

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Skabies, yang dikenal luas sebagai kudis, merupakan penyakit kulit menular yang diakibatkan oleh infestasi dan sensitisasi terhadap tungau *Sarcoptes scabiei* var. *hominis* (Kementerian Kesehatan Republik Indonesia, 2023). Penyakit ini menimbulkan masalah kesehatan global yang signifikan, dengan Organisasi Kesehatan Dunia (WHO) memperkirakan sekitar 300 juta kasus baru terjadi setiap tahunnya, terutama terkonsentrasi di negara-negara berkembang yang beriklim tropis dan memiliki kepadatan penduduk tinggi, termasuk Indonesia (World Health Organization (WHO), 2017). Sebagai bukti betapa seriusnya ancaman ini, WHO telah secara resmi mengklasifikasikan skabies ke dalam golongan Penyakit Tropis Terabaikan (*Neglected Tropical Diseases/NTDs*) dan meluncurkan rencana aksi global untuk memberantasnya pada periode 2021-2030 (World Health Organization (WHO), 2020). Status NTD ini menyoroti sifat penyakit yang cenderung diabaikan dalam program kesehatan masyarakat meskipun prevalensinya tinggi dan dampaknya signifikan terhadap populasi rentan.

Mekanisme penularan skabies sangat efisien, terjadi baik melalui kontak langsung kulit-ke-kulit dengan penderita yang berlangsung lama maupun secara tidak langsung melalui penggunaan bersama barang-barang personal yang terkontaminasi, seperti pakaian, handuk, sprei, bantal, dan sisir (Kementerian Kesehatan Republik Indonesia, 2023). Karakteristik penularan ini menjadikan lingkungan dengan hunian padat dan fasilitas bersama sebagai tempat yang sangat rentan terhadap wabah. Institusi-institusi seperti pondok pesantren, asrama, lembaga pemasyarakatan, kamp militer, dan area permukiman kumuh telah lama diidentifikasi sebagai episentrum penyebaran skabies (Amin & Haswita, 2023). Studi oleh Jackson et al. (2021) menunjukkan bahwa risiko penularan skabies di lingkungan padat seperti asrama meningkat hingga 5 kali lipat dibandingkan dengan populasi umum.

Patogenesis skabies dimulai ketika tungau betina yang telah dibuahi menggali terowongan ke dalam stratum korneum kulit inang yang belum terinfeksi. Tungau betina akan bertelur 2 – 3 butir per hari di dalam terowongan tersebut, yang kemudian menetas dalam waktu 3 – 4 hari dan berkembang menjadi tungau dewasa dalam 10 – 15 hari (Arlan & Morgan, 2017). Masa inkubasi penyakit ini umumnya berkisar antara 2 hingga 6 minggu pada individu yang terpapar untuk pertama kalinya, karena tubuh membutuhkan waktu untuk mengembangkan reaksi sensitisasi terhadap tungau dan produk sekresinya, seperti saliva, telur, dan feses (Sunderkötter et al., 2021). Namun, pada individu yang pernah terinfeksi sebelumnya, gejala dapat muncul lebih cepat, yaitu dalam waktu 1 hingga 4 hari pasca paparan akibat memori imunologis (Arlan & Morgan, 2017; Kementerian Kesehatan Republik Indonesia, 2023)

Gejala kardinal skabies adalah pruritus (gatal) hebat yang sering kali memberat pada malam hari dan ruam kulit yang khas berupa papul, vesikel, atau terowongan (galeri) yang biasanya terletak di sela-sela jari, pergelangan tangan, siku, ketiak, *areola mammae*, *umbilikus*, dan *genitalia* (Sunderkötter et al., 2021). Rasa gatal ini, yang merupakan manifestasi dari reaksi hipersensitivitas tipe IV terhadap antigen tungau, tidak hanya menimbulkan ketidaknyamanan fisik tetapi juga dapat menyebabkan gangguan konsentrasi belajar, penurunan produktivitas, dan gangguan tidur yang signifikan, sehingga secara keseluruhan menurunkan kualitas hidup penderitanya (Heukelbach & Feldmeier, 2021; Kementerian Kesehatan Republik Indonesia, 2023). Pada kasus yang berat dan terlambat ditangani, garukan berulang dapat menyebabkan komplikasi seperti *impetigo*, *selulitis*, *abses*, dan bahkan *glomerulonefritis pasca-streptokokus* akibat infeksi bakteri sekunder (Orion et al., 2021).

