

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Leptospirosis merupakan jenis penyakit menular dari hewan ke manusia (*zoonosis*) yang disebabkan oleh bakteri *Leptospira sp.* Penularannya dapat terjadi ketika manusia bersentuhan dengan air atau tanah yang tercemar urine hewan, terutama jika terdapat luka pada kulit atau melalui selaput lendir seperti mulut, hidung, dan mata (Bhalraj & Azmi, 2019).

Hewan yang telah terinfeksi bakteri *Leptospira sp.* dapat melepaskan bakteri ke lingkungan secara berulang atau terus-menerus dalam kurun waktu yang panjang, yakni selama beberapa bulan hingga beberapa tahun (Bhalraj & Azmi, 2019). Bakteri ini juga memiliki kemampuan untuk bertahan hidup di media air maupun tanah selama berminggu-minggu hingga berbulan-bulan, tergantung pada kondisi lingkungan yang mendukung (Bhalraj & Azmi, 2019).

Beberapa hewan, seperti tikus, bajing, landak, sapi, babi, dan lainnya, dapat berfungsi sebagai reservoir *Leptospira sp.* Namun, tikus secara umum dikenal sebagai reservoir utama *leptospirosis* (Rahim & Yudhastuti, 2018).

Leptospirosis merupakan masalah kesehatan yang cukup serius di Indonesia, terutama di daerah dengan sanitasi buruk. Tingginya kasus *leptospirosis* di Jawa Tengah setiap tahun menjadikannya daerah prioritas untuk dianalisis.

Pemodelan matematika telah digunakan secara luas dalam epidemiologi untuk mempelajari penyebaran penyakit menular. Salah satu model yang cukup populer dalam kajian epidemiologi adalah model SIR (*Susceptible-Infected-Recovered*), yang membagi populasi menjadi tiga kelompok utama, yaitu *susceptible*, *infected*, dan *recovered*. Kelompok *susceptible* menggambarkan individu yang berisiko tertular penyakit, *infected* mewakili individu yang tengah mengalami infeksi, sedangkan *recovered* mengacu pada individu yang telah pulih dan memiliki kekebalan terhadap penyakit (Amalia & Prawoto, 2024). Kesederhanaan model ini menjadikannya efektif dalam merepresentasikan pola dasar penyebaran berbagai jenis penyakit menular.

Namun, model SIR kurang tepat untuk menggambarkan penyakit seperti *leptospirosis* karena tidak mempertimbangkan masa inkubasi, yaitu periode ketika individu telah terpapar tetapi belum menunjukkan gejala. Gejala *leptospirosis* umumnya muncul setelah masa inkubasi selama 2 hingga 30 hari dengan rata-rata 7 hingga 10 hari (Kementerian Kesehatan, 2024). Informasi ini konsisten dengan pernyataan dari Dinas Kesehatan Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta (2024), yang juga menyebutkan masa inkubasi berkisar antara 2 hingga 30 hari dengan rata-rata 7 hingga 10 hari. Oleh karena itu, model SEIR (*Susceptible-Exposed-Infected-Recovered*) lebih sesuai untuk merepresentasikan dinamika penyakit ini.

Tidak hanya pada manusia, tikus sebagai reservoir utama *leptospirosis* juga penting dimasukkan dalam pemodelan. Tikus memiliki peran penting dalam penyebaran penyakit *leptospirosis* karena mereka sering menjadi carrier kronis. Kondisi ini terjadi ketika bakteri *Leptospira sp.* menetap di ginjal tikus dan dikeluarkan secara kontinu melalui urine, meskipun tikus tersebut tidak menunjukkan gejala klinis. Untuk menggambarkan dinamika infeksi pada tikus, model SEI (*Susceptible-Exposed-Infected*) lebih sesuai dibandingkan model SEIR.

Sama seperti model pada populasi manusia, dalam model populasi tikus, kelas *susceptible* merepresentasikan tikus yang rentan terpapar infeksi bakteri *Leptospira sp.* Ketika terpapar bakteri, tikus langsung memasuki fa-

se *exposed*, yaitu periode inkubasi di mana bakteri mulai berkembang dalam tubuh tikus tetapi belum mencapai tingkat yang memungkinkan penularan. Fase ini berlangsung selama beberapa hari hingga satu minggu. Setelah masa inkubasi berakhir, tikus memasuki fase *infected* dan mulai menularkan bakteri *Leptospira sp.* melalui urine. Berbeda dengan manusia, tikus jarang sembuh dari infeksi ini, sehingga mereka tidak memiliki fase *recovered*.

