

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Berbagai permasalahan kompleks yang muncul dalam kehidupan nyata, baik dalam bidang sosial, ekonomi, ekologi, maupun teknologi, menuntut pendekatan analitis yang dapat membantu memahami dinamika sistem secara lebih sistematis. Salah satu pendekatan yang banyak digunakan adalah model matematika. Model matematika merupakan salah satu pendekatan yang digunakan untuk merepresentasikan berbagai fenomena nyata ke dalam bentuk formulasi matematis (Ndii, 2018). Melalui abstraksi dan penyederhanaan, model ini membentuk hubungan antara variabel dan parameter yang menggambarkan dinamika suatu sistem. Perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi telah memperluas pemanfaatan model matematika, tidak hanya sebagai alat analisis teoritis, tetapi juga sebagai sarana simulasi, prediksi, dan pengambilan keputusan dalam berbagai bidang (Ndii, 2018).

Salah satu aplikasi penting dari model matematika adalah dalam bidang epidemiologi, yang mempelajari dinamika penyebaran penyakit menular dalam suatu populasi. Secara umum, model ini membagi populasi ke dalam kompartemen berdasarkan status kesehatan individu, seperti rentan, terinfeksi, dan sembuh. Model epidemi memungkinkan analisis mendalam terhadap mekanisme penularan penyakit serta identifikasi parameter kunci yang memengaruhi dinamika tersebut (Ma & Li, 2009). Melalui pendekatan ini, dapat dilakukan prediksi terhadap perkembangan

wabah di masa mendatang dan dirancang strategi pencegahan maupun pengendalian yang lebih efektif.

Pneumonia merupakan kondisi peradangan akut pada jaringan paru-paru, khususnya pada alveolus (kantong udara) tempat pertukaran oksigen dan karbon dioksida berlangsung. Peradangan ini menyebabkan alveolus terisi cairan, sehingga menghambat fungsi pernapasan dan menurunkan kadar oksigen dalam tubuh. Pneumonia merupakan infeksi saluran pernapasan bawah yang dapat menyerang siapa saja tanpa memandang usia, meskipun lebih rentan terjadi pada anak-anak, lansia, serta individu dengan sistem kekebalan tubuh yang lemah.

Pneumonia merupakan penyakit menular yang disebabkan oleh berbagai mikroorganisme, terutama bakteri *Streptococcus pneumoniae*. Penyakit ini dapat menyebar dari manusia ke manusia melalui dua mekanisme utama, yaitu droplet udara yang mengandung mikroorganisme saat penderita batuk atau bersin, serta kontak tidak langsung dengan benda atau permukaan yang terkontaminasi sekresi saluran pernapasan penderita (WHO, 2022). Selain itu, pneumonia memiliki masa inkubasi, yaitu periode antara saat seseorang pertama kali terpapar bakteri penyebab penyakit hingga munculnya gejala klinis. Masa inkubasi pneumonia umumnya berlangsung selama 1 hingga 3 hari (Centers for Disease Control and Prevention, 2024). Selama masa ini, individu yang terinfeksi belum menunjukkan tanda-tanda sakit dan umumnya belum menularkan penyakit kepada orang lain.

Prevalensi pneumonia berdasarkan kelompok usia menunjukkan bahwa pneumonia tinggi terjadi pada kelompok usia 1–5 tahun, kemudian mulai meningkat pada usia 45–54 tahun dan terus meningkat pada kelompok usia berikutnya. Namun, hal ini tidak menutup kemungkinan bahwa pneumonia dapat terjadi pada usia remaja dan dewasa (Selvany dkk., 2024). Data Profil Kesehatan Indonesia menunjukkan bahwa prevalensi pneumonia mengalami fluktuasi, yakni 309.838 kasus pada 2020, menurun menjadi 278.261 kasus pada 2021, lalu meningkat menjadi 386.724 kasus pada 2022, 416.435 kasus pada 2023, dan mencapai 530.641 kasus pada 2024 (Kemenkes, 2025). Meskipun sempat menurun pada 2021, kasus pneumonia terus meningkat hingga mencapai puncaknya pada 2024. Hal ini menunjukkan bahwa pneumonia masih menjadi masalah kesehatan masyarakat yang serius di Indonesia

serta memerlukan upaya pengendalian yang lebih efektif untuk menekan angka kejadiannya.