Dalam konteks komunitas tertutup seperti pondok pesantren, pentingnya edukasi kesehatan, pemeriksaan rutin, dan tata laksana pengobatan yang cepat dan tepat tidak dapat dianggap remeh. Edukasi yang komprehensif mengenai personal hygiene seperti teknik mencuci tangan yang benar, pentingnya tidak berbagi barang pribadi, dan menjaga kebersihan pakaian serta lingkungan tidur dapat memberdayakan santri untuk menjadi agen pencegahan primer (Alfarra et al., 2022; Thomas et al., 2022). Sementara itu, deteksi dini melalui pemeriksaan kesehatan

berkala dan akses yang mudah ke pengobatan efektif merupakan kunci untuk memutus rantai penularan dan mencegah komplikasi lebih lanjut (Mounsey et al., 2022; Salavastu et al., 2017).

Observasi awal yang dilakukan di Pondok Modern Tazakka, Kabupaten Batang, Jawa Tengah, mengonfirmasi kerentanan lingkungan ini terhadap skabies. Santri baru, yang sedang menjalani proses adaptasi psikologis dan belajar hidup mandiri, merupakan kelompok yang paling rentan. Faktor risiko utama yang teridentifikasi adalah kurangnya keterampilan dalam menjaga kebersihan personal, seperti frekuensi mencuci pakaian yang belum memadai, kebiasaan mengganti handuk hanya seminggu sekali, dan ketidaktahuan akan pentingnya menjaga handuk tetap kering serta tidak saling meminjamkan pakaian, handuk, selimut, atau bahkan tempat tidur. Temuan ini sejalan dengan penelitian sebelumnya oleh Anisa (2021) yang menyebutkan bahwa perilaku hidup bersih dan sehat (PHBS) merupakan faktor protektif utama terhadap kejadian skabies di pondok pesantren. Dari observasi ini, diketahui bahwa gejala awal pada santri yang terinfeksi (gatal dan ruam) muncul dalam waktu yang relatif singkat, yaitu 1 hingga 7 hari. Respons santri terhadap gejala awal ini terbelah menjadi dua: sebagian segera berobat ke klinik *Tazakka Medical Centre* (TMC) dan mendapatkan terapi topikal (obat oles), sementara sebagian lainnya mengabaikan gejala. Kelompok yang mengabaikan gejala inilah yang kemudian berkembang menjadi kondisi lebih parah, ditandai dengan munculnya pustula (nanah) dan ekskoriasi (luka lecet) akibat garukan yang dapat berlangsung berminggu-minggu, sehingga memerlukan penanganan yang lebih intensif berupa kombinasi obat oles dan obat oral dari TMC. Fenomena ini menunjukkan adanya dua tahap infeksi yang berbeda secara klinis, yang memerlukan pendekatan penanganan yang berbeda pula.