Selain tikus, lingkungan juga berperan penting dalam proses penyebaran penyakit *leptospirosis*. Berbagai penelitian menjadikan lingkungan sebagai kelas dalam model penyebaran *leptospirosis*. Misalnya, Alalhareth et al. (2023) dalam artikel jurnal yang berjudul *Analysis of Leptospirosis Transmission Dynamics with Environmental Effects and Bifurcation using Fractional-Order Derivative* menjadikan lingkungan sebagai salah satu kelas dalam model mereka. Penelitian serupa dilakukan oleh Ideris et al. (2024) dalam artikel jurnal yang berjudul *Leptospirosis Relative Risk Estimates based on Continuous-Time, Discrete Space Stochastic SIR-L-SI Transmission Model*, yang menjadikan lingkungan sebagai kelas dan berfokus pada estimasi risiko relatif penularan *leptospirosis* menggunakan model stokastik. Chadsuthi et al. (2021) dalam artikel jurnal yang berjudul *The Effects of Flooding and Weather Conditions on Leptospirosis Transmission in Thailand* juga memasukkan lingkungan sebagai kelas, serta menganalisis pengaruh faktor-faktor seperti banjir dan kondisi cuaca terhadap penyebaran penyakit.

Namun, tidak semua penelitian menjadikan lingkungan sebagai kelas dalam model penyebaran *leptospirosis*. Misalnya, Amalia et al. (2024) dalam artikel jurnal yang berjudul *Bilangan Reproduksi Dasar Model Penyebaran Leptospirosis dengan Adanya Kesadaran Berperilaku Hidup Bersih dan Sehat* meskipun mengembangkan model dengan menambahkan satu kelas baru, yaitu manusia yang menerapkan perilaku hidup bersih dan sehat, tidak memasukkan lingkungan sebagai kelas dalam model tersebut. Begitu pula dengan penelitian Bhalraj et al. (2019) dalam artikel jurnal yang berjudul *Mathematical Modelling of the Spread of Leptospirosis*, yang juga tidak menjadikan lingkungan sebagai kelas dalam model mereka. Oleh karena itu, penggu-

naan regresi logistik dalam menganalisis faktor-faktor lingkungan menjadi penting untuk memahami seberapa besar kontribusi lingkungan terhadap peningkatan risiko penyebaran penyakit *leptospirosis*.

Machine learning berfokus pada analisis data untuk menemukan pola dan hubungan antara *input* dan *output* yang diinginkan, memungkinkan model untuk mempelajari dan meningkatkan prediksi dari data yang ada (Aji et al., 2023). Dalam penelitian ini, akan digunakan regresi logistik, yang dikenal sebagai salah satu model populer dalam *machine learning*.

Regresi logistik adalah suatu metode dalam analisis data yang bertujuan mengkaji pengaruh satu atau lebih variabel prediktor (variabel independen) terhadap variabel respon (variabel dependen) (Anisa & Rifai, 2022). Metode ini dipilih karena kemampuannya dalam mengelompokkan data ke dalam dua kategori, seperti terpengaruh atau tidak terpengaruh. Selain itu, regresi logistik juga efektif untuk memprediksi kemungkinan terjadinya suatu peristiwa berdasarkan variabel independen yang dianalisis. Dengan keunggulan tersebut, regresi logistik dapat dimanfaatkan secara optimal untuk memahami sejauh mana faktor lingkungan dan kepadatan penduduk berkontribusi terhadap peningkatan risiko penyebaran penyakit *leptospirosis*.

Penelitian-penelitian sebelumnya telah mengidentifikasi berbagai faktor risiko *leptospirosis* serta menerapkan model matematis untuk memahami pola penyebarannya. Salah satunya adalah penelitian yang dilakukan oleh Ariani dan Wahyono (2020) dalam artikel jurnal yang berjudul *Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Kejadian Leptospirosis di Dua Kabupaten Lokasi Surveilans Sentinel Leptospirosis Provinsi Banten Tahun 2017–2019*. Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa keberadaan tikus merupakan faktor risiko yang signifikan terhadap kejadian *leptospirosis*. Temuan ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Chadsuthi et al. (2021) dalam artikel jurnal yang berjudul *The Effects of Flooding and Weather Conditions on Leptospirosis Transmission in Thailand*, yang menyatakan bahwa peristiwa banjir juga menjadi faktor signifikan yang memengaruhi peningkatan kasus *leptospirosis*. Penelitian tersebut menggunakan model SIR, yang meskipun cukup umum

digunakan dalam studi epidemiologi, kurang tepat untuk menggambarkan penyebaran *leptospirosis* karena tidak memperhitungkan masa inkubasi penyakit.