Salah satu cara untuk mencegah penyakit ini adalah dengan vaksinasi. Vaksinasi diberikan dengan vaksin, yaitu bahan antigenik yang digunakan untuk menghasilkan kekebalan aktif terhadap suatu penyakit sehingga dapat mencegah atau mengurangi pengaruh infeksi oleh organisme ke dalam tubuh seseorang dengan tujuan untuk memberikan kekebalan terhadap penyakit (Side dkk., 2021). Efektivitas vaksin dapat menurun seiring waktu. Meskipun vaksinasi merupakan langkah pencegahan utama, pengobatan tetap diperlukan bagi pasien yang sudah terinfeksi. Pengobatan pneumonia yang disebabkan oleh bakteri umumnya dilakukan dengan pemberian antibiotik, yang dipilih berdasarkan jenis bakteri penyebab, tingkat keparahan penyakit, serta kondisi individu pasien. Antibiotik yang dapat diberikan untuk pengobatan pertama kali adalah amoxicillin (WHO, 2022).

Penggunaan antibiotik yang tidak tepat, terutama tanpa pengawasan medis atau tanpa resep dokter, berkontribusi besar terhadap munculnya resistensi antibiotik. Ketika antibiotik digunakan secara berlebihan atau tidak sesuai indikasi, bakteri dapat mengalami seleksi dan beradaptasi hingga berkembang menjadi strain yang kebal terhadap pengobatan. Dalam penelitian yang dilakukan oleh Purba dkk. (2019) terhadap 181 pasien dengan pneumonia komunitas, ditemukan bahwa 22% di antaranya terinfeksi bakteri multiresisten, yakni bakteri yang resisten terhadap tiga atau lebih golongan antibiotik. Kondisi ini diperburuk oleh adanya faktor risiko seperti riwayat penggunaan antibiotik yang tidak tepat di masyarakat serta penyakit penyerta yang meningkatkan kerentanan terhadap infeksi bakteri resisten.

Berbagai penelitian telah dilakukan untuk memodelkan penyebaran pneumonia dengan pendekatan matematika. Penelitian oleh Ossaiugbo dan Okposo (2021) membahas model matematika penyebaran pneumonia yang dibagi menjadi empat kelas, yaitu *Susceptible* (S), *Exposed* (E), *Infected* (I), dan *Recovered* (R). Selanjutnya, Side dkk. (2021) menggunakan model SEIR untuk menganalisis penyebaran pneumonia pada balita di Kota Makassar dengan mempertimbangkan pengaruh vaksinasi. Olopade dkk. (2022) menambahkan elemen kesadaran masyarakat berupa pengobatan dengan antibiotik dalam model epidemi pneumonia untuk melihat pengaruh

perubahan perilaku terhadap penyebaran penyakit. Sementara itu, Mumbu (2024) membangun model dinamika infeksi pneumonia yang melibatkan intervensi kompartemen pengobatan dan vaksinasi. Namun, keempat penelitian tersebut belum secara khusus mempertimbangkan aspek resistensi antibiotik dalam model yang dibangun, padahal resistensi menjadi tantangan besar dalam pengendalian pneumonia saat ini.