Dari perspektif epidemiologi matematika, pemodelan dinamika penyakit menjadi alat yang sangat powerful untuk memahami pola penyebaran dan mengevaluasi strategi pengendalian. Beberapa peneliti telah mengaplikasikan pendekatan ini untuk skabies. Sebagai contoh, Abdullah et al. (2024) menginvestigasi dinamika infestasi skabies menggunakan model kompartemen *SIR- $\mathcal{E}$* , yang membagi populasi menjadi *Susceptible* (*S*), *Infectious* (*I*), *Recovered* (*R*), serta menambahkan kompartemen *Environment* ($\mathcal{E}$) untuk merepresentasikan

kontaminasi tungau di lingkungan. Penelitian tersebut menganalisis stabilitas model dan mengusulkan strategi kontrol optimal berbasis Prinsip Maksimum Pontryagin, yang meliputi upaya menghindari kontak langsung dengan penderita (u_1), pemberian semprotan pestisida pada lingkungan (u_2), dan pengobatan individu terinfeksi (u_3). Namun, model ini menganggap populasi terinfeksi sebagai kelompok yang homogen, padahal dalam kenyataannya terdapat variasi tingkat keparahan infeksi yang mempengaruhi pola penularan dan respons terhadap pengobatan.

Penelitian lain oleh Widowati et al. (2022) mengembangkan model SIR dengan kontrol optimal dengan mempertimbangkan upaya pencegahan dan pengobatan. Hasil simulasi numerik menunjukkan bahwa kombinasi pencegahan dan pengobatan lebih efektif dalam mengendalikan penyebaran skabies dibandingkan intervensi tunggal. Namun, model ini masih belum membedakan tahapan infeksi yang berbeda, sehingga strategi kontrol yang dihasilkan mungkin kurang tepat sasaran untuk populasi dengan karakteristik klinis yang heterogen. Berdasarkan temuan observasi di lapangan dan celah dalam literatur yang ada, penelitian ini mengusulkan pengembangan model matematika yang lebih granular. Model yang diusulkan adalah $S-I_E-I_L-R$, yang memisahkan kompartemen terinfeksi (I) menjadi dua sub-kompartemen berdasarkan tingkat keparahan klinis dan waktu perkembangan penyakit: *Early-stage Infected* (I_E), mewakili individu dengan gejala awal (gatal dan ruam) yang sering diabaikan; dan *Late-stage Infected* (I_L), mewakili individu dengan infeksi parah (nanah dan luka lecet) akibat keterlambatan penanganan. Diferensiasi ini didasarkan pada asumsi bahwa tingkat penularan, kebutuhan pengobatan, dan dampaknya terhadap populasi rentan (S) mungkin berbeda antara kedua kelompok tersebut (Dewi et al., 2023). Individu dalam tahap *Late-stage Infected* (I_L) mungkin memiliki tingkat penularan yang lebih tinggi karena jumlah tungau yang lebih banyak atau kerusakan kulit yang memudahkan pelepasan dan penularan tungau, sekaligus membutuhkan biaya pengobatan yang lebih besar (Salavastru et al., 2017).

Pendekatan pemisahan tahap infeksi dalam model epidemiologi telah berhasil diaplikasikan pada berbagai penyakit menular. Misalnya, pada model tuberkulosis, pemisahan antara infeksi laten dan aktif telah menghasilkan

pemahaman yang lebih baik tentang dinamika penyakit dan strategi kontrol yang lebih efektif (Castillo-Chavez & Feng, 1997). Demikian pula, pada HIV/AIDS, pemodelan dengan berbagai tahap infeksi berdasarkan jumlah CD4 telah membantu dalam perencanaan program pengobatan dan pencegahan (Granich et al., 2009). Dalam konteks skabies, pemodelan $S-I_E-I_L-R$ diharapkan dapat memberikan wawasan yang lebih mendalam tentang dinamika penularan dan efektivitas berbagai intervensi kesehatan.