Berdasarkan hal tersebut, peneliti tertarik untuk mengembangkan model epidemiologi SEIR-SEI yang dipadukan dengan pendekatan regresi logistik. Regresi logistik digunakan untuk menganalisis kontribusi faktor-faktor lingkungan dan kepadatan penduduk terhadap peningkatan risiko penyebaran penyakit *leptospirosis* di Kota Semarang, berdasarkan data tahun 2019–2022. Analisis difokuskan pada sejumlah variabel lingkungan, yaitu suhu maksimum, suhu minimum, suhu rata-rata, curah hujan total, kelembapan maksimum, kelembapan minimum, dan kelembapan rata-rata, serta variabel demografis berupa kepadatan penduduk. Melalui pendekatan ini, diharapkan penelitian dapat memberikan gambaran yang lebih mendalam mengenai sejauh mana kontribusi faktor lingkungan dan kepadatan penduduk terhadap peningkatan risiko penyebaran penyakit *leptospirosis* di wilayah tersebut.

Inovasi utama dalam penelitian ini adalah penerapan metode regresi logistik, yang dikombinasikan dengan pengembangan model epidemiologi SEIR-SEI. Pada penelitian ini, pengembangan model epidemiologi SEIR-SEI adalah penambahan kelas *At-risk* (A) pada manusia. Kelas *At-risk* (A) ini secara khusus merepresentasikan individu yang memiliki kerentanan lebih tinggi akibat faktor pekerjaan, lingkungan, atau kondisi kesehatan.

Alasan penambahan kelas *At-risk* (A) dalam model adalah karena terdapat kelompok tertentu, seperti petani, petugas kebersihan saluran air, dan pekerja peternakan, yang memiliki risiko lebih tinggi terkena penyakit *leptospirosis* (Dinas Kesehatan Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta, 2024). Hal ini disebabkan oleh pekerjaan mereka yang sering melibatkan kontak langsung dengan air atau tanah yang terkontaminasi. Selain itu, individu yang tinggal di daerah rawan banjir juga memiliki risiko infeksi yang lebih besar akibat peningkatan paparan lingkungan terhadap sumber infeksi (Dinas Kesehatan Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta, 2024).

Kelompok-kelompok tersebut tidak hanya termasuk dalam kategori individu yang rentan terhadap infeksi, tetapi juga memiliki risiko yang lebih tinggi dibandingkan populasi umum karena intensitas paparan mereka terhadap sumber infeksi yang lebih besar. Di samping faktor pekerjaan dan lingkungan tempat tinggal, karakteristik biologis individu juga turut memengaruhi tingkat kerentanan terhadap *leptospirosis*. Anak-anak, balita, dan lansia merupakan kelompok usia yang termasuk berisiko tinggi karena sistem kekebalan tubuh mereka yang tidak optimal. WHO menekankan bahwa anak-anak berisiko tinggi terpapar *leptospirosis* karena kebiasaan bermain di lingkungan yang tercemar, seperti genangan air atau lumpur yang terkontaminasi. Hal ini sejalan dengan pernyataan UNAIR (2016), yang mengidentifikasi balita, anak-anak, dan lansia sebagai kelompok dengan tingkat kerentanan tinggi terhadap *leptospirosis*. Selain itu, penelitian oleh Daher et al. (2019) menunjukkan bahwa lansia merupakan salah satu faktor utama terjadinya komplikasi berat, seperti gagal ginjal akut.

Namun demikian, karena keterbatasan data yang tersedia, penelitian ini hanya menggunakan data balita, anak-anak, dan lansia pada kelas *At-risk* (A). Mengacu pada Kementerian Kesehatan, kategori usia tersebut didefinisikan sebagai balita (0–4 tahun), anak-anak (5–9 tahun), dan lansia (≥ 60 tahun). Dengan demikian, menambahkan kelas *At-risk* (A) dan mengombinasikan model epidemiologi dengan regresi logistik diharapkan dapat memberikan gambaran yang lebih akurat dan realistis mengenai penyebaran penyakit *leptospirosis* pada populasi manusia.