Berdasarkan penelitian-penelitian sebelumnya, di mana belum ada model matematika penyebaran penyakit pneumonia yang secara eksplisit mengintegrasikan dinamika resistensi antibiotik bersamaan dengan pengaruh vaksinasi dan pengobatan pada kasus pneumonia, penelitian ini bertujuan untuk menyusun model kompartemen yang komprehensif. Model yang dihasilkan akan dianalisis secara mendalam melalui penentuan titik ekuilibrium dan penghitungan bilangan reproduksi dasar (R_0) menggunakan metode matriks generasi selanjutnya, diikuti oleh analisis kestabilan. Selanjutnya, simulasi numerik akan dilakukan dengan bantuan *software* Maple. Tahap akhir melibatkan analisis sensitivitas untuk mengidentifikasi parameter kunci yang paling signifikan memengaruhi nilai R_0 . Hasil penelitian ini diharapkan tidak hanya memberikan gambaran yang lebih mendalam mengenai dinamika penyebaran pneumonia, tetapi juga dapat diaplikasikan untuk merumuskan strategi intervensi yang optimal serta memberikan kontribusi signifikan bagi pengambilan kebijakan kesehatan publik.

1.2 Perumusan Masalah

Dengan mempertimbangkan latar belakang yang telah diuraikan, berikut adalah rumusan masalah yang akan dibahas dalam penelitian ini.

1. Bagaimana formulasi model matematika penyebaran penyakit pneumonia dengan pengaruh resistensi antibiotik?
2. Bagaimana analisis kestabilan dari model matematika penyebaran penyakit pneumonia dengan pengaruh resistensi antibiotik?
3. Bagaimana simulasi numerik dari model matematika penyebaran penyakit pneumonia dengan pengaruh resistensi antibiotik?

4. Bagaimana analisis sensitivitas bilangan reproduksi dasar terhadap parameter dari model matematika penyebaran penyakit pneumonia dengan pengaruh resistensi antibiotik?

1.3 Pembatasan Masalah

Penetapan batasan masalah diperlukan agar penelitian ini memiliki arah yang jelas dan pembahasan tidak menyimpang dari tujuan utama. Oleh karena itu, batasan masalah dalam penelitian ini meliputi hal-hal berikut:

1. Model yang digunakan dalam penelitian ini adalah model SVEIATR, di mana populasi dibagi menjadi tujuh kompartemen, yaitu *Susceptible* (S), *Vaccinated* (V), *Exposed* (E), *Antibiotic Sensitive Infected* (I), *Antibiotic Resistant Infected* (A), *Treated* (T), dan *Recovered* (R).
2. Penelitian ini menganalisis penyebaran penyakit pneumonia pada manusia dengan meninjau kestabilan lokal, bilangan reproduksi dasar, dan sensitivitas parameter terhadap bilangan reproduksi dasar.
3. Beberapa data yang digunakan untuk parameter merupakan data sekunder yang diambil dari Profil Kesehatan Indonesia Tahun 2022–2024 dan Badan Pusat Statistik, dengan cakupan seluruh Indonesia.

1.4 Tujuan Penelitian

Berdasarkan latar belakang dan perumusan masalah yang telah dijelaskan, tujuan yang ingin dicapai melalui penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Membentuk formulasi model matematika penyebaran penyakit pneumonia dengan pengaruh resistensi antibiotik.
2. Menemukan titik ekuilibrium dan menganalisis sifat kestabilan dari model matematika penyebaran penyakit pneumonia dengan pengaruh resistensi antibiotik.

3. Mengetahui simulasi numerik dari model matematika penyebaran penyakit pneumonia dengan pengaruh resistensi antibiotik.
4. Menganalisis sensitivitas bilangan reproduksi dasar terhadap parameter model untuk mengidentifikasi parameter yang paling berpengaruh dalam penyebaran penyakit pneumonia dengan pengaruh resistensi antibiotik.

1.5 Manfaat Penelitian

Berdasarkan latar belakang dan tujuan penelitian, beberapa manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagi penulis, penelitian ini menjadi sarana untuk memperdalam pemahaman dan pengalaman dalam merancang serta menganalisis model matematika penyebaran penyakit pneumonia.
2. Bagi peneliti selanjutnya, hasil penelitian ini dapat dijadikan acuan dalam pengembangan model serupa dan memperkaya kajian mengenai penyebaran penyakit pneumonia.
3. Bagi pemerintah, penelitian ini dapat memberikan masukan dalam perumusan kebijakan pengendalian dan pencegahan penyakit pneumonia.