Untuk mendesain strategi intervensi yang efektif dan efisien, pendekatan kontrol optimal diterapkan pada model $S-I_E-I_L-R$ ini. Strategi kontrol yang akan dioptimalkan meliputi: (1) pencegahan diri ($u_1(t)$), yang mencakup edukasi dan promosi perilaku hidup bersih seperti cuci tangan dan menjaga kebersihan pakaian; (2) pengobatan awal ($u_2(t)$), yang meliputi pemberian obat oles dan oral, dengan kemungkinan intensitas yang berbeda untuk kelompok *Early-stage Infected* (I_E) dan *Late-stage Infected* (I_L); dan (3) pengobatan lanjut ($u_3(t)$), yang diterapkan terutama pada individu dalam tahap *Late-stage Infected* (I_L) untuk membatasi kontak langsung dan mengurangi peluang penularan (Dewi et al., 2023; Widowati et al., 2022). Dengan meminimalkan fungsi objektif yang mempertimbangkan jumlah populasi terinfeksi dan biaya implementasi kontrol, penelitian ini bertujuan untuk menemukan profil kontrol terbaik yang dapat menekan penyebaran penyakit dengan biaya yang minimal.

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi signifikan baik dari aspek teoritis maupun praktis. Secara teoritis, pengembangan model $S-I_E-I_L-R$ dengan kontrol optimal akan memperkaya *khazanah* pemodelan matematika dalam epidemiologi, khususnya untuk penyakit kulit menular seperti skabies. Secara praktis, hasil penelitian ini dapat menjadi dasar bagi pengelola Pondok Modern Tazakka dan institusi sejenis dalam merumuskan kebijakan pengendalian skabies yang efektif dan efisien, sehingga dapat menekan angka kejadian skabies dan meningkatkan kualitas hidup santri.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, permasalahan yang akan diselesaikan dalam penelitian ini adalah:

1. Bagaimana pengembangan model dinamika penyebaran penyakit skabies $S-I_E-I_L-R$?
2. Bagaimana analisis kestabilan titik kritis model $S-I_E-I_L-R$ pada penyebaran penyakit skabies?
3. Bagaimana analisis model dengan kontrol optimal dengan model $S-I_E-I_L-R$ pada penyebaran penyakit skabies?
4. Bagaimana penerapan model yang dihasilkan pada studi kasus di suatu pondok modern di Jawa Tengah?

1.3 Batasan Masalah

Agar penelitian ini lebih fokus dan terarah, maka pembahasan masalah pada penelitian ini dibatasi pada aspek-aspek berikut:

1. Subjek penelitian adalah dinamika penyebaran penyakit skabies pada manusia (host), khususnya populasi santri di Pesantren.
2. Model matematika yang digunakan adalah model deterministik kompartemen $S-I_E-I_L-R$ dengan empat kompartemen: *Susceptible* (S), *Early-stage Infected* (I_E), *Late-stage Infected* (I_L), dan *Recovered* (R).
3. Analisis kestabilan model dilakukan pada titik ekuilibrium bebas penyakit (*disease-free equilibrium*) dan titik ekuilibrium endemik (*endemic equilibrium*). Analisis kestabilan lokal akan menggunakan metode kriteria Routh-Hurwitz, sedangkan untuk analisis kestabilan global akan digunakan metode fungsi Lyapunov.
4. Model $S-I_E-I_L-R$ yang dikembangkan akan mengintegrasikan tiga variabel kontrol yang bergantung waktu, yaitu:
 - $u_1(t)$: Kontrol pencegahan diri (cuci tangan, menjaga kebersihan pakaian dan handuk).
 - $u_2(t)$: Kontrol pengobatan awal (pemberian obat tipe A : *permethrin* dan *antihistamine*).

- $u_3(t)$: Kontrol pengobatan lanjut (pemberian obat tipe B : *Ivermectine* dan *Amoxicillin*).
5. Analisis kontrol optimal dilakukan dengan menerapkan Prinsip Maksimum Pontryagin untuk menurunkan kondisi yang diperlukan bagi solusi optimal, dan solusi numerik yang disimulasikan untuk menggambarkan dinamika sistem dan profil kontrol yang optimal.