Berdasarkan data yang dipublikasikan oleh Kementerian Kesehatan (2022), Provinsi Jawa Tengah menyumbang 36,1% dari seluruh kasus *leptospirosis* di Indonesia, menjadikannya salah satu provinsi dengan jumlah kasus tertinggi. Oleh karena itu, penelitian ini menggunakan data dari Provinsi Jawa Tengah, khususnya Kota Semarang. Hasil penelitian ini diharapkan tidak hanya memberikan gambaran yang lebih mendalam mengenai dinamika penyebaran penyakit *leptospirosis* di wilayah tersebut, tetapi juga dapat diaplikasikan lebih luas untuk analisis risiko di daerah lain di Indonesia.

1.2 Perumusan Masalah

Mengacu pada pemaparan dalam bagian latar belakang, penelitian ini akan berfokus pada beberapa permasalahan utama yaitu sebagai berikut:

1. Bagaimana kontribusi faktor lingkungan dan kepadatan penduduk terhadap peningkatan risiko penyebaran penyakit *leptospirosis* berdasarkan hasil analisis regresi logistik?
2. Bagaimana formulasi model matematika untuk merepresentasikan dinamika penyebaran penyakit *leptospirosis* berdasarkan faktor lingkungan dan kepadatan penduduk yang telah diidentifikasi?
3. Bagaimana analisis kestabilan dari model matematika penyebaran penyakit *leptospirosis* hasil formulasi sebelumnya?

1.3 Pembatasan Masalah

Beberapa pembatasan ruang lingkup ditetapkan dalam penelitian ini untuk memperjelas fokus pembahasan yaitu sebagai berikut:

1. **Cakupan wilayah:** Penelitian ini difokuskan pada Kota Semarang karena ketersediaan data di wilayah tersebut relatif lengkap.
2. **Periode waktu:** Penelitian ini menggunakan data kasus *leptospirosis* dari tahun 2019 hingga 2022, yang mencakup jumlah kasus penyakit selama periode tersebut. Selain itu, digunakan pula data lingkungan, meliputi suhu maksimum, suhu minimum, suhu rata-rata, curah hujan total, kelembapan maksimum, kelembapan minimum, dan kelembapan rata-rata. Selain faktor lingkungan, data kepadatan penduduk dan jumlah tikus terinfeksi juga dilibatkan dalam analisis. Seluruh data diambil dalam rentang waktu yang sama, yaitu 2019 hingga 2022, agar hasil analisis yang diperoleh lebih sesuai dengan kondisi terkini.
3. Laju kelahiran diasumsikan sama dengan laju imigrasi.

Dengan pembatasan ini, penelitian diharapkan dapat memberikan gambaran yang lebih jelas dan sesuai dengan situasi terkini mengenai penyebaran penyakit *leptospirosis* di Kota Semarang.

1.4 Tujuan Penelitian

Beberapa tujuan yang mendasari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengembangkan model epidemiologi untuk menganalisis serta memahami penyebaran penyakit *leptospirosis* di Kota Semarang.
2. Menerapkan metode regresi logistik untuk menganalisis kontribusi faktor lingkungan dan kepadatan penduduk terhadap peningkatan risiko penyebaran penyakit *leptospirosis*.
3. Mengombinasikan model epidemiologi dengan metode regresi logistik untuk menghasilkan prediksi yang lebih akurat dan memberikan wawasan yang lebih mendalam untuk upaya pencegahan penyakit ini.

1.5 Manfaat Penelitian

Sebagai hasil dari penelitian ini, manfaat yang diharapkan meliputi:

1. Mengasah keterampilan penulis mengenai pemodelan matematika, metode regresi logistik, dan analisis data yang mendalam, serta meningkatkan pemahaman penulis mengenai dinamika penyebaran penyakit menular.
2. Menjadi dasar bagi peneliti lain yang ingin mengembangkan atau memodifikasi model matematika dalam penelitian ini dengan menambahkan variabel lain atau menerapkan metode yang lain untuk penyakit *leptospirosis* atau penyakit menular lainnya. Hasil penelitian ini juga dapat digunakan sebagai rujukan untuk penelitian *leptospirosis* di wilayah lain.

3. Memberikan contoh nyata bagi mahasiswa tentang bagaimana ilmu matematika, data sains, dan epidemiologi dapat dikombinasikan untuk mengatasi masalah kesehatan masyarakat. Selain itu, penelitian ini juga dapat dijadikan sebagai inspirasi dan panduan untuk proyek akademik atau skripsi pada bidang serupa.

