ini merupakan tahapan mencari referensi yang dibutuhkan terkait model mangsa-pemangsa penyakit *chytridiomycosis*, konstruksi modelnya dan lain-lain. Sumber referensi ini mencakup buku, jurnal, artikel, dan berbagai sumber lainnya.

2. Analisis

Pada tahap ini akan dilakukan penelitian dengan menjabarkan titik kesetimbangan, analisis kestabilan, menentukan bilangan reproduksi dasar dan menganalisis kontrol optimal.

3. Simulasi

Simulasi numerik digunakan untuk mengilustrasikan model penyakit *chytridiomycosis* dengan nilai parameter yang telah ditentukan untuk melihat perilaku dari model. Kemudian dilakukan simulasi untuk melihat hasil analisis tanpa dan dengan adanya kontrol.

1.6 Sistematika Penulisan

Skripsi ini disusun secara sistematis guna menyajikan pembahasan secara terstruktur dan mudah dipahami.

Pada bab pertama, akan diuraikan mengenai latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, dan sistematika penulisan.

Pada bagian landasan teori berisi penjelasan dan teori-teori penunjang untuk skripsi ini, yang meliputi penyakit *chytridiomycosis*, kontrol optimal, persamaan diferensial parsial (PDP), prinsip maksimum Pontryagin, titik kesetimbangan, kestabilan, nilai eigen, kriteria Routh-Hurwitz dan bilangan reproduksi dasar.

Pada bagian pembahasan, menjelaskan mengenai isi dan pokok dari skripsi yang meliputi konstruksi model matematika, diagram kompartemen, deskripsi model matematika, kepositifan dan keterbatasan solusi, titik kesetimbangan, analisis kestabilan lokal titik *disease-free equilibrium* (DFE) dan endemik serta kontrol optimal.

Pada bagian ini dilakukan simulasi numerik berdasarkan parameter yang diberikan, terdapat dua kondisi yaitu kondisi bebas penyakit (DFE) dan kondisi endemik dengan dan tanpa kontrol model dinamika penyakit *chytridiomycosis*, serta disajikan hasil interpretasinya.

Pada bagian ini berisi kesimpulan dari analisis model mangsa-pemangsa populasi ular dan katak dengan penyakit *chytridiomycosis* serta kontrol optimal, serta saran sebagai

perbaikan bagi pengembangan penelitian selanjutnya, baik sebagai kelanjutan penelitian maupun perbandingan dengan penelitian lainnya.