1.4 Tujuan Penelitian

Adapun beberapa tujuan dari penelitian ini sebagai berikut:

1. Mengembangkan model dinamika penyebaran penyakit skabies $S-I_E-I_L-R$.
2. Menganalisis kestabilan titik kritis model $S-I_E-I_L-R$ pada penyebaran penyakit skabies.
3. Menganalisis model kontrol optimal dengan model $S-I_E-I_L-R$ pada penyebaran penyakit skabies.
4. Menerapkan model yang dihasilkan pada studi kasus di suatu pondok modern di Jawa Tengah.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian ini adalah :

1. Hasil penelitian ini diharapkan dapat menambah pengetahuan tentang model penyebaran penyakit skabies.
2. Hasil penelitian ini diharapkan dapat bermanfaat sebagai rekomendasi pada pengelola Pesantren dalam menentukan strategi pencegahan penyebaran penyakit skabies.
3. Memberikan referensi baru terkait penerapan pemodelan matematika di bidang kesehatan dengan menggunakan model SI_EI_LR untuk penulisan karya ilmiah yang lebih lanjut dari permasalahan terkait.
4. Memberikan informasi mengenai hasil analisis pada penyebaran penyakit skabies di lingkungan pondok pesantren, khususnya yang berkaitan dengan kontrol pencegahan, pengobatan awal dan pengobatan lanjut sehingga dapat digunakan dalam pengambilan kebijakan untuk mengurangi angka penyebaran penyakit skabies di lingkungan pondok pesantren.

1.6 Sistematika Penulisan

Tesis ini disusun dengan sistematika penulisan yang terdiri atas lima bab yang saling berkaitan secara logis dan sistematis. Adapun rincian setiap bab adalah sebagai berikut:

BAB I Pendahuluan adalah bab yang menguraikan latar belakang permasalahan, rumusan masalah, tujuan penelitian, batasan penelitian dan sistematika penulisan. Latar belakang menjelaskan urgensi penelitian mengenai dinamika penyebaran skabies dan penerapan kontrol optimal dalam konteks Pesantren. Rumusan masalah dijabarkan dalam bentuk pertanyaan penelitian yang spesifik, sementara tujuan penelitian mengarah pada pencapaian ilmiah yang terukur.

BAB II Tinjauan Pustaka adalah bab yang menyajikan kajian teoritis dan empiris yang meliputi: epidemiologi skabies dan aspek klinis, perkembangan model matematika dalam epidemiologi dengan fokus pada penyakit menular, studi tentang kontrol optimal dan aplikasinya dalam model epidemiologi serta kerangka teoretis Prinsip Maksimum Pontryagin. Bab ini diakhiri dengan identifikasi gap penelitian yang menjadi dasar orisinalitas penelitian ini.

BAB III Metodologi Penelitian adalah bab yang menjelaskan kerangka metodologis yang mencakup: formulasi model matematika $S-I_E-I_L-R$, analisis kualitatif model meliputi penentuan titik ekuilibrium, bilangan reproduksi dasar ($\mathcal{R}_0$), serta analisis stabilitas lokal dan global, formulasi masalah kontrol optimal dengan fungsi objektif dan kendala serta metode numerik untuk simulasi dan validasi model menggunakan data dari Pondok Modern Tazakka.

BAB IV Pembahasan adalah bab yang menyajikan temuan penelitian yang meliputi, hasil analisis kualitatif model, simulasi numerik dinamika penyebaran skabies, analisis sensitivitas parameter, hasil penerapan kontrol optimal serta validasi model dengan data empiris. Pembahasan dilakukan dengan mengaitkan temuan dengan teori yang ada dan implikasi praktis bagi pengendalian skabies di pondok pesantren.

BAB V Penutup adalah bab yang berisi kesimpulan utama penelitian yang menjawab rumusan masalah, serta saran untuk pengembangan penelitian

selanjutnya. Kesimpulan disusun secara sistematis mengikuti tujuan penelitian, sedangkan saran diarahkan pada pengembangan model dan implentasi kebijakan. Sistematika ini diharapkan dapat memberikan panduan yang jelas dan komprehensif bagi pembaca dalam memahami alur pemikiran dan kontribusi ilmiah dari penelitian ini